

Erfassungen der Fledermausaktivität über dem Wald als Grundlage für methodische Empfehlungen zu Untersuchungen und Maßnahmen an Windkraftstandorten im Wald

von der Fakultät für Architektur und Landschaft
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktorin der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat)

genehmigte Dissertation

von

Diplom-Biologin Johanna Hurst

2020

Referent: Prof. Dr. rer. nat. Michael Reich

Korreferent: Prof. Dr. agr. Johann Köppel

Tag der Promotion: 27. Januar 2020

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Danksagung.....	II
Kurzfassung	III
Abstract	VIII
Schlagwörter/Keywords	XII
1 Einleitung.....	1
2 Erfassungsstandards für Fledermäuse bei Windkraftprojekten in Wäldern - Diskussion aktueller Empfehlungen der Bundesländer	14
3 Fledermausaktivität in verschiedenen Höhen über dem Wald	15
4 Bat activity at nacelle height over forests.....	16
5 Aktivität der Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>) zur Schwärmzeit am Massenwinterquartier Battertfelsen (Baden-Württemberg)	17
6 Raumnutzung und Aktivität des Kleinabendseglers (<i>Nyctalus leisleri</i>) in einem Paarungs- und Überwinterungsgebiet bei Freiburg (Baden-Württemberg)	18
7 Zusammenfassung und abschließende Diskussion	19
8 Allgemeine Literatur.....	35

Vorwort und Danksagung

Der größte Teil der vorliegenden Doktorarbeit ging aus dem F+E-Vorhaben „Untersuchungen zur Minderung von Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse, insbesondere im Wald“ hervor, das vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundes-Umweltministeriums (BMUB) gefördert wurde. Ein kleinerer Beitrag stammt aus einem weiteren Forschungsvorhaben des Bundeswirtschaftsministeriums (BMWi) zum Thema „Windkraft im Wald“. Anlass für diese Forschungsvorhaben war der massive Ausbau der Windkraft, der vor allem an Waldstandorten häufig zu Konflikten mit dem Artenschutz führt. Da es aber erklärtes Ziel der Bundesregierung ist, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien nicht zu Lasten des Naturschutzes von statten geht, sollen diese Forschungsvorhaben dazu beitragen, geeignete Lösungen für einen naturschutzverträglichen Ausbau der Windenergie zu entwickeln.

Das F+E-Vorhaben wurde federführend vom Freiburger Institut für Tierökologie (FrInaT GmbH) zusammen mit den Gutachterbüros Institut für Tierökologie und Naturbildung (ITN), NACHTaktiv GbR und Biologische Gutachten Dietz bearbeitet. Das Projekt wurde für die FrInaT GmbH größtenteils von mir koordiniert und auch viele Untersuchungen und Auswertungen führte ich selbst durch. Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die Bedeutung von Wäldern für Fledermäuse zu untersuchen und daraus Hinweise zur Standortplanung sowie zu Erfassungen und Maßnahmen im Rahmen von Windkraftplanungen abzuleiten. Zum einen wurden dabei Literaturrecherchen zur aktuellen Planungspraxis und zur Bedeutung von Waldhabitaten für Fledermäuse und Metaanalysen von Verbreitungsdaten und akustischen Daten durchgeführt. Zum anderen fanden aber auch zahlreiche Felderfassungen statt, die in erster Linie darauf abzielten, die Fledermausaktivität in der Höhe über dem Wald zu untersuchen. Diese Erfassungen bilden den Schwerpunkt meiner Doktorarbeit.

Das Forschungsvorhaben zum Thema „Windkraft im Wald“ des BMWi wurde von der ARSU GmbH mit den Projektpartnern FrInaT GmbH, TU Berlin und juwi Energieprojekte GmbH bearbeitet. Die FrInaT GmbH bearbeitete für dieses Vorhaben den Fledermausteil. In diesem Vorhaben übernahm ich eine beratende Funktion. Ziel dieser Arbeit war es in erster Linie die Fledermausaktivität in Gondelhöhe an Waldstandorten und Offenlandstandorten zu vergleichen. Dazu wurden Daten aus Gondelmonitorings von Projektierern und Gutachtern aus ganz Deutschland gesammelt und ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Auswertungen wurden auf der Conference on Windenergy and Wildlife Impacts (CWW) in Berlin im März 2015 vorgestellt und in einem Beitrag für den Konferenzband veröffentlicht. Die Ergebnisse ergänzen die Inhalte des F+E-Vorhabens und sind daher ebenfalls Teil dieser Doktorarbeit.

Ich möchte mich an dieser Stelle herzlich bei allen bedanken, die dazu beigetragen haben, die Projekte zu einem guten Ende zu bringen und im Rahmen dieser Arbeit zusammenzustellen. Vielen Dank an Robert Brinkmann für die tolle Zusammenarbeit und die Möglichkeit, einige Arbeitsstunden in diese Doktorarbeit fließen zu lassen. Danke an das gesamte FrInaT Team, das trotz häufiger harter Feldarbeit im Sommer nie seine gute Laune verliert. Vielen Dank an alle Projektpartner, die alle ihren Beitrag zum Gelingen der Projekte geleistet haben. Danke außerdem an Ruth Petermann, die das F+E-Vorhaben von Seiten des BfN kompetent und mit immer offenem Ohr betreut hat. Und natürlich gilt mein Dank auch Prof. Dr. Michael Reich für die Übernahme dieser Arbeit

Außerdem bedanke ich mich bei Ralf Zeidler dafür, dass er mir an guten und schlechten Tagen immer zur Seite steht und mittlerweile auch meine Arbeit tatkräftig unterstützt. Schließlich möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, dass sie mich auf meinem Weg in die Biologie immer unterstützt und daran geglaubt haben, dass ich meinen Weg gehen werde.

Kurzfassung

Die deutsche Bundesregierung hat es sich zum Ziel gesetzt, den Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch massiv zu steigern. Bis zum Jahr 2020 soll dieser 35 %, bis zum Jahr 2050 sogar 80 % betragen. Den größten Anteil daran hat die Windkraft an Land, die derzeit nach wie vor stark ausgebaut wird. Nachdem ursprünglich der Großteil der Windenergieanlagen im Offenland errichtet wurde, wurden in den letzten Jahren vor allem in den Mittelgebirgsregionen Mittel- und Süddeutschlands zunehmend mehr Anlagen im Wald errichtet.

Der zunehmende Ausbau der Windkraft führt zu Konflikten mit dem Artenschutzrecht. Fledermäuse sind eine der am stärksten durch die Windkraft gefährdeten Artengruppen, da sie regelmäßig mit den sich drehenden Anlagen kollidieren. Da alle in Deutschland vorkommenden Fledermausarten sowohl nach europäischem als auch nach deutschem Recht streng geschützt sind, unterliegen sie dem Verletzungs- und Tötungsverbot gemäß § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG. Es müssen daher beim Bau und Betrieb von Windenergieanlagen Vorkehrungen getroffen werden um ein erhöhtes Kollisionsrisiko zu vermeiden. Im Offenland wurde das Kollisionsrisiko für Fledermäuse bereits umfassend untersucht, in Deutschland wurde das umfangreiche Forschungsvorhaben RENEBAT I durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass Fledermausaktivität in Gondelhöhe und ein dadurch bedingtes erhöhtes Schlagrisiko vor allem im Spätsommer in der ersten Nachthälfte auftreten. Außerdem nimmt die Aktivität mit abnehmenden Windgeschwindigkeiten und zunehmenden Temperaturen stark zu. Diese Zusammenhänge wurden zur Entwicklung von anlagenspezifischen Abschaltalgorithmen genutzt, die anhand von in Gondelhöhe erhobenen akustischen Daten für die Einzelanlage angepasst werden. Diese Methode hat sich deutschlandweit in der Planungspraxis durchgesetzt.

Wälder stellen für Fledermäuse einen wichtigen Lebensraum dar. Zum einen werden Waldgebiete von Arten, die obligatorisch oder gelegentlich in Baumquartieren überlagern, als Quartiergebiete genutzt. Je nach Art werden sowohl Wochenstubenquartiere als auch Paarungsquartiere und Winterquartiere in Wäldern aufgesucht. Zum anderen stellen Wälder ein wichtiges Jagdhabitat dar. Arten, die dicht an der Vegetation jagen, sind dabei vor allem im Waldesinneren anzutreffen, aber auch Arten, die im freien Luftraum jagen, nutzen offene Waldbereiche und den Luftraum oberhalb des geschlossenen Kronendachs zur Jagd. Aufgrund der großen Bedeutung des Walds für Fledermäuse wird häufig davon ausgegangen, dass Waldstandorte besonders konfliktbehaftet sind. Es ist daher unklar, inwieweit Methoden, die für das Offenland entwickelt wurden, auf Waldstandorte übertragen werden können. Zum einen ist dort möglicherweise mit einer höheren Fledermausaktivität und auch einem größeren Artenspektrum im Gondelbereich und damit einem höheren Kollisionsrisiko zu rechnen. Die Nähe von Quartieren könnte zudem zu anderen Aktivitätsmustern führen, so dass die üblicherweise angewandten Abschaltzeiten nicht mehr ausreichen. Zum anderen besteht an Waldstandorten durch die notwendigen Rodungsarbeiten auch eine Beeinträchtigung durch Lebensstättenverluste.

Um offene Fragen bezüglich der Thematik Fledermäuse und Waldstandorte zu klären, wurden mehrere Forschungsvorhaben in Auftrag gegeben. In einem F+E-Vorhaben des Bundesamts für Naturschutz sollte die Bedeutung von Wäldern für Fledermäuse, insbesondere die Aktivität über dem Wald, näher untersucht werden. Zudem wurde die aktuelle Planungspraxis bezüglich Waldstandorten analysiert. In einem weiteren Vorhaben des Bundeswirtschaftsministeriums (BMWi) wurden akustische Daten aus der Gondelhöhe von Offenlandstandorten und Waldstandorten verglichen.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet einen Teil der Studien der genannten Forschungsvorhaben. Sie hatte zum Ziel, den Kenntnisstand zum Umgang mit Fledermäusen an Waldstandorten zu erweitern

und daraus Hinweise für geeignete Untersuchungen und Vermeidungsmaßnahmen an Waldstandorten abzuleiten. Folgende Forschungsfragen standen dabei im Fokus:

1. Welches ist der aktuelle Stand in der Planungspraxis bezüglich Windkraftanlagen im Wald?
2. Wie verhält sich die Fledermausaktivität in verschiedenen Messhöhen an Waldstandorten?
3. Unterscheidet sich die Fledermausaktivität in Gondelhöhe an Standorten im Wald von Standorten im Offenland?
4. Beeinflusst die Nähe zu Quartieren die Fledermausaktivität in der Höhe über dem Wald?

Im ersten Schritt wurden aktuelle Empfehlungen der Bundesländer zur Untersuchung von Fledermäusen im Rahmen der WEA-Planung, besonders an Waldstandorten, ausgewertet und diskutiert. Aus insgesamt acht Bundesländern, die auch den Bau von WEA im Wald gestatteten, lagen entsprechende Leitfäden vor. Insgesamt wiesen diese Leitfäden beträchtliche Unterschiede in ihren Empfehlungen auf. Voruntersuchungen beinhalteten automatische akustische Erfassungen oder Transektbegehungen, Schwärmkontrollen und Winterquartierkontrollen. Nur drei Leitfäden gingen auf die besondere Problematik von Waldstandorten ein und empfahlen hier akustische Höherfassungen. Weitere Untersuchungen zum Lebensstättenverlust an Waldstandorten empfahlen immerhin sechs der acht Leitfäden, aber in unterschiedlicher Intensität. Nach Errichtung der Anlagen verwiesen die meisten Empfehlungen auf ein Gondelmonitoring zur Entwicklung von Abschaltalgorithmen gemäß RENEBA I. In vier Leitfäden wurde darauf hingewiesen, dass die Methode für Waldstandorte nicht ausreichend untersucht ist. Eine optionale Schlagopfersuche empfahlen zudem sieben der acht Leitfäden ohne besondere Spezifizierung für Waldstandorte. Insgesamt zeigte die Auswertung, dass Waldstandorte in den bis dahin veröffentlichten Leitfäden keine große Rolle spielen. Nur selten werden darauf zugeschnittene Untersuchungen oder Maßnahmen empfohlen. Dies ist auch dem geringen Kenntnisstand zum Verhalten von Fledermäusen an WEA im Wald geschuldet. Untersuchungen sind daher dringend erforderlich.

Zur Erfassung der Aktivität in verschiedenen Höhen über dem Wald wurden automatische akustische Erfassungen an sechs Windmessmasten auf Waldlichtungen durchgeführt. Es wurde jeweils in Bodennähe sowie in 50 m und 100 m Höhe die Fledermausaktivität gemessen. Zudem wurde an einem weiteren Messmast inmitten eines alten Buchenwalds in Bodennähe und in 22 und 44 m Höhe die Aktivität erfasst. Die Messungen zeigten, dass auch an Waldstandorten in den Höhen 50 und 100 m und damit deutlich über den Baumkronen nur Arten aktiv sind, die auch im Offenland häufig als Schlagopfer auftreten: die Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*), Arten der Nyctaloid-Gruppe (ähnlich rufende Arten: Abendsegler (*Nyctalus noctula*), Kleinabendsegler (*Nyctalus leisleri*), Zweifarbfladermaus (*Vespertilio murinus*), Breitflügel-fledermaus (*Eptesicus serotinus*) und Nordfledermaus (*Eptesicus nilssonii*)) und die Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusius*). Die Zwergfledermaus war in allen Höhen die am häufigsten aufgezeichnete Art, die Aktivität nahm mit zunehmender Höhe aber deutlich ab. Rauhautfledermaus und Nyctaloid-Gruppe zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Höhen, tendenziell aber eine Abnahme der Aktivität zwischen 50 und 100 m. An dem Messmast im Buchenwald wurde dagegen noch in 44 m Höhe Aktivität aller Arten(-gruppen), einschließlich der *Myotis*-Gruppe, aufgezeichnet. Die Aktivität in den Höhen 50 und 100 m konzentrierte sich ähnlich wie im Offenland auf die Monate Juli bis September und dabei auf die erste Nachthälfte. Im Gegensatz dazu war die Aktivität der Zwergfledermaus in Bodennähe relativ gleichmäßig auf die Monate verteilt. Nyctaloid-Gruppe und Rauhautfledermaus zeigten in Bodennähe eine ähnliche Phänologie wie in der Höhe. Bei zunehmender Windgeschwindigkeit und abnehmender Temperatur sank die Aktivität deutlich, wobei bezüglich der Windhärte kein Unterschied zwischen den Arten(-gruppen) festgestellt wurde. Nur bei der Zwergfledermaus korrelierte die Aktivität in 50 m und 100 m

positiv mit der Aktivität in Bodennähe; die anderen Arten waren dagegen regelmäßig ausschließlich in der Höhe aktiv.

Die Messungen an den Windmessmasten zeigen somit, dass grundsätzlich an Waldstandorten ein ähnliches Aktivitätsmuster und Artenspektrum erwartet werden kann wie im Offenland. Eine Prognose des Kollisionsrisikos allein durch Aktivitätsmessungen am Boden ist nur schwer möglich, da sich die Aktivitäten in Bodennähe und über dem Kronendach sehr deutlich unterscheiden. Anhand von Messungen in der Höhe können Aktivitätsmuster vorhergesagt und angepasste pauschale Abschaltzeiten für das erste Betriebsjahr entwickelt werden. Die Messsituation ist allerdings dabei immer zu berücksichtigen, bei Messungen knapp oberhalb der Baumkronen werden nicht nur Tiere aufgezeichnet, die im freien Luftraum fliegen, sondern die noch Kontakt zum Kronenraum haben. Aus diesem Grund ist es auch sinnvoll, Anlagen so zu planen, dass die untere Rotorspitze ausreichenden Abstand vom Kronendach hat. Nicht untersucht werden konnte in dieser Studie, ob durch die WEA selbst Anlockungseffekte entstehen, durch die sich die Höhenaktivität verändert. Zur Festlegung der anlagenspezifischen Abschaltalgorithmen sind daher Messungen an den Anlagen, ggf. auch in Höhe der unteren Rotorspitze, nach wie vor unumgänglich.

Um zu überprüfen, ob sich die Aktivität in Gondelhöhe zwischen Offenland und Wald unterscheidet, wurden in einer weiteren Studie Daten aus akustischen Erfassungen in Gondelhöhe in ganz Deutschland übergreifend ausgewertet. Dieser Datensatz beinhaltete insgesamt 193 Erfassungsjahre von 130 verschiedenen Anlagen aus den Jahren 2008 bis 2014. Aus dem Offenland lagen 106 Erfassungsjahre vor, von Waldstandorten 87. Sowohl im Wald als auch im Offenland wurden fast ausschließlich die Nyctaloid-Gruppe, die Zwergfledermaus und die Rauhautfledermaus aufgezeichnet, wobei jeweils die Nyctaloid-Gruppe die dominierende Art war. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede für alle drei Artengruppen zwischen Wald und Offenland. Deutliche Unterschiede waren aber zwischen den geografischen Regionen zu erkennen: So nahm die Aktivität der Nyctaloid-Gruppe von Nordosten nach Südwesten ab. Die Rauhautfledermaus wurde im Norden und Osten häufiger aufgezeichnet als die Zwergfledermaus, im Süden und Westen verhielt es sich anders herum. Auch bezüglich der Phänologie unterschieden sich Wald- und Offenlandstandorte nicht. Das Aktivitätsmaximum lag jeweils zwischen Juli und September, für die Rauhautfledermaus etwas später als für Zwergfledermaus und Nyctaloid-Gruppe. Auch hier gab es geografische Unterschiede, so verschob sich das Maximum der Rauhautfledermaus nach Süden und Westen hin etwas nach hinten.

Der Vergleich der Messungen in Gondelhöhe zeigt, dass die im Offenland entwickelten Abschaltalgorithmen höchstwahrscheinlich auch an Waldstandorten funktionieren. Es ist nicht damit zu rechnen, dass dort weitere Arten regelmäßig verunfallen. Auch die Höhe der Aktivität und die Phänologie weisen auf ein ähnliches Kollisionsrisiko wie im Offenland hin. Aufgrund der großen geografischen Unterschiede wäre es auf lange Sicht aber sinnvoll, besser angepasste Algorithmen für die verschiedenen Regionen Deutschlands zu entwickeln.

In zwei Fallstudien wurde untersucht, ob es Hinweise dafür gibt, dass Standorte in der Nähe von wichtigen Quartieren kollisionsgefährdeter Arten ein höheres Kollisionsrisiko aufweisen. Dazu wurden akustische Erfassungen an einem Schwärmquartier der Zwergfledermaus und in einem Paarungsgebiet des Kleinabendseglers durchgeführt. Am Schwärmquartier sowie an Referenzstandorten in der Umgebung wurde mittels eines Hubsteigers die Zwergfledermaus-Aktivität vergleichend in einer Höhe von ca. 35 m und in Bodennähe in jeweils fünf Nächten erfasst. Die Aktivität in der Höhe war am Schwärmquartier nicht höher als an den Referenzstandorten im Umfeld. Es zeigten sich allerdings zeitliche Unterscheide, am Schwärmquartier wurde die höchste Aktivität in der Nachtmitte gemessen, an den Referenzstandorten in der ersten Nachthälfte. Im Paarungsgebiet des Kleinabendseglers wurde die Aktivität sowohl mit sieben Erfassungsgeräten an den Kastenquartieren selbst er-

fasst, außerdem wurden Höhenmessungen an drei besonders hohen Bäumen oberhalb der Baumkronen durchgeführt. Zudem wurden die Kästen regelmäßig kontrolliert und die Tiere beringt sowie insgesamt neun Tiere telemetriert. Die Kastenkontrollen zeigten, dass vor allem zur Paarungszeit ab August und im Winter Tiere im Gebiet anwesend waren. Der Beginn der Paarungszeit zeigte sich deutlich in einer erhöhten Aktivität oberhalb der Baumkronen im August. Auch hier ergab sich ein außergewöhnliches Aktivitätsmuster, da die Hauptaktivität in der zweiten Nachthälfte aufgezeichnet wurde. Dies passt zum Balzverhalten der Männchen an den Quartieren. Diese kehrten erst nach einigen Stunden vom Jagen zurück, um an den Quartieren zu balzen.

Die Untersuchungen zeigen, dass in der Nähe wichtiger Quartiere nicht automatisch mit einer höheren Aktivität gerechnet werden muss als im Umfeld. Da es sich hierbei nur um zwei Fallstudien handelt, ist es aber möglich, dass an anderen Standorten tatsächlich deutlich höhere Aktivitäten auftreten. Die Untersuchungen zeigen außerdem, dass einerseits unerwartete Aktivitätsspitzen auftreten können und andererseits sich die Aktivitätsmuster über die Nacht und auch über das Jahr von normalen Standorten unterscheiden können. Dies kann dazu führen, dass standardisierte Abschaltalgorithmen nicht ausreichend an den Standort angepasst sind. Es ist daher erforderlich, an diesen Sonderstandorten die Aktivitätsmuster intensiv zu erfassen und Vermeidungsmaßnahmen gegebenenfalls an Besonderheiten anzupassen, falls nicht von vornherein auf solche Standorte verzichtet wird.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Hinweise für Untersuchungen und Maßnahmen an Waldstandorten:

- Mit Fledermausaktivität ist generell zu rechnen, Untersuchungen sind daher unverzichtbar.
- Die Anlagen sind ausreichend hoch zu planen (Abstand Kronendach-Untere Rotorspitze von 50 m).
- Sonderstandorte in der Nähe von Quartieren sollten aufgrund hoher Individuenzahlen und abweichender Aktivitätsmuster idealerweise nicht verwirklicht werden.
- Akustische Untersuchungen vor Errichtung der Anlagen sollten bestenfalls über dem Kronendach stattfinden.
- Pauschale Abschaltzeiten für das erste Betriebsjahr sollten sich an den Ergebnissen der Messungen über dem Kronendach orientieren.
- Zur Erfassung von Quartieren müssen intensive Untersuchungen mit Netzfängen und Telemetrie stattfinden.
- Nach Errichtung der Anlagen sind zwingend akustische Messungen in Gondelhöhe zur Berechnung anlagenspezifischer Betriebsalgorithmen durchzuführen.
- Grundsätzlich steht einer Anwendung der standardisierten Abschaltalgorithmen an Waldstandorten nichts entgegen.
- An Sonderstandorten in Quartiernähe müssen die Aktivitätsmuster detailliert überprüft werden und bei Abweichungen müssen die errechneten Algorithmen zu Zeiten mit unerwartet hoher Aktivität nach oben korrigiert werden.
- Auch Lebensstättenverluste müssen ermittelt und wenn möglich vermieden und sonst ausgeglichen werden.

Es ist wünschenswert, dass neue Erkenntnisse der Forschung möglichst schnell und unbürokratisch in die Leitfäden der Länder übernommen werden, um den Fledermausschutz bei Planung und Betrieb von WEA an Waldstandorten ausreichend zu gewährleisten. Idealerweise sollten bundesweite Emp-

fehlungen veröffentlicht werden, an denen sich die Leitfäden orientieren. Auch weiterhin besteht ein großer Forschungsbedarf, z.B. umfassende Analysen der Aktivität in Quartiernähe, vergleichende Vorher-Nachher-Untersuchungen an Windmessmasten und WEA sowie langfristige Untersuchungen der Populationsentwicklung besonders windkraftsensibler Arten.

Abstract

It's a declared goal of the German government to massively increase the share of renewable energies in the total amount of consumed energy. Until the year 2020 this share should reach 35 %, until the year 2050 even 80 %. On-shore wind energy already has the biggest share in renewable energies and is still strongly developed. At the beginning most wind turbines were installed in the open landscape, but in the last years the number of wind turbines installed in forests increased strongly, especially in the low mountain ranges of Middle and Southern Germany.

It became rapidly obvious, that the increasing growth of wind energy can cause conflicts with species conservation. Bats are one of the species groups which are mostly endangered by wind energy as they collide frequently with the rotating blades. All bat species which occur in Germany are strictly protected by German and European law, so they fall under article 44 of the Federal Nature Conservancy Act (BNatSchG) which prohibits injuring or killing wild animals of those species. Due to that, mitigation measures to avoid an increased collision risk have to be applied when wind turbines are installed and operated. The collision risk for bats in open landscapes was already intensely researched, in Germany in the German wide research project RENEBAT I. The results showed that bat activity at nacelle height and a high collision risk occur especially in the late summer in the first half of the night. Furthermore, bat activity increased with decreasing wind speeds and increasing temperatures. These correlations were used to develop turbine specific curtailment algorithms which are applied to singular turbines using acoustic data from nacelle height. This method is currently used as a German wide standard.

Forests are an important habitat for bats. On the one hand, forest areas are used as roosting habitat by species which use tree roosts regularly or from time to time. Depending on the species tree roosts are used by maternity colonies, mating groups or for hibernation. On the other hand, forests are an important foraging habitat. Gleaning species, which hunt close to the vegetation, are mainly present inside closed forests, species which hunt in open areas use open forests and the space above the forest canopy for hunting. Because of the importance of forests as bat habitat it is often assumed that wind energy locations in forested areas offer particularly many conflicts. It's not clear if methods developed in open landscapes can be applied in forests, too. An increased bat activity and species diversity at nacelle height at forest sites and due to that a higher collision risk cannot be excluded. Small distances to important roosts can cause different activity patterns, which require extended curtailment algorithms. Furthermore the often necessary clear cutting at forest sites causes habitat losses for bats.

To answer open research questions regarding bats and wind energy at forest sites different research projects were conducted. The importance of forests for bats, especially the activity above the forest canopy, was researched in a project funded by the Federal Agency of Nature Conservation. In the same project the current planning processes regarding forest sites and bats were analyzed. In a further project funded by the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy acoustic data from nacelle height at open landscapes and forests was compared.

The presented thesis includes a part of the studies of these projects. Its goal was to increase the state of knowledge regarding bats at forest sites and to develop recommendations for suitable survey methods and mitigation measures at forest sites. I focused on the following research questions:

- Which is the current status of the planning processes regarding wind turbines in forests?
- Which amount of bat activity occurs in different measurement heights at forest sites?
- Is there a difference in bat activity at nacelle height between open landscapes and forests?
- Does the vicinity of roosts influence the bat activity above the forest canopy?

As a first step I analyzed and discussed current recommendations of the federal states regarding the survey of bats in the planning process, especially at forests sites. In total eight federal states, which allow the development of wind energy in forests, had published recommendations. These guidelines differed considerably. Pre-construction surveys included automatic acoustic surveys or transect surveys, surveys of swarming bats and of winter roosts. Only three guidelines stressed the special circumstances at forest sites and recommended acoustic surveys in the height. Six of the eight guidelines recommended further studies to estimate the habitat loss at forest sites, but with different intensities. As post-construction surveys most guidelines recommended a monitoring at nacelle height to develop curtailment algorithms according to RENEBA I. Four guidelines indicated that this method wasn't tested at forest sites yet. An optional carcass search was recommended in seven of eight guidelines without considering the special search circumstances in forests. The analysis showed that up to that moment forest sites were mostly neglected in the published guidelines. Forest-specific methods and measures are rarely recommended. One reason is the low state of knowledge regarding the behaviour of bats at wind energy sites in forests. Due to this research projects are urgently needed.

To measure bat activity at different heights above the forest canopy automatic acoustic surveys were conducted at six meteorological measurement masts at forest clearings. Acoustic devices to measure bat activity were installed at ground level and heights of 50 and 100 m. Furthermore, activity was surveyed at a measurement mast in the middle of an old-grown beech forest at ground level and heights of 22 m und 44 m. The measurements showed that at forest sites in 50 and 100 m clearly above the forest canopy only species occur, which are also frequently found as fatalities at wind turbines in open landscapes: The common pipistrelle (*Pipistrellus pipistrellus*), species of the Nyctaloid-group (species with similar echolocation calls: Greater noctule (*Nyctalus noctula*), Leisler's bat (*Nyctalus leisleri*), Particoloured bat (*Vespertilio murinus*), Serotine bat (*Eptesicus serotinus*) und Northern bat (*Eptesicus nilssonii*)) and the Nathusius pipistrelle (*Pipistrellus nathusius*). The common pipistrelle was the most frequent species at all heights, but activity decreased significantly at 50 and 100 m compared to ground level. Activity of the Nyctaloid-group and the Nathusius pipistrelle didn't differ significantly between heights, but tended to decrease from 50 to 100 m. On the contrary, in the beech forest activity of all species (groups) including the *Myotis*-group was detected in all heights up to 44m. As known from open landscapes the activity in heights of 50 and 100 m was concentrated between the months of July and September to the first half of the night. Activity of the common pipistrelle at ground level was evenly distributed over the survey months. Phenology of the Nyctaloid-group and the Nathusius pipistrelle didn't differ between ground level and heights of 50 and 100 m. Increasing wind speeds and decreasing temperatures resulted in a decreasing activity, no difference in wind speed tolerance was found between the species (groups). The common pipistrelle showed a positive correlation of activity in heights of 50 and 100 m and activity at ground level. All other species (groups) were frequently active exclusively above the canopy.

The survey at the measurement masts shows, that the expected species and activity patterns at forest sites are similar to open landscapes. It's difficult to estimate the collision risk from activity surveys conducted at ground level, as activity differs significantly between ground level and heights

of 50 and 100 m. Measurements at masts above the forest canopy are suitable to predict activity patterns and to develop applied curtailment measures for the first year of operating. But the survey conditions have to be considered, as measurements close to the forest canopy also can detect species that have contact to the crown level and are not to be expected at nacelle height. Due to this wind turbines should be planned with an adequate distance between low tip of the rotor blade and forest canopy. This study did not examine possible attraction effects of the turbine itself. For the development of turbine specific curtailment algorithms it's still necessary to survey the bat activity at nacelle height in a post-construction monitoring.

In a second study, data from acoustic surveys all over Germany were analyzed to test if there's a difference between the bat activity at nacelle height in open landscapes and forests. The dataset included 193 survey years from 130 different turbines between 2008 and 2014. In total 106 survey years came from open landscapes, 87 from forest sites. In both habitats at nacelle height the Nyctaloid-group, the common pipistrelle and the Nathusius pipistrelle were nearly exclusively detected, the Nyctaloid-group as dominant species. All three species (groups) showed no significant differences between forest and open landscapes. Clear differences emerged between different geographic regions. The activity of the Nyctaloid group decreased from North-East to South-West. The Nathusius pipistrelle was more frequently detected than the common pipistrelle in the North and East, in the South and West it was the other way round. The phenology didn't show any differences between open landscapes and forests. The activity peaked between July and September, the activity of the Nathusius pipistrelle a little bit later than that of the common pipistrelle and the Nyctaloid group. The phenology also differed between geographical regions, the peak of the Nathusius pipistrelle in the South and West occurred later than in the North and East.

The comparison of the measurements at nacelle height shows that the curtailment algorithms which were developed in open landscapes, should also be valid for forest sites. The results indicate that the collision risk in forests concerns the same species as in open landscapes. The detected activity and phenology in forests is similar to open landscapes. Due to the obvious geographic differences on the long hand the curtailment algorithms should be adapted to different geographical regions in Germany.

Two case studies analyzed if at sites close to important roosts of species which fly and hunt at the open space a higher collision risk must be expected. Acoustic surveys were conducted at a swarming roost of common pipistrelles and at a mating roost area of Leisler's bat. The activity of the common pipistrelle was measured in five nights each at the swarming roost and reference sites in the surroundings. An acoustic device was installed at ground level and in a height of 35 m clearly above the canopy with the help of a cherry picker. The activity above the canopy didn't differ between swarming roost and reference sites. The activity at the swarming roost peaked in the middle of the night, clearly later than at the reference sites with a peak in the first half of the night. In the mating area of Leisler's bat activity was detected by seven acoustic devices close to the bat boxes used by the bats, furthermore the activity above the canopy was measured by three microphones which were installed at the top of extraordinarily high trees. The bat boxes were monitored frequently and all found Leisler's bats were banded and 9 animals were radiotracked. The monitoring of the boxes showed that the animals were present particularly during mating season beginning in August and during the winter. With the beginning of the mating season a high activity was detected above the canopy. Interestingly, the activity during this time peaked in the second half of the night, which is a clear difference from the normal activity pattern above the canopy. This can be explained by the mating behavior of the males, which used to fly to foraging areas in the first half of the night and came back for displaying in the second half of the night.

The case studies show, that activity close to roosts is not increased automatically. Due to the low number of researched roosts it cannot be excluded that there are other sites close to roosts, where the activity actually increases dramatically. Furthermore, the studies showed clearly, that there can be unexpected activity peaks and the activity patterns during the year and the night can differ from normal sites. This can result in a worse performance of the normally used curtailment algorithms. At the moment it's necessary at these sites, if they have to be realized at all, to intensively research the activity patterns and to adapt mitigation measures to special results.

In sum, the studies resulted in the following recommendations for surveys and measures at forest sites:

- Bat activity must be expected at all sites, Due to this, surveys are always necessary.
- Turbines must be planned sufficiently high (distance between canopy and low tip of the rotor blade of 50 m).
- Sites close to roosts shouldn't be realized due to high individual numbers and extraordinary activity patterns.
- Pre-construction acoustic surveys should be conducted above the forest canopy.
- Curtailment algorithms for the first year of operating can be adapted to the results of the measurements above the canopy.
- To detect roosts intensive surveys with mist-netting and radio-tracking are necessary.
- An acoustic monitoring at nacelle height is essential to develop the turbine specific curtailment algorithms.
- The standardized curtailment algorithms can be used at forest sites, too.
- At special sites close to roosts activity patterns have to be surveyed intensively and if there are differences to the normal patterns, curtailment algorithms have to be adapted to those.
- Habitat losses have to be determined and avoided or mitigated respectively.

The new research results should be adopted by the guidelines of the federal states as fast and non-bureaucratically as possible to guarantee an adequate conservation of bats during planning and operating of wind turbines. Ideally, nationwide recommendations should be published, which could serve as orientation for the guidelines of the federal states. The need for further research is still high, e.g. for intensive surveys of bat activity close to roosts, comparative pre and post-construction surveys at measurement masts and the turbines respectively and long term research projects to analyze population trends of species with a high collision risk.

Schlagwörter/Keywords

Fledermäuse, Windkraft, Waldstandorte, akustische Aktivitätsmessungen, Minderungsmaßnahmen

Bats, wind energy, forest sites, acoustic activity, mitigation measures

1 Einleitung

1.1 Ausbau der Windenergie in Deutschland

Bereits vor der Jahrtausendwende wurde deutlich, dass ein Umdenken stattfinden muss, um zu gewährleisten, dass das zunehmende Wirtschaftswachstum, der technische Fortschritt und die Globalisierung nicht zu einer immer fortschreitenden Zerstörung der Umwelt führen. Die Idee der nachhaltigen Entwicklung wurde durch die erste Umweltkonferenz der Vereinten Nationen 1992 in Rio de Janeiro in verschiedenen Konventionen verankert, deren Ziele die Mitgliedsstaaten umsetzen sollten (MICHELSEN & ADOMBENT 2014). Dazu gehörte die Klimaschutzkonvention, in der sich die Mitgliedstaaten auf eine Verringerung der Treibhausgasemissionen verständigten. Im Angesicht des dennoch immer weiter fortschreitenden Klimawandels ist dies nach wie vor eines der dringlichsten Ziele, dessen Umsetzung aber nur stockend voran schreitet.

Die erneuerbaren Energien sind ein wichtiger Baustein zum Erreichen der Klimaziele, da sie fast ohne Treibhausgasemissionen auskommen (LÜDEKE-FREUND & OPEL 2014). Der Umstieg auf erneuerbare Energien ist darüber hinaus zwingend notwendig, da fossile Energieträger nicht unbegrenzt verfügbar sind und die Atomkraft eigentlich bereits seit dem Unglück von Tschernobyl, spätestens aber seit der erneuten Reaktorkatastrophe von Fukushima keine diskutable Alternative mehr darstellt. Daher wird der Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland schon seit Beginn der 90er Jahre des zwanzigsten Jahrhunderts vorangetrieben.

Die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen in das Energienetz wurde in Deutschland erstmals durch das Stromeinspeisungsgesetz (StrEG)¹ von 1991 geregelt. Darin wurde festgeschrieben, dass Strom aus erneuerbaren Energien, der im Regelfall durch kleine Anbieter erzeugt wird, in das Stromnetz eingespeist werden muss und eine Mindestvergütung erhält. Dies führte zu einem ersten Bauboom, in dessen Zuge bis zum Jahr 2000 Windenergieanlagen (WEA) mit einer Leistung von insgesamt etwas mehr als 6000 mW installiert wurden (FRAUNHOFER IWES 2017). Das StrEG wurde im Jahr 2000 durch das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)² abgelöst, das bis heute bereits mehrfach novelliert wurde. In diesem Gesetz wurde dem durch erneuerbare Energien erzeugten Strom eine Privilegierung eingeräumt. Dies ebnete dem nun folgenden starken Ausbau der erneuerbaren Energien mit einem Fokus auf der Windkraft den Weg.

Die aktuellen Entwicklungsziele für den Ausbau der erneuerbaren Energien wurden im Jahr 2010 im Nationalen Energiekonzept verabschiedet (BUNDESREGIERUNG 2011). Demnach soll ihr Anteil am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2020 auf 35 % gesteigert werden, bis zum Jahr 2050 sogar auf 80 %. Bereits im Jahr 2017 hatten die erneuerbaren Energien einen Anteil von 36 % am Bruttostromverbrauch und damit das ursprüngliche Ziel für 2020 bereits übertroffen (BMW I 2018). Dabei nahm die Windkraft mit 17,6 % und einer installierten Leistung von knapp 56.000 mW die Spitzenposition ein. Fast 90% entfiel dabei auf die Windkraft an Land, die Offshore-Windkraft spielt derzeit nur eine geringe Rolle (BMW I 2018). Gerade in den letzten Jahren wurde die Windkraft an Land so massiv ausgebaut, dass die vorgesehenen Steigerungswerte überschritten wurden. So betrug der Zuwachs im Jahr 2015 3.802 Megawatt, was einer Steigerungsrate von knapp 9 % entsprach (BMW I 2016). Gemäß der aktuellen Novelle des EEG³, die zum 1.1.2017 in Kraft trat, wird der jährliche Zuwachs

¹ Stromeinspeisungsgesetz vom 7. Dezember 1990 (BGBl. I S. 2633)

² Erneuerbare Energien Gesetz vom 29. März 2000 (BGBl. I S. 305)

³ Erneuerbare Energien Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S.1066), zuletzt geändert am 17. Juli 2017 (BGBl. I S. 2532)

auf 2.800 MW gedrosselt (BMW 2016) – dennoch bedeutet dies, dass derzeit auch weiterhin überall in der Bundesrepublik neue Windparks erschlossen werden.

Der massive Ausbau der Windenergie wird nicht nur positiv betrachtet. In den Fokus geriet neben dem Landschaftsbild schnell die Artenschutz-Problematik. So wurde bereits nach Errichtung der ersten Anlagen bekannt, dass Vögel und Fledermäuse diese unbekanntes Hindernisse nicht als Gefahr wahrnehmen und daher mit den Rotorblättern kollidieren (z.B. VIERHAUS 2000; TRAPP et al. 2002; HÖTKER et al. 2005). Dies führt zu einem erheblichen Interessenskonflikt zwischen den Zielen des Klimaschutzes und des Erhalts der Biodiversität.

Diese Problematik verschärft sich noch in Anbetracht der zunehmenden Nutzung von Wäldern, die im Normalfall wenig gestörte Ökosysteme darstellen und vielen geschützten Arten einen Rückzugsort bieten. In den ersten Jahren des Ausbaus wurden Windparks vor allem im Norden der Bundesrepublik an den windreichen Standorten der Küstenlinie oder in Küstennähe errichtet (FRAUNHOFER IWES 2015). Mittlerweile wird aber der Großteil der neuen Anlagen an Binnenlandstandorten mit mittleren Windgeschwindigkeiten und sogar an Schwachwindstandorten installiert. Noch im Jahr 2014 befanden sich 95,2 % aller WEA auf Agrarflächen und nur 3,3% auf Waldflächen (FRAUNHOFER IWES 2015). Technische Neuerungen, vor allem die Höhe und der zunehmende Rotordurchmesser der Anlagen, ermöglichen aber die zunehmende Erschließung von Schwachwindstandorten auch in abgelegenen Mittelgebirgsregionen. Daher ist in den nächsten Jahren von einer Zunahme des Waldanteils vor allem in den mittel- und süddeutschen Bundesländern auszugehen, wo sich geeignete Standorte zu großen Teilen in bewaldeten Hochlagen befinden. So wurden in den Jahren 2016 und 2017 25% bzw. 19% aller neu installierten WEA auf Waldflächen errichtet (FRAUNHOFER IWES 2018). Gemäß einer Erklärung der Bundesregierung soll der Ausbau der Windkraft nicht zu Lasten des Artenschutzes von Statten gehen (BMU 2007). Es ist daher dringend notwendig, Lösungen für einen naturverträglichen Ausbau der Windenergie an Waldstandorten zu entwickeln.

1.2 Bedeutung von Wäldern für Fledermäuse

Fast alle der 25 in Deutschland vorkommenden Fledermausarten sind in ihrem Lebenszyklus fast vollständig oder zumindest teilweise auf Wälder als Habitate angewiesen (MESCHÉDE & HELLER 2000). Zum einen spielen Wälder eine wichtige Rolle als Quartiergebiet, da viele Arten obligatorisch oder gelegentlich Baumquartiere beziehen. Baumhöhlen und Spaltenquartiere können Wochenstuben, Paarungsgemeinschaften, Überwinterungsgesellschaften und Einzeltieren als Quartier dienen. Zum anderen werden Wälder von den meisten Fledermausarten als Jagdgebiete genutzt.

1.2.1 Wald als Wochenstubengebiet

Etwa bei der Hälfte der Fledermausarten nutzen Wochenstubenkolonien fast ausschließlich Baumquartiere, z.B. Specht- und Fäulnishöhlen, Spaltenquartiere oder abplatzende Borke (BOYE & DIETZ 2005; DIETZ 2007). Die Wochenstuben der Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*), Nymphenfledermaus (*M. alcathoe*), Brandtfledermaus (*M. brandtii*), Bechsteinfledermaus, Fransenfledermaus (*M. nattereri*), des Abendseglers (*Nyctalus noctula*) und Kleinabendseglers (*Nyctalus leisleri*) der Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*), der Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*), des Braunen Langohrs (*Plecotus auritus*) und der Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) suchen fast ausschließlich Baumquartiere auf (DIETZ et al. 2007). Seltener werden Wochenstuben der Bartfledermaus (*M. mystacinus*), Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) und Nordfledermaus (*Eptesicus nilssonii*) in Baumquartieren nachgewiesen.

Die verschiedenen Arten bevorzugen unterschiedliche Quartiertypen. Im Wesentlichen lassen sich zwei Typen unterscheiden, Höhlenquartiere wie Spechthöhlen und Fäulnishöhlen und Spaltenquar-

tiere in Stammrissen oder hinter abplatzender Rinde. Abendsegler beispielsweise nutzen fast ausschließlich Spechthöhlen (RUCZYŃSKI & BOGDANOWICZ 2005), dagegen bildet abstehende Borke das klassische Quartier der Mopsfledermaus, die daher auf einen hohen Anteil an Totholz angewiesen ist (RUSSO et al. 2004). Auch bezüglich der Lage der Quartiere gibt es unterschiedliche Vorlieben. Einige Arten bevorzugen exponiert am Waldrand stehende Bäume, z.B. der Abendsegler und die Wasserfledermaus (BOONMAN 2000). Andere Arten mit sehr wendigem Flugstil beziehen Quartiere aber auch inmitten dichter Beständen, beispielsweise das Braune Langohr vor allem in unteren Stammbereichen (FUHRMANN & GODMANN 1994), die Nymphenfledermaus im Kronenbereich (LUČAN et al. 2009).

Arten, die Wochenstubenquartiere in Bäumen beziehen, wechseln sehr regelmäßig ihre Quartiere. Teilweise werden fast jeden Tag neue Quartiere bezogen, zur Zeit der Jungenaufzucht werden Quartiere etwas seltener gewechselt (KERTH & KÖNIG 1999; RUSSO et al. 2004). Häufig spaltet sich die Kolonie außerdem in Kleingruppen auf, so dass mehrere Quartiere zeitgleich besetzt werden (fission-fusion-Verhalten) (KERTH & KÖNIG 1999). In den frühen Morgenstunden zeigen die Fledermäuse das typische Schwärmverhalten vor den Quartieren, durch das Informationen über zur Verfügung stehende Baumhöhlen an die Kolonienmitglieder weitergegeben werden (NAĐO & KAŇUCH 2015). Als Gründe für die häufigen Quartierwechsel wurden Prädatoren- und Parasitenvermeidung sowie die Wahl klimatisch günstiger Quartiere identifiziert (KERTH et al. 2001; RECKARDT & KERTH 2007). Gerade für Arten wie die Mopsfledermaus, die fragile temporäre Quartiere hinter abstehender Borke oder in absterbenden Bäumen nutzen, ist es zudem wichtig, stets genügend Ausweichquartiere zu kennen. Häufige Quartierwechsel dienen hier möglicherweise in erster Linie der Aufrechterhaltung des Informationsflusses (RUSSO et al. 2004).

Die häufigen Quartierwechsel haben zur Folge, dass die baumhöhlenbewohnenden Arten in ihrem Wochenstubengebiet auf ein dichtes Netz an zur Verfügung stehenden Baumhöhlen angewiesen sind. Kolonien der Bechsteinfledermaus sowie der Mopsfledermaus nutzten in mehrjährigen Untersuchungen etwa 50 verschiedene Quartiere auf kleinem Raum (KERTH et al. 2002; HILLEN 2011). An geeigneten Wochenstubenstandorten für baumbewohnende Arten müssen daher eine Vielzahl älterer Bäume mit potentiellen Quartieren vorhanden sein. Die Baumartenzusammensetzung ist dabei für die Eignung eines Waldes als Wochenstubengebiet weniger entscheidend (HURST et al. 2016f). Es ist außerdem zu berücksichtigen, dass meist mehrere Fledermausarten um die Höhlen konkurrieren. MESCHÉDE & HELLER (2000) schätzen, dass in Quartiergebietern wenigstens 7 bis 10 Höhlenbäume/ ha vorhanden sein müssen. Im Normalfall ist in den Wirtschaftswäldern in Deutschland ein ausreichend großes Quartierpotential eher in Laubwäldern und Laubmischwäldern zu finden, so dass Wochenstubenkolonien dort häufiger sind als in reinen Nadelwäldern.

1.2.2 Wald als Paarungsgebiet

Die Arten Kleinabendsegler, Abendsegler, Rauhautfledermaus, Zwergfledermaus und Mückenfledermaus nutzen sehr häufig Bäume als Paarungsquartiere. Diese Arten äußern sehr auffällige Balzlaute und sind dadurch leicht nachzuweisen. Zur Paarungszeit im Spätsommer und Herbst werden Balzquartiere in Bäumen besetzt, die territorial durch Singflüge oder stationäre Balz verteidigt werden (KRONWITTER 1988; OHLENDORF & OHLENDORF 1998; ARNOLD & BRAUN 2002; SCHORCHT 2005). Durch dieses Verhalten werden auch Weibchen in die Paarungsquartiere gelockt. Kleinabendsegler, Abendsegler und Rauhautfledermaus gehören zu den ziehenden Arten (DIETZ et al. 2007). Möglicherweise ist das Zugverhalten der Grund für das auffällige Balzverhalten, da durch die lauten Rufe nicht ortskundige Weibchen auf ihren Zugstrecken gezielt in die Quartiere gelockt werden. Wichtige Paarungsgebiete dieser Arten liegen vor allem im Bereich großer Seen und Flusstäler in den Auwäldern und altholzreichen Laub- und Laubmischwäldern, häufig auch in exponierter Lage (OHLENDORF

& OHLENDORF 1998; HÄUßLER & NAGEL 2003). Paarungsquartiere der Zwergfledermaus als nicht ziehende Art sind gemäß der Verbreitung ihrer Wochenstuben auch in Bergwäldern anzutreffen (SACHTELEBEN et al. 2004).

Bei fast allen anderen Arten ist die Bedeutung von Baumquartieren als Paarungsquartiere nicht gut erforscht, da nach Paarungsquartieren in der Regel nicht gezielt z.B. durch die Methode der Telemetrie gesucht wird. Erkenntnisse stammen hier eher aus Zufallsfunden, z.B. in Fledermauskästen. Eindeutige Nachweise von Paarungsgesellschaften in Kästen oder Baumquartieren gibt es von der Mopsfledermaus, dem Braunen Langohr, der Wasserfledermaus und der Fransenfledermaus (RUFFERT 1999; STEINHAUSER et al. 2002; GEIGER & RUDOLPH 2004; HORN 2011). Auch Arten, deren Wochenstubenquartiere fast ausschließlich in Gebäuden zu finden sind, werden zur Paarung häufiger in Baumquartieren oder Nistkästen entdeckt, hier sind vor allem das Mausohr (*Myotis myotis*) und die Teichfledermaus (*M. dasycneme*) zu nennen (SCHMIDT 2009; HAENSEL 2011).

Viele Arten der Gattung *Myotis* und auch die Zwergfledermaus schwärmen im Spätsommer an traditionell genutzten Schwärm- und Winterquartieren in alten Bergwerksstollen oder Höhlen. Sie dienen als Treffpunkt für Tiere unterschiedlicher Kolonien, die diese Orte auch zur Paarung nutzen (KERTH et al. 2003; KRETZSCHMAR et al. 2004; RIVERS et al. 2005; STECK & BRINKMANN 2015). Auch diese Quartiere weisen häufig einen Waldbezug auf, da sie sich gerade in Süddeutschland meist versteckt in bewaldeten Mittelgebirgslagen befinden.

1.2.3 Wald als Überwinterungsgebiet

Die Bedeutung von Baumquartieren als Winterquartiere ist bei vielen Arten weitestgehend unbekannt, da die Tiere im Winter aufgrund ihrer sehr geringen Aktivität nicht auffallen. Die meisten Winternachweise von Fledermäusen in Baumquartieren stammen dementsprechend aus Baumfällungen, bei denen Fledermäuse in hohlen Bäumen entdeckt wurden (GEBHARD 1996; ZAHN et al. 2004).

Aufgrund solcher Funde ist anzunehmen, dass die Mückenfledermaus sowie die ziehenden Arten Kleinabendsegler, Abendsegler und Rauhaufledermaus regelmäßig in Baumquartieren überwintern (GEBHARD 1997; MESCHÉDE 2004; BORKENHAGEN 2011; ITN 2012). Dabei werden auch Massenquartiere mit mehreren Hundert Tieren in Bäumen besetzt, z.B. durch den Abendsegler (DIETZ 1997). Die Ansprüche an Überwinterungsquartiere sind relativ hoch, da das Quartier in der Regel frostsicher sein sollte. Nach SCHÖBER & GRIMMBERGER (1998) muss die Wanddicke eines geeigneten Winterquartiers mindestens 10 cm betragen, für die kleineren Arten ist eher erst ab Wandstärken von 20 cm und mehr von einer Eignung als Überwinterungsquartier auszugehen. Daher ist es wahrscheinlich, dass frostsichere Winterquartiere eine sehr begrenzte Ressource darstellen. Möglicherweise nutzen einige Arten, die normalerweise in Untertagequartieren wie Stollen und Höhlen anzutreffen sind, Bäume auch zeitweise in wärmeren Perioden als Winterquartier und tolerieren dann auch nicht frostsichere Baumquartiere. So wurde bereits beobachtet, dass Mopsfledermäuse erst in sehr kalten Winternächten in Untertagequartiere einfliegen (PODANY 1995).

1.2.4 Wald als Jagdhabitat

Fast alle Fledermausarten nutzen Wälder regelmäßig als Jagdgebiet, wobei sich die Art der Nutzung deutlich zwischen den Arten unterscheidet. Fledermausarten, die eher im freien Luftraum nach fliegenden Insekten jagen, sind in offenen Waldtypen mit wenig Unterwuchs anzutreffen oder jagen vor allem im Bereich von Freiflächen, Waldschneisen und an Waldrändern. Arten dagegen, die hauptsächlich Insekten von der Vegetation ablesen, die sogenannten „gleaner“, sind eher in dichten

reich strukturierten Wäldern mit mehreren Gehölzschichten anzutreffen (RUNKEL 2008; JUNG et al. 2012).

Zu den Arten, die vor allem in lichten Wäldern nach Luftinsekten jagen, gehören die Zwergfledermaus und die Rauhautfledermaus, die Mückenfledermaus, die Nordfledermaus, die Breitflügelfledermaus und die Mopsfledermaus (DIETZ et al. 2007). Typisch für diese Arten ist, dass bei der Jagd lineare Strukturen über einen längeren Zeitraum hinweg abpatrouilliert werden. Der Waldtyp und die Strukturierung sind für diese Arten weniger relevant, entscheidend ist vor allem die lokale Insektenverfügbarkeit (KUSCH et al. 2004; MÜLLER et al. 2012). Allerdings sind die höchsten Insektendichten in Mitteleuropa in reich strukturierten, wenig bewirtschafteten Laubwäldern zu finden (DIETZ 2010), so dass dort von einer höheren Habitatqualität auszugehen ist als in Nadelwäldern.

Für die Nymphenfledermaus, die Fransenfledermaus, die Bechsteinfledermaus und das Braune Langohr ist das „gleanen“ die Hauptjagdstrategie. Die Waldstruktur spielt für diese Arten eine wichtige Rolle, sie bevorzugen strukturreiche, vielschichtige Laubwälder. Aber auch diese Arten sind teilweise im Nadelwald anzutreffen (ALBRECHT et al. 2002; TRAPPMANN 2005). Gerade die Fransenfledermaus kommt bis in größere Höhenlagen vor (MESCHÉDE & HAGER 2004), wo der Nadelwaldanteil steigt. Eine besondere Jagdstrategie zeigt das Mausohr. Diese Art ist darauf spezialisiert Beute vom Boden abzulesen. Sie ist daher auf eher lichte Hallenwälder mit freiem Zugang zum Boden angewiesen (RUDOLPH et al. 2004).

Sehr wenig auf den Wald als Jagdhabitat angewiesen sind Arten, die im freien Luftraum entfernt von Strukturen Insektenschwärme ausbeuten. Dies sind insbesondere die beiden Abendsegler-Arten, die Zweifarbfledermaus und die Weißrandfledermaus (DIETZ et al. 2007). Allerdings haben auch für diese Arten Wälder als Lebensraum für die Entwicklung ihrer Nahrungsinsekten eine nicht zu unterschätzende Bedeutung und diese Arten jagen daher auch über dem Wald (MÜLLER et al. 2013).

Die Habitatnutzung kann sich im Jahresverlauf stark verändern. So können zum Beispiel nach Auflösung der Wochenstuben aufgrund des vergrößerten Aktionsradius andere Jagdgebiete aufgesucht werden (DE JONG 1994; SCHORCHT 2002). Es ist naheliegend, dass beispielsweise bei Arten, die Schwärm- und Winterquartiere in Mittelgebirgslagen aufsuchen, auch höher gelegene Wälder als Jagdhabitat an Bedeutung gewinnen. Weiterhin gibt es auch Studien, die zeigen, dass der Wald an sich im Jahresverlauf unterschiedlich bedeutsam ist. So verschieben Wasserfledermäuse in den Rheinauen in Nordbaden im Sommer ihren Jagdschwerpunkt vom Gewässer in den Wald (ARNOLD 1999). Das Mausohr jagt im Frühjahr fast ausschließlich im Wald und verschiebt seine Jagdhabitats im Sommer mehr ins Offenland, wo vor allem abgemähte Wiesen ein reiches Beuteangebot haben (GÜTTINGER 1997; ZAHN et al. 2005).

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Habitatansprüche der verschiedenen Fledermausarten ist in allen Wäldern mit jagenden Fledermäusen zu rechnen. In Wäldern mit großem Struktureichtum und mehrschichtigem Waldaufbau ist aber von einer größeren Artenvielfalt und einer höheren Aktivität auszugehen.

1.3 Beeinträchtigungen von Fledermäusen durch WEA, insbesondere in Wäldern

1.3.1 Rechtlicher Hintergrund

Alle in Deutschland vorkommenden Fledermausarten sind sowohl europarechtlich als auch nach dem deutschen Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) streng geschützt. Grundlage für diesen strengen Schutz ist die Fauna-Flora-Habitat (FFH)-Richtlinie der EU (Richtlinie 92/43/EWG), die bereits im Jahr 1992 verabschiedet wurde und dem Erhalt der natürlichen Lebensräume sowie der wild lebenden Tiere und Pflanzen dient. Durch diese Richtlinie wurde die ebenfalls im Jahr 1992 bei der Umweltkonferenz der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro beschlossene Biodiversitäts-Konvention in Europa umgesetzt. Die Mitgliedsländer der EU wurden dadurch verpflichtet, einerseits bedeutende Lebensräume als Schutzgebiete (FFH-Gebiete) auszuweisen (Artikel 3 der FFH-Richtlinie), zum anderen zahlreiche besonders schützenswerte Arten auch außerhalb dieser speziellen Schutzgebiete durch Artenschutzgesetze vor Beeinträchtigungen zu bewahren (Artikel 12 der FFH-Richtlinie). Die Liste dieser schützenswerten Arten wurde in diesem Zuge geltend für die gesamte Europäische Union im Anhang IV der FFH-Richtlinie festgelegt. Dabei wurde ein besonderer Fokus auf Fledermäuse gelegt, da diese in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts aufgrund von zunehmenden Habitatveränderungen und wohl vor allem auf Grund des verstärkten Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln wie dem Insektizid DDT erhebliche Bestandsrückgänge verzeichneten (DIETZ et al. 2007).

In Deutschland gelten daher für alle Fledermausarten die Zugriffsverbote nach §44 Abs. 1 BNatSchG, die eine direkte Umsetzung des Artikels 12 der europäischen FFH-Richtlinie in die deutsche Rechtsprechung darstellen. Demnach dürfen keine streng geschützten Arten getötet, verletzt oder gefangen werden (Satz 1, Tötungsverbot), sie dürfen während ihrer Fortpflanzungs-, Wanderungs- und Überwinterungszeiten nicht gestört werden (Satz 2, Störungsverbot) und ihre Fortpflanzungs- und Ruhestätten dürfen nicht zerstört oder in ihrer Funktion beeinträchtigt werden (Satz 3, Schutz von Fortpflanzungs- und Ruhestätten). Der Grundstein dafür, dass diese Verbotstatbestände auch bei Infrastrukturprojekten greifen, wurde durch ein viel zitiertes Urteil zur Unechten Karettschildkröte (*Caretta caretta*) in Griechenland gelegt. Dabei wurde durch den Europäischen Gerichtshof (EuGH) geurteilt, dass bereits eine Unterlassung von Maßnahmen zur Vermeidung der Störung der Kolonie und der Zerstörung von Lebensstätten einen Verbotstatbestand darstellt¹. In der Folge setzte sich diese weite Auslegung des Absichtsbegriffs auch in Deutschland durch. Auf Basis verschiedener Fachgutachten sowie Gerichtsurteile hat sich in den letzten Jahren eine Konvention entwickelt, wie diese Verbotstatbestände auszulegen sind (LANA 2010; RUNGE et al. 2010).

Für die artenschutzrechtliche Beurteilung von Windkraftprojekten besonders relevant ist die Auslegung des Tötungsverbots. Grundsätzlich gilt, dass dieses Tötungsverbot individuenbezogen auszulegen ist, das heißt, dass bereits die absichtliche Tötung eines Einzeltiers einer streng geschützten Art einen Verstoß darstellt. Im Rahmen von Infrastrukturprojekten wie z.B. im Straßenbau wurde dieser Individuenbezug aber dahingehend abgeschwächt, dass „unvermeidbare betriebsbedingte Tötungen...als Verwirklichung sozialadäquater Risiken in der Regel nicht unter dieses Verbot“ fallen (LANA 2010). So wurde in einem Urteil bezüglich der Zulässigkeit einer Umgehungsstraße definiert, dass der Tötungstatbestand dann eintritt, wenn „sich das Kollisionsrisiko für die betroffenen Tierarten...in signifikanter Weise erhöht“². Hintergrund dieser Auslegung ist, dass andernfalls jedes größere Infrastrukturprojekt, das für streng geschützte Arten ein Tötungsrisiko darstellt, ein Ausnahmeverfahren nach sich ziehen würde (SCHREIBER 2017). Allerdings stellt diese Formulierung keinen Freifahrtschein dar. Vielmehr ist ausdrücklich darauf hingewiesen, dass dies nur für unvermeidbare

¹ EuGH, Urteil vom 20. 10. 2005 – C 6/04

² BVerwG, Urteil vom 09.07.2008 – 9A 14.07., Rn. 91

Tötungen gilt - dies bedeutet, dass in jedem Fall alle notwendigen und verhältnismäßigen Vermeidungsmaßnahmen zur Reduktion des Tötungsrisikos zu verwirklichen sind (LANA 2010).

Auch die mögliche Beeinträchtigung von Fledermäusen durch das Kollisionsrisiko an Windkraftanlagen wird üblicherweise danach beurteilt, ob mit einer signifikanten Erhöhung des Kollisionsrisikos zu rechnen ist. In den Leitfäden vieler Bundesländer hat sich dabei ein zulässiger Schwellenwert von zwei getöteten Fledermäusen pro Windkraftanlage und Jahr durchgesetzt, wobei hier nicht zwischen einzelnen Arten unterschieden wird (z.B. LAND RHEINLAND-PFALZ 2012; LUBW 2014). An diesem Schwellenwert werden dann die im bundesweiten Forschungsvorhaben RENEBAT entwickelten Abschaltalgorithmen ausgerichtet (BRINKMANN et al. 2011). Dieses Verfahren hat sich derzeit bundesweit bei den meisten Windkraftplanungen durchgesetzt und führt dazu, dass neu errichtete Anlagen größtenteils mit Abschaltungen betrieben werden.

Gerade an Windkraftstandorten im Wald ist auch die Zerstörung von Lebensstätten von Fledermäusen zu berücksichtigen. Dies ist allerdings keine windkraftspezifische Problematik, da Waldflächen auch in anderen Planungen, v. a. im Straßenbau, regelmäßig beansprucht werden. Dementsprechend existieren hierfür bereits klarere Vorgaben, welche Beeinträchtigungen Verbotstatbestände darstellen und welche Vermeidungs- und Ausgleichsmaßnahmen ergriffen werden können. Im engen Sinne tritt dieses Verbot dann ein, wenn tatsächliche Quartiere von Fledermäusen durch das Vorhaben zerstört werden. Aber auch der Verlust von Jagdhabitaten kann dazu führen, dass Quartiere in ihrer Funktion beeinträchtigt werden und somit einen Verbotstatbestand darstellen (LANA 2010). Allerdings wird in §44 Abs. 1 Satz 5 einschränkend darauf hingewiesen, dass der Verbotstatbestand nur eintritt, wenn die ökologische Funktion der von dem Vorhaben betroffenen Fortpflanzungs- oder Ruhestätten im räumlichen Zusammenhang nicht weiter erfüllt wird. Diese Formulierung bietet einiges an Interpretationsspielraum, da Fledermäuse meist zahlreiche Quartiere im Wechsel nutzen. Bei Fledermäusen wird daher der gesamte Waldkomplex, in dem sich die Quartiere befinden, als Lebensstätte definiert (RUNGE et al. 2010). Bei Wegfall von einzelnen Quartieren kann somit argumentiert werden, dass die Funktion im Raum erhalten bleibt, da zahlreiche weitere Quartiere zur Verfügung stehen¹. Da aber der Untersuchungsumfang im Normalfall nicht genügt, um die Quartierzentren so klar einzugrenzen, werden auch bei Wegfall einzelner Quartiere, zumindest wenn diese von Wochenstuben genutzt werden, meist vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen ergriffen.

1.3.2 Kollisionsrisiko

Etwa zu Beginn der Jahrtausendwende wurde mit der Errichtung der ersten großen industriellen Windparks auch rasch deutlich, dass die Windräder eine Gefahr für Fledermäuse darstellen. Vor allem in den USA wurden an zahlreichen Standorten systematische Schlagopfersuchen durchgeführt, die das Ausmaß der Problematik verdeutlichten (JOHNSON et al. 2003; z.B. ARNETT et al. 2005; FIEDLER et al. 2005; JAIN et al. 2006). Auch in Deutschland wurde schon früh auf das Problem aufmerksam gemacht und rasch erste Schlagopfer von Fledermäusen unter Windenergieanlagen gefunden (BACH et al. 1999; TRAPP et al. 2002; BRINKMANN et al. 2006). Im Forschungsvorhaben RENEBAT I wurde erstmalig in Deutschland das Kollisionsrisiko von Fledermäusen an Windenergieanlagen umfassend anhand eines großen Datensatzes untersucht (BRINKMANN et al. 2011). Hochrechnungen der Ergebnisse der Schlagopfernachsuchen ergaben pro WEA im Schnitt eine Zahl von 9,5 toten Fledermäusen im Untersuchungszeitraum von 92 Tagen, wobei sich die Anlagen mit Werten zwischen 0 und 57 Tieren sehr deutlich voneinander unterschieden (NIERMANN et al. 2011b).

¹ BVerwG Urt. v. 18.03.2009 – 9 A 39.07 und BVerwG Urt. v. 13.5.2009 – 9A 73.07

Allerdings treten längst nicht alle Fledermausarten regelmäßig als Schlagopfer unter WEA auf. In erster Linie sind die Arten betroffen, die in der Lage sind im freien Luftraum zu fliegen und zu jagen. In Deutschland sind dies in erster Linie der Abendsegler und die Flughautfledermaus, die vor allem in Nord- und Ostdeutschland stark vertreten sind, und die Zwergfledermaus, die in Süd- und Westdeutschland die Schlagopferlisten anführt (NIERMANN et al. 2011b; DÜRR 2017). Seltenerer Arten wie der Kleinabendsegler, die Breitflügelfledermaus, die Mückenfledermaus, die Nordfledermaus und die Zweifarbfledermaus werden nicht so häufig gefunden, sind aber in ihren Vorkommensgebieten ebenso schlaggefährdet. Auch weitere Arten, beispielsweise Braune und Graue Langohren, werden gelegentlich durch WEA geschlagen, hierbei handelt es sich aber bisher um Ausnahmen.

Es gibt unterschiedliche Theorien dazu, warum die Fledermäuse überhaupt in die Nähe der Rotorblätter gelangen, die sehr ausführlich von CRYAN & BARCLAY (2009) dargestellt wurden. Vermutlich gibt es nicht nur eine richtige Erklärung, sondern zahlreiche unterschiedliche Gründe führen zur Anwesenheit von Fledermäusen in Rotornähe. Zum einen können die Tiere zufällig in den Einflussbereich der Anlagen geraten, wenn sie sich im freien Luftraum aufhalten. Dies betrifft vor allem die Arten, die regelmäßig bei Jagdflügen oder auf dem Zug in solchen Höhen fliegen. Besonders betroffen scheinen ziehende Arten zu sein, möglicherweise, weil sie im Zug ihre Fähigkeit zur Echoortung nur sporadisch einsetzen. Tatsächlich sind die in Nordamerika regelmäßig gefundenen Arten vor allem ziehende Arten (ARNETT et al. 2008). Auch die in Deutschland häufig geschlagenen Arten Abendsegler und Flughautfledermaus gehören zu den ziehenden Arten und durch Isotopenanalysen konnte gezeigt werden, dass es sich bei den geschlagenen Individuen zum Teil um Tiere aus Osteuropa handelt, die sich auf dem Zug befinden (VOIGT et al. 2012; LEHNERT et al. 2014).

Vieles spricht aber auch dafür, dass die Windkraftanlage selbst eine anziehende Wirkung auf Fledermäuse ausübt. So konnte durch Videoanalysen gezeigt werden, dass die Tiere sich zielgerichtet auf die Gondel zubewegen (CRYAN et al. 2014). Ein Grund dafür könnte sein, dass sich Insekten aufgrund der Wärmeabstrahlung des Turms und der Rotorblätter im Nahbereich der Anlagen sammeln (RYDELL et al. 2016). Möglicherweise werden die Strukturen auch als besonders auffällige Landmarken wahrgenommen und nach Quartiermöglichkeiten erkundet. So konnten JAMESON & WILLIS (2014) durch akustische Untersuchungen zeigen, dass hohe anthropogene Strukturen besonders zur Zugzeit im Herbst eine starke Anziehungskraft auf ziehende Arten ausüben, die möglicherweise auf der Suche nach Quartiermöglichkeiten sind. Auch Massenschwärmereignisse von Zwergfledermäusen an Windkraftanlagen im Spätsommer und Herbst weisen darauf hin, dass hier nach potentiellen Quartieren gesucht wird (BEHR & VON HELVERSEN 2006; BEHR et al. 2011d).

Gut untersucht sind inzwischen die zeitlichen und klimatischen Parameter, die zu einer erhöhten Fledermausaktivität in Gondelhöhe und damit zu einem erhöhten Schlagrisiko führen. So zeigten die Erfassungen an insgesamt 70 WEA in ganz Deutschland, dass der Großteil der akustischen Aktivität in den Spätsommer und Herbst fällt und dementsprechend in diesen Zeiträumen auch die meisten Schlagopfer gefunden werden (BEHR et al. 2011d; BEHR et al. 2016c). Zudem erreicht die Aktivität im Normalfall ihren Höhepunkt in der ersten Nachthälfte und fällt zum Ende der Nacht hin deutlich ab (ebd.). Einen erheblichen Einfluss auf die Fledermausaktivität haben auch die Windgeschwindigkeit und die Temperatur. Mit zunehmenden Windstärken lässt die Aktivität deutlich nach, ab Windgeschwindigkeiten zwischen 7 und 8 m/s wird so gut wie keine Aktivität mehr aufgezeichnet (ebd.). Auch niedrige Temperaturen korrelieren mit verringerter Aktivität, ab 10°C ist eine deutliche Abnahme zu beobachten, unter 5°C wird gewöhnlich keine Aktivität mehr aufgezeichnet (ebd.). Diese Zusammenhänge zeigten sich auch bei ähnlichen Untersuchungen in anderen Ländern (ARNETT et al. 2008; BAERWALD & BARCLAY 2011; MATHEWS et al. 2016).

Auf Grundlage der Erkenntnisse zu den Zusammenhängen von Fledermausaktivität mit meteorologischen und zeitlichen Faktoren wurden erste Maßnahmen zur Vermeidung von Kollisionen entwickelt. Zunächst wurden die Anlagen bis zu einer bestimmten Windgeschwindigkeitsschwelle ab einer bestimmten Temperatur abgeschaltet. Bei einer Studie in den USA wurden Windgeschwindigkeiten zwischen 5,0 und 6,5 m/s als Schwelle für den Anlauf der Rotoren verwendet, dadurch konnte die Fledermaus-Mortalität um 44 bis 93% gesenkt werden (ARNETT et al. 2010). Im Forschungsvorhaben RENEBAAT I wurde ein Verfahren entwickelt, um die Informationen zum Auftreten von Fledermausaktivität in Gondelhöhe in einen Betriebsalgorithmus zu integrieren, der bei möglichst geringen Ausfallzeiten einen möglichst umfassenden Fledermausschutz gewährleistet (BEHR et al. 2011c). Dazu wird anhand der Parameter Windgeschwindigkeit, Nachtzeit und Jahreszeit die Fledermausaktivität in einem 10-min Intervall vorhergesagt (BEHR et al. 2011b). Aus der Kombination von Windgeschwindigkeit und Fledermausaktivität wird dann die potentielle Schlagopferzahl errechnet (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011). Wird ein bestimmter Schwellenwert erreicht (vgl. Kapitel 1.3.1), müssen die Anlagen abgeschaltet werden. Der Algorithmus wird anlagenspezifisch je nach Höhe der an der jeweiligen Anlage gemessenen Aktivität geeicht. Ein Test dieses Verfahrens zeigte, dass die Zahl der Schlagopfer damit zuverlässig auf einen zuvor vereinbarten Wert gesenkt werden kann (BEHR et al. 2016b).

Bezüglich des Kollisionsrisikos wurde somit zumindest an Offenland-Standorten ein Wissensstand erreicht, der es ermöglicht, effektive Vermeidungsmaßnahmen einzusetzen und die Anlagen fledermausfreundlich zu betreiben. Anders verhält es sich aber mit den Waldstandorten, die derzeit zunehmend erschlossen werden. Aufgrund der besonderen Bedeutung von Wäldern als Lebensraum für Fledermäuse ist unklar, wie gut sich die bisherigen Erkenntnisse zum Kollisionsrisiko an Offenlandstandorten auf Waldstandorte übertragen lassen. Da Wald von vielen Arten als Quartier- und Jagdhabitat genutzt wird, vielmals sogar fast ausschließlich (vgl. Kapitel 1.2), wird in Wäldern üblicherweise sowohl ein größeres Artenspektrum als auch eine höhere Fledermausaktivität festgestellt als im Offenland. Es ist daher nicht auszuschließen, dass sich die Fledermausaktivität an Windenergieanlagen im Wald deutlich vom Offenland unterscheidet.

Dies könnte zum einen das über dem Wald festgestellte Artenspektrum betreffen. Möglicherweise nutzen über dem Wald weitere Arten den freien Luftraum, die im Offenland überhaupt nicht aufgezeichnet werden. So könnten Arten, die üblicherweise fast ausschließlich im Wald jagen wie beispielsweise zahlreiche *Myotis*-Arten, gelegentlich auch den Bereich über den Baumkronen zur Jagd aufsuchen. Begünstigt werden könnte ein solches Verhalten durch die Struktur des WEA-Turms. Es lässt sich nicht ausschließen, dass dieser auch eigentlich nur strukturgebunden jagende Arten, beispielsweise Langohren, dazu verleitet, in größere Höhen zu fliegen, indem sie sich entlang des Turms sukzessive nach oben schrauben. Es muss daher durch Höhenmessungen an Waldstandorten ohne und mit WEA überprüft werden, welche Arten dort in der Höhe zu erwarten sind. Gegebenenfalls muss die Liste der kollisionsgefährdeten Arten für Waldstandorte danach erheblich erweitert werden.

Aufgrund der höheren Fledermausaktivität in Wäldern ist es zudem möglich, dass auch in Gondelhöhe an Waldstandorten mit einer höheren Fledermausaktivität gerechnet werden muss. Dabei könnten auch widrigere Witterungsbedingungen toleriert werden als im Offenland. Dies würde dazu führen, dass das Kollisionsrisiko an Waldstandorten im Vergleich zum Offenland höher ist und demnach auch höhere Abschaltzeiten erforderlich werden. Auch die pauschalen Abschaltzeiten im ersten Betriebsjahr, die normalerweise derzeit noch ohne Höhenmessungen festgesetzt werden, müssten in diesem Fall für Waldstandorte erhöht werden. Da Waldstandorte aufgrund ihrer schlechteren Erschließbarkeit und ihrer häufig geringeren Windhöflichkeit sich oft an der Grenze der

Rentabilität befinden, könnten solche höheren Abschaltzeiten die Wirtschaftlichkeit einiger Waldanlagen in Frage stellen.

Schließlich muss auch dringend überprüft werden, ob die in RENEBAT I gemessenen Zusammenhänge zwischen Fledermausaktivität und jahreszeitlichen sowie klimatischen Parametern auch für Waldstandorte zutrifft. Dies ist entscheidend dafür, ob die für das Offenland entwickelten Vermeidungsmaßnahmen auch an Waldstandorten wirksam sind. Insbesondere die Nähe von Windkraftstandorten zu Quartieren könnte zu anderen Aktivitätsmustern führen. So könnten z.B. Wochenstubenquartiere oder Paarungsquartiere von Abendsegler oder Kleinabendsegler in Anlagennähe eine veränderte Phänologie bewirken, da die Höhenaktivität vor allem dann auftreten könnte, wenn die Quartiere besetzt sind. Auch die nächtliche Aktivitätsverteilung könnte von nahen Quartieren beeinflusst werden, beispielsweise, wenn an Schwärmquartieren der Großteil der Tiere erst mitten in der Nacht eintrifft. Gegebenenfalls müssen die üblicherweise verwendeten Abschaltalgorithmen an solche besonderen Aktivitätsmuster angepasst werden.

Solange diese Punkte nicht geklärt sind, fällt es schwer zu beurteilen, ob Untersuchungsmethoden und Maßnahmen zur Vermeidung eines erhöhten Kollisionsrisikos, die an Standorten im Offenland erfolgreich verwendet werden, auch im Wald wirksam sind.

1.3.3 Lebensstättenverlust

Lebensstättenverluste sind im Gegensatz zum Kollisionsrisiko eine Problematik, die fast ausschließlich an Waldstandorten auftritt. Hier wird pro Windenergieanlage derzeit etwa eine Waldfläche von 1 ha beansprucht. Hinzu kommt die Verbreiterung oder sogar die Neuanlage von Wegen, wodurch zusätzliche Rodungsflächen entstehen. Durch diese Rodungen können Quartiere baumbewohnender Arten wie der Bechsteinfledermaus und des Braunen Langohrs sowie Jagdhabitats zerstört werden. Eine besondere Beeinträchtigung stellen Quartierverluste für Wochenstubenkolonien dar, die auf ein dichtes Netz geeigneter Quartiere auf engem Raum angewiesen sind (MESCHÉDE & HELLER 2000). Aber auch der Verlust von Paarungsquartieren, die territorial verteidigt werden, sowie von Winterquartieren mit ausreichendem Kälteschutz kann nicht ohne weiteres ausgeglichen werden, da auch diese Quartiere mit großer Wahrscheinlichkeit eine begrenzte Ressource darstellen. Differenzierter zu betrachten ist die Veränderung der Jagdhabitats durch Rodungen. Mit Sicherheit gehen für die Arten, die vorwiegend in dichter Vegetation jagen, geeignete Jagdhabitats verloren. Für Arten, die nur im engen Umfeld um ihre Quartiere jagen, können diese Verluste sogar zu einer Abwertung der Quartiere führen. Je nach Art können sich aber durch das Schlagen von Waldlichtungen auch positive Effekte einstellen. So profitieren Arten, die gerne an Waldkanten jagen, sogar von diesen Maßnahmen (SEGERS & BRODERS 2014). Dies betrifft in Mitteleuropa besonders die Zwergfledermaus, die gerne an Waldkanten anzutreffen ist. Auf der anderen Seite führt dies für einige Arten möglicherweise auch zu einem erhöhten Kollisionsrisiko, wenn die Waldlichtungen mit WEA gezielt aufgesucht werden.

Obwohl Lebensstättenverluste auch in anderen Eingriffsvorhaben regelmäßig auftreten und dementsprechend häufig in Planungen berücksichtigt werden müssen, sind auch diesbezüglich noch zahlreiche Fragen offen, die eine Bewertung häufig erschweren. Relativ gut untersucht ist die Quartier- und Raumnutzung von Wochenstubenkolonien, die eine besondere Sensitivität gegenüber Eingriffen in ihrem Quartiergebiet aufweisen. So ist beispielsweise für viele Arten bekannt, über welche Distanzen Quartiere gewechselt werden und Jagdgebiete aufgesucht werden (z.B. KERTH et al. 2002; FIEDLER et al. 2004; HILLEN et al. 2010). Es fehlen aber Untersuchungen, wie groß die Verluste sein müssen, um die Kolonie tatsächlich negativ zu beeinflussen. An Windkraftstandorten in Mittelgebirgen häufig relevant sind auch Paarungsquartiere, z.B. vom Kleinabendsegler. Diesbezüglich fehlen sogar die grundlegenden Kenntnisse. So wurde die Quartier- und Raumnutzung von Fleder-

mäusen in Paarungsquartiergebieten bisher nicht systematisch untersucht, es ist beispielsweise nicht bekannt, wie häufig und über welche Distanz Paarungsquartiere gewechselt werden. Sowohl die Beurteilung der Relevanz des Eingriffs als auch die Entwicklung von Maßnahmen ist dadurch teilweise nur schwer möglich.

1.4 Ziele der Arbeit

Die vorliegende Doktorarbeit setzt es sich zum Ziel, den Wissensstand zum Umgang mit Fledermäusen an Waldstandorten erheblich zu erweitern. Aus den Ergebnissen werden Hinweise für Erfassungsmethoden und Maßnahmenplanung an Waldstandorten abgeleitet, die auch Eingang in behördliche Empfehlungen finden können und damit zur Standardisierung der Methodik beitragen sollen.

Bisher existieren nur sehr unzureichende und auch unterschiedliche Hinweise der verschiedenen Bundesländer zum Umgang mit Fledermäusen an Waldstandorten. Im ersten Schritt wird in dieser Doktorarbeit ein umfassender Überblick über die derzeit angewendeten Methoden an Waldstandorten gegeben. Dazu werden alle verfügbaren Empfehlungen und Leitfäden ausgewertet und die darin gegebenen Empfehlungen umfassend dargestellt und kritisch diskutiert.

Im zweiten Schritt werden Felderfassungen durchgeführt sowie Daten ausgewertet, um drängende offene Fragen zur Fledermausaktivität an Waldstandorten zu beantworten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Frage des Kollisionsrisikos über Waldstandorten. Während der Lebensstättenverlust auch bei anderen Eingriffsprojekten eine Rolle spielt, ist das Kollisionsrisiko eine Windkraftspezifische Problematik, die angepasster Vermeidungsmaßnahmen bedarf, da hohe Kollisionsraten schnell zu einem Populationsrückgang gefährdeter Fledermausarten führen können. Der Ausbau der Windkraft im Wald verläuft derzeit rasant, ohne dass klar ist, ob die bisher eingesetzten Maßnahmen auch an Waldstandorten ihre Wirkung entfalten. Daher sind Untersuchungen dazu dringend vonnöten. Da die Untersuchungen größtenteils in Wäldern stattfinden, bleibt es aber nicht aus, dass auch bezüglich des Lebensstättenverlusts aus den Ergebnissen einige Hinweise abgeleitet werden können.

Die Untersuchungen sollen zum einen an Standorten stattfinden, an denen Windkraftanlagen im Wald geplant oder bereits errichtet sind. Zum anderen sollen auch gezielt Höhenmessungen an Quartierstandorten nachweislich kollisionsgefährdeter Arten stattfinden.

Folgende Forschungsfragen sollen beantwortet werden:

1. Welches ist der aktuelle Stand in der Planungspraxis bezüglich Windkraftanlagen im Wald?
 - Welche Untersuchungsempfehlungen für Windkraftstandorte im Wald gibt es bereits?
 - Welche Unterschiede gibt es zwischen den Hinweisen der verschiedenen Länder?
 - Welche Wissenslücken gibt es noch?
2. Wie verhält sich die Fledermausaktivität in verschiedenen Messhöhen an Waldstandorten?
 - Gibt es Unterschiede im Artenspektrum und der Phänologie in verschiedenen Messhöhen im und über dem Wald?
 - Wie hängt die gemessene Aktivität von den Witterungsbedingungen ab?

- Kann die Aktivität in der Höhe aus der Aktivität am Boden vorhergesagt werden?
 - Welche Hinweise für Voruntersuchungen können daraus abgeleitet werden?
3. Unterscheidet sich die Fledermausaktivität in Gondelhöhe an Standorten im Wald von Standorten im Offenland?
- Gibt es Hinweise auf systematische Unterschiede im Artenspektrum und in der Höhe Aktivität?
 - Unterscheidet sich die Phänologie?
 - Unterscheiden sich die Ergebnisse zwischen verschiedenen Regionen Deutschlands?
 - Was bedeutet das Ergebnis für die Anwendung von Abschaltalgorithmen?
4. Beeinflusst die Nähe zu Quartieren die Fledermausaktivität in der Höhe über dem Wald?
- Ist an Waldstandorten mit Quartieren kollisionsgefährdeter Arten die Aktivität im Vergleich zu Referenzstandorten erhöht?
 - Treten in Quartiernähe besondere Aktivitätsmuster auf?
 - Können an diesen Standorten überhaupt Windkraftanlagen errichtet werden, welche besonderen Vermeidungsmaßnahmen sind ggf. notwendig?

1.5 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Dissertation besteht aus mehreren Einzelarbeiten, die bereits veröffentlicht wurden. Es handelt sich dabei um in sich abgeschlossene Artikel mit einer Einleitung in das Thema, Methoden und Ergebnissen, Diskussion der Ergebnisse sowie einem Literaturverzeichnis. Am Ende der Arbeit werden die Ergebnisse dieser Artikel zusammenfassend diskutiert. Das Literaturverzeichnis für die übrigen Teile der Dissertation befindet sich ebenfalls am Ende der Gesamtarbeit. Insgesamt drei Artikel (Kapitel 1, 4 und 5) wurden der Veröffentlichung „Fledermäuse und Windkraft im Wald“ aus der Reihe Naturschutz und Biologische Vielfalt des Bundesamts für Naturschutz (BfN) entnommen (HURST et al. 2016e). Es handelt sich dabei um den Endbericht zum F+E-Vorhaben „Untersuchung zur Minderung der Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse, insbesondere im Wald“. Eine weitere Veröffentlichung ist ebenfalls im Rahmen dieses Forschungsvorhabens in der Zeitschrift „Natur und Landschaft“ erschienen (Kapitel 2). Ein weiterer Artikel (Kapitel 3) entstand im Rahmen des Forschungsvorhabens „Wind im Wald“ und erschien in einem Veröffentlichungsband zur Conference on Wind Energy and Wildlife Impacts, die 2015 in Berlin stattfand (KÖPPEL 2017). Da alle Artikel in Zusammenarbeit mit weiteren Autoren entstanden, wird in Kapitel 9 mein jeweiliger Eigenanteil aufgeführt.

In Kapitel 2 „Erfassungsstandards für Fledermäuse bei Windkraftprojekten in Wäldern – Diskussion aktueller Empfehlungen der Bundesländer“ (HURST et al. 2015) wird die erste Forschungsfrage bearbeitet. Dazu werden die im Jahr 2015 aktuellen Leitfäden der Bundesländer hinsichtlich der Hinweise für Waldstandorte ausgewertet. Die im einleitenden Kapitel 1.5 angeschnittene Problematik der uneinheitlichen und auf Unkenntnis beruhenden Empfehlungen wird detailliert dargestellt. Es werden offene Fragen abgeleitet, die dann in den folgenden Kapiteln zum Teil bearbeitet werden.

In Kapitel 3 „Fledermausaktivität in verschiedenen Höhen über dem Wald“ (HURST et al. 2016d) werden die Ergebnisse akustischer Erfassungen an Messtürmen an verschiedenen Waldstandorten dargestellt. Die Fledermausaktivität wird zwischen verschiedenen Messhöhen verglichen und mit Witterungsbedingungen und zeitlichen Parametern korreliert. Die Ergebnisse werden in Hinblick auf

Erfassungsstandards an Waldstandorten diskutiert. Damit wird die zweite Forschungsfrage beantwortet.

Kapitel 4 „Bat activity at nacelle height over forest“ (REERS et al. 2017) beschäftigt sich mit der Fledermausaktivität in Gondelhöhe an Windenergieanlagen im Wald verglichen mit Anlagen im Offenland. Dieser Vergleich ermöglicht eine erste Bewertung, ob die im Offenland entwickelten Abschaltalgorithmen auch an Waldstandorten angewendet werden können. Er dient der Beantwortung der dritten Forschungsfrage.

Bei Kapitel 5 und 6 handelt es sich um Fallstudien in Waldgebieten mit bekannten Fledermausquartieren. In diesen Studien wird die vierte Forschungsfrage behandelt. Kapitel 5 „Aktivität der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) zur Schwärmzeit am Massenwinterquartier Battertfelsen (Baden-Württemberg)“ (HURST et al. 2016c) beschäftigt sich dabei mit der vor allem in Süddeutschland hochgradig kollisionsgefährdeten Zwergfledermaus. In Kapitel 6 „Raumnutzung und Aktivität des Kleinabendseglers (*Nyctalus leisleri*) in einem Paarungs- und Überwinterungsgebiet bei Freiburg (Baden-Württemberg)“ (BRINKMANN et al. 2016) wird der Kleinabendsegler untersucht, der ebenfalls regelmäßig als Schlagopfer gefunden wird, aufgrund seines selteneren Auftretens allerdings bisher nicht ganz so häufig. Es wird diskutiert, welche Konsequenzen das Vorkommen von Quartieren in Standortnähe haben könnte, wobei auf den Einzelfallcharakter der Studien hingewiesen wird.

2 Erfassungsstandards für Fledermäuse bei Windkraftprojekten in Wäldern - Diskussion aktueller Empfehlungen der Bundesländer

Johanna HURST, Sandra BALZER, Martin BIEDERMANN, Christian DIETZ, Markus DIETZ, Elena HÖHNE, Inken KARST, Ruth PETERMANN, Wigbert SCHORCHT, Claude STECK und Robert BRINKMANN

Natur und Landschaft (2015) 90: 157-169.

3 Fledermausaktivität in verschiedenen Höhen über dem Wald

Johanna HURST, Martin BIEDERMANN, Markus DIETZ, Elena KRANNICH, Inken KARST, Fränzi KORNER-NIEVERGELT, Horst SCHAUER-WEISSHAHN, Wigbert SCHORCHT und Robert BRINKMANN

In: Johanna HURST, Martin BIEDERMANN, Christian DIETZ, Markus DIETZ, Inken KARST, Elena KRANNICH, Ruth PETERMANN, Wigbert SCHORCHT und Robert BRINKMANN (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (2016): 157-197.

4 Bat activity at nacelle height over forests

Hendrik REERS, Stefanie HARTMANN, Johanna HURST und Robert BRINKMANN

In: Johann KÖPPEL (Hrsg.): Wind Energy and Wildlife Interactions - Presentations from the CWW 2015. – Cham (2017): 79-98.

5 Aktivität der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) zur Schwärmzeit am Massenwinterquartier Battertfelsen (Baden-Württemberg)

Johanna HURST, Christian DIETZ und Robert BRINKMANN

In: Johanna HURST, Martin BIEDERMANN, Christian DIETZ, Markus DIETZ, Inken KARST, Elena KRANNICH, Ruth PETERMANN, Wigbert SCHORCHT und Robert BRINKMANN (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (2016): 258-277.

6 Raumnutzung und Aktivität des Kleinabendseglers (*Nyctalus leisleri*) in einem Paarungs- und Überwinterungsgebiet bei Freiburg (Baden-Württemberg)

Robert BRINKMANN, Laura KEHRY, Clara KÖHLER, Horst SCHAUER-WEISSHAHN, Wigbert SCHORCHT und Johanna HURST

In: Johanna HURST, Martin BIEDERMANN, Christian DIETZ, Markus DIETZ, Inken KARST, Elena KRANNICH, Ruth PETERMANN, Wigbert SCHORCHT und Robert BRINKMANN (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (2016): 278-326.

7 Zusammenfassung und abschließende Diskussion

Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der Forschungsarbeiten zusammengefasst und diskutiert. Dabei wird insbesondere auf die in Kapitel 1.4 formulierten Forschungsfragen eingegangen:

1. Welches ist der aktuelle Stand in der Planungspraxis bezüglich Windkraftanlagen im Wald?
2. Wie verhält sich die Fledermausaktivität in verschiedenen Messhöhen an Waldstandorten?
3. Unterscheidet sich die Fledermausaktivität in Gondelhöhe an Standorten im Wald von Standorten im Offenland?
4. Beeinflusst die Nähe zu Quartieren die Fledermausaktivität in der Höhe über dem Wald?

7.1 Aktueller Stand der Planungspraxis

Um den aktuellen Stand der Planungspraxis bezüglich Windkraftanlagen im Wald und Fledermäusen darzustellen, wurden Erfassungsempfehlungen der unterschiedlichen Bundesländer ausgewertet und diskutiert (vgl. Kapitel 2). Die Arbeit wurde Ende des Jahres 2014 fertiggestellt und entspricht somit dem damaligen Entwicklungsstand. Aufgrund des schnell fortschreitenden Ausbaus der Windenergie und des laufenden Erkenntnisgewinns, unter anderem auch innerhalb der hier dargestellten Forschungsarbeiten, wurden einige Empfehlungen in den letzten Jahren neu herausgegeben oder aktualisiert, so dass sich derzeit bereits einige Veränderungen und Verbesserungen ergaben (Kapitel 7.6).

Insgesamt sieben Bundesländer hatten zum Zeitpunkt der Recherche Empfehlungen veröffentlicht, die auch Windkraftplanungen in Wäldern umfassten (Baden-Württemberg (BW), Bayern (BY), Brandenburg (BB), Hessen (HE), Nordrhein-Westfalen (NW), Rheinland-Pfalz (RP), Saarland (SL)). Ein weiteres Bundesland (Niedersachsen, NI) empfahl den Bau von WEA nur in Wäldern mit Vorbelastungen. Auch hier lag aber ein Leitfaden vor, der Hinweise für solche Waldstandorte enthielt, und somit in den Auswertungen berücksichtigt wurde.

Es zeigte sich, dass die einzelnen Bundesländer sehr unterschiedliche Anforderungen an die Erfassungstiefe stellten. Dies begann bereits mit der Frage, ob Fledermäuse überhaupt vertieft untersucht werden müssen. So waren in sechs der acht Leitfäden (BW, BY, HE, NW, RP, SL) Voruntersuchungen zur Einschätzung des Kollisionsrisikos nur verpflichtend, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt waren (z.B. bekannte Quartiere in der Umgebung). Als Untersuchungsmethoden wurden Detektorrundgänge und automatische Dauererfassungen sowie Schwärm- und Winterquartierkontrollen empfohlen. Spezifische Hinweise für Waldstandorte, die aufgrund des häufig dichten Kronendachs andere Erfassungsbedingungen aufweisen, gab es nur in drei Leitfäden (HE, NW, RP). Hier wurde darauf hingewiesen, dass Erfassungen in der Höhe über den Baumkronen, z.B. an Messmasten, an Waldstandorten fachlich geeignet sind. Erfassungen von Lebensstätten, die vor allem für Waldstandorte eine Rolle spielen, wurden in immerhin sechs der acht Leitfäden gefordert (BW, HE, NI, NW, RP, SL). Empfohlen wurden dabei die üblichen Untersuchungsmethoden Potentialkartierung, Netzfang, Telemetrie und Detektorbegehungen. Zum Umfang der Untersuchungen wurden aber nur wenige Angaben gemacht.

Bei den Erfassungen nach Errichtung der Anlagen hatte sich bereits zum damaligen Zeitpunkt das im Forschungsvorhaben RENEBA I entwickelte Verfahren (BEHR et al. 2011c) durchgesetzt. So empfahlen sieben der acht Bundesländer (BW; BY, HE, NI, NW, RP, SL) bereits eine standardisierte Gondelerfassung und die Entwicklung von Abschaltalgorithmen nach diesen Vorgaben. Immerhin vier Leitfäden (HE, NW, RP, SL) wiesen darauf hin, dass das Vorgehen an Waldstandorten bisher noch nicht überprüft wurde. Es gab allerdings keine Vorschläge, wie mit dieser Problematik umgegangen werden soll. In einem Bundesland (SL) wurde außerdem für Waldstandorte empfohlen, eine weitere Erfassung am Turm im Bereich der unteren Rotorspitze durchzuführen, um Tiere zu erfassen, die zwar im freien Luftraum, aber nahe am Kronendach fliegen. Schlagopfersuchen wurden nur für risikoträchtige Standorte zur Überprüfung der Vermeidungsmaßnahmen empfohlen, ein Leitfaden erachtete diese generell für zu aufwändig (NW). Bezüglich des Lebensstättenverlusts empfahlen immerhin vier der acht Leitfäden (HE, NW, RP, SL) ein Monitoring der Maßnahmen.

Insgesamt zeigten die Auswertungen, dass zum damaligen Zeitpunkt noch keine Standards existierten, die an die besondere Problematik von Waldstandorten angepasst waren. In einigen Empfehlungen wurden Waldstandorte fast völlig außer Acht gelassen, obwohl Wälder als WEA-Standorte im jeweiligen Bundesland prinzipiell möglich waren (z.B. in Brandenburg). In anderen Empfehlungen wurde zumindest in Ansätzen versucht, den besonderen Bedingungen in Wäldern gerecht zu werden. Aufgrund fehlender Erfahrungen, beispielsweise bei der Anwendung von Abschaltalgorithmen in Wäldern, waren diese Hinweise aber auch wenig konkret (z.B. in Hessen). Selbst bezüglich der Erfassung der Lebensstätten, deren Methoden etabliert sind, enthielten die meisten Empfehlungen keine genaueren Angaben zum Erfassungsumfang, so dass bezüglich der Qualität der erfassten Daten für die Gutachter und Behörden ein sehr großer Spielraum bestand. Angesichts der Vielzahl von WEA, die in einigen Landesteilen auch in hochwertigen Waldlebensräumen errichtet werden, ist das Fehlen geeigneter und detaillierter Erfassungsstandards sehr kritisch zu betrachten.

Die Auswertungen verdeutlichten auch, dass eine Hauptursache für die fehlenden Standards die großen Wissenslücken bezüglich des Auftretens und Verhaltens von Fledermäusen an WEA im Wald waren. Als dringende Forschungsfragen wurden herausgearbeitet:

- Ist im Umfeld um Quartiere kollisionsgefährdeter Waldfledermausarten das Kollisionsrisiko erhöht?
- Welche Untersuchungsmethoden eignen sich für die Prognose des Kollisionsrisikos an zukünftigen Waldstandorten?
- Welchen Effekt hat die Errichtung von WEA auf verschiedene Waldfledermausarten (Anziehung/Störung)?
- Unterscheidet sich die Aktivität an Waldstandorten im Gondelbereich von der im Offenland?
- Kann die Kollisionsgefährdung an WEA die Populationsentwicklung von Fledermäusen negativ beeinflussen?

Neue Erkenntnisse zu diesen Fragestellungen können in die Entwicklung einheitlicher Erfassungsstandards einfließen. Die im Folgenden besprochenen Ergebnisse der weiteren Forschungen im Rahmen dieser Doktorarbeit leisten einen Beitrag zur Beantwortung einiger dieser Forschungsfragen. Aus den Ergebnissen können Empfehlungen für Erfassungsstandards in Wäldern abgeleitet werden (vgl. Kapitel 7.5).

7.2 Fledermausaktivität in verschiedenen Höhen über dem Wald

Als eine wesentliche Wissenslücke wurde identifiziert, dass das Auftreten von Fledermäusen über dem Wald bisher nicht systematisch untersucht wurde. Im Rahmen der vorliegenden Doktorarbeit wurden akustische Erfassungen an sechs Windmessmasten auf Waldlichtungen in Süd- und Südwestdeutschland durchgeführt (vgl. Kapitel 3). An diesen Masten wurden automatische Dauererfassungseinheiten in 5, 50 und 100 m Höhe installiert, die die Fledermausaktivität über eine Saison hinweg aufzeichneten. Eine weitere Messung fand an einem Messturm in einem alten Buchenwald im Nationalpark Hainich in Mitteldeutschland statt, an dem die Geräte in 5, 22 und 44 m angebracht wurden. Dieser Standort lieferte ebenfalls wichtige Erkenntnisse, da sich dieser Messturm mitten im Waldesinneren befand und nur mit der Spitze zwischen den Baumkronen hinausragte. Anhand der Ergebnisse können Aussagen getroffen werden zur Fledermausaktivität in verschiedenen Höhen über dem Wald bezüglich

- Artenspektrum,
- Aktivität im Jahres- und im Nachtverlauf,
- Abhängigkeit von Witterungsbedingungen,
- Möglichkeit der Vorhersage der Aktivität in der Höhe durch Messungen am Boden.

7.2.1 Artenspektrum

Insgesamt wurden an den sechs Messmasten 43.236 Aufnahmen von Fledermäusen aufgezeichnet, der Großteil mit 31.045 in 5 m Höhe, 7.184 in 50 m Höhe und 5.007 in 100 m Höhe. Die Verteilung auf die verschiedenen Messhöhen unterschied sich für die verschiedenen Arten bzw. Artengruppen deutlich. Die Zwergfledermaus war in allen Messhöhen die am häufigsten aufgezeichnete Art. Der Großteil der Aufnahmen wurde aber in Bodennähe aufgezeichnet. Die Nyctaloid-Gruppe, zu der die beiden Abendsegler-Arten, die Zweifarbfledermaus, die Nordfledermaus und die Breitflügelfledermaus zählen, wurde in allen drei Messhöhen regelmäßig aufgezeichnet, am häufigsten in 50 m Höhe. Statistisch war der Unterschied nicht signifikant. Die Rauhautfledermaus wurde in allen drei Messhöhen etwa gleich häufig aufgezeichnet. Die *Myotis*-Gruppe und die *Plecotus*-Gruppe, zu der typische Waldfledermausarten wie die Bechsteinfledermaus und das Braune Langohr gehören, sowie die Mopsfledermaus, wurden fast ausschließlich in Bodennähe aufgezeichnet. Lediglich von der *Myotis*-Gruppe gelangen ein paar vereinzelte Aufnahmen in 50 und 100 m Höhe.

Am Messturm im Nationalpark Hainich wurden insgesamt 36.635 Aufnahmen aufgezeichnet, die sich relativ gleichmäßig auf die verschiedenen Messhöhen verteilten (11.409 in 5 m Höhe, 14.046 in 22 m Höhe und 11.180 in 44 m Höhe). Auch hier war die Zwergfledermaus die am häufigsten aufgezeichnete Art. Sie wurde in 5 und 22m Etwa gleich häufig aufgenommen, in 44 m nahm die Zahl der Aufnahmen ab. Die Rauhautfledermaus und der Abendsegler wurden in 5 m und 22 m eher selten aufgezeichnet, in 44 m stieg die Zahl der Aufnahmen deutlich an. Auch die Nyctaloid-Gruppe wurde in 44 m häufiger aufgezeichnet, der Unterschied war allerdings nicht ganz so deutlich. Die *Myotis*-Gruppe wurde in 5 und 22 m ähnlich häufig aufgezeichnet, anders als bei den Messungen auf den Waldlichtungen gelangen aber auch in 44 m zwar deutlich weniger, aber immer noch zahlreiche Aufnahmen. Die *Plecotus*-Gruppe war extrem selten und wurde fast nur in 5 m aufgezeichnet.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Artenspektrum über dem Wald ähnlich ist wie im Offenland. Mit Zwergfledermaus, Rauhautfledermaus, Nyctaloid-Gruppe sowie Abendsegler wurden in der Höhe fast ausschließlich Arten aufgezeichnet, die auch im Offenland regelmäßig als Schlagopfer unter Windenergieanlagen gefunden werden (NIERMANN et al. 2011b; DÜRR 2017). Die Vermutung, dass an

Waldstandorten möglicherweise weitere Arten regelmäßig in größeren Höhen auftreten könnten, bestätigte sich nicht. Einschränkend muss darauf hingewiesen werden, dass die Arten der *Myotis*- und *Plecotus*-Gruppe sehr leise rufen und deutlich seltener aufgezeichnet werden als beispielsweise die Nyctaloid-Gruppe und die Aktivität daher eher unterschätzt wird (BARATAUD 2015; LINDEMANN et al. 2018). Da alle Messungen mit einer Bodenreferenz stattfanden, ist aber nicht davon auszugehen, dass die fehlende Aktivität dieser Artengruppen in größeren Höhen über dem Wald methodisch bedingt ist, auch wenn sie möglicherweise geringfügig unterschätzt wird.

Die Messungen am kleineren Messturm im Hainich zeigten, dass die Höhe des Abstands vom Kronendach eine wichtige Rolle dabei spielt, welche Arten aktiv sind. Dort befand sich das Messgerät in 44 m zwar oberhalb der Baumkronen, aber mit relativ geringem Abstand. Zudem handelte es sich um einen Standort in einem alten Buchenwald, der ein sehr gutes Nahrungshabitat für Fledermäuse darstellt. Die zahlreichen Aufnahmen aus der *Myotis*-Gruppe weisen darauf hin, dass zumindest in geringen Abständen von den Baumkronen in hochwertigen Wäldern auch typische Waldarten auftreten können, die normalerweise nicht im freien Luftraum jagen. Auch die Aktivität der tatsächlich kollisionsgefährdeten Arten nahm an den Windmessmasten zwischen den Messhöhen 50 und 100 m insgesamt deutlich ab. Dies bestätigt das Ergebnis aus dem Forschungsvorhaben RENEBAT I, wo die Fledermausaktivität mit zunehmender Nabenhöhe abnahm (NIERMANN et al. 2011a). Insgesamt weisen die Ergebnisse darauf hin, dass mit abnehmendem Abstand vom Kronendach sowohl für die kollisionsgefährdeten Arten, als auch bei sehr geringem Abstand für typische Waldarten, die sonst nicht im freien Luftraum fliegen, das Kollisionsrisiko deutlich zunimmt.

7.2.2 Aktivität im Jahres- und im Nachtverlauf

Die Phänologie der Zwergfledermausaktivität unterschied sich deutlich zwischen den verschiedenen Messhöhen. In Bodennähe wurde die Art über die gesamte Saison hinweg regelmäßig aufgezeichnet mit einem Schwerpunkt von Juni bis August. In den Höhen 50 und 100 m wurden Aufnahmen vor allem von Juli bis September aufgezeichnet, in den anderen Monaten war die Aktivität gering. Die Rauhautfledermaus und die Nyctaloid-Gruppe traten dagegen in Bodennähe und in den Höhen 50 und 100 m in ähnlichen Zeiträumen auf. Die Nyctaloid-Gruppe war vor allem zwischen Juni und Oktober aktiv, die Rauhautfledermaus in einem engeren Zeitraum zwischen Ende August und Oktober. Die Aktivitätszeiträume in der Höhe entsprechen aber recht gut der Jahreszeit, in der auch die meisten Schlagopfer unter WEA gefunden werden (NIERMANN et al. 2011b).

Das unterschiedliche Auftreten der verschiedenen Arten(-gruppen) deuten an, dass es verschiedene Gründe dafür gibt, dass die kollisionsgefährdeten Arten in größeren Höhen über dem Wald auftreten. Der Aktivitätsverlauf der Zwergfledermaus zeigt, dass sich diese Art während der gesamten Saison in den Untersuchungsgebieten aufhielt. Über dem Wald trat sie aber erst im späteren Jahresverlauf gehäuft auf. Gründe hierfür könnten das Schwärmverhalten mit dem Auskundschaften neuer Quartiere sein, dass diese Art vor allem im Spätsommer zeigt (BEHR et al. 2011d). Möglicherweise kommt es zu dieser Jahreszeit auch zu Insektenkalamitäten im Bereich der Gondel, die von den Tieren ausgebeutet werden (RYDELL et al. 2016). Die Rauhautfledermaus und einige Arten der Nyctaloid-Gruppe (Abendsegler, Kleinabendsegler und Zweifarbfledermaus) gehören dagegen zu den ziehenden Arten. Die stärkere Saisonalität der Aktivität in allen drei Messhöhen spricht dafür, dass diese Arten tatsächlich auf ihrem Zug durch die Untersuchungsgebiete aufgezeichnet wurden. Hier könnte auch das Flugverhalten während des Zugs das Auftreten in den Höhen erklären (VOIGT et al. 2012). Akustische Messungen allein lassen keine direkten Rückschlüsse zu, welches Verhalten die Tiere in der Höhe an den Tag legen. Weitere Untersuchungen sowohl an Messmasten als auch an Windkraftgondeln wären wünschenswert, um die Gründe für das Auftreten von Fledermäusen in größeren Höhen und im Bereich der Gondel besser zu verstehen und damit auch besser vorhersa-

gen zu können. So könnten mittels akustischer Messungen kombiniert mit Videoaufnahmen analysiert werden, ob die Tiere Jagd- oder Annäherungsverhalten zeigen oder auf einem gerichteten Flug unterwegs sind. Erste Versuche in den USA konnten hierbei deutliche Hinweise für eine gezielte Annäherung erbringen (CRYAN et al. 2014). Durch Insektenfallen in der Höhe könnte die Hypothese der saisonalen Insektenkalamitäten überprüft und mit dem Auftreten von Fledermäusen korreliert werden.

Die Aktivität im Verlauf der Nacht war ebenfalls für die verschiedenen Arten(-gruppen) unterschiedlich. Die Zwergfledermaus war vor allem in der ersten Nachthälfte aktiv. Dieses Verhalten wurde auch bei akustischen Messungen an WEA nachgewiesen (BEHR et al. 2011d). Rauhautfledermaus und Nyctaloid-Gruppe zeigten dagegen ein zweigipfliges Aktivitätsverhalten mit Peaks zu Beginn und zu Ende der Nacht. Dies spricht gegen die Hypothese, dass diese Arten vor allem während des gerichteten Zugs aufgezeichnet wurden. Möglicherweise handelte es sich um Tiere, die in den Untersuchungsgebieten stationierten. Dies könnte eine Besonderheit von Waldgebieten darstellen, da die baumbewohnenden Arten, zu denen die ziehenden Arten Rauhautfledermaus, Abendsegler und Kleinabendsegler gehören (MESCHÉDE & HELLER 2000), hier in Zwischenquartieren übertagen können. Bei den akustischen Messungen an WEA im Offenland trat ein solcher Morgenpeak bisher nicht auf und wird daher auch bei den Abschaltalgorithmen nicht berücksichtigt. Solche abweichenden Muster müssen gegebenenfalls bei der Entwicklung von Abschaltalgorithmen an Waldstandorten beachtet werden.

7.2.3 Abhängigkeit von Witterungsbedingungen

Um den Zusammenhang zwischen Fledermausaktivität und Windgeschwindigkeit zu analysieren, standen nur Winddaten aus 100 m Höhe zur Verfügung. Dies muss bei der Bewertung der Ergebnisse beachtet werden. Es zeigte sich, dass die Fledermausaktivität über dem Wald in 50 und 100 m Höhe mit einer Zunahme der Windgeschwindigkeit deutlich abnimmt. Ab Windgeschwindigkeiten von etwa 7 m/s wurde nahm die relative Zahl der Aufnahmen stark ab, ab 11 m/s wurde so gut wie keine Aktivität mehr aufgezeichnet. Deutliche Unterschiede zwischen den Messhöhen 50 und 100 m waren nicht zu erkennen, obwohl anzunehmen ist, dass die Windgeschwindigkeiten in 50 m Höhe, die ja nicht gemessen wurden, deutlich geringer sind als in 100 m Höhe. In Bodennähe dagegen beeinflusste die Windgeschwindigkeit in 100 m Höhe die Aktivität der Fledermäuse überhaupt nicht. Dies spricht dafür, dass die Fledermäuse nur oberhalb der Baumkronen fliegen, wenn dort geringe bis mäßige Windgeschwindigkeiten herrschen, dann aber auch in verschiedenen Höhen auftreten. Werden die Windgeschwindigkeiten über dem Wald zu hoch, kann aber immer noch an windgeschützten Stellen im Waldesinneren gejagt werden.

Grundsätzlich zeigen diese Messungen, dass sich die Windsensibilität der Fledermäuse über Wäldern ähnlich verhält wie dies bereits von Messungen an Windkraftanlagen im Offenland bekannt ist (ARNETT et al. 2010; BEHR et al. 2011d; MATHEWS et al. 2016). Dies weist darauf hin, dass Abschaltalgorithmen, die sich vor allem an Windgeschwindigkeiten orientieren, auch für WEA im Wald ein geeignetes Mittel zur Vermeidung von Kollisionen sind. Berücksichtigt werden muss allerdings, dass in dieser Studie auch bei mäßigen Windgeschwindigkeiten, zumindest zwischen 6 und 7 m/s, noch verhältnismäßig häufig Aktivität aufgezeichnet wurde. Gerade pauschale Abschaltzeiten im ersten Betriebsjahr werden häufig an Schwellenwerten von 6 m/s ausgerichtet (z.B. LAND RHEINLAND-PFALZ 2012; LUBW 2014). Möglicherweise führt die Rotorbewegung oder die Geräuschentwicklung an den Anlagen zu einer geringeren Aktivität bei höheren Windgeschwindigkeiten als dies an den Messmasten der Fall ist (CRYAN et al. 2014). Es sollte aber z.B. durch Schlagopfersuchen überprüft werden, ob die im Offenland angewendeten Schwellenwerte auch an Waldstandorten ausreichend sind, um ein erhöhtes Kollisionsrisiko vor allem im ersten Jahr zu vermeiden.

Die Abhängigkeit der Fledermausaktivität von der Temperatur zeigte die bereits von vielen Studien bekannten Muster (ARNETT et al. 2008; BEHR et al. 2011d; MATHEWS et al. 2016). Besonders die Zwergfledermaus sowie die Nyctaloid-Gruppe bevorzugten wärmere Temperaturen ab 10°C, darunter waren die Tiere seltener aktiv. Diese Abhängigkeit zeigte sich in allen drei Messhöhen. Ein etwas anderes Bild ergab sich für die Raufhautfledermaus. Aufgrund ihrer erhöhten Aktivität bis in den Oktober hinein wurde diese Art zumindest in Bodennähe auch bei Temperaturen zwischen 5 und 10°C verhältnismäßig häufig aufgenommen. Dies lässt dich aber wohl vor allem auf die unterschiedlichen Aktivitätsschwerpunkte der Arten zurückführen, es ist nicht unbedingt davon auszugehen, dass die Raufhautfledermaus kältetoleranter ist als die übrigen Arten (REICHENBACH et al. 2015). Grundsätzlich zeigen die Messungen, dass auch an Waldstandorten Temperaturschwellenwerte sinnvoll sind, da bei tiefen Temperaturen eine Abschaltung der Anlagen auch bei niedrigen Windgeschwindigkeiten nicht notwendig ist.

7.2.4 Vorhersage der Aktivität in der Höhe durch Messungen am Boden

Vor allem für die Untersuchungen vor Errichtung der Windkraftanlagen ist die Frage entscheidend, ob es überhaupt möglich ist, durch akustische Erfassungen in Bodennähe Aussagen über die zu erwartende Aktivität in der Höhe zu treffen. Bereits im Forschungsvorhaben RENEBAT I konnte gezeigt werden, dass sich die Aktivität in Bodennähe an WEA sehr stark von der in Gondelhöhe unterscheidet (BEHR et al. 2011d). Anhand der an den Windmessmasten an Waldstandorten erhobenen Daten wurde nun überprüft, ob in Nächten mit Aktivität am Boden auch Aktivität in der Höhe auftrat. Dazu wurde nur der Zeitraum August und September verwendet, in dem regelmäßig Aktivität in der Höhe gemessen wurde. Bei der Zwergfledermaus wurde in 70 % der Nächte mit Aktivität in Bodennähe auch Aktivität in der Höhe (in 50 oder 100 m) festgestellt. Die Windgeschwindigkeit war dabei ein guter Indikator für die Vorhersage, das heißt, bei geringen Windgeschwindigkeiten war es sehr wahrscheinlich, dass bei Aktivität in 5 m auch Aktivität in 50 oder 100 m gemessen wurde. Für die anderen Arten(-gruppen) Raufhautfledermaus und Nyctaloid-Gruppe ergab sich ein solcher Zusammenhang aber nicht. Es war im Gegenteil sogar häufig der Fall, dass entweder nur Aktivität in Bodennähe oder in der Höhe in 50 oder 100 m auftrat.

Dieses Ergebnis zeigt, dass quantitative Aussagen über die zu erwartende Fledermausaktivität in der Höhe anhand der Untersuchungen in Bodennähe nur schwer möglich sind. Die Ergebnisse lassen vor allem qualitative Aussagen zu, welche Arten in Gondelhöhe zu erwarten sind, da die kollisionsgefährdeten Arten jeweils sowohl in Bodennähe als auch in größeren Höhen aufgezeichnet wurden. Voraussetzung dafür ist, dass Erfassungsgeräte nicht in zu dichten Wäldern im Waldesinneren aufgestellt werden, da die Arten des freien Luftraums hierhin möglicherweise nicht vordringen (vgl. Messungen im Hainich). Bereits die Phänologie lässt sich aus den Bodenmessungen nur eingeschränkt vorhersagen. Die Zwergfledermaus zeigte stark unterschiedliche Aktivitätsmuster in den verschiedenen Höhen im Jahresverlauf. Für Raufhautfledermaus und Nyctaloid-Gruppe gab es keine so deutlichen Unterschiede, aber auch dies könnte sich in Untersuchungsgebieten mit Wochenstuben dieser Arten möglicherweise anders darstellen. Akustische Erfassungen am Boden sind somit zwar geeignet, ein Kollisionsrisiko vorherzusagen und damit die grundsätzliche Notwendigkeit von Abschaltungen festzustellen, eine genauere Justierung der notwendigen Abschaltzeiten darüber hinaus ist aber nur schwer möglich.

7.3 Vergleich der Fledermausaktivität in Gondelhöhe an Waldstandorten und im Offenland

Die akustischen Erfassungen an den Windmessmasten auf Waldlichtungen weisen darauf hin, dass sich die Fledermausaktivität in deutlichem Abstand vom Kronendach bezüglich Artenspektrum, Phänologie und Abhängigkeit von Witterungsbedingungen nicht grundsätzlich von Standorten im Offenland unterscheidet. Nicht berücksichtigt wurden dabei Standortfaktoren, die durch die Anlagen selbst geschaffen werden. So könnte beispielsweise die auffällige Struktur des WEA-Turms, die eine viel deutlichere Landmarke darstellt als ein Windmessmast, einen anlockenden Effekt auf einige Fledermausarten haben (JAMESON & WILLIS 2014). Da sich alle Standorte in Südwest- und Süddeutschland befanden, wurden außerdem mögliche regionale Unterschiede innerhalb Deutschlands, die sich durch Unterschiede bei den vorkommenden Arten ergeben könnten, nicht berücksichtigt. Um die Unterschiede zwischen WEA-Standorten im Wald und im Offenland genauer zu untersuchen, wurde daher ein großer Datensatz aus akustischen Erfassungen an WEA in ganz Deutschland gesammelt und ausgewertet (vgl. Kapitel 4). Dieser Datensatz beinhaltete insgesamt 193 Erfassungsjahre von 130 verschiedenen Anlagen aus den Jahren 2008 bis 2014 (teilweise wurden diese über mehrere Jahre hinweg untersucht). Aus dem Offenland lagen 106 Erfassungsjahre vor, von Waldstandorten 87. Mit diesem sehr umfassenden Datensatz konnte untersucht werden,

- wie sich das Artenspektrum zwischen Wald und Offenland im Bereich der WEA-Gondel unterscheidet,
- wie sich die Phänologie zwischen Wald und Offenland unterscheidet,
- ob es Unterschiede in den vier geografischen Regionen West-, Nord-, Ost- und Süddeutschland gibt.

7.3.1 Unterschiede im Artenspektrum zwischen Wald- und Offenlandstandorten

In dieser Studie war sowohl im Wald als auch im Offenland die Nyctaloid-Gruppe die dominierende Artengruppe, der prozentuale Anteil an der Gesamtaktivität war mit 49% im Wald etwas geringer als im Offenland mit 63%. Die Zwergfledermaus wurde in beiden Habitaten deutlich seltener aufgezeichnet, im Wald mit 27 % Anteil an der Gesamtaktivität allerdings tendenziell häufiger als im Offenland mit 18 %. An dritter Stelle folgte jeweils die Rauhautfledermaus mit 14 % im Offenland und 12 % im Wald. Die beiden Artengruppen *Myotis* und *Plecotus* mit den typischen waldbewohnenden Gleanern wurde auch in Gondelhöhe an WEA sowohl im Offenland als auch an Waldstandorten nur äußerst selten aufgezeichnet.

Die Analyse der regionalen Effekte zeigte, dass die Nyctaloid-Gruppe zwar überall am häufigsten aufgezeichnet wird, im Osten und Norden aber noch einen deutlich höheren Anteil an der Gesamtaktivität aufweist als im Süden und Westen. Die Rauhautfledermaus wurde dagegen im Osten und Norden Deutschlands häufiger aufgezeichnet als die Zwergfledermaus, für die Zwergfledermaus verhielt es sich anders herum. Da Waldstandorte im Süden und Westen häufiger vertreten waren als im Norden und Osten konnte nicht ausgeschlossen werden, dass sich geografische Effekte und Effekte des Standorts Wald oder Offenland gegenseitig verdeckten. Es wurden daher zusätzlich mixed effect models gerechnet, die zeigten, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen Offenland und Waldstandorten bezüglich der drei dominanten Arten(-gruppen) gibt.

Die Ergebnisse der Messungen an den WEA bestätigen somit die Ergebnisse der Messungen an den Windmessmasten. Auch an Waldstandorten sind vor allem die Arten häufig in Gondelhöhe anzutreffen und damit kollisionsgefährdet, die auch im Offenland regelmäßig als Schlagopfer gefunden werden, die Nyctaloid-Gruppe, die Zwergfledermaus und die Rauhautfledermaus (NIERMANN et al.

2011b; DÜRR 2017). Auffällig ist die Dominanz der Nyctaloid-Gruppe im Unterschied zu den Messungen an Windmessmasten, wo in allen Messhöhen die Zwergfledermaus mit Abstand am häufigsten aufgezeichnet wurde. Es ist möglich, dass hier noch kleinräumigere geografische Unterschiede zum Tragen kommen, die in der groben Unterteilung in vier Regionen nicht dargestellt werden können. So befanden sich drei der sechs Messmasten in höheren Regionen des Schwarzwalds. Eine Analyse akustischer Daten, die in Bodennähe erhoben wurden, zeigte, dass die Nyctaloid-Gruppe mit zunehmender Höhenlage deutlich seltener aufgezeichnet wird (HURST et al. 2016b). Dies könnte eine Erklärung für die starke Dominanz der Zwergfledermaus an den Windmessmasten sein. Es kann aber auch nicht ausgeschlossen werden, dass die unterschiedlichen Strukturen verschieden attraktiv für die beiden Arten(-gruppen) sind. In jedem Fall zeigen die großen geografischen Unterschiede, dass die geografische Position für das Schlagrisiko der verschiedenen Arten(-gruppen) eine wichtigere Rolle zu spielen scheint als das umgebende Habitat.

Auch in Gondelhöhe an WEA ergaben sich außerdem keine Hinweise darauf, dass an WEA-Standorten im Wald weitere Arten regelmäßig kollisionsgefährdet sein könnten, die bisher nicht berücksichtigt wurden. Wenige Nachweise sowohl der *Plecotus*-als auch der *Myotis*-Gruppe zeigen, dass vereinzelt Schlagopfer nicht völlig ausgeschlossen werden können. Dies gilt aber gleichermaßen für Offenland- und Waldstandorte. Auch die immer wieder aktualisierte Schlagopferliste, in der alle bekannt gewordenen Schlagopfer in Deutschland und Europa aufgeführt werden, bestätigt dies (DÜRR 2017). Bei der Interpretation der Ergebnisse ist wieder zu berücksichtigen, dass die beiden Artengruppen zu den leise rufenden Arten gehören (BARATAUD 2015) und der Rotorbereich der Anlagen durch Detektoren in Gondelhöhe nicht vollständig abgedeckt wird (BEHR et al. 2011a; LINDEMANN et al. 2018). Es lässt sich also nicht ausschließen, dass gerade an den neuen Anlagen mit immer größeren Rotorblättern diese Arten im unteren Rotorbereich öfter auftreten und somit auch zunehmend kollisionsgefährdet sind.

7.3.2 Unterschiede in der Phänologie zwischen Wald und Offenland

Sowohl im Offenland als auch im Wald wurde für alle in Gondelhöhe regelmäßig aufgezeichneten Arten(-gruppen) ein Aktivitätsmaximum im Spätsommer und im Frühherbst zwischen Juli und September festgestellt. In diesem Zeitraum wurde etwa in 5% aller 10-min-Intervalle Fledermausaktivität aufgezeichnet. In den übrigen Monaten waren Fledermäuse nur in durchschnittlich 1% aller 10-min-Intervalle aktiv. Es ergaben sich geringfügige Unterschiede im exakten Zeitraum der höchsten Aktivität für die einzelnen Arten(-gruppen). So nahm die Aktivität der Nyctaloid-Gruppe und der Zwergfledermaus bereits im Juli deutlich zu und ließ im September bereits wieder nach. Die Rauhautfledermaus dagegen wurde erst im August deutlich häufiger aufgezeichnet und war auch im September noch regelmäßig aktiv. Insgesamt zeigte sich eine starke Varianz zwischen einzelnen Standorten auch innerhalb eines Habitattyps, systematische Unterschiede zwischen Wald und Offenland ergaben sich nicht. Auch bezüglich der Phänologie waren stattdessen regionale Unterschiede deutlich zu erkennen. So traten im Süden die höchsten Aktivitätswerte erst im September auf. Besonders bei der Rauhautfledermaus wird deutlich, dass sich die Aktivität vom August in den September vom Norden und Osten nach Süden und Westen verschiebt.

Somit konnten die Ergebnisse zur Phänologie in Gondelhöhe die Ergebnisse der Messungen an den Windmessmasten weitestgehend bestätigen. Auch hier zeigten die Nyctaloid-Gruppe und die Zwergfledermaus ein früheres Aktivitätsmaximum als die Rauhautfledermaus, was durch die Lage der Messmasten in Süd- und Westdeutschland zu erklären ist. Es wurde durch beide Erfassungen deutlich, dass an Waldstandorten in größeren Höhen keine grundlegend anderen Aktivitätsmuster über das Jahr hinweg zu erwarten sind als dies im Offenland der Fall ist. Dies bedeutet, dass keine grundsätzlichen Bedenken bestehen, die in RENEBAT I entwickelten Abschaltalgorithmen nach BEHR

et al. (2011c) auch an Waldstandorten einzusetzen. Zu berücksichtigen ist aber die große Varianz, die zwischen einzelnen Standorten beobachtet wurde. Es lässt sich also nicht ausschließen, dass weitere Standortparameter, beispielsweise die Nähe zu Quartieren oder die Eignung des Waldbestands als Jagdhabitat für Fledermäuse zu abweichenden Aktivitätsmustern führen können. Zur Beurteilung einzelner Standorte sind daher Untersuchungen vor Ort unerlässlich, um die Funktion der Maßnahmen zu überprüfen und ggf. auch anzupassen.

7.4 Fledermausaktivität in der Nähe von Quartieren

Viele Fledermausarten, die Baumhöhlen bewohnen, suchen sich ihre Quartiere fast ausschließlich in geschlossenen Waldgebieten. Auch Schwärmquartiere an Höhlen, zu denen sich zahlreiche Arten im Spätsommer in großen Individuenzahlen versammeln, befinden sich häufig in den bewaldeten Mittelgebirgslagen in Mittel- und Süddeutschland. Es ist daher zu erwarten, dass sich bei der Vielzahl von WEA, die mittlerweile an Waldstandorten errichtet werden, auch einige in unmittelbarer Nähe solcher Quartiere auch von kollisionsgefährdeten Arten befinden. Dies könnte zu ungewöhnlich hohen Aktivitäten und auch zu außergewöhnlichen Aktivitätsmustern führen, die eine Anpassung der üblicherweise angewendeten Maßnahme erforderlich machen. Bei den Messungen an Windmessmasten und der Auswertung der Daten von akustischen Messungen an WEA wurden solche Sonderstandorte allerdings nicht berücksichtigt bzw. waren nicht bekannt. Es wurden daher zusätzlich zwei Fallstudien an bekannten Quartierstandorten durchgeführt, nämlich an einem Schwärmquartier der Zwergfledermaus mit bis zu 1000 überwinternden Individuen (Kapitel 5) und in einem Paarungs- und Überwinterungsgebiet des Kleinabendseglers (Kapitel 6). Diese Untersuchungen dienten dazu, erste Hinweise zu bekommen für

- die Höhe der Aktivität an Quartieren im Vergleich zu Referenzstandorten,
- abweichende Aktivitätsmuster an Quartieren.

7.4.1 Höhe der Aktivität an Quartieren

In beiden Fallstudien wurde untersucht, ob die Aktivität im Bereich der Quartiere sowohl in Bodennähe als auch über dem Wald erhöht ist. Dazu wurden im Falle des Schwärmquartiers der Zwergfledermaus Referenzuntersuchungen an ähnlichen Waldstandorten ohne Schwärmquartier in der weiteren Umgebung durchgeführt. In jeweils 5 Nächten wurde am Schwärmquartier und den Referenzstandorten die Aktivität mittels eines Hubsteigers in ca. 30 m und damit oberhalb der Baumkronen gemessen. Ein weiteres Erfassungsgerät wurde in Bodennähe installiert. Unterschiede zwischen den Standorten konnten hierbei nicht festgestellt werden, die Aktivität war an allen untersuchten Standorten hoch. Allerdings wurde ähnlich wie an den Windmessmasten in Bodennähe jeweils deutlich mehr Aktivität aufgezeichnet als über den Baumkronen. Darüber hinaus wurden im Umfeld um das Schwärmquartier in Entfernungen bis zu 1 km in 10 Nächten 10 weitere Erfassungsgeräte aufgestellt, um zu testen, ob sich die Aktivität am Schwärmquartier konzentriert. Dabei zeigte sich, dass die Entfernung keinen Einfluss auf die Aktivität der Zwergfledermaus hat, auch bei dieser Untersuchung erwies sich die Aktivität im gesamten Umfeld als sehr hoch.

Im Paarungs- und Überwinterungsgebiet des Kleinabendseglers wurden ganzjährige akustische Dauererfassungen durchgeführt. Dazu wurden sieben Erfassungsgeräte gegenüber von regelmäßig genutzten Fledermauskästen installiert. Zur Erfassung der Höhenaktivität wurde an drei besonders hohen Bäumen im Kronenbereich eine Stange mit Mikrofon befestigt. Ein weiteres Mikrofon zeichnete jeweils die Aktivität in Bodennähe auf. Hier wurden keine Referenzstandorte beprobt. Allerdings konnte durch regelmäßige Kastenkontrollen überprüft werden, ob Tiere im Gebiet anwesend

sind. So wurde getestet, ob die Anwesenheit der Tiere die gemessene Aktivität beeinflusst. Kleinabendsegler wurden in den Kästen vor allem zur Paarungszeit und Überwinterung zwischen August und März vorgefunden. In der übrigen Zeit waren nur wenige Tiere anwesend. Die gemessene Aktivität im Bereich der Kästen spiegelte dies nicht wider. Echoortungsrufe wurden hier durchgehend von April bis Oktober aufgezeichnet. Lediglich zu Beginn der Paarungszeit im August war ein Aktivitätshöhepunkt zu erkennen. Dieser fiel zusammen mit einem sehr deutlichen Aktivitätshöhepunkt im August bei Analyse der Sozialrufe. Bei den Messungen an den Bäumen ergab sich eine deutlich höhere Aktivität oberhalb der Baumkronen als in Bodennähe. Hier zeigte sich außerdem ein extremer Aktivitätspeak im August, der mit dem Peak der Sozialrufe im Bereich der Kästen zusammenfiel. Sozialrufe wurden in der Höhe nur selten aufgezeichnet.

Die beiden Fallstudien erbrachten unterschiedliche Ergebnisse bezüglich der Höhe der Aktivität. Am Schwärmquartier der Zwergfledermaus konnte keine erhöhte Aktivität über den Baumkronen festgestellt werden, obwohl dort nachweislich starke Schwärmaktivität stattfand. Somit wäre an diesem Standort nicht von einem erhöhten Kollisionsrisiko im Vergleich von ähnlichen Standorten in der Umgebung auszugehen. Allerdings wurde generell eine recht hohe Aktivität der Zwergfledermaus gemessen, was das Ergebnis der Messungen an den Windmessmasten widerspiegelt, wo die Zwergfledermaus auch in größeren Höhen die am häufigsten aufgezeichnete Art war. Es ist somit zumindest in Süddeutschland generell von einem hohen Kollisionsrisiko für die Zwergfledermaus auszugehen. Zudem ist zu bedenken, dass möglicherweise an anderen Schwärmquartieren andere Ergebnisse zu erwarten wären. Das hier untersuchte Schwärmquartier am Battert liegt auf einer deutlichen Anhöhe im Bereich der Vorbergzone des Schwarzwalds. Tiere, die aus der Rheinebene hierher zufliegen, haben möglicherweise allein aufgrund des Höhenunterschieds eine niedrigere Flughöhe. Bei einer anderen Lage des Schwärmquartiers könnte möglicherweise auch eine größere Höhenaktivität auftreten.

Im Paarungsgebiet der Kleinabendsegler zeigte sich ein deutlicher Aktivitätspeak im August, der mit dem Beginn der Paarungssaison zusammenfiel. Dieser Peak fällt auch im Vergleich zu den Messungen an den Windmessmasten so deutlich aus, dass ein Zusammenhang mit den Paarungsquartieren naheliegend ist. Dies ist als Hinweis zu werten, dass das Paarungsgeschehen in der Nähe der Quartiere tatsächlich zu einer erhöhten Aktivität oberhalb der Baumkronen führen kann, die ein erhöhtes Kollisionsrisiko im Vergleich zu anderen Standorten mit sich bringt. Möglicherweise handelt es sich hierbei um weibliche Tiere, die von den zeitgleich an den Quartieren geäußerten Balzrufen der Männchen angelockt werden. Genetische Analysen zeigten, dass es sich bei den Individuen im Paarungsgebiet um ziehende Tiere handelt (KOHLEN et al. 2016), so dass ein erhöhtes Kollisionsrisiko nicht nur lokale Populationen betreffen würde. Auch für weitere Arten konnte bereits gezeigt werden, dass nicht nur lokale Populationen betroffen sind, sondern auch ziehende Tiere durch die Anlagen geschlagen werden (VOIGT et al. 2012; LEHNERT et al. 2014). Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass in der Nähe von Paarungsquartieren zur Paarungszeit besonders strikte Abschaltzeiten festgelegt werden sollten oder auf den Bau von Anlagen verzichtet werden sollte.

Grundsätzlich gilt, dass sich die Frage, ob in Quartiernähe mit einer höheren Aktivität als an anderen Standorten zu rechnen ist, nicht pauschal beantworten lässt. Es ist davon auszugehen, dass hier sowohl art-als auch standortspezifische sowie geografische Parameter eine entscheidende Bedeutung haben. So ist beispielsweise im Falle des Kleinabendseglers davon auszugehen, dass der hier festgestellte Aktivitätspeak im August an nördlich gelegeneren Standorten auch früher auftreten kann (OHLENDORF & OHLENDORF 1998; SCHORCHT 2005). Prinzipiell ist es sinnvoll, wenn Quartiere kollisionsgefährdeter Arten in Standortnähe gefunden werden, zunächst von einem erhöhten Risiko auszugehen. Es empfiehlt sich in diesem Fall immer, detaillierte Untersuchungen, wie die hier be-

sprochenen, durchzuführen, um passende Maßnahmen zu entwickeln, falls aufgrund der Quartiernähe nicht sowieso auf den Bau der Anlagen verzichtet wird.

7.4.2 Aktivitätsmuster an Quartieren

Wie die Messungen an den Windmessmasten und WEA gezeigt haben, tritt eine erhöhte Fledermausaktivität im Normalfall zwischen Juli und September und vor allem in der ersten Nachthälfte auf (Kapitel 3 und 4). Auch im Forschungsvorhaben RENEBAT I ergaben sich diese Aktivitätsmuster (BEHR et al. 2011d). Daran orientieren sich auch die dort entwickelten Abschaltalgorithmen, die inzwischen deutschlandweit standardisiert eingesetzt werden (vgl. Kapitel 2). Abweichungen von diesen Mustern können dazu führen, dass die Abschaltalgorithmen nicht mehr wie erwartet funktionieren (BEHR & RUDOLPH 2013). Im Umfeld um Quartiere sind Abweichungen aber sehr wahrscheinlich, da sich die Tiere hier nicht nur zur Jagd aufhalten, sondern beispielsweise die Quartiere nachts zum Schwärmen aufsuchen oder am Morgen dorthin zum Übertagen zurückkehren. Es kann daher sein, dass die nächtliche Aktivitätsverteilung auch in Gondelhöhe hier von der Norm abweicht. Auch die Phänologie kann gerade in Wochenstubegebieten anders aussehen, in der Nähe solcher Quartiere wurde aber in der vorliegenden Arbeit keine Untersuchung durchgeführt.

Tatsächlich ergaben sich bezüglich der nächtlichen Aktivitätsmuster interessante Ergebnisse. Am Schwärmquartier der Zwergfledermaus nahm die Aktivität in Bodennähe erst ab 23:00 deutlich zu. Bis 3:00 wurde dort regelmäßig Aktivität aufgezeichnet. Dies unterschied sich deutlich von den Referenzstandorten, wo der Aktivitätspeak bereits kurz nach Sonnenuntergang verzeichnet wurde. Ähnlich verhielt sich die nächtliche Aktivität im Paarungsgebiet des Kleinabendseglers. Die Aktivität in der Höhe über den Baumkronen, die größtenteils im August aufgezeichnet wurde, fand verstärkt in der zweiten Nachthälfte statt. Diese beiden Ergebnisse weichen somit deutlich von den üblicherweise gemessenen Aktivitätsmustern ab. Dies ist vermutlich durch die Schwärm- bzw. Paarungsaktivität an den jeweiligen Quartieren zu erklären. So fliegen Zwergfledermäuse ihre traditionellen Schwärmquartiere aus größeren Entfernungen und nutzen dabei die ersten Nachtstunden zur Jagd (SIMON et al. 2004). Sie sind somit erst spät mit größeren Individuenzahlen am Quartier anwesend. Bei den Kleinabendseglern konnte durch Telemetrie einiger Männchen gezeigt werden, dass diese in der ersten Nachthälfte Jagdgebiete aufsuchen und erst in der zweiten Nachthälfte verstärkt an ihren Quartieren balzen (Kapitel 6). Dies könnte eine Erklärung für den ungewöhnlichen Aktivitätspeak auch über dem Wald in der zweiten Nachthälfte sein. Die Daten wurden für die Zwergfledermaus in Bodennähe und für den Kleinabendsegler in relativ geringem Abstand von der Waldoberkante aufgezeichnet. Es wäre in Zukunft zu prüfen, ob sich diese Muster auch in größeren Höhen im Bereich der Gondel moderner WEA widerspiegeln. Die Ergebnisse zeigen aber, dass der Aktivitätsverlauf an Waldstandorten genauer überprüft werden muss.

Die Abschaltalgorithmen aus RENEBAT I sehen gemäß dem üblicherweise gemessenen Aktivitätsmuster für die erste Nachthälfte höhere Schwellenwerte für Abschaltungen vor als für die zweite Nachthälfte (BEHR et al. 2011c). Die Ergebnisse der Messungen an den Quartieren verdeutlichen, dass diese Abschaltungen in Quartiernähe möglicherweise nicht passend sind, um das Kollisionsrisiko ausreichend zu mindern. In der Nähe der hier untersuchten Quartiere wäre es notwendig, auch zu späteren Nachtzeiten höhere Schwellenwerte für die Abschaltungen festzulegen. Es empfiehlt sich daher im Einzelfall, die Aktivitätsmuster detailliert zu untersuchen und Abschaltungen in den Zeiträumen hoher Aktivität entsprechend anzupassen, sofern nicht vollständig auf die Anlagen in Quartiernähe verzichtet werden kann.

7.5 Empfehlungen für die Untersuchung von Fledermäusen an Waldstandorten

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen dieser Doktorarbeit können zahlreiche Hinweise abgeleitet werden, wie Windenergieanlagen an Waldstandorten fledermausfreundlich geplant werden können, welche Untersuchungen durchgeführt werden sollten und wie standortspezifische Maßnahmen entwickelt werden können. Im Folgenden werden diese Empfehlungen im Überblick zusammengefasst.

7.5.1 Standortplanung und Voruntersuchungen zur Vorhersage des Kollisionsrisikos

Grundsätzlich muss an dieser Stelle zunächst noch einmal betont werden, dass es keine Standorte gibt, an denen nicht mit Fledermausaktivität gerechnet werden muss. Welche Arten gehäuft aktiv sind hängt vor allem von der geografischen Lage ab. So sind in Süddeutschland gerade in den hohen Mittelgebirgslagen, die besonders windhöffig sind, hohe Aktivitäten der Zwergfledermaus zu erwarten, in Nord- und Ostdeutschland dominiert die Nyctaloid-Gruppe (Kapitel 4). Ein Kollisionsrisiko aber ist immer gegeben. Der Verzicht auf Voruntersuchungen, wie er gemäß einigen Leitfäden noch möglich ist (z.B. BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM 2012), ist daher an keinem Standort gerechtfertigt.

Bei der Planung von Windenergieanlagen an Waldstandorten sollten bereits im Vorfeld einige Punkte beachtet werden, um ein sehr hohes Kollisionsrisiko auszuschließen. Die vorliegenden Untersuchungen zeigten, dass sich Artenspektrum und Fledermausaktivität in größerem Abstand vom Kronendach nicht vom Offenland unterscheiden und es somit keine Hinweise auf ein höheres Kollisionsrisiko an Waldstandorten gibt. Allerdings nahm die Aktivität mit zunehmender Höhe deutlich ab. Knapp über den Baumkronen wurden zudem noch Arten aufgezeichnet, die normalerweise in Gondelhöhe nicht auftreten (Kapitel 3). Um ein hohes Kollisionsrisiko zu vermeiden, müssen daher die Anlagen an Waldstandorten ausreichend hoch geplant werden. Es empfiehlt sich einen Abstand von mindestens 50 m zwischen unterer Rotor spitze und Kronendach einzuhalten.

Weiterhin ist es empfehlenswert, Standorte, an denen mit einer sehr hohen Fledermausaktivität und großen Individuenzahlen gerechnet werden muss, von vornherein nicht in die engere Planung aufzunehmen. Auch wenn die Untersuchungen an den Quartierstandorten nicht eindeutig auf ein stark erhöhtes Kollisionsrisiko hinwiesen, sollte dennoch bei Kenntnis solcher Quartiere im Vorfeld bzw. durch die Voruntersuchungen auf die Planung von WEA in unmittelbarer Umgebung verzichtet werden. Zum einen werden hier umfangreichere Untersuchungen erforderlich, um ein erhöhtes Risiko sicher auszuschließen. Zum anderen muss damit gerechnet werden, dass die Abschaltzeiten hier aus Vorsorgegründen um einiges höher ausfallen werden als an anderen Standorten.

Die Untersuchungen zeigten, dass akustische Untersuchungen zur Einschätzung des Kollisionsrisikos vor Errichtung der Anlagen gerade an Waldstandorten schwierig zu interpretieren sind. Die Fledermausaktivität in Bodennähe und in der Höhe weist deutliche Unterschiede sowohl in der Aktivitätshöhe als auch in der Phänologie auf (siehe auch BACH et al. 2012; MÜLLER et al. 2013). Die Untersuchungen eignen sich somit vor allem dazu, vorherzusagen welche Arten im Untersuchungsgebiet zu erwarten sind und die Notwendigkeit von Maßnahmen bereits ab dem ersten Betriebsjahr zu verifizieren. Aussagekräftiger sind Untersuchungen in der Höhe. Es bietet sich daher an, z.B. Windmessmasten, die zur Anlagenplanung errichtet werden, für Fledermaus-Voruntersuchungen zu nutzen. Da die hier erhobenen Daten denen in Gondelhöhe ähneln, kann auf dieser Basis auch ein angepasster pauschaler Abschaltalgorithmus für das erste Jahr entwickelt werden. Die hier eingesetzten Schwellenwerte sollten sich dabei in erster Linie an der Höhe der Fledermausaktivität orientieren, da mit der Zunahme der Aktivität auch die Zahl der Aufnahmen bei höheren Windgeschwindigkeiten bzw. niedrigen Temperaturen zunimmt. Weniger sinnvoll erscheinen unterschiedliche Schwellenwerte für Arten-(gruppen), da sich hier keine deutlichen Unterschiede bezüglich der Temperatur

und Windtoleranz ergaben. Selbst wenn die Abschaltzeiten bereits auf Grundlage von Messungen an Windmessmasten individuell angepasst werden, gilt aber nach wie vor, dass Untersuchungen nach Errichtung der Anlagen unverzichtbar sind. Da der in RENEBAT I entwickelte Abschaltalgorithmus bisher nur auf Basis von Messungen in Gondelhöhe überprüft wurde (BEHR et al. 2016b), können nur auf dieser Datengrundlage die standardisierten angepassten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen entwickelt werden.

Um Quartiere kollisionsgefährdeter Arten ausfindig zu machen, müssen an Waldstandorten weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Akustische Dauererfassungen können im Idealfall zwar Hinweise auf nahe Quartiere geben, z.B. wenn die Aktivität kurz nach Sonnenuntergang und vor Sonnenaufgang stark erhöht ist, dies hängt aber sehr stark vom genauen Standort ab. Zum sicheren Auffinden von Wochenstuben müssen daher Netzfänge durchgeführt und reproduktive Weibchen besendert werden. Es empfiehlt sich, mehrere Weibchen über mehrere Tage hinweg zu verfolgen, da sich Quartierzentren über eine größere Fläche erstrecken können (vgl. Kap. 1.2.1). Um Paarungsquartiere ausfindig zu machen, sind nach wie vor Detektorrundgänge die Methode der Wahl. Aufgrund der gesteigerten Balzaktivität in der zweiten Nachthälfte, die die Kleinabendsegler in der vorliegenden Untersuchung zeigten (Kapitel 5), sollten diese erst deutlich nach Sonnenuntergang starten. In jedem Fall ist es wichtig, eine ausreichende Untersuchungsdichte zu erreichen, um Quartiere mit großer Wahrscheinlichkeit zu entdecken. Idealerweise sollte jeder Standort doppelt abgedeckt werden. Werden wichtige Quartiere im nahen Umfeld der geplanten Anlagen entdeckt, so sollte sofort in enger Abstimmung mit den Anlagenplanern besprochen werden, ob ein Verzicht auf einige Anlagen angestrebt werden sollte oder ob sofort detaillierte Untersuchungen zur Maßnahmenplanung initiiert werden sollten.

7.5.2 Untersuchungen nach Errichtung der Anlagen und Entwicklung von Abschaltalgorithmen

Die Ergebnisse der akustischen Erfassungen oberhalb der Baumkronen zeigten deutlich, dass sich die akustische Aktivität in der Höhe zwischen Wald und Offenland nicht unterscheidet. Dies bedeutet, dass die Methode der anlagenspezifischen Abschaltalgorithmen, die in RENEBAT I entwickelt wurde, aller Voraussicht nach auch an Waldstandorten angewendet werden kann. Dazu muss die akustische Aktivität in Gondelhöhe nach der Standardmethode des Forschungsvorhabens über mindestens zwei Jahre hinweg gemessen werden (BEHR et al. 2011a; BEHR et al. 2016a). Allerdings wurde durch die Erfassungen in Gondelhöhe auch noch einmal deutlich, dass sich die Zusammensetzung der Aktivität und auch die Phänologie stark zwischen den unterschiedlichen geografischen Regionen in Deutschland unterscheiden. Dies wurde auch im Forschungsvorhaben RENEBAT I bereits festgestellt (BEHR et al. 2011d; NIEMANN et al. 2011b). Im aktuell veröffentlichten zweiten Folgevorhaben RENEBAT III wurden diese regionalen Unterschiede in der Modellierung erstmals berücksichtigt (BEHR et al. 2018). Es ist zu vermuten, dass durch diese Aktualisierung auch die Besonderheiten von Waldstandorten im allgemeinen besser berücksichtigt werden, da in Süd- und Westdeutschland Waldstandorte eine viel größere Rolle spielen als in nördlichen Regionen Deutschlands und somit in diesen Regionen auch deutlich mehr Daten von Waldstandorten für die Modellierung verwendet wurden.

Vorsicht bei der Anwendung der Methode für Waldstandorte ist an Standorten geboten, an denen Quartiere kollisionsgefährdeter Arten, z.B. Wochenstuben- oder Schwärmquartiere, nahe der Anlagenstandorte bekannt sind oder in den Voruntersuchungen nachgewiesen wurden. Bei der Berechnung der Abschaltalgorithmen wird von einem normalen Aktivitätsverlauf ausgegangen und anhand der ermittelten Daten aus Gondelhöhe lediglich ein Anlagenfaktor für die Höhe der Aktivität an dem jeweiligen Standort ermittelt (BEHR et al. 2016a). An Sonderstandorten kann es daher dazu kommen, dass die Abschaltalgorithmen nicht optimal zu den vorherrschenden Aktivitätsmustern passen.

Dies wäre am Schwärmquartier der Zwergfledermaus, wo die Tiere erst weit nach Sonnenuntergang eintreffen (Kapitel 5), und im Paarungsgebiet des Kleinabendseglers mit der hohen Aktivität in der zweiten Nachthälfte (Kapitel 6) möglicherweise der Fall. Daher muss an solchen Standorten vor der Berechnung der Algorithmen auf jeden Fall intensiv überprüft werden, ob die durch die Gondelmessung ermittelten Aktivitätsmuster der Norm entsprechen. Wenn dies nicht der Fall ist, müssen die Abschaltzeiten individuell angepasst werden (BEHR et al. 2016a). Auf lange Sicht wäre es sinnvoll, die Berechnung der Algorithmen so anzupassen, dass abweichende Aktivitätsmuster automatisch berücksichtigt werden.

Weiterhin ist es empfehlenswert, an diesen Sonderstandorten ein intensives Monitoring durchzuführen, um zu überprüfen, ob die Abschaltungen ihren Zweck erfüllen. Hierzu gehören je nach Quartierart die Überprüfung der Lage der Quartierzentren und die regelmäßige Quartierkontrollen mit Ausflugszählungen. Außerdem können an Standorten mit ausreichend Offenfläche auch Schlagopfernachsuchen durchgeführt werden. Als Richtlinie gilt hier, dass mindestens 40 % der Fläche absuchbar sein sollte (NIERMANN et al. 2011b). Da auch an Waldstandorten große Rodungsflächen entstehen, ist diese Bedingung aber auch im Wald häufig zu erfüllen.

7.5.3 Hinweise zum Lebensstättenverlust

Der Lebensstättenverlust war innerhalb dieser Arbeit kein wesentliches Thema. Grundsätzlich ist er aber neben dem Kollisionsrisiko bei Windkraftplanungen im Wald immer relevant und soll daher hier nicht völlig ausgeklammert werden.

Aus der Untersuchung im Paarungs- und Überwinterungsgebiet des Kleinabendseglers (Kapitel 5) wurde einmal mehr deutlich, wie wichtig es für die Funktion eines Waldes als Quartiergebiet ist, dass zahlreiche Quartiere zur Verfügung stehen, die im Wechsel genutzt werden können. Dies gilt nicht nur für Wochenstuben, die bis zu 50 Quartiere im Umkreis von ca. 1 km² nutzen können (RUSSO et al. 2005; STECK & BRINKMANN 2015), sondern eben auch für Paarungsgebiete. So wechselten die telemetrierten Kleinabendsegler ebenfalls fast täglich ihr Quartier und nutzten neben den Kästen auch zahlreiche Naturhöhlen in alten Buchen und Eichen. Die Männchen zeigten dabei eine starke Territorialität und wechselten nur auf engem Raum ihre Quartiere, zwischen denen maximal eine Distanz von 200 m lag. Es kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass der Verlust von solchen Quartieren nur schwer kurzfristig zu ersetzen ist. Die Entwicklung von hochwertigen Höhlenbäumen kann mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen, da sich entsprechende Strukturen erst ab einem gewissen Alter entwickeln (MESCHÉDE & HELLER 2000). Im Falle der Kleinabendsegler ist außerdem zu berücksichtigen, dass die territorialen Männchen nicht ohne weiteres neue Quartiere im Umfeld besetzen können, da sich hier möglicherweise andere Territorien befinden. Ein Ausgleich von Quartierverlusten ist daher zwar rechtlich möglich, indem Waldbereiche aus der Nutzung genommen werden und zur Überbrückung Fledermauskästen aufgehängt werden (RUNGE et al. 2010), aus Sicht des Fledermausschutzes und weiterer Arten, die auf Alt- und Totholz angewiesen, sollte aber der Verlust von hochwertigen Waldbereichen vermieden werden.

Um den Verlust von Quartieren durch den Bau von WEA im Wald in Grenzen zu halten, empfiehlt es sich daher, bereits in der Standortplanung auf Waldbereiche, in denen mit einem besonders hohen Quartierpotential zu rechnen ist, zu verzichten. Hierzu gehören Laub- und Mischwälder ab einem Alter von 80 bis 100 Jahren, naturnahe Nadelwälder und alle Wälder, die als FFH-Gebiet ausgewiesen sind (vgl. HURST et al. 2016a). Zudem müssen in Waldgebieten immer auch Netzfänge und Telemetrie sowie Balzrundgänge stattfinden, um Quartierzentren baumbewohnender Arten zu finden. Auch hierbei gilt, dass eine ausreichende Untersuchungstiefe gegeben sein muss. Dabei ist auch immer zu berücksichtigen, dass es in einer Voruntersuchung nie möglich sein wird, alle Quartiere zu identifizieren. Es muss daher immer davon ausgegangen werden, dass sich noch weitere Quartiere

in der näheren Umgebung befinden. Werden bei den Voruntersuchungen solche Quartiere in Standortnähe gefunden, sollte wiederum rasch in enger Abstimmung über eine Streichung der entsprechenden Standorte nachgedacht werden. Diese sollte auf jeden Fall erfolgen, wenn gefundenen Quartiere unmittelbar betroffen sind. Befinden sie sich in geringem Abstand zu den Rodungsflächen sind dennoch Ausgleichsmaßnahmen dringend anzuraten.

7.6 Ausblick

Der Kenntnisstand zur Thematik Fledermäuse und Windkraft im Wald nimmt dank der zahlreichen umfassenden Studien und auch aufgrund der vielen Voruntersuchungen an Waldstandorten immer mehr zu. Es ist daher vonnöten, dass dieses Wissen auch in aktuellen Handlungsempfehlungen verarbeitet wird. Diese sollen sowohl Gutachtern als auch Behörden eine solide Grundlage einerseits für die Planung und Durchführung der Untersuchungen, die Bewertung der Ergebnisse sowie die Sichtung der Gutachten liefern. Nach wie vor ist der Stand in den unterschiedlichen Bundesländern sehr verschieden. Dies ist vor allem der Tatsache geschuldet, dass die Aktualisierung bereits vorhandener Leitfäden ein sehr langwieriger Prozess ist, der mit vielen Entscheidungsträgern abgestimmt werden muss. So gibt es beispielsweise in Brandenburg, wo bereits zum Zeitpunkt der Literaturstudie im Jahr 2014 nur ein veralteter Leitfaden vorlag, der Waldstandorte so gut wie gar nicht berücksichtigte (LAND BRANDENBURG 2011 und Kapitel 2), immer noch keine Neuauflage. Anders sieht es aber in Bundesländern aus, die nun aktuell einen ersten Leitfaden herausgegeben haben. Hier ist vor allem das Land Thüringen zu nennen. Der sehr detaillierte Leitfaden greift hier auch aktuelle Entwicklungen auf und macht sehr genaue Angaben auch zur Erfassungstiefe an Waldstandorten (ITN 2015). Da der Artenschutz im Bundesnaturschutzgesetz geregelt ist, wäre es prinzipiell wünschenswert, wenn die Handlungsempfehlungen der einzelnen Bundesländer sich an bundesweiten Standards orientieren würden, so dass Verfahren in verschiedenen Bundesländern zu ähnlichen Ergebnissen kommen und somit auch eine höhere Planungssicherheit gegeben ist. Bundesweite Forschungsvorhaben wie das hier in Teilen besprochene F+E-Vorhaben bieten hierfür eine gute Grundlage, da hier die Ergebnisse in klare Handlungsempfehlungen münden (HURST et al. 2016a). Ein schnelleres und unbürokratischeres Reagieren der Bundesländer ist aber unabdingbar um neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen zu einer raschen Anwendung in der Praxis zu verhelfen.

Auch weiterhin besteht ein großer Forschungsbedarf bezüglich der Thematik Windkraft und Fledermäuse, insbesondere im Wald. So wurde in den hier vorgestellten Arbeiten die Aktivität in der Höhe sowohl an Windmessmasten als auch an bestehenden Anlagen untersucht. Nach wie vor fehlen aber umfassende Vorher-Nachher-Untersuchungen, bei denen die Aktivität vor und nach Errichtung der Anlage verglichen wird. Solche Untersuchungen könnten aussagekräftige Ergebnisse liefern, aus welchen Gründen Fledermäuse sich Fledermäuse den WEA nähern und die Frage klären, ob durch WEA eine besondere Anziehung gegeben ist. In der Praxis könnten aufgrund der Ergebnisse möglicherweise Voruntersuchungen z.B. an Windmessmasten bereits für die Entwicklung anlagenspezifischer Abschaltzeiten verwendet werden. Die immer größeren Dimensionen neuerer WEA erfordern zudem weitere Erfassungen der Fledermausaktivität auch im Mastbereich nahe der unteren Rotorspitzen, da die Reichweite der Detektoren in Gondelhöhe nicht ausreicht, um Tiere in diesem Gefährdungsbereich zu erfassen (BEHR et al. 2011a; LINDEMANN et al. 2018). Auch weitere systematische Schlagopfersuchen zur Überprüfung der Abschaltalgorithmen an diesen Anlagen müssten durchgeführt werden. Ein großer Forschungsbedarf besteht zudem immer noch für Standorte in unmittelbarer Quartiersnähe. Die beiden Fallstudien konnten wertvolle Erkenntnisse liefern, was an solchen Standorten beachtet werden muss. Generelle Handlungsempfehlungen können aber auf dieser Basis nicht ausgesprochen werden. Dazu müssten ähnliche Untersuchungen an zahlreichen Standorten in ganz Deutschland stattfinden. Dies könnte nur in Forschungsprojekten von ähnlichen

Ausmaßen wie RENEBAT I verwirklicht werden. Eine vielversprechende Methode könnte es auch sein, ähnlich wie in der Auswertung der Gondelmessungen (Kapitel 4) Daten von Untersuchungen im Rahmen von WEA-Planungen in ganz Deutschland zu sammeln und hinsichtlich dieser Fragen auszuwerten. Um solche Studien in Zukunft einfacher zu ermöglichen, wäre es sinnvoll, diese Daten in einer deutschlandweiten Forschungsdatenbank zu sammeln und für wissenschaftliche Zwecke zugänglich zu machen. Neben den Fragen zum Kollisionsrisiko gibt es auch zahlreiche ungeklärte Fragen bezüglich des Lebensstättenverlusts. Ein weiteres aktuelles Forschungsvorhaben des BfN untersucht diesbezüglich anhand von Vorher-Nachher-Untersuchungen, ob sensible Wald-Fledermausarten wie die Bechsteinfledermaus durch den Betrieb von WEA im Wald gestört werden, so dass Quartiere und Jagdgebiete über den Verlust durch Rodungsarbeiten hinaus beeinträchtigt werden.

Ein Thema, das in dieser Arbeit zwar nicht untersucht wurde, das aber immer weiter in den Fokus rückt, sind zudem die Summationswirkungen. Durch den Bau zahlreicher Windparks an Waldstandorten mit vielen Anlagen auf engem Raum steigt sowohl die Zahl der Schlagopfer als auch das Ausmaß des Lebensstättenverlusts. Daher müssen Lösungen gefunden werden, wie die Summationswirkungen in Genehmigungsverfahren berücksichtigt werden können. Um die Auswirkungen von Summationseffekten zu untersuchen wäre es sinnvoll, im regionalen Maßstab Populationen besonders windkraftsensibler Arten in langfristigen Projekten zu untersuchen und die Populationsentwicklung zu verfolgen.

8 Allgemeine Literatur

- ALBRECHT, K., HAMMER, M. & HOLZHAIDER, J. (2002): Telemetrische Untersuchungen zum Nahrungshabitatanspruch der Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*) in Nadelwäldern bei Amberg in der Oberpfalz. – In: MESCHEDÉ, A., HELLER, K.-G. & BOYE, P. (Hrsg.): Ökologie, Wanderungen und Genetik von Fledermäusen in Wäldern - Untersuchungen als Grundlage für den Fledermausschutz. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 109-130.
- ARNETT, E. B., ERICKSON, W. P., KERNS, J. & HORN, J. (2005): Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: An assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines. – Austin, Texas (Bat Conservation International): 187 S.
- ARNETT, E. B., BROWN, W. K., ERICKSON, 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. – Journal of Wildlife Management 72: 61-78.
- ARNETT, E. B., HUSO, M. M. P., SCHIRMACHER, M. R. & HAYES, J. P. (2010): Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. – Frontiers in Ecology and the Environment 9: 209-214.
- ARNOLD, A. (1999): Zeit-Raumnutzungsverhalten und Nahrungsökologie rheinauenbewohnender Fledermausarten (Mammalia: Chiroptera). – Heidelberg (Ruprecht-Karls-Universität – Dissertation), 300 S.
- ARNOLD, A. & BRAUN, M. (2002): Telemetrische Untersuchungen an Rauhhautfledermäusen (*Pipistrellus nathusii* Keyserling & Blasius, 1839) in den nordbadischen Rheinauen. – In: MESCHEDÉ, A., HELLER, K.-G. & BOYE, P. (Hrsg.): Ökologie, Wanderungen und Genetik von Fledermäusen in Wäldern - Untersuchungen als Grundlage für den Fledermausschutz. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 177-189.
- 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.
- BACH, L., BACH, P., TILLMANN, M. & ZUCCHI, H. (2012): Fledermausaktivität in verschiedenen Straten eines Buchenwaldes in Nordwestdeutschland und Konsequenzen für Windenergieplanungen. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 128: 147-158.
- BAERWALD, E. F. & BARCLAY, R. M. R. (2011): Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. – The Journal of Wildlife Management 75: 1103-1114.
- BARATAUD, M. (2015): Acoustic ecology of european bats. – Paris (Biotope - Muséum nationale d'Histoire naturelle): 352 S.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM (2012): Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA). – München (Bayerische 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): 65 S.
- BEHR, O. & VON HELVERSEN, O. (2006): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen - Wirkungskontrolle zum Windpark Roskopf (Freiburg im Br.) im Jahr 2005. – Erlangen (Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der regiowind GmbH): 32 S.

- BEHR, O., BRINKMANN, R., NIERMANN, I. & MAGES, J. (2011a): Methoden akustischer 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. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 130-144.
- BEHR, O., BRINKMANN, R., NIERMANN, I. & KORNER-NIEVERGELT, F. (2011b): Vorhersage 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. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 287-322.
- BEHR, O., BRINKMANN, R., NIERMANN, I. & KORNER-NIEVERGELT, F. (2011c): 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. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 354-383.
- BEHR, O., BRINKMANN, R., NIERMANN, I. & KORNER-NIEVERGELT, F. (2011d): 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. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 177-286.
- BEHR, O. & RUDOLPH, B.-U. (2013): Fachliche Erläuterungen zum Windkrafteerlass Bayern. Verringerung des Kollisionsrisikos durch fledermausfreundlichen Betrieb der Anlagen. – Augsburg (Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)): 30 S.
- BEHR, O., SIMON, R. & NAGY, M. (2016a): Leitfaden zur Durchführung einer akustischen Aktivitätserfassung an einer Windenergieanlage und zur Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen. – In: BEHR, O., BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F., NAGY, M., NIERMANN, I., REICH, M. & SIMON, R. (Hrsg.): Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore Windenergieanlagen (RENEBAT II) : Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. – Hannover (Repositorium der Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum; 7)): 317-368.
- BEHR, O., BRINKMANN, R., HOCHRADEL, K., HURST, J., MAGES, J., NAUCKE, A., NAGY, M., NIERMANN, I., REERS, H., SIMON, R., WEBER, N. & KORNER-NIEVERGELT, F. (2016b): Experimenteller Test der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen. – In: BEHR, O., BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F., NAGY, M., NIERMANN, I., REICH, M. & SIMON, R. (Hrsg.): Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore Windenergieanlagen (RENEBAT II) : Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. – Hannover (Repositorium der Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum; 7)): 205-269.
- BEHR, O., BRINKMANN, R., HOCHRADEL, K., KORNER-NIEVERGELT, F., MAGES, J., NAUCKE, A., NAGY, M., NIERMANN, I., SIMON, R. & WEBER, N. (2016c): Akustische Erfassung der Fledermausaktivität. – In: BEHR, O., BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F., NAGY, M., NIERMANN, I., REICH, M. & SIMON, R. (Hrsg.): Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore Windenergieanlagen (RENEBAT II) : Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. – Hannover (Repositorium der Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum; 7)): 165-204.
- BEHR, O., HOCHRADEL, K., MAGES, J., NAUCKE, A., NAGY, M., SIMON, R., WEBER, N. & KORNER-NIEVERGELT, F. (2018): Zeitliche und räumliche Variabilität der akustischen Aktivität an Windenergieanlagen. – In: BEHR, O., BRINKMANN, R., HOCHRADEL, K., HURST, J., MAGES, J., KORNER-NIEVERGELT, F., REERS, H., SIMON, R., STILLER, F., WEBER, N. & NAGY, M. (Hrsg.): Bestimmung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen in der Planungspraxis - Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. – Erlangen/Freiburg/Ettiswil 81-110.

- BMU (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007. – Berlin (Bundesministerium für Naturschutz): 179 S.
- BMWi (2016): Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2015. – Berlin (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie): 75 S.
- BMWi (2018): Erneuerbare Energien in Zahlen - Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2017. – Berlin (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie): 80 S.
- BOONMAN, M. (2000): Roost selection by noctules (*Nyctalus noctula*) and Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*). – *Journal of Zoology* 251: 385-389.
- BORKENHAGEN, P. (2011): Die Säugetiere Schleswig-Holsteins. – Husum (Husum Verlag): 664 S.
- BOYE, P. & DIETZ, M. (2005): Development of good practice guidelines for woodland management for bats. – Report to The Bat Conservation Trust: 98 S.
- BRINKMANN, R., SCHAUER-WEISSHAHN, H. & BONTADINA, F. (2006): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. – Gundelfingen (Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg - Referat 56 Naturschutz und Landschaftspflege): 66 S.
- BRINKMANN, R., BEHR, O., NIERMANN, I. & REICH, M. (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 457 S.
- BRINKMANN, R., KEHRY, L., KÖHLER, C., SCHAUER-WEISSHAHN, H., SCHORCHT, W. & HURST, J. (2016): Raumnutzung und Aktivität des Kleinabendseglers (*Nyctalus leisleri*) in einem Paarungs- und Überwinterungsgebiet bei Freiburg (Baden-Württemberg). – In: HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., PETERMANN, R., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 278-326.
- BUNDESREGIERUNG (2011): Der Weg zur Energie der Zukunft - sicher, bezahlbar, umweltfreundlich. Eckpunktepapier der Bundesregierung zur Energiewende. – URL: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010-beschluesse-juni-2011.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (gesehen am 02.12.2018).
- CRYAN, P. M. & BARCLAY, R. M. R. (2009): Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. – *Journal of Mammalogy* 90: 1330-1340.
- CRYAN, P. M., GORRESEN, P. M., HEIN, C. D., SCHIRMACHER, M. R., DIEHL, R. H., HUSO, M. M. P., HAYMAN, D. T. S., FRICKER, P. D., BONACCORSO, F. J. & JOHNSON, D. H. (2014): Behavior of bats at wind turbines. – *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 15126-15131.
- DE JONG, J. (1994): Habitat use, home-range and activity pattern of the northern bat, *Eptesicus nilssoni*, in a hemiboreal coniferous forest. – *Mammalia* 58: 535-548.
- DIETZ, C., HELVERSEN, O. v. & NILL, D. (2007): Handbuch der Fledermäuse Europas und Nordwestafrikas. – Stuttgart (Kosmos-Verlag): 399 S.
- DIETZ, C., DIETZ, I., HARTMANN, S., HURST, J., KOHNEN, A., STECK, C. & BRINKMANN, R. (2016): Identifizierung von Schlüsselparametern für die Entwicklung von Populationsmodellen bei Fledermäusen. – In: HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., PETERMANN, R., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 353-396.
- DIETZ, M. (1997): Habitatansprüche ausgewählter Fledermausarten und mögliche Schutzaspekte. – *Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg* 26: 27-57.

- DIETZ, M. (2007): Naturwaldreservate in Hessen. Band 10 - Ergebnisse fledermauskundlicher Untersuchungen in hessischen Naturwaldreservaten. – Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung 43: 1-70.
- DIETZ, M. (2010): Fledermäuse als Leit- und Zielarten für Naturwald orientierte Waldbaukonzepte. – Forstarchiv 81: 69-75.
- DÜRR, T. (2017): Fledermausverluste an Windenergieanlagen. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. – Stand vom 5. Dezember 2017 (LUGV Brandenburg): 1 S.
- FIEDLER, J. K., HENRY, T. H., TANKERSLEY, R. D. & NICHOLSON, C. P. (2005): Results of Bat and Bird Mortality Monitoring at the Expanded Buffalo Mountain Windfarm. – Knoxville (Tennessee Valley Authority): 42 S.
- FIEDLER, W., ILLI, A. & ALDER-EGGLI, H. (2004): Raumnutzung, Aktivität und Jagdhabitatwahl von Fransenfledermäusen (*Myotis nattereri*) im Hegau (Südwestdeutschland) und angrenzendem Schweizer Gebiet. – Nyctalus 9: 215-235.
- FRAUNHOFER IWES (2015): Wind Energie Report Deutschland 2014. – Stuttgart (Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES): 112 S.
- FRAUNHOFER IWES (2017): Wind Monitor. – URL: <http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de> (gesehen am 10.08.2017).
- FRAUNHOFER IWES (2018): Wind Energie Report Deutschland 2017. – Stuttgart (Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES): 132 S.
- FUHRMANN, M. & GODMANN, O. (1994): Baumhöhlenquartiere vom Braunen Langohr und von der Bechsteinfledermaus: Ergebnisse einer telemetrischen Untersuchung. – In: AGFH (Hrsg.): Die Fledermäuse Hessens. – Remshalden-Buoch (Verlag Manfred Hennecke): 181-186.
- GEBHARD, J. (1996): Fledermäuse in gefällten Bäumen: Erstmals auch das Mausohr (*Myotis myotis*). – Nyctalus 6: 167-170.
- GEBHARD, J. (1997): Fledermäuse. – Basel (Birkhäuser Verlag): 381 S. S.
- GEIGER, H. & RUDOLPH, B.-U. (2004): Wasserfledermaus - *Myotis daubentonii* (Kuhl, 1817). – In: RUDOLPH, B.-U. & MESCHÉDE, A. (Hrsg.): Fledermäuse in Bayern. – Stuttgart (Ulmer Verlag): 127-138.
- GÜTTINGER, R. (1997): Jagdhabitats des Grossen Mausohrs (*Myotis myotis*) in der modernen Kulturlandschaft. – Schriftenreihe Umwelt 288: 140.
- HAENSEL, J. (2011): Zunahme der Teichfledermaus (*Myotis dasycneme*) auf deutscher Seite entlang der Oder (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen). – Nyctalus 16: 87-94.
- HÄUßLER, U. & NAGEL, A. (2003): Großer Abendsegler *Nyctalus noctula* (Schreber, 1774). – In: BRAUN, M. & DIETERLEN, F. (Hrsg.): Die Säugetiere Baden-Württembergs - Band 1. – Stuttgart (Ulmer-Verlag): 591-622.
- HILLEN, J., KIEFER, A. & VEITH, M. (2010): Interannual fidelity to roosting habitat and flight paths by female western barbastelle bats. – Acta Chiropterologica 12: 187-195.
- HILLEN, J. (2011): Intra- and interspecific competition in western barbastelle bats (*Barbastella barbastellus*, SCHREBER 1774): Niche differentiation in a specialised bat species, revealed via radio-tracking. – Mainz (Johannes-Gutenberg-Universität – Doktorarbeit), 107 S.
- HORN, J. (2011): Vergesellschaftung von Braunen Langohren (*Plecotus auritus*) mit Mücken- und Zwergfledermäusen (*Pipistrellus pygmaeus* und *P. pipistrellus*) in Fledermauskästen. – Nyctalus 16: 71-74.

- HÖTKER, H., THOMSEN, K. M. & KÖSTER, H. (2005): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse. – Bonn-Bad Godesberg (BfN-Skripten): 87 S.
- HURST, J., BALZER, S., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., HÖHNE, E., KARST, I., PETERMANN, R., SCHORCHT, W., STECK, C. & BRINKMANN, R. (2015): Erfassungsstandards für Fledermäuse bei Windkraftprojekten in Wäldern - Diskussion aktueller Empfehlungen der Bundesländer. – Natur und Landschaft 90: 157-169.
- HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KRANNICH, E., KARST, I., PETERMANN, R., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (2016a): Fledermäuse und Windkraft im Wald: Überblick über die Ergebnisse des Forschungsvorhabens. – In: HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., PETERMANN, R., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 17-66.
- HURST, J., KORNER-NIEVERGELT, P., SCHAUER-WEISSHAHN, H. & BRINKMANN, R. (2016b): Identifikation von Raum-Zeit-Mustern der Fledermausaktivität. – In: HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., PETERMANN, R., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 121-156.
- HURST, J., DIETZ, C. & BRINKMANN, R. (2016c): Aktivität der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) zur Schwärmzeit am Massenwinterquartier Battertfelsen (Baden-Württemberg). – In: HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., PETERMANN, R., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 258-277.
- HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, M., KRANNICH, E., KARST, I., KORNER-NIEVERGELT, F., SCHAUER-WEISSHAHN, H., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (2016d): Fledermausaktivität in verschiedenen Höhen über dem Wald. – In: HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., PETERMANN, R., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 157-197.
- HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., PETERMANN, R., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (2016e): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 400 S.
- HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., SCHAUER-WEISSHAHN, H., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (2016f): Aktivität und Lebensraumnutzung der Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) in Wochenstubegebieten. – In: HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., PETERMANN, R., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 198-233.
- ITN (2012): Höhlenbäume im urbanen Raum. Entwicklung eines Leitfadens zum Erhalt eines wertvollen Lebensraumes in Parks und Stadtwäldern unter Berücksichtigung der Verkehrssicherung. – Frankfurt am Main (Umweltamt): 167 S.
- ITN (2015): Arbeitshilfe zur Berücksichtigung des Fledermausschutzes bei der Genehmigung von Windenergieanlagen (WEA) in Thüringen. – Gonterskirchen (Gutachten im Auftrag der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie im Auftrag des Thüringer Ministeriums für Umwelt, Energie und Naturschutz): 121 S.
- JAIN, A., KERLINGER, P., CURRY, R. & SLOBODNIK, L. (2006): Annual Report for the Maple Ridge Wind Power Project Postconstruction Bird and Bat Fatality Study. – Cape May Point (Curry and Kerlinger, LLC): 76 S.
- JAMESON, J. W. & WILLIS, C. K. (2014): Activity of tree bats at anthropogenic tall structures: Implications for mortality of bats at wind turbines. – Animal Behaviour 97: 145-152.

- 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.
- JUNG, K., KAISER, S., BÖHM, S., NIESCHULZE, J. & KALKO, E. K. V. (2012): Moving in three dimensions: effects of structural complexity on occurrence and activity of insectivorous bats in managed forest stands. – *Journal of Applied Ecology* 49: 523-531.
- KERTH, G. & KÖNIG, B. (1999): Fission, fusion and nonrandom associations in female Bechstein's bats (*Myotis bechsteinii*). – *Behaviour* 136: 1187-1202.
- KERTH, G., WEISSMANN, K. & KÖNIG, B. (2001): Day roost selection in female Bechstein's bats (*Myotis bechsteinii*): a field experiment to determine the influence of roost temperature. – *Oecologia* 126: 1-9.
- KERTH, G., WAGNER, M., WEISSMANN, K. & KÖNIG, H. (2002): Habitat-und Quartiernutzung bei der Bechsteinfledermaus: Hinweise für den Artenschutz. – In: MESCHÉDE, A., HELLER, K.-G. & BOYE, P. (Hrsg.): *Ökologie, Wanderungen und Genetik von Fledermäusen in Wäldern - Untersuchungen als Grundlage für den Fledermausschutz*. – Bonn-Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 99-108.
- KERTH, G., KIEFER, A., TRAPPMANN, C. & WEISHAAR, M. (2003): High gene diversity at swarming sites suggest hot spots for gene flow in the endangered Bechstein's bat. – *Conservation Genetics* 4: 491-499.
- KOHNE, A., EBERT, C., SCHORCHT, W., DIETZ, C., HURST, J. & BRINKMANN, R. (2016): Verwandtschaftsverhältnisse und Populationsstruktur in Wochenstubenkolonien, Paarungs- und Überwinterungsgruppen des Kleinabendseglers (*Nyctalus leisleri*). – In: HURST, J., BIEDERMANN, M., DIETZ, C., DIETZ, M., KARST, I., KRANNICH, E., PETERMANN, R., SCHORCHT, W. & BRINKMANN, R. (Hrsg.): *Fledermäuse und Windkraft im Wald*. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 327-352.
- KÖPPEL, J. (2017): *Wind Energy and Wildlife Interactions - Presentations from the CWW 2015*. – Cham (Springer Verlag): 289 S.
- KORNER-NIEVERGELT, F., BEHR, O., NIEMANN, I. & BRINKMANN, R. (2011): Schätzung der Zahl verunglückter Fledermäuse an Windenergieanlagen mittels akustischer Aktivitätsmessungen und modifizierter N-mixture Modelle. – In: BRINKMANN, R., BEHR, O., NIEMANN, I. & REICH, M. (Hrsg.): *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen*. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 323-353.
- KRETZSCHMAR, F., SCHAUER-WEISSHAHN, H. & BRINKMANN, R. (2004): Untersuchungen zu den Lebensraumsprüchen der Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) im FFH-Gebiet "Wutach" (8016-301). – Freiburg (Unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg): 85 S.
- KRONWITTER, F. (1988): Population structure, habitat use and activity patterns of the noctule bat, *Nyctalus noctula* Schreb., 1774 (Chiroptera, Vespertilionidae) revealed by radio tracking. – *Myotis* 26: 23-86.
- KUSCH, J., WEBER, C., IDELBERGER, S. & KOOB, T. (2004): Foraging habitat preferences of bats in relation to food supply and spatial vegetation structures in a western European low mountain range forest. – *Folia Zoologica* 53: 113-128.
- LANA (2010): Hinweise zu zentralen unbestimmten Rechtsbegriffen des Bundesnaturschutzgesetzes. – Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz - Ständiger Ausschuss "Arten- und Biotopschutz": 25 S.

- LAND BRANDENBURG (2011): Beachtung naturschutzfachlicher Belange bei der Ausweisung von Windeignungsgebieten und bei der Genehmigung von Windenergieanlagen. – http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2318.de/erl_windkraft.pdf (abgerufen am 05.04.2013) 5 S.
- LAND RHEINLAND-PFALZ (2012): Naturschutzfachlicher Rahmen zum Ausbau der Windenergienutzung in Rheinland-Pfalz - Artenschutz (Vögel, Fledermäuse) und NATURA 2000-Gebiete. – Mainz (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Verbraucherschutz, Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz): 145 S.
- LEHNERT, L. S., KRAMER-SCHADT, S., SCHÖNBORN, S., LINDECKE, O., NIERMANN, I. & VOIGT, C. C. (2014): Wind farm facilities in Germany kill noctule bats from near and far. – PLoS One 9: e103106.
- LINDEMANN, C., RUNKEL, V., KIEFER, A., LUKAS, A. & VEITH, M. (2018): Abschaltalgorithmen für Fledermäuse an Windenergieanlagen. – Naturschutz und Landschaftsplanung 50: 418-425.
- LUBW (2014): Hinweise zur Untersuchung von Fledermausarten bei Bauleitplanung und Genehmigung für Winkraftanlagen. – Karlsruhe (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg): 42 S.
- LUČAN, R. K., ANDREAS, M., BENDA, P., BARTONIČKA, T., BŘEZINOVÁ, T., HOFFMANNOVÁ, A., HULOVÁ, Š., HULVA, P., NECKÁŘOVÁ, J., REITER, A., SVAČINA, T., ŠÁLEK, M. & HORÁČEK, I. (2009): Alcathe bat (*Myotis alcathoe*) in the Czech Republic: Distributional status, roosting and feeding ecology. – Acta Chiropterologica 11: 61-69.
- LÜDEKE-FREUND, F. & OPEL, O. (2014): Die Energiewende als transdisziplinäre Herausforderung. – In: HEINRICH, H. & MICHELSEN, G. (Hrsg.): Nachhaltigkeitswissenschaften. – Berlin Heidelberg (Springer Verlag): 429-454.
- MATHEWS, F., RICHARDSON, K., LINTOTT, P. R. & HOSKEN, D. J. (2016): Understanding the risk to european protected species (bats) at onshore wind turbine sites to inform risk management. – Exeter (University of Exeter): 127 S.
- MESCHEDE, A. & HELLER, K.-G. (2000): Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Wäldern. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 374 S.
- MESCHEDE, A. (2004): Raufhautfledermaus *Pipistrellus nathusii* (Keyserling & Blasius, 1839). – In: MESCHEDE, A. & RUDOLPH, B.-U. (Hrsg.): Fledermäuse in Bayern. – Stuttgart (Ulmer-Verlag): 280-290.
- MESCHEDE, A. & HAGER, I. (2004): Fransenfledermaus *Myotis nattereri* (Kuhl, 1817). – In: MESCHEDE, A. & RUDOLPH, B.-U. (Hrsg.): Fledermäuse in Bayern. – Stuttgart (Ulmer-Verlag): 177-186.
- MICHELSEN, G. & ADOMBENT, M. (2014): Nachhaltige Entwicklung - Hintergründe und Zusammenhänge. – In: HEINRICH, H. & MICHELSEN, G. (Hrsg.): Nachhaltigkeitswissenschaften. – Berlin Heidelberg (Springer Verlag): 3-60.
- MÜLLER, J., MEHR, M., BÄSSLER, C., FENTON, M. B., HOTHORN, T., PRETZSCH, H., KLEMMT, H.-J. & BRANDL, R. (2012): Aggregative response in bats: prey abundance versus habitat. – Oecologia 169: 673-684.
- MÜLLER, J., BRANDL, R., BUCHNER, J., PRETZSCH, H., SEIFERT, S., STRÄTZ, C., VEITH, M. & FENTON, B. (2013): From ground to above canopy - Bat activity in mature forests is driven by vegetation density and height. – Forest Ecology and Management 306: 179-184.
- NAĎO, L. & KAŇUCH, P. (2015): Swarming behaviour associated with group cohesion in tree-dwelling bats. – Behavioural Processes 120: 80-86.

- NIERMANN, I., VON FELTEN, S., KORNER-NIEVERGELT, F., BRINKMANN, R. & BEHR, O. (2011a): 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. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 384-405.
- NIERMANN, I., BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F. & BEHR, O. (2011b): 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. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 40-115.
- OHLENDORF, B. & OHLENDORF, L. (1998): Zur Wahl der Paarungsquartiere und zur Struktur der Haremsgesellschaften des Kleinabendseglers (*Nyctalus leisleri*) in Sachsen-Anhalt. – *Nyctalus* 6: 476-491.
- PODANY, M. (1995): Nachweis einer Baumhöhlen-Wochenstube der Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) sowie einige Anmerkungen zum Überwinterungsverhalten im Flachland. – *Nyctalus* 5: 473-479.
- RECKARDT, K. & KERTH, G. (2007): Roost selection and roost switching of female Bechstein's bats (*Myotis bechsteinii*) as a strategy of parasite avoidance. – *Oecologia* 154: 581-588.
- REERS, H., HARTMANN, S., HURST, J. & BRINKMANN, R. (2017): Bat activity at nacelle height over forest. – In: KÖPPEL, J. (Hrsg.): Wind Energy and Wildlife Interactions - Presentations from the CWW 2015. – Cham (Springer Verlag): 79-98.
- REICHENBACH, M., BRINKMANN, R., KOHNEN, A., KÖPPEL, J., MENKE, K., OHLENBURG, H., REERS, H., STEINBORN, H. & WARNKE, M. (2015): Bau- und Betriebsmonitoring von Windenergieanlagen im Wald. Abschlussbericht 30.11.2015. – Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie 351 S.
- RIVERS, N., BUTLIN, R. K. & ALTRINGHAM, J. D. (2005): Genetic population structure of Natterer's bats explained by mating at swarming sites and philopatry. – *Molecular Ecology* 14: 4299-4312.
- RUCZYŃSKI, I. & BOGDANOWICZ, W. (2005): Cavity Selection by *Nyctalus noctula* and *N. leisleri* (Vespertilionidae, Chiroptera) in Bialowieza primeval forest, Eastern Poland. – *Journal of Mammalogy* 86: 921-930.
- RUDOLPH, B.-U., ZAHN, A. & LIEGL, A. (2004): Mausohr *Myotis myotis* (Borkhausen, 1797). – In: MESCHEDÉ, A. & RUDOLPH, B.-U. (Hrsg.): Fledermäuse in Bayern. – Stuttgart (Ulmer-Verlag): 203-231.
- RUFFERT, M. (1999): Untersuchung zur Fledermausfauna in zwei verschiedenen Waldgebieten bei München. – München (Ludwigs-Maximilian Universität – Staatsexamensarbeit).
- RUNGE, H., SIMON, M. & WIDDIG, T. (2010): Rahmenbedingungen für die Wirksamkeit von Maßnahmen des Artenschutzes bei Infrastrukturvorhaben. – Hannover, Marburg (F+E-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz - FKZ 3507 82 080, (unter Mitarbeit von: Louis, H. W., Reich, M., Bernotat, D., Mayer, F., Dohm, P., Köstermeyer, H., Smit-Viergutz, J., Szeder, K.)): 97 S.
- RUNKEL, V. (2008): Mikrohabitatnutzung syntoper Waldfledermäuse. – Erlangen-Nürnberg (Friedrich-Alexander-Universität – Dissertation), 167 S.
- RUSSO, D., CISTRONE, L., JONES, G. & MAZZOLENI, S. (2004): Roost selection by barbastelle bats (*Barbastella barbastellus*, Chiroptera: Vespertilionidae) in beech woodlands of central Italy: consequences for conservation. – *Biological Conservation* 117: 73-81.

- RUSSO, D., CISTRONE, L. & JONES, G. (2005): Spatial and temporal patterns of roost use by tree-dwelling barbastelle bats *Barbastella barbastellus*. – *Ecography* 28: 769-776.
- RYDELL, J., BOGDANOWICZ, W., BOONMAN, A., PETTERSSON, S., SUCHECKA, E. & POMORSKI, J. J. (2016): Bats may eat diurnal flies that rest on wind turbines. – *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde* 81: 331-339.
- SACHTELEBEN, J., RUDOLPH, B.-U. & MESCHEDE, A. (2004): Zwergfledermaus - *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774). – In: MESCHEDE, A. & RUDOLPH, B.-U. (Hrsg.): Fledermäuse in Bayern. – Stuttgart (Ulmer-Verlag): 263-275.
- SCHMIDT, A. (2009): Beziehungen zwischen Paarungsgebieten und Winterquartieren von Mausohren (*Myotis myotis*) aus Ostbrandenburg. – *Nyctalus* 14: 337-354.
- SCHÖBER, W. & GRIMMBERGER, E. (1998): Die Fledermäuse Europas: Kennen - bestimmen - schützen. – Stuttgart (Kosmos Verlag): 265 S.
- SCHORCHT, W. (2002): Zum nächtlichen Verhalten von *Nyctalus leisleri* (Kuhl, 1817). – In: MESCHEDE, A., HELLER, K.-G. & BOYE, P. (Hrsg.): Ökologie, Wanderungen und Genetik von Fledermäusen in Wäldern - Untersuchungen als Grundlage für den Fledermausschutz. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 141-162.
- SCHORCHT, W. (2005): Zur Phänologie des Kleinabendseglers, *Nyctalus leisleri* (Kuhl, 1817), in Südhüringen. – *Nyctalus* 10: 351-353.
- SCHREIBER, M. (2017): Populationsbiologische und naturschutzfachliche Überlegungen zum gesetzlichen Tötungsverbot des §44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG. – *Natur und Recht* 39: 5-12.
- SEGRS, J. & BRODERS, H. (2014): Interspecific effects of forest fragmentation on bats. – *Canadian Journal of Zoology* 92: 665-673.
- SIMON, M., HÜTTENBÜGEL, S. & SMIT-VIERGUTZ, J. (2004): Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Dörfern und Städten. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 275 S.
- STECK, C. & BRINKMANN, R. (2015): Wimperfledermaus, Bechsteinfledermaus und Mopsfledermaus - Einblicke in die Lebensweise gefährdeter Arten in Baden-Württemberg. – Bern (Haupt-Verlag): 200 S.
- STEINHAUSER, D., BURGER, F. & HOFFMEISTER, U. (2002): Untersuchungen zur Ökologie der Mopsfledermaus, *Barbastella barbastellus* (SCHREBER, 1774), und der Bechsteinfledermaus, *Myotis bechsteinii* (KUHL, 1817) im Süden des Landes Brandenburg. – In: MESCHEDE, A., HELLER, K.-G. & BOYE, P. (Hrsg.): Ökologie, Wanderungen und Genetik von Fledermäusen in Wäldern - Untersuchungen als Grundlage für den Fledermausschutz. – Bonn (Bundesamt für Naturschutz): 81-98.
- TRAPP, H., FABIAN, D., FÖRSTER, F. & ZINKE, O. (2002): Fledermausverluste in einem Windpark der Oberlausitz. – *Naturschutzarbeit in Sachsen* 44: 53-56.
- TRAPPMANN, C. (2005): Die Fransenfledermaus in der Westfälischen Bucht. – Bielefeld (Laurenti-Verlag): 120 S.
- VIERHAUS, H. (2000): Neues von unseren Fledermäusen. – *ABU info* 24: 58-60.
- VOIGT, C. C., POPA-LISSEANU, A. G., NIERMANN, I. & KRAMER-SCHADT, S. (2012): The catchment area of wind farms for European bats: A plea for international regulations. – *Biological Conservation* 153: 80-86.
- ZAHN, A., MESCHEDE, A. & RUDOLPH, B.-U. (2004): Abendsegler *Nyctalus noctula* (Schreber, 1774). – In: MESCHEDE, A. & RUDOLPH, B.-U. (Hrsg.): Fledermäuse in Bayern. – Stuttgart 232-252.
- ZAHN, A., HASELBACH, H. & GÜTTINGER, R. (2005): Foraging activity of central European *Myotis myotis* in a landscape dominated by spruce monocultures. – *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde* 70: 265-270.