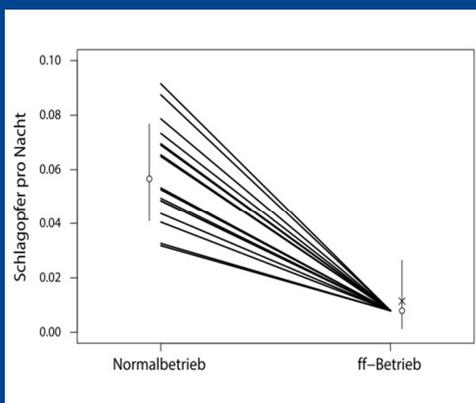


Oliver Behr, Robert Brinkmann, Fränzi Korner-Nievergelt, Martina Nagy, Ivo Niermann, Michael Reich & Ralph Simon (Hrsg.)

Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II)



Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore- Windenergieanlagen (RENEBAT II)

Ergebnisse eines Forschungsvorhabens *)

Oliver Behr, Robert Brinkmann, Fränzi Korner-Nievergelt, Martina Nagy, Ivo Niermann, Michael Reich & Ralph Simon (Hrsg.)

*) Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit unter dem Förderkennzeichen 0327638C+D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Hannover: Institut für Umweltplanung, 2015

Herausgeber: Institut für Umweltplanung
Leibniz Universität Hannover
Herrenhäuser Straße 2, 30419 Hannover
www.umwelt.uni-hannover.de

Schriftleitung: Dr. Stefan Rüter

Titelbilder: oben: Großer Abendsegler (*Nyctalus noctula*) (Foto: Ivo Niermann);
Mitte: Mittlere Schlagruten pro Nacht und Windenergieanlage für den Normalbetrieb und für den fledermausfreundlichen Betrieb (ff-Betrieb) (Abb. 7, S. 240 in diesem Band); unten: Windenergieanlage bei Nacht (Foto: Ralph Simon)

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

Forschungsnehmer:



Prof. Dr.-Ing. Reinhard Lerch
Dr. Oliver Behr
Dr. Alexander Sutor

Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Sensorik
Paul-Gordan Str. 3/5
91052 Erlangen



Prof. Dr. Michael Reich
Dr. Ivo Niermann
Dr. Stefan Rüter

Leibniz Universität Hannover
Institut für Umweltplanung
Herrenhäuser Str. 2
30419 Hannover

Kooperationspartner:



Dr. Fränzi Korner-Nievergelt

oikostat GmbH
Ausserdorf 43
CH - 6218 Ettiswil



Dr. Robert Brinkmann
Johanna Hurst
Kristine Mayer
Dr. Hendrik Reers

FrInaT GmbH
Egonstr. 51-53
79106 Freiburg



Boris de Wolf

ENERCON GmbH
Dreekamp 5
26605 Aurich



Dr. Reinhard Ebert
Uwe Adomeit

Fraunhofer Institut für Optronik,
Systemtechnik und Bildauswertung
Gutleuthausstr. 1
76275 Ettlingen

Zitiervorschlag Gesamtbericht

BEHR, O., BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F., NAGY, M., NIERMANN, I., REICH, M., SIMON, R. (Hrsg.) (2015). Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). - Umwelt und Raum Bd. 7, 368 S., Institut für Umweltplanung, Hannover.

Zitiervorschlag Berichtsteile

BEHR, O., BRINKMANN, R., HOCHRADEL, K., KORNER-NIEVERGELT, F., NAUCKE, A., MAGES, J., NAGY, M., NIERMANN, I., SIMON, R., WEBER, N. (2015). Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - 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). - Umwelt und Raum Bd. 7, 101-164, Institut für Umweltplanung, Hannover.

Inhalt

Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II) – Zusammenfassung	7
Reducing the collision risk for bats at onshore wind turbines (RENEBAT II) – Summary	15
Anlass, Aufgabenstellung und Stichprobendesign	23
Methoden akustischer Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen.	39
Wärmeoptische 3D-Erfassung von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen	81
Akustische Erfassung der Fledermausaktivität	101
Kollisionsopfersuchen als Grundlage zur Überprüfung der Wirksamkeit von Abschaltalgorithmen	165
Experimenteller Test der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen	205
Planungsvorgaben bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und Betrieb von Windenergieanlagen – eine Recherche bei Behörden und nicht-staatlichen Organisationen	271
Leitfaden zur Durchführung einer akustischen Aktivitätserfassung an Windenergie- anlagen und zur Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen.	317

Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II) – Zusammenfassung

OLIVER BEHR^a, ROBERT BRINKMANN^c, FRÄNZI KORNER-NIEVERGELT^d,
MARTINA NAGY^a, IVO NIERMANN^b, MICHAEL REICH^b, RALPH SIMON^a

^a Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik, Erlangen

^b Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

^c Freiburger Institut für angewandte Tierökologie GmbH (FrInaT), Freiburg

^d oikostat GmbH, Ettiswil (CH)

1 Anlass

Fledermausschlagopfer an Windenergieanlagen (im Folgenden „WEA“) treten an vielen Standorten und teilweise in erheblichen Zahlen auf. Eine Reduktion der Schlagopferzahlen ist daher nicht nur aus Naturschutzsicht sondern auch für die Akzeptanz des Ausbaus der Windenergie wichtig. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind nur Betriebsalgorithmen, die die Rotoren der WEA zu Zeiten von hohem Schlagrisiko still stellen, in der Lage, die Zahl zu Tode kommender Fledermäuse substanziell zu reduzieren.

Betriebsalgorithmen zur Verringerung des Schlagrisikos werden gewöhnlich anhand der Windgeschwindigkeit definiert, die an der WEA gemessen wird. Teilweise berücksichtigt man auch die Jahres- und Nachtzeit, die Temperatur oder den Niederschlag. Die genannten Faktoren haben einen großen Einfluss auf die Fledermausaktivität und eignen sich daher zur Prognose des Kollisionsrisikos. In einem vorangegangenen Forschungsvorhaben (im Folgenden „RENEBAT I“) wurde eine Methode entwickelt, mit der das Schlagrisiko für Fledermäuse an WEA quantifiziert und über anlagenspezifische Betriebsalgorithmen reduziert werden kann. Die Datengrundlage hierfür bilden eine akustische Erfassung der Fledermausaktivität im Rotorbereich der betreffenden WEA und die an der Anlage gemessenen Windgeschwindigkeitswerte. Der fledermausfreundliche Betriebsalgorithmus bestimmt dann Zeiträume, in denen der Quotient aus der zu erwartenden Ertragseinbuße und der vorhergesagten Zahl toter Fledermäuse minimal ist. In diesen Zeiträumen wird die WEA aus dem Wind genommen, der Rotor still gestellt

und damit die Kollision von Fledermäusen vermieden. Diese Anlagensteuerung kann das Risiko des Fledermausschlags auf einen behördlich festgelegten jährlichen Durchschnittswert reduzieren und gleichzeitig die resultierenden Ertragseinbußen minimieren. In diesem Zusammenhang kommt einer sorgfältigen Standortwahl eine hohe Bedeutung zu, da an Standorten mit geringer Fledermausaktivität auch nur geringe Abschaltzeiten notwendig sind.

2 Ziele

Übergeordnetes Ziel des hier experimentell überprüften methodischen Ansatzes ist es also, auch an kritischen Standorten sowohl den Belangen des Fledermausschutzes als auch dem Ziel des Ausbaus der Windenergie und damit der Förderung regenerativer Energiequellen Rechnung zu tragen. Die bei Planung und Betrieb der WEA beteiligten Personen sollen in die Lage versetzt werden, das Kollisionsrisiko für Fledermäuse und die notwendigen Maßnahmen für dessen Reduzierung quantitativ abzuschätzen.

In diesem Bericht stellen wir die Ergebnisse des durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten dreijährigen Forschungsprojektes „Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“ (im Folgenden „RENEBAT II“) vor. Zentrales Ziel von RENEBAT II war die Validierung und Weiterentwicklung der im vorangegangenen Forschungsvorhaben RENEBAT I entwickelten Methoden, insbesondere der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen. Die bei der Standortplanung und Genehmigung von WEA beteiligten Akteure (z. B. in Behörden und Gutachterbüros) sollten in die Lage versetzt werden, diese Methoden eigenständig und mit möglichst geringem Aufwand umzusetzen, um eine zeitnahe und breite praktische Umsetzung zu ermöglichen. Hierzu wurden die fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen modellhaft an 16 WEA im Bundesgebiet eingesetzt und in ihrer praktischen Umsetzbarkeit, Effizienz und hinsichtlich der resultierenden Kosten geprüft.

In diesem Zusammenhang war ein wichtiges Ziel, den in RENEBAT I erarbeiteten Ansatz in die Handlungsempfehlungen einzelner Bundesländer und Verbände zu integrieren. Als zentrales Hindernis bei der Integration der Forschungsergebnisse in die Praxis haben sich die umfangreichen statistischen Berechnungen erwiesen, die Bestandteil unseres Untersuchungsansatzes sind. In RENEBAT II haben wir deshalb Hilfestellungen entwickelt, die es auch in Statistik weniger Versierten ermöglichen, die notwendigen Berechnungen selbst durchzuführen.

Darüber hinaus bearbeiteten wir in RENEBAT II wissenschaftliche Fragestellungen, die sich als zentral für eine praktische Umsetzung der von uns entwickelten Methoden

erwiesen haben. Die hier erarbeiteten Ergebnisse haben auch über die von uns entwickelten Methoden hinaus allgemeine Relevanz bei der Analyse des Schlagrisikos von Fledermäusen an WEA. Zu den in RENEBAT II bearbeiteten Fragestellungen gehörte z. B. die Größe des durch die akustische Aktivitätsmessung erfassten Rotorbereiches.

Aktuelle technische Entwicklungen im Bereich akustischer und anderer relevanter Sensoren wurden von uns durch methodische Tests begleitet und zugleich neue Ansätze zur Verbesserung und Vereinfachung der Erfassung entwickelt und erprobt. Wichtig war hierbei, die Aufnahmetechnik zu standardisieren, um die Vergleichbarkeit verschiedener Datensätze zu gewährleisten und um Schwierigkeiten und notwendige Eigenarbeiten beim Einsatz von Detektoren im Gondelbereich von WEA zu minimieren. Dies trägt nicht zuletzt dazu bei, Kosten bei der Erfassung des Schlagrisikos von Fledermäusen an WEA zu senken.

3 Methoden akustischer Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen

Zentrales Ergebnis des vorausgegangenen Forschungsvorhabens RENEBAT I war die Berechnung des Schlagrisikos für Fledermäuse an WEA aus der automatisiert gemessenen akustischen Aktivität. Die Höhe der Fledermausaktivität (z. B. als Aufnahmen pro Stunde) hängt dabei stark von den eingesetzten Detektoren und gewählten Einstellungen ab.

In RENEBAT I wurden der Batcorder (ecoObs GmbH) und der Anabat SD1 (Titley) für die Datenerfassung im Feld verwendet. In RENEBAT II wurde neben diesen Detektoren auch der Detektor UltraSoundGate (USG) der Firma Avisoft Bioacoustics eingesetzt. Zunächst berechneten wir theoretisch vorhersagbare Unterschiede aus den physikalischen Eigenschaften der Detektoren, insbesondere der Mikrofone. So berechneten wir Erfassungsreichweite und -volumen anhand des Frequenzgangs und der Richtcharakteristik. Abhängig von der Frequenz des Fledermausrufs war das abgedeckte Volumen des Avisoft-USGs 3 bis 3,5 mal so groß wie das des Batcorders. Bei der Triggerung (Auslösung) einer Aufnahme arbeiten das USG und der Batcorder nach einem ähnlichen Prinzip, wohingegen Titleys Anabat keine Selektion von Rufen vornimmt, sondern eine Daueraufnahme von Nulldurchgangsdaten aufzeichnet. Die theoretischen Vorhersagen wurden mit unterschiedlichen praktischen Experimenten verifiziert. Sowohl der Anabat SD1 Detektor als auch das UltraSoundGate wurden an jeweils acht Anlagen getestet, der Batcorder parallel zu jeweils einem der anderen Detektoren an allen 16 WEA. Durch den parallelen Einsatz war es möglich, Unterschiede in der Empfindlichkeit und der daraus resultierenden Einschätzung der Aktivität für die unterschiedlichen Detektoren

zu quantifizieren. Die Detektorsysteme wurden im Unterschied zu RENE-BAT I in RENE-BAT II nicht offen in der Gondel montiert, sondern in einem Schaltschrank aus Stahl vorinstalliert. In einem Pilotversuch wurde zudem an einzelnen Anlagen ein alternativer Aufbau des UltraSoundGates von Avisoft getestet, bei dem sich nur die Mikrofonscheibe in der Gondel befindet und die Aufzeichnungseinheit am Anlagenfuß installiert wird. Das Mikrofonsignal wurde mithilfe eines langen Kabels, das im Anlagenturm verlegt wurde, nach unten geleitet.

Alle drei Detektoren erwiesen sich als geeignet für ein Gondelmonitoring, zeigten jedoch deutliche Unterschiede in der Erfassungreichweite, der Anzahl von Störungsaufnahmen, der Dauer von Ausfallzeiten und der Anzahl von Aufnahmen mit Fledermausrufen.

4 Wärmeoptische 3D-Erfassung von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen

Bereits im Forschungsvorhaben RENE-BAT I kam weltweit erstmals ein stereo-wärmeoptisches Erfassungssystem zum Einsatz, um die akustische Detektion von Fledermäusen an WEA zu validieren. Dieses System ermöglicht es, die 3D-Flugbahnen von Fledermäusen in Gondelnähe zu bestimmen und in Verbindung mit den akustischen Aufnahmen der in der Gondel installierten Detektoren Rückschlüsse auf die Reichweite dieser Detektoren zu ziehen.

Im aktuellen Forschungsprojekt RENE-BAT II erweiterten wir den aus RENE-BAT I vorliegenden Datensatz um vier Erfassungsnächte. Die Verteilung der Fledermäuse im Rotorbereich zeigte eine exponentielle Abnahme der Fledermausdichte mit zunehmendem Abstand zur Gondel. Dies stellt den ersten überzeugenden Nachweis dafür dar, dass, wie schon seit langem vermutet, WEA einen anziehenden Effekt auf Fledermäuse haben, die Aktivität im Rotorbereich also höher als im freien Luftraum ist. Aus der gemessenen Verteilung berechneten wir Skalierungsfaktoren für das Schlagrisiko an WEA, deren Rotordurchmesser von dem der in RENE-BAT I beprobten WEA (etwa 70 m Rotordurchmesser) abweicht.

5 Akustische Erfassung der Fledermausaktivität

An den Gondeln der 16 durch Schlagopfernachsungen beprobten WEA wurde zusätzlich während des gesamten Zeitraums des Experiments die akustische Aktivität von Fledermäusen erfasst. Für die akustische Erfassung wurden drei Detektortypen (Anabat SD1, Batcorder und Avisoft-System) zum Teil parallel eingesetzt. Darüber hinaus erfassten wir,

wie schon in RENEBAT I, die Außentemperatur an der Gondel und verwendeten die an der WEA gemessenen Windgeschwindigkeitswerte.

Die Fledermausaktivität war in vielen Aspekten der in RENEBAT I im Jahr 2008 an denselben WEA gemessenen sehr ähnlich: Die Aktivität war in beiden Jahren in hohem Maße von der Jahreszeit abhängig. Ähnlich wie im Jahr 2008 ergaben sich artspezifisch unterschiedliche Aktivitätsmaxima im Zeitraum Juli und August. Weiterhin zeigte sich ein Schwerpunkt der Fledermausaktivität im ersten Viertel der Nacht, der ebenfalls artspezifisch mehr oder weniger deutlich ausgeprägt war. An einem der beprobten Standorte wurde ein weiteres Aktivitätsmaximum kurz vor Sonnenaufgang beobachtet. Einen sehr starken Effekt auf die Fledermausaktivität hatte wie auch in RENEBAT I die Windgeschwindigkeit mit einer deutlichen und annähernd logarithmischen Abnahme der Aktivität bei zunehmender Windstärke (deutlich unter 10 % der akustischen Aktivität bei Windgeschwindigkeiten ≥ 5 m/s). Auch hier waren, wenn auch weniger deutlich, ausgeprägte Unterschiede zwischen den Art(gruppen) zu beobachten, die denen im Jahre 2008 glichen. Eine starke Abnahme der Fledermausaktivität ergab sich außerdem auch in RENEBAT II bei Temperaturen unter 15°C und über 30°C. Die Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, zeigte in mehreren Punkten (Verteilung der Aktivität über die Nacht und im Jahresverlauf und Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit) ein von den anderen Arten abweichendes Muster, das vermutlich mit dem Zugverhalten dieser Art zusammenhängt.

Auch das Artenspektrum war dem in RENEBAT I im Jahr 2008 erfassten sehr ähnlich. Es wurden fast ausschließlich Aufnahmen der Artgruppe Nyctaloid (Anabat SD1: 77 %, Batcorder: 68 %, Avisoft-System: 84 %) und der Artengruppe Pipistrelloid (Anabat SD1: 23 %, Batcorder: 19 %, Avisoft-System: 16 %) registriert. Für die meisten Art(gruppen) zeigten sowohl der Anabat SD1 als auch das Avisoft-System in etwa doppelt so hohe Aktivitätswerte wie der Batcorder. Verglichen wurden hierbei *presence/absence* Daten für 10-Minuten-Intervalle. Das Verhältnis der Aufnahmezahlen war vor allem für den Batcorder und das Avisoft-System für verschiedene Artgruppen sehr ähnlich.

Wie bereits in RENEBAT I war es basierend auf meteorologischen Faktoren, dem Monat und der Nachtzeit möglich, eine relativ präzise Vorhersage von Zeiten mit erhöhter Fledermausaktivität und damit erhöhtem Kollisionsrisiko zu treffen.

6 Kollisionsopfersuchen als Grundlage zur Überprüfung der Wirksamkeit von Abschaltalgorithmen

Die Effizienz der in RENEBAT I entwickelten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen wurde im hier dargestellten RENEBAT II an 16 WEA im Bundesgebiet experimentell getestet. Um den Effekt des fledermausfreundlichen Betriebs zu quantifizieren, wurden unter anderem tägliche Schlagopfernachsungen an allen beprobten WEA im Zeitraum vom 04.07.12 bis zum 11.10.2012 durchgeführt. In der Summe wurden 1596 Suchen durchgeführt. Gefunden wurden 39 Fledermauskollisionsopfer aus sieben Arten. Die Mehrzahl der Individuen war jenen Arten zuzuordnen, die auch bundesweit besonders häufig zu den Kollisionsopfern zählen: Der Große Abendsegler, *N. noctula*, die Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, die Zwergfledermaus *P. pipistrellus*, der Kleinabendsegler, *N. leisleri*, und die Zweifarbfledermaus, *V. murinus*.

Um die Wirksamkeit der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen zu klären, wurden die Kollisionsopfer einer der beiden WEA-Betriebsarten im Experiment (fledermausfreundlicher oder normaler Betrieb) zugeordnet. Um die Zuordnung abzusichern, wurden nur jene Tiere berücksichtigt, die in der Nacht vor der Suche kollidiert waren (21 der insgesamt 39 Tiere). Von diesen 21 Tieren wurden drei nach Nächten im fledermausfreundlichen Betrieb gefunden und 18 nach Nächten im Normalbetrieb. Der fledermausfreundliche Betrieb hat sich also als ausgesprochen wirkungsvoll erwiesen.

7 Experimenteller Test der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen

Die Daten der Schlagopfernachsungen und der akustischen Aktivitätserfassung gingen in den Praxistest der in RENEBAT I entwickelten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen ein. Getestet wurde der fledermausfreundliche Betrieb an 16 WEA in 8 Windparks (2 WEA je Windpark) im Bundesgebiet. Der Zeitraum des Experiments erstreckte sich über 14 Wochen von Anfang Juli bis Anfang Oktober 2012. Alle 16 WEA im Experiment waren bereits in einem vorangegangenen Forschungsvorhaben im Jahr 2008 akustisch beprobt worden. Wir wählten sie aus dem vorhandenen Datenpool (70 beprobte WEA im Jahr 2008) nach einem hohen Schlagrisiko und nach einer guten Eignung für Schlagopfernachsungen aus. Winddaten lagen ebenfalls aus dem Jahr 2008 für alle Anlagen vor, sodass fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen berechnet werden konnten.

Die jeweils beiden beprobten WEA eines Windparks wurden im wöchentlichen Wechsel mit bzw. ohne fledermausfreundliche Algorithmen betrieben. Die Schlagrate für den fledermausfreundlichen Betrieb wurde von einer Expertenrunde auf 0,012 tote Tiere pro

WEA und Nacht festgesetzt, was 2 toten Tieren pro WEA und Saison entspricht. Der fledermausfreundliche Betrieb wurde mit einer Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$ umgesetzt, um die Zahl der Ab- und Anschaltvorgänge und somit einen möglichen Verschleiß von Anlagenkomponenten zu reduzieren. Wenn als z. B. für den fledermausfreundlichen Betrieb eine cut-in Windgeschwindigkeit von $5,0 \text{ ms}^{-1}$ definiert war, wurde der Rotor gestoppt, sobald die Windgeschwindigkeit unter $5,0 \text{ ms}^{-1}$ absank. Der Rotor lief jedoch dann erst wieder an, wenn die gemessene Windgeschwindigkeit $5,5 \text{ ms}^{-1}$ überstieg. Zur Erfassung des Kollisionsrisikos führten wir tägliche Schlagopfernachsuchen unter den beprobten WEA und eine kontinuierliche akustische Aktivitätserfassung (Detektoren: Anabat SD1, Batcorder und Avisoft-System) an der Gondel der WEA durch.

Insgesamt wurden in den 7 Wochen mit Normalbetrieb 21 Schlagopfer und während der 7 Wochen mit fledermausfreundlichem Betrieb 3 tote Fledermäuse an allen WEA gefunden. Die aus den Nachsuchen ermittelte und sowohl für den Abtrag (hauptsächlich durch Aasfresser) als auch die Sucheffizienz korrigierte mittlere Schlagrate lag damit bei 0,064 toten Tieren je WEA und Nacht für den Normalbetrieb und bei 0,010 für den fledermausfreundlichen Betrieb. Der tatsächlich gemessene Wert im fledermausfreundlichen Betrieb unterschied sich also nur unwesentlich vom angestrebten Wert von 0,012.

Die Summe der berechneten und der realen Ertragsausfälle im Normal- und im fledermausfreundlichen Betrieb lag im Mittel bei 2,1 % des Jahresertrags der WEA im gesamten Jahr 2012. Dieser Wert lag nah am vorhergesagten Wert von 2,2 % für die beprobten WEA. Da für das Experiment Anlagen mit hohem Schlagrisiko ausgewählt wurden, lag der Wert für einen zufallsausgewählten Datensatz im Mittel bei 1,8 % und damit niedriger. Bei Verzicht auf eine Hysterese reduzierte sich dieser Wert nochmals auf 1,4 %.

Wir konnten also zeigen, dass die im vorangegangenen Forschungsvorhaben RENEBA I entwickelten statistischen Modelle die Schlagopferzahlen an den untersuchten Anlagen mit hoher Genauigkeit vorhersagen können. Darüber hinaus konnten wir zeigen, dass der fledermausfreundliche Betriebsalgorithmus an den untersuchten Anlagen dazu geeignet ist, das Schlagrisiko mit hoher Präzision auf einen festgelegten Wert des verbleibenden Kollisionsrisikos zu reduzieren. Die Kosten für dieses Vorgehen konnten wir für unseren Datensatz beispielhaft ermitteln.

8 Planungsvorgaben bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und Betrieb von Windenergieanlagen – eine Recherche bei Behörden und nicht-staatlichen Organisationen

Für den Ausbau der Windenergie existieren in den einzelnen Bundesländern unterschiedliche Vorgaben, wozu auch Regelungen bezüglich des Naturschutzes gehören. Zwar hat sich die Berücksichtigung von Belangen des Fledermaus-Artenschutzes im Rahmen von Standortgenehmigungsverfahren weitgehend durchgesetzt, jedoch unterscheiden sich die Vorgaben zu Art und Umfang der Berücksichtigung in den Ländern stark.

Wir stellen hier die bislang veröffentlichten Regelungswerke, Empfehlungen und Forderungen vor. Die Auswertung der Rechercheergebnisse zeigt, dass in den einzelnen Bundesländern unterschiedliche Regelungen oder Empfehlungen bestehen, ob und inwieweit Fledermäuse beim Ausbau der Windkraft zu berücksichtigen sind. Vor allem hinsichtlich Detailfragen bestehen zum Teil große Unterschiede, oder es werden keine Aussagen gemacht. Dies betrifft insbesondere auch die Frage, wie die Ergebnisse von Voruntersuchungen und einer akustischen Aktivitätserfassung an der bestehenden WEA zu bewerten sind. Mit Blick auf den derzeit stattfindenden und noch anstehenden umfangreichen Ausbau der Windenergie und die Beschleunigung von Genehmigungsprozessen ist es zielführend, die bestehenden Regelungen aufeinander abzustimmen, um den Artenschutz bundesweit auf einem einheitlichen Niveau zu berücksichtigen.

9 Leitfaden zur Durchführung einer akustischen Aktivitätserfassung an Windenergieanlagen und zur Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen

Wir stellen in diesem Bericht einen Leitfaden zur Verfügung, der die notwendigen Voraussetzungen und Arbeiten für die Durchführung einer akustischen Fledermausaktivitätserfassung im Gondelbereich von WEA beschreibt und eine Anleitung zur Analyse der erhobenen Daten sowie zur Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen bietet. Die detaillierte Beschreibung soll Gutachtern und Behörden als Hilfestellung zur Planung, Durchführung, Auswertung und auch Kontrolle einer solchen Erfassung dienen.

Darüber hinaus haben wir ein Statistiktool zur Berechnung der tatsächlichen Schlagopferzahl aus der Anzahl gefundener toter Tiere entwickelt und stellen dieses unter <http://www.kollisionsopfersuche.uni-hannover.de/> zur Verfügung.

Reducing the collision risk for bats at onshore wind turbines (RENEBAT II) – Summary

OLIVER BEHR^a, ROBERT BRINKMANN^c, FRÄNZI KORNER-NIEVERGELT^d,
MARTINA NAGY^a, IVO NIERMANN^b, MICHAEL REICH^b, RALPH SIMON^a

^a Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik, Erlangen

^b Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

^c Freiburger Institut für angewandte Tierökologie GmbH (FrInaT), Freiburg

^d oikostat GmbH, Ettiswil (CH)

1 Motivation

Bat fatalities at wind turbines have been reported at many sites and sometimes in alarming numbers. Reducing bat fatalities is important both for species protection and for positive public perception of wind turbines. Currently the only way to substantially and reliably reduce fatality numbers is to run turbines with curtailment algorithms that stop the rotor during times of high collision risk (operational mitigation).

Curtailment algorithms that reduce the number of bat fatalities are usually defined based on the wind speed measured at the nacelle of the turbine. Sometimes the time of year, time of night, temperature, and precipitation are also considered. These variables have a great influence on bat activity, and can therefore be used to predict collision risk. In an earlier study, RENEBAT I, we developed a method to quantify and reduce the collision risk for bats at wind turbines using curtailment algorithms tailored to the specific turbine or wind facility. The algorithms are based on the acoustic recording of bat activity in the rotor-swept area, as well as the wind-speed data recorded at the wind turbines in question. A “bat-friendly” curtailment algorithm then determines the times of low energy-yield and high predicted number of bat fatalities. During these periods the blades of the wind turbine rotor are feathered (adjusted parallel to the wind) with the rotor moving at a low speed (free-wheeling). This kind of turbine operation can reduce the risk of bat collisions to an annual average set by the relevant public authorities, while at the same time keeping the resulting loss in energy-yield at a minimum. Careful site-selection is however important, because at sites with low bat activity the idling times will be correspondingly short.

2 Objectives

The main objective of this research project was to find a solution to reduce bat fatalities at wind turbines while allowing for the effective production of wind energy. Our intention was to enable people involved in the planning and operation of wind turbines to quantitatively assess the collision risk for bats and to apply measures necessary to reduce this risk.

In this report we present the results of a three-year research project supported and funded by the Federal German Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety: “Reduction of Bat Collision Risk at Onshore Wind Energy Facilities”. The central objective of RENEBAT II was to validate and improve the methods that had been developed in the earlier project RENEBAT I, with a main focus on the “bat-friendly” curtailment algorithms. The intention was that people involved in the site selection, planning of wind turbines, and approval process (e.g. people working in governmental agencies and in consultancies), should be able to implement these methods to facilitate their prompt and widespread use in actual planning practice. To achieve this, we implemented “bat-friendly” algorithms at 16 wind turbines in different geographical areas in Germany to determine practicality, efficiency, and costs resulting from turbine idling times.

Another important step for the implementation of our approach into planning procedures is to integrate the methods developed in RENEBAT I into best practice documents published by various German federal state authorities and expert panels. The main obstacle for this integration proved to be the statistics involved in our approach. Therefore, in RENEBAT II, tools were developed to enable non-experts to perform the necessary statistical calculations by themselves.

In RENEBAT II we also addressed research questions that have proven important when implementing our approach into planning procedures; these questions are not just relevant for the new particular methods developed in the previous study, but also for analysing bat collision risk at wind turbines in general. One question addressed in RENEBAT II was, for example, the size of the rotor area covered when acoustically sampling bat activity.

We also tested and reviewed new technical developments in the field of acoustic detectors and other relevant sensors (such as brightness sensors). The main focus was to improve, simplify, and standardise data-acquisition techniques, in order to effectively compare different data-sets and to minimise the difficulties that arise when installing detectors in the nacelle of wind turbines. This simplification and standardisation also reduces the cost of detector installation and data acquisition.

3 Methods to assess the acoustic activity of bats at wind turbines

The key outcome of the preceding research project RENEBAT I was the calculation of collision risk of bats at wind turbines based on acoustic activity data, as recorded with automated detectors. The level of bat activity measured (e.g. as recordings per hour) depends greatly on the type of detector used and the settings with which the detectors are operated.

In RENEBAT I we gathered data on bat activity with the Batcorder (ecoObs GmbH) and the Anabat SD1 (Titley Scientific); RENEBAT II, also included the UltraSoundGate (USG) detector (Avisoft Bioacoustics). The Anabat SD1 detector and the UltraSoundGate were tested at eight wind turbines each, whereas the Batcorder was tested at 16 wind turbines, and was thus running in parallel with either one or the other of the two other detectors. By installing two detector types simultaneously at the same wind turbine, it was possible to quantify differences in microphone sensitivity and the resulting differences in the bat activity measured. In RENEBAT II detector systems were no longer installed exposed in the nacelle (as in RENEBAT I), but rather pre-installed inside a steel control cabinet.

The three detectors tested showed significant differences regarding their detection ranges, the number of noise signals, and the number of bat calls recorded. The new Avisoft System recorded comparably very little noise, but recorded bat calls with a high sensitivity. We calculated the detection range and detection volume of the detectors based on their frequency response and directivity. Depending on the frequency of the bat calls recorded, the detection volumes of, for example, Batcorder and USG, differed by 100 % to 400 %. To verify the theoretically estimated detection ranges we used a flight drone equipped with a GPS and an ultrasonic transducer to mimic a bat that emits ultrasonic signals at defined distances to wind turbines.

In addition to the detectors mentioned, we tested the microphone disc manufactured by ecoObs GmbH, and an alternative set-up of the UltraSoundGate (Avisoft) at three turbines each. The alternative set-up involved mounting only the microphone disc in the nacelle, while the recording device was installed at the base of the wind turbine. In this set-up, the microphone signal is conducted downward into the registration unit by a long copper cable installed in the turbine tower.

4 3D thermal-imaging of bat activity in the rotor swept area of wind turbines

In RENEBAT I we used a stereo heat imaging system to validate the acoustic detection of bats at wind turbines; This system is able to record the 3D flight paths of bats around the turbine nacelle. Data from acoustic detectors installed inside the nacelle also allowed for conclusions on the acoustic detection range of these detectors.

In RENEBAT II we recorded data during four additional nights with the same set-up. The distribution of bats in the rotor swept area showed an exponential decrease in bat density with increasing distance from the nacelle. This is the first convincing evidence that, as it has been long suspected, turbines attract bats. From the measured bat activity distribution, we calculated scaling factors for the bat collision risk at wind turbines with rotor diameters differing from the 70 m rotor diameter mostly sampled in RENEBAT I.

5 Acoustic bat activity

In addition to bat fatality data, the acoustic activity of bats was recorded at all 16 wind turbines continuously throughout the experiment. Three types of detectors (the Anabat SD1, the Batcorder and the Avisoft system) were used with two detector types running simultaneously at all turbines. We also recorded environmental parameters such as the temperature outside the nacelle and wind speed.

Bat activity recorded was in many respects very similar to that recorded in RENEBAT I (2008) at the same wind turbines. In both years (RENEBAT I: 2008 and RENEBAT II: 2012), activity was highly dependent on the season. In 2012, as in 2008, species-specific activity peaks occurred in July and August. Bat activity also peaked during the first quarter of the night, again with slight temporal differences between species. At one site another peak in activity was observed shortly before sunrise in both years. As in 2008, wind speed proved to have a very strong effect on bat activity, with a clear and approximately logarithmic reduction of bat activity as wind speed increased (less than 10 % of bat activity occurred at wind speeds above 5 ms⁻¹). Here, we also observed activity patterns differing between species (groups) to a certain extent; These patterns also closely resembled those observed in 2008. Similarly to the results of 2008, bat activity decreased in 2012 when temperatures fell below 15 °C or rose above 30 °C. *Nathusius' pipistrelle* (*P. nathusii*) showed an activity pattern that differed from other bat species in several aspects (distribution of activity over the night and throughout the year, and correlation of activity and wind speed), which is probably due to migratory behaviour.

The species spectrum recorded was very similar to that in 2008. Recordings almost exclusively belonged to bats from ‘Nyctaloid’ species (Anabat SD1: 77 %, Batcorder: 68 %, Avisoft system: 84 %) and ‘Pipistrelloid’ species (Anabat SD1: 23 %, Batcorder: 19 %, Avisoft system: 16 %).

For most species (groups), both the Anabat SD1 and the Avisoft system recorded levels of bat activity approximately twice as high as recorded by the Batcorder (comparison of presence/absence data for 10minute intervals). The relative frequency of recordings from different species (groups) was very similar for the Batcorder and the Avisoft system.

As in 2008 (RENEBAT I), it was possible to predict periods of high bat activity, and thus high collision risk, based on meteorological factors, time of year, and time of night with a relatively high precision.

6 Fatality searches

In RENEBAT II the efficiency of the “bat-friendly” operating algorithms developed in RENEBAT I was experimentally tested. As part of the experiment, bat fatalities at all wind turbines were sampled daily from the 4th of July until the 11th of October: a total of 1596 searches; 39 bat fatalities from seven different species were found. The majority of fatalities occurred for species that are most commonly found under wind turbines in Germany: Greater noctule, *N. noctula*; Nathusius’ pipistrelle, *P. nathusii*; Common pipistrelle, *P. pipistrellus*; Lesser noctule, *N. leisleri*; and Parti-coloured bat, *V. murinus*.

In order to test the effectiveness of the “bat-friendly” operational algorithms, the collision fatalities were assigned to one of the two wind turbine operation modes used in the experiment: the two treatments “bat-friendly” operation or “normal” operation. To make sure that bat fatalities were assigned to the correct operation mode, only bats that most likely died during the night preceding the search were considered: 21 of the total number of 39 bat carcasses found. Of these 21 bats, three were found after nights with “bat-friendly” operation mode and 18 were found after nights with “normal” operation of wind turbines.

7 Experimental test of ‘bat-friendly’ operating algorithms

Data from fatality searches and from acoustic activity measurements was used for an experimental test of the “bat-friendly” curtailment algorithms. “Bat-friendly” operation was tested for 16 wind turbines at eight sites (two wind turbines per site) in different geographical regions of Germany. The experiment extended over 14 weeks from the beginning

of July until the beginning of October 2012. All 16 wind turbines in the experiment had already been acoustically sampled in 2008 (in RENEBAT I) and the wind turbines tested were selected from the 70 turbines sampled in 2008 for their high collision-risk and good conditions for fatality searches. Data for wind speeds were also available for all these wind turbines in 2008, meaning that “bat-friendly” curtailment algorithms could be calculated.

At each site the two wind turbines in the experiment were run in weekly alternating operating modes (one week with “normal” operation and the next week with “bat-friendly” operating algorithms). The collision rates for the periods of “bat-friendly” operation were defined by a panel of experts as 0.012 bat fatalities per wind turbine per night: thus 2 bat fatalities per wind turbine per year. The “bat-friendly” operation also included a hysteresis of 0.5 ms^{-1} to reduce the number of cut-in events and, hence, the wear on turbine components. So, during times with a cut-in wind-speed defined by the bat-friendly operation of for example 5.0 ms^{-1} , the rotors stopped when the wind-speed dropped below 5.0 ms^{-1} but did only start rotating again when the wind-speed exceeded 5.5 ms^{-1} .

To estimate the collision rate during the experiment, the area below the turbines was searched for carcasses on a daily basis and the acoustic activity was continuously sampled at the nacelle (using Anabat SD1, Batcorder and the Avisoft system).

In total, 21 bat fatalities were found during the seven weeks with “normal” operation, and three bat carcasses were found during the seven weeks when the wind turbines were operating in “bat-friendly” mode. The mean collision rate calculated from the fatality searches (corrected for scavenger removal and searcher efficiency) was 0.064 bat fatalities per wind turbine per night for nights with “normal” operation and 0.010 for nights with “bat-friendly” operation. Thus, the actual fatality rate in “bat-friendly” operation differed only marginally from the “target” value of 0.012 dead bats per wind turbine per night.

The actual loss in energy-yield (and hence money) was determined during “bat-friendly” operation, as well as the expected loss for the times with “normal” operation if turbines had been running in “bat-friendly” mode: The result was an average loss of 2.1 % of the annual energy-yield of the wind turbines in 2012. This value is comparable to the predicted 2.2 % (based on the 2008 data) for the wind turbines tested. Since wind turbines for the experiment were selected with a particularly high collision-risk, the value for a randomly selected data-set of wind turbines (70 turbines sampled in 2008) was lower: on average 1.8 %. If no hysteresis (to reduce the number of feathering events) is used, this value drops to 1.4 %.

Thus, we could show that the statistical models developed in the previous research project RENEBAT I, were able to predict fatality rates of the sampled wind turbines with a high

level of accuracy. The “bat-friendly” curtailment algorithms were also demonstrated to reduce residual collision risk to a pre-set value with high precision. We also determined the cost for turbine idle times for the sample data-set.

8 Current status of the rules and regulations for the planning of wind power sites in Germany

Currently the different federal states in Germany have different sets of environmental guidelines and regulations for the expansion and development of wind energy. By now, issues concerning the conservation of bats are largely considered in the approval process of wind energy sites.

We reviewed the hitherto published regulations and guidelines, recommendations and requirements. The evaluation of our enquiry results shows that the federal states of Germany currently have different rules, regulations and recommendations for whether and to what extent bats should be considered in the expansion of wind power. Especially when it comes to data acquisition, great differences exist between the documents issued by different federal states, and in some cases no document is available at all. This is particularly true for how the results of preconstruction environmental assessments, and the results of acoustic bat activity assessments at existing wind turbines are evaluated. Given the extensive current and potential future expansion of wind energy, and the faster licensing processes of wind energy sites, this study recommends that existing rules and regulations be made uniform throughout the different federal states of Germany.

9 Implementing the methods developed

In RENEBAT II we also developed a guideline document to describe the prerequisites for acoustic sampling of bat activity at wind turbine nacelles, to allow for the subsequent data analysis, and calculation of “bat-friendly” operational algorithms.

The guideline document aims to assist consultants and governmental agencies in their planning, implementation, evaluation, and also supervision of acoustic bat monitoring at wind turbines.

In addition, we have developed a software tool for the calculation of the estimated actual number of collision fatalities from the number of bat carcasses actually found. The tool is available at <http://www.kollisionsopfersuche.uni-hannover.de/>.

Anlass, Aufgabenstellung und Stichprobendesign

OLIVER BEHR^a, MARTINA NAGY^a, IVO NIERMANN^b,
MICHAEL REICH^b, RALPH SIMON^a, ROBERT BRINKMANN^c

a Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik, Erlangen

b Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

c Freiburger Institut für angewandte Tierökologie GmbH (FrInaT), Freiburg

Inhalt

1	Anlass und Ausgangspunkt des Forschungsvorhabens	24
2	Ziele und Aufgaben	25
2.1	Übergeordnete Ziele und Aufgaben	25
2.2	Überprüfung des methodischen Ansatzes und Vermittlung des Ansatzes in die Praxis	26
2.3	Bearbeitung praxisrelevanter Fragestellungen	27
2.4	Technik- und Methodentests	27
3	Design des Forschungsvorhabens	29
3.1	Wesentliche Anforderungen an den Datensatz	29
3.2	Zeitraum und Anzahl untersuchter Anlagen	29
3.3	Design des Experiments	30
3.4	Berücksichtigung verschiedener Großlandschaften und Naturräume	30
3.5	Anlagenparameter	31
4	Projektstruktur und Partner	32
5	Danksagung	33
6	Verweise auf die Berichte dieses und des vorangegangenen Forschungsvorhabens (RENEBAT I und II)	35
7	Literatur	37

1 Anlass und Ausgangspunkt des Forschungsvorhabens

Der Umstieg von fossilen Energieträgern hin zu den erneuerbaren Energien ist ein zentraler Baustein, um den Klimawandel zu verlangsamen und wird von einer breiten gesellschaftlichen Akzeptanz getragen. Der Ausbau der Windenergie ist eine der wichtigsten Säulen bei der Entwicklung der erneuerbaren Energien. Entsprechend werden aktuell an vielen Standorten neue Windenergieanlagen (im Folgenden „WEA“) geplant und errichtet (JANSSEN et al. 2015).

Mit der Errichtung und dem Betrieb von WEA können jedoch auch Beeinträchtigungen der wildlebenden Tiere verbunden sein. Neben Lebensraumverlusten und Störwirkungen werden Kollisionen insbesondere von Vögeln und Fledermäusen an den Rotorblättern als besonders gravierende Auswirkungen diskutiert (z. B. SCHUSTER et al. 2015). Gerade an Onshore-WEA verunglücken häufig deutlich mehr Fledermäuse als Vögel. Da alle Fledermäuse zu den nach dem europäischen und deutschen Naturschutzrecht streng geschützten Arten zählen, sind sie bei der Planung und der Genehmigung von WEA im Besonderen zu berücksichtigen (siehe dazu MAYER et al. 2015 in diesem Dokument). Die Vermeidung von Kollisionen von Fledermäusen an WEA ist daher seit etwa zehn Jahren und auch aktuell eines der zentralen Themen bei der Genehmigung von Windenergieprojekten.

Ziel eines durch das BMU geförderten vorangegangenen Forschungsprojektes unserer Arbeitsgruppe (BRINKMANN et al. 2011, im Folgenden „RENEBAT I“) war daher die Entwicklung und Validierung von Untersuchungsmethoden zur Erfassung von Fledermäusen an WEA. Hierauf aufbauend wurde eine Methode zur Vorhersage der Aktivität und damit der Gefährdung von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA anhand zeitlicher, naturräumlicher und meteorologischer Einflussfaktoren entwickelt (BEHR et al. 2011b). Basierend auf dieser Vorhersage kann für einzelne 10-Minuten-Intervalle ein anlagenspezifischer Erwartungswert des Schlagrisikos berechnet werden. Eine Gegenüberstellung der Vorhersage der Zahl getöteter Fledermäuse und des potenziell erzielten Energieertrags der Anlage ermöglicht dann eine abwägende Bewertung für einzelne 10-Minuten-Intervalle (BEHR et al. 2011a).

Ein fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmus bestimmt dann die Zeiträume, in denen der Quotient aus der zu erwartenden Ertragseinbuße und der vorhergesagten Zahl toter Fledermäuse minimal ist. In diesen Zeiträumen wird die WEA aus dem Wind genommen, der Rotor still gestellt und damit die Kollision von Fledermäusen vermieden. Eine solche Anlagensteuerung soll also das Risiko des Fledermausschlags auf einen in der Regel behördlich festgelegten jährlichen Durchschnittswert reduzieren und gleichzeitig die resultierenden Ertragseinbußen minimieren.

Mit Hilfe dieses Ansatzes ist es möglich, auch an umstrittenen Standorten sowohl den Belangen des Fledermausschutzes als auch dem Ziel des Ausbaus der Windenergie und damit der Förderung regenerativer Energiequellen Rechnung zu tragen. Die an der Eingriffsplanung beteiligten Personen werden in die Lage versetzt, das Kollisionsrisiko für Fledermäuse und die notwendigen Maßnahmen für dessen Reduzierung quantitativ abzuschätzen (BEHR et al. 2011a).

Vorrangiges Ziel des hier dargestellten Folgevorhabens (im Folgenden RENEBAAT II) war es nun, den von uns in RENEBAAT I entwickelten Methoden zur Untersuchung, Vorhersage und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an WEA zu einer zeitnahen und breiten praktischen Umsetzung zu verhelfen. Die bei der Standortplanung und Genehmigung von WEA beteiligten Akteure (z. B. in Behörden und Gutachterbüros) sollen in die Lage versetzt werden, diese Methoden eigenständig und mit vertretbarem Aufwand umzusetzen.

2 Ziele und Aufgaben

2.1 Übergeordnete Ziele und Aufgaben

Das zentrale Ziel des hier dargestellten Forschungsvorhabens war es, den methodischen Ansatz der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen in der Praxis zu überprüfen. Damit sollte die Wirksamkeit dieser kurzfristig umsetzbaren Strategie zur Vermeidung und Minderung des Konfliktes zwischen dem Fledermausschutz und dem Ausbau der Windenergie erprobt werden. Bei der Überprüfung sollte der ggf. notwendige methodische Anpassungsbedarf erkennbar werden. Zudem sollte die Validierung einen Beitrag zur Vermittlung des Ansatzes in der Praxis leisten, da ein rein theoretischer Ansatz in der Praxis oft keine ausreichende Überzeugungskraft entfaltet.

Ein weiteres Ziel war es, aktuelle und praxisrelevante Fragestellungen zu bearbeiten, um das bisherige Konzept inhaltlich zu ergänzen. So wurden z. B. weitere Daten zur Größe des akustischen Erfassungsbereichs akustischer Detektoren an WEA erhoben.

Ergänzende Technik- und Methodentests stellten einen weiteren Schwerpunkt der Arbeiten dar. So wurde ein Helligkeitssensor speziell für den Einsatz an WEA weiterentwickelt und in der Praxis getestet. Weiterhin wurde für verschiedene Detektorsysteme die Standardisierung der akustischen Erfassung vorangetrieben und aktuelle technische Fort- und Neuentwicklungen auf dem Gebiet der automatisierten, akustischen Fledermauserfassung an WEA durch methodische Tests begleitet. Auf der Grundlage der

entsprechend Erfahrungen aus RENEBAT I (im Bereich der Störepfindlichkeit und der Fernabfragemöglichkeit) wurden neue und/oder weiterentwickelte Detektoren beim praktischen Einsatz an WEA geprüft.

Mit einer Recherche und Analyse der behördlichen Planungsvorhaben geben wir einen Überblick über die bislang bereits erfolgte Implementierung unserer Lösungsansätze in die Praxis.

Im Folgenden stellen wir die Ziele und dazu durchgeführten Arbeiten im Detail dar und verweisen auf die jeweils zugehörigen Abschnitte in diesem Bericht.

2.2 Überprüfung des methodischen Ansatzes und Vermittlung des Ansatzes in die Praxis

Die fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen wurden einem Praxistests an 16 WEA in Deutschland unterzogen (siehe dazu BEHR et al. 2015a in diesem Dokument). Das verbleibenden Kollisionsrisikos für Fledermäuse im fledermausfreundlichen Betrieb wurde hierbei unter anderem durch Schlagopfernachsuchen quantifiziert (siehe dazu NIERMANN et al. 2015 in diesem Dokument).

Unterschiede in der Fledermausaktivität zwischen den Erfassungsjahren von RENE-BAT I (2008) und des hier dargestellten Forschungsvorhabens RENE-BAT II wurden geprüft (siehe dazu BEHR et al. 2015a in diesem Dokument).

Für eine vereinfachte Umsetzung der von uns entwickelten Methoden in der Planungspraxis wurden zunächst die behördlichen Planungsvorgaben und die Planungsempfehlungen nicht-staatlicher Verbände und Institutionen bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und Betrieb von WEA recherchiert (siehe dazu MAYER et al. 2015 in diesem Dokument). Teil dieser Recherche war ein Expertenworkshop zur Ermittlung der aktuellen Planungspraxis und zur Implementierung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen in die Planungs- und Genehmigungspraxis der Länder (siehe dazu MAYER et al. 2015 in diesem Dokument).

Darüber hinaus wurde ein Statistiktool zur Berechnung der tatsächlichen Schlagopferzahl aus der Anzahl an Totfunden entwickelt. Ziel war auch hier eine vereinfachte Umsetzung entwickelter Methoden in der Praxis. Das Tool mit der Bezeichnung „Hochrechnung der an WEA verunglückten Fledermäuse mittels Kollisionsopfersuchen“ ist unter folgendem Link zu finden: <http://www.kollisionsopfersuche.uni-hannover.de/>. Auch ein Leitfaden zur Durchführung einer akustischen Aktivitätserfassung an Windenergieanlagen und zur

Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen (BEHR et al. 2015b in diesem Dokument) wird in diesem Bericht veröffentlicht.

2.3 Bearbeitung praxisrelevanter Fragestellungen

Hier war geplant, die Größe des akustischen Erfassungsbereiches in Abhängigkeit von der rufenden Fledermausart und der Windgeschwindigkeit durch wärmeoptische Validierungsmessungen zu ermitteln. Diese sehr aufwändigen Messungen führten leider nicht zur erhofften starken Vergrößerung des im vorangegangenen Forschungsvorhaben erfassten Datensatzes (ADOMEIT et al. 2011). Als problematisch erwies sich, dass die Messungen mit großem Vorlauf geplant werden mussten und daher nicht auf kurzfristige Wechsel des Wetters und der Fledermausaktivität reagiert werden konnte. Die verhältnismäßig wenigen Daten zur Abhängigkeit des Erfassungsbereichs von der Windgeschwindigkeit stellen wir im Bericht dar (HOCHRADEL et al. 2015 in diesem Dokument). Um die genannten Fragestellungen dennoch beantworten zu können, wurde in der Projektlaufzeit ein alternativer Ansatz entwickelt: Eine Flugdrohne (Mikrokopter) wurde mit einer Apparatur zum Abspielen von Ultraschallsignalen ausgestattet. Mit Hilfe dieser Drohne ist es nun deutlich einfacher möglich, die Erfassbarkeit von Fledermausrufen in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren zu messen. Erste Ergebnisse zur Abhängigkeit von der Ruffrequenz werden bereits im Bericht dargestellt (SIMON et al. 2015 in diesem Dokument).

Basierend auf dem kombinierten Datensatz wärmeoptischer 3D-Erfassungen der Fledermausaktivität im Rotorbereich aus RENEBA I und diesem Forschungsvorhaben konnte eine Formel zur Umrechnung der Schlagopfervorhersage für verschiedene Rotorradien entwickelt werden (HOCHRADEL et al. 2015 in diesem Dokument).

2.4 Technik- und Methodentests

Der im vorangegangenen Forschungsvorhaben entwickelte Helligkeitssensor wurde im Hinblick auf geringere Kosten und kommerzielle Reife weiterentwickelt sowie eine Datenaufnahme zur Helligkeit an WEA durchgeführt (HOCHRADEL et al. 2015 in diesem Dokument).

Die Mikrofoncharakteristiken verschiedener Detektorsysteme wurden verglichen (SIMON et al. 2015 in diesem Dokument).

Für die im Forschungsvorhaben RENEBAT II eingesetzten Detektoren Anabat SD1, Batcorder und Avisoft System wurden in Kooperation mit den Herstellern der Geräte standardisierte Analyseverfahren für erfasste akustische Daten verbessert, dem aktuellen Stand der Detektortechnik angepasst oder komplett neu entwickelt (Avisoft System).

Folgende aktuelle technische Fort- und Neuentwicklung auf dem Gebiet der automatisierten akustischen Fledermauserfassung an WEA wurden von uns selbst erstellt oder durch methodische Tests begleitet:

- Entwicklung und Etablierung einer automatisierten akustischen Fledermauserfassung an WEA mit dem Avisoft Bioacoustics Ultra-Sound Gate.
- Entwicklung einer Mikrofonheizung für das Avisoft System
- Test des Avisoft Systems mit einem langen Mikrofonkabel von der Gondel zum Fuß der WEA und der von der Firma ecoObs angebotene Mikrofonscheibe für den Einbau des Batcorders an WEA (SIMON et al. 2015 in diesem Dokument). Analyse der Ergebnisse hinsichtlich der Empfindlichkeit für Fledermaussignale und Störungen.
- Labortest des Effekts von Witterungseinflüssen auf die akustische Erfassung (HOCHRADEL et al. 2015 in diesem Dokument)
- Weiterentwicklung der Testsignaltechnik zur Qualitätssicherung der automatisierten akustischen Fledermauserfassung an WEA (SIMON et al. 2015 in diesem Dokument)
- Vergleich der Performance der verschiedenen Detektoren (SIMON et al. 2015 in diesem Dokument).
- Entwicklung eines Schaltschranks zum betriebssicheren Einbau der Detektortechnik in der Gondel von WEA (SIMON et al. 2015 in diesem Dokument).

Die Tests zum Abtrag von Modellorganismen bei Schlagopfersuchen wurden wie geplant durchgeführt (NIERMANN et al. 2015 in diesem Dokument).

Die intensive Beschäftigung mit den Rahmenbedingungen der Kollisionsopfersuche hat im Verlauf des vorangegangenen Forschungsvorhabens eine methodische Frage zur Erfassung des Abtrags von Modellorganismen aufgeworfen. So ist es in der Praxis üblich, im Verlauf der Kollisionsopfersuchen (die stets morgens erfolgen) auch die Modellorganismen (z. B. dunkle Labormäuse) auszulegen, mit deren Hilfe die Verbleiberate bestimmt wird. Diese Tiere liegen daher länger auf den Flächen als es die Fledermäuse tun, die möglicherweise in der Nacht kollidieren. Wir untersuchten, inwieweit sich dieser Unterschied auf die Quantifizierung des Abtrags auswirkt.

3 Design des Forschungsvorhabens

3.1 Wesentliche Anforderungen an den Datensatz

Wie im letzten Forschungsvorhaben bestand das Ziel darin, einen möglichst einheitlichen Datensatz zu erheben, der hinsichtlich des Umfangs die Ableitung von verallgemeinerbaren Aussagen zulässt. Auch für die Akzeptanz in der Praxis ist es wichtig, dass die beprobten Anlagen in unterschiedlichen naturräumlichen Regionen stehen, um Verbreitungsschwerpunkte verschiedener Fledermausarten abzubilden. Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Mittel und der auf knapp zwei Jahre begrenzten Laufzeit des Forschungsvorhabens haben wir das Design an folgenden wesentlichen Anforderungen orientiert:

- Fokussierung auf die zentralen Fragestellungen (Wirksamkeit der im vorangegangenen Forschungsprojekt entwickelten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen in der praktischen Anwendung, Vergrößerung der Akzeptanz der entwickelten Methoden in der Praxis)
- Orientierung des Stichprobenumfangs für die relevanten Fragestellung an den statistischen Anforderungen

3.2 Zeitraum und Anzahl untersuchter Anlagen

Die zentrale Fragestellung des Forschungsvorhabens war die nach der Praxistauglichkeit der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen. Der Effekt der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen auf das Schlagrisiko wurde hierzu in einem Experiment quantifiziert. Um eine möglichst große Aussageschärfe (statistische Power) im Experiment zu erreichen, wurde ein Untersuchungszeitraum gewählt, in dem mit maximalem Kollisionsrisiko an den Anlagen zu rechnen war. Nach den akustischen Daten, die in RENEBAT I an den Anlagen registriert wurden, konnte dieser Zeitraum eingegrenzt werden. Gewählt wurde die Phase zwischen dem 04.07. und dem 10.11.2012. Dieser Zeitraum umfasst 14 Wochen.

Die Implementierung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen setzt eine akustische Erfassung der Fledermausaktivität an den zu untersuchenden Anlagen voraus. Dies war innerhalb der gewählten Laufzeit des Vorhabens von zwei Jahren nur möglich, indem auf Daten aus dem vorangegangenen Forschungsvorhaben zurückgegriffen wurde. Es wurden 16 WEA in 8 Windparks akquiriert. Bei der Auswahl und der Anzahl der beprobten Anlagen spielten statistische Überlegungen eine wichtige Rolle. Es wurde

versucht, aus dem Pool der zuvor untersuchten Anlagen jene zu wählen, die durch ein hohes Kollisionsrisiko und eine verhältnismäßig gute Absuchbarkeit der Flächen unter der WEA gekennzeichnet waren. Auch bei dieser Überlegung waren statistische Gründe ausschlaggebend, da sich ein Effekt umso besser nachweisen lässt, je größer die Diskrepanz zwischen den beiden Untersuchungsgruppen (WEA im fledermausfreundlichen Betrieb vs. Normalbetrieb) ist.

3.3 Design des Experiments

Um die Wirksamkeit der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen zu prüfen, wurden in acht Windparks jeweils zwei WEA beprobt (siehe hierzu auch BEHR et al. 2015a). Jeweils eine der beiden Anlagen lief im fledermausfreundlichen Betrieb, die andere im Normalbetrieb. Nach sieben Tagen wurde die Betriebsart gewechselt. Bei einem Untersuchungszeitraum von 14 Wochen war es so möglich, jede der beiden Anlagen eines Park jeweils sieben Wochen im Normalbetrieb und sieben Wochen im fledermausfreundlichen Betrieb zu untersuchen.

An allen Anlagen fand eine akustische Erfassung in Gondelhöhe (mit mindestens einem Detektorsystem) statt, sowie parallel dazu eine tägliche Nachsuche nach Schlagopfern unter den Anlagen. Die jeweils aktuelle Betriebsart der WEA war den Suchenden nicht bekannt.

3.4 Berücksichtigung verschiedener Großlandschaften und Naturräume

Wie bereits im vorangegangenen RENEBA I war es auch in diesem Projekt das Ziel, mit den vorhandenen Ressourcen eine möglichst breite geographische Abdeckung zu erreichen. Es konnten verschiedene Vorkommensschwerpunkte kollisionsgefährdeter Arten berücksichtigt werden. Da wir auf die bereits beprobten Anlagen zurückgreifen mussten, war es nicht möglich, neue naturräumliche Regionen zu beproben. Vielmehr bestand die Aufgabe darin, die acht Windparks der Untersuchung auf möglichst viele der bereits in RENEBA I beprobten Naturräume zu verteilen. Im Ergebnis konnten WEA in fünf naturräumlichen Regionen, die in drei Großlandschaften Deutschlands lagen, untersucht werden (siehe Abbildung 1 und Tabelle 1).

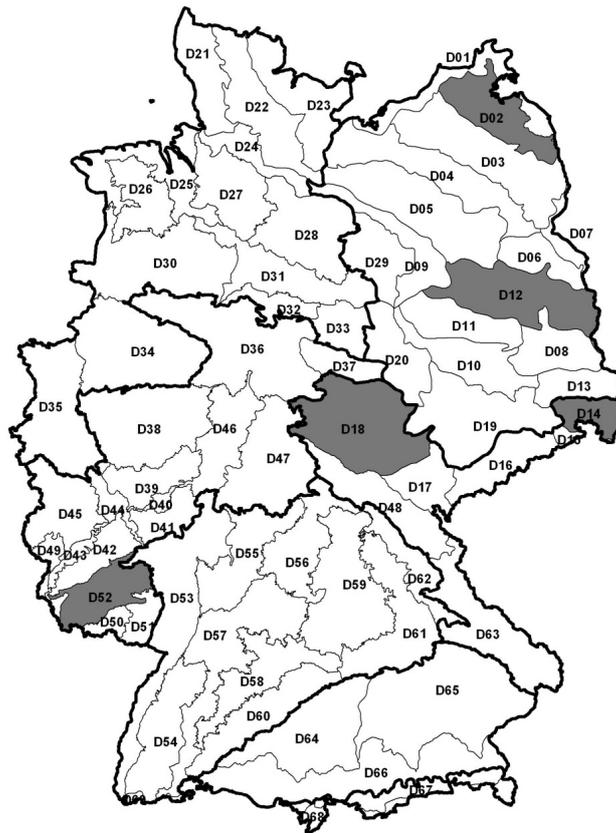


Abbildung 1 Karte der untersuchten Naturräume (grau hinterlegt) und deren Verteilung in den drei Großlandschaften (SSYMANK et al. 1998, Kartengrundlage BfN 2008)

Tabelle 1 Untersuchte WEA in Naturräumen und Großlandschaften (Klassifizierung nach SSYMANK et al. 1998).

Nr.	Bezeichnung	Großlandschaft	Anzahl WEA
D02	Nordostmecklenburgisches Flachland	Nordostdeutsches Tiefland	2
D12	Mittelbrandenburgische Platten		2
D14	Oberlausitz	Östliche Mittelgebirge	2
D18	Thüringer Becken mit Randplatten		6
D52	Saar-Nahe-Berg- und Hügelland	Westliche Mittelgebirge	4
Summe			16

3.5 Anlagenparameter

Da wir auf Daten aus RENEBA I zurückgreifen wollten, war die Auswahl der WEA nur aus der Gruppe der bereits untersuchten Anlagen möglich. Somit wurde die Untersuchung

erneut an Anlagen der Firma ENERCON der zwei-Megawatt-Klasse durchgeführt. Der am häufigsten beprobte Anlagentyp war ENERCON E-70. Der Rotordurchmesser betrug im Median 70 m (vgl. Abbildung 2). Insgesamt wurden Anlagen mit einem Rotordurchmesser von 66 m bis 70 m beprobt. Die Nabenhöhen dieser Anlagen lag zwischen 63 m und 101 m (vgl. Abbildung 2) mit einem Median von 66 m.

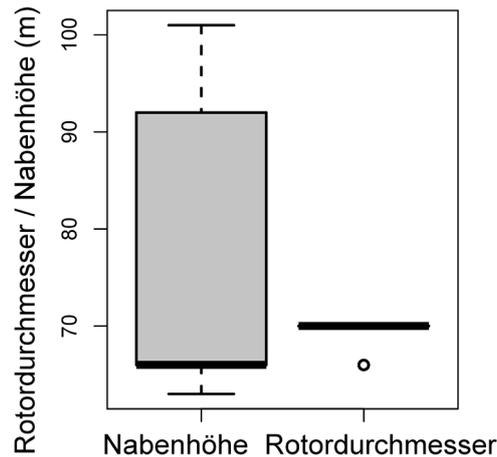


Abbildung 2 Nabenhöhen und Rotordurchmesser der untersuchten WEA (horizontaler Balken = Median, Box = 50% des Datenumfangs, Boxränder entsprechen dem 25 und 75 % Quantil, Whiskers = Spanne zur letzten Beobachtung innerhalb $1,5 \cdot \text{Boxlänge}$ = Interquartilspanne, Kreise = Ausreißer)

4 Projektstruktur und Partner

Die Bearbeitung des Forschungsvorhabens erfolgte innerhalb eines interdisziplinär besetzten Forschungsteams (Abbildung 3). Dabei wurde auch im Hinblick auf die gewählte Projektstruktur an die erfolgreiche Arbeit des vorangegangenen Projektes angeknüpft. Im Ergebnis wurde die Struktur und die Zusammensetzung nur im Detail geändert. So konnte die ENERCON GmbH, einer der weltweit größten Hersteller von WEA, erneut als Industriepartner gewonnen werden. Dies war essenziell, da so der nötige Sachverstand bei der Anlagentechnik sowie bei der Planung und dem Betrieb von WEA eingebracht werden konnte. Zudem wurde die Firma ENERCON ganz wesentlich für die Umsetzung der Abschaltalgorithmen benötigt.

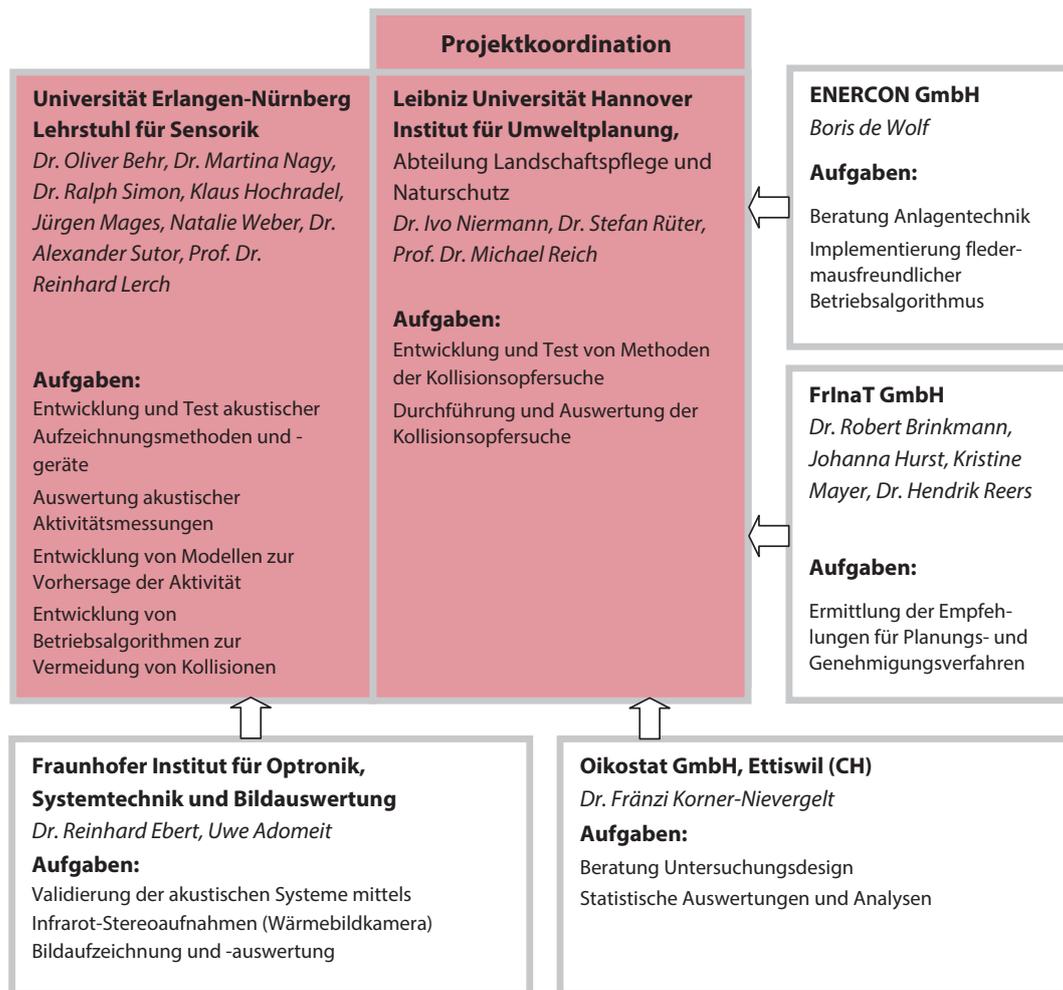


Abbildung 3 Beteiligte Projektpartner und Aufgabenverteilung im Überblick

5 Danksagung

Das Gelingen des hier vorgestellten Forschungsvorhabens beruht auf der Mitarbeit vieler Personen und Institutionen, für deren Unterstützung wir uns herzlich bedanken.

Wir danken dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit für die Zuwendung für das Forschungsvorhaben und insbesondere Frau Radecke und Herrn Lüdecke, die uns fachlich betreut haben.

Wir danken dem Projektträger Jülich für die gute fachliche und organisatorische Betreuung des Forschungsvorhabens, insbesondere Frau Klein und Herrn Verfuß.

Wir danken den Eigentümern und Betreibern, die uns uneigennützig Zutritt zu ihren WEA gewährt haben und es uns so ermöglichten, die akustischen Daten an den Anlagen zu erheben.

Wir danken der Enercon-Service GmbH, die in unserem Auftrag und auch darüber hinaus vielfältige Aufgaben an den von uns beprobten WEA für uns übernommen haben und der Enercon Forschungs- und Entwicklungsabteilung (insbesondere Karsten Einnolf, Florian Kentler, Uwe Kleinoeder, Martin Schellschmidt und Ralf Schulte) für die gute Zusammenarbeit bei der Etablierung der Erfassungsmethodik.

Großzügige Unterstützung erhielten wir von Raimund Specht und der Firma Avisoft Bioacoustics: Diverse Leihgeräte sowie eine hervorragende Zusammenarbeit bei der Entwicklung von Hard- und Softwarekomponenten haben zu einem Gelingen der Freilandfassung beigetragen, wofür wir uns hier bedanken möchten.

Einen herzlichen Dank möchten wir auch Yannick Beucher (EXEN) und Volker Kelm (KJM-conseil) aussprechen, durch deren Unterstützung die zusätzliche Beprobung eines südfranzösischen Standorts möglich wurde. Insbesondere konnten wir auf die bereits in den Vorjahren gesammelten akustischen Daten der beprobten Anlagen zugreifen.

Wir danken den TeilnehmerInnen an der projektbegleitenden Arbeitsgruppe des Forschungsvorhabens, die vor allem an zwei Sitzungen in Hannover mit ihren Diskussionsbeiträgen und Nachfragen wertvolle Impulse für das Forschungsvorhaben geben konnten, namentlich Herr Norman (LUBW), Frau Fuß (LUNG MV), Herr Coppack (IfAÖ GmbH), Herr Reichenbach (ARSU GmbH), Frau Lütkehus (UBA), Frau Petermann (BfN), Herr Dürr (Staatl. Vogelschutzwarte) sowie Frau Wilkening (BWE).

Wir danken den Teilnehmerinnen des Workshops mit Ländervertreterinnen und Ländervertretern zu den behördlichen Planungsvorgaben bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und Betrieb von WEA, namentlich Herr Breuer (NLWKN), Frau Dierkes (LLUR), Frau Fuß (LUNG MV), Herr Geiger (TLUG), Herr Kaiser (LANUV), Frau Mertens (LLUR), Herr Normann (LUBW BW), Herr Ohlendorf, Herr Richarz (vswffM), Frau Schneider (LUA), Herr Steiof (Senatsverwaltung Berlin), Frau Stiefel (NLWKN) und Herr Wolf (LUWG).

Wir danken allen weiteren wissenschaftlichen Kolleginnen und Kollegen, die uns Rückmeldung aus der Praxis gegeben und auf unsere Fragen geantwortet haben und uns für wertvolle Diskussionen zur Verfügung standen, namentlich Klaus Albrecht, Lothar Bach, Claudia Beyer, Cris Hein, Uwe Hoffmeister, Manuela Huso, Stefan Kaminsky, Pius

Korner-Nievergelt, Ulrich Marckmann, Julia Metsio Sienne, Bernd-Ulrich Rudolph, Volker Runkel und Horst Schauer-Weißhahn.

Wir danken allen Personen, die in unserem Auftrag vor Ort an den WEA Kollisionsopfersuchen durchgeführt haben: U. Börher, T. Datzmann, F. Fiebig, D. Fleischmann, S. Fregin, S. Gabler, H. Geiger, A. Giermann, A. Hagendorf, J. Hastolz, M. Lein, A. Lindig, S. Mehlhorn, M. Partzsch, P. Rackow, T. Rese, A. Schaar, M. Schulze, C. Sparn, N. Stroscher, A. Ziegenrücker und T. Zipf.

Wir danken allen MitarbeiterInnen und wissenschaftlichen Hilfskräften der Universität Erlangen, die in unserem Auftrag zahlreiche Arbeiten für uns durchgeführt haben, namentlich Ute Bollert, Michael Günther, Sebastian Herold, Axel Klon, Kevin Nitschke, Manfred Pelz, Cornelia Salley-Sippel, Alexander Sutor.

Wir danken allen MitarbeiterInnen und wissenschaftlichen Hilfskräften der Leibniz Universität Hannover für die Unterstützung bei der Datenaufbereitung, -auswertung und Endredaktion namentlich Lara Diekmann, Katharina Niemann, Johannes Rehhausen und Gesa Rode.

Dank auch an Heike Demmel für das Lektorat des Berichts und Anke Wisch für Lektorat und Layout.

6 Verweise auf die Berichte dieses und des vorangegangenen Forschungsvorhabens (RENEBAT I und II)

- ADOMEIT, U., O. BEHR, R. BRINKMANN, F. KORNER-NIEVERGELT UND I. NIERMANN (2011): Charakterisierung der Fledermausaktivität im Umfeld von Windenergieanlagen mittels IR-Stereoaufnahmen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niemann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 145-176.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, K. HOCHRADEL, J. HURST, J. MAGES, A. NAUCKE, M. NAGY, I. NIERMANN, H. REERS, R. SIMON, N. WEBER UND F. KORNER-NIEVERGELT (2015a): Experimenteller Test der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niemann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 205-269.

- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011a): Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 354-383.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011b): Vorhersage der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 287-322.
- BEHR, O., R. SIMON UND M. NAGY (2015b): Leitfaden zur Durchführung einer akustischen Aktivitätserfassung an Windenergieanlagen und zur Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 317-368.
- BRINKMANN, R., O. BEHR, F. KORNER-NIEVERGELT, J. MAGES, I. NIERMANN UND M. REICH (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Göttingen, Cuvillier Verlag.
- HOCHRADEL, K., U. ADOMEIT, N. HEINZE, M. NAGY, F. STILLER UND O. BEHR (2015): Wärmeoptische 3D-Erfassung von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 81-100.
- MAYER, K., J. HURST, I. NIERMANN, M. REICH UND R. BRINKMANN (2015): Planungsvorgaben bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und Betrieb von Windenergieanlagen – eine Recherche bei Behörden und nicht-staatlichen Organisationen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 271-315.
- NIERMANN, I., O. BEHR, R. BRINKMANN, F. KORNER-NIEVERGELT, R. SIMON UND M. REICH (2015): Kollisionsopfersuchen als Grundlage zur Überprüfung der Wirksamkeit von Abschaltalgorithmen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 165-204.

SIMON, R., J. MAGES, M. NAGY, K. HOCHRADEL, N. WEBER, I. NIERMANN UND O. BEHR (2015): Methoden der akustischen Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 39-80.

7 Literatur

JANSSEN, K., S. FAULSTICH, B. HAHN, J. HIRSCH, M. NEUSCHÄFER, SEBASTIAN PFAFFEL, K. ROHRIG, A. SACK, L. SCHULDT, E. STARK UND M. ZIESSE (2015): Windenergie Report Deutschland 2014. K. Rohrig, Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES).

SCHUSTER, E., L. BULLING UND J. KÖPPEL (2015): Consolidating the state of knowledge: a synoptical review of wind energy's wildlife effects. *Environmental management*: 1-32.

SSYMANK, A., U. HAUKE, C. RÜCKRIEM UND E. SCHRÖDER (1998): Das europäische Schutzgebietssystem Natura2000. BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und der Vogelschutz-Richtlinie. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 53: 560.

Methoden akustischer Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen

RALPH SIMON^a, KLAUS HOCHRADEL^a, JÜRGEN MAGES^a, MARTINA NAGY^a,
ANDREAS NAUCKE^a, IVO NIERMANN^b, NATALIE WEBER^a, OLIVER BEHR^a

^a Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik, Erlangen

^b Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

Inhalt

1	Zusammenfassung	40
2	Einleitung	41
3	Hardware des akustischen Monitorings	42
3.1	Batcorder System (ecoObs)	42
3.2	UltraSoundGate System (Avisoft)	44
3.3	Anabat System (Titley)	46
4	Konfiguration und Kalibrierung der Detektoren	46
4.1	Batcorder System (ecoObs)	48
4.2	Anabat System (Titley)	51
4.3	UltraSoundGate System (Avisoft)	52
5	Einbau und Betrieb der Detektoren	55
5.1	Avisoft-Batcorder-System	56
5.2	Anabat-Batcorder-System	56
5.3	Avisoft-Installation am Anlagen-Fuß.	58
6	Rufanalyse.	58
6.1	Batcorder System (ecoObs)	58
6.2	UltraSoundGate System (Avisoft)	60

6.3	Anabat System (Titley)	62
7	Performance der Geräte im Vergleich	63
7.1	Frequenzgang und Richtcharakteristik der Mikrofone und Mikrofonscheiben.	64
7.2	Bestimmung des Erfassungsvolumens	67
7.3	Überprüfung der theoretischen Erfassungsreichweite an einer WEA mit Hilfe einer Flugdrohne	69
7.4	Bestimmung der Einflussfaktoren der Triggerung verschiedener akustischer Erfassungssysteme.	71
7.5	Laufzeiten und Ausfälle der Detektoren.	75
7.6	Empfindlichkeit für Störungen	76
7.7	Aufgezeichnetes Artenspektrum.	78
8	Literatur.	79

1 Zusammenfassung

Zentrales Ergebnis des vorausgegangenen Forschungsvorhabens RENEBAT I war die Berechnung des Schlagrisikos für Fledermäuse an Windenergieanlagen (WEA) aus der automatisiert gemessenen akustischen Aktivität. Die Höhe der Fledermausaktivität (z.B. als Aufnahmen pro Stunde) hängt dabei stark von den eingesetzten Detektoren und gewählten Detektoreinstellungen ab.

In RENEBAT I wurden der Batcorder (ecoObs GmbH) und der Anabat SD1 (Titley) für die Datenerfassung im Feld verwendet. In RENEBAT II wurde neben diesen Detektoren auch der Detektor UltraSoundGate (USG) der Firma Avisoft Bioacoustics eingesetzt. Zunächst berechneten wir theoretisch vorhersagbare Unterschiede aus den physikalischen Eigenschaften der Detektoren, insbesondere der Mikrofone. So berechneten wir Erfassungsreichweite und -volumen anhand des Frequenzgangs und der Richtcharakteristik der Mikrofone. Abhängig von der Frequenz des Fledermausrufs war das abgedeckte Volumen des Avisoft-USGs 3 bis 3,5 mal so groß wie das des Batcorders. Bei der Triggerung (Auslösung) einer Aufnahme arbeiten das USG und der Batcorder nach einem ähnlichen Prinzip, wohingegen Titleys Anabat keine Selektion von Rufen vornimmt, sondern eine Daueraufnahme von Nulldurchgangsdaten aufzeichnet. Die theoretischen Vorhersagen wurden mit unterschiedlichen praktischen Experimenten verifiziert. Sowohl der Anabat SD1 Detektor als auch das UltraSoundGate wurden an jeweils acht Anlagen getestet, der Batcorder parallel zu jeweils einem der anderen Detektoren an 16 WEA. Durch den parallelen Einsatz war es möglich, Unterschiede in der Empfindlichkeit und der daraus

resultierenden Einschätzung der Aktivität für die unterschiedlichen Detektoren zu quantifizieren. In RENEBAT II wurden die Detektorsysteme im Unterschied zu RENEBAT I nicht offen in der Gondel montiert, sondern in einem Schaltschrank aus Stahl vorinstalliert. In einem Pilotversuch wurde zudem an einzelnen Anlagen ein alternativer Aufbau des UltraSoundGates von Avisoft getestet, bei dem sich nur die Mikrofonscheibe in der Gondel befand und die Aufzeichnungseinheit am Anlagenfuß installiert war. Das Mikrofonsignal wurde mithilfe eines langen Kabels, das im Anlagenturm verlegt wurde, nach unten geleitet.

Alle drei Detektoren erwiesen sich als geeignet für ein Gondelmonitoring zeigten jedoch deutliche Unterschiede in der Erfassungsreichweite, der Anzahl von Störungsaufnahmen, der Dauer von Ausfallzeiten und der Anzahl von Aufnahmen mit Fledermausrufen.

2 Einleitung

Die Fledermausarten in Mitteleuropa ernähren sich von Insekten (DIETZ, 2007). Um diese nachts zu finden und um sich in der Dunkelheit zu orientieren, geben Fledermäuse während des Fluges dauerhaft Rufe im Ultraschallbereich ab (NEUWEILER, 1989, SCHNITZLER, 2001). Fledermäuse in Mitteleuropa verwenden Rufe in einem Frequenzbereich von etwa 15 kHz bis 160 kHz, wobei verschiedene Arten unterschiedliche Ruftypen verwenden, die an ihr Nahrungssuchverhalten angepasst sind (NEUWEILER, 1989, KALKO, 1998). So verwenden Fledermäuse, die nahe an der Vegetation jagen, meist kurze und steil frequenzmodulierte Signale (SIEMERS, 2004). Fledermäuse, die im freien Luftraum jagen, verwenden als Suchrufe oft lange und relativ tieffrequente Signale, da diese Signale eine größere Reichweite haben (SCHNITZLER, 2001). Auch Fledermäuse, die man im Umkreis von WEA auf Gondelhöhe beobachtet, verwenden meist relativ tieffrequente Rufe, die gut mit Fledermausdetektoren aufgenommen werden können. Wie in RENEBAT I gezeigt, kann man über die Häufigkeit, mit der Fledermausrufe von Detektoren (die an der Gondel installiert sind) aufgenommen werden, auf die Fledermausaktivität schließen. Die Fledermausaktivität wiederum korreliert mit der Windgeschwindigkeit und dem Schlagrisiko für Fledermäuse an WEA (BRINKMANN, 2011).

Ein grundsätzliches Problem bei der Erfassung der akustischen Fledermausaktivität ist die unterschiedliche Empfindlichkeit und Funktionsweise der eingesetzten Detektoren und die daraus resultierende unterschiedliche Einschätzung der Fledermausaktivität (ADAMS, 2012). Dabei weisen nicht nur Geräte verschiedener Hersteller Unterschiede auf – es gibt auch bei baugleichen Geräten Unterschiede: Diese betreffen beispielsweise die Mikrofonempfindlichkeit. Auch können verschiedene Verstärkungsstufen und Einstellungen gewählt werden, die dann zu unterschiedlichen Ergebnissen in Bezug auf die

Fledermausaktivität führen (ADAMS, 2012). Deshalb ist eine standardisierte Kalibrierung und eine konsistente Wahl der Einstellungen unerlässlich (siehe Abschnitt 4 in diesem Kapitel). Weitere Faktoren, die zu Unterschieden in der Zahl akustischer Aufnahmen führen, sind zum Einen die Variabilität, die durch die Fledermäuse selbst verursacht wird: beispielsweise unterschiedliche Ruftypen und Ruflautstärke. Zum Anderen haben auch Klimafaktoren wie Luftdruck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit Einfluss auf die Reichweite der Detektoren und das „Erfassungsvolumen“ eines Detektors, also den Bereich, in dem Fledermäuse detektiert werden. Auch wenn die Umweltfaktoren nicht beeinflusst werden können, gibt es Maßnahmen wie Wetterschutzvorrichtungen oder z. B. eine Mikrofonheizung, die das Mikrofon schützen bzw. im Nahbereich des Mikrofons und auf der Mikrofonmembran Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsschwankungen ausgleichen. Im folgenden Kapitel werden die eingesetzten Detektorsysteme und Systemkomponenten spezifiziert, ihre akustischen Eigenschaften vorgestellt und ihre Leistung während des Einsatzes an WEA verglichen.

3 Hardware des akustischen Monitorings

Für das akustische Monitoring, das 2012 an 16 Anlagen im Bundesgebiet und an zwei Anlagen in Frankreich stattfand, kamen neben Batcorder und Anabat diesmal auch das UltraSoundGate (USG) der Firma Avisoft Bioacoustics zu Einsatz. Für den letztgenannten Detektortyp wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Avisoft eine für Windenergieanlagen geeignete Mikrofonscheibe entwickelt. Wir verwendeten das „Avisoft-System“ in zwei verschiedenen Varianten: Bei Variante 1 waren alle Teilkomponenten des Systems in der Gondel montiert. Bei Variante 2 war nur die Mikrofonscheibe in der Gondel angebracht, die anderen Komponenten waren am Anlagenfuß installiert und über ein langes XLR Mikrofon-Verlängerungskabel (Avisoft Bioacoustics) mit der Mikrofonscheibe in der Gondel verbunden. Für Batcorder und Avisoft verwendeten wir Mikrofonscheiben mit eingebauten Elektretmikrofonen. Der Anabat SD1 wurde mit dem standardmäßig eingebauten Kondensatormikrofon (ohne Verlängerungskabel) verwendet.

3.1 Batcorder System (ecoObs)

Wir verwendeten den Batcorder 1.0 der Firma ecoObs GmbH (Nürnberg, Deutschland), zusammen mit einer selbstgebauten Mikrofonscheibe, wie sie schon in RENEBAT I verwendet wurde, allerdings wurde ein Testsignalgeber in die Mikrofonscheibe integriert. Als Mikrofon kam ein Elektretmikrofon (FG-23329-P07, Knowles Electronics, Itasca, Illinois, USA; Bezug über ecoObs GmbH) zum Einsatz. Die Mikrofonscheibe war aus grauem PVC gefertigt und hatte einen Durchmesser von 14 cm (Abbildung 1). In der Mitte dieser

Scheibe wurde ein flacher Zylinder aus Basotect® (schallabsorbierender Schaumstoff von BASF, Ludwigshafen, Deutschland) mit einem Durchmesser von 10 cm und einer Höhe von 1,5 cm, zentral auf der Scheibe angebracht. In der Mitte des Zylinders war das Mikrofon angebracht. Der Bereich um das Mikrofon und auch der äußere Ring dieses Basotect® Zylinders waren um 1 cm erhöht, wobei der äußere Ring als Wetterschutz diente (siehe Abbildung 1). In das Basotect war in 2 cm Abstand zum Mikrofon ein Testsignalgeber eingelassen. Die Testsignale sollten die Funktionstüchtigkeit der Mikrofone testen und eine Veränderung der Mikrofonempfindlichkeit gegenüber der Kalibrierung anzeigen. Als Testsignalgeber verwendeten wir einen Piezolautsprecher (KPUS-40FS-18T-447), der ein 40-kHz-Signal abspielte.

Eine eigens für dieses Forschungsprojekt entwickelte Platine steuerte den piezoelektrischen Lautsprecher an. Herzstück dieser Platine ist der AVR-Butterfly (Atmel Corporation, San Jose, CA, USA). Diese Entwicklerplatine war für die zeitliche Steuerung des Testsignals sowie dessen Lautstärke verantwortlich. Die Testsignale dienten dazu einen Abfall der Mikrofonempfindlichkeit festzustellen. Es wurden täglich ab 16:00 Uhr, in einem Abstand von 12 Minuten, vier unterschiedlich laute Testsignale mit je einer Dauer von 10 s abgespielt. Der Pegel des ersten Signals war so eingestellt, dass es sich genau 3 dB unter der Auslöseschwelle oder Triggerschwelle befand - also der Schallpegel, ab dem beim Batcorder eine Aufnahme ausgelöst wurde. Ab 16:12 Uhr wurde das nächste Signal abgespielt, das genau den Schalldruckpegel der Triggerschwelle hatte. Die anderen beiden Signale wurden um 16:24 Uhr und 16:36 Uhr abgespielt und lagen 3 dB und 6 dB über dieser Schwelle.

Zusätzlich steuerte die AVR-Butterfly-Platine mit Hilfe einer Zusatzschaltung die Ladezeiten der Detektor-Akkus sowie die galvanische Trennung des Batcorders vom Netz. Geladen wurde der Akku von 9:00 Uhr morgens bis 15:30 Uhr. Von 15:30 bis 9:00 Uhr wurde durch ein Relais auf Batteriebetrieb umgeschaltet. Wir verwendeten 6V-Bleigelakkus der Firma Panasonic mit 12 Ah (Valve Regulated Lead-Acid Battery; LC-R0612P).



Abbildung 1 Mikrofonenscheibe des Batcorders aus einer PVC Grundplatte (dunkelgrau) und einem Basotect® Aufsatz (hellgrauer Schaumstoff).

3.2 UltraSoundGate System (Avisoft)

Der zweite Detektor, den wir verwendeten, war das UltraSoundGate USG 116Hnbm der Firma Avisoft Bioacoustics (Berlin, Deutschland). Bei dem USG handelt es sich nicht wie bei den anderen Geräten um einen voll ausgestatteten, handelsüblichen Detektor, sondern vielmehr um eine Art Analog-Digital-Wandler, der an einen PC über den USB-Port angeschlossen werden muss. Gesteuert wird das USG mit dem Programm RECORDER (Avisoft Bioacoustics, Berlin, Deutschland). UltraSoundGates gibt es in verschiedenen Ausführungen, die unterschiedliche maximale Abtastraten unterstützen und unterschiedliche Zusatzfunktionen und Regler besitzen. Wir verwendeten ausschließlich das Modell USG 116Hnbm. Der Vorteil dieses USG-Modells ist, dass es über keinen Verstärkungs-Drehschalter (Gain) verfügt. Solche Schalter können leicht verstellt werden und verändern die Triggerschwelle und damit die Kalibrierung des Geräts (bei Geräten mit Verstärkungs-Schaltern sollte die Position des Schalters nach erfolgter Kalibrierung nicht mehr verändert werden). Das USG 116Hnbm unterstützt Abtastraten bis 300 kHz (eine neuere Version bis 750 kHz). Wir wählten immer eine Samplerate von 300 kHz. Diese ist zwar geringer, als die des Batcorders, aber für die Rufe, die wir aufzeichnen, absolut ausreichend ist und den Vorteil hat, dass die Dateigröße geringer ist. Eine Samplerate von 300 kHz erlaubt nach dem Nyquist-Shannon-Abtasttheorem (UNSER, 2000) Signale bis hin zu 150 kHz abzubilden. Da die Rufe der Fledermausarten, die in Mitteleuropa an WEA nachgewiesen wurden, meist weit unter 100 kHz liegen (vor allem die Suchrufe, die in Anlagenhöhe eingesetzt werden; SKIBA, 2009), stellt die im Vergleich zu anderen Detektoren geringere Abtastrate kein Problem dar, sondern bietet eher den Vorteil einer geringeren Dateigröße.

In Zusammenarbeit mit der Firma Avisoft entwickelten wir eine Mikrofonscheibe für den Einsatz an WEA. In die Mikrofonscheibe, die aus Aluminium bestand, waren ein Elektretmikrofon (FG23629-P16, Knowles, Itasca, Illinois, United States) und ein Testsignalgeber (Piezolausprecher) eingebaut. Die Mikrofonscheibe war über ein Koaxialkabel mit XLR Stecker mit dem USG verbunden. Des Weiteren hatte die Mikrofonscheibe eine Mikrofonheizung, die über den USB-Anschluss des Computers mit Spannung versorgt wurde. Der Vorteil einer Mikrofonheizung ist, dass mit ihr Temperaturschwankungen bzw. Luftfeuchte (z.B. Tautropfen auf der Mikrofonmembran) weniger starke Auswirkungen auf die Schallwandlereigenschaften haben und sie dadurch kurzfristigen Veränderungen der Mikrofonempfindlichkeit entgegenwirken kann.

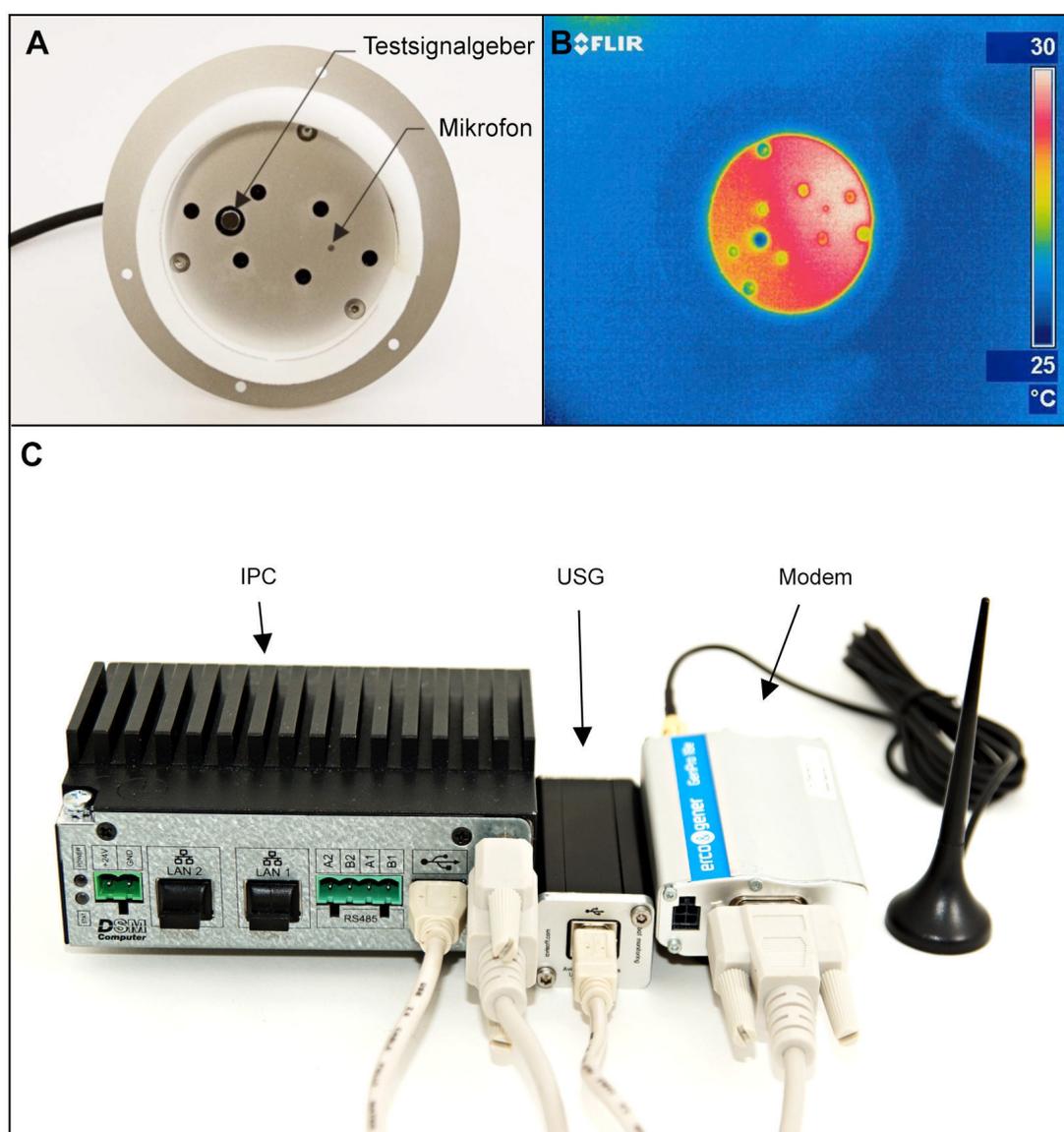


Abbildung 2 Komponenten des UltraSoundGate Systems. (A) Mikrofonheizerplatte aus Aluminium mit dem Piezolausprecher, der die Testsignale abspielt. (B) Infrarotaufnahme der Mikrofonheizerplatte mit angeschlossener Mikrofonheizung. (C) Hardwarekomponenten des Systems (von links nach rechts): Industrie-PC (IPC), UltraSoundGate USG 116Hnbm, GPRS Modem (GenPro 20e) mit Antenne.

Der eingebaute Testsignalgeber spielte täglich für 40 Sekunden ein Testsignal ab. Das Testsignal war ein frequenzmoduliertes Signal zwischen 30 kHz und 50 kHz. Da der Piezolausprecher bei 40 kHz seine Resonanzfrequenz hat, war das Signal bei dieser Frequenz auch am lautesten. Die RECORDER-Software vermaß den Pegel dieses lautesten Wertes und speicherte ihn in der Datei references.txt. Auf diese Weise wurde täglich die Veränderung der Mikrofonempfindlichkeit gemessen. Das USG wurde über USB mit einem Industrie-PC (IPC) verbunden und über die Software Avisoft-RECORDER 4.2.16 (Avisoft Bioacoustics, Berlin) gesteuert. Um zu gewährleisten, dass das System

und die RECORDER-Software einwandfrei liefen, entwickelten wir Programme (in der Programmiersprache Perl), die die Prozessorauslastung des IPC ständig überprüften und bei Problemen (z.B. eine zu geringe Prozessorauslastung zeigte an, dass die RECORDER-Software nicht funktionierte) einen Neustart des Computers herbeiführten. Zur Fernüberwachung und Abfrage des Systems verwendeten wir ein GPRS-Modem (GenPro 20e, erco&gener, Saumur Cedex, France), über das täglich Kurznachrichten mit Informationen über die Funktionsfähigkeit des Systems und die Kapazität der Speicherkarten verschickt wurden. An den Computer waren über ein I/O Board ein Temperatur- und ein Lichtsensor angeschlossen.

3.3 Anabat System (Titley)

Im Gegensatz zum USG und Batcorder, die jeweils die Analogsignale nach einer 16Bit AD-Wandlung speichern, zeichnet der Anabat SD1 Nulldurchgangsdaten auf. Da dadurch die produzierte Dateimenge geringer ist, kann der SD1 dauerhaft aufzeichnen. Alle empfangenen Ultraschallsignale werden in Nulldurchgangsdaten gewandelt und in der Datei DATA.DAT gespeichert. Erst durch das Überspielen der DATA.DAT Datei auf einen PC mit dem Programm CFCREAD entstehen anhand der Programmeinstellungen getrennte Dateien mit Fledermausrufen. Drei Parameter sind dabei für die Erkennung eines Fledermausrufs verantwortlich:

- **Smooth** bestimmt, wie „glatt“ die Punkte der Nulldurchgangsdaten verbunden sein müssen.
- **Min Line Length** gibt an, wie viele Punkte aus den Nulldurchgangsdaten glatt (*smooth*) verbunden sein müssen, um als Fledermausruf klassifiziert zu werden.
- **Max TBC** ist die Zeit in Sekunden zwischen dem Beginn des ersten Rufs und dem Beginn eines zweiten Rufs.

Die Einstellungen die wir in RENEBAT II verwendet haben, können Abbildung 14 entnommen werden. Nachdem eine Sequenz der Aufnahme positiv als Fledermaus klassifiziert wurde, wird die Sequenz in einer Datei abgelegt. Die Funktionsweise des Triggers bei Anabat SD1 wird in Abschnitt 7.4 genauer erläutert, siehe auch Abbildung 16.

4 Konfiguration und Kalibrierung der Detektoren

Die richtige und einheitliche Konfiguration und Kalibrierung der Detektoren ist extrem wichtig, da bei falsch gewählten Einstellungen bzw. bei unzureichender Kalibrierung die erfassten Daten nicht vergleichbar sind. Die Kalibrierung der Geräte gleicht die

unterschiedliche Mikrofonempfindlichkeit aus, die auch bei sonst baugleichen Geräten extrem schwanken kann, und sorgt für einen einheitlichen Erfassungsbereich der Detektoren.

Zur Kalibrierung der Systeme verwendeten wir eine selbstgebaute Kalibrierbox aus 15 mm dicken OSB-Platten (Großspanplatten; die Kalibrierbox besaß folgende Außen-dimensionen: 100x24x24 cm). Innen war die Box mit Basotect Schaumstoffplatten der Dicke 30 mm ausgekleidet (Basotect®, BASF, Ludwigshafen, Deutschland). An einem Ende war zentral ein Piezolautsprecher (Ultraschall-Sender UCT-16M02) befestigt, am gegenüberliegenden Ende gab es eine runde Öffnung, in der die zu kalibrierende Mikro-fonscheibe befestigt werden konnte. Mit einer speziellen Scheibe (siehe Abbildung 3) konnte in der Mitte dieser Öffnung ein Kalibriermikrofon (1/4“ B&K) angebracht werden. Mit einem Signalgenerator, an den der Piezolautsprecher angeschlossen war, wurde ein 40-kHz-Signal generiert. Über das Kalibriermikrofon, das an ein Oszilloskop ange-schlossen war, wurde der Schalldruckpegel des Signals bestimmt und gegebenenfalls über den Lautstärkeregl er des Signalgenerators angepasst. Bei der Verwendung der Kalibrier-box stellte sich heraus, dass im Bereich der Kalibrierscheibe nicht an allen Positionen gleiche Schalldrücke vorherrschten, was bei Mikrofon-scheiben mit dezentraler Mikro-fonanordnung zu Problemen führen kann. Bei großvolumigeren Kalibriervorrichtungen oder bei der Kalibrierung in einem reflexionsarmen Raum sollten solche Probleme nur vermindert auftreten.

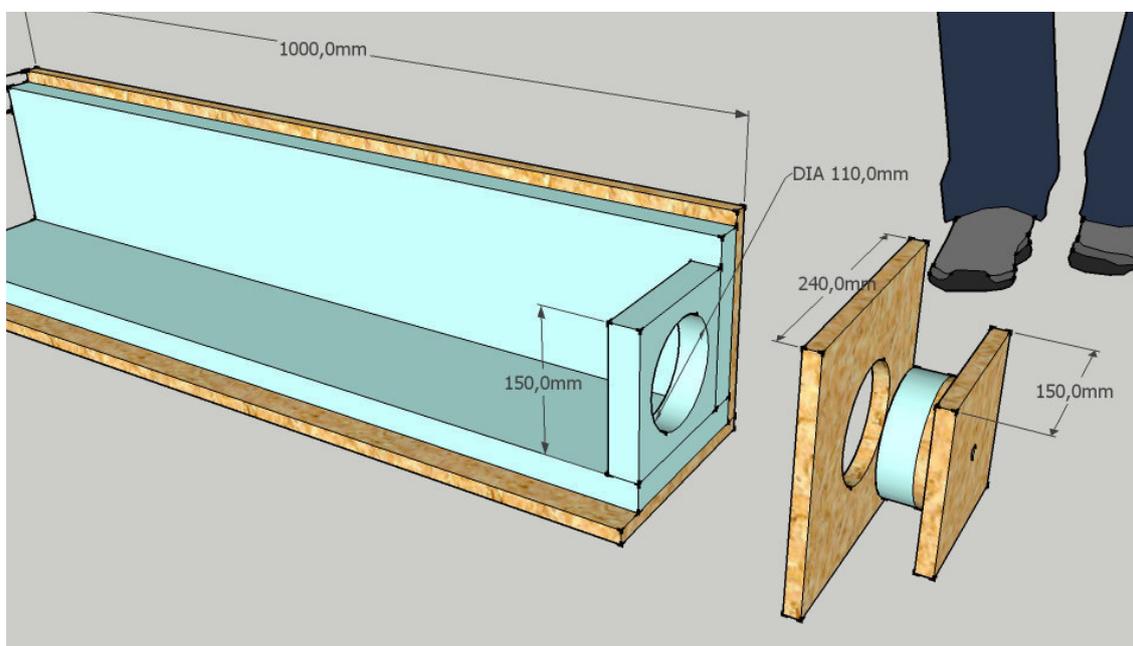


Abbildung 3 Gehäuse zum Kalibrieren der Mikrofon-scheiben. Die 1 Meter lange Holzbox war mit dem schallabsorbierenden Schaumstoff Basotect (hellgrüne Bereiche in der Zeichnung) ausgekleidet.

4.1 Batcorder System (ecoObs)

Batcorder Mikrofonscheiben werden in der Regel von der Firma ecoObs auf ein Referenzsignal mit einem Schalldruckpegel von 96 dB SPL kalibriert (i. e. ein 40-kHz-Ton bei 96 dB SPL führt zu einem im Aufnahmemodus sichtbaren Vollausschlag des Anzeigebalkens). Die Schwelle, ab der eine Aufnahme aufgezeichnet wird, kann dann am Batcorder eingestellt werden. Die genannte Schwelle wird als negativer Dezibel-Wert angegeben. Dieser Wert gibt an, um wie viel Dezibel die Auslöseschwelle unter dem Schalldruckpegel liegt, auf den kalibriert wurde. Als Standardwert ist am BC -27 dB eingestellt, so dass bei einer Maximalamplitude von 96 dB SPL ab einem Schalldruckpegel von 69 dB eine Aufnahme getriggert wird. Im Jahr 2012 verwendeten wir, wie auch im Jahr 2008 (BRINKMANN, 2011), mit -36 dB eine Auslöseschwelle von 60 dB SPL. Damit konnten wir die Reichweite unserer Detektoren im Vergleich zur 2007 genutzten Auslöseschwelle von -27 dB erhöhen.

Die Rekalibrierung der maximalen Amplitude der BC wurde am Institut für Sensorik in Erlangen durchgeführt. Hierfür verwendeten wir die oben beschriebene Kalibrierbox aus Holz.

Vor Beginn der Batcorder-Kalibrierung wurde das vom Lautsprecher abgespielte 40-kHz-Signal mit Hilfe eines 1/4“ Brüel & Kjær Mikrofons (mit Schutzgitter, siehe auch Hinweis im nächsten Absatz und Abbildung 4) so eingestellt, dass auf Höhe des Brüel und Kjær Mikrofons (und damit auch der BC-Mikrofonscheibe) ein Schalldruckpegel von 96 dB SPL herrschte. Danach konnte mit der Kalibrierung der maximalen Amplitude eines BC begonnen werden. Hierfür wurde zunächst die Mikrofonscheibe des BC in die Kalibrierbox eingesetzt (anstelle des Messmikrofons). Anschließend wurde die obere Abdeckung des BC entfernt, wodurch man Zugang zur sogenannten Potentiometerschraube bekommt. Der BC muss eingeschaltet und im „Auto-Modus“ in den Aufnahmemodus geschaltet werden. Durch Drehen der Potentiometerschraube (mit einem kleinen Uhrmacherschraubendreher) kann die maximale Amplitude des Mikrofonverstärkers des BC verändert werden, also der Schallpegel eingestellt werden, bei dem der Mikrofonverstärker in Sättigung geht. Wird die Schraube im Uhrzeigersinn bewegt, so wird die maximale Amplitude erhöht, und der BC wird „unempfindlicher“. Bei Drehen der Potentiometerschraube gegen den Uhrzeigersinn wird die maximale Amplitude des Gerätes niedriger eingestellt, und der BC wird „empfindlicher“. Um das Gerät auf eine maximale Amplitude von 96 dB SPL zu kalibrieren, wurde die Potentiometerschraube so weit gedreht, bis es zu einem Vollausschlag des unten auf dem Bildschirm des BC sichtbaren Anzeigebalkens kam. Dabei wurde darauf geachtet, dass am rechten Ende des Anzeigebalkens keine Klammer („]“) sichtbar war. Dieses Klammersymbol zeigt eine Übersteuerung des BC an.

Wichtiger Hinweis zum Einsatz des 1/4“ Brüel & Kjær Mikrofons mit und ohne Schutzgitter (Grid):

Die Empfindlichkeit eines Mikrofons variiert in Abhängigkeit der Frequenz des eingehenden Signals. Als Maß für die Empfindlichkeit eines Mikrofons bei einer Freifeldmessung gilt der Freifeldübertragungsfaktor (*open circuit sensitivity* in mV/Pa). Letzterer wird bei der Kalibrierung des Messmikrofons durch den Hersteller ermittelt und kann dem mitgelieferten individuellen Kalibrierungsschein entnommen werden. Der Freifeldübertragungsfaktor wird benötigt, um die am Messmikrofon gemessene Ausgangsspannung in den herrschenden Schalldruck und letztendlich in den Schalldruckpegel umzurechnen. Als ursächlich für die frequenzabhängigen Empfindlichkeitsunterschiede von Mikrofonen wird unter anderem der durch Beugung an der Mikrofonmembran entstehende Druckstau angesehen. Mit zunehmender Frequenz nimmt beispielsweise bei einem 1/4“ Brüel & Kjær Mikrofon ab einem Signal von ca. 10 kHz bis ca. 40 - 50 kHz der Druckstau an der Mikrofonmembran zu, wodurch der herrschende Schalldruck überhöht wird.

Eine korrekte Berechnung des Schalldrucks, basierend auf dem im Kalibrierschein angegebenen Freifeldübertragungsfaktor, ist aber nur für einen Frequenzgang möglich, für den der Freifeldübertragungsfaktor eben verläuft und daher annäherungsweise konstant bleibt. Das Frequenzspektrum, über das der Freifeldübertragungsfaktor eines Messmikrofons eben verläuft, ist davon abhängig, ob man das Messmikrofon zusammen mit dem mitgelieferten Schutzgitter, das über der Mikrofonmembran geschraubt ist, oder ohne dieses Schutzgitter verwendet. Für das im Forschungsprojekt genutzte 1/4“ Brüel & Kjær Mikrofon bleibt die Empfindlichkeit des Messmikrofons bei Nutzung ohne Schutzgitter von ca. 10 Hz bis ca. 100 kHz nahezu unverändert (i.e. die Abweichung liegt bei maximal 1 dB; siehe Abbildung 4). Wird das 1/4“ Brüel & Kjær Mikrofon allerdings zusammen mit dem Schutzgitter verwendet, so gilt der ermittelte Freifeldübertragungsfaktor lediglich von 10 Hz bis ca. 20 kHz.

Misst man beispielsweise den Schalldruck eines 40-kHz-Signals mit einem 1/4“ Brüel & Kjær Mikrofon mit Schutzgitter, so kommt es zu einer Überhöhung von ca. 5 dB, so dass der tatsächlich herrschende Schalldruckpegel um 5 dB überschätzt wird (siehe Abbildung 4).

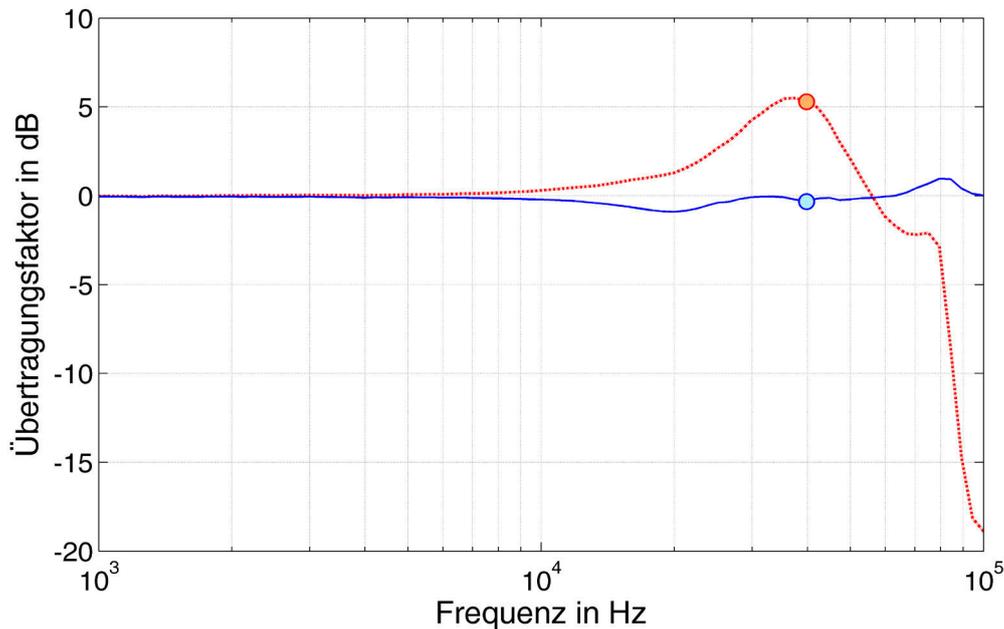


Abbildung 4 Empfindlichkeit des im Forschungsvorhaben genutzten 1/4" Kalibriermikrofons von Brüel & Kjær Mikrofon mit (blaue Kurve) und ohne (rote Kurve) Schutzgitter (Grid) bei verschiedenen Frequenzen. Der rote und der blaue Punkt zeigen die Empfindlichkeitsveränderung des Mikrofons bei 40 kHz an, je nachdem ob man es mit (roter Punkt) oder ohne (blauer Punkt) das mitgelieferte Schutzgitter (Grid) verwendet. Bei 40kHz kommt es bei Nutzung des Mikrofons mit Schutzgitter zu einer Überhöhung von 5dB. (Die Werte für diese Abbildung stammen aus dem vom Hersteller mitgelieferten, individuellen Datenblatt des Mikrofons).

In unserem Forschungsprojekt und bei ecoObs (persönliche Mitteilung durch Volker Runkel, Geschäftsführer ecoObs) wird zur Kalibrierung der maximalen Amplitude des BC das 1/4" Brüel & Kjær Mikrofon mit Schutzgitter genutzt. Der oben erklärte Effekt der Überhöhung des Schalldruckpegels um 5 dB bei 40 kHz bei einer Messung mit Schutzgitter ist in RENEBA II während der Entwicklung der oben beschriebenen Kalibrierbox, zusammen mit Ingenieuren von Lehrstuhl für Sensorik, erkannt worden. Da die Vergleichbarkeit der Detektordaten für unsere statistischen Analysen von essenzieller Bedeutung ist, wurde die Kalibriermethode auch im gegenwärtigen Forschungsprojekt nicht verändert. Das bedeutet aber, dass die bei der Kalibrierung der BC vermeintlich eingestellte maximale Amplitude von 96 dB SPL in Wirklichkeit einer maximalen Amplitude von ca. 91 dB SPL entspricht (Dies trifft sowohl für unsere eigene als auch für die Kalibrierung durch ecoObs zu). Weiterhin bedeutet dies auch, dass die in 2008 und 2012 gewählte Auslöseschwelle von -36 dB unter Maximalamplitude einer Aufnahmetriggerung bei ca. 55 dB SPL gleichkommt.

Wir überprüften den Effekt des Schutzgitters auf die Messung des Schalldruckpegels in der Kalibrierbox. Hierfür wurde mit dem 40-kHz-Lautsprecher mit einem 1/4“ Brüel & Kjær Kalibriermikrofon ein Schalldruckpegel von 96 dB SPL eingestellt, und zwar sowohl ohne als auch mit aufgesetztem Schutzgitter (im letzteren Fall waren dann tatsächlich 91 dB SPL eingestellt). Anschließend wurden für 17 BC, die zuvor ohne Schutzgitter auf 96 dB SPL Maximalamplitude kalibriert wurden, jeweils vier Aufnahmen getätigt. Wir ermittelten den Unterschied im Schalldruckpegel zwischen Signalaufnahmen ein und desselben Gerätes, welche auf eine Nutzung des Messmikrofons ohne und mit Schutzgitter zurückgingen. Im Mittel hatten Aufnahmen, die auf eine Benutzung des 1/4“ Brüel & Kjær Mikrofons mit Schutzgitter zurückgingen, einen um $4,8 \pm 0,5$ dB (Wertebereich 3,9 – 5,8 dB, N=17) höheren Schalldruckpegel als solche, die auf eine Nutzung des Messmikrofons ohne Schutzgitter zurückgingen. Dieser empirisch ermittelte Wert von durchschnittlich 4,8 dB Überhöhung der Signallautstärke bei Nutzung des Schutzgitters stimmte daher sehr gut mit dem theoretisch erwarteten Wert von ca. 5 dB Überhöhung überein. Da aber konsequent immer mit der gleichen Methode kalibriert wurde, ändert sich nichts, außer der Tatsache, dass die absolute Schwelle nicht bei 60 dB SPL sondern bei 55 dB SPL lag.

4.2 Anabat System (Titley)

Beim Anabat SD1 ist die Kalibrierung auf einen vorgegebenen Wert nur mit größerem technischen Aufwand möglich. Viele Anwender beschränken sich daher darauf, die ihnen zur Verfügung stehenden Geräte auf ein vergleichbares Empfindlichkeitsniveau zu bringen. Das im Forschungsvorhaben angewendete Verfahren zur Einstellung einer vergleichbaren Empfindlichkeit bei den SD1 Detektoren ist von LARSON und HAYES (2000) beschrieben worden. Es beruht darauf, dass an einem Referenzdetektor eine Empfindlichkeit festgelegt wird und diese dann auf die anderen Detektoren übertragen wird. Dafür benötigt man eine Ultraschallquelle. Der Referenzdetektor wird von der Ultraschallquelle so weit entfernt aufgestellt, dass ein weiteres Abrücken des Referenzdetektors von der Ultraschallquelle zu einem Verlust des Signals führt. Die Kalibrierung der übrigen Detektoren erfolgt, indem diese nacheinander in dieser Entfernung aufgebaut werden und die Empfindlichkeit so eingestellt wird, dass ein weiteres Herunterregeln der Empfindlichkeit ebenfalls zum Verlust des Signals führt. Die Regler wurden nach Abschluss der Kalibrierung mit Hilfe von Heißkleber fixiert, damit die gewählte Einstellung nicht während des Versands oder des Einbaus der Detektoren verändert werden konnte. Der Referenzdetektor wurde weder in einer WEA eingebaut noch anderweitig benutzt, um Empfindlichkeitsveränderungen so weit wie möglich zu vermeiden.

4.3 UltraSoundGate System (Avisoft)

Das USG verfügt über das Programm RECORDER über sehr viele Einstellmöglichkeiten, die hauptsächlich über den Menüpunkt *Options > Configuration* verändert werden können. Wir ermittelten in Zusammenarbeit mit Raimund Specht (Inhaber der Firma Avisoft Bioacoustics) Einstellungen, die sich besonders für das Monitoring an WEA eignen. Diese Einstellungen sind in der aktuellen Programmversion von RECORDER hinterlegt und können über den Menüpunkt: *Options>Configuration management>Presets>Bat Calls>WEA Monitoring* (USG 116Hnbn, BMU-Projekt) eingestellt werden. Die meisten in Tabelle 1 genannten Einstellungen wirken sich nicht auf die vom RECORDER-Programm aufgezeichnete Datei aus, sondern beeinflussen lediglich die Triggereigenschaften.

Da die Triggereigenschaften sehr wichtig sind in Bezug auf eine konsistente Datenerfassung und vergleichbare Abschätzung der Fledermausaktivität wurde immer darauf geachtet, dass bei allen Avisoft-Systemen immer die in Abbildung 5 gezeigten Einstellungen verwendet wurden. Des Weiteren wurde darauf geachtet, dass die Einstellungen nicht versehentlich während des Monitorings geändert wurden.

Über den Menüpunkt *Monitoring > Trigger level calibration* kann das System bei angeschlossener Mikrofonscheibe kalibriert werden. Dafür wird neben dem eingebauten Testsignalgeber auch ein Referenzsignal mit bekanntem Schallpegel benötigt.

Zur Kalibrierung verwendeten wir die oben beschriebene Kalibrierbox. Mit einem 1/4“ Brüel & Kjær Mikrofon (ohne Schutzgitter, siehe auch Hinweis bei Batcorder Kalibrierung) wurde ein 40 kHz Signal auf einen Schalldruckpegel von 83 dB SPL eingestellt. Die Kalibrierung wurde so durchgeführt wie in der Kalibrierungsanleitung der Firma Avisoft beschrieben: http://www.avisoft.com/Inbetriebnahme_und_Kalibrierung_des_WEA-Fledermausmonitoring-Systems.pdf. Der Auslöseschwellwert (*trigger level (threshold)*) wurde dabei auf 37 dB SPL gesetzt.

Tabelle 1 Übersicht über die wichtigsten Einstellungen der RECORDER-Software. Die Tabelle gibt den Menüpunkt an, unter der die Einstellung zu finden ist, den jeweiligen Wert und die Information ob die Einstellung Einfluss auf eine mögliche Triggerung von Dateien bzw. auf Eigenschaften der gespeicherten Datei nehmen (als „x“ in der jeweiligen Zelle gekennzeichnet).

Menüpunkt	Einstellung	Wert	Einfluss auf Triggerung	Einfluss auf Dateieigenschaften
Configuration	Pretrigger:	0,3 s	x	x
Configuration	Hold tm:	1 s	x	x
Configuration	Sampling rate:	300000 Hz		x
Configuration	Format:	16 bit		x
Configuration	Buffer:	0,032 s	x	
Configuration	Range:	15 - 80 kHz	x	
Configuration	FFT size:	256	x	
Configuration	Overlap	75 %	x	
Configuration	x10	Häkchen	x	
Trigger Level Calibration	trigger level (threshold)	37 dB SPL	x	
Trigger Level Calibration	take maximal signal level	Häkchen		
Bat Call Trigger Filter Settings	FM min sweep rate	-9	x	
Bat Call Trigger Filter Settings	FM max sweep rate	-1	x	
Bat Call Trigger Filter Settings	CF min sweep rate	-2	x	
Bat Call Trigger Filter Settings	CF max sweep rate	1	x	
Bat Call Trigger Filter Settings	CF min duration	-1	x	
Bat Call Trigger Filter Settings	FM min duration	1	x	

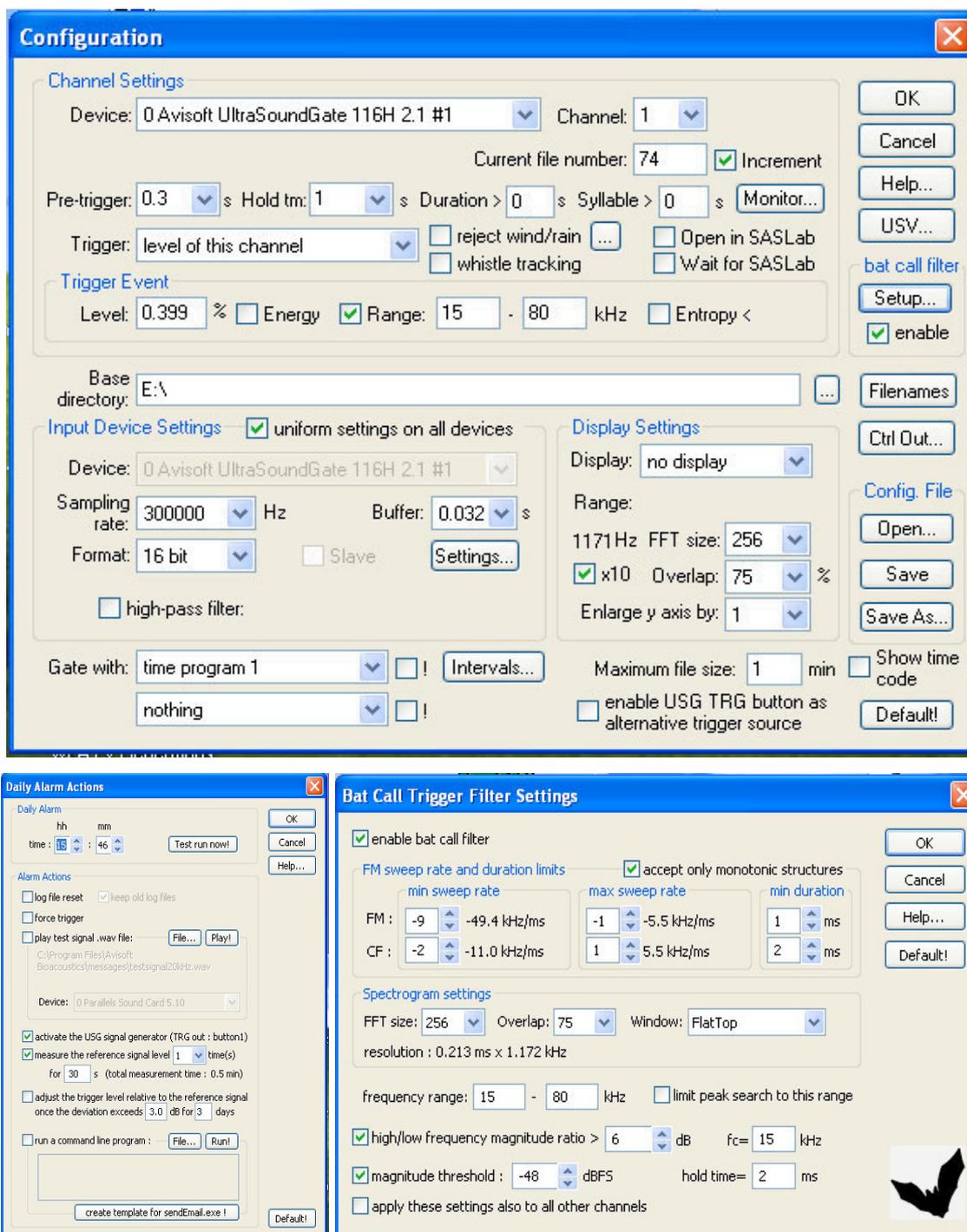


Abbildung 5 Screenshots der Fenster „Configuration“, „Daily Alarm Action“ und „Bat Call Trigger Filter Settings“ der RECORDER Software, bei denen die Einstellungen sichtbar sind, wie sie in RENEBAT II verwendet wurden.

5 Einbau und Betrieb der Detektoren

Während des akustischen Monitorings kamen insgesamt fünf verschiedene Detektorsysteme zum Einsatz, wobei pro Anlage zwischen zwei und drei ausgewählte Systeme simultan eingesetzt wurden (siehe Tabelle 1). Wie schon 2007 und 2008 wurden wieder Batcorder und Anabat Detektoren verwendet. Erstmals kam 2012 ein System zum Einsatz, das zusammen mit der Firma Avisoft Bioacoustics (Berlin) entwickelt wurde (Abbildung 2). Bei diesem System war es auch möglich die Datenerfassungshardware am Anlagenfuß zu installieren und nur das Mikrofon in die Gondel einzubauen, was die Wartung und Instandhaltung des Systems vereinfacht. Diesen Aufbau haben wir in einem Pilotversuch an zwei Anlagen getestet.

Tabelle 2 Übersicht über die Anzahl der in den Untersuchungsjahren von RENEBAT I und RENEBAT II eingesetzten Detektoren und Einbautypen. Der Einbautyp Anlagenfuß misst im Gegensatz zu allen anderen nicht die Fledermausaktivität in Höhe der Gondel, sondern die am Aktivität am Boden. Der Zusatz (Mikrofon in Gondel) bedeutet, dass die Aufnahmeeinheit am Fuß, das Mikrofon aber in der Gondel installiert war, siehe dazu auch Abschnitt 5.3.

Detektor	Einbautyp	2007	2008	2012
Batcorder 1.0	offener Einbau in Gondel	12	70	5
Batcorder 1.0	geschlossener Einbau in Gondel			16
Batcorder 1.0	Anlagenfuß	11	10	
Anabat SD1	offener Einbau in Gondel	11	11	8
Avisoft USG 116Hnbm	geschlossener Einbau in Gondel			8
Avisoft USG 116Hnbm	Anlagenfuß (Mikrofon in Gondel)			2

Das technische Equipment wurde nicht wie 2007 und 2008 offen in der Gondel installiert, sondern in einem Stahlblech-Schaltschrank (380x600x210, Rittal AE1038.500, Rittal, Herborn, Deutschland) untergebracht. Diese Schaltschränke verwendeten wir in zwei Versionen. In einer Version waren ein Avisoft-USG-System und ein Batcorder-System (Avisoft-Batcorder-System) eingebaut. Bei der anderen Version wurden ein Anabat-System und ein Batcorder-System verwendet (Anabat-Batcorder-System). Von jeder Version gab es acht Einheiten, die in verschiedenen Windparks eingesetzt waren. Das bedeutet, dass von den zwei Anlagen, die in jedem Windpark beprobt wurden, je eine Anlage ein Avisoft-Batcorder-System hatte und die jeweils andere ein Anabat-Batcorder-System. In einem weiteren Windpark wurden an zwei Anlagen ausschließlich Batcorder installiert. Hier wurde die offene Aufbaumethode wie in RENEBAT I verwendet.

Die Schaltschränke wurden in den Gondeln der WEA direkt unter der Rotorblattaufhängung am Gondelboden fest verschraubt. Direkt daneben wurden die Mikrofonscheiben installiert. Dafür wurden Löcher mit einem Durchmesser von 10 cm in den Gondelboden gebohrt.

5.1 Avisoft-Batcorder-System

Bei diesem Aufbau wurden ein Batcorder- und ein Avisoft-USG-System in einem Schaltschrank zusammen installiert (Abbildung 6). Wir verwendeten den Batcorder 1.0 (ecoObs GmbH, Nürnberg, Deutschland) mit Mikrofonscheiben aus PVC und Basotect, wie sie im Abschnitt 3.1 beschrieben sind. Der Batcorder war an das SCADA-System des Windparks angeschlossen, so dass Status und Füllstand der Speicherkarten per Fernabfrage überprüft werden konnten. Als zweites System war in dieser Schaltschrank-Version ein Avisoft-USG (UltraSoundGate 116Hnbm, Avisoft Bioacoustics, Berlin) eingebaut. Hier fand die Statusabfrage über ein GSM-Modem statt, das, wie auch das USG, an den Industrie-PC (IPC) angeschlossen war. An den IPC waren über ein I/O Board ein Temperatur- und ein Helligkeitssensor angeschlossen. Die Temperatur- und Lichtsensoren wurden durch zusätzliche Löcher im Gondelboden nach außen geführt und waren, wie auch die Mikrofonscheiben, zum Anlagenfuß orientiert. Weitere Bauteile, die im Schaltschrank installiert waren: 6-V-Bleigel-Akku, für die unterbrechungsfreie Stromversorgung des Batcorders; ein Ladegerät zum Laden des Akkus und die Uhrzeit-Platine, die die Steuerung der Ladezyklen und die Kontrolle der Batcorder-Testsignale übernahm.

5.2 Anabat-Batcorder-System

Auch hier waren, wie für den Avisoft-Schaltschrank beschrieben, ein Batcorder, ein 6 V-Bleigel-Akku und eine Uhrzeit-Platine eingebaut (Abbildung 7). Statt des Avisoft-Systems war bei dieser Version des Schaltschranks ein Anabat-Detektor installiert. Dieser wurde auf einer Hutschiene außen am Schaltschrank befestigt, und das Mikrofon zeigte durch ein Loch im Gondelboden nach außen. Das Mikrofon des Anabat SD1 war zum Schutz mit einem Ring aus schallabsorbierendem Schaumstoff (Basotect) umgeben. Der 12 V-Akku und das Ladegerät für den Anabat waren im Schaltschrank untergebracht. Auch hierfür wurde der Ladevorgang über die Uhrzeit-Platine gesteuert (Abbildung 7).

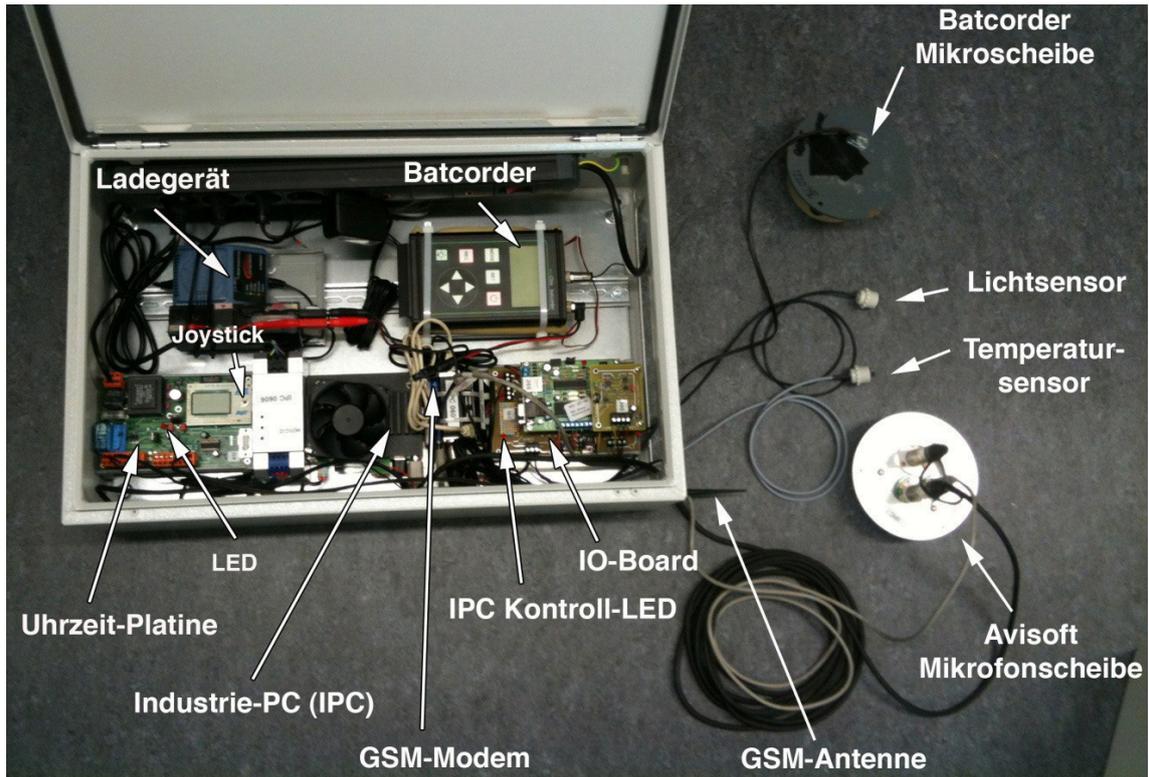


Abbildung 6 Übersicht über die Anordnung der Geräte im Avisoft-Batcorder-Schaltschrank

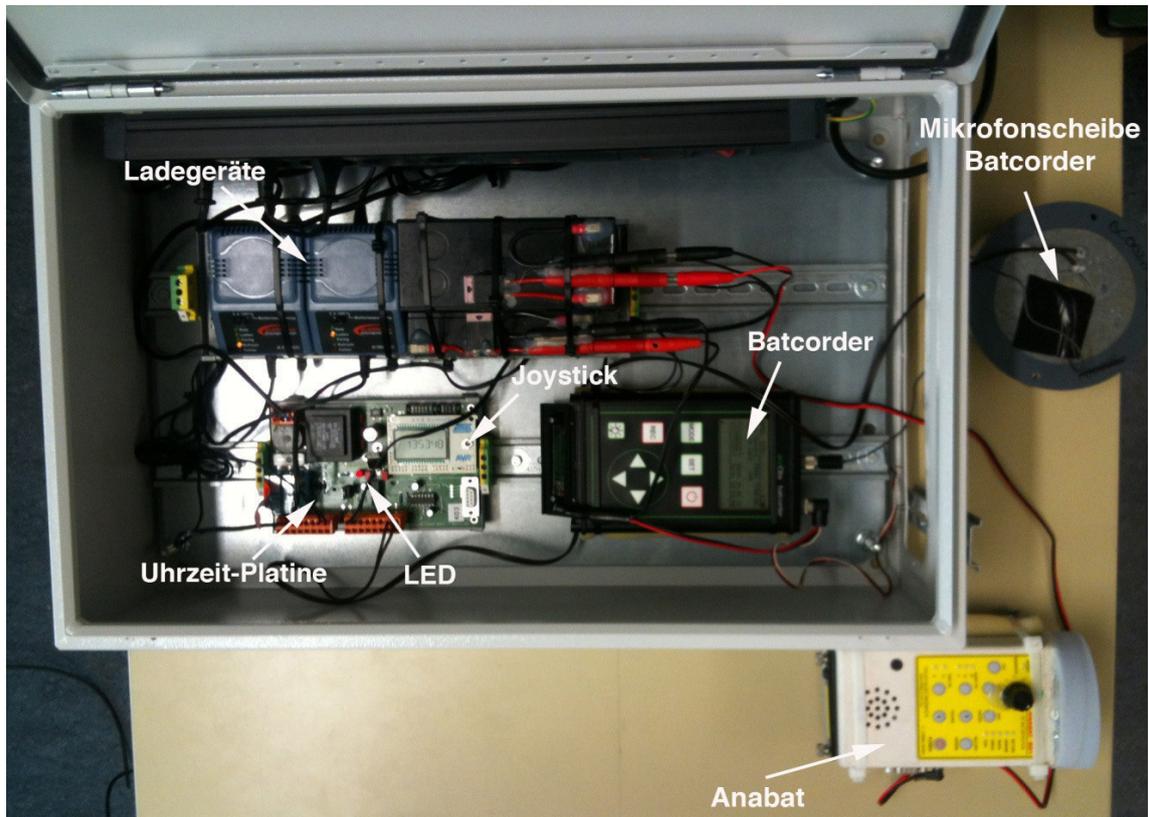


Abbildung 7 Übersicht über die Anordnung der Geräte im Anabat-Batcorder-Schaltschrank

5.3 Avisoft-Installation am Anlagen-Fuß

Das Avisoft-System wurde mit einem 100 m langen Kabel so installiert, dass die Datenerfassungshardware, also das USG und der IPC, am Anlagenfuß aufgestellt war, während die Mikrofonsonde nach wie vor in der Gondel installiert war. Der Vorteil bei dieser Art der Installation war, dass Wartung und Datensicherung am Anlagenfuß durchgeführt werden konnten. Mit diesem Aufbau sollte getestet werden ob die enorme Kabellänge das unverstärkte Mikrofonsignal abschwächt und ob elektromagnetische Störungen auftreten.

6 Rufanalyse

6.1 Batcorder System (ecoObs)

Die Analyse der mit dem Batcorder-System (BC) aufgenommenen Rufe erfolgte in zwei Schritten: erstens der automatischen und zweitens der manuellen Rufanalyse. Der automatisierte Teil der Auswertung diente der Reduzierung der Bearbeitungszeit des großen Datensatzes und der Vergleichbarkeit mit anderen Datensätzen. Aufgrund der Verwendung einer von ecoObs zur Verfügung gestellten Software muss die automatische Analyse mit einem Mac OS Computer durchgeführt werden. Die darauffolgende manuelle Analyse ist sowohl mit dem Betriebssystem Mac OS als auch mit MS Windows möglich. Um den Vergleich mit der Auswertung des Forschungsvorhabens von 2008 zu ermöglichen, verwendeten wir dieselben Programmversionen der ecoObs Software, d.h. bcAdmin 1.13(190) Sound Analyzer, bcAdminDrop 1.1 und bcDiscriminator 1.13. Des Weiteren wurde die Statistik-Software R 2.7.2 mit den Paketen kernlab und RandomForest benötigt.

Für die automatische Rufanalyse wurden die Aufnahmedateien im RAW-Format mit dem Programm bcAdmin untersucht, um Fledermausrufe von anderen Aufnahmen, z.B. elektromagnetischen Störungen, zu trennen. Wir wählten die in Abbildung 8 dargestellten Einstellungen. Für den Parameter „Amplitude threshold“ verwendeten wir zwei verschiedene Werte, d.h. alle Daten wurden zweimal bearbeitet. Der Wert 2.000 % wurde bereits 2008 benutzt und dient der Vergleichbarkeit der Daten. Ein neuer Wert, 1.585 %, war exakt für die an den BC eingestellte Empfindlichkeit von -36 dB berechnet worden.

Ein am Lehrstuhl für Sensorik der Universität Erlangen entwickeltes Perlskript (orderliste.pl) vereinfachte den Ablauf der Auswertung, indem folgende Teilschritte zusammengefasst und automatisch durchgeführt wurden:

- Aufrufen des bcAdminDrop Droplets zur Kategorisierung der RAW-Dateien in Fledermausrufe und andere Aufnahmen, wobei die zu analysierenden Dateien manuell festgelegt, d.h. in das Perlskript eingegeben werden
- Neustart im Fall eines Absturzes des Analyseprogramms, hervorgerufen durch beschädigte RAW-Dateien
- Umbenennung beschädigter RAW-Dateien in .poison Dateien, die beim darauffolgenden Durchgang nicht mehr geöffnet werden
- Erstellen von Ergebnisdateien im Ausgangsordner, jeweils eine CSV-Datei pro Fledermausruf und eine RES-Datei pro anderer Aufnahme (z.B. einer Störung)

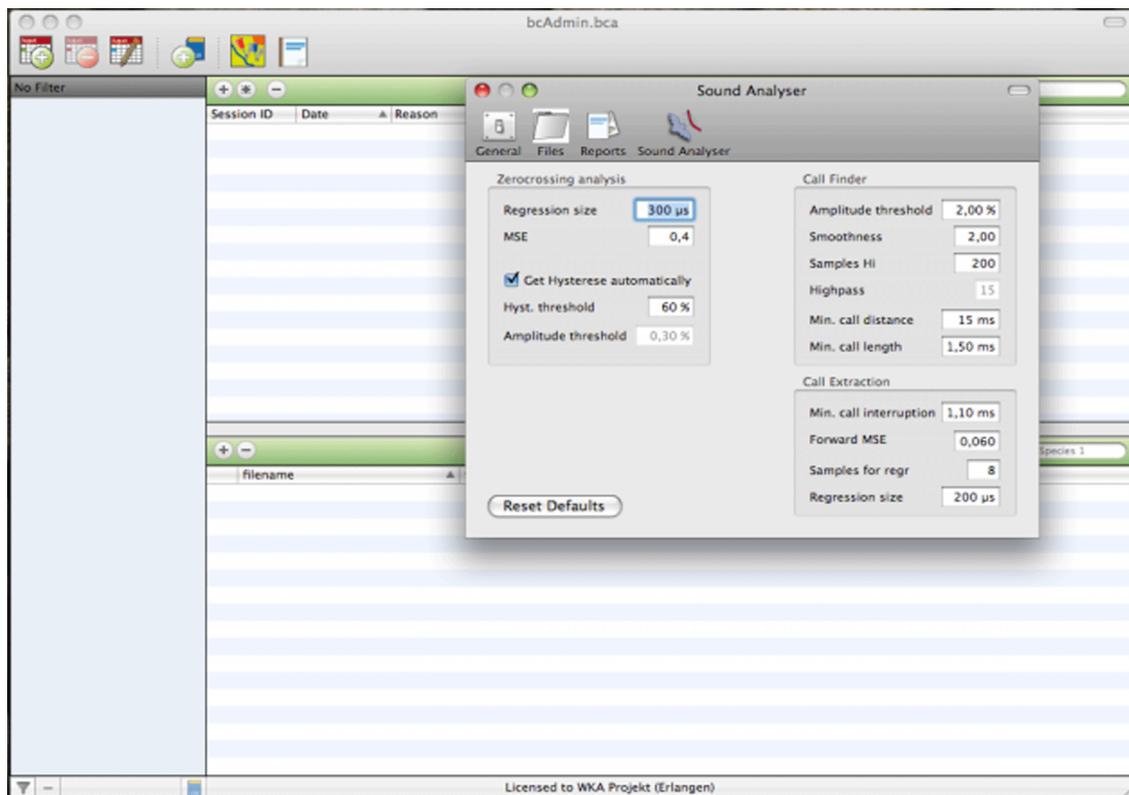


Abbildung 8 Voreinstellung des Analyseprogramms bcAdmin zur Trennung von Fledermausaufnahmen und aufgenommenen Störgeräuschen

Im Anschluss wurden die als Fledermausruf kategorisierten Dateien mithilfe des Programms bcDiscriminator bestimmten Fledermausarten oder Artengruppen zugeordnet. Das Programm wandelte bearbeitete Dateien vom CSV in das RES-Format um und bestimmte die Wahrscheinlichkeit, mit der die Klassifikation einer Fledermausart oder -artengruppe korrekt ist.

Anhand eines weiteren Perlskripts (res_collector.pl) erstellten wir CSV-Dateien, in denen Aufnahmedatum/-zeit, Fledermausart/-gruppe und Verzeichnis der Ursprungsdatei

tabellarisch dargestellt sind. Darin waren alle aufgenommenen Dateien, also Fledermausrufe und Störgeräusche enthalten, letztere wurden als „no calls“ in die Tabelle eingetragen.

Die anschließende manuelle Rufanalyse diente der Nachkontrolle der Aufnahmen, die durch die automatische Rufanalyse als Fledermaus bestimmt wurden (die als „no calls“ klassifizierten Aufnahmen wurden nicht manuell nachkontrolliert). Hierfür wurden aus den Originalen der Rufaufnahmen Bilddateien mit Spektrogrammen generiert. Wir erzeugten die Bilddateien mit dem Programm Avisoft SASLab Pro (Avisoft Bioacoustics, Berlin, Deutschland) später dann mit dem Programm MATLAB (R2011b, The MathWorks, Natick, Massachusetts, USA). Es waren zwei Optionen zur Überprüfung der als Rufe identifizierten Dateien möglich: ein VBA- oder ein Perlskript (manruf.pl), welche beide die gewünschten Bilddateien einzeln, ihrer Reihenfolge in der Tabelle entsprechend, und nacheinander öffneten. Die Dateien wurden durch den Bearbeiter manuell in 5 Kategorien eingeteilt, die durch das Skript in die entsprechende Zeile der Tabelle eingetragen wurden:

- Störung
- unbekannt
- Testsignal
- Fledermaus
- hochrufend (> 33 kHz)
- tiefrufend (< 33 kHz)

6.2 UltraSoundGate System (Avisoft)

Das UltraSoundGate (USG) der Firma Avisoft zeichnet bei der Verwendung der oben beschriebenen Recorder-Software-Einstellungen Audiodateien im WAVE-Dateiformat mit einer Sampling-Rate von 300 kHz und einer Auflösung von 16 bit auf. Die automatische Rufauswertung für Aufnahmen mit dem USG (Avisoft) kann mit dem Programm RECORDER (Avisoft) durchgeführt werden. Um die automatische Rufauswertung zu starten, wurden die BMU Voreinstellungen (*Menü>Options>Configuration management>Presets>Bat Calls>WEA Offline Analysis (BMU-Projekt)*) gewählt. Es können ganze Ordner mit WAVE-Dateien per „drag and drop“ in das Programmfenster geschoben werden, woraufhin die Auswertung automatisch startet. Prinzipiell können in dem Programm viele verschiedene Einstellungen gewählt, Rufe automatisch vermessen und auch verschiedene Artklassifizierungen hinzugefügt werden. Bei den sogenannten BMU Voreinstellungen wird allerdings lediglich angegeben ob die Datei Fledermausrufe enthält oder nicht. Werden Rufe erkannt, wird angegeben ob es sich um Nyctaloide Rufe oder um Pipistrelloide Rufe handelt und wie viele Rufe erkannt wurden. Sollten Rufe beider

Artgruppen vorkommen, wird das in einer weiteren Spalte angezeigt. Das Programm vermisst die Rufe auf Basis der Spektrogramme und verwendet einen Batcall-Filter um zu erkennen ob Rufe in der Datei vorhanden sind. Ist das der Fall, werden die aufgezeichneten Rufe aufgrund von Dauer und Endfrequenz in die entsprechenden Artgruppen aufgeteilt: Nyctaloid (Dauer 3 bis 30 ms und Endfrequenz 15 - 33 kHz), Pipistrelloid (Dauer 2 - 10 ms und 34 - 60 kHz). Tabelle 3 zeigt ein Beispiel für eine Ausgabedatei mit den Ergebnissen der automatischen Klassifizierung.

Tabelle 3 Auszug aus einer Ausgabedatei des Programms RECORDER zur automatischen Klassifizierung von Aufnahmen des USG. Die Spalte bat activity gibt an ob in der Datei Fledermausrufe gefunden wurden (bat) oder nicht (no calls). Die Spalte species group 1 gibt die häufigste Artgruppe in der Datei an. In der Spalte # species group 1 wird die Anzahl der erkannten Rufe angegeben. Die folgenden Spalten geben die zweithäufigste Artgruppe und deren Anzahl an Rufen an.

timestamp	filename	bat activity	species group 1	# species group 1	species group 2	# species group 2
07/28/12 00:31:59	A_0000002.WAV	bat	nyctaloid	1		
07/28/12 00:32:00	A_0000003.WAV	bat	nyctaloid	5		
07/28/12 00:32:04	A_0000004.WAV	bat	nyctaloid	2		
07/28/12 00:32:09	A_0000005.WAV	bat	nyctaloid	25		
07/28/12 00:32:20	A_0000006.WAV	bat	nyctaloid	2		
07/28/12 00:32:25	A_0000008.WAV	bat	nyctaloid	5		
07/28/12 00:51:16	A_0000036.WAV	bat	pipistrelloid	1		
07/28/12 00:51:21	A_0000037.WAV	bat	pipistrelloid	6	nyctaloid	3
07/28/12 02:15:11	A_0000042.WAV	bat	pipistrelloid	10		
07/28/12 02:21:12	A_0000054.WAV	no calls				
07/29/12 02:45:07	A_0000056.WAV	bat	pipistrelloid	20		
07/29/12 02:45:17	A_0000057.WAV	bat	pipistrelloid	1		
07/29/12 03:52:08	A_0000059.WAV	bat	nyctaloid	8	pipistrelloid	4
07/29/12 04:19:56	A_0000066.WAV	bat	nyctaloid	3		
07/29/12 04:19:59	A_0000067.WAV	bat	nyctaloid	16		

Alle Dateien, die mit Avisoft-USG-Systemen aufgezeichnet wurden (18993 Dateien), wurden nicht nur automatisch sondern auch manuell überprüft. Für die manuelle Überprüfung berechneten wir Übersichts-Spektrogramme, die als Bilddatei abgespeichert wurden wie in Abschnitt 6.1 für die Batcorder beschrieben. Diese Bilddateien wurden durchgesehen und manuell in folgende Kategorien klassifiziert: Störung, unbekannt, Testsignal, Fledermaus, hochrufend (> 33 kHz), tiefrufend (\leq 33 kHz). Anhand des

manuell überprüften Datensatzes konnte die Performance der RECORDER-Software überprüft werden. So wurde bei der automatischen Rufanalyse in 0,3 % der Dateien eine falsche Artgruppenzugehörigkeit ermittelt. In 5,6 % der Fälle wurde eine Fledermaus angenommen, obwohl die Aufnahme leer war bzw. nur Störgeräusche enthielt. Dabei wurden die Störgeräusche meist als Nyctaloide Arten klassifiziert. In 5,2 % der Fälle wurden Fledermausrufe (meist Nyctaloide Rufe) bei der automatischen Rufanalyse als „noise“ klassifiziert.

6.3 Anabat System (Titley)

Für den SD1 besteht die Möglichkeit der Programmierung von Filtern. Diese wurden jedoch nicht verwendet um Aufnahmen aus dem Datensatz zu entfernen, sondern nur um zumindest eine automatisierte Gruppen-Kategorisierung vorzunehmen. Die Filter wurden bislang nicht standardisiert und unterliegen damit den oben genannten Einschränkungen hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Grundsätzlich wurden alle Dateien, die mit den SD1 Detektoren aufgezeichnet wurden, einzeln angesehen und manuell bestimmt. Die Zeit, die dieser Vorgang in Anspruch nahm, konnte jedoch erheblich reduziert werden indem die Dateien zuvor automatisch mit einer Beschriftung versehen wurden (mit selbst formulierten Anabat-Filtern, sogenannten abf-Dateien, siehe Tabelle 4). Die anschließende manuelle Überprüfung konnte so auf die Korrektur etwaig falscher Zuordnungen beschränkt werden. Alle Filterdurchgänge, Zuordnungen und Überprüfungen wurden mit Hilfe der frei verfügbaren Software AnalookW durchgeführt.

Tabelle 4 Durchgeführte Arbeitsschritte zur Klassifizierung der Aufnahmen mit dem Anabat SD1.

Schritt	Filter und wichtigste Parameter	Arbeitsschritte
1	Fledermäuse: Calls: Smoothness: 20, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 16 Times: Dur (ms) Min: 1, Max: 20	Laufen lassen, Auswahl umkehren, alle Dateien, die die Kriterien nicht erfüllen, mit „Stoerung“ beschriften
2	Marderschreck: Body: Fc (kHz) Min: 20; Max: 23 Calls: Smoothness: 60 Times: Dur (ms) Min: 20	Laufen lassen, Dateien mit „Mardersc“ beschriften
3	„Nyctaloide“: Body: Fc (kHz) Min: 23; Max: 38 Calls: Smoothness: 60, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 20, Max: 35 Times: Dur (ms) Min: 5, Max: 15	mit „Nyc_Ept“ beschriften

Schritt	Filter und wichtigste Parameter	Arbeitsschritte
4	Zwergfledermaus: Body: Fc (kHz) Min: 40; Max: 49 Calls: Smoothness: 20, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 16 Frequencies: Sweep (kHz) Min: 1.5 Times: Dur (ms) Min: 2, Max: 15	mit „Pip_pipi“ beschriften
5	Rauhhaufledermaus: Body: Fc (kHz) Min: 35; Max: 40 Calls: Smoothness: 20, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 35, Max: 40 Frequencies: Sweep (kHz) Min: 1.5, Max: 50 Frequencies: Fmean (kHz) Min: 35, Max: 40 Times: Dur (ms) Min: 2, Max: 15	mit „Pip_nath“ beschriften
6	Mückenfledermaus: Body: Fc (kHz) Min: 50; Max: 60 Calls: Smoothness: 20, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 16, Frequencies: Sweep (kHz) Min: 1.5 Times: Dur (ms) Min: 2, Max: 15	mit „Pip_pygm“ beschriften
7	Abendsegler: Body: Fc (kHz) Min: 17; Max: 20 Calls: Smoothness: 20, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 17, Max: 20 Times: Dur (ms) Min: 5	mit „Nyc_noct“ beschriften

7 Performance der Geräte im Vergleich

Im Forschungsvorhaben RENEBAT II setzten wir Detektoren dreier verschiedener Hersteller ein: den Batcorder 1.0 der Firma ecoObs (Nürnberg, Deutschland), das Ultra-SoundGate 116Hnbm der Firma Avisoft Bioacoustics (Berlin, Deutschland) und den Anabat SD1 von Titley Scientific (Coppull, Lancashire, Großbritannien). Siehe Tabelle 2 für einen Überblick der in RENEBAT I und II eingesetzten Detektoren.

Um zu testen, wie sich die Geräte im Einsatz an den WEA und in der Detektion von Fledermäusen unterscheiden, setzten wir immer mindestens zwei Geräte zusammen an einer WEA ein. An je acht Anlagen wurden ein Batcorder und ein SD1 eingebaut. An weiteren acht Anlagen kamen ein Batcorder und ein Avisoft-System zum Einsatz. An zwei von diesen Anlagen waren zusätzlich Avisoft-Systeme installiert, die die Aufzeichnungseinheit (PC und USG) am Anlagenfuß hatten (siehe Abbildung 9). Die Mikrofone waren in einem Abstand von ca. 20 bis 25 cm voneinander (Abstand der Mittelpunkte der Scheiben) im Gondelboden installiert.

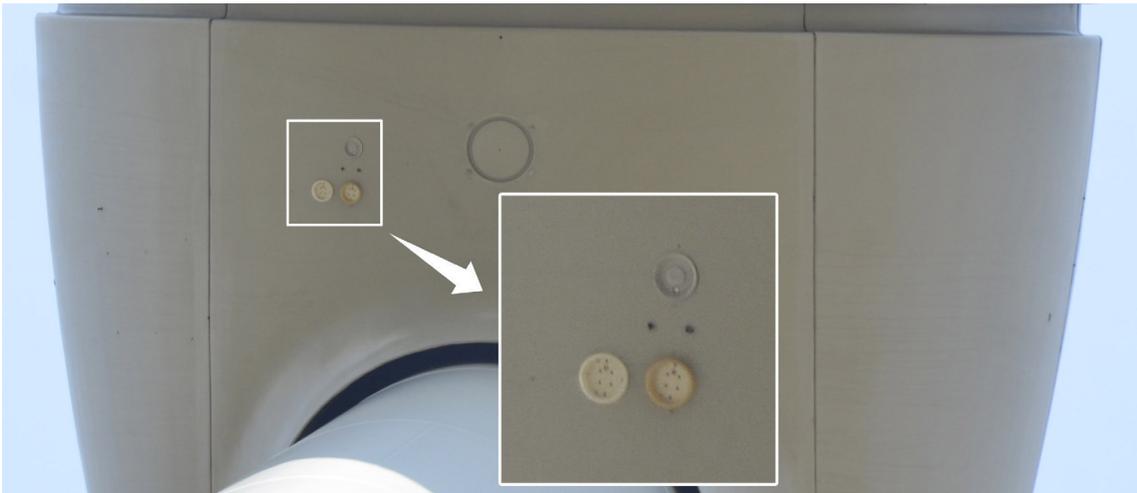


Abbildung 9 Installation der Mikrofonscheiben im Gondelboden einer WEA. An der abgebildeten Anlage waren eine Batcorder-Scheibe (obere graue Scheibe) und zwei Avisoft-Scheiben angebracht (die unteren beiden hellen Scheiben). Zwischen der Batcorder-Scheibe und den Avisoft-Scheiben waren ein Helligkeitssensor/Lichtsensor und ein Temperatursensor installiert (mittlere schwarze Punkte).

7.1 Frequenzgang und Richtcharakteristik der Mikrofone und Mikrofonscheiben.

Der Frequenzgang eines Mikrofons ist abhängig von dessen Aufbau und dem Schallwandlerprinzip (LERCH, 2009). Verschiedene Mikrofontypen weisen oft unterschiedliche Frequenzgänge auf und sind für einzelne Frequenzen empfindlicher als für andere. Dadurch kann es beispielsweise zu einer unterschiedlichen Detektionswahrscheinlichkeit von Fledermausarten kommen, die mit ihren Rufen verschiedene Frequenzbereiche abdecken. Wichtig ist auch die Richtung, mit der der Schall auf das Mikrofon trifft.

Die Richtcharakteristik eines Mikrofons hängt von der Größe der Membran ab. Wenn die Dimension des Schallwandlers, also der Membran, wesentlich kleiner ist als die Wellenlänge des Schalls, hat ein Mikrofon eine Kugelcharakteristik, es ist dann omnidirektional. Das bedeutet, dass das Mikrofon für alle Schalleinfallswinkel gleich empfindlich ist (LERCH, 2009). Ein Signal von 20 kHz hat beispielsweise eine Wellenlänge von 17 mm, ein 100-kHz-Signal hat nur eine Wellenlänge von 3,4 mm (je höher die Frequenz desto kleiner die Wellenlänge). Die Elektretmikrofone, die bei der Batcorder-Scheibe und der Avisoft-Scheibe zum Einsatz kommen, haben eine sehr kleine Membran (> 1 mm) und deswegen eine sehr gute Direktionalität/hohe Omnidirektionalität. Der Einbau der Mikrofone in eine Scheibe (und der vorstehende Wetterschutz aus Schaumstoff oder Basotect) verringert die Omnidirektionalität und beschränkt sie auf etwa 140° bis 180° für tiefere Frequenzen (< 40 kHz) und etwa 80° bis 100° für höhere Frequenzen (> 40 kHz).

Abbildung 10 zeigt die Richtcharakteristiken und Frequenzgänge in einer 3D-Darstellung, bei der die Empfindlichkeit in Dezibel (dB) durch eine Farbabstufung dargestellt wird. Rote Bereiche sind Bereiche, in den das Mikrofon besonders empfindlich ist, blaue Bereiche sind Bereiche niedriger Empfindlichkeit. Neben den in RENEBAT II eingesetzten Mikrofonscheiben wurde zum Vergleich auch der Frequenzgang bzw. die Richtcharakteristik eines Elektretmikrofons (Knowles) vermessen, das nicht in einer Scheibe eingebaut ist (Abbildung 10 A). Man sieht, dass vor allem bei Frequenzen unterhalb von etwa 90 kHz das Mikrofon omnidirektional, d.h. für alle Schalleinfallswinkel gleich empfindlich ist. Des Weiteren kann man sehen, dass das Mikrofon bei Frequenzen um 79 kHz einen sogenannten „Notch“ aufweist, also eine Frequenzkerbe. Das bedeutet, dass es für diese Frequenzen relativ unempfindlich ist. Ein weiterer Bereich größerer Unempfindlichkeit liegt zwischen 100 und 120 kHz. Diese Bereiche sind auch bei den Mikrofonscheiben zu sehen, in die ähnliche Elektretmikrofone eingebaut sind. Bei den Richtcharakteristiken/Frequenzgängen der Mikrofonscheiben (Abbildung 10 B, C, D) ist zu sehen, dass sich ab etwa 50° hin zu 90° die Richtcharakteristik ändert und parabelförmige Auslöschungen entstehen, die durch den Schaumstoff/Basotect-Wetterschutz verursacht werden. Grundsätzlich zeigen alle vermessenen Mikrofonscheiben sehr ähnliche Frequenzgänge und Richtcharakteristiken, mit Ausnahme des Frequenzgangs des Anabat SD1 (Abbildung 10 E). Der Anabat SD1 hat ein Kondensatormikrofon, das einen viel größeren Membrandurchmesser (ca. 40 mm) hat, und ist damit wesentlich direktonaler als die Mikrofonscheiben der anderen Hersteller. Das bedeutet, dass der Anabat für seitlich einfallende Rufe wesentlich unempfindlicher ist als Batcorder und Avisoft-USG. Bei frontalem Schalleinfall wiederum ist er empfindlicher und hat damit frontal eine erhöhte Reichweite. Die Frequenzgänge der beiden vermessenen Batcorder Mikrofonscheiben, die wir in RENEBAT II verwendet haben und die Mikrofonscheibe, die die Firma ecoObs kommerziell vertreibt sind sehr ähnlich (Abbildung 10 B, C). Unterschiede sind hauptsächlich in der absoluten Empfindlichkeit zu erkennen. Die Scheibe von ecoObs ist für tiefere Frequenzen etwas empfindlicher. Die höhere Empfindlichkeit resultiert aus der glatten Oberfläche der Mikrofonscheibe. Der sogenannte Grenzflächeneffekt, der bei einer solchen glatten, schallharten Oberfläche auftritt, sorgt theoretisch für eine Anhebung der Empfindlichkeit. Auch die Mikrofonscheibe des USGs von Avisoft (Abbildung 10 D), die auch eine relativ glatte Aluminiumoberfläche hat, zeigt eine höhere Empfindlichkeit bis hin zu etwa 50 kHz. Kalibriert man die Mikrofonscheiben aber auf dieselbe Empfindlichkeit kann man diese Unterschiede allerdings weitgehend ausgleichen und hat annähernd identische Aufnahmecharakteristiken (mit Ausnahme des Anabat SD1).

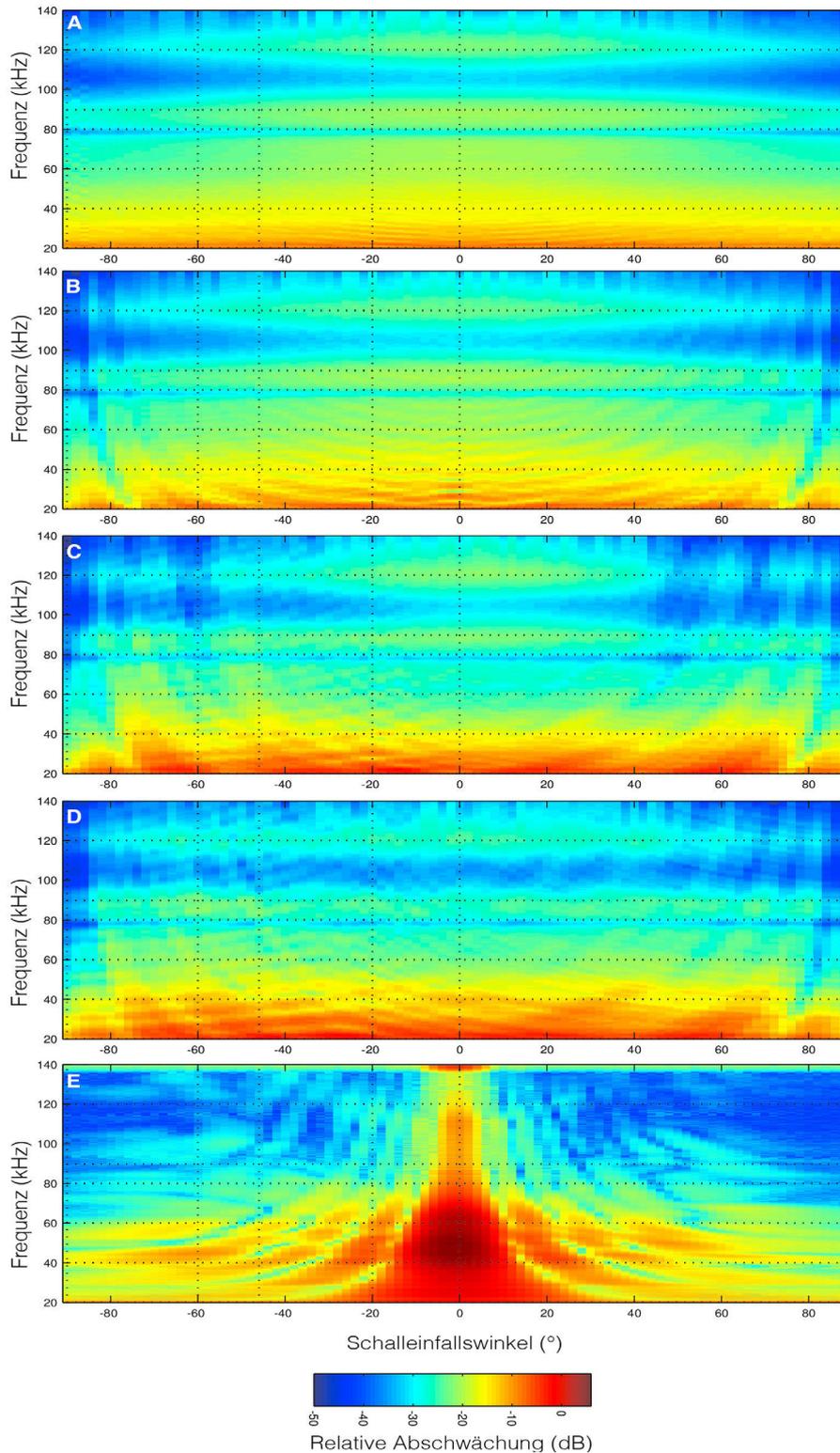


Abbildung 10 Richtcharakteristik und Frequenzgang verschiedener Mikrofone und Mikrofonscheiben dargestellt in einer Farbskalierung, die die Abschwächung gegenüber einem 1/4" B&K Kalibriermikrofon angibt (A) Knowles Elektretmikrofon (B) in RENEBAT II eingesetzte Mikrofonscheibe des Batcorders (siehe Abbildung 1 A) (C) WEA Mikrofonscheibe von EcoObs (D) Mikrofonscheibe von Avisoft (siehe Abb. 2 A). (E) Anabat SD1 Mikrofon.

7.2 Bestimmung des Erfassungsvolumens

Das Erfassungsvolumen eines Detektors beschreibt das Volumen um das Mikrofon, in dem ein Fledermausruf detektiert werden kann. Das maximale Erfassungsvolumen wird durch verschiedene Eigenschaften und Größen beeinflusst. Die Einflussgrößen

- Lautstärke des Fledermausrufs (L_p)
- Frequenz des Rufs (f)
- Frequenzgang des verwendeten Mikrofons
- Richtcharakteristik des Mikrofons
- Kalibrierung → Schwelle der Triggerung (s)
- Dämpfung von Ultraschall in Luft

werden im Folgenden genauer betrachtet. Unter Berücksichtigung aller Parameter ergibt sich die Reichweite eines Fledermausrufs zu

$$r = g(f, L_p, x_0, T_0, p_0, L_f(r_f), w, s).$$

Es fällt auf, dass die Reichweite des Detektors von der Lautstärke L_f des Fledermausrufs im Abstand r_f abhängt. Daher lässt sich diese Gleichung nur iterativ lösen. Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Berechnung des Erfassungsvolumens V :

$$V = g(f, L_p, x_0, T_0, p_0, L_f(r_f), w, s).$$

Das Volumen V hängt genauso wie die Reichweite r von der Ruffrequenz f , der Lautstärke des Fledermausrufs L_p beim Abstand x_0 , der Temperatur T_0 , dem Luftdruck p_0 , der Lautstärke $L_f(r_f)$ des Fledermausrufs im Abstand r_f und von der Triggerschwelle s ab. Auf Grund der nicht immer gleichbleibenden Empfindlichkeit bei unterschiedlichen Schalleinfallswinkeln (siehe Abbildung 10) hängt die Detektionsreichweite vom Winkel w des einfallenden Fledermausrufs ab. Tabelle 5 gibt jeweils die minimalen maximalen und mittleren Detektionsreichweiten an die durch die unterschiedliche Empfindlichkeit für verschiedene Schalleinfallswinkel entstehen. Wir gingen bei der folgenden Berechnung von einer Lautstärke des Fledermausrufs von $L_p=120$ dB SPL in einem Abstand von $x_0=10$ cm aus.

Weiterhin müssen wir die Dämpfung von Ultraschall in Luft einbeziehen. Diese hängt nach Bass et al. (1995) von der Frequenz, Temperatur und Luftfeuchtigkeit ab. Durch die Messung der Temperatur an den beprobten WEA konnten wir eine Durchschnittstemperatur über den Erfassungszeitraum bilden. Wir verwendeten für die Berechnung eine Temperatur von $T_0=12^\circ$ C und einen Luftdruck von $p_0=101,3$ kPa. Tabelle 5 zeigt jeweils

die maximalen, minimalen und mittleren Reichweiten für verschiedene Erfassungswinkel sowie die Erfassungsvolumina der verschiedenen Detektoren.

Tabelle 5 Übersicht über die mittlere, maximale und minimale Reichweite von Batcorder 1.0 von EcoObs (BC) und USG 116Hbnm von Avisoft (USG) bei Schalleinfall aus unterschiedlichen Richtungen und das Gesamterfassungsvolumen bei einer Schwelle von 55 dB SPL für den BC und 37 dB SPL für das USG, bei einer Temperatur von 12°C, einer rel. Luftfeuchte von 60 %, einem statischen Luftdruck von 1013 hPa und einer angenommenen Fledermausrufstärke von 120 dB SPL in 10 cm Abstand.

Frequenz in kHz	mittlere Reichweite in m		maximale Reichweite in m		minimale Reichweite in m		Erfassungs- volumen in m ³	
	BC	USG	BC	USG	BC	USG	BC	USG
20	46,1	66,2	50,6	71,1	35,8	54,9	193.978	575.037
30	26,2	38,7	29,0	41,7	21,7	33,6	35.189	113.902
40	19,7	29,2	21,9	31,6	15,2	24,2	14.440	47.713
50	15,6	23,3	17,3	25,3	11,4	18,6	7.227	24.569
60	12,9	19,4	14,5	21,3	9,3	15,4	3.898	13.719

Die maximale Reichweite wurde bei senkrechtem Schalleinfall erzielt, wohingegen sich die minimale Reichweite meist bei einer seitlich einfallenden Schallwelle ergab. Die Reichweite der Detektoren sowie das Erfassungsvolumen hängen stark von der Frequenz des Fledermausrufs ab. Abbildung 11 B zeigt das berechnete, theoretisch mögliche Erfassungsvolumen für tiefrufende (ca. 20 kHz) und hochrufende Arten (ca. 40 kHz). Da die Dämpfung von Ultraschall in Luft stark frequenzabhängig ist, verkleinert sich das Erfassungsvolumen bei höheren Frequenzen deutlich. Ebenso fällt beim Vergleich des Avisoft USG und des ecoObs Batcorder ein deutlicher Unterschied in der möglichen Reichweite auf. Noch deutlicher wird der Unterschied beim erfassbaren Volumen beider Detektoren. Abhängig von der Frequenz war das abgedeckte Volumen des USGs 3 bis 3,5 mal so groß wie das des Batcorders (siehe Tabelle 5). Abbildung 11 A veranschaulicht die Erfassungsvolumina beider Detektoren bei einer Ruffrequenz von 22 kHz. Die Unterschiede in der Reichweite beruhen vor allem darauf, dass beim Avisoft USG eine im Vergleich zum Batcorder um 18 dB niedrigere Auslöseschwelle eingestellt war (siehe Tabelle 6). Diese niedrige Auslöseschwelle war möglich, da beim Avisoft USG die Schwelle frei gewählt werden kann und das System der hohen Empfindlichkeit wenig Störungen aufzeichnete (siehe Abschnitt 7.6).

Anzumerken ist, dass wegen der Unterschiede in Frequenzgang und Richtcharakteristik zwischen der Mikrofonscheibe für den Batcorder, wie wir sie in RENEBAT II verwendet haben, und der WEA Mikrofonscheibe der Firma ecoObs (siehe Abbildung 10B und

C), das Erfassungsvolumen der in RENEBAT II verwendeten Mikrofonscheibe etwas geringer ist (z.B. 23 % kleiner bei 20 kHz). Bei höheren Frequenzen (≥ 40 kHz) ist der Unterschied allerdings nur noch sehr klein (< 8 %).

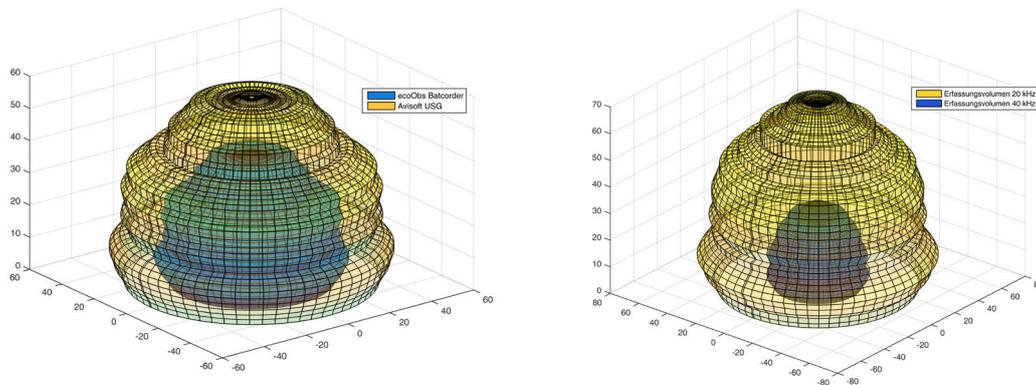


Abbildung 11 Vergleich der Erfassungsvolumina von unterschiedlichen Detektoren und für unterschiedliche Ruffrequenz (A) Vergleich von Batcorder und Avisoft USG bei einem Fledermausruf von 120 dB und einer Frequenz von 22 kHz (Temperatur 12°C; rel. Luftfeuchte 60 %) und (B) Vergleich der Volumina bei verschiedenen Frequenzen (20 kHz und 40 kHz, berechnet für Avisoft USG bei 22°C und 40 % rel.)

7.3 Überprüfung der theoretischen Erfassungsreichweite an einer WEA mit Hilfe einer Flugdrohne

Um die theoretische Reichweite von Detektoren zu prüfen, entwickelten wir eine GPS-gestützte Flugdrohne. Sie war ausgestattet mit vier Ultraschallsendern (2x 25 kHz; 2x 40 kHz), einer Verstärkerschaltung und einem Mikrocontroller, welcher die Schnittstelle zur Drohne darstellte und die Ansteuerung der Ultraschallsender übernahm. Abbildung 12A zeigt die Flugdrohne mit installierter Elektronik und Ultraschallsendern. Die Flugdrohne besitzt insgesamt 8 Rotoren, um bei einem Motorausfall noch eine sichere Landung gewährleisten zu können. Am Computer angeschlossen, programmierten wir eine feste Flugbahn auf welcher, in definierten Abständen, fledermausähnliche Rufe abgespielt wurden.

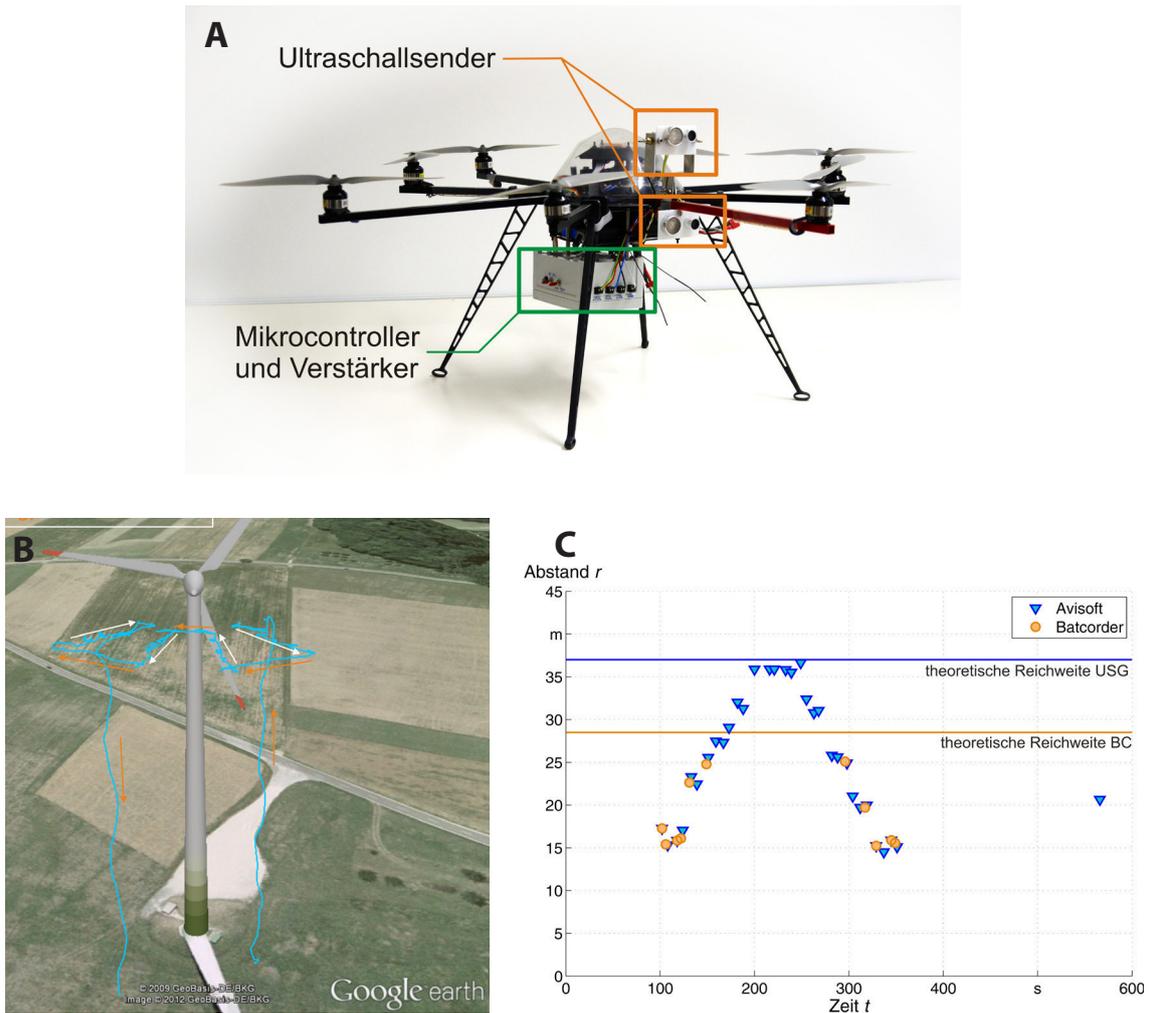


Abbildung 12 Reichweitentest des Avisoft USG und des Batcorder Systems an einer WEA mithilfe einer Flugdrohne. (A) Bild der Flugdrohne mit installierten Ultraschallsendern und zugehöriger Elektronik. (B) Aufzeichnung einer Flugbahn der Drohne an einer WEA. Die Pfeile geben die Flugrichtung an, während der Sequenzen mit weißen Pfeilen wurden Rufe abgespielt. (C) Während der Flugzeit aufgezeichnete künstlichen 25 kHz Rufe durch Batcorder (orange) und Avisoft (blau) bei GPS-bestimmtem Abstand zu den Detektoren. Die an der Anlage herrschenden Umweltbedingungen wurden bei der Berechnung der theoretischen Reichweite mit berücksichtigt.

Abbildung 12B zeigt eine durch das interne GPS-Modul aufgezeichnete Flugbahn an einer WEA. Die Drohne wurde zunächst auf die nötige Höhe geflogen und flog anschließend im autonomen GPS-Betrieb. Die weißen Pfeile in Abbildung 12B zeigen Bereiche, in denen die programmierten Rufe abgespielt wurden. Vor Flugbeginn kalibrierten wir die eingesetzten Ultraschallsender mit Hilfe eines $\frac{1}{4}$ " Messmikrofons des Typs 4939 der Firma Brüel & Kjær auf einen Schalldruckpegel von $L_p = 120$ dB SPL bei einem Abstand von $x_0 = 10$ cm. Der Abstand der Flugdrohne zum Sendezeitpunkt wurde mittels GPS aufgezeichnet. Vor Flugbeginn synchronisierten wir die in der Gondel installierten Detektoren

mit der Flugdrohne zeitlich. Die Messungen zeigen, dass für einen künstlichen 25 kHz Ruf, die theoretische und gemessene Reichweite gut übereinstimmen (Abbildung 12B). Die Messung wurde auch für Signale mit 40 kHz durchgeführt, diese ergaben aber nur sehr wenige Aufnahmen bei beiden Detektoren. Dies lag zum einen an der, bei hohen Frequenzen, geringeren Reichweite der Detektoren und zum anderen an der schmalen Schallkeule der 40 kHz-Sender. Eine kleine Änderung des Flugwinkels der Drohne, und damit auch des Senders, hatte somit eine große Abnahme des Schalldruckpegels zur Folge. Das bedeutet wiederum, dass die Rufe weniger zuverlässig aufgezeichnet wurden. Bei den wenigen 40 kHz-Signalen, die gerade noch aufgezeichnet wurden, hatte die Drohne eine maximale Entfernung von 19,6 m für das Avisoft USG und von 17,0 m für den Batcorder.

7.4 Bestimmung der Einflussfaktoren der Triggerung verschiedener akustischer Erfassungssysteme

Die Zahl der aufgezeichneten Rufe ist stark abhängig von den gewählten Einstellungen am Gerät. Viele von den Herstellern eingesetzten Filter und Trigger-Algorithmen sind meist nicht einsehbar oder verstellbar, deshalb gehen wir im Folgenden nicht weiter auf diese ein. Die Einstellungen, die man als Benutzer tätigen kann, sind bei allen Geräten unterschiedlich und im Speziellen bei dem Avisoft USG sehr umfangreich. Deshalb verwenden wir für alle Betrachtungen lediglich die Konfiguration, die wir für unser Forschungsvorhaben wählten (siehe Abschnitt 4). Wir gehen im Folgenden auf die drei dominierenden Einflussfaktoren ein (siehe Tabelle 6). Da der Anabat SD1 eine andere Dateistruktur besitzt, wird auf ihn am Ende dieses Abschnitts getrennt eingegangen.

Tabelle 6 Drei entscheidende Trigger-Einstellungen der verwendeten Detektoren; Die Auslöseschwelle ist der minimale Schalldruckpegel ab dem Rufe aufgezeichnet werden, er wird auch als „trigger level“ oder „threshold“ bezeichnet; Pre-trigger ist die Zeitspanne die vor dem Triggerereignis die mit in die Aufnahme integriert wird. Post-trigger ist die Zeitspanne nach Triggerereignis die mit in die Aufnahme integriert wird. In den Einstellungen der RECORDER-Software von Avisoft wird der Post-trigger als „Hold tm“ und bezeichnet.

	Batcorder v2	Avisoft USG 116Hbnm	Anabat SD1
Auslöseschwelle in dB SPL	55	37	-
Pre-Trigger in ms	50	300	-
Post-Trigger in ms	200	1000	-

Die Auslöseschwelle beschreibt den minimalen Schalldruckpegel eines am Mikrofon ankommenden Signals für den eine Aufnahme ausgelöst wird. Sie bestimmt die

Reichweite sowie das Erfassungsvolumen des Detektors (s. o.). Eine weitere ausschlaggebende Einstellung ist der sogenannte Post-Trigger. Er gibt an, wie lange nach einem Triggerereignis (erkanntem Fledermausruf) noch weiter aufgezeichnet wird. Wird in dieser Zeit ein weiteres Triggerereignis erkannt, verlängert sich demnach die geschriebene Datei. Zur Verdeutlichung sind in Abbildung 13 zwei durch ein USG aufgezeichnete Beispiele gezeigt.

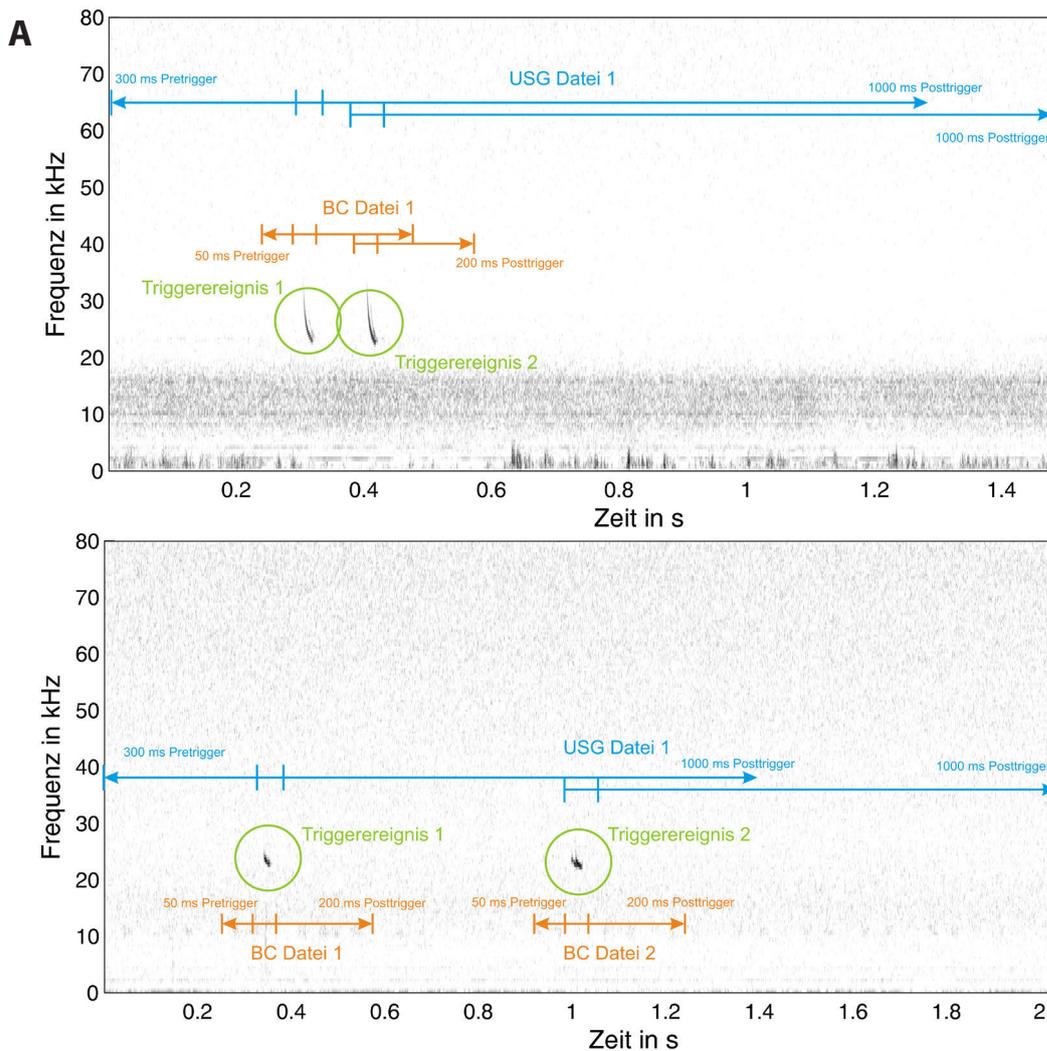


Abbildung 13 Unterschiede in der Aufzeichnung mehrerer Fledermausrufe zwischen USG und Batcorder. (A) Am Beispiel eines Spektrogramms zweier Rufe deren Abstand kleiner als 200 ms ist. In diesem Fall wird von Batcorder und USG jeweils nur eine Datei gespeichert. (B) Am Beispiel eines Spektrogramms zweier Rufe deren Abstand größer als 200 ms ist. In diesem Fall werden vom Batcorder, bedingt durch den kürzeren Posttrigger von 200 ms zwei Dateien geschrieben, beim USG aber nur eine.

In Abbildung 13A sind zwei kurz aufeinanderfolgende Fledermausrufe abgebildet. Der Abstand der beiden Rufe ist kleiner als 200 ms ($t < 200$ ms). Daher werden beide Rufe beim Batcorder und USG in einer Datei gespeichert. In Abbildung 13B sind zwei Rufe

mit einem Abstand $200 \text{ ms} < t < 1000 \text{ ms}$ dargestellt sind. Dies hat zur Folge, dass der Batcorder aufgrund des kürzeren Posttriggers von 200 ms zwei Dateien mit jeweils einem Ruf speichert, wohingegen das USG eine Datei mit zwei Rufen speichert. Diese Einstellung verursacht demnach große Unterschiede in der Anzahl der aufgezeichneten Rufdateien. Die detektierten Arten, vor allem der Große Abendsegler (*Nyctalus noctula*), zeigten im freien Luftraum häufig Rufabstände in einem Bereich zwischen 200-1000 ms. Solche Rufsequenzen werden dann je nach Länge des Posttriggers in nur eine Datei oder mehrere Dateien gespeichert. Deswegen wäre es sinnvoll, den Posttrigger möglichst lang zu wählen um viele zusammenhängende Rufsequenzen aufzunehmen. Allerdings werden dann auch Dateien, die durch einen einzelnen tieffrequenten (ca. 20 kHz) Ruf oder ein kurzes Störgeräusche getriggert wurden, in einer langen und damit relativ großen Datei abgelegt. Die richtige Wahl des Posttriggers ist deshalb ein trade off zwischen gewünschter Dateilänge, Größe des Speichermediums und Störanfälligkeit des Systems.

Im Gegensatz zum USG und Batcorder, die jeweils die Analogsignale nach einer 16 Bit AD-Wandlung speichern, zeichnet der Anabat SD1 Nulldurchgangsdaten auf. Da dadurch die produzierte Dateimenge geringer ist, kann der SD1 dauerhaft aufnehmen, ohne große Datenmengen zu erzeugen. Alle empfangenen Ultraschallsignale werden in Nulldurchgangsdaten gewandelt und gespeichert. Erst durch das Überspielen der DATA.DAT Datei zum PC entstehen anhand der Einstellungen des Programms CFCREAD getrennte Dateien mit Fledermausrufen.

Abbildung 14 zeigt die Einstellungen aus RENEBAT I und dieses Forschungsvorhabens RENEBAT II für den Anabat SD1. Drei Parameter sind für die Erkennung eines Fledermausrufs in der Daueraufzeichnung des Anabat verantwortlich

- *Smooth* bestimmt, wie „glatt“ die Punkte der Nulldurchgangsdaten verbunden sein müssen. Dies bedeutet, dass jeder Punkt nahe am Mittelwert der vorherigen sowie der nachfolgenden Punkten liegen muss, um als Ruf erkannt zu werden. Die erlaubte Abweichung zum Mittelwert wird durch den *Smooth*-Parameter bestimmt. Wird ein niedriger Wert gewählt, so werden vor allem hochqualitative Rufe und somit auch weniger Störungen erkannt. Bei Wahl eines höheren Wertes werden auch qualitativ schlechtere Rufe erkannt, dadurch aber womöglich auch mehr Störungen fälschlicherweise als Fledermausrufe ausgegeben.
- *Min Line Length* gibt an, wie viele Punkte aus den Nulldurchgangsdaten glatt (*smooth*) verbunden sein müssen, um als Fledermausruf klassifiziert zu werden. Je niedriger dieser Parameter gewählt wird, desto anfälliger ist die Analyse gegenüber Störungen. Sehr hohe Werte können dazu führen, dass sehr kurze Fledermausrufe nicht erkannt werden.

- *Max TBC* ist die Zeit in Sekunden zwischen dem Beginn des ersten Rufs und dem Beginn eines zweiten Rufs. Ein Fledermausruf wird nur erkannt und gespeichert, wenn innerhalb dieser Zeit mindestens zwei Rufe erkannt wurden. Wird nur ein Ruf innerhalb *Max TBC* erkannt, wird keine Datei zu diesem Ruf gespeichert.

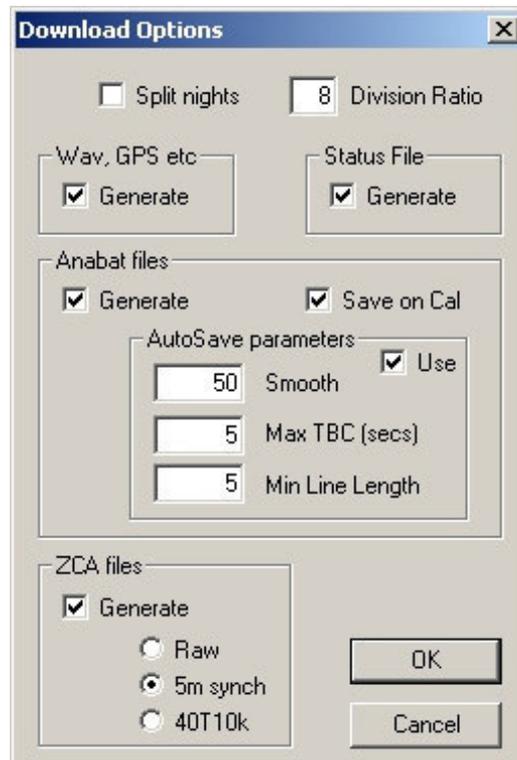


Abbildung 14 Einstellungen des Programms CFCREAD zum Überspielen und Selektieren der Aufzeichnung des Anabats SD1

Nachdem eine Sequenz der Aufnahme positiv als Fledermaus klassifiziert wurde, wird die Sequenz in einer Datei abgelegt. Die Software CFCREAD speichert eine Datei, wenn zusätzlich zur Ruferkennung eines der folgenden Kriterien erfüllt ist:

Wenn

1. der Pufferspeicher voll ist wird sofort eine Datei geschrieben. Der Puffer beinhaltet 16384 Datenpunkte.
2. innerhalb der mit *Max TBC* angegebenen Sekunden keine neuen Daten mehr vorliegen
3. die Zeit nach Erkennung des ersten Rufs 15 Sekunden überschreitet
4. die Dateigröße 32KB erreicht

7.5 Laufzeiten und Ausfälle der Detektoren

Insgesamt wurden während des Erfassungszeitraums 2012 etwa 1,1 Millionen Dateien von insgesamt 39 im Einsatz befindlichen Detektoren aufgezeichnet. Tabelle 7 gibt einen Überblick über die mit den verschiedenen Detektoren und Einbautypen gewonnenen Daten. Bemerkenswert ist, dass die Ausfallzeiten für die unterschiedlichen Einbautypen stark variieren. Der Einsatz der Detektoren an Windenergieanlagen stellt für die meist recht empfindlichen Geräte einen Einsatz unter extremen Bedingungen dar. Das gilt in Bezug auf die Witterungs- und Temperaturbedingungen, auf die elektromagnetische Strahlung und auch in Bezug auf das Vorhandensein von Störgeräuschen. Dementsprechend kommt es oft zu Ausfällen der Geräte, weil beispielsweise die Speichermedien vollgeschrieben sind oder Mikrofone an Empfindlichkeit verlieren. Die höchsten Ausfallzeiten traten während der Erfassung 2012 mit dem USG von Avisoft bei der Verwendung eines langen Mikrofonkabels und dem Einbau des Systems im Anlagenfuß auf. Dieser Wert beruht aber auf einer sehr geringen Stichprobe (nur zwei WEA über einen relativ kurzen Zeitraum) und ist daher mit einer großen Unsicherheit behaftet. Für das USG Avisoft System mit Einbau in der Gondel wurden mit einer ausreichend großen Stichprobe die geringsten Ausfallzeiten von 13 % gemessen. Zu einem Vergleich der beiden Systeme (USG Avisoft Gondel - Fuß) sei auf den folgenden Abschnitt 7.6 und Abbildung 15C verwiesen. Bei den Einbautypen des Batcorders lagen die Ausfallzeiten bei 35,8 % und 14,7 % für den Einbau des Detektors in einem Schaltschrank oder offen in der Gondel. Weswegen die Batcorder in den Schaltschränken öfter ausfielen, konnte nicht abschließend geklärt werden. Eventuell kam es zu Wechselwirkungen mit anderen Geräten im Schaltschrank (z. B. Netzteile). Während RENEBAT I (Erfassungsjahre 2007 und 2008) fielen die Batcorder, die ebenfalls offen in der Gondel verbaut waren, während 24 % bzw. 20 % der Laufzeit aus. Beim Anabat SD1 lag die Ausfallzeit bei etwa 19 %. Anzumerken ist, dass die Länge der Ausfallzeiten nicht nur von der Störanfälligkeit des Systems abhängt, sondern auch davon, wie schnell im Einzelfall ein Austausch der Geräte stattfindet.

Tabelle 7 Überblick über die mit den verschiedenen Detektoren (Batcorder BC 1.0, Avisoft-System USG 116Hnbm und Anabat SD1) und Einbautypen gewonnenen Daten, die überwachten Gesamtzeiträume und die prozentualen Ausfallzeiten.

Detektor	Einbautyp	WEA	Nächte	Stunden	Ausfallzeit (%)	Dateien	Gbyte
BC 1.0	geschlossener Einbau in Gondel	16	1133	18702	35,8	596302	380
BC 1.0	offener Einbau in Gondel	5	304	5010	14,7		
USG 116Hnbm	Gondel	8	779	11688	13,3	40125	150
USG 116Hnbm	Anlagenfuß	2	90	1349	38,8		
SD1	Gondel	8	766	12638	18,8	464627	120

7.6 Empfindlichkeit für Störungen

Die Detektoren werden nicht nur durch Rufe von Fledermäusen getriggert, sondern auch durch andere Geräusche im Ultraschallbereich. Beispielsweise können aufeinander schlagendes Metall, Windgeräusche oder auch elektromagnetische Störungen ein im Ultraschallbereich überschwelliges Signal erzeugen und so eine Aufnahme auslösen. Das Problem ist zum einen, dass durch die Aufnahme von Störgeräuschen die Kapazität der Speichermedien schnell erschöpft ist. Zum anderen können solche Aufnahmen bei der Rufanalyse problematisch sein und hier auch fälschlicherweise als Fledermäuse identifiziert werden, bzw. erhöhen sie den Arbeitsaufwand bei einer manuellen Durchsicht der Dateien. Durch Störgeräusche verursachte Aufnahmen machten bei Batcorder und Anabat einen großen Prozentsatz aus, im Mittel waren nur 10 % der Aufnahmen beim Anabat und 20 % der Aufnahmen beim Batcorder Aufnahmen mit Fledermausrufen (Abbildung 15). Auch in RENBAT I war bei den beiden Geräten der Prozentsatz an Aufnahmen mit Fledermausrufen sehr gering. Wir verwendeten sowohl während RENE BAT I als auch während RENE BAT II den Batcorder 1.0; neuere Geräte sind nach einem ersten Test (in Jahr 2014, während RENE BAT III, mit einem Batcorder 3.1 an einer Anlage) weniger anfällig für Störgeräusche und verfügen laut Herstellerangaben seit 2015 auch über eine noch bessere Eliminierung von Störgeräuschen (persönliche Mitteilung Volker Runkel, ecoObs GmbH). Das Avisoft-System war insgesamt wenig empfindlich für Störgeräusche und nahm zu 93 % Fledermäuse auf (Abbildung 15A). Das spiegelt sich auch in der durchschnittlichen Gesamtanzahl an Aufnahmen mit Fledermausrufen wieder. Hier nahm das Avisoft-System, auch aufgrund der höheren Reichweite, durchschnittlich mehr Fledermäuse pro WEA auf (Abbildung 15B). An zwei WEA waren zeitweise je zwei

Avisoft Systeme eingebaut (siehe 5.3). Vergleicht man die beiden Systeme miteinander so stellt man fest, dass bei dem System, bei dem die Aufnahmeeinheit am Anlagenfuß installiert war, wesentlich mehr Störungen aufgezeichnet wurden als bei dem System, bei dem sowohl das Mikrophon als auch die Aufnahmeeinheit in der Gondel installiert waren. Da die beiden Mikrofonscheiben der beiden Systeme direkt nebeneinander installiert waren, kann die Ursache für die Störungen nur an der Art des Aufbaus gelegen haben. Auch die Art der Störungen weist darauf hin, dass es sich vor allem um elektromagnetische Störungen handelt, die durch das lange Mikrophonkabel (von der Gondel bis zum Anlagenfuß) bedingt sind. Anscheinend bringt das lange Kabel auch eine Abschwächung der Empfindlichkeit für Fledermausrufe mit sich. An einer Anlage wurden 40 %, an der anderen 10 % weniger Fledermausaktivität im gleichen Zeitraum festgestellt wenn ein langes Mikrophonkabel verwendet wurde (Abbildung 15C).

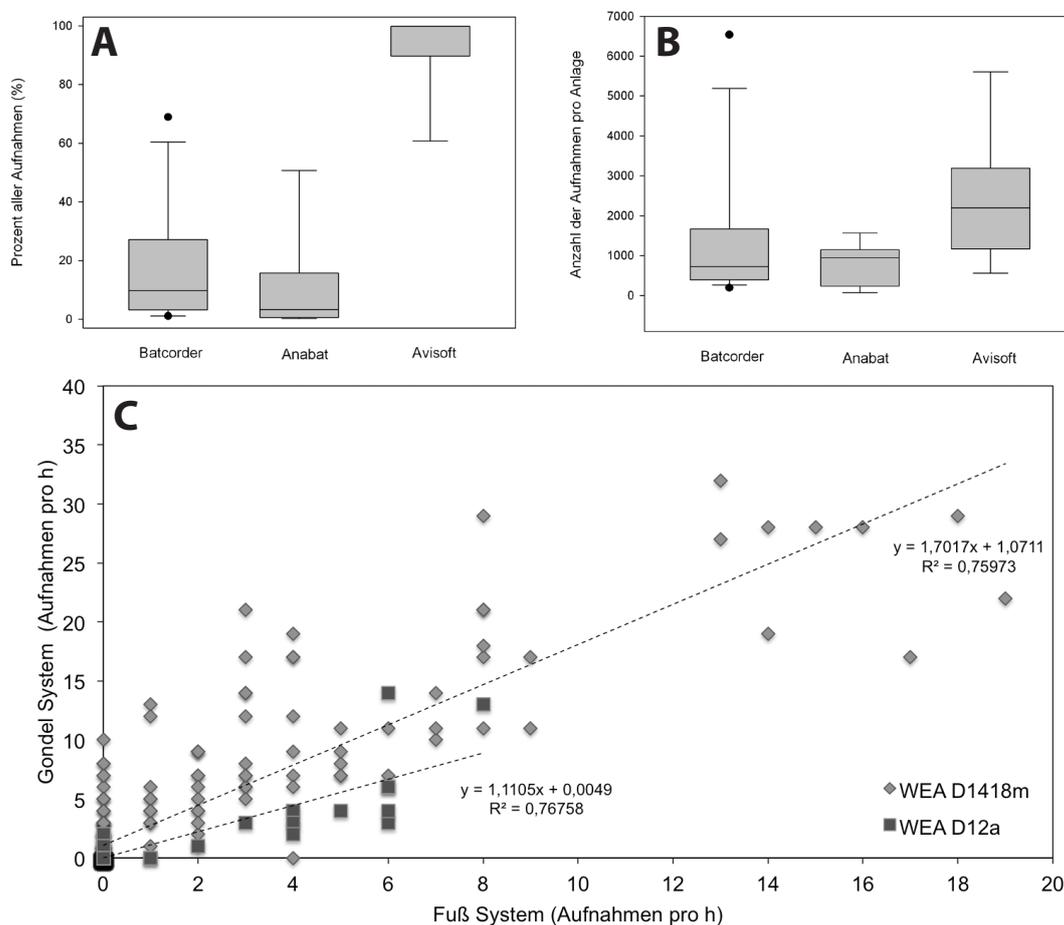


Abbildung 15 Aufnahmen mit Fledermausrufen für die verschiedenen Detektortypen. In den Box Plots sind die Werte für die einzelnen Anlagen enthalten (A) Prozentualer Anteil der Aufnahmen mit Fledermausrufen an der Gesamtanzahl der Aufnahmen. (B) Anzahl der Aufnahmen pro Anlage mit Fledermausrufen. (C) Vergleich der Anzahl der Aufnahmen pro Stunde zwischen dem Avisoft-System, das komplett in der Gondel installiert war und dem System, bei dem die Aufzeichnungseinheit am Fuß der Anlage installiert war. Die beiden Mikrofonscheiben befanden sich direkt nebeneinander an Boden der Gondel (siehe Abbildung 9). Für jede WEA gingen nur parallele Laufzeiten ein.

7.7 Aufgezeichnetes Artenspektrum

Die verschiedenen Geräte und Auswertprogramme können zu einer unterschiedlichen Einschätzung der Fledermausaktivität führen bzw. die Häufigkeit von Arten und Artgruppen unterschiedlich einschätzen. Da der bisherige Datensatz zur Fledermausaktivität an WEA hauptsächlich mit dem Batcorder erhoben wurde, setzten wir an 8 WEAs den Batcorder zusammen mit dem Anabat SD1 und an weiteren 8 WEAs das USG von Avisoft zusammen mit dem Batcorder ein. Die Kombination aus Batcorder und Anabat SD1 gab es bereits im RENEBAT I.

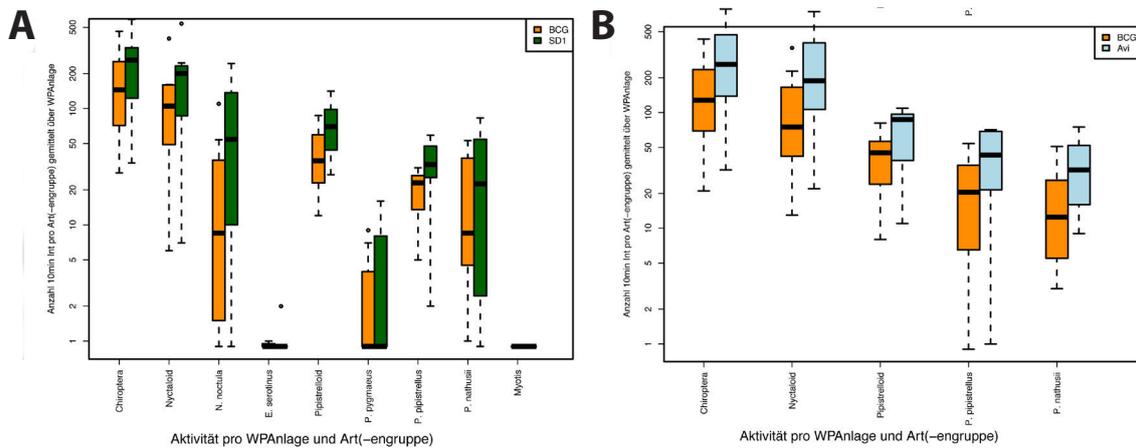


Abbildung 16 Das an der WEA-Gondel nachgewiesene Artenspektrum für verschiedene Detektoren. (A) Vergleich Anabat SD1 (grün) und Batcorder (orange). Y-Achse logarithmisch. Boxen zeigen die Verteilung der Aktivität an einzelnen Anlagen für die verschiedenen Arten und Artgruppen. Es gingen nur Aufnahmen aus parallelen Laufzeiten ein (5693 h an acht Anlagen in acht Windparks). Die Aktivität ist dargestellt als Anzahl von 10-min-Intervallen mit Aktivität (presence/absence). Durch die Umwandlung in presence/absence Daten werden die Aktivitätsdaten der beiden Detektortypen vergleichbar. Der Wert 0 wurde durch 0,9 ersetzt, um ihn logarithmisch darstellen zu können. Arten, die bei der Analyse der Daten des Anabat SD1 nicht differenziert wurden, sind nicht dargestellt (z.B. Kleinabendsegler, *N. leisleri*, und Zweifarbfledermaus, *V. murinus*). (B) Vergleich von Avisoft-USG-System (hellblau) und Batcorder (orange). Darstellung wie in Abbildung 13. Es gingen nur Aufnahmen aus parallelen Laufzeiten ein (5385 h an acht Anlagen in acht Windparks). Arten, die bei der Analyse der Daten des Avisoft-Systems nicht differenziert wurden, sind nicht dargestellt (z.B. Großer Abendsegler, *N. noctula*, Kleinabendsegler, *N. leisleri*, und Zweifarbfledermaus, *V. murinus*, etc.).

In Abbildung 16 ist zu sehen, dass sowohl der Anabat SD1 als auch das Avisoft USG die Fledermausaktivität höher einschätzen als der Batcorder. Die Fledermausaktivität wird hier angegeben als die Anzahl der 10-Minuten-Intervalle, in denen Fledermausrufe aufgezeichnet wurden. Dadurch sind die Werte verschiedener Detektoren besser miteinander vergleichbar, da im Vergleich zur Anzahl aufgenommener Dateien z.B. Effekt des Post-Triggers (siehe 7.4) wegfällt. Während der Anabat SD1 im Vergleich zum Batcorder im Mittel in 1,3 (SD = ± 0,4; ein Ausreißer, der bei einem Faktor von 4,6 lag, wurde nicht mit aufgenommen) mal so vielen 10-Minuten-Intervallen Fledermausrufe aufzeichnete,

waren es beim Avisoft USG im Mittel 2,0 ($SD \pm 0,3$) mal so viele 10-Minuten-Intervalle mit Fledermausrufen als beim Batcorder. Der Grund dafür liegt sehr wahrscheinlich in der größeren Reichweite sowohl des Avisoft USGs als auch des Anabat SD1. Der Anabat hat zwar nur eine sehr schmale „Erfassungskeule“ (siehe Abbildung 10), hat aber dafür eine größere Reichweite. Beim Avisoft USG verwendeten wir eine sehr niedrige Auslöseschwelle (triggerlevel) von nur 37 dB SPL, wodurch das Erfassungsvolumen des Avisoft USG wesentlich größer war als das des Batcorders (siehe Tabelle 5). Das dürfte der Grund für die doppelte so hohe Fledermausaktivität gemessen mit dem Avisoft USG im Vergleich zum Batcorder sein (Abbildung 16B).

8 Literatur

- ADAMS, A. M., JANTZEN, M. K., HAMILTON, R. M. UND FENTON, M. B. (2012): Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution* 3, 992-998.
- BASS, H. E., SUTHERLAND, L. C. ZUCKERWAR, A. J. BLACKSTOCK, D. T. UND HESTER, D. M. (1995), Atmospheric absorption of sound: Further developments. *J. Acoust. Soc. Am.* 97, 680 (1995)
- BRINKMANN, R., BEHR, O., NIERMANN, I. UND REICH, M. (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen: Cuvillier Verlag.
- DIETZ, C., VON HELVERSEN, O. UND NILL, D. (2007): Handbuch der Fledermäuse Europas und Nordwestafrikas: Biologie, Kennzeichen, Gefährdung: Kosmos Verlag.
- KALKO, E. UND SCHNITZLER, H. (1998): How echolocating bats approach and acquire food. *Bat biology and conservation* (TH Kunz and PA Racey, eds.). Smithsonian Institution Press, Washington, DC, 197-204.
- LARSON, D. J. UND HAYES, J. P. (2000): Variability in sensitivity of Anabat II bat detectors and a method of calibration. *Acta Chiropterologica* 2, 209-213.
- LERCH, R., SESSLER, G. UND WOLF, D. (2009): Technische Akustik. Technische Akustik: Grundlagen und Anwendungen, ISBN 978-3-540-23430-2. Springer Berlin Heidelberg, 2009 1.
- NEUWEILER, G. (1989): Foraging ecology and audition in echolocating bats. *Trends in Ecology & Evolution* 4, 160-166.
- SCHNITZLER, H. U. UND KALKO, E. K. V. (2001): Echolocation by insect-eating bats. *Bioscience* 51, 557-569.
- SIEMERS, B. M. UND SCHNITZLER, H. U. (2004): Echolocation signals reflect niche differentiation in five sympatric congeneric bat species. *Nature* 429, 657-661.
- SIMON, R., HOCHRADEL, K., MAGES, J., NAGY, M., NAUCKE, A., NIERMANN, I., WEBER, N., UND BEHR, O. (2015): Methoden akustischer Erfassung der Fledermausaktivität an

Windenergieanlagen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 39-80.

UNSER, M. (2000): Sampling – 50 years after Shannon. Proceedings of the IEEE 88, 569-587.

Wärmeoptische 3D-Erfassung von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen

KLAUS HOCHRADEL^a, UWE ADOMEIT^b, NIC HEINZE^a, MARTINA NAGY^a,
FLORIAN STILLER^a, OLIVER BEHR^a

^a Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik, Erlangen

^b Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung, Ettlingen

Inhalt

1	Zusammenfassung	82
2	Einleitung	83
3	Methode	84
4	Datensatz	85
5	3D-Auswertung der wärmeoptischen Daten	90
6	Korrektur des berechneten Schlagrisikos für verschiedene Rotorradien.	91
7	Diskussion.	95
8	Literatur.	97
9	Anhang	98

1 Zusammenfassung

Im vorhergehenden Forschungsvorhaben (im Folgenden „RENEBAT I“) kam weltweit erstmals ein stereo-wärmeoptisches Erfassungssystem zum Einsatz, mit dem die akustische Erfassung von Fledermäusen im Gondelbereich von Windenergieanlagen (im Folgenden „WEA“) validiert werden konnte. Dieses System ermöglicht es, die 3D-Flugbahnen von Fledermäusen im Gondelbereich von WEA zu bestimmen. Zusammen mit den akustischen Aufnahmen der in der Gondel installierten Detektoren können auf diese Weise Rückschlüsse auf die Reichweite der Detektoren gezogen werden.

Im hier dargestellten Forschungsprojekt (im Folgenden „RENEBAT II“) erweiterten wir den aus RENEBAT I vorliegenden Wärmebilddatensatz um vier Erfassungsnächte. In jeweils zwei Nächten wurde die Fledermausaktivität in zwei verschiedenen Naturräumen erfasst. Aus den Wärmebilddaten der Naturräume D12 und D14 konnten insgesamt 18 bzw. 19 Flugbahnen innerhalb eines Abstands von 60 m zur Gondel vermessen werden (4468 bestimmte Fledermauspositionen). Die Analyse dieser Flugbahnen gab Hinweise auf wahrscheinliches Inspektionsverhalten von Fledermäusen in Gondelnähe. Außerdem wurde eine Kollision mit einem Rotorblatt aufgezeichnet.

Im Fokus der Auswertung stand die Verteilung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA. Die Kombination der Daten aus 2008 und 2012 zeigte eine exponentielle Abnahme der Aufenthaltsdichte mit zunehmendem Abstand zur Gondel. Die Aktivitätsdichte konvergierte dabei gegen einen Minimalwert, von dem wir annehmen, dass er der Aktivität im freien Luftraum entspricht.

Basierend auf der gemessenen Verteilung berechneten wir Skalierungsfaktoren für das Schlagrisiko an WEA in Abhängigkeit vom Rotordurchmesser (falls dieser von dem der in RENEBAT I beprobten WEA abweicht). Die in RENEBAT I entwickelte Methode berechnet das Schlagrisiko für WEA mit etwa 70 m Rotordurchmesser. Bei WEA mit hiervon abweichendem Rotor würde daher das Schlagrisiko über- (bei weniger als 70 m Rotordurchmesser) bzw. unterschätzt (bei mehr als 70 m). Würde man bei der Korrektur für den Rotordurchmesser vereinfachend von einer Gleichverteilung der Fledermausaktivität im Rotorbereich ausgehen, so würde das Schlagrisiko z. B. für Anlagen mit 100 m Rotordurchmesser sehr hoch angesetzt werden. Im Unterschied dazu berücksichtigen wir bei den hier entwickelten Skalierungsfaktoren die Abnahme der Fledermausaktivität mit größerem Abstand zur Gondel, wodurch sich das geschätzte Schlagrisiko für große Anlagen deutlich reduziert.

Wir validierten die berechneten Skalierungsfaktoren, indem wir z. B. die Aufnahmen vor und hinter der Gondel getrennt voneinander analysierten. Auch hier ergab sich eine

exponentielle Abnahme der Fledermausdichte mit zunehmendem Abstand zur Gondel. Messungen der Schlagrate an Anlagen mit größerem Rotordurchmesser könnten zur weiteren Validierung der Ergebnisse beitragen.

2 Einleitung

Im vorangegangenen Forschungsprojekt RENEBAAT I (BRINKMANN et al. 2011) konnten wir bereits die räumliche Position von Fledermäusen an WEA erfassen. Dabei wurden die 3D-Positionen mithilfe eines Stereo-Wärmebild-Systems ermittelt. Durch die Ergebnisse konnten Funktion und Reichweite der akustischen Detektoren verifiziert werden (ADOMEIT et al. 2011).

Im aktuellen Forschungsprojekt RENEBAAT II wurden erneut Aufnahmen mit derselben Methode durchgeführt, um weitere Erkenntnisse über das Verhalten von Fledermäusen im Luftraum von WEA zu erlangen. Das Ziel der Datenerfassung im Jahr 2012 war einerseits, die schon bestehende Datengrundlage von 2008 zu vergrößern, und andererseits den Datensatz mit neuen Anlagen aus unterschiedlichen Naturräumen zu erweitern. Konkret untersuchte das vorliegende Forschungsvorhaben die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Fledermäusen in Abhängigkeit vom Abstand zur Gondel. Hierzu war es ebenso wie in RENEBAAT I notwendig, die 3D-Position über eine Stereoerfassung absolut zu bestimmen. Im Gegensatz dazu haben frühere Untersuchungen (z. B. HORN et al. 2008), bei denen Bilder einer einzelnen Kamera ausgewertet wurden, nur eine Schätzung der 3D-Position ermöglicht.

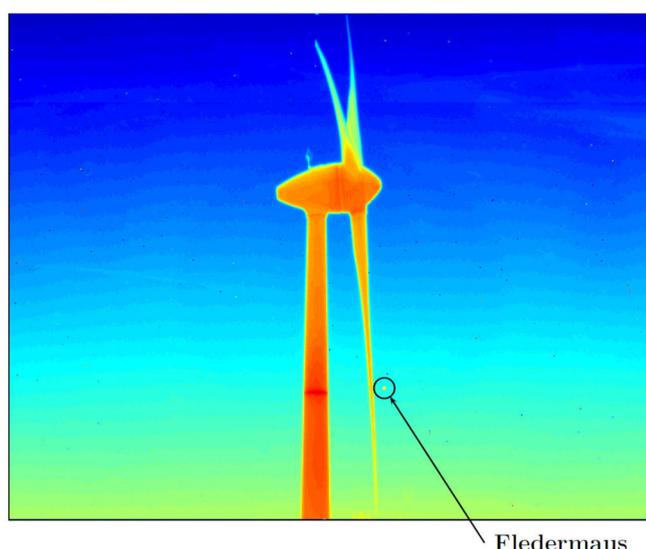


Abbildung 1 Wärmebildaufnahme einer Windenergieanlage aus einer Entfernung von 230 m; Fledermaus vor dem Rotorblatt

3 Methode

Die Methode zur Erfassung und Auswertung der Wärmebilddaten (siehe Abbildung 1) wurden in RENEBAAT I beschrieben (ADOMEIT et al. 2011). Auch die Korrelation der akustischen und optischen Daten wird hier nur oberflächlich behandelt, da sie bereits in BRINKMANN et al. 2011 diskutiert wurde. Im Fokus der hier dargestellten Wärmebild-erfassung steht eine Dichteanalyse der Fledermausaktivität im Rotorbereich von WEA und ein hieraus berechneter Skalierungsfaktor für die Umrechnung des Schlagrisikos an WEA unterschiedlicher Rotorradien.

Die Extraktion der Flugbahnen erfolgte wie in ADOMEIT et al. (2011). Die folgende Auswertung hatte die Bestimmung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA zum Ziel. Das Verhalten der Tiere in der Nähe von Windenergieanlagen wurde in verschiedensten Studien untersucht (z. B. HORN et al. 2008a; HORN et al. 2008b), konnte aber bislang (vor allem für europäische Arten) nicht quantifiziert werden. Die dazu erforderliche Bestimmung des Aufenthaltsorts von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA erfolgte in unserem Datensatz durch die Stereoaufnahmetechnik, d. h. anhand von Triangulation.

Die Auswertung der optischen Daten erfolgte in RENEBAAT I manuell anhand von Differenzbildern (ADOMEIT et al. 2011). In RENEBAAT II wurden die Methoden der Auswertung weiterentwickelt. Zu diesem Zweck wurde die Softwareumgebung Matlab genutzt. Damit konnten wir auf unkomplizierte Weise Algorithmen zur Segmentierung und zum Extrahieren der Flugbahnen testen. Für eine schnellere, matlabunabhängige Version wird eine Umsetzung in Programmiersprachen wie C++ oder Java in Betracht gezogen.

Es ist prinzipiell möglich, einen Großteil der Störungen (z. B. Bildrauschen, Bewegungen der Gondel) durch Filterung auszuschließen. Hierbei besteht jedoch ein hohes Risiko, dass Teile der Flugbahn nicht zu erkennen sind. Wir entschieden uns daher für einen teilautomatisierten Ansatz: Die als Teil der Flugbahn identifizierten Punkte werden dem Nutzer dargestellt, der anhand der Differenzbilder und der dargestellten Flugbahn Punkte manuell ausschließen kann, die fälschlicherweise als Teil der Flugbahn erkannt wurden (Abbildung 2).

Das Verfahren befindet sich noch in der Entwicklung, doch schon jetzt ist festzustellen, dass die Zeitersparnis durch den teilautomatisierten Ansatz gegenüber dem manuellen beträchtlich ist. Außerdem kann in Zukunft mit einem größeren Datensatz für die Analyse gerechnet werden. Bislang werden nur Frames mit erkannten Fledermäusen gewertet. Es wird daran gearbeitet, dass die Software fehlende Teile der Flugbahn in Abhängigkeit

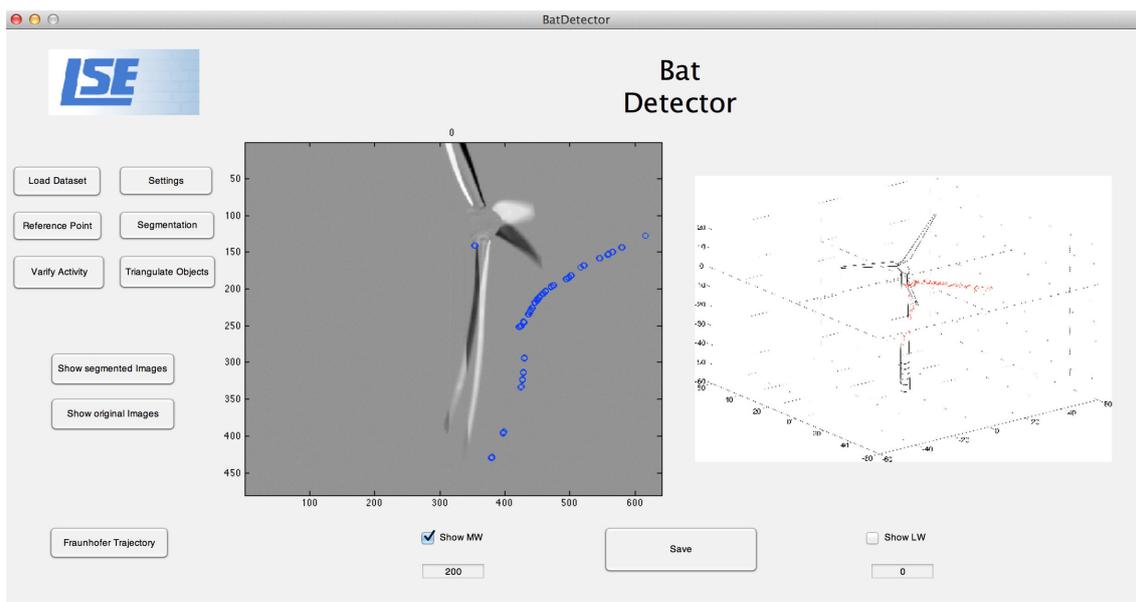


Abbildung 2 Bedienoberfläche der am Lehrstuhl für Sensorik entwickelten automatischen Auswertung der Stereobilddaten zur Erkennung von Fledermäusen und anschließender Triangulation der 3D-Flugbahn

zur Länge des fehlenden Zeitintervalls interpoliert und somit ein größerer Datensatz für die weiteren Analysen zur Verfügung steht. Durch die 3D-Bestimmung der Flugbahnen konnten wir erstmals das Verhalten der Fledermäuse an WEA genauer untersuchen.

4 Datensatz

Stereo-wärmeoptische Messungen wurden im Erfassungszeitraum im August und September 2012 in sechs Nächten an sechs unterschiedlichen Anlagen durchgeführt (Tabelle 1). Jeweils zwei dieser Anlagen befanden sich im selben Windpark und somit im selben Naturraum (siehe NIERMANN et al. 2015)

- 2 Nächte Mittelbrandenburgisches Plattenland (D12)
- 2 Nächte Oberlausitz (D14)
- 2 Nächte Hunsrück (D42).

Insgesamt lagen aus dem Jahr 2012 27 Stunden Stereo-Aufzeichnungen vor (Tabelle 1). Die Aufnahmen des Naturraums D42 lieferten keine zu den anderen Erfassungen vergleichbaren Ergebnisse (Beobachtung mit nur einer Kamera) oder mussten aufgrund von Regen abgebrochen werden (nicht aufgeführt in Tabelle 1). So verblieben 21 Stunden und 38 Minuten vergleichbarer Daten. In diesem Zeitraum wurden insgesamt 191 Flugbahnen aufgezeichnet. Davon befanden sich 37 in einem Radius kleiner als 60 m von der Gondel

Tabelle 1 Wärmeoptische Aufnahmen im Erfassungszeitraum 2012; vier Aufnahmenächte an vier unterschiedlichen WEA

Ort	Datum	Erfassungszeit	Anzahl Flugbahnen		Bemerkung
			gesamt	Radius $r < 60$ m	
WEA D1418m	9.08.2012	16:00-17:00	-	-	Parallele Testmessungen mit Flugdrohne
WEA D1418m	9./10.08.12	21:08-3:15	22	5 (2 bis 30 m)	
WEA D1418n	10./11.08.12	21:03-2:18	52	14 (6 bis 30 m)	Anlage im fledermausfreundlichen Betrieb
WEA D12a	18./19.09.12	19:41-00:16	53	9 (4 bis 30 m)	Kollision
WEA D12b	19./20.09.12	19:22-00:12	64	9 (1 bis 30 m)	Anlage im fledermausfreundlichen Betrieb Zeitgleiche Testmessungen mit Nachtsichtkamera (ca. 22:07-22:22 und 22:25-22:36)

(kürzester Abstand der Flugbahn zum Mittelpunkt der Gondel) und nur 13 näherten sich der Gondel auf weniger als 30 m. Um das Flugverhalten der Fledermäuse zu analysieren, wurden aus den Einzelbildern (Bildwiederholfrequenz 12 Bilder/sec; ein Einzelbild entspricht ca. 83 ms) der Flugbahnen die Positionen der Fledermäuse bestimmt. Es wurden nur Positionen, deren Abstand weniger als 60 m zur Gondel betrug, in die Analyse miteinbezogen. So ergaben sich 1713 Positionen innerhalb eines Radius von 60 m und 460 innerhalb von 30 m. In RENEBAT I im Jahr 2008 erfassten wir an der Anlage D12a in 2 Nächten mit der gleichen Methodik 2755 Tierpositionen in einem Radius von 60 m und 1029 innerhalb von 30 m.

Aus den Jahren 2008 und 2012 ergab sich ein kumulierter Datensatz mit gleicher Aufnahmetechnik von insgesamt 4468 Fledermauspositionen in einem Radius von 60 m, und 1489 bei 30 m. Trotz der relativ geringen Anzahl an aufgezeichneten Flugbahnen im Jahr 2012 wurde wie schon im Jahr 2008 ein Fledermausschlag aufgenommen (Abbildung 5). Rotorblatt und Fledermaus bewegten sich auf dieselbe Position zu und erreichten diese gleichzeitig. Die Fledermaus erfuhr daraufhin eine Beschleunigung in Richtung Boden. Wie in RENEBAT I gingen wir bei einer derartigen Flugbahn von einem Fledermausschlag aus.

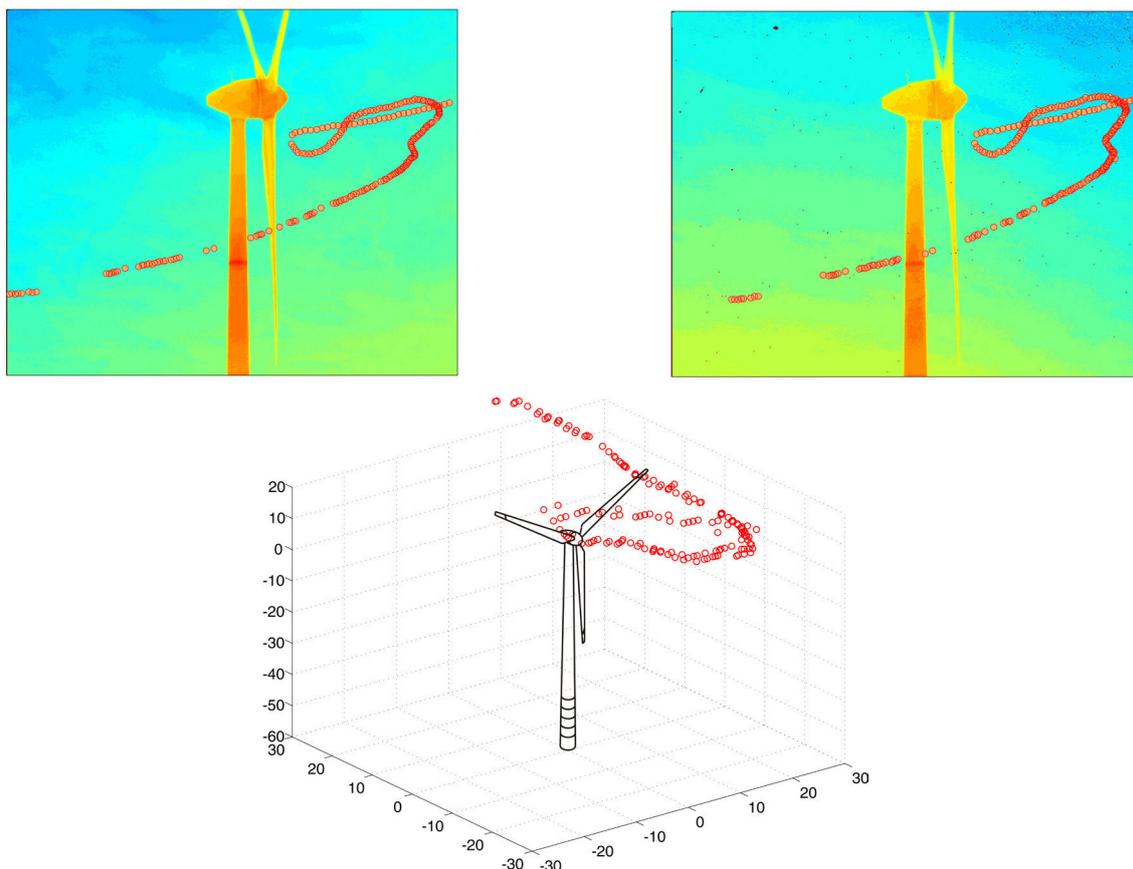


Abbildung 3 Wärmeoptische Stereobildaufnahmen einer vermutlichen Inspektionsflugbahn einer Fledermaus an einer WEA; links oben: Kamera 1; rechts oben: Kamera 2; unten: Ergebnisse der Triangulation

Abbildung 3 zeigt einen aufgezeichneten Inspektionsflug der Fledermaus um die Anlage. Die beiden Einzelbilder der Kamera 1 und 2 (Abbildung 3 links/rechts oben) zeigen, dass die vermutete Flugbahn aus einer 2D-Aufnahme deutlich von der tatsächlichen 3D-Flugbahn der Triangulation abweicht.

Mit dieser Methodik war es uns wie schon im Jahr 2008 möglich, den Schlag einer Fledermaus durch ein Rotorblatt zu registrieren. Dieser ist, in Verbindung mit den Einzelbildern beider Kameras, in Abbildung 4 dargestellt. Bei beiden Kollisions-Flugbahnen konnten neben der optischen Registrierung auch akustische Rufe aufgezeichnet werden. Allerdings konnte keines der beiden Ereignisse durch die Schlagopfersuche verifiziert werden, da jeweils an den Folgetagen keine Tiere gefunden wurden. Das Vorgehen bei der Schlagopfersuche beschrieben wir in NIERMANN et al. (2011, 2015).

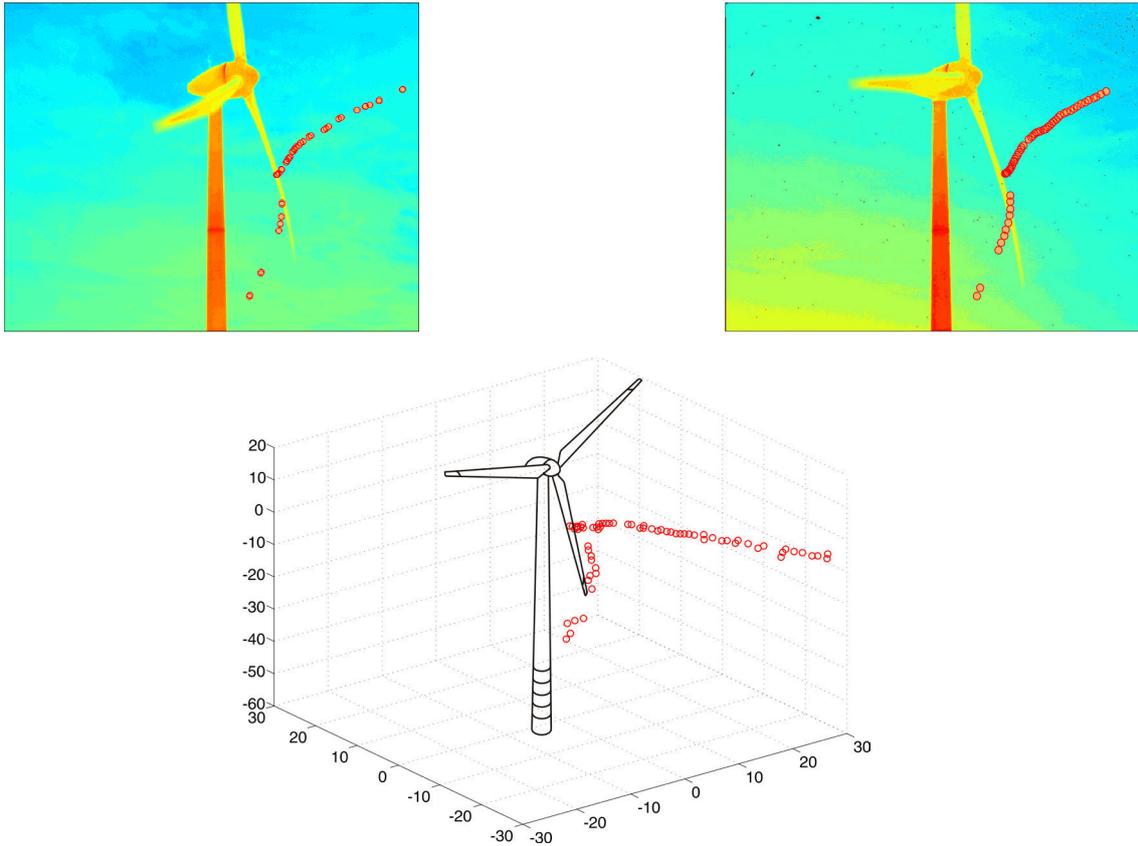


Abbildung 4 Wärmeoptische Stereobildaufnahmen eines Schlags einer Fledermaus durch das Rotorblatt; links oben: Kamera 1; rechts oben: Kamera 2; unten: Ergebnisse der Triangulation

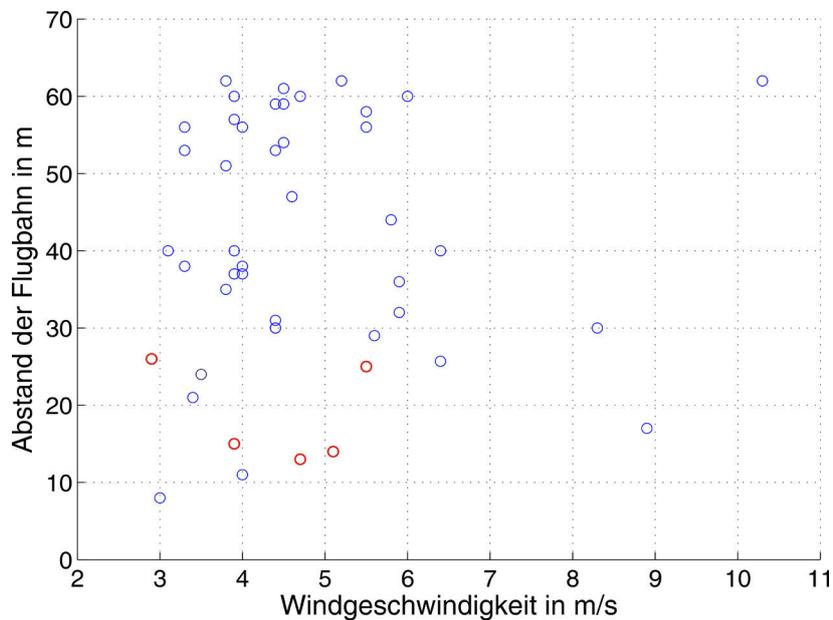


Abbildung 5 Stereo-optisch erfasste Flugbahnen aufgetragen über ihren minimalen Abstand zur Gondel und der jeweils herrschenden Windgeschwindigkeit; rot: Flugbahnen, die durch akustische Detektoren aufgezeichnet wurden

In Tabelle 2 sind alle durch diese Methode registrierten 3D-Flugbahnen mit einem minimalen Abstand zur Gondel der WEA von bis zu 30 m mit ihrer Start- und Stopzeit notiert. Etwa 50 % der Flugbahnen in einem Radius von ca. 30 m wurden erkannt. Die zu dem Zeitpunkt der Flüge herrschenden Windgeschwindigkeiten lassen keinen Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Detektierbarkeit von Fledermausrufen erkennen (siehe Abbildung 5).

Tabelle 2 Alle extrahierten 3D-Flugbahnen aus dem Erfassungsjahr 2012 mit einem Abstand kleiner als 30 m; weniger als 50% wurden durch akustische Detektoren registriert; Windgeschwindigkeit des zum Flug gehörigen 10 min Intervalls

Registrierte Flugbahnen im Abstand < 30 m		Minimaler Abstand in m	akustische Aufnahmen	Windgeschwindigkeit in m/s
Start	Stop			
09.08.2012 22:16:03	09.08.2012 22:16:09	13	2	4,7
10.08.2012 00:53:43	10.08.2012 00:53:50	24	0	4,5
10.08.2012 22:04:28	10.08.2012 22:04:40	27	2	5,5
10.08.2012 22:09:50	10.08.2012 22:10:39	25	3	5,6
11.08.2012 00:17:18	11.08.2012 00:17:26	8	0	3
11.08.2012 00:34:02	11.08.2012 00:34:09	21	0	3,4
11.08.2012 02:10:03	11.08.2012 02:10:14	26	0	6,5
18.09.2012 19:50:55	18.09.2012 19:51:25	15	8	3,2
18.09.2012 20:04:55	18.09.2012 20:05:16	11	0	4
18.09.2012 20:50:09	18.09.2012 20:50:16	17	0	8,9
19.09.2012 23:24:29	19.09.2012 23:24:55	14	8	5,1

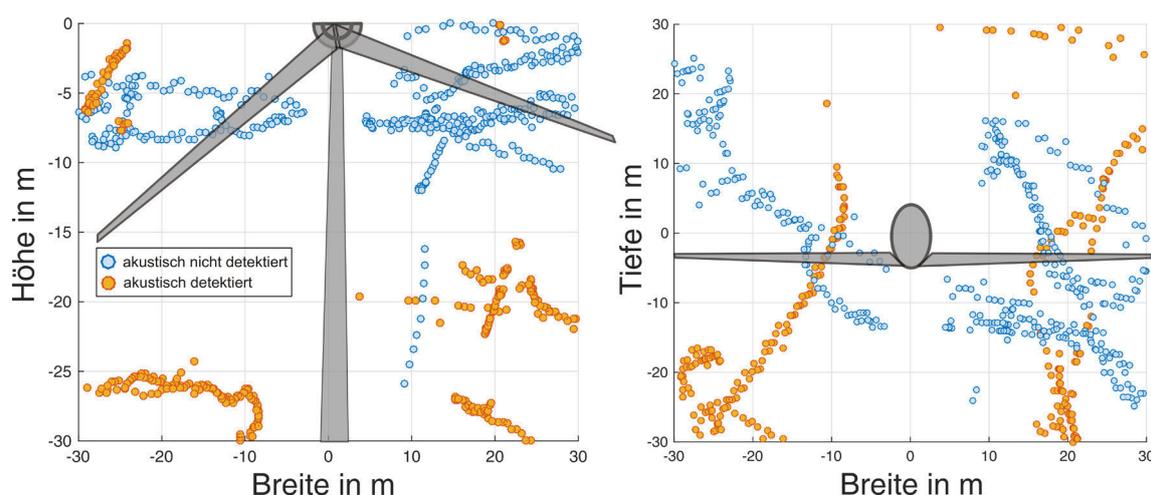


Abbildung 6 Fledermauspositionen aus den aufgezeichneten Flugbahnen (siehe Tabelle 2) aus dem Erfassungsjahr 2012 in einer Entfernung von bis zu 30 m; links: Frontansicht; rechts: Draufsicht; akustisch Detektierte Flugbahnen in orange, akustisch nicht detektierte Flugbahnen in blau;

In Abbildung 6 ist zu erkennen, dass die wenigen optisch registrierten Flugbahnen nicht gleichmäßig über den akustischen erfassten Luftraum verteilt waren, sondern sich auf Gondelhöhe konzentrierten. Der hieraus resultierende seitliche Schalleinfallswinkel ist eine mögliche Erklärung für den im Vergleich zum Datensatz 2008 (ADOMEIT 2011) relativ niedrigen Anteil optischer Flugbahnen, die auch akustisch registriert wurden.

5 3D-Auswertung der wärmeoptischen Daten

Zur Bestimmung der Aufenthaltsdichte von Fledermäusen in Abhängigkeit vom Abstand zur Gondel der WEA werteten wir alle ermittelten Fledermauspositionen aus den Jahren 2008 und 2012 aus. Die Aufenthaltsdichte wurde bestimmt für halbe Kugelschalen um den Mittelpunkt der Gondel mit einer Dicke von je 3 m (siehe Abbildung 7). Alle

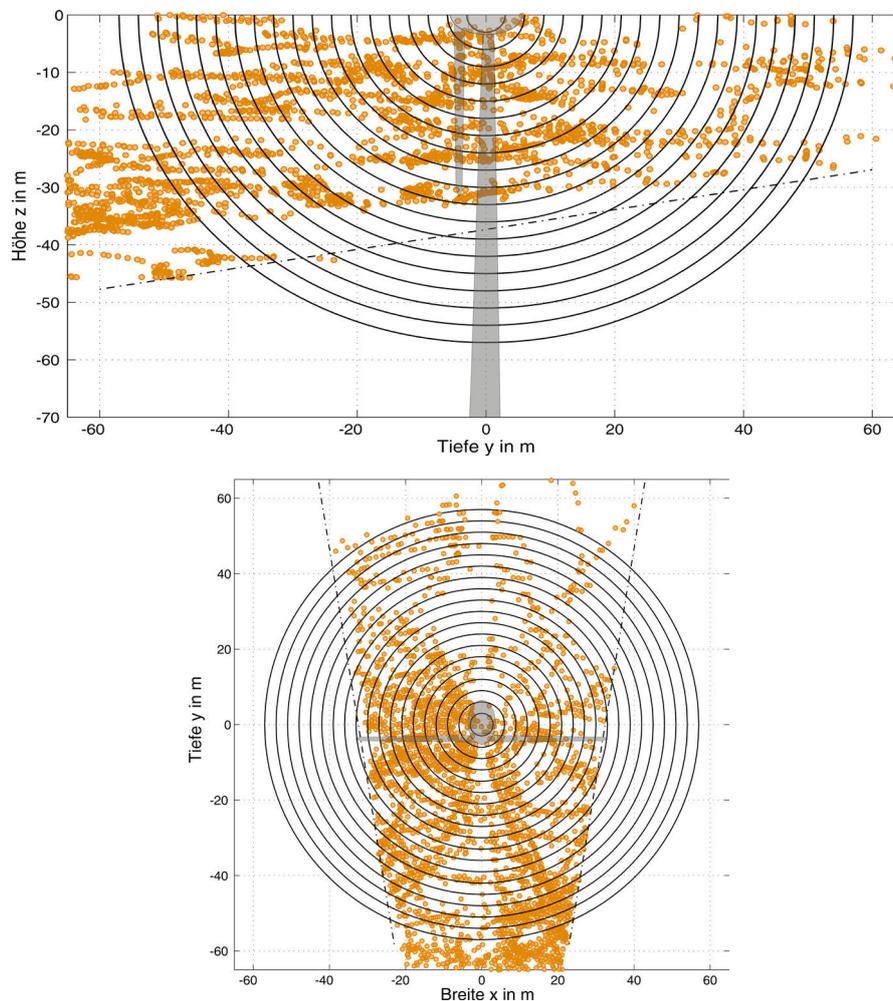


Abbildung 7 Fledermauspositionen aus dem Erfassungsjahr 2008; erkennbar ist die Begrenzung des Kamerasichtfeldes; eingezeichnete Halbkugelschalen zur Berechnung der Aktivitätsdichte von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA; oben: Seitenansicht; unten: Draufsicht

Positionen aus beiden Erfassungsjahren 2008 und 2012 von Fledermäusen sind in Abbildung 8 (links) dargestellt. Die Anzahl registrierter Positionen nahm mit zunehmendem Abstand zur Gondel zunächst zu und dann wieder ab. Die absolute Anzahl an Positionen ist hierbei stark vom jeweils betrachteten Volumen, das mit zunehmendem Abstand zur Gondel ebenfalls zunächst zunahm und dann, bedingt durch den Bildausschnitt, wieder abnahm. Korrigiert man die absolute Anzahl ermittelter Positionen für den Volumenverlauf, so erhält man die Fledermausdichte im Rotorbereich. Die Dichte ist in Abbildung 8 (rechts) dargestellt. Sie nahm zunächst mit größer werdendem Radius zu und fiel ab etwa 10 m Radius exponentiell ab.

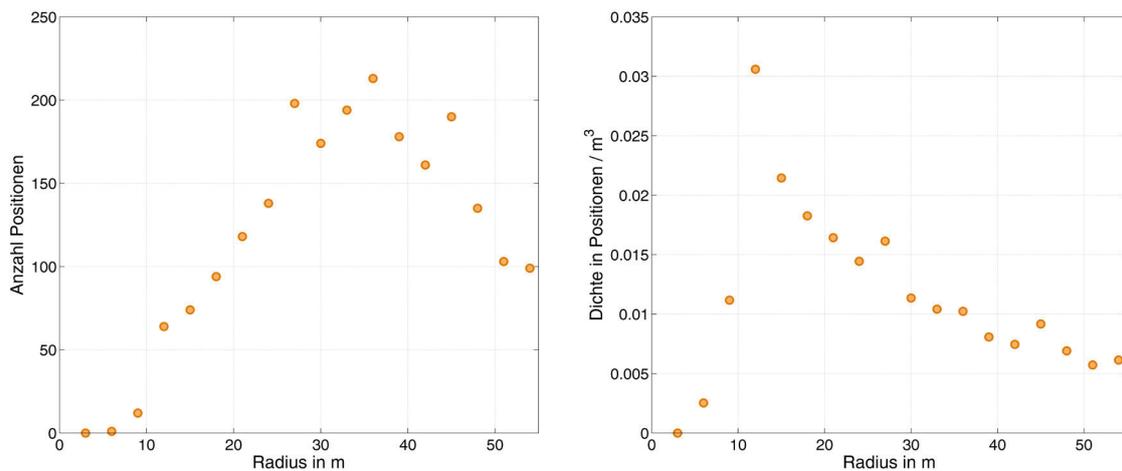


Abbildung 8 Auswertung der Fledermauspositionen; links: Anzahl an Fledermauspositionen abhängig vom Abstand zur Gondel der WEA; rechts: Fledermauspositionen bezogen auf das Volumen der jeweiligen Kugelschale (siehe Abbildung 7) in Abhängigkeit vom Abstand zur Gondel

6 Korrektur des berechneten Schlagrisikos für verschiedene Rotorradien

In RENEBAT I wurden fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen entwickelt, die geeignet sind, das Kollisionsrisiko für Fledermäuse an einer WEA auf einen definierten Wert zu senken (BEHR et al. 2011). Die fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen wurden für WEA mit einem Rotordurchmesser von etwa 70 m entwickelt. Bei hiervon abweichenden Durchmessern muss das berechnete Schlagrisiko entsprechend korrigiert werden.

Ist die Verteilung der Fledermausaktivität im Rotorbereich der WEA nicht bekannt, kann im einfachsten Fall ein Skalierungsfaktor s (das für einen 70 m Durchmesser berechnete Schlagrisiko ist dann mit s zu multiplizieren) aus dem Verhältnis der überstrichenen Rotorfläche A_r und der Standardrotorfläche A_0 berechnet werden:

$$s = \frac{A_r}{A_0}$$

mit

$$A_r = \pi r^2 ; A_0 = \pi(35 \text{ m})^2$$

ergibt

$$s = 8,16 \cdot 10^{-4} \cdot r^2$$

Die Standardrotorfläche A_0 entspricht dem Mittel der in RENEBAT I beprobten Anlagen mit einem Durchmesser von etwa 70 m.

In diesem Fall wird die Annahme gemacht, dass die Aktivität der Fledermäuse und das resultierende Schlagrisiko gleich über den Rotorbereich verteilt sind. Grafisch lässt sich dieser Zusammenhang als ein Zylinder beschreiben, dessen Grundfläche die vom Rotor überstrichene Fläche bildet, während die Höhe einem Gewichtungsfaktor w entspricht (siehe Abbildung 9). Dieser Faktor ist gleichzusetzen mit der Verteilung von Fledermäusen im Rotorbereich, die in diesem einfachsten Fall gleichverteilt angenommen wird ($w=1 \forall r$; zu lesen: „ $w=1$ für alle Radien“). Hieraus ergibt sich die oben beschriebene einfache Gleichung für den Skalierungsfaktor.

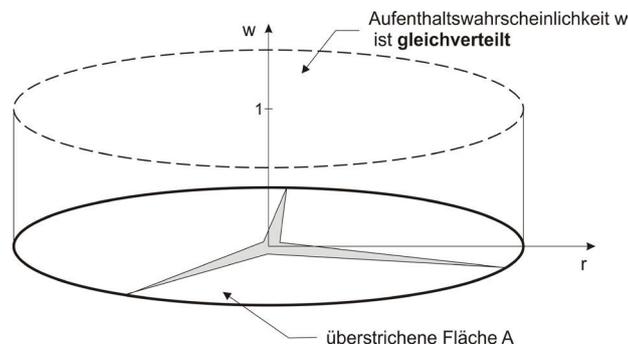


Abbildung 9 Skalierung des Schlagrisikos anhand der vom Rotor überstrichenen Fläche geht von einer Gleichverteilung der Fledermausaktivität w aus

Die hier dargestellten Wärmebildaufnahmen zeigen nun jedoch erstmals, dass die Fledermausaktivität nicht gleich über den vom Rotor überstrichenen Bereich verteilt ist, sondern mit wachsendem Abstand zur Gondel abnimmt (Abbildung 8 rechts). Wir führen deshalb hier einen Skalierungsfaktor ein, der die gemessene Dichteverteilung von Fledermäusen im Gondelbereich berücksichtigt. Die Dichte nahm ab einem Radius von ca. 10 m exponentiell ab und konvergierte gegen einen konstanten Wert 0,0058 (siehe Abbildung 10 links). Der Bereich unter 10 m Radius ist hierbei zu vernachlässigen, da ein

Großteil des entsprechenden Volumens durch die Gondel verdeckt oder eingenommen wird. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit wird daher im Bereich unter 10 m als konstant angenommen und eine abschnittsweise-definierte Funktion für die Beschreibung der Fledermausaktivitätsdichte verwendet:

$$f(r) = \begin{cases} ae^{10 \cdot b} + c & \text{für } r \leq 10 \text{ m} \\ ae^{b \cdot r} + c & \text{für } r > 10 \text{ m} \end{cases}$$

mit

$$a = 0,05$$

$$b = -0,078$$

$$c = 0,0058.$$

Abbildung 10 zeigt die angepasste Funktion und die dazugehörigen Messdaten der Fledermausdichte.

Diese Funktion wird anschließend auf ihr Maximum normiert und dient als neue Gewichtungsfunktion $w(r)$ (alte Gewichtungsfunktion Abbildung 9, neue Funktion in Abbildung 10 rechts) für die Korrektur des Schlagrisikos bei von 70 m abweichenden Rotordurchmessern.

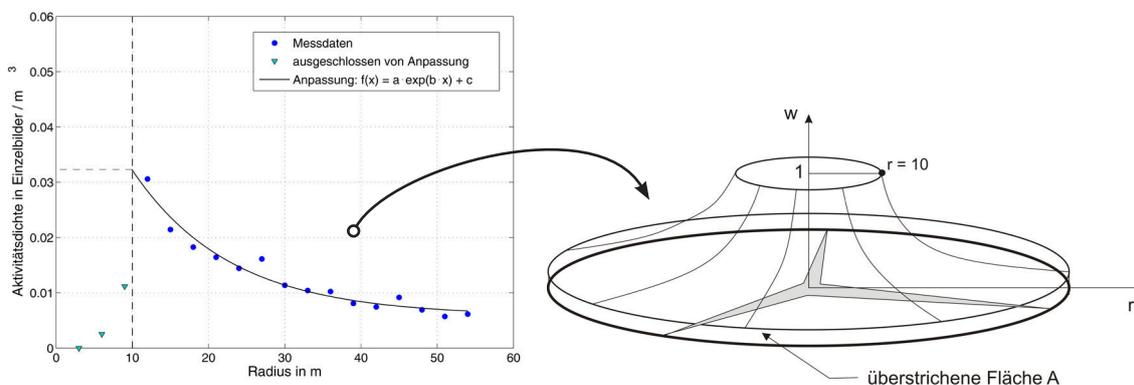


Abbildung 10 links: Aktivitätsdichte von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA; rechts: Normierung der angepassten Funktion auf ihr Maximum als neue Gewichtungsfunktion $w(r)$ für die Berechnung des Skalierungsfaktors

Auch eine getrennte Betrachtung der Bereiche vor und hinter der WEA (bzw. Kamera-abgewandte und -zugewandte Seite) zeigt für beide Bereiche eine vergleichbare exponentielle Abnahme der Aktivitätsdichte (Abbildung 11).

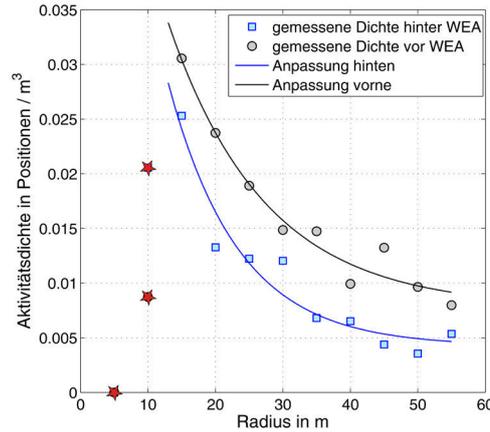


Abbildung 11 Vergleich der Aktivitätsdichte vor und hinter der Gondel; Kurvenverlauf ist qualitativ vergleichbar aber unterscheidet sich im Niveau, da von der Kamera erfasstes Volumen hinter der Kamera in größerer Höhe liegt als vor der Kamera (rote Markierung bedeutet nicht in der Anpassung berücksichtigt)

Der neue Skalierungsfaktor wird wie oben beschrieben aus dem Verhältnis zweier Volumina berechnet. Hier werden nun anstelle der ursprünglichen Zylindervolumina (bei angenommener Gleichverteilung, siehe Abbildung 9) die Volumina verwendet, die eine exponentielle Abnahme der Fledermausdichte berücksichtigen (Abbildung 8)

$$s_n = \frac{v_r}{v_{70\text{ m}}}$$

Die Herleitung und Berechnung der Volumina sind dem Anhang zu entnehmen. Berechnet man den neuen Korrekturfaktor für verschiedene Radien (siehe Anhang), ergibt sich ein nahezu linearer Anstieg des Korrekturfaktors mit dem Rotordurchmesser. Die lineare Funktion zur Berechnung des Korrekturfaktors aus dem Radius lautet

$$s = 0,03125 \cdot r - 0,1019$$

und erklärt den an sich komplexen Zusammenhang sehr exakt (über 99 % der Varianz beim Vergleich der Ergebnisse der komplexen und der genäherten Formel werden erklärt: $r^2=0.9997$, Abbildung 12) Deshalb kann statt einer komplexen Formel die lineare Näherung verwendet werden, ohne einen nennenswerten Fehler zu verursachen.

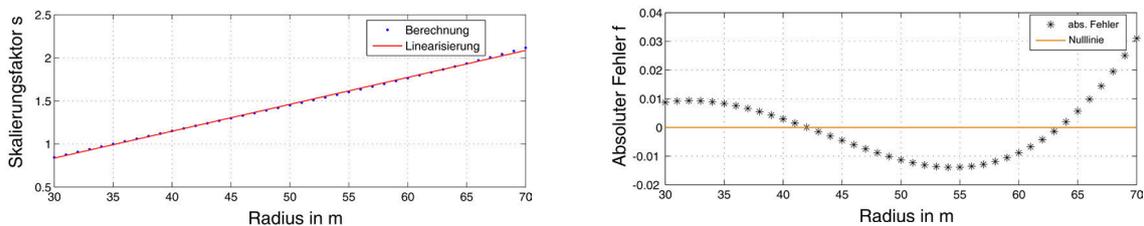


Abbildung 12 links: Linearisierung des neuen Skalierungsfaktors für das Schlagrisiko für Rotordurchmesser größer als 70 m; rechts: absoluter Fehler, der durch die Linearisierung des Skalierungsfaktors entsteht

7 Diskussion

Wir erfassten 2012 an vier Windenergieanlagen (eine Erfassungsnacht je Anlage) 3D-Flugbahnen von Fledermäusen mit einem stereo-wärmeoptischen System. Zusammen mit den bereits in RENEBAT I aufgezeichneten Flugbahnen (ADOMEIT et al. 2011) resultierte ein Datensatz mit sechs Nächten an vier WEA mit 37 Flugbahnen und insgesamt 4468 registrierten Fledermauspositionen (Einzelbilder der Videoerfassung). Mit Hilfe dieses Datensatzes ist es erstmals möglich, exakte Aussagen über das räumliche Verhalten von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA zu treffen. Wir konnten nachweisen, dass die Aktivität von Fledermäusen mit zunehmender Annäherung an die WEA ansteigt. Mit der erhöhten Aktivität mit abnehmendem Abstand zur Gondel der WEA beschäftigten sich bereits verschiedene Untersuchungen (CRYAN et al. 2009; HORN et al. 2008b). Mit unserer Methodik war es nun erstmals möglich, eine quantitative Aussage zur Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Fledermäusen in Gondelnähe der beprobten WEA zu treffen. Wir erbringen hier also den ersten Nachweis für eine bereits häufig vermutete und diskutierte (z. B. CRYAN et al. 2009) Attraktionswirkung von WEA auf Fledermäuse. Die Verteilung der Tiere im Rotorbereich ist darüber hinaus für die Berechnung des Schlagrisikos aus der akustischen Aktivität (BEHR et al. 2011) für WEA mit unterschiedlichen Rotordurchmessern von großer Bedeutung, der Erfassungsbereich der akustischen Detektoren fest definiert ist.

Wir konnten eine exponentielle Abnahme der Fledermausaktivitätsdichte mit zunehmendem Abstand zur Gondel der WEA nachweisen. Die Aktivitätsdichte nähert sich asymptotisch einem konstanten Wert, von dem wir annehmen, dass es sich um die Aufenthaltsdichte im freien Luftraum (unbeeinflusst von der WEA) handelt. Basierend auf der gemessenen Verteilung der Aktivität im Rotorbereich können wir nun einen Korrekturfaktor zur Verfügung stellen, der die Skalierung des berechneten Schlagrisikos (BEHR et al. 2011) für verschiedene Rotordurchmesser ermöglicht (siehe Abbildung 12). Vergleicht man diese Skalierung mit einer einfacheren Variante, die von einer Gleichverteilung der Fledermausaktivität im Rotorbereich ausgeht, so nimmt der Unterschied zwischen den beiden Korrekturfaktoren mit steigendem Rotorradius zu. Ab einem Radius von 35 m (Mittelwert des Rotorradius der in RENEBAT I beprobten WEA) wird die Aktivität bei einer Annahme von Gleichverteilung überschätzt (zu hoch skaliert), und für Radien kleiner als 35 m wird die Aktivität unterschätzt (siehe Abbildung 13). Diese Überschätzung bei großen Rotordurchmessern hat einen potenziell großen Einfluss auf die berechneten Abschaltzeiten bei modernen Anlagen.

Um die Robustheit der ermittelten e-Funktion und somit der abgeleiteten Skalierungsfaktoren zu überprüfen, wiederholten wir die Auswertung unter verschiedenen Voraussetzungen und für verschiedene Teildatensätze. Die Kameras deckten nicht den

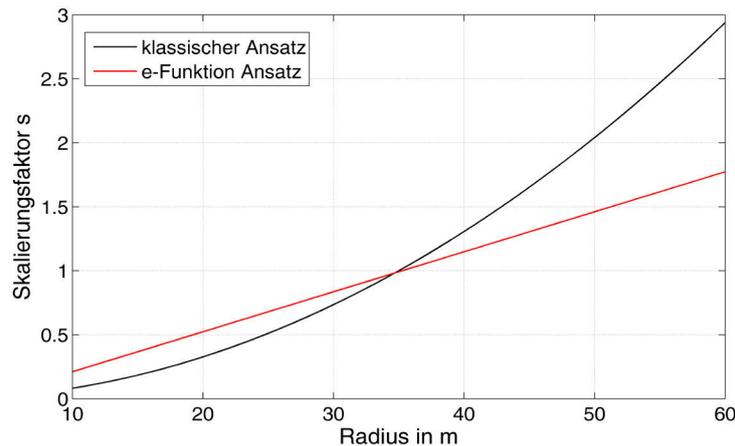


Abbildung 13 Vergleich der einfachsten Skalierung des Schlagrisikos (anhand der vom Rotor überstrichenen Fläche) mit der neuen Skalierung, die die Aktivitätsdichte von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA mit berücksichtigt

gesamten vom Rotor überstrichenen Bereich ab (siehe Abbildung 7). Um eventuell hieraus entstehende systematische Fehler auszuschließen, werteten wir verschiedene Bereiche um die WEA getrennt aus. Abbildung 11 zeigt die getrennte Auswertung aller erfassten Positionen getrennt für den Luftraum vor und hinter der WEA. Die Fledermausdichte war hinter der WEA (also mit größerem Abstand zu Kamera) geringer als vor der WEA (also mit geringerem Abstand zur Kamera).

Hierfür sind verschiedene Erklärungen denkbar. Zum Einen zeigen BRINKMANN et al. (2011) eine Abnahme der Detektionswahrscheinlichkeit von Fledermäusen durch wärmeoptische Kameras mit zunehmendem Abstand. Zum Anderen weisen die beiden Kurven (Abbildung 11) aufgrund ihrer gleichen Form und der Verschiebung in y -Richtung auf eine geringere Fledermausaktivität mit zunehmender Höhe hin (COLLINS 2009). Der durch die Kameras abgedeckte Raum hinter der WEA (auf der kamera-abgewandten Seite der WEA, siehe Abbildung 7) lag im Durchschnitt auch in einer größeren Höhe über dem Boden als der Bereich vor der WEA (Höhendifferenz der beiden Volumina ca. 10 m, abhängig von Anlage und Messaufbau). In RENEBAT I wurde gezeigt, dass die Fledermausaktivität an der WEA mit zunehmender Höhe abnehmen kann (NIERMANN et al. 2011, COLLINS 2009).

Trotz gewisser Einschränkungen der Datengrundlage (kleine Datensätze bei Einzelbetrachtung) wurde sowohl für einzelne WEA als auch für eine getrennte Auswertung der Fledermauspositionen vor- und hinter der WEA eine ähnliche exponentielle Abnahme der Aktivitätsdichte mit zunehmendem Abstand zur Gondel der WEA festgestellt. Bei dieser Betrachtung verschiedener Teildatensätze war der exponentielle Verlauf der resultierenden Abnahme der Aktivitätsdichte vergleichbar. Der Aktivitätswert, dem sich die

abklingenden e-Funktionen asymptotisch näherte (angenommene Aktivität im freien Luftraum unbeeinflusst von der WEA) unterschied sich stark für verschiedene Datensätze und WEA.

8 Literatur

- ADOMEIT, U., O. BEHR, R. BRINKMANN, F. KORNER-NIEVERGELT UND I. NIERMANN (2011): Charakterisierung der Fledermausaktivität im Umfeld von Windenergieanlagen mittels IR-Stereoaufnahmen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 145-176.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011): Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 354-383.
- BRINKMANN, R., O. BEHR, F. KORNER-NIEVERGELT, J. MAGES, I. NIERMANN UND M. REICH (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Göttingen, Cuvillier Verlag.
- COLLINS, J., JONES, G., (2009): Differences in Bat Activity in Relation to Bat Detector Height: Implications for Bat Surveys at Proposed Windfarm Sites, *Acta Chiropterologica*, 11(2):343-350, doi: 10.3161/150811009X485576
- CRYAN, P. M. UND R. M. R. BARCLAY (2009): Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. *J Mamm* 90: 1330-1340.
- HORN, J. W., E. B. ARNETT, M. JENSEN UND T. H. KUNZ (2008a): Testing the effectiveness of an experimental acoustic bat deterrent at the Maple Ridge wind farm. Report for The Bats and Wind Energy Cooperative and Bat Conservation International. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- HORN, J. W., E. B. ARNETT UND T. H. KUNZ (2008b): Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *J Wildl Manage* 72: 123-132.
- NIERMANN, I., S. V. VELTEN, F. KORNER-NIEVERGELT, R. BRINKMANN UND O. BEHR (2011): Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 384-405.

- NIERMANN, I., BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F. UND BEHR, O. (2011): Systematische Schlagopfersuche – Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. – In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. und Reich, M., Göttingen, Cuvillier Verlag, Umwelt und Raum Bd. 4, 40-115.
- NIERMANN, I., KORNER-NIEVERGELT, F., BRINKMANN, R., UND BEHR, O. (2015): Kollisionsopfersuche als Grundlage zur Überprüfung der Wirksamkeit von Abschaltalgorithmen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 165-204.

9 Anhang

Ermittlung der Skalierungsfunktion für Rotordurchmesser größer oder kleiner 70 m:

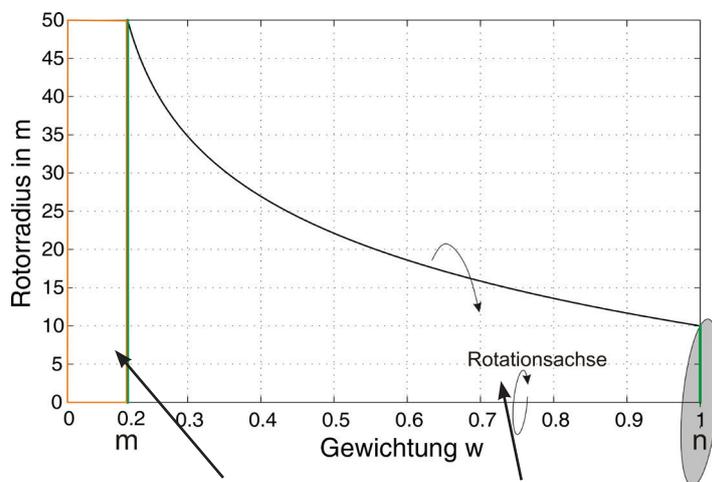


Abbildung 14 Bestimmung des Rotationsvolumens zur Berechnung des Skalierungsfaktors; für einfachere Berechnung um 90° gedreht

$$V_{\text{all}} = A_{\text{eff}} = m\pi r^2 + \pi \int_m^n g^2(y) dy$$

$$n = \frac{1}{k}(ae^{10 \cdot r_x} + c)$$

$$m = \frac{1}{k}(ae^{b \cdot r_x} + c)$$

Die gewichtete Fläche aus Abbildung 10 lässt sich als Rotationsvolumen berechnen. Dazu bilden wir die Umkehrfunktion und rotieren sie um die x-Achse. Abbildung 14 zeigt das Rotationsvolumen und die beiden Teilvolumina, die berechnet werden müssen. Beim linken Volumen handelt es sich um einen rein zylindrischen Körper. Das rechte Teilvolumen bildet sich aus dem Integral der Umkehrfunktion $g(y)$ der angepassten e-Funktion. Die Grenzen des Integrals werden durch m und n ausgedrückt. Wobei m der konstante Wert bei einem $r = 10$ m ist, n berechnet sich aus dem zu skalierenden Anlagenradius r_x .

Daraus ergibt sich die gesamt-gewichtete Fläche zu

$$V_{\text{all}} = m\pi r^2 + \pi \left[\frac{y \ln \left(-\frac{c-ky}{a} \right)^2 - 2y \ln \left(\frac{c-ky}{a} \right) + 2y}{b^2} + \frac{2c \ln(c-ky) - c \ln \left(-\frac{c-ky}{a} \right)^2}{b^2 k} \right]$$

Dieser Ansatz wird zudem mittenkoriigiert. Wie auch schon beim gleichverteilten Ansatz geht man davon aus, dass die Rotorgeschwindigkeit im Zentrum sehr gering ist und dass dieser Raum zudem teilweise von der Gondel eingenommen wird.

Deshalb ist das Schlagrisiko in diesem Bereich sehr gering, was in der Skalierung berücksichtigt werden muss. Dazu verwenden wir hier dieselbe Annahme wie in RENEBAT I, die davon ausgeht, dass bei den inneren 20 % des Radius kein Schlagrisiko besteht. Dies bedeutet, dass wir in unserem neuen Ansatz zwei mögliche Fälle betrachten müssen.

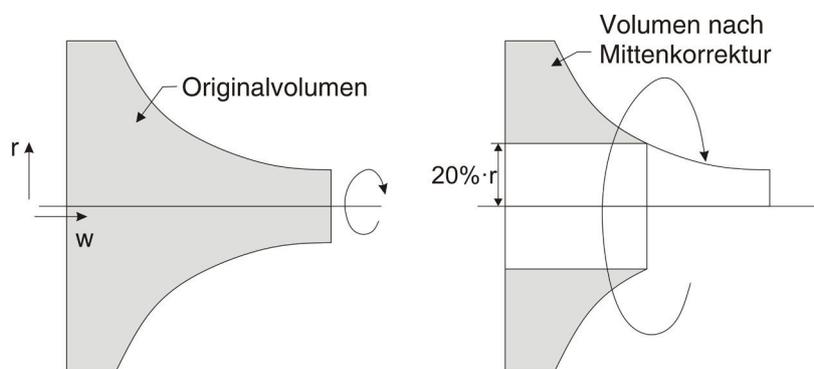
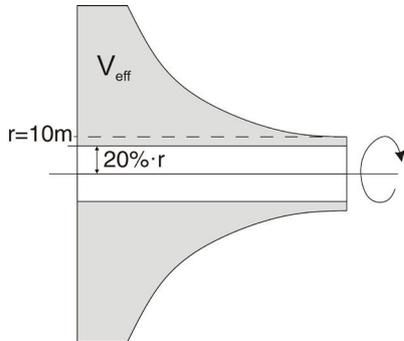


Abbildung 15 Skalierung des Schlagrisikos mit Hilfe des neuen Ansatzes; hier muss, wie in RENEBAT I, für die Mitte korrigiert werden, da hier ein Großteil der Fläche von der Gondel verdeckt wird und zusätzlich eine geringe Rotationsgeschwindigkeit der Rotorblätter herrscht

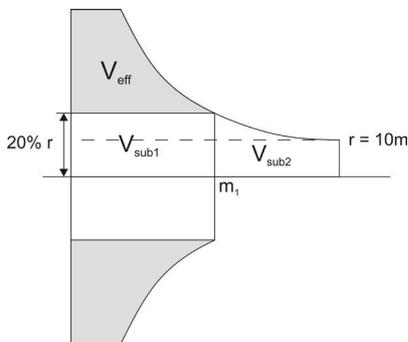
Mittenkorrektur:

1. Fall: $20\% \cdot r \leq 10 \text{ m}$



$$V_{\text{eff}} = V_{\text{all}} - \pi \left(\frac{20}{100} r \right)^2$$

2. Fall: $20\% \cdot r > 10 \text{ m}$



$$V_{\text{eff}} = V_{\text{all}} - V_{\text{sub1}} - V_{\text{sub2}}$$

mit

$$V_{\text{sub1}} = \pi \left(\frac{20}{100} r \right)^2 \cdot m_1$$

und

$$V_{\text{sub2}} = \pi \left[\frac{y \ln \left(-\frac{c-ky}{a} \right)^2 - 2y \ln \left(\frac{c-ky}{a} \right) + 2y}{b^2} + \frac{2c \ln(c-ky) - c \ln \left(-\frac{c-ky}{a} \right)^2}{b^2 k} \right]$$

$$m_1 = \frac{1}{k} \left(a e^{\frac{20}{100} r \cdot b} + c \right)$$

Akustische Erfassung der Fledermausaktivität

OLIVER BEHR^a, ROBERT BRINKMANN^b, KLAUS HOCHRADEL^a,
FRÄNZI KORNER-NIEVERGELT^d, JÜRGEN MAGES^a, ANDREAS NAUCKE^a, MARTINA NAGY^a,
IVO NIERMANN^c, RALPH SIMON^a, NATALIE WEBER^a

a Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik, Erlangen

b FrInaT, Freiburger Institut für angewandte Tierökologie GmbH, Freiburg

c Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

d oikostat GmbH, Ettiswil (CH)

Inhalt

1	Zusammenfassung	102
2	Einleitung	104
3	Voraussetzungen und Annahmen der akustischen Aktivitätserfassung	107
4	Struktur des erfassten Datensatzes	109
4.1	Größe des Datensatzes	109
4.2	Laufzeiten der Detektoren	112
4.3	Kategorisierung von Einflussvariablen	113
4.4	Schwärmereignisse der Zwergfledermaus, <i>P. pipistrellus</i>	114
4.5	Artbestimmung	114
5	Anzahl Aufnahmen je Detektorkategorie, Art(gruppe) und WEA	124
6	Aktivität in Abhängigkeit der gemessenen Einflussvariablen	135
7	Vergleich der Fledermausaktivität für verschiedene Detektoren	137
8	Vergleich der Aktivitätsmessungen für verschiedene Anlagen und Naturräume	140
8.1	Aktivität an einzelnen Anlagen	140
8.2	Aktivität in einzelnen Naturräumen	142
9	Diskussion.	143
9.1	Nachweisbarkeit von Fledermäusen durch akustische Erfassung	144

9.2	Artenspektrum	146
9.3	Aktivität in Abhängigkeit vom Monat	148
9.4	Aktivität in Abhängigkeit von der Nachtzeit.	149
9.5	Aktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit	150
9.6	Aktivität in Abhängigkeit von der Temperatur.	152
9.7	Insekten- und Fledermausaktivität.	153
9.8	Vergleich der Fledermausaktivität für die eingesetzten Detektoren	154
9.9	Vergleich der Aktivitätsmessungen für verschiedene Anlagen und Naturräume	155
9.10	Akustische Erfassung der Fledermausaktivität zur Vorhersage und Verringerung des Kollisionsrisikos an WEA.	156
10	Literatur.	157

1 Zusammenfassung

Wir haben im Jahr 2012 eine akustische Erfassung der Fledermausaktivität im Gondelbereich und am Fuß von 16 Windenergieanlagen (im Folgenden als „WEA“ bezeichnet) in acht Windparks in vier naturräumlichen Einheiten im Bundesgebiet durchgeführt. Zwei weitere WEA wurden in einem Windpark in Südfrankreich beprobt. Für die akustische Erfassung wurden drei Detektortypen (Anabat SD1, Batcorder und Avisoft-System) zum Teil parallel eingesetzt. Die akustische Erfassung der Fledermausaktivität erfolgte im Rahmen der experimentellen Implementierung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen an WEA, die bereits in einem zurückliegenden Forschungsvorhaben (im Folgenden als „RENEBAT I“ bezeichnet) im Jahr 2008 beprobt worden waren. Es wurde der Hauptaktivitäts- und damit Hauptgefährdungszeitraum von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA von Anfang Juli (05.07.2012) bis Anfang Oktober (11.10.2012) beprobt. Hauptziele der Erfassung waren

1. Der Vergleich verschiedener parallel installierter Detektorsysteme hinsichtlich ihrer Ausfallsicherheit und der Zahl aufgenommener Fledermausrufsequenzen.
2. Der Vergleich der Aktivitätsmuster der 2012 erhobenen Daten hinsichtlich verschiedener Einflussvariablen (Windgeschwindigkeit, Monat, Nachtzeit, Temperatur) mit den Mustern der 2008 in RENEBAT I erhobenen Daten.
3. Die Überprüfung der in RENEBAT I entwickelten Modelle (Aktivitätsvorhersage und Berechnung des Schlagrisikos) hinsichtlich des Effektes der akustischen Aktivität.

4. Die Berechnung des Schlagrisikos während des experimentellen Einsatzes der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen in diesem Forschungsvorhaben (RENEBAT II).

In diesem Bericht werden die erfassten Grundlagendaten zu den genannten Fragestellungen dargestellt.

Die Fledermausaktivität war in vielen Aspekten der in RENEBAT I im Jahr 2008 an denselben WEA gemessenen sehr ähnlich: Die Aktivität war in hohem Maße von der Jahreszeit abhängig. Artspezifisch ergaben sich unterschiedliche Aktivitätsmaxima im Zeitraum Juli und August. Weiterhin zeigte sich ein Schwerpunkt der Fledermausaktivität im ersten Viertel der Nacht, der ebenfalls artspezifisch mehr oder weniger deutlich ausgeprägt war. An einem der beprobten Standorte wurde ein weiteres Aktivitätsmaximum kurz vor Sonnenaufgang beobachtet. Einen sehr starken Effekt auf die Fledermausaktivität hatte die Windgeschwindigkeit mit einer deutlichen und annähernd logarithmischen Abnahme der Aktivität bei zunehmender Windstärke (deutlich unter 10 % der akustischen Aktivität bei Windgeschwindigkeiten $\geq 5 \text{ ms}^{-1}$). Auch hier waren, wenn auch weniger deutlich, ausgeprägte Unterschiede zwischen den Art(gruppen) zu beobachten. Eine starke Abnahme der Fledermausaktivität ergab sich außerdem bei Temperaturen unter 15°C und über 30°C . Die Rauhhautfledermaus, *Pipistrellus nathusii*, zeigte in mehreren Punkten (Verteilung der Aktivität über die Nacht und im Jahresverlauf und Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit) ein von den anderen Arten abweichendes Muster, das vermutlich mit dem Zugverhalten dieser Art zusammenhängt.

Das Artenspektrum war insgesamt dem in RENEBAT I im Jahr 2008 erfassten sehr ähnlich: 100 % (Detektor Anabat SD1 und Avisoft-System) bzw. 87 % (Detektor Batcorder) der Aufnahmen an der WEA-Gondel wurden einerseits der Artgruppe Nyctaloid (Anabat SD1: 77 %, Batcorder: 68 %, Avisoft-System: 84 %) mit Arten der Gattung *Nyctalus* (überwiegend Großer Abendsegler, *N. noctula*) bzw. mit dieser Gattung ähnlichen Rufen (überwiegend Zweifarbfledermaus, *Vespertilio murinus*) oder andererseits der Artengruppe Pipistrelloid (Anabat SD1: 23 %, Batcorder: 19 %, Avisoft-System: 16 %) mit Arten der Gattung *Pipistrellus* (überwiegend Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, und Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*) bzw. mit dieser Gattung ähnlichen Rufen zugeordnet. Nahezu alle übrigen Aufnahmen (Anabat SD1 und Avisoft-System: 0 %, Batcorder: 12 %) wurden als nicht weiter bestimmbare Chiroptera klassifiziert. Das genannte Artenspektrum war in den beiden hauptsächlich beprobten naturräumlichen Einheiten relativ einheitlich, wobei im Osten mehr Große Abendsegler, *N. noctula*, und Rauhhautfledermäuse, *P. nathusii*, nachgewiesen wurden, im Westen dagegen mehr Zwergfledermäuse, *P. pipistrellus*.

Für die meisten Art(gruppen) zeigten sowohl der Anabat SD1 als auch das Avisoft-System in etwa doppelt so hohe Aktivitätswerte wie der Batcorder. Verglichen wurden hierbei presence/absence Daten (An-/Abwesenheit) für 10-Minuten-Intervalle. Das Verhältnis der Aufnahmezahlen war insbesondere für den Batcorder und das Avisoft-System für verschiedene Artgruppen sehr ähnlich.

Wie bereits in RENEBAT I war es basierend auf meteorologischen Faktoren, dem Monat und der Nachtzeit möglich, eine relativ präzise Vorhersage von Zeiten mit erhöhter Fledermausaktivität und damit erhöhtem Kollisionsrisiko zu treffen.

2 Einleitung

Ein zentraler Bestandteil des in diesem Bericht dargestellten Forschungsvorhabens (im Folgenden als „RENEBAT II“ bezeichnet) war die akustische Erfassung der Fledermausaktivität im Rotorbereich der beprobten Windenergieanlagen (im Folgenden als „WEA“ bezeichnet). Die Erfassung erfolgte größtenteils identisch zur akustischen Erfassung im zurückliegenden Forschungsvorhaben (im Folgenden als „RENEBAT I“ bezeichnet), die in BEHR et al. (2011a) beschrieben ist.

Das Experiment und damit die hier dargestellte akustische Erfassung wurde an WEA durchgeführt, die bereits in RENEBAT I im Jahr 2008 akustisch beprobt worden waren. Die beiden WEA des südfranzösischen Windparks wurden davon abweichend im Rahmen eines Standortgutachtens mit der in RENEBAT I entwickelten Methode beprobt. Basierend auf den Daten aus dem Jahr 2008 wurden fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen erstellt, die in RENEBAT II getestet wurden.

Daten zur akustischen Aktivität ermöglichen quantitative Aussagen über das Kollisionsrisiko von Fledermäusen (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a; KORNER-NIEVERGELT et al. 2013) und wurden in RENEBAT II unter anderem dazu verwendet, das Schlagrisiko für Fledermäuse während der experimentellen Implementierung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen zu quantifizieren (siehe dazu auch BEHR et al. 2015 in diesem Dokument). Darüber hinaus ermöglichen akustische Aktivitätsdaten die Vorhersage von Zeiten mit erhöhter Aktivität und damit erhöhtem Kollisionsrisiko in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren, Jahreszeit bzw. Monat und Nachtzeit (BEHR et al. 2011b; WELLER et al. 2011). Die fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen basieren auf solchen Gefährdungsvorhersagen.

Bis vor einigen Jahren wurde das Kollisionsrisiko für Fledermäuse an WEA fast ausschließlich durch Schlagopfernachsuchen untersucht. Bei Arbeiten in Nordamerika ergab

sich dabei, dass das Schlagrisiko nicht beeinflusst wurde durch die Leuchtbeheizung für den Flugverkehr (JOHNSON et al. 2003) oder ultraviolette Farbe der Rotoren (YOUNG et al. 2003). Die Zahl der Schlagopfer war dagegen abhängig von der Höhe der Anlagen (BARCLAY et al. 2007; siehe dazu auch NIERMANN et al. 2011b), der geografischen Lage (ARNETT et al. 2008; siehe dazu ebenfalls NIERMANN et al. 2011b) und der Windgeschwindigkeit (z. B. FIEDLER 2004; ARNETT 2005; ARNETT et al. 2008 – siehe auch die aktuelle Übersicht in SCHUSTER et al. 2015). Schlagopfernachsuchen sind, wenn sie aussagekräftige Daten liefern sollen, methodisch aufwändig (ARNETT 2005; KUNZ et al. 2007a; NIERMANN et al. 2007; NIERMANN et al. 2011a) und ermöglichen auch im besten Fall einer täglichen Nachsuche nur Rückschlüsse auf das Kollisionsrisiko während der gesamten vorhergehenden Nacht (in den USA wurden in Ausnahmefällen mehrere Nachsuchen während einer Nacht durchgeführt – KUNZ et al. 2007a). Fragen zu Aktivitätsschwerpunkten im Nachtverlauf, zum Verhalten der Tiere im Rotorbereich oder zum detaillierten Einfluss meteorologischer Parameter auf die Aktivität können mit Schlagopfernachsuchen daher nicht beantwortet werden.

Die zeitliche Auflösung akustischer Aktivitätsdaten ist wesentlich höher als die der genannten Schlagopfernachsuchen. Zeitlich präzise Daten zur Aktivität und damit zum Kollisionsrisiko sind für eine differenzierte Prognose der Gefährdung von Fledermäusen an WEA notwendig. Basierend auf dieser Gefährdungsprognose können dann Maßnahmen (etwa fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen) getroffen werden, die einerseits ein Maximum der Belange des Artenschutzes abdecken, und andererseits zu einer minimalen Beeinträchtigung beim Betrieb von WEA führen. Eine möglichst exakte Vorhersage der Gefährdungszeiträume liegt damit sowohl im Interesse des Artenschutzes als auch im Interesse einer nachhaltigen Energieerzeugung. Auch ist eine mehrmonatige akustische Dauererfassung mit geringeren Kosten verbunden als eine Beprobung desselben Zeitraums mit Schlagopfernachsuchen. An Standorten mit tatsächlichen Fundzahlen von ein bis drei Tieren, wie sie in Mitteleuropa bei der derzeit üblichen Suchintensität (Nachsuchintervalle, die häufig zwischen drei Tagen und zwei Wochen liegen) ist darüber hinaus die Berechnung der tatsächlichen Schlagopferzahl (korrigiert für Schwundrate und Auffindewahrscheinlichkeit) sehr unsicher (z. B. KORNER-NIEVERGELT et al. 2011b).

Es wird aus den genannten Gründen zunehmend häufiger eine akustische Aktivitätserfassung an der Gondel von WEA als alleinige Methode der Erfassung des Schlagrisikos von Fledermäusen an WEA eingesetzt. In einigen Bundesländern wird diese Methode explizit empfohlen oder vorgeschrieben (z. B. LAND BAYERN 2011; WELLER et al. 2011; siehe dazu auch MAYER et al. 2015 in diesem Dokument).

In den USA und Kanada wurden an einigen Standorten vergleichende Untersuchungen zur Fledermausaktivität am Boden und an der Spitze von Messtürmen (30 bis 40 m Höhe)

durchgeführt (z. B. ARNETT et al. 2006; ARNETT et al. 2007; BAERWALD et al. 2009). Auch aus England liegt eine solche Studie vor (COLLINS et al. 2009). In Mitteleuropa wurde mittlerweile im Rahmen mehrerer eingriffsrechtlicher Verfahren auch die Aktivität von Fledermäusen mit an Ballons und Zeppelinen befestigten (z. B. BONTADINA et al. 2006) Geräten erfasst. Darüber hinaus gibt es Untersuchungen in Europa und den USA, die die Aktivität von Fledermäusen an der WEA-Gondel durch wärmeoptische Erfassungsmethoden quantifiziert haben (DESHOLM 2003; HORN et al. 2005; BRINKMANN et al. 2006a; BRINKMANN et al. 2006b; HORN et al. 2008; siehe dazu auch HOCHRADEL et al. 2015 in diesem Bericht).

Einige dieser Arbeiten gaben bereits vor mehreren Jahren Hinweise darauf, dass die Aktivität von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA negativ mit der Windgeschwindigkeit korreliert (z. B. HENSEN 2004; ARNETT 2005; BEHR et al. 2007; HORN et al. 2008; aktuelle Übersicht in SCHUSTER et al. 2015). In RENEBAT I wurden daraufhin folgende Faktoren hinsichtlich einer Korrelation mit der Aktivität von Fledermäusen im Rotorbereich und dem damit einhergehenden Schlagrisiko geprüft (BEHR et al. 2011c): Monat, Nachtzeit, Windgeschwindigkeit, Temperatur und Niederschlag (der Monat kodiert hierbei den Jahreszyklus, der sich sowohl über das vorhandene Insektenangebot als auch über das Reproduktions- und Winterschlafverhalten von Fledermäusen auf die Gefährdung durch WEA auswirken kann). Basierend auf diesen Daten wurde aus den besten Vorhersageparametern ein Modell zur Prognose der Fledermausaktivität entwickelt, das aus Windgeschwindigkeit, Monat, Nachtzeit und einem anlagenspezifischen Aktivitätskoeffizienten die Wahrscheinlichkeit von Fledermausaktivität in einzelnen 10-Minuten-Intervallen berechnet (BEHR et al. 2011c).

Dieses Modell ist Teil der in RENEBAT I entwickelten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen. Darüber hinaus wurden die Daten zur Fledermausaktivität für die Entwicklung von mixture Modellen verwendet, die unter festgelegten Voraussetzungen eine Berechnung des Schlagrisikos an einer WEA aus der gemessenen akustischen Aktivität und aus der gleichzeitig an der WEA erfassten Windgeschwindigkeit ermöglichen (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a; KORNER-NIEVERGELT et al. 2013).

Der in RENEBAT I in den Jahren 2007 und 2008 erhobene Datensatz stellt nach unserem Kenntnisstand die bislang umfassendste methodisch einheitliche Erfassung von Fledermausaktivität weltweit dar. Durch die Erfassung in diesem Forschungsvorhaben (RENEBAT II im Jahr 2012) war es nun möglich, zumindest für einige der bereits im Jahr 2008 beprobten WEA eine Messwiederholung durchzuführen. Hierdurch ist eine erste Annäherung an die Frage der Variabilität der Aktivitätsmuster von Fledermäusen an WEA zwischen verschiedenen Jahren möglich.

Die akustische Aktivitätserfassung in diesem Forschungsvorhaben (RENEBAT II) verfolgte vier Hauptziele:

5. Den Vergleich verschiedener parallel installierter Detektorsysteme hinsichtlich ihrer Ausfallsicherheit und der Zahl aufgenommener Fledermausrufsequenzen.
6. Den Vergleich der Aktivitätsmuster der 2012 erhobenen Daten hinsichtlich verschiedener Einflussvariablen (Windgeschwindigkeit, Monat, Nachtzeit, Temperatur) mit den Mustern der 2008 in RENEBAT I erhobenen Daten.
7. Die Überprüfung der in RENEBAT I entwickelten Modelle (Aktivitätsvorhersage und Berechnung des Schlagrisikos) hinsichtlich des Effektes der akustischen Aktivität.
8. Die Berechnung des Schlagrisikos während des experimentellen Einsatzes der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen in diesem Forschungsvorhaben (RENEBAT II).

In diesem Bericht werden die Grundlagendaten für die genannten Fragestellungen dargestellt. Im Einzelnen stellen wir in diesem Kapitel zunächst (Abschnitt 4) die Struktur des Datensatzes (Größe, Struktur der Variablen und Artbestimmung) dar. In den folgenden Abschnitten folgt eine Beschreibung der Anzahl von Aufnahmen differenziert für Detektorkategorien, Arten und WEA (Abschnitt 5), die Darstellung der Fledermausaktivität in Abhängigkeit von den gemessenen Einflussvariablen (Abschnitt 6), ein Vergleich der gemessenen Aktivität für die verwendeten Detektoren Anabat SD1, Batcorder und Avisoft-System (Abschnitt 7). Am Ende des Artikels findet sich ein Vergleich der Aktivitätsmessungen aus verschiedenen Naturräumen und an einzelnen Anlagen (Abschnitt 8).

3 Voraussetzungen und Annahmen der akustischen Aktivitätserfassung

Akustisches Monitoring kann dazu verwendet werden, die Aktivität echoortender Fledermäuse zu erfassen und einer Art oder Artengruppe zuzuordnen. Die Aussagekraft akustischer Aktivitätserfassungen hat jedoch methodisch bedingte Grenzen. So können Aussagen zur relativen Aktivität gemacht werden. Um die Zahl aufgenommener Individuen zu ermitteln, müsste jedoch zwischen mehreren Aufnahmen eines Tieres und einzelnen Aufnahmen mehrerer Tiere unterschieden werden. Dies ist in der Regel nicht möglich. Für die in diesem Forschungsvorhaben (RENEBAT II) bearbeiteten Fragestellungen sollte das Kollisionsrisiko im Rotorbereich von WEA quantifiziert werden. Hierfür war es nicht notwendig, die Zahl der Individuen zu ermitteln, die sich im Gefährdungsbereich aufhalten. Für unsere Fragestellungen war die relative akustische Aktivität das geeignetere Maß, wenn man von der plausiblen Annahme ausgeht, dass der lange

Aufenthalt eines Individuums im Rotorbereich zu einem ähnlichen Kollisionsrisiko führt wie der kurze Aufenthalt mehrerer Individuen.

Auch eine weitere grundsätzliche Einschränkung akustischer Erfassungen der Fledermausaktivität war im Zusammenhang des Forschungsvorhabens relativ unproblematisch: Die Tatsache, dass bei einer jeweils gleichen Anzahl von Tieren in einem Volumen um das Mikrofon sich die Anzahl aufgezeichneter Aufnahmen für verschiedene Arten unterscheidet. Ursache hierfür sind in erster Linie die unterschiedlichen Rufcharakteristika der Arten (v.a. die Frequenz und der resultierende Erfassungsbereich) in Zusammenspiel mit den Mikrofoneigenschaften. Die akustische Aktivität ist daher nur als relatives Maß innerhalb einer Art oder Artgruppe (mit ähnlichen Rufcharakteristika) anzusehen, nicht als artübergreifendes absolutes Aktivitätsmaß. Bei der von uns durchgeführten Berechnung des Kollisionsrisikos aus der akustischen Aktivität wurde über die Arten gemittelt (Chiroptera insgesamt) oder aber für Artgruppen mit ähnlichen Rufcharakteristika (Nyctaloid und Pipistrelloid) ein jeweils spezifischer Zusammenhang von Aktivität und Kollisionsrisiko ermittelt. Unterschiede in der Erfassbarkeit wurden somit bei dem für Artgruppen differenzierten Modell zumindest auf der Gruppenebene berücksichtigt. Für die Gruppe Pipistrelloid mit nur über geringere Distanzen registrierbaren Rufen ergaben sich mehr Schlagopfer je akustischer Aufnahme als für die Gruppe Nyctaloid mit noch in größerer Entfernung aufgenommenen Rufen (siehe dazu KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a).

Eine weitere Einschränkung bei der akustischen Aktivitätserfassung gilt für die Artbestimmung. Ein gewisser Anteil der Aufnahmen kann nicht auf Artniveau bestimmt sondern nur einer Artgruppe zugeordnet oder nur als Fledermaus (Chiroptera) identifiziert werden (zur Artbestimmung mit dem Batcorder siehe MARCKMANN et al. 2010). Unsere Analysen bezogen sich häufig auf Fledermausaufnahmen (Chiroptera) insgesamt. Wo für einzelne Arten oder Artgruppen differenziert wurde, war, wie bereits oben dargestellt, nur ein relatives Aktivitätsmaß nötig, und Unterschiede in der Erfassbarkeit oder Bestimmbarkeit konnten berücksichtigt werden.

Studien, die die Aktivität von Fledermäusen mit akustischen Detektoren quantifizieren, machen grundsätzliche Annahmen, die häufig nicht explizit dargestellt werden (HAYES 2000; SHERWIN et al. 2000; GANNON et al. 2003). Den hier dargestellten Analysen liegen folgende Setzungen und Annahmen zugrunde:

Zur Quantifizierung der Aktivität verwendeten wir die Anzahl von Aufnahmen eines Detektors, d. h. Sequenzen mit ein oder mehreren Echoortungsrufen (im Weiteren bezeichnet als Aufnahmen oder Rufsequenzen). Wir konnten zeigen, dass die Zahl von Aufnahmen als Maß für das Kollisionsrisiko und damit die Fledermausaktivität

im Rotorbereich verwendet werden kann (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a; KORNER-NIEVERGELT et al. 2013). Für den Vergleich verschiedener Detektoren (Anabat SD1, Avisoft-System und Batcorder) wurden diese Daten in presence/absence Daten (An-/Abwesenheit) je 10-Minuten-Intervall umgewandelt.

Aufnahmen in verschiedenen 10-Minuten-Intervallen innerhalb einer Nacht wurden als korreliert angesehen und bei der Aktivitätsvorhersage entsprechend für Autokorrelation korrigiert (BEHR et al. 2011c). Aufnahmen verschiedener Nächte und an verschiedenen Anlagen wurden als unabhängig angesehen (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a; NIERMANN et al. 2011b).

Als unabhängige Beobachtungen werteten wir die Aufnahmen einzelner Detektoren, die im Untersuchungszeitraum parallel an verschiedenen WEA eingesetzt wurden.

Räumliche Variabilität: Für die Charakterisierung der Aktivität im Rotorbereich einer WEA verwendeten wir die Daten eines Detektors, der im Boden der WEA-Gondel installiert war, für die Charakterisierung von Windparks die Daten von jeweils zwei WEA dieses Windparks, für die Charakterisierung von Naturräumen die Daten von zwei bis acht WEA in ein bis vier Windparks pro Naturraum (ausgewertet wurden nur zwei Naturräume mit vier bzw. acht WEA).

Zeitliche Variabilität: Die WEA wurden im Untersuchungszeitraum kontinuierlich beprobt (von Ausfällen abgesehen). Die Variabilität innerhalb des Untersuchungszeitraums wurde also vollständig abgebildet. Für die in diesem Forschungsvorhaben (RENEBAT II) im Jahr 2012 beprobten WEA lagen bereits Daten aus dem Jahr 2008 in RENEBAT I vor – Unterschiede und Ähnlichkeiten zwischen diesen beiden Jahren diskutieren wir.

4 Struktur des erfassten Datensatzes

4.1 Größe des Datensatzes

Die Datenerfassung im Jahr 2012 diente neben dem experimentellen Test unseres Untersuchungsansatzes unter anderem auch dem direkten vergleichenden Test der eingesetzten Detektorsysteme. Dementsprechend wurden die drei in die engere Wahl genommenen Detektorsysteme parallel in den Gondeln der untersuchten WEA betrieben. Bei den drei Systemen handelte es sich um den Anabat SD1 der Firma Titley, das System der Firma Avisoft und den Batcorder der Firma ecoObs (siehe dazu SIMON et al. 2015 in diesem Dokument). Der Anabat SD1 und der Batcorder wurden bereits in RENEBAT I eingesetzt.

In allen Gondeln der 18 beprobten WEA (an neun Standorten/Windparks; zwei WEA je Windpark) wurde jeweils ein Batcorder in weitgehend derselben Konfiguration wie im Jahr 2008 installiert (zum Stichprobendesign siehe BEHR et al. 2015 in diesem Dokument). Zusätzlich wurde in acht der neun untersuchten Windparks in einer WEA ein Anabat SD1 und in der anderen WEA ein Avisoft-System parallel zum Batcorder installiert. Darüber hinaus wurde an zwei WEA ein Avisoft-System mit einem langen Mikrofonkabel zum Turmfuß und an drei WEA ein Batcorder mit der von ecoObs vertriebenen Mikrofonscheibe für die Installation in WEA angebracht (diese Sonderinstallationen dienten technischen Tests – die Daten werden daher hier nicht dargestellt – siehe dazu jedoch SIMON et al. 2015 in diesem Bericht). Zeitlich parallel zur akustischen Aktivitätserfassung wurde auch durch Schlagopfernachsuchen das Kollisionsrisiko ermittelt (siehe dazu NIERMANN et al. 2015 in diesem Dokument).

Für den experimentellen Einsatz der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen im Jahr 2012 wurden Erfassungen an 16 Anlagen in acht Windparks (zwei Anlagen je Windpark), verteilt auf vier Naturräume im Bundesgebiet durchgeführt (siehe dazu NIERMANN et al. 2015 in diesem Dokument). Alle ausgewählten WEA waren bereits im Jahr 2008 in RENEBAT I akustisch beprobt worden. D. h. das akustische Fledermausaktivitätsniveau dieser WEA war bekannt. Dies ist eine der Voraussetzungen, um den Algorithmus des fledermausfreundlichen Betriebs berechnen zu können.

Die 16 im Experiment beprobten Anlagen wurden aus dem Pool aller im Jahr 2008 beprobten WEA (70 Anlagen in 35 Windparks) gezielt nach der Höhe des Schlagrisikos ausgewählt. Um im Experiment eine möglichst hohe Aussageschärfe (statistische Power) bei der Unterscheidung von Normalbetrieb und fledermausfreundlichem Betrieb zu erreichen, wurden Anlagen selektiert, die im Jahr 2008 die höchsten Schlagopferfundzahlen und anhand der akustischen Daten ein hohes vorhergesagtes Schlagrisiko aufwiesen (Mittelwert der vorhergesagten Schlagopferzahl für den im Experiment beprobten Zeitraum von 92 Tagen im Sommer 2008: 4,8 für alle 71 beprobten WEA und 6,0 für die 16 WEA, die für das Experiment im Jahr 2012 ausgewählt wurden).

Zwei weitere WEA eines französischen Standorts wurden ebenfalls beprobt. Diese WEA waren bereits in mehreren vorhergehenden Jahren durch KJM Conseil Environnement Berlin mit der in RENEBAT I entwickelten Methodik beprobt worden. Die Daten wurden uns von V. Kelm und Y. Beucher freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Zusätzlich zur akustischen Erfassung wurden meteorologische Messwerte (Windgeschwindigkeit, Temperatur und Helligkeit) systematisch erfasst (siehe dazu HOCHRADEL et al. 2015 in diesem Dokument).

Die Größe des Datensatzes ist in Tabelle 1 dargestellt. Es ergaben sich für alle Detektoren relativ hohe Ausfallzeiten (Anteil der Zeiten, die nicht als gültige Erfassung gewertet wurden an der gesamten Zeit, während der die Detektoren auf den WEA installiert waren). Die Länge der Ausfallzeiten spiegelt den Aufwand und die Schwierigkeiten wider, die mit der Installation einer automatisierten akustischen Erfassung in der Gondel von WEA verbunden waren. Ein Großteil der Ausfälle des Avisoft-Systems resultierte aus einem Lizenzproblem des auf den Erfassungsrechnern installierten Betriebssystems, das sich in dieser Form aller Voraussicht nach nicht wiederholen wird.

Tabelle 1 Akustische Aktivitätserfassung während des Experimentzeitraums 05.07.2012 12:00 bis 11.10.2012 12:00. Die Gesamtzahl der Nächte in diesem Zeitraum betrug 882 für 8 WEA (Anabat SD1, Avisoft-System) und 1764 für 18 WEA (Batcorder, Windsensor, Temperatursensor).

Detektor	WEA	Gültige Nächte	Ausfall-nächte (%)	Gültige Stunden	Dateien gesamt	Gbyte gesamt	Dateien mit Fledermausrufen
Anabat SD1	8	632	19,4	7.278	464.627	10	6.189
Avisoft-System	8	657	16,2	7.612	38.017	83	15.872
Batcorder	18	1.288	27,0	15.025	594.273	468	37.752
Windsensor	18	1.762	0	-	-	-	-
Temperatursensor	18	1.298	26,4	-	-	-	-

Die Detektoren wurden 2012 mit denselben Einstellungen und einem hinsichtlich der Aufnahmeeigenschaften identischen Aufbau wie im Jahr 2008 (RENEBAT I) eingesetzt (BEHR et al. 2011d). Einzige Ausnahme hiervon war die Posttrigger-Einstellung des Batcorder. In RENEBAT I war ein Posttrigger von 200 ms verwendet worden. In hier dargestellten RENEBAT II verwendeten wir soweit möglich einen Posttrigger von 600 ms. Batcorder-Daten, die mit einem längeren Posttrigger aufgenommen werden, lassen sich mit neueren Versionen der ecoObs-Software in simulierte Datensätze mit kürzeren Posttrigger-Zeiten umrechnen, so dass eine Vergleichbarkeit der Datensätze aus RENEBAT I und RENEBAT II gegeben war. An einigen Anlagen mit sehr vielen Störaufnahmen wurde auch in RENEBAT II der kürzere Posttrigger von 200 ms verwendet, um längere Kartenlaufzeiten zu ermöglichen.

Wir entschieden uns bereits in RENEBAT I für die Erfassungsschwelle -36 dB des Batcorders, da die Aufnahmezahlen im Gondelbereich von WEA allgemein niedrig sind und eine Erhöhung der Aufnahmezahl (durch eine niedrigere Erfassungsschwelle) zu einer deutlichen Verbesserung der Datengrundlage führte. Die Standardempfindlichkeit des Batcorders (-27 dB) ist dahingehend optimiert, Rufe einer Lautstärke und Qualität

aufzuzeichnen, die eine relativ sichere Artbestimmung auch für schwierig bestimmbarere Arten zulassen. Zum einen sind jedoch die meisten der typischerweise an der Gondel von WEA auftretenden Arten verhältnismäßig einfach anhand ihrer Rufe zu differenzieren. Zum anderen war für viele der von uns bearbeiteten Fragestellungen eine Bestimmung nur als Fledermaus (Chiroptera) ausreichend. Wir wählten daher die niedrigere Erfassungsschwelle.

4.2 Laufzeiten der Detektoren

Abbildung 1A zeigt die Zahl aktiver und als gültig gewerteter Detektoren für alle beprobten WEA im Jahr 2012. Die gestufte Zu- und Abnahme zu Beginn und Ende der Aufnahmezeiten ergaben sich aus der sukzessiven Installation und dem entsprechenden Abbau der Geräte. Schwankungen waren durch Ausfälle einzelner Detektoren bedingt. Der Schwerpunkt der Datenerfassung lag auf dem Batcorder. Der Anabat SD1 und das Avisoft-System wurden auf jeweils einer WEA jedes Windparks installiert.

Abbildung 1B zeigt für die drei Detektorkategorien die Zahl als gültig gewerteter Nächte pro WEA im Zeitraum des Experiments im Jahr 2012. Insgesamt ergab sich eine relativ homogene Verteilung der Untersuchungs-nächte auf die einzelnen WEA. Der Median (waagerechter Balken innerhalb der Box) lag am höchsten für das Avisoft-System, knapp gefolgt vom Anabat SD1 und mit deutlichem Abstand vom Batcorder mit den höchsten Ausfallzeiten.

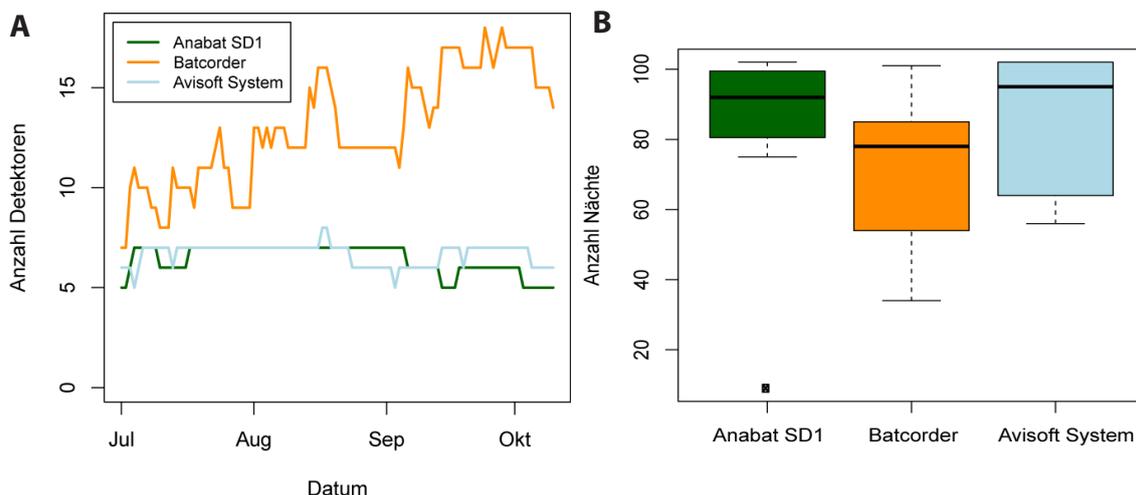


Abbildung 1 Laufzeiten der akustischen Detektoren im Jahr 2012. Gezeigt ist für die drei wichtigsten Detektorkategorien die Zahl gültig gewerteter Detektornächte über dem Datum (A) und gültiger Nächte je Detektorkategorie und WEA (B) im Zeitraum des Experiments 05.07.2012 bis 11.10.2012.

4.3 Kategorisierung von Einflussvariablen

Für einige Abbildungen und Analysen wurden Einflussvariablen kategorisiert. Die an sich numerische Skala der Variablen wurde dabei in diskrete Intervalle unterteilt, die dann als Faktorstufen verwendet wurden. Die Faktorstufen sind wie folgt bezeichnet: „0-1“ bedeutet z. B. das linksoffene Intervall von 0 bis 1 einschließlich des linken Randes (0) und ausschließlich des rechten Randes (1). „0.1-0.2“ bedeutet das linksoffene Intervall von 0,1 bis 0,2 (wir verwenden teilweise den angloamerikanischen Dezimalpunkt statt des deutschen Dezimalkommas) einschließlich des linken Randes (0.1) und ausschließlich des rechten Randes (0.2).

Um Nächte verschiedener Länge miteinander vergleichen zu können, wurde die Uhrzeit in relative Werte umgerechnet (**Nachtzeit**). Der Sonnenuntergang erhielt den Wert 0, der Sonnenaufgang den Wert 1. Uhrzeiten wurden entsprechend umgerechnet (d. h. 0,5 entspricht der zeitlichen Mitte der Nacht). Wegen der relativ komplexen Abhängigkeit der Aktivität von der Uhrzeit, die sich nur schlecht über einen einfachen (z. B. linearen oder quadratischen) mathematischen Zusammenhang darstellen ließ, wurden die relativen Werte der Nachtzeit kategorisiert (Werte von 0 bis 1 in Schritten von 0.1) und als Faktor in die Analyse aufgenommen. Zusätzlich wurde ein gewisser Zeitraum vor Sonnenuntergang (ein Intervall mit negativen Werten von -0.15 bis 0) als „Dämmerungsintervall“ in die Analyse eingeschlossen (nach Sonnenaufgang wurde so gut wie keine Aktivität nachgewiesen).

Auch der **Monat** zeigte einen relativ komplexen Zusammenhang mit der Aktivität, der sich ebenfalls nur schlecht über einen einfachen mathematischen (linearen oder quadratischen) Zusammenhang darstellen ließ. Daher wurde auch der Monat (Werte von 7 – Juli bis 10 – Oktober) als Faktor in die Analyse aufgenommen.

Temperaturwerte wurden für die Analyse in 5°C-Schritten von 0 bis 40°C kategorisiert.

Für die Darstellung der Aktivität in Abhängigkeit von einzelnen Einflussvariablen wurde auch die **Windgeschwindigkeit** kategorisiert (die Windgeschwindigkeit ging jedoch in die Modelle der Aktivitätsvorhersage als numerische, nicht als kategorisierte Variable ein). Faktorstufen waren dabei die Geschwindigkeiten von 0 bis 10 in Schritten von 1 ms^{-1} und eine Faktorstufe mit den Geschwindigkeiten von 10 bis 30 ms^{-1} (die maximale Windgeschwindigkeit im analysierten Zeitraum des Jahres 2012 betrug 21,6 ms^{-1}).

Für die Modellberechnung der Aktivitätsvorhersage (BEHR et al. 2011c) wurden Faktorstufen (also z. B. einzelne Monate oder Nachtzeit 0.1-0.2) ohne Aktivität (d. h. keine Aufnahmen) ausgeschlossen.

4.4 Schwärmereignisse der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*

Bei der Datenerfassung im Jahr 2012 wurden im Gegensatz zu vielen anderen Untersuchungen keine Zeiträume mit extrem hoher Aktivität der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, nachgewiesen. Solche Ereignisse stehen mit hoher Wahrscheinlichkeit in Verbindung mit dem für diese Art bekannten „Schwärmverhalten“, das zu kurzzeitigem Massenaufreten insbesondere in der Nähe bestehender oder potenzieller Quartiere führen kann (siehe dazu z. B. SIMON et al. 2004).

Das Schwärmverhalten ist stark witterungsabhängig und tritt mit Ausnahme von größeren Quartieren relativ unvorhersagbar und vereinzelt auf.

4.5 Artbestimmung

Beim Einsatz akustischer Detektoren besteht das Problem, dass die Ergebnisse verschiedener Bearbeiter nur bis zu einem gewissen Grad miteinander vergleichbar sind. Dies liegt zum einen daran, dass unterschiedliche Detektoren (Gerätetypen, Hersteller, etc.) in unterschiedlicher Weise (z. B. Punkt- oder Transektaufnahmen, unterschiedliche Empfindlichkeitseinstellungen und Aufnahmemodi) und zu unterschiedlichen Zeiten (Anteil der Nacht, Witterungsbedingungen, etc.) eingesetzt werden. Diesem Problem versuchten wir bereits in RENEBA T I so weit wie möglich durch eine standardisierte und automatisierte Erfassungsmethodik zu begegnen (siehe dazu BEHR et al. 2011d).

Neben der Erfassungsmethodik versuchten wir auch, die Bestimmung der aufgenommenen Rufsequenzen zu standardisieren bzw. nachvollziehbar vorzunehmen. In der aktuellen Praxis besteht nach wie vor oft das Problem, dass bei der manuellen Bestimmung von Fledermausrufen das Ergebnis stark vom Kenntnisstand und Erfahrungshorizont des Bearbeiters abhängt und somit das Bestimmungsergebnis mithin stark subjektiv beeinflusst wird.

Hier liegt eine Stärke des von der Firma ecoObs entwickelten Batcorder-Systems. Der Hersteller bietet eine Software (bcAdmin, batIdent) an, die eine automatisierte Artbestimmung von Aufnahmen durchführt (zum Einsatz und zur Funktion dieses Systems siehe MARCKMANN et al. 2010).

Wir verwendeten in RENEBA T II wie bereits in RENEBA T I die Version 1.13 der Vorgängersoftware bcDiscriminator. Für die im Gondelbereich von WEA in Mitteleuropa relevanten Arten sind jedoch die Ergebnisse der Artbestimmung mit neueren Softwareversionen unserer Erfahrung und auch den Angaben des Herstellers nach nahezu identisch.

Für Testrufe bekannter Artzugehörigkeiten wird von ecoObs ein Anteil von 95 % korrekten Bestimmungen angegeben. Da aufgezeichnete Aufnahmen in der Praxis jedoch z. B. durch Störungen und Echos qualitativ minderwertiger sind als diese Testaufnahmen, liegt der tatsächliche Anteil korrekter Bestimmungen niedriger.

Die von Systemen automatischer Rufbestimmung ausgegebenen offensichtlichen Falschbestimmungen (insbesondere solche, die fälschlicherweise seltene Arten angeben) sind immer wieder Gegenstand größerer Diskussionen in Fachkreisen. Diese Diskussionen sind sicherlich notwendig, um eine neue Untersuchungsmethodik kritisch weiterzuentwickeln. Für den Einsatz im Rahmen einer automatisierten Dauererfassung an WEA haben automatische Rufbestimmungssysteme jedoch den entscheidenden Vorteil, dass die Artbestimmung der Aufnahmen nicht vom Kenntnisstand und den Präferenzen der Bearbeitenden abhängig ist. Ergebnisse verschiedener Bearbeiter_innen sind also miteinander vergleichbar. Erst hierdurch sind vergleichbare quantitative Aussagen zum Auftreten von Fledermäusen möglich. Ein gewisser Anteil an Fehlbestimmungen ist in diesem Zusammenhang tolerierbar, da das Ziel eine quantitative Erfassung der häufig auftretenden Art(gruppen) ist (soll darüber hinaus ein möglichst exaktes Artinventar erstellt werden, so ist eine manuelle Nachbestimmung der außergewöhnlichen Artbestimmungen notwendig).

Für das Avisoft-System haben wir in diesem Vorhaben ebenfalls eine automatische Erkennung von Fledermausrufen entwickelt (siehe dazu SIMON et al. 2015 in diesem Dokument). Diese ermöglicht auch eine Rufkategorisierung für Arten oder Artgruppen, jedoch auf einem wesentlich weniger differenzierten Niveau als dies durch die Software der Firma ecoObs geschieht.

Um die Vergleichbarkeit mit den Datensätzen anderer Untersuchungen zu gewährleisten, verzichteten wir auf eine manuelle (und damit notwendigerweise subjektive) Nachbestimmung der von der Avisoft- und Batcorder-Software ausgegebenen Art(gruppen). Es wurden jedoch alle als Fledermaus, „Chiroptera“, bestimmten Aufnahmen dahingehend überprüft, ob es sich wirklich um Fledermausrufe oder eine der an der Gondel häufig aufgezeichneten Störungen z. B. Windgeräusche oder elektromagnetische Störsignale handelte. Störungen wurden aus dem Datensatz entfernt. Die Unterscheidung von Fledermausrufen und Störungen war in den allermeisten Fällen einfach und eindeutig und sollte daher auch bei Bearbeitern mit unterschiedlichem Kenntnisstand zu dem gleichen Ergebnis führen. Die Vergleichbarkeit der Datensätze verschiedener Bearbeiter wird dadurch also nur minimal eingeschränkt (siehe dazu auch BEHR et al. 2011d).

In unserem Forschungsvorhaben kamen das Avisoft-System und das Batcorder-System mit jeweils automatisierter Artbestimmung und der Anabat SD1 mit automatisierter

Filterung und anschließender manueller Rufbestimmung parallel zum Einsatz (siehe dazu BEHR et al. 2011d). Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse findet sich weiter unten (Abschnitt 7).

Tabelle 2 Die deutschen und wissenschaftlichen Bezeichnungen der hauptsächlich relevanten Arten und Artgruppen (zu den Arten der Artgruppen Nyctaloid und Pipistrelloid siehe weiter unten) bei der Erfassung im Gondelbereich von WEA in Mitteleuropa. Im Bericht wird vom Gattungsnamen (erster Teil des wissenschaftlichen Namens) nur der erste Buchstabe angegeben.

Wissenschaftlicher Artnamen (kursiv) bzw. Bezeichnung einer Artgruppe (Ruftyp)	Deutscher Artnamen bzw. Beschreibung einer Artgruppe	Kurzbezeichnung der Art oder Artgruppe bei der automatisierten Rufbestimmung
Chiroptera	Alle Fledermausarten	Chiroptera
Nyctaloid	Große Arten mit tiefen Ruffrequenzen	Nyctaloid
<i>Nyctalus noctula</i>	Großer Abendsegler	Nnoc
<i>Nyctalus leisleri</i>	Kleinabendsegler	Nlei
<i>Vespertilio murinus</i>	Zweifarbfliegermaus	Vmur
<i>Eptesicus serotinus</i>	Breitflügelmaus	Eser
Pipistrelloid	Kleine Arten mit hohen Ruffrequenzen	Pipistrelloid
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Mückenfliegermaus	Ppyg
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Zwergfliegermaus	Ppip
<i>Pipistrellus nathusii</i>	Rauhhauflegermaus	Pnat

4.5.1 Unterschiedene Arten und Artgruppen

Tabelle 2 zeigt die deutschen und wissenschaftlichen Bezeichnungen der hauptsächlich relevanten Arten und Artgruppen bei der Erfassung im Gondelbereich von WEA in Mitteleuropa. Tabelle 3 zeigt die Kategorien der Artbestimmung für Batcorder, Anabat SD1 (wie schon in RENEBA I verwendet) und das Avisoft-System. Die Kategorien sind in Ebenen zunehmender Differenziertheit gegliedert. Dargestellt sind sowohl die Kategorien für auf Artniveau bestimmte Aufnahmen als auch solche für Aufnahmen, bei denen eine Bestimmung nur bis zu einer bestimmten Artengruppe oder nur als Fledermaus (Chiroptera) möglich war. Weniger differenzierte Gruppen schließen die in ihnen enthaltenen differenzierteren Gruppen ein. Zum Beispiel enthält die Gruppe Pipistrelloid alle Aufnahmen, die Arten der Gattungen *Pipistrellus* und *Hypsugo* (oder nur der Gruppe „Ptief“) zugeordnet werden und zusätzlich die Aufnahmen, die nur als Pipistrelloid (also als Ruftyp *Pipistrellus/Hypsugo*) bestimmt wurden. Die Kategorie Chiroptera enthielt entsprechend sämtliche als Fledermausrufe erkannte Aufnahmen (für das Avisoft-System

wurden alle Aufnahmen entweder der Kategorie Nyctaloid – tiefrufend – oder Pipistrelloid – hochrufend – zugeordnet, weshalb hier keine Aufnahmen nur als Fledermaus / Chiroptera bestimmt wurden).

Tabelle 3 Hierarchie der verwendeten Art-Kategorien der Art(gruppen)bestimmung. Für den Batcorder sind alle in den Programmen bcAdmin und bcDiscriminator (Version 1.13, die Nachfolgesoftware ist batldent) vorgesehenen Arten und Artengruppen angegeben; für die manuelle Rufbestimmung für den Anabat SD1 nur die in unserem Datensatz vertretenen Arten und Artgruppen; für die automatisierte Art(gruppen)bestimmung mit dem RECORDER-Programm des Avisoft-Systems alle im Programm differenzierten Gruppen. Die Differenziertheit der Bestimmung nimmt von Ebene 1 nach Ebene 4 zu. Die Kategorie „Other“ bezeichnet Aufnahmen, in denen keine Fledermausrufe gefunden wurden.

Batcorder			
Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4
Chiroptera	Rhinolophus		
Chiroptera	Plecotus		
Chiroptera	Bbar		
Chiroptera	Nyctaloid	Nnoc	
Chiroptera	Nyctaloid	Nycmi	Vmur
Chiroptera	Nyctaloid	Nycmi	Eser
Chiroptera	Nyctaloid	Nycmi	Nlei
Chiroptera	Nyctaloid	Enil	
Chiroptera	Myotis	Mmyo	
Chiroptera	Myotis	Mnat	
Chiroptera	Myotis	Mkm	Mema
Chiroptera	Myotis	Mkm	Mbra
Chiroptera	Myotis	Mkm	Mbart
Chiroptera	Myotis	Mkm	Mdau
Chiroptera	Myotis	Mkm	Mbec
Chiroptera	Myotis	Malc	
Chiroptera	Pipistrelloid	Ppyg	
Chiroptera	Pipistrelloid	Ppip	
Chiroptera	Pipistrelloid	Ptief	Pnat
Chiroptera	Pipistrelloid	Ptief	Pkuh
Chiroptera	Pipistrelloid	Ptief	Hsav
Chiroptera	Indet Spec	Spec	
Chiroptera	Indet Spec	Spec.	
Other	Empty File		
Other	Noise		
Other	No Calls		

Anabat SD1			
Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4
Chiroptera	Nyc_Ept	Nyc_spec	Nyc_noc
Chiroptera	Nyc_Ept	Nyc_spec	Nyc_leis
Chiroptera	Nyc_Ept	Ept_spec	Ept_sero
Chiroptera	Pip_spec	Pip_pipi	
Chiroptera	Pip_spec	Pip_nath	
Chiroptera	Pip_spec	Pip_pygm	
Chiroptera	Myo_spec	Myo_myot	
Chiroptera	Chi_spec		
Other	Stoerung		

Avisoft System		
Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3
Chiroptera	Nyctaloid	
Chiroptera	Pipistrelloid	
Chiroptera	Pipistrelloid	Ppip
Chiroptera	Pipistrelloid	Pnat
Other	No Calls	

Tabelle 4 Die Anzahl der Aufnahmen je Art(gruppe) für die drei Detektorkategorien im Jahr 2012. Dargestellt sind sowohl die auf Artniveau bestimmten Aufnahmen als auch solche, bei denen eine Bestimmung nur bis zu einer bestimmten Artgruppe oder nur als Fledermaus (Chiroptera) oder als Störung (Other) möglich war. Für den Batcorder und das Avisoft-System sind alle Kategorien so angegeben, wie sie von den Programmen ausgegeben wurden – inklusive seltener Arten, bei denen es sich sehr wahrscheinlich um Fehlbestimmungen handelt (z. B. bei *Myotis alcathoe*). Die Art(gruppen)bezeichnungen der automatisierten Bestimmung waren für den Batcorder und das Avisoft-System identisch. Die verwendeten Kategorien für den SD1 und die anderen beiden Systeme waren dagegen nicht vollständig deckungsgleich. Leere Zellen bezeichnen (im Gegensatz zu Nullwerten) Kategorien, die von dem entsprechenden System nicht bestimmt wurden. Im Forschungsvorhaben näher behandelte Art(gruppen) sind grau hinterlegt. Trennlinien zwischen den Zeilen geben die hierarchische Gliederung der Art(gruppen) für die Daten des Batcorders an (Ebene 4 ohne Trennlinien enthalten in Ebene 3 mit gestrichelten Trennlinien enthalten in Ebene 2 mit durchgezogenen Trennlinien enthalten in Ebene 1 – Chiroptera; siehe dazu Tabelle 4). Die Anzahl von Aufnahmen für näher und nicht näher behandelte Art(gruppen) ist unten angegeben. Zu deutschen und wissenschaftlichen Artnamen siehe Tabelle 2.

Kategorie (Art, Artgruppe oder Störung)			Anzahl Aufnahmen			% von Aufnahmen gesamt			% von Chiroptera		
			SD1	Batcorder	Avisoft	SD1	Batcorder	Avisoft	SD1	Batcorder	Avisoft
SD1	Batcorder & Avisoft*¹	Art(gruppe)									
Gesamt	Gesamt	Aufnahmen gesamt	464627	594273	38017	100,00	100,00	100,00	7506,09	1555,36	237,74
Chiroptera	Chiroptera	Chiroptera	6190	38208	15991	1,33	6,43	42,06	100,00	100,00	100,00
	Rhinolophus	<i>Rhinolophus spec.</i>		0			0,00			0,00	
	Plecotus	<i>Plecotus spec.</i>		49			0,01			0,13	
	Bbar	<i>Barbastella barbastellus</i>		221			0,04	0,16		0,58	
Nyc_Ept	Nyctaloid	"Nyctaloid"	4767	26145	13415	1,03	4,40	35,29	77,01	68,43	83,89
Nyc_spec		<i>Nyctalus spec.</i>	2837			0,61			45,83		
Nyc_noc	Nnoc	<i>Nyctalus noctula</i>	1712	2894		0,37	0,49	11,29	27,66	7,57	
	Enil	<i>Eptesicus nilssonii</i>		165			2,27			0,43	
	Nycmi	"Mittlere Nyctaloid"		13462			0,03	0,43		35,23	
Nyc_leis	Nlei	<i>Nyctalus leisleri</i>	*2	227			0,52	6,62		0,59	
Ept_spec		<i>Eptesicus spec.</i>	11			0,00			0,18		
Ept_sero	Eser	<i>Eptesicus serotinus</i>	6	15		0,00	0,00	9,17	0,10	0,04	
	Vmur	<i>Vespertilio murinus</i>	*2	3073		0,00	0,04	12,51	0,00	8,04	

Myo_spec	Myotis	<i>Myotis spec.</i>	0	8		0,00	0,00		0,00	0,02	
Myo_myot	Mmyo	<i>Myotis myotis</i>	0	0		0,00	0,00		0,00	0,00	
	Mnat	<i>Myotis nattereri</i>		0			0,00			0,00	
	Mkm	"Kleine und mittlere <i>Myotis</i> "		0			0,00			0,00	
	Malc	<i>Myotis alcaethoe</i>		0			0,00			0,00	
	Mema	<i>Myotis emarginatus</i>		0			0,00			0,00	
	Mbra	<i>Myotis brandtii</i>		0			0,00			0,00	
	Mbart	"Bartfledermaus"		0			0,00			0,00	
	Mdau	<i>Myotis daubentonii</i>		0			0,00			0,00	
	Mbec	<i>Myotis bechsteinii</i>		0			0,00			0,00	
Pip_spec	Pipistrelloid	"Pipistrelloid"	1422	7059	2576	0,31	1,19	6,78	22,97	18,48	16,11
Pip_pygm	Ppyg	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	56	100		0,01	0,02	0,21	0,90	0,26	
Pip_pipi	Ppip	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	626	3630	1571	0,13	0,61	4,13	10,11	9,50	9,82
	Ptief	"Tief rufende Pipistrelloid"		3070			0,52			8,03	
Pip_nath	Pnat	<i>Pipistrellus nathusii</i>	597	2492	884	0,13	0,42	2,33	9,64	6,52	5,53
	Pkuh	<i>Pipistrellus kuhlii</i>		79			0,01			0,21	
	Hsav	<i>Hypsugo savii</i>		16			0,00			0,04	
Chi_spec	Indet.Spec	unbestimmbare Chiroptera	1	4726		0,00	0,80		0,02	12,37	
Other	Other	Nicht Chiroptera	458437	556065	22026	98,67	93,57	57,94			
Summe	behandelter	Artengruppen: Nyctaloid und Pipistrelloid	6189	33204	15991	1,33	5,59	42,06	99,98	86,90	100,00
Summe	nicht näher	behandelter Arten: Hsav, Pkuh, Ppyg, alle Arten der Gattung <i>Myotis</i> , Vmur, Enil, Bbar, <i>Plecotus</i>	0	3611		0,00	0,61	7,21	0,00	9,45	
Nur als	Chiroptera	bestimmte Aufnahmen	1	4726		0,00	0,80		0,02	12,37	

*1 die Art(gruppen)bezeichnungen der automatisierten Bestimmung waren für den Batcorder und das Avisoft-System identisch

*2 die Arten *V. murinus* und *N. leisleri* wurden für die Daten des SD1 wie schon in RENEBAT I aus Zeitgründen nicht differenziert

In unserem Zusammenhang wichtige Ruftypen oder Artgruppen waren:

Nyctalus noctula, *Nyctalus leisleri*, *Eptesicus serotinus* und *Vespertilio murinus*

→ als „Nyctaloid“ für den Batcorder und das Avisoft-System oder als „Nyc_Ept“ für den Anabat SD1 bezeichnet

Pipistrellus pipistrellus, *Pipistrellus pygmaeus*, *Pipistrellus nathusii*, *Pipistrellus kuhlii* und *Hypsugo savii* (die beiden Letzteren als wahrscheinliche Fehlbestimmungen des Batcorder-Systems)

→ als „Pipistrelloid“ für den Batcorder und das Avisoft-System oder als „Pip_spec“ für den Anabat SD1 bezeichnet

4.5.2 Anzahl Detektoraufnahmen je Art(gruppe)

Tabelle 4 zeigt die Anzahl sämtlicher Aufnahmen je Art(gruppe) für die drei Detektor-kategorien im Zeitraum des Experiments im Jahr 2012. Dargestellt sind sowohl die auf Artniveau bestimmten Aufnahmen als auch solche, bei denen eine Bestimmung nur bis zu einer bestimmten Artgruppe oder nur als Fledermaus (Chiroptera) oder Störung („Other“) möglich war.

77 % (Anabat SD1), 68 % (Batkorder) bzw. 84 % (Avisoft-System) der Aufnahmen an der WEA-Gondel wurden als Artgruppe Nyctaloid bestimmt mit überwiegend Großem Abendsegler, *N. noctula*, und Zweifarbfledermaus, *V. murinus*, und einigen Nordfledermäusen, *E. nilssonii*, Kleinabendseglern, *N. leisleri*, und Breitflügelfledermäusen, *E. serotinus*, (mit Ausnahme des Großen Abendseglers, *N. noctula*, wurden diese Arten nur für den Batcorder differenziert). 23 % (Anabat SD1), 19 % (Batkorder), bzw. 16 % (Avisoft-System) wurden als Pipistrelloid bestimmt mit überwiegend Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, und Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, und einigen Mückenfledermäusen, *P. pygmaeus*, und Weißrandfledermäusen, *P. kuhlii*, (letztere nur für den Batcorder als sehr wahrscheinliche Fehlbestimmungen). 0 % (Anabat SD1) bzw. 12 % (Batkorder) wurden als nicht weiter bestimmbare Chiroptera klassifiziert (für das Avisoft-System wurde diese Klasse nicht definiert, da alle Rufe einer hoch- bzw. tiefrufenden Kategorie zugeordnet wurden).

Bei der Auswertung der Daten konzentrierten wir uns auf die häufigsten Art(gruppen), die in der Tabelle grau hervorgehoben sind. Ausnahme hiervon ist die Zweifarbfledermaus, *V. murinus*, die vom Batcorder-System relativ häufig bestimmt wurde. Da über die Ökologie dieser Art nur sehr wenig bekannt und die Bestimmung ihrer Rufe im

Allgemeinen mit einer großen Unsicherheit behaftet ist, wurde sie bei den folgenden Analysen nicht im Detail bearbeitet, aber als Teil der Artgruppe Nyctaloid behandelt. Des Weiteren nicht im Detail behandelt wurden die beiden Artgruppen des Batcorders „Nyc-mi“ und „Ptief“ (letztere war in weiten Teilen sehr ähnlich zu „Pnat“).

Für den Anabat SD1 und den Batcorder stellten die nicht näher behandelten Arten (ohne Zweifarbfliegermaus, *V. murinus*) einen nur sehr geringen Anteil (unter 2 %) dar. Es handelt sich hierbei um einige Aufnahmen der Artzuordnung Mopsfliegermaus, *B. barbastella*, Nordfliegermaus, *E. nilssonii*, sehr wenige der Gattung *Myotis* und ebenfalls sehr wenige der Arten Alpenfliegermaus, *H. savii* und Weißrandfliegermaus, *P. kuhlii*. Die beiden Letzteren stammen aus der automatisierten Artbestimmung des Batcorder-Systems und sind wegen ihrer Seltenheit und bei diesen Arten bekanntermaßen regelmäßig auftretenden Fehlbestimmungen sicherlich nicht als Artnachweise zu werten.

Tabelle 5 Die Anzahl in die Detailanalyse akustischer Daten eingehender Aufnahmen für die drei Detektorkategorien (Arten und Artgruppen). Nur Zeiträume mit gültigen Detektor- und Windgeschwindigkeitsdaten. Zu deutschen und wissenschaftlichen Artnamen siehe Tabelle 2.

	Anabat SD1	Batcorder	Avisoft-System
Aufnahmezeit (h)	7279	15026	7613
Anlagen	8	18	8
Windparks	8	9	8
Chiroptera	6189	38001	15872
Nyctaloid	4766	26010	13336
<i>N. noctula</i>	1711	2884	NA*
<i>N. leisleri</i>	NA*	227	NA*
<i>V. murinus</i>	NA*	3049	NA*
<i>E. serotinus</i>	NA*	15	NA*
Pipistrelloid	1422	7030	2536
<i>P. pygmaeus</i>	56	100	NA*
<i>P. pipistrellus</i>	626	3601	1544
<i>P. nathusii</i>	597	2492	880

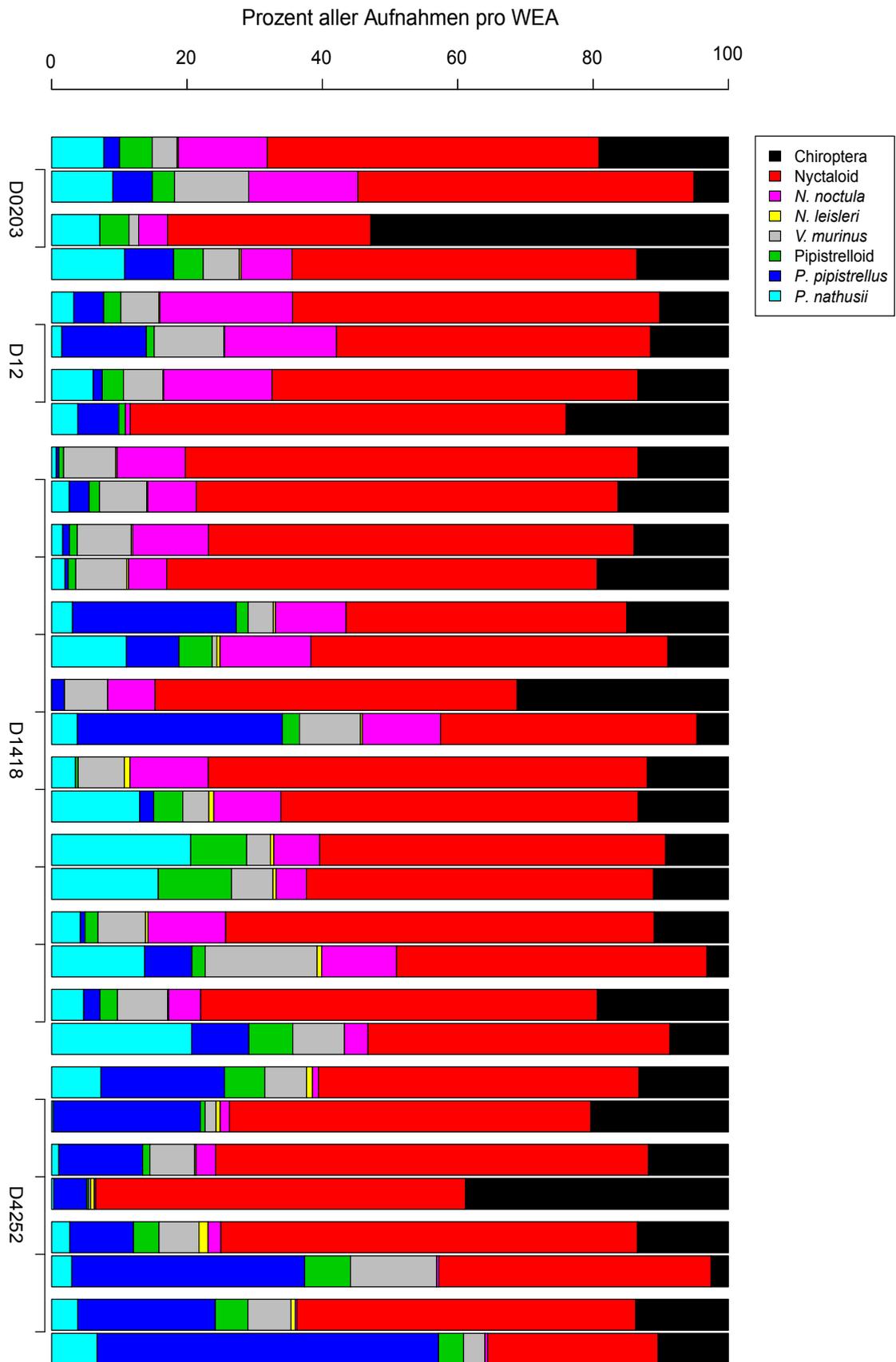
* Diese Arten wurden für die Daten des Anabat SD1 bzw. des Avisoft-Systems nicht differenziert.

Tabelle 5 zeigt die Anzahl von Aufnahmen je Art(gruppe), die in die weitere Analyse akustischer Daten einging.

4.5.3 Vergleich der Artzusammensetzung der akustischen Aufnahmen zwischen den Jahren

An den meisten der 16 Anlagen, die sowohl 2008 als auch 2012 akustisch beprobt wurden, war die Artzusammensetzung in den beiden Jahren ähnlich (Abbildung 2). Einzelne WEA zeigten jedoch auch deutlich Unterschiede zwischen den beiden Beprobungsjahren. Zu erkennen sind in dieser Abbildung auch Unterschiede in den Artenspektren verschiedener Naturräume. Insbesondere der Naturraum D4252 (Saar-Nahe-Berg- und Hügelland in der Großlandschaft Westliche Mittelgebirge – beprobte Naturräume in Tabelle 6) zeigte einen höheren Anteil der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, und einen geringeren Anteil des Großen Abendsegler, *N. noctula*, und der Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, als die anderen Naturräume (siehe dazu auch Abschnitt 8.2).

Abbildung 2 (nächste Seite) Vergleich der Artzusammensetzung in den Jahren 2008 und 2012 für die 16 Anlagen, die in beiden Jahren akustisch beprobt wurden. Jedes Säulenpaar (ein x-Achsenstrich) stellt die beiden Beprobungsjahre für eine WEA dar: 2008 (linke Säulen) und 2012 (rechte Säulen). Die x-Achse gibt die Bezeichnung der naturräumlichen Einheiten an, in denen die WEA sich befinden (beprobte Naturräume in Tabelle 6 – D0203: Nordostmecklenburgisches Flachland; D12: Mittelbrandenburgische Platten, beide in der Großlandschaft Nordostdeutsches Tiefland; D1418: Oberlausitz und Thüringer Becken mit Randplatten in der Großlandschaft Östliche Mittelgebirge; D4252: Saar-Nahe-Berg- und Hügelland in der Großlandschaft Westliche Mittelgebirge). Relativer Anteil an der Gesamtzahl der Aufnahmen pro WEA auf der y-Achse. Die Gesamtzahl aufgenommener Rufsequenzen pro Anlage und Jahr variierte zwischen 70 und 7080. Die Kategorien Pipistrelloid und Nyctaloid enthalten für diese Abbildung nur den Anteil nicht weiter differenzierter Aufnahmen der jeweiligen Artgruppe, die Kategorie Chiroptera ebenfalls nur in dieser Abbildung nur die nicht weiter klassifizierbaren Fledermaus-Rufaufnahmen.



5 Anzahl Aufnahmen je Detektorkategorie, Art(gruppe) und WEA

Die Abbildung 3 stellt für die drei Detektorkategorien die Anzahl von Aufnahmen je Art(gruppe) und WEA dar. In allen Detektorkategorien und für die meisten Art(gruppen) sind relativ große Unterschiede in der Anzahl von Aufnahmen je WEA zu erkennen (hieraus kann jedoch nur teilweise auf Aktivitätsunterschiede geschlossen werden, da unterschiedliche Laufzeiten je WEA in den Datensatz eingingen). Beim Vergleich verschiedener Detektorkategorien ist ebenfalls die unterschiedliche Datenbasis zu beachten.

Vom Avisoft-System wurden trotz vergleichbarer Gesamtlaufzeit deutlich mehr Aufnahmen als vom Anabat SD1 registriert. Auch im Vergleich zum Batcorder wurden mehr Aufnahmen aufgezeichnet. Dies galt sowohl für die Artgruppe Pipistrelloid als auch für die Artgruppe Nyctaloid. Der Batcorder registrierte in den meisten Artgruppen mehr Aufnahmen als der Anabat SD1.

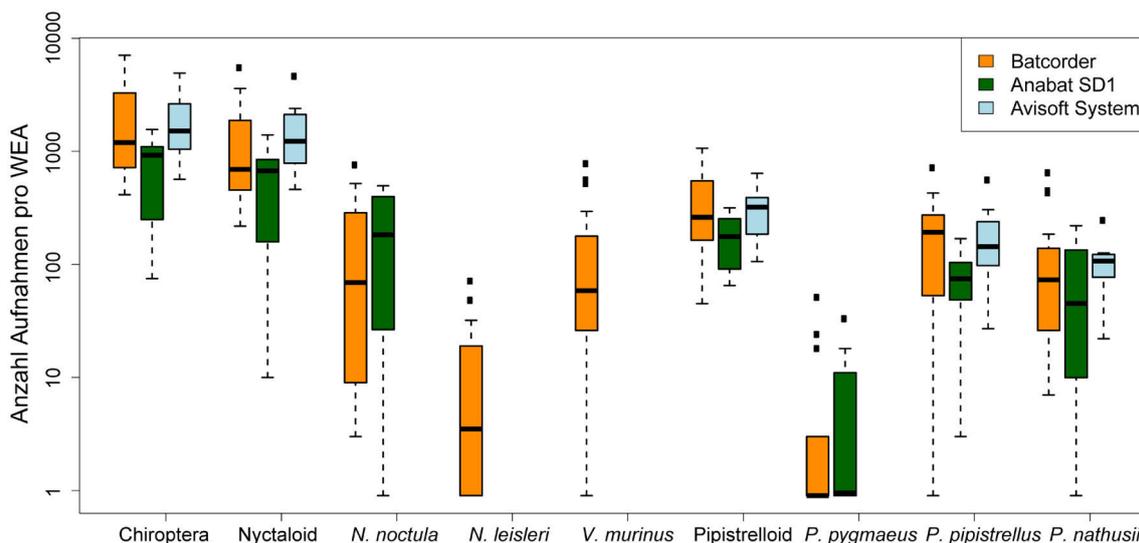
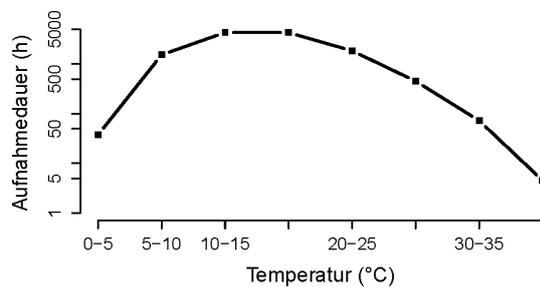
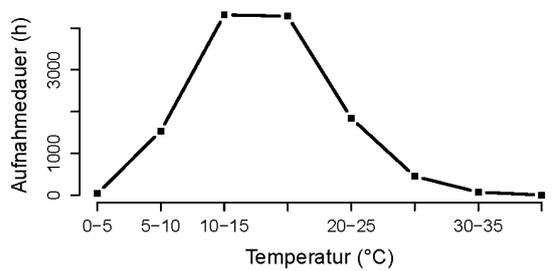
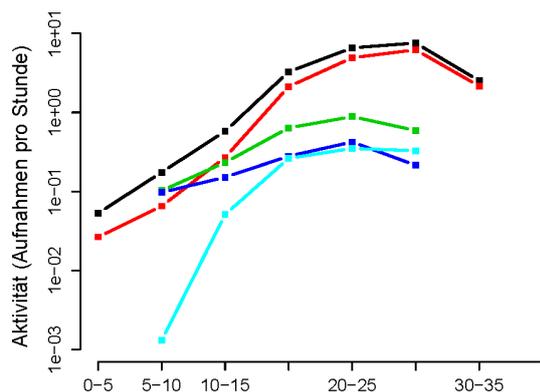
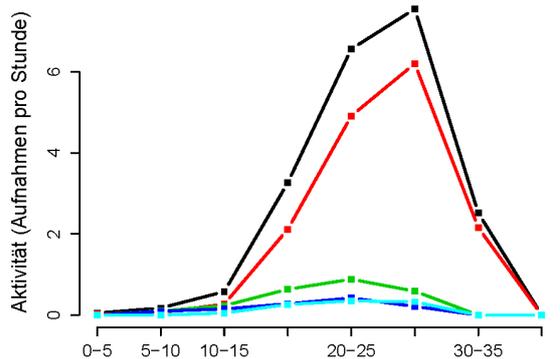
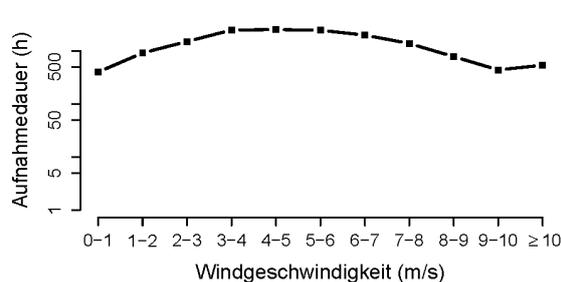
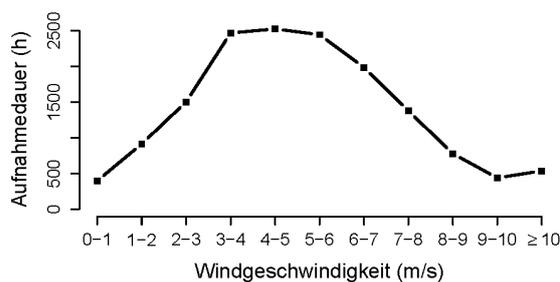
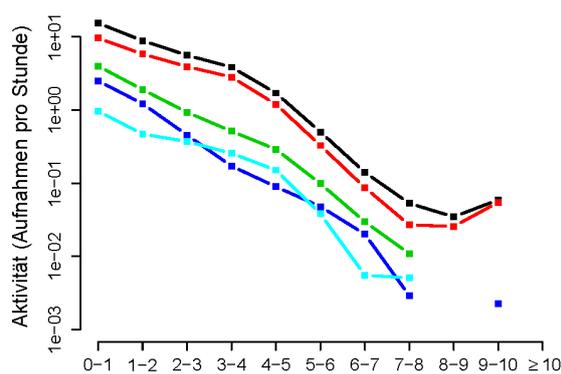
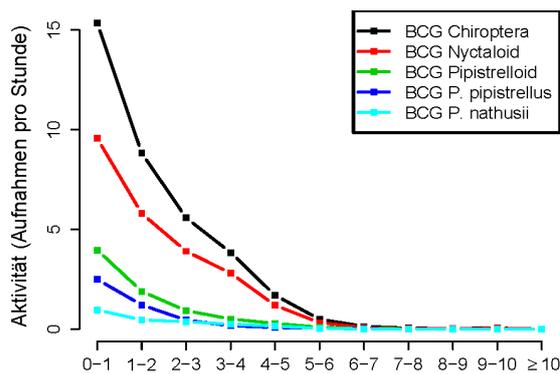
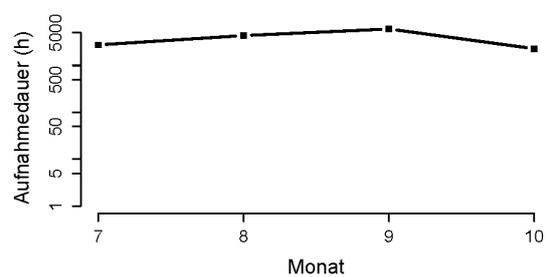
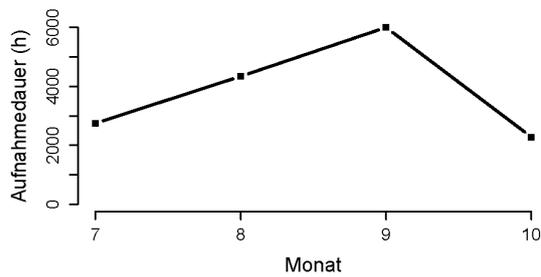
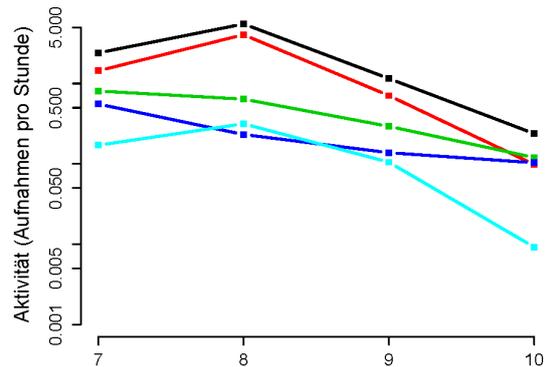
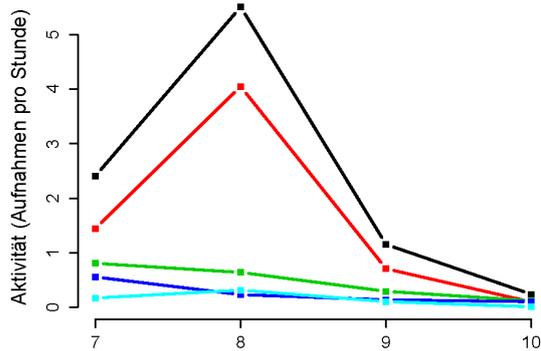
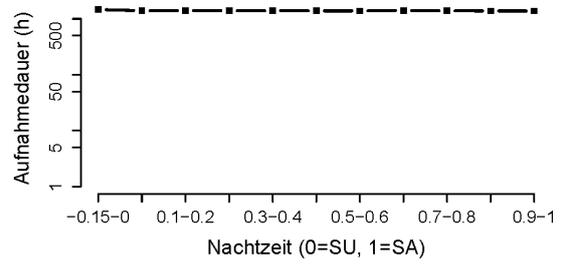
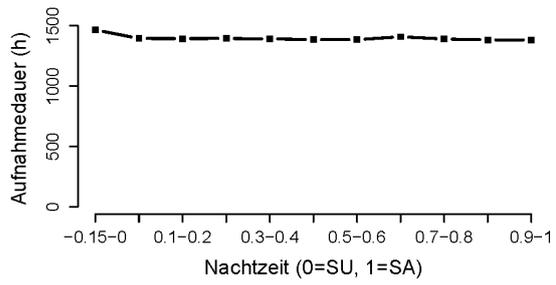
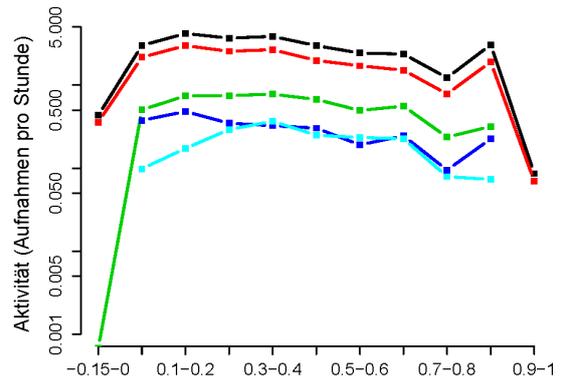
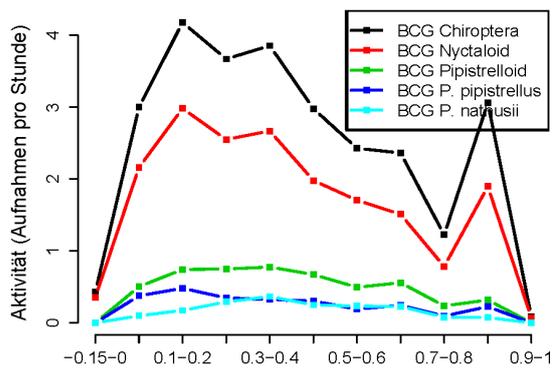


Abbildung 3 Größe des Datensatzes als Anzahl von Aufnahmen je Art(gruppe) und Detektorkategorie. Boxen enthalten die Werte einzelner WEA. Gezeigt sind nur Aufnahmen, die in die weitere Detailanalyse der akustischen Daten eingingen (Aufnahmezeit Batcorder 15026 h an 18 WEA in neun Windparks, Anabat SD1 7279 h an neun WEA in neun Windparks, Avisoft-System 7613 h an neun WEA in neun Windparks – zum Datenumfang siehe auch Tabelle 5 Abschnitt 4.5.2). Y-Achse logarithmisch. Der Wert 0 (keine Aufnahmen) wurde durch den Wert 0,9 ersetzt, um ihn logarithmisch darstellen zu können. Für Arten, die für den Anabat SD1 oder das Avisoft-System nicht differenziert wurden, fehlen die entsprechenden Boxen (z. B. Kleinabendsegler, *N. leisleri*, und Zweifarbfledermaus, *V. murinus*). Zu deutschen und wissenschaftlichen Artnamen siehe Tabelle 2.





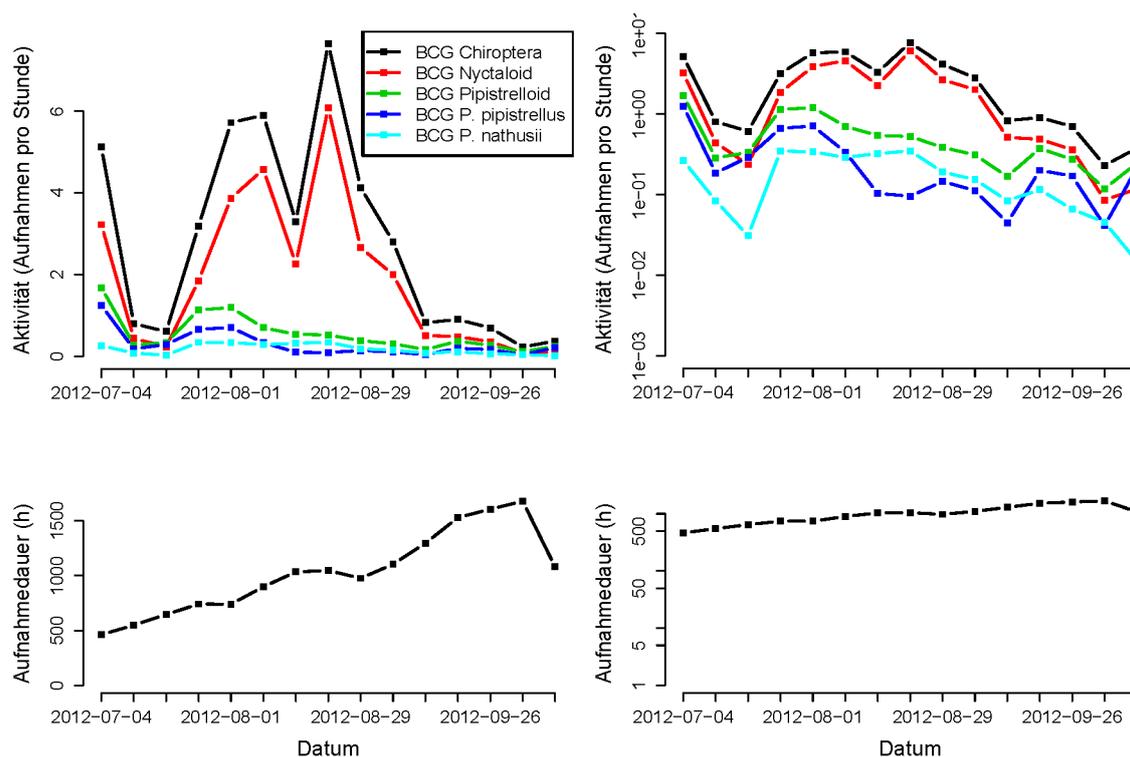


Abbildung 4 Farbige Teilabbildungen: Einfluss verschiedener erklärender Variablen (x-Achse) auf die akustische Aktivität (als Anzahl von Aufnahmen pro Stunde) von Fledermäusen an der WEA-Gondel, gemessen mit dem Batcorder (BCG- zum Datenumfang siehe Tabelle 4 in Abschnitt 4.5.2). Jeweils linke Abbildung mit linearer, rechte mit logarithmischer y-Achse (Nullwerte sind in der logarithmischen Darstellung nicht gezeigt – die Zahlen auf der y-Achse sind teilweise als Zehnerpotenzen dargestellt, z. B. $1e-03$ ist 10^{-3} , also 0,001; $1e01$ ist 10^1 , also 10). Verschiedene Arten oder Artgruppen sind farblich unterschieden. Dezimalzahlen mit Punkt statt mit Komma dargestellt. Bei der Abbildung des Datums in 7-Tages-Intervallen steht das Datum des mittleren, also des vierten Tages zentriert unter dem zugehörigen Skalierungsstrich. Für die Bezeichnung der Faktorstufen siehe Abschnitt 4.3. **Schwarzweiße Teilabbildungen:** Unter jedem farbigen Panel ist als schwarzweiße Abbildung die Aufnahmedauer je Intervall der Einflussvariablen dargestellt. Zu deutschen und wissenschaftlichen Artnamen siehe Tabelle 2.

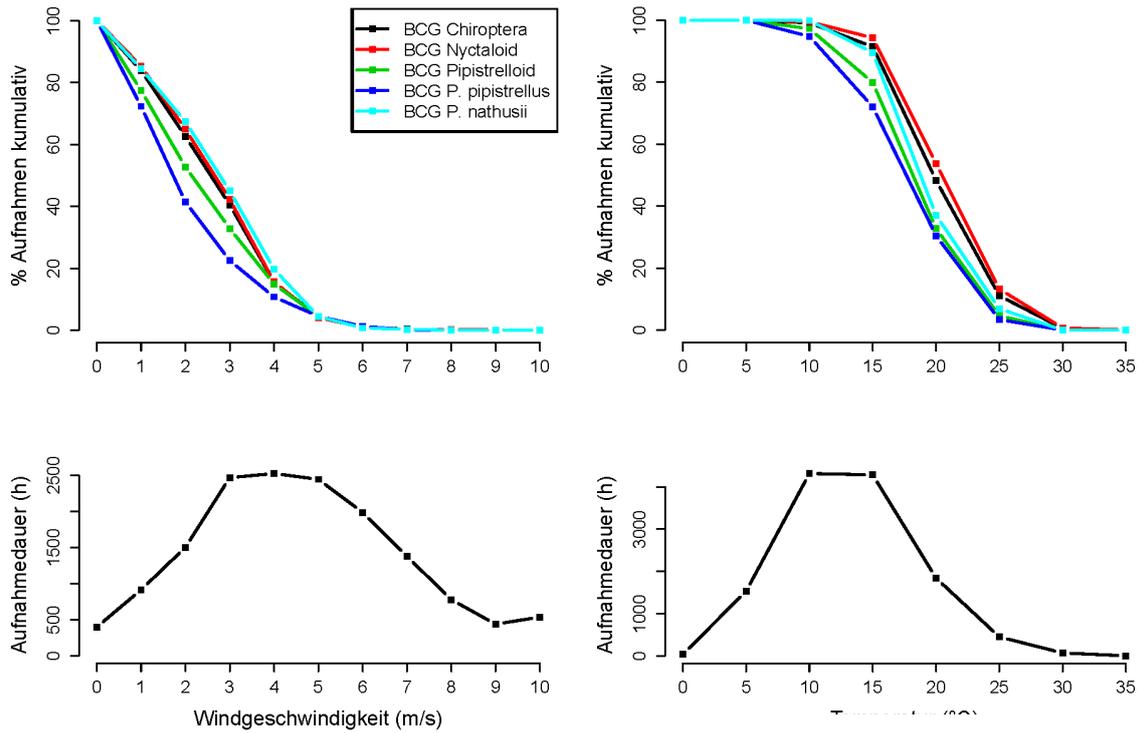
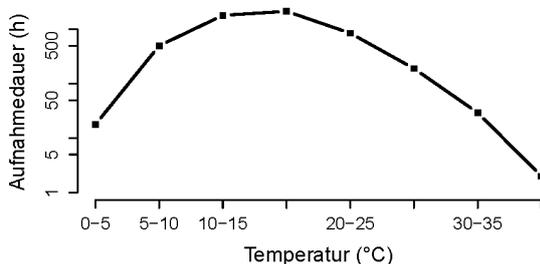
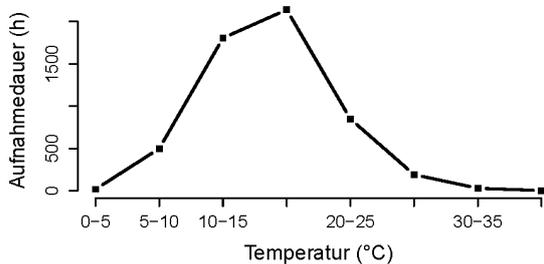
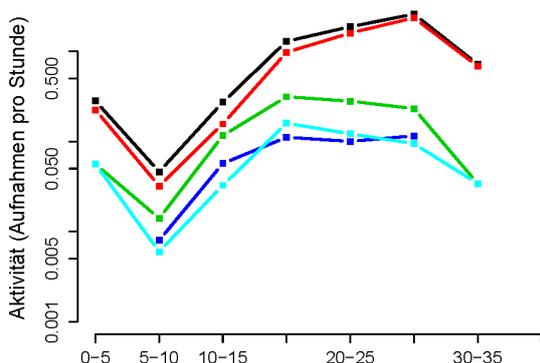
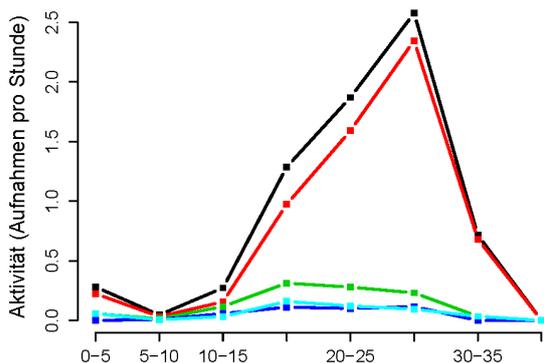
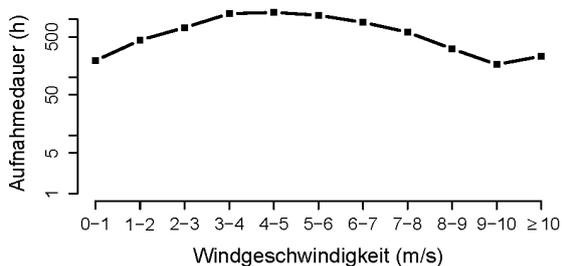
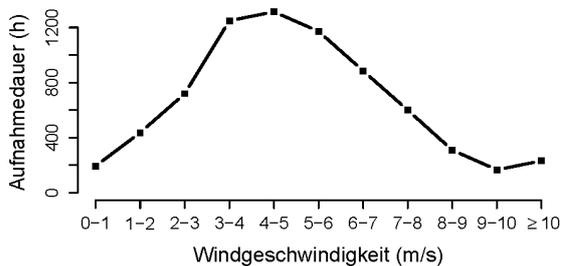
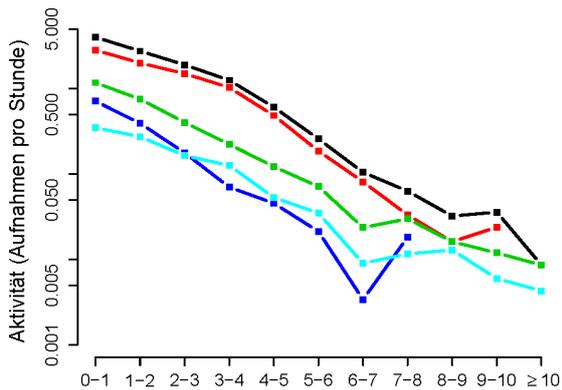
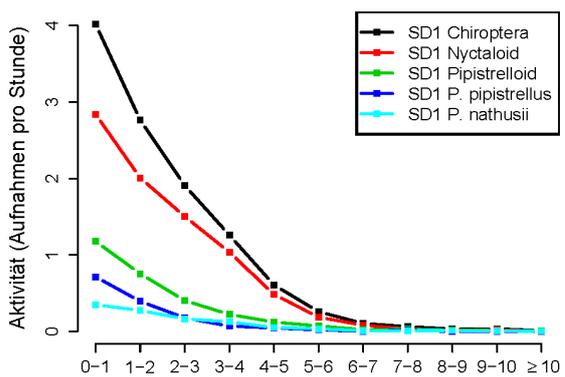
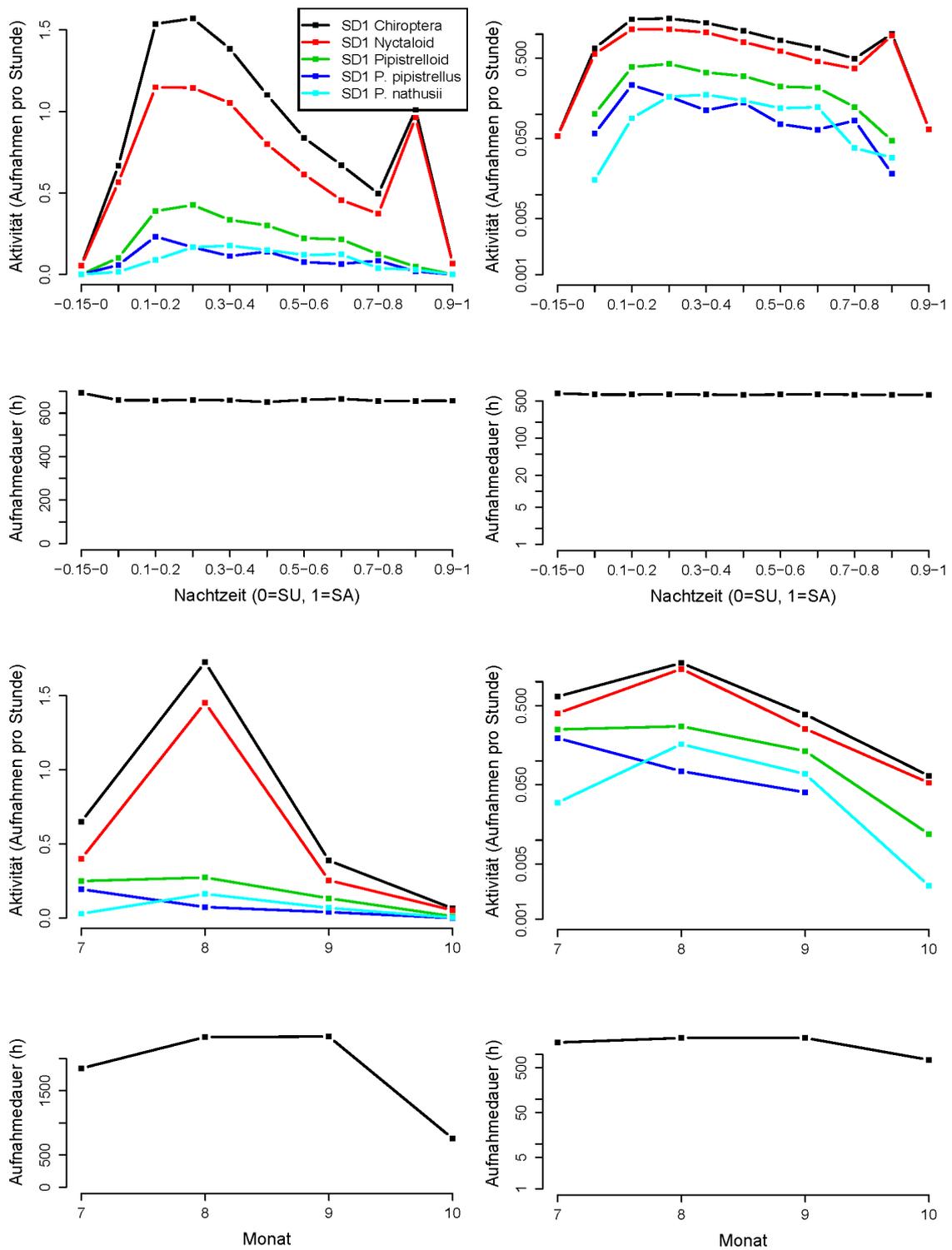


Abbildung 5 Einfluss von Windgeschwindigkeit und Temperatur (x-Achse) auf die akustische Aktivität (als Anzahl von Aufnahmen pro Stunde) von Fledermäusen an der WEA-Gondel, gemessen mit dem Batcorder (BCG). Y-Achse als von höheren zu niedrigeren Werten der Einflussvariablen kumulierte Prozentwerte (nur für die farbige Teilabbildung) – dadurch kann für Windgeschwindigkeits- oder Temperaturklassen für einen bestimmten Schwellenwert der Anteil an der Gesamtaktivität abgelesen werden. Datensatz und Bezeichnung der Faktorstufen wie in Abbildung 4.





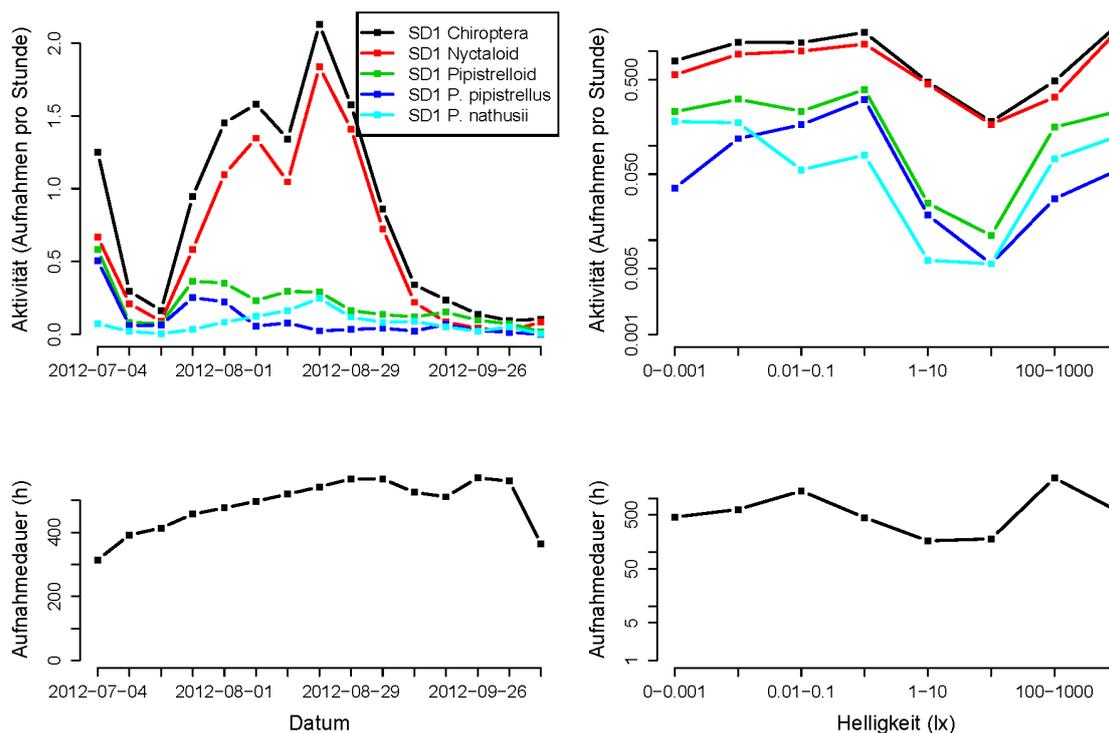


Abbildung 6 Einfluss verschiedener erklärender Variablen (x-Achse) auf die akustische Aktivität (als Anzahl von Aufnahmen pro Stunde) von Fledermäusen an der WEA-Gondel. Darstellung wie in Abbildung 4, jedoch mit dem Datensatz für den Detektor Anabat SD1 (SD1).

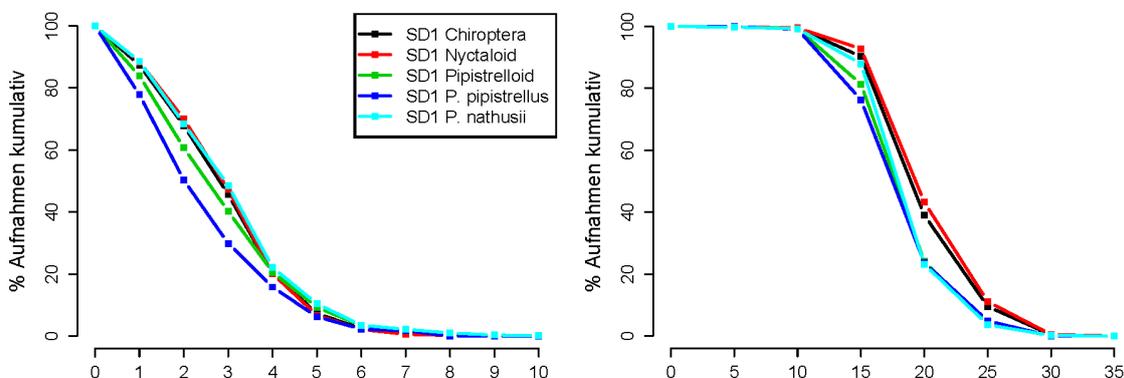
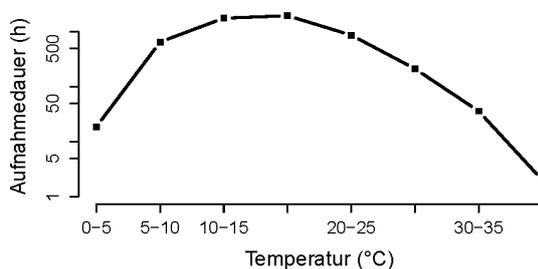
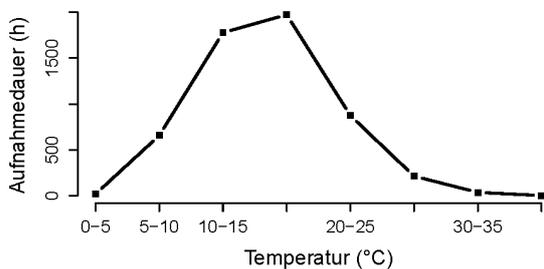
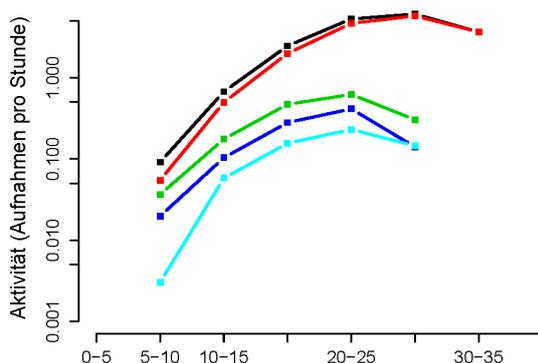
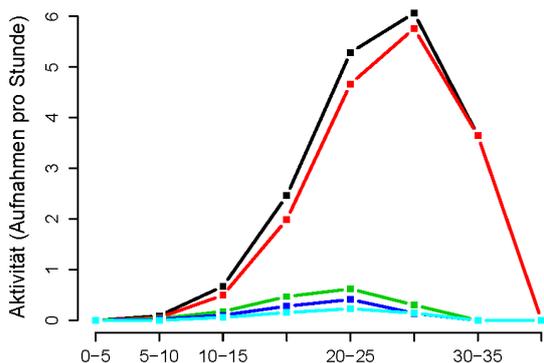
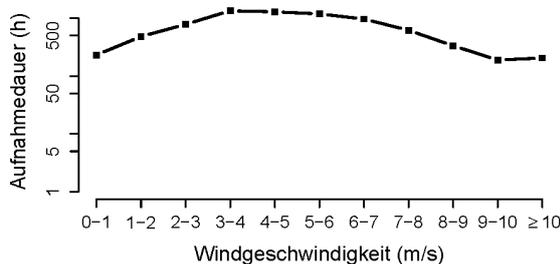
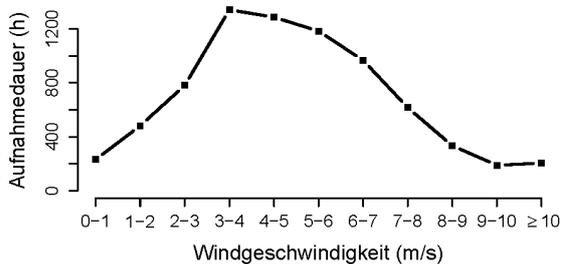
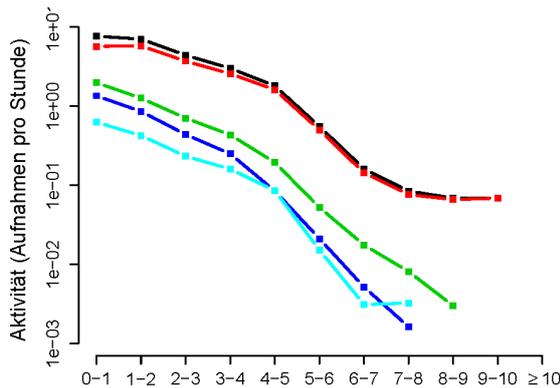
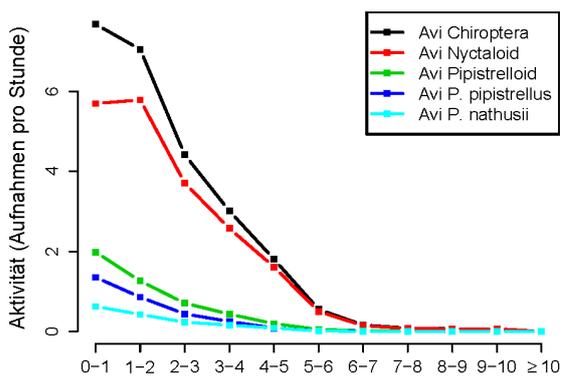
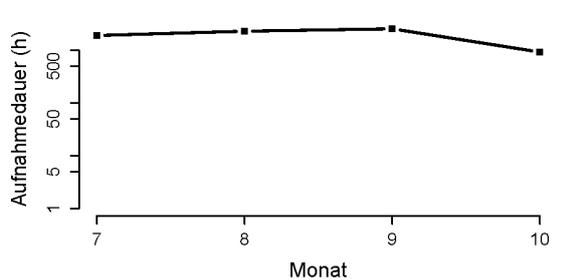
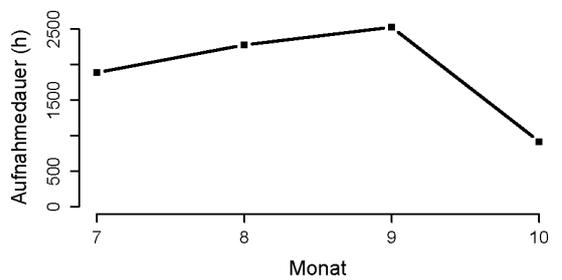
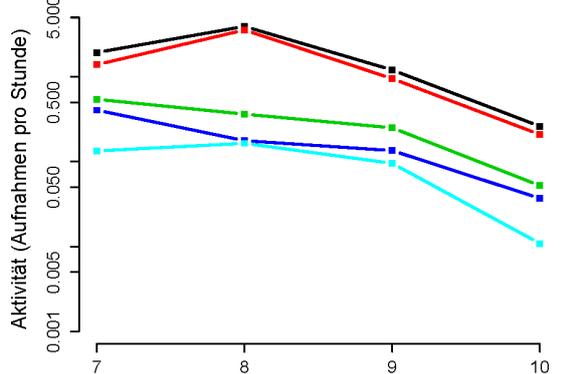
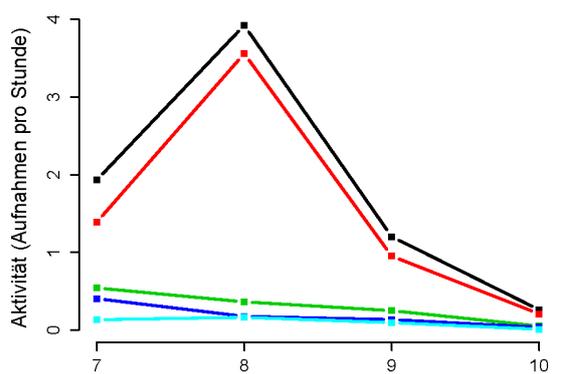
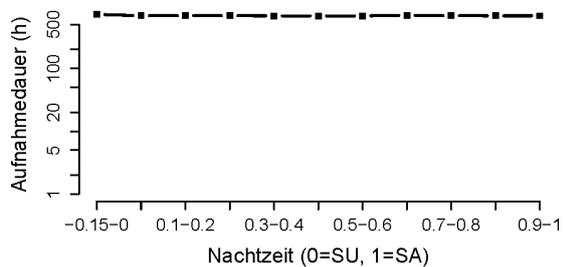
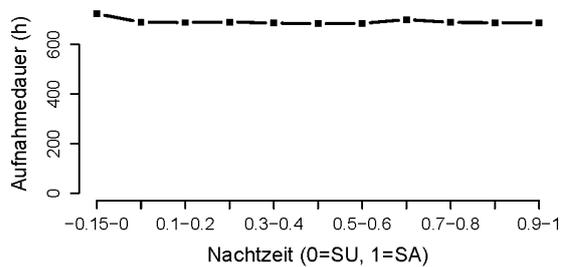
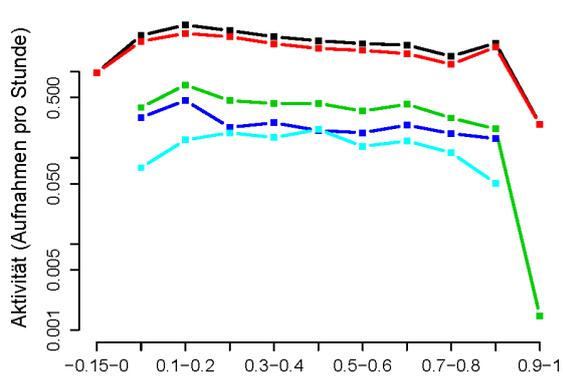
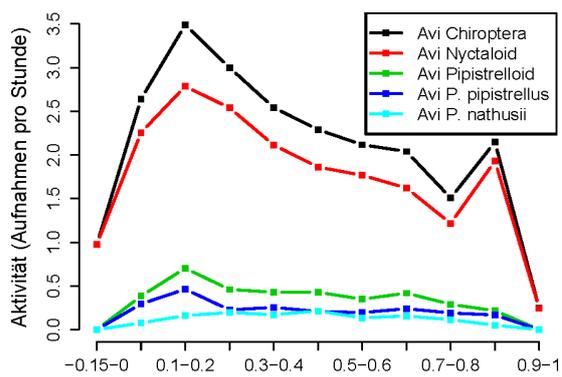


Abbildung 7 Einfluss von Windgeschwindigkeit und Temperatur auf die akustische Aktivität (als Anzahl von Aufnahmen pro Stunde) von Fledermäusen an der WEA-Gondel. Darstellung wie Abbildung 5, jedoch mit dem Datensatz für den Detektor Anabat SD1 (SD1).





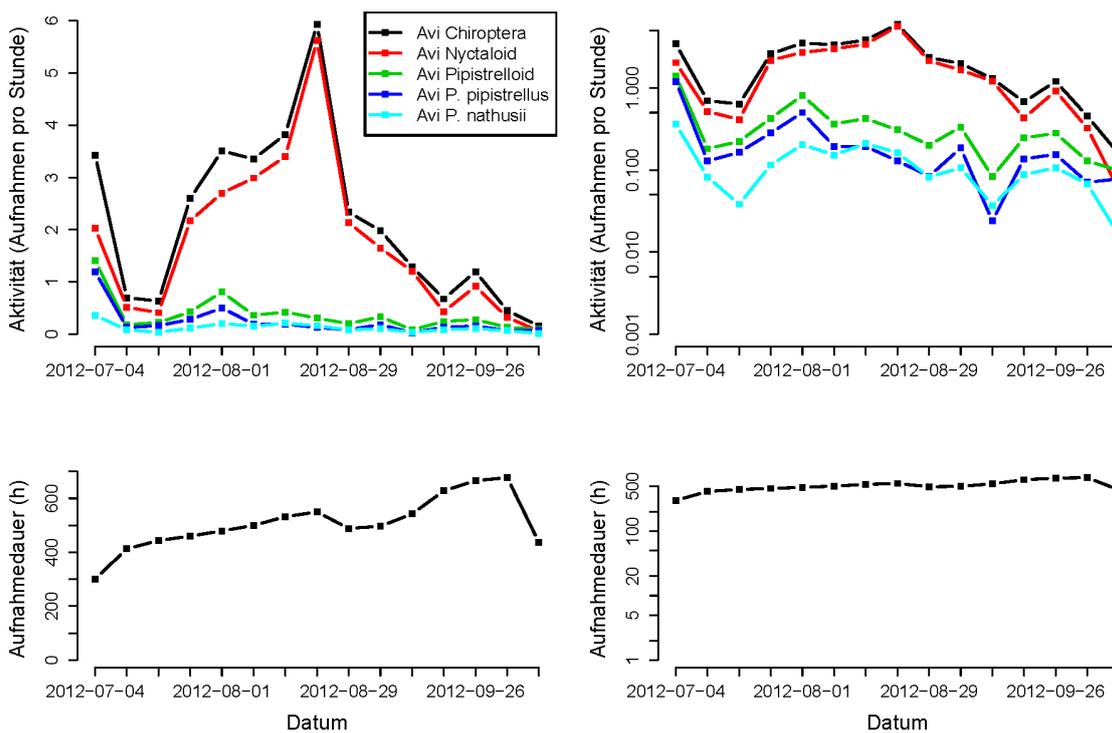


Abbildung 8 Einfluss verschiedener erklärender Variablen (x-Achse) auf die akustische Aktivität (als Anzahl von Aufnahmen pro Stunde) von Fledermäusen an der WEA-Gondel. Darstellung wie in Abbildung 4, jedoch mit dem Datensatz für das Avisoft-System (Avi).

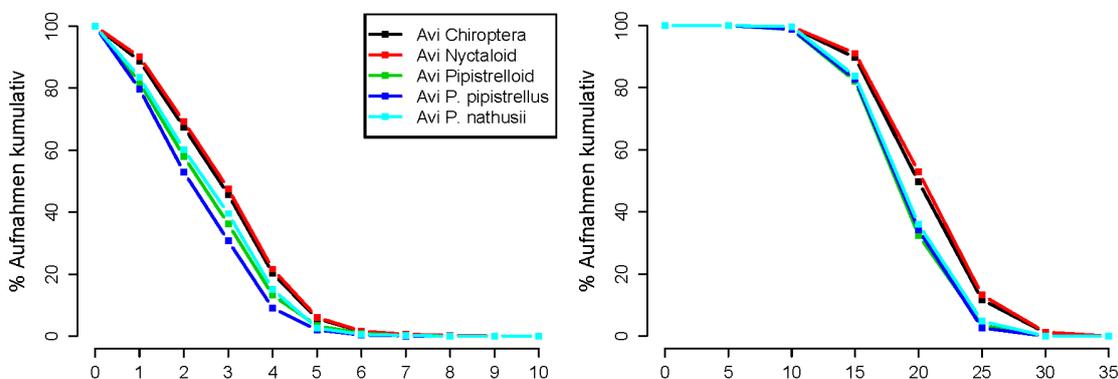


Abbildung 9 Einfluss von Windgeschwindigkeit und Temperatur auf die akustische Aktivität (als Anzahl von Aufnahmen pro Stunde) von Fledermäusen an der WEA-Gondel. Darstellung wie Abbildung 5, jedoch mit dem Datensatz für das Avisoft-System (Avi).

6 Aktivität in Abhängigkeit der gemessenen Einflussvariablen

Abbildung 4 und Abbildung 5 (Batcorder), Abbildung 6 und Abbildung 7 (Anabat SD1) sowie Abbildung 8 und Abbildung 9 (Avisoft-System) zeigen den Einfluss verschiedener erklärender Variablen auf die akustische Aktivität von Fledermäusen an der WEA-Gondel. Dargestellt sind die Datensätze für den Batcorder, den Anabat SD1 und das Avisoft-System im Jahr 2012.

Neben der mittleren Aktivität (als Aufnahmen pro Stunde) in Abhängigkeit von den erklärenden Variablen (Abbildung 4, Abbildung 6 und Abbildung 8) und andererseits die bis zu einer bestimmten Windgeschwindigkeit oder Temperatur kumulierte Aktivität (Abbildung 5, Abbildung 7 und Abbildung 9). Direkte Rückschlüsse auf das Gefährdungspotenzial können nur aus den kumulierten Darstellungen in Abbildung 5, Abbildung 7 und Abbildung 9 gezogen werden, die auch die Häufigkeit von Zeiträumen mit einer bestimmten Windgeschwindigkeit oder Temperatur berücksichtigen.

Die Einflussvariablen im Einzelnen:

Windgeschwindigkeit: Bei allen Art(gruppen) hatte die Windgeschwindigkeit einen starken Einfluss auf die Aktivität (Batcorder: 16 % der Aktivität bei Windgeschwindigkeiten $\geq 4 \text{ ms}^{-1}$, 4 % bei $\geq 5 \text{ ms}^{-1}$, 1 % bei $\geq 6 \text{ ms}^{-1}$; Anabat SD1: 20 % der Aktivität bei Windgeschwindigkeiten $\geq 4 \text{ ms}^{-1}$, 7 % bei $\geq 5 \text{ ms}^{-1}$, 2 % bei $\geq 6 \text{ ms}^{-1}$; Avisoft-System: 20 % der Aktivität bei Windgeschwindigkeiten $\geq 4 \text{ ms}^{-1}$, 6 % bei $\geq 5 \text{ ms}^{-1}$, 2 % bei $\geq 6 \text{ ms}^{-1}$ – siehe Abbildung 4). Die Kurvenverläufe der kumulativen Darstellungen für die verschiedenen Detektorsysteme sind sich sehr ähnlich. Vorhandene Unterschiede könnten auf unterschiedliche Beprobungszeiträume zurückzuführen sein, die durch teilweise Ausfälle der Detektoren bedingt waren. Die Abnahme der Aktivität mit höheren Windgeschwindigkeiten zeigte einen annähernd logarithmischen Verlauf. In der logarithmischen Darstellung lässt sich erkennen, dass die Abnahme der Aktivität für die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, noch ausgeprägter war (Batcorder: 14 % der Aktivität bei Windgeschwindigkeiten $\geq 4 \text{ ms}^{-1}$; Anabat SD1: 16 %; Avisoft-System: 9 %) als für die anderen Arten, während die Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, mit Ausnahme der Daten des Avisoft-Systems die höchste Windtoleranz zeigte (Batcorder: 35 % der Aktivität bei Windgeschwindigkeiten $\geq 4 \text{ ms}^{-1}$; Anabat SD1: 22 %; Avisoft-System: 15 %). Bei den Daten des Avisoft-Systems waren die Kurvenverläufe für die Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, und die Nyctaloid-Gruppe vergleichbar, also eine ähnliche Windtoleranz zu beobachten. Die höchste Windgeschwindigkeit, bei der noch Aktivität gemessen wurde, lag bei $11,3 \text{ ms}^{-1}$.

Temperatur: Es ist ein starker Anstieg der Aktivität im Bereich von 15 bis 25°C zu erkennen. Die niedrigen Aktivitätswerte für Temperaturen über 30°C beruhen auf einer kleinen Stichprobe und sind daher mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Meist handelt es sich hierbei um Zeiträume vor Sonnenuntergang (Nachtzeit -0.15-0). Dies erklärt die hohe Temperatur, zum Teil die verhältnismäßig niedrige Aktivität und den Umstand, dass ab 30°C nur Aktivität der Artgruppe Nyctaloid nachgewiesen wurde. Zu dieser Artgruppe zählt *N. noctula*, eine Art, die auch Aktivität vor Sonnenuntergang zeigte.

Nachtzeit: Die Aktivitätsverläufe waren für alle Detektorsysteme ähnlich und zeigten ein hohes Maximum in der ersten Nachthälfte. Der etwas frühere Aktivitätsbeginn der Artgruppe Nyctaloid mit einer geringen Aktivität bereits vor Sonnenuntergang ist hier zu erkennen (siehe auch den Kommentar zur Temperatur). Etwa nach einem Viertel der Nacht begann die Aktivität relativ kontinuierlich bis zum Morgen abzunehmen, mit einem erneuten Anstieg und niedrigeren Maximum kurz vor Sonnenaufgang. Dieses zweite Maximum in den über alle beprobten WEA gemittelten Daten beruhte fast ausschließlich auf der sehr hohen Aktivität (hauptsächlich Nyctaloid und einige Aufnahmen der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*) am Morgen an den beiden WEA nur eines der beprobten Standorte. Die anderen WEA zeigten dagegen eine sehr niedrige Aktivität kurz vor Sonnenaufgang. Ein neuerlicher Anstieg der Aktivität am Morgen wird häufig in Untersuchungen der Fledermausaktivität am Boden und besonders in Quartiernähe beobachtet.

Die Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, zeigte ein leicht anderes Muster als die anderen Arten und Artgruppen. Das Maximum der Aktivität lag in der Mitte der Nacht und fiel breit zu Sonnenuntergang bzw. -aufgang ab.

Monat: Für den Zusammenhang von Aktivität und Monat zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Art(gruppen). Die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, zeigte ein Maximum bereits im Juli, während es bei der Nyctaloid Artgruppe später im August auftrat. Noch später lag der herbstliche Aktivitätsanstieg für die Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, mit dem Maximum im August und noch hoher Aktivität im September (wobei besonders für diese Art potenziell Unterschiede zwischen den Naturräumen auftreten können).

Woche: Hier zeigt sich der in Bezug auf den Monat dargestellte Zusammenhang zeitlich detaillierter. Für die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, sind Maxima Anfang und Ende Juli zu erkennen, für die Artgruppe Nyctaloid ein Maximum in der zweiten Augushälfte. Aufgrund der kürzeren Intervalle spielen in dieser Abbildung jedoch Zufallseffekte eine größere Rolle und vermitteln im Vergleich zur Monatsdarstellung ein etwas undeutlicheres Muster.

7 Vergleich der Fledermausaktivität für verschiedene Detektoren

Durch den parallelen Einsatz von Anabat SD1 und Batcorder einerseits (5693 h an acht Anlagen in acht Windparks) und Avisoft-System und Batcorder andererseits (5385 h an acht Anlagen in acht Windparks) war es möglich, die Ergebnisse der verschiedenen Detektortypen direkt zu vergleichen. In den Vergleichsdatensatz gingen Aufnahmen von Anlagen ein, in denen beide Detektortypen gleichzeitig installiert und aktiv waren (zur Installation siehe BEHR et al. 2011d sowie SIMON et al. 2015 in diesem Dokument). Da in jeder WEA zusätzlich zu einem Batcorder alternativ ein Anabat SD1 oder ein Avisoft-System installiert wurde, war ein direkter Vergleich nur zwischen Batcorder und Anabat SD1 einerseits und Batcorder und Avisoft-System andererseits möglich.

Alle drei eingesetzten Detektorsysteme verwenden unterschiedliche Algorithmen der Aufnahmesteuerung (z. B. Schwellenwerte und Pre- und Posttrigger). Um die Aufnahmezahlen der drei Detektortypen vergleichbar zu machen, verwenden wir daher hier nicht die absolute Anzahl von Aufnahmen sondern den Anteil von 10-Minuten-Intervallen, in denen eine Art(gruppe) nachgewiesen wurde (die Fledermausaktivität wurde also bezogen auf 10-Minuten-Intervalle binarisiert in presence/absence Daten – An-/Abwesenheit). Trotz dieser Binarisierung sind systematische Unterschiede in den nachgewiesenen Arthäufigkeiten zwischen den Detektorsystemen zu erkennen (Abbildung 10 und Abbildung 11).

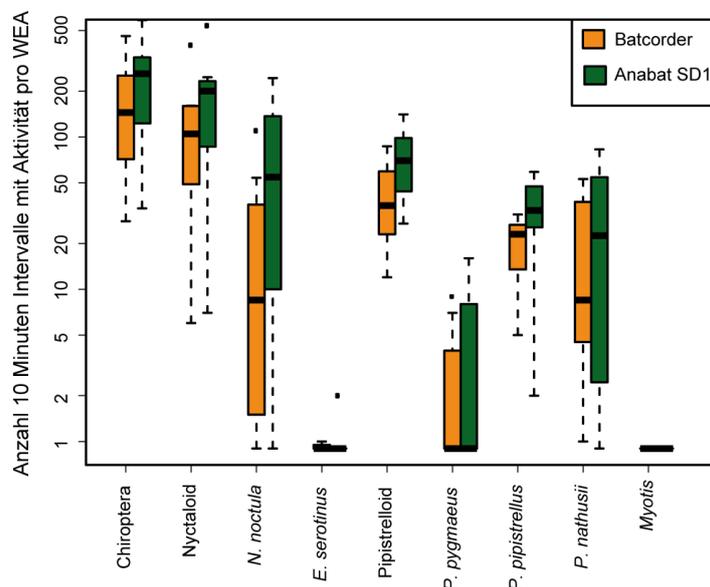


Abbildung 10 Das an der WEA-Gondel nachgewiesene Artenspektrum für den Batcorder (orange) und den Anabat SD1 (grün). Y-Achse logarithmisch. Boxen zeigen die Verteilung der Aktivität an einzelnen Anlagen für die verschiedenen Arten und Artgruppen. Es gingen nur Aufnahmen aus parallelen Laufzeiten ein (5693 h an acht Anlagen in acht Windparks). Die Aktivität ist dargestellt als Anzahl von 10-min-Intervallen mit Aktivität (presence/absence). Durch die Umwandlung in presence/absence Daten werden die Aktivitätsdaten der beiden Detektortypen vergleichbar. Der Wert 0 wurde durch 0,9 ersetzt, um ihn logarithmisch darstellen zu können. Arten, die bei der Analyse der Daten des Anabat SD1 nicht differenziert wurden, sind nicht dargestellt (z. B. Kleinabendsegler, *N. leisleri*, und Zweifarbfledermaus, *V. murinus*).

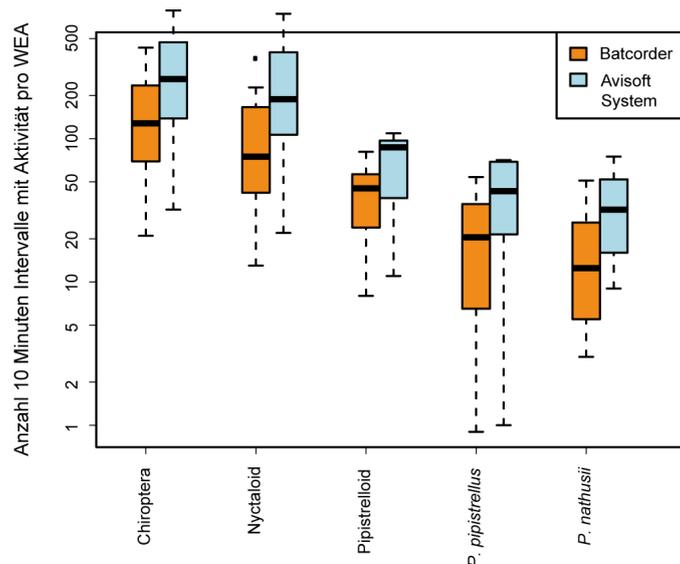


Abbildung 11 Das an der WEA-Gondel nachgewiesene Artenspektrum für den Batcorder (orange) und das Avisoft-System (hellblau). Darstellung wie in Abbildung 10. Es gingen nur Aufnahmen aus parallelen Laufzeiten ein (5385 h an acht Anlagen in acht Windparks). Arten, die bei der Analyse der Daten des Avisoft-Systems nicht differenziert wurden, sind nicht dargestellt (z. B. Großer Abendsegler, *N. noctula*, Kleinabendsegler, *N. leisleri*, und Zweifarbfledermaus, *V. murinus*, etc.).

Für die Arten und Artgruppen Chiroptera, Nyctaloid, Pipistrelloid, Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, und Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, zeigten sowohl der Anabat SD1 als auch das Avisoft-System in etwa doppelt so hohe Aktivitätswerte wie der Batcorder. Dies galt beim Vergleich von Avisoft-System und Batcorder relativ konstant für alle genannten Arten und Artgruppen (Anzahl 10-Minuten-Intervalle Avisoft-System / Batcorder: Mittelwert 2,0; Min 1,7; Max 2,3). Im Verhältnis der Aktivitätswerte von Anabat SD1 und Batcorder waren dagegen etwas größere Unterschiede (Anzahl 10-Minuten-Intervalle Anabat SD1 / Batcorder: Mittelwert 1,9; Min 1,4; Max 3,2) zwischen den Arten und Artgruppen zu beobachten (Zwergfledermaus, *P. pipistrellus* und Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*).

Am größten waren die Unterschiede zwischen Anabat SD1 und Batcorder beim Großen Abendsegler, *N. noctula*, was jedoch wahrscheinlich auch durch die Unterschiede zwischen manueller und automatischer Artbestimmung verursacht wurde. Der Große Abendsegler, *N. noctula*, wurde für das Avisoft-System nicht differenziert. Dies galt auch für die Breitflügelfledermaus, *E. serotinus*, die für den Anabat SD1 und den Batcorder-Datensatz in jeweils sehr geringer Zahl bestimmt wurde und auch für die Gattung *Myotis*, die im hier dargestellten Datensatz für Anabat SD1 und Batcorder nicht vertreten war.

Der Anteil unbestimmbarer Chiroptera-Aufnahmen war beim Batcorder mit 12 % höher als beim Anabat SD1 mit 0 % und war für das Avisoft-System nicht definiert (siehe Abschnitt 4.5.2).

Abbildung 12 zeigt die Aktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit vergleichend für Anabat SD1, Batcorder und Avisoft-System. Wie weiter oben gingen auch hier nur Aufnahmen aus parallelen Laufzeiten ein. Unterschiede zwischen den Detektortypen, die z. B. auf einer Empfindlichkeit gegenüber Windeinflüssen beruhen, sollten sich in Abbildung 11 als unterschiedliche Kurvenverläufe niederschlagen. In der logarithmischen Auftragung ergaben sich jedoch annähernd parallele Kurvenverläufe. Das Verhältnis der Zahlen beider Detektoren war also relativ konstant. Es wurden also z. B. mit dem Avisoft-System für alle Windgeschwindigkeitsklassen etwa doppelte so viele 10-Minuten-Intervalle mit Aktivität registriert wie mit dem Batcorder; die Abnahme der Aktivität mit höheren Windgeschwindigkeiten zeigte sehr ähnliche Verläufe für jeweils beide Detektortypen. Abweichungen ab etwa 8 ms^{-1} könnten auf die für höhere Windgeschwindigkeiten relativ geringe Stichprobengröße und die damit einhergehende größere Unsicherheit der Werte zurückzuführen sein.

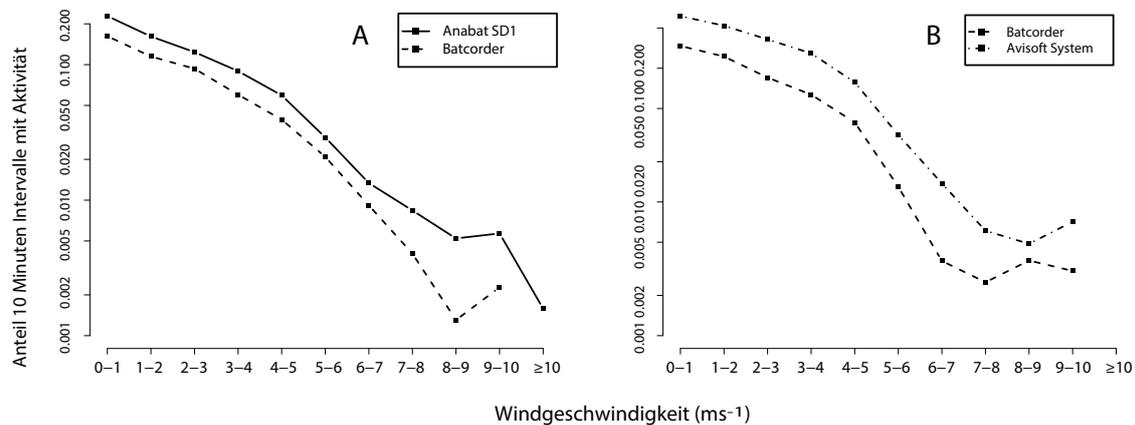


Abbildung 12 Aktivität (y-Achse als 10-min-Intervalle mit Aktivität, um Aufnahmezahlen verschiedener Detektoren vergleichbar zu machen) aller Fledermausarten (Chiroptera) aufgetragen über der Windgeschwindigkeit (x-Achse in ms^{-1}) für Anabat SD1 (durchgezogene Linie) und Batcorder (gestrichelte Linie) links und für Batcorder (gestrichelte Linie) und Avisoft-System (gestrichelpunktete Linie) rechts. Es gingen nur Aufnahmen aus parallelen Laufzeiten ein (links: 5693 h an acht Anlagen in acht Windparks; rechts: 5385 h an acht Anlagen in acht Windparks).

Auch für die anderen Einflussvariablen (nicht abgebildet) zeigten sich hinsichtlich der Aktivität keine konsistenten Unterschiede zwischen den Detektortypen. Dies galt für Temperatur, Nachtzeit (theoretisch denkbare Unterschiede durch Empfindlichkeit gegenüber Temperatur oder Feuchtigkeit) und Monat bzw. Datum (theoretisch denkbare Unterschiede durch Alterung der Mikrofone).

8 Vergleich der Aktivitätsmessungen für verschiedene Anlagen und Naturräume

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Aktivitätsmessungen an der WEA-Gondel vergleichend für einzelne Anlagen und die untersuchten Naturräume dargestellt. Es werden nur die Ergebnisse für den Batcorder dargestellt, da für die beiden anderen Detektortypen Anabat SD1 und Avisoft-System eine wesentlich kleinere Datengrundlage für einen Vergleich der Naturräume zur Verfügung stand (zum Datenumfang siehe Tabelle 5 Abschnitt 4.5.2).

8.1 Aktivität an einzelnen Anlagen

Abbildung 13 zeigt als Histogramm die Aktivitätswerte des Batcorders an einzelnen Anlagen differenziert für Arten bzw. Artgruppen und Monate. Die Gesamtaktivität (Chiroptera) lag im August mit einem Median von 2,87 Aufnahmen pro Stunde etwa 50 Mal so hoch wie im Oktober mit einem Median von 0,06 Aufnahmen pro Stunde. Im Juli und Oktober (der nur bis zum 11.10.2012 in den Datensatz einging) gab es Anlagen, an denen gar keine Aufnahmen aufgezeichnet wurden. Für einzelne Arten oder Artgruppen (z. B. für die ziehende Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, aber auch für die nur kurze Strecken ziehende Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*) und einzelne Monate lag der Anteil von Anlagen ohne Aufnahmen teilweise recht hoch. Die Anlagen mit Aufnahmen unterschieden sich sehr stark in der Höhe der gemessenen Aktivität (Unterschiede von ein bis zwei Zehnerpotenzen, maximal etwa 50fach zwischen Minimum und Maximum).

Der in Abbildung 12 gezeigte Darstellungstyp wurde von uns u.a. entwickelt, um für einzelne WEA eine übersichtliche Einordnung der nachgewiesenen Fledermausaktivität zu ermöglichen. Beispielhaft sind hier die Werte von zwei WEA aus einem Windpark im Naturraum D1418 (Thüringer Becken mit Randplatten und Oberlausitz) als farbige Pfeile markiert. Dieser Standort zeigte eine für den Naturraum typische leicht überdurchschnittliche Gesamtaktivität.

Daten anderer Anlagen, die von anderen Bearbeiter_innen, aber mit der von uns vorgeschlagenen Aufnahmetechnik erhoben werden, können auf dieselbe Weise mit dem von uns erhobenen Datensatz abgeglichen werden. Sofern diese Daten aus einem anderen Jahr oder anderen Naturräumen stammen, schränkt das die Vergleichbarkeit in gewissem Umfang ein.

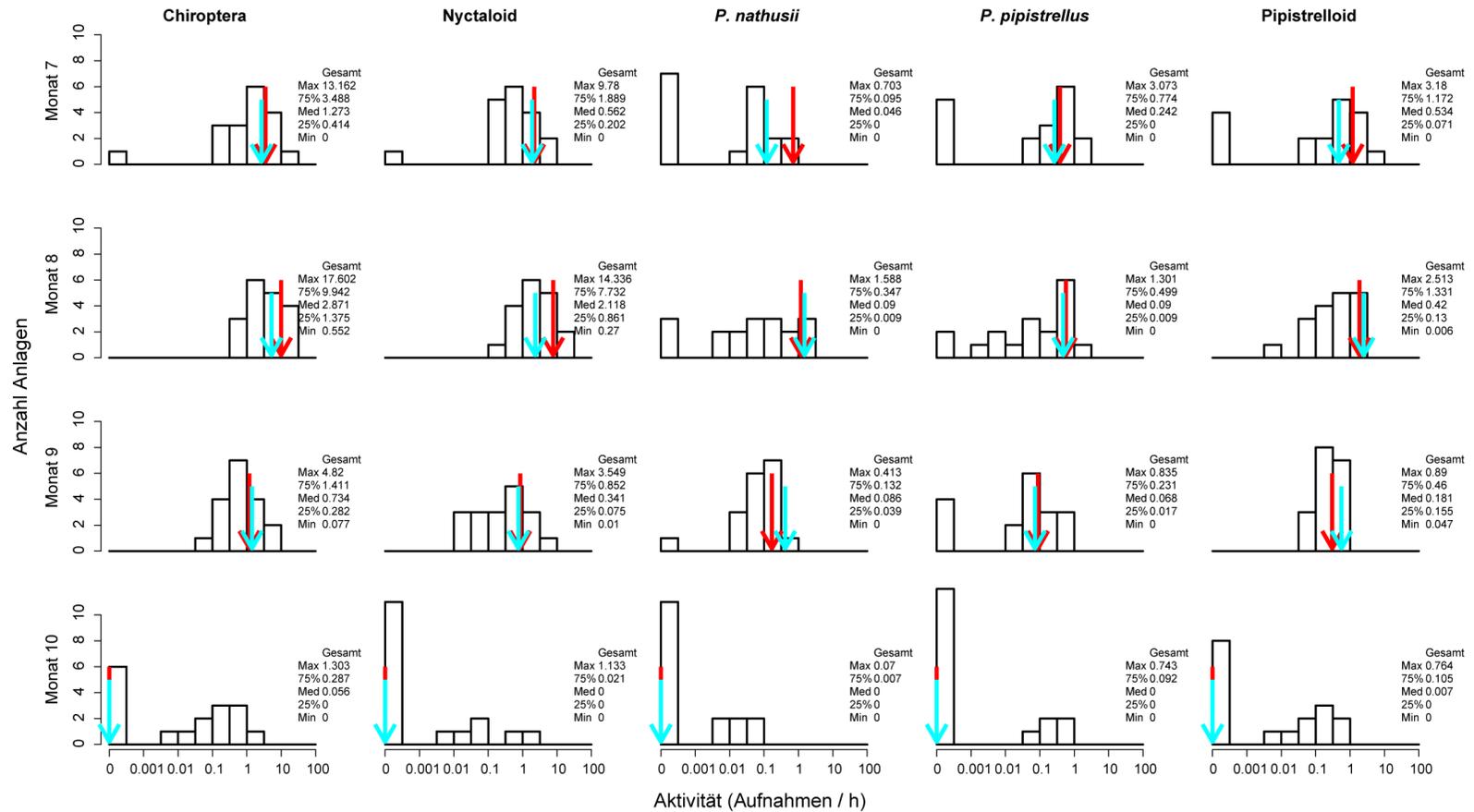


Abbildung 13 Histogramm der akustischen Aktivität gemessen mit dem Batcorder (als Anzahl von Aufnahmen pro Stunde) an der WEA-Gondel für verschiedene Fledermausarten und –artgruppen und Monate. Gezeigt ist die Anzahl von Anlagen in verschiedenen Aktivitätsklassen für den Datensatz des Batcorders (gezeigt sind nur Anlagen, für die im jeweiligen Monat gültige Laufzeiten vorlagen – zum Datenumfang siehe Tabelle 5 Abschnitt 4.5.2). X-Achse: Aktivität als Aufnahmen pro Stunde. Logarithmische Skalierung, Zusätzlich sind Nullwerte als kleinste Histogrammklasse angegeben. Y-Achse: Anzahl von WEA je Histogrammklasse. Achsen aller Einzelgrafiken gleich skaliert. Abbildungen einer Spalte zeigen Werte einer Art oder Artgruppe. Abbildungen einer Zeile zeigen Werte eines Monats. Am rechten Rand jeder Abbildung sind Minimum, 25 % Quantil, Median, 75 % Quantil und Maximum der im Histogramm gezeigten Verteilung angegeben. Pfeile zeigen beispielhaft die Werte zweier WEA eines Windparks im Naturraum D1415 (WEA farblich unterschieden).

8.2 Aktivität in einzelnen Naturräumen

Die Aktivität (als Anzahl Aufnahmen pro Stunde) unterschied sich für einzelne Naturräume (Abbildung 14). Hierbei ist einschränkend zu sagen, dass die Zahl beprobter WEA pro Naturraum zum Teil sehr niedrig war (nur jeweils ein Standort in D0203 und D12 – siehe Tabelle 6). Hier werden daher nur die beiden naturräumlichen Einheiten mit zwei bzw. vier beprobten Standorten dargestellt. Die akustische Aktivität von Fledermäusen insgesamt (Chiroptera) war in D4252 niedriger (2,1 Aufnahmen pro Stunde) als in D1418 (3,1 Aufnahmen pro Stunde). D. h. es bestand für die untersuchten Anlagen ein Unterschied zwischen den beiden dargestellten Naturräumen, der jedoch im Vergleich zu den Unterschieden zwischen Monaten oder einzelnen Anlagen gering war. Der relative Unterschied zwischen den beiden Naturräumen entspricht weitgehend dem im Jahr 2008 (RENEBAT I) gemessenen.

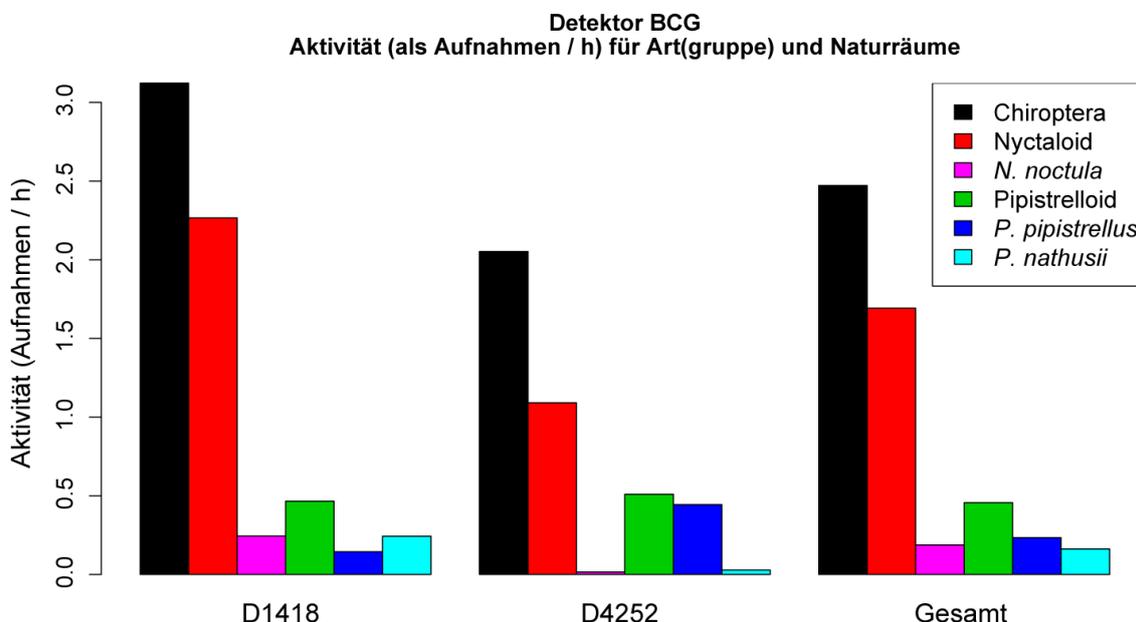


Abbildung 14 Aktivität (Anzahl von Aufnahmen pro Stunde) je Art(gruppe) für die zwei am häufigsten beprobten naturräumlichen Einheiten D1418 (Oberlausitz und Thüringer Becken mit Randplatten in der Großlandschaft Östliche Mittelgebirge: 6727 Erfassungsstunden) und D4252 (Saar-Nahe-Berg- und Hügelland in der Großlandschaft Westliche Mittelgebirge: 3684 Erfassungsstunden) und für die Summe von D1418 und D4252 (Gesamt). Dargestellt sind die Daten des Batcorders für die häufigeren Art(gruppen) im Zeitraum 05.07.2012 bis 11.10.2012 (zur Definition der naturräumlichen Einheiten siehe Tabelle 6).

Der östliche Naturraum D1418 zeigte einen höheren Anteil der Artgruppe Nyctaloid und entsprechend relativ niedrigere Anteile der Artgruppe Pipistrelloid als der westliche Naturraum D4252 (Tabelle 7). Dies galt auch für den Anteil des Großen Abendseglers, *N. noctula*. In D4252 war der Anteil nicht weiter bestimmter Aufnahmen aus der

Artgruppe Nyctaloid hoch (Großer Abendsegler, *N. noctula*, und Kleinabendsegler, *N. leisleri*, zusammen nur 1,1 % aller Aufnahmen). Dies dürfte an einem häufigen Auftreten des Kleinabendseglers, *N. leisleri*, in diesem Naturraum liegen, einer Art, die vom Bat-corder-System häufig nicht bis auf Artniveau bestimmt wird. Derselbe Naturraum D4252 zeigte auch einen hohen Anteil von Pipistrelloid und Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, und einen niedrigen Anteil der Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, wobei es sich bei den relativ wenigen Rauhhautfledermäusen überwiegend um durchziehende Tiere gehandelt haben dürfte.

Tabelle 6 Artenspektrum der Naturräume: Prozentualer Anteil von Aufnahmen einzelner Arten und Artgruppen an der Gesamtzahl von Fledermausaufnahmen für einzelne Naturräume und den Gesamtdatensatz (zum Datenumfang siehe Tabelle 5 Abschnitt 4.5.2). Werte wurden auf eine Nachkommastelle gerundet (daher Nullwerte für die Gattung *Myotis*).

	Chiroptera	Nyctaloid	N. noctula	N. leisleri	V. murinus	E. serotinus	Pipistrelloid	P. pygmaeus	P. pipistrellus	P. nathusii	Myotis
Gesamt	100	68,4	7,6	0,6	8,0	0,0	18,5	0,3	9,5	6,6	0,0
F	100	61,0	4,3	6,4	8,5	0,0	37,0	0,1	22,5	11,0	0,0
D0203	100	75,0	15,0	0,0	10,2	0,2	18,7	1,0	6,0	9,3	0,0
D12	100	71,8	13,5	0,1	8,3	0,0	14,3	0,1	11,3	2,0	0,0
D1418	100	72,6	7,8	0,3	9,1	0,0	14,9	0,2	4,7	7,8	0,0
D4252	100	53,1	0,8	0,4	3,2	0,0	24,9	0,0	21,6	1,4	0,0

9 Diskussion

Im Jahr 2012 wurde eine akustische Erfassung der Fledermausaktivität im Gondelbereich von 18 WEA in neun Windparks in vier naturräumlichen Einheiten (siehe dazu BRINKMANN et al. 2011) durchgeführt. Acht der beprobten Windparks liegen im Bundesgebiet und einer in Südfrankreich. Die akustische Erfassung der Fledermausaktivität erfolgte im Rahmen der experimentellen Implementierung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen an bereits in RENEBAT I im Jahr 2008 beprobten WEA. Um im Experiment eine möglichst hohe Aussageschärfe (statistische Power) zu erreichen, wurde der Hauptaktivitäts- und damit -gefährdungszeitraum von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA von Anfang Juli (05.07.2012) bis Anfang Oktober (11.10.2012) beprobt und WEA mit einem hohen Schlagrisiko ausgewählt. Hauptziele der Erfassung waren:

1. Der Vergleich verschiedener parallel installierter Detektorsysteme hinsichtlich ihrer Ausfallsicherheit und der Zahl aufgenommener Fledermausrufsequenzen.
2. Der Vergleich der Aktivitätsmuster der 2012 erhobenen Daten hinsichtlich verschiedener Einflussvariablen (Windgeschwindigkeit, Monat, Nachtzeit, Temperatur) mit den Mustern der 2008 in RENEBAT I erhobenen Daten.
3. Die Überprüfung der in RENEBAT I entwickelten Modelle (Aktivitätsvorhersage und Berechnung des Schlagrisikos) hinsichtlich des Effektes der akustischen Aktivität.
4. Die Berechnung des Schlagrisikos während des experimentellen Einsatzes der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen in diesem Forschungsvorhaben (RENEBAT II).

In diesem Bericht werden die Grundlagendaten für die genannten Fragestellungen dargestellt.

9.1 Nachweisbarkeit von Fledermäusen durch akustische Erfassung

Die akustische Erfassung ist eine geeignete Methode um die Höhe der Fledermausaktivität an WEA zu untersuchen. Dabei sind jedoch einige Einschränkungen zu beachten.

Allgemein lassen sich die typischerweise im Rotorbereich von WEA auftretenden Arten gut akustisch nachweisen. Es sind hierbei jedoch artspezifische Unterschiede festzustellen, die mit den akustischen Parametern der Rufe, aber auch mit den Mikrofon-eigenschaften der verwendeten Detektoren zusammen hängen. So sind z. B. die Rufe des Großen Abendseglers, *N. noctula*, tieferfrequent und damit über eine größere Distanz zu detektieren als die höherfrequenten Rufe z. B. der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, (zum theoretischen Erfassungsradius für diese beiden Arten siehe BEHR et al. 2011d und SIMON et al. in diesem Dokument). Entsprechend werden bei gleicher Anzahl von Aufnahmen für den Großen Abendsegler, *N. noctula*, weniger tote Tiere geschätzt als für die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, (siehe dazu KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a).

Weniger naheliegend aus den akustischen Eigenschaften der Ortungsrufe zu erklären sind die nachgewiesenen Unterschiede innerhalb der Artengruppe Pipistrelloid: Die Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, (Anteil aller Fledermausaufnahmen für Anabat SD1 9,6 %; Batcorder 6,5 %; Avisoft System 5,5 % – siehe Tabelle 4) und die Mückenfledermaus, *P. pygmaeus*, (Anabat SD1 0,9 %; Batcorder 0,3 %; für das Avisoft System nicht unterschieden), wurden wurden beide akustisch weniger häufig nachgewiesen als die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, (Anabat SD1 10,1 %; Batcorder 9,5 %; Avisoft System 9,8 %). Diese Unterschiede finden jedoch keine Entsprechung in den Schlagopferzahlen (Anteil einzelner Arten an der Gesamtzahl gefundener toter Fledermäuse:

Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*, 31 %; Mückenfledermaus, *P. pygmaeus*, 8 %; Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, 10 % – siehe dazu NIEMANN et al. 2015 in diesem Bericht). Es gibt auch aus verschiedenen Standortgutachten (z. B. Lothar Bach, persönliche Mitteilung) mit einem hohem Anteil der Rauhhaufledermau, *P. nathusii*, Hinweise darauf, dass das Verhältnis der Anzahl akustischer Aufnahmen zu Schlagopfer bei dieser Art niedriger liegt als für die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*. Für die Mückenfledermaus, *P. pygmaeus*, ergibt sich wegen der geringeren Schlagopferzahlen und der etwas schwierigeren akustischen Nachweisbarkeit noch kein deutliches Bild.

Die unterschiedlich gute Nachweisbarkeit von Arten kann bei der Beurteilung des Kollisionsrisikos aus der akustischen Aktivität berücksichtigt werden, sofern die entsprechenden Gruppen getrennt analysiert werden. Die Art(gruppen) werden daher in diesem Artikel getrennt dargestellt. Die Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen erfolgt jedoch bislang in der Regel für alle Fledermausarten (Chiroptera) insgesamt, um die Komplexität der zugrunde liegenden Berechnungen und der Anwendung zu reduzieren.

Problematisch für eine akustische Aktivitätserfassung könnte sich die in der Literatur (z. B. BACH 2001) diskutierte Möglichkeit erweisen, dass Fledermäuse auf Transferflügen die Echoortung möglicherweise ganz oder zum Teil einstellen. Bislang gibt es nach unserem Kenntnisstand jedoch keine Hinweise, die diese Vermutung untermauern würden. Die wenigen von uns durchgeführten wärmeoptischen und akustischen Parallelbeobachtungen gaben keinen Hinweis darauf, dass Tiere im Erfassungsbereich der Detektoren nicht geortet worden wären (ADOMEIT et al. 2011; HOCHRADEL et al. 2015 in diesem Dokument). Da die Echoortung im Flug nur mit geringen energetischen Kosten verbunden ist (SPEAKMAN et al. 1991), wäre zumindest aus energetischer Sicht kein Vorteil darin zu erkennen, das Ortungsverhalten einzustellen.

Wegen der begrenzten Laufzeit unserer Forschungsvorhaben (bislang maximal zwei beprobte Jahre pro Standort) können wir die Variabilität der Fledermausaktivität in verschiedenen Jahren noch nicht in einem befriedigenden Umfang abschätzen. Dieser Aspekt ist jedoch wichtig, um die Verallgemeinerbarkeit der Datenerfassung einzelner Jahre beurteilen zu können. DULAC (2010) hat in einer dreieinhalbjährigen Untersuchung mit ganzjährigen Schlagopfernachsuchen für einen stark vom Zugeschehen der Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*, geprägten WEA-Standort an der französischen Atlantikküste nachgewiesen, dass die Schlagopferzahlen einzelner Jahre relativ ähnlich waren, sich der Schwerpunkt des Auftretens von Schlagopfern jedoch von Jahr zu Jahr innerhalb der Monate August bis Oktober verschob.

Ein weiterer Punkt, zu dem wir aufgrund der nach wie vor unzureichenden Datengrundlage keine Aussage treffen können, ist das Phänomen zeitlich konzentrierter und extrem

hoher Aktivität der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, bei dem es sich wahrscheinlich um Schwärmereignisse an WEA handelt. Im hier dargestellten Datensatz waren keine solchen Ereignisse enthalten. Das Schwärmen tritt allgemein so selten auf, dass eine Vorhersage aufgrund von Einflussvariablen bislang nicht möglich ist. Uns sind derzeit auch aus anderen Arbeiten keine Hinweise darauf bekannt, wie solche Ereignisse über eine sehr grobe jahreszeitliche Konzentration im Spätsommer und Herbst hinaus zeitlich oder räumlich vorherzusagen wären.

9.2 Artenspektrum

77 % (Anabat SD1), 68 % (Batcorder) bzw. 84 % (Avisoft-System) der Aufnahmen an der WEA-Gondel wurden als Artgruppe Nyctaloid bestimmt mit überwiegend Großem Abendsegler, *N. noctula*, und Zweifarbfledermaus, *V. murinus*, und einigen Nordfledermäusen, *E. nilssonii*, Kleinabendseglern, *N. leisleri*, und Breitflügelfledermäusen, *E. serotinus*, (mit Ausnahme des Großen Abendseglers, *N. noctula*, wurden diese Arten nur für den Batcorder differenziert). 23 % (Anabat SD1), 19 % (Batcorder), bzw. 16 % (Avisoft-System) wurden als Pipistrelloid bestimmt mit überwiegend Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*, einigen Mückenfledermäusen, *P. pygmaeus*, und Weißrandfledermäusen, *P. kuhlii*, (letztere nur für den Batcorder als wahrscheinliche Fehlbestimmungen). 0 % (Anabat SD1) bzw. 12 % (Batcorder) wurden als nicht weiter bestimmbare Chiroptera klassifiziert (für das Avisoft-System wurde diese Klasse nicht definiert, da alle Rufe einer hoch- bzw. tiefrufenden Kategorie zugeordnet wurden).

Die prozentuale Verteilung der aufgenommenen Dateien des Anabat SD1 und des Batcorders auf verschiedene Art(gruppen) war damit der in RENEBAT I im Jahr 2008 gemessenen sehr ähnlich (Abweichungen von weniger als drei Prozent der Gesamtzahl aufgenommener Dateien für die hier angegebenen Werte).

Dieses Ergebnis passt relativ gut zu den Zahlen aus den Schlagopfernachsuchen (NIERMANN et al. 2011a), in denen ebenfalls der Große Abendsegler, *N. noctula*, die Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*, und die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, als häufigste Arten nachgewiesen wurden (siehe jedoch Diskussion der Diskrepanzen bei Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*, und Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, weiter unten). Diese drei Arten sind auch in der bundesweiten Fundkartei zu Schlagopfern an WEA am häufigsten vertreten (DÜRR 2010).

Ein direkter Vergleich der Zahlen aus der akustischen Erfassung und der Schlagopfernachsuche ist jedoch nur bedingt möglich. Es ist davon auszugehen, dass sich die Anzahl aufgezeichneter Aufnahmen für verschiedene Arten unterscheidet, auch wenn die jeweils

gleiche Zahl von Tieren in einem Volumen um das Mikrofon aktiv ist. Ursache hierfür sind in erster Linie die unterschiedlichen Rufcharakteristika der Arten (v.a. die Frequenz und der resultierende Erfassungsbereich) in Zusammenspiel mit den Mikrofoneigenschaften. Derartige Effekte könnten eine Erklärung dafür sein, dass die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, und die Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*, bei den Schlagopfern wesentlich häufiger als bei den akustischen Nachweisen vertreten waren.

Die im Vergleich zur Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, höhere Anzahl von Schlagopfern der Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*, bei etwa gleicher (Anabat SD1) bzw. geringerer (Batcorder und Avisoft-System) aufgezeichneter akustischer Aktivität könnte eventuell mit einem unterschiedlichen Verhalten an den Anlagen zusammenhängen. Für die Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*, gab es in RENEBAT I eindeutige Hinweise, dass Tiere sich während des Zuges in Gondelhöhe aufhielten (BEHR et al. 2011a). Ob möglicherweise ziehende Fledermäuse stärker durch WEA gefährdet sind als jagende Tiere sollte daher in zukünftigen Forschungsvorhaben überprüft werden.

Auch der Kleinabendsegler, *N. leisleri*, die Breitflügel-Fledermaus, *E. serotinus*, und die Mückenfledermaus, *P. pygmaeus*, (nur differenziert für den Batcorder) wurden im Verhältnis zur Zahl der Schlagopfer relativ selten akustisch nachgewiesen, während die Zweifarbfledermaus, *V. murinus*, bei den Schlagopfern leicht überrepräsentiert war. Diese Diskrepanzen könnten für die genannten Arten der Nyctaloid Gruppe (alle genannten Arten außer der Mückenfledermaus, *P. pygmaeus*) in erster Linie auf die schwierige Unterscheidbarkeit der Rufe von denen der anderen Arten aus der Gruppe Nyctaloid zurückzuführen sein. Die Zweifarbfledermaus, *V. murinus*, (nur differenziert für den Batcorder) wurde vom Batcorder-System relativ häufig als Art bestimmt. Die Art wurde auch bei den Schlagopfern nachsuchen nachgewiesen und ist auch in der bundesweiten Fundkartei relativ häufig vertreten (DÜRR 2010).

Die akustische Aktivität ist insgesamt gesehen nur als relatives Maß innerhalb einer Art oder Artgruppe (mit ähnlichen Rufcharakteristika) anzusehen, nicht als artübergreifendes absolutes Aktivitätsmaß. Bei der von uns durchgeführten Berechnung des Kollisionsrisikos aus der akustischen Aktivität wurde über die Arten gemittelt (Chiroptera insgesamt) oder aber für Artgruppen mit ähnlichen Rufcharakteristika (Nyctaloid und Pipistrelloid) ein jeweils spezifischer Zusammenhang von Aktivität und Kollisionsrisiko ermittelt (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a). Unterschiede in der Erfassbarkeit wurden im zweiten Ansatz berücksichtigt, und für die Gruppe Pipistrelloid mit nur über geringere Distanzen registrierbaren Rufen ergaben sich mehr Schlagopfer je akustischer Aufnahme als für die Gruppe Nyctaloid mit noch in größerer Entfernung aufgenommenen Rufen. Die Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen erfolgt jedoch bislang

in der Regel für alle Fledermausarten (Chiroptera) insgesamt, um die Komplexität der zugrunde liegenden Berechnungen und der Anwendung zu reduzieren.

9.3 Aktivität in Abhängigkeit vom Monat

Die akustische Erfassung der Fledermausaktivität im hier dargestellten RENEBAAT II erfolgte im Rahmen der experimentellen Implementierung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen. Um im Experiment eine möglichst hohe Aussageschärfe (statistische Power) zu erreichen, wurde der Hauptaktivitäts- und damit Hauptgefährdungszeitraum von Fledermäusen von Anfang Juli bis Anfang Oktober beprobt (Aussagen über die Aktivitätsverteilung während des gesamten Jahres sind daher nicht möglich).

Bei Schlagopfernachsuchen unter WEA in Europa (DÜRR et al. 2004; BRINKMANN et al. 2006a, SCHUSTER et al. 2015) und Nordamerika (siehe Übersicht in JOHNSON 2005; KUNZ et al. 2007b; ARNETT et al. 2008) wurden die höchsten Schlagopferzahlen im Spätsommer und Frühherbst, etwa ab der zweiten Juli- bis zur zweiten Septemberhälfte nachgewiesen. Auch Messungen der akustischen Aktivität an verschiedenen WEA-Standorten in Nordamerika ergaben die höchsten Zahlen ab etwa Mitte Juli bis Mitte September und eine folgende Abnahme der Aktivität bis etwa in den November hinein (FIEDLER 2004; JOHNSON 2004; JAIN 2005; ARNETT et al. 2006; REDELL et al. 2006; ARNETT et al. 2007). In diesen Zeitraum fällt auch das in RENEBAAT I (BEHR et al. 2011a) akustisch nachgewiesene Aktivitätsmaximum (zweite Juli- bis erste Septemberhälfte). Basierend auf den genannten Informationen wurde der Erfassungszeitraum für den experimentellen Einsatz der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen im hier dargestellten RENEBAAT II auf den 05.07.2012 bis 11.10.2012 festgelegt.

Hierbei ist jedoch einschränkend zu sagen, dass bislang nur wenige Erhebungen in Nordamerika und Europa die Monate April bis Juni einschließen. Auch in RENEBAAT I fehlten Beobachtungen aus dem April. Für den Monat Mai konnten wir jedoch zeigen, dass mit einer nicht zu vernachlässigenden Gefährdung vor allem für die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, und Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*, zu rechnen ist. DULAC (2010) hat an einem Standort an der französischen Atlantikküste (überwiegend geprägt vom Zugeschehen der Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*) über vier Jahre ganzjährige Schlagopfernachsuchen durchgeführt. Der Schwerpunkt lag hier jahresabhängig im Juli bis November, mit einem deutlich kleineren Nebenmaximum im Mai.

Für die Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*, haben wir 2012 in der naturräumlichen Einheit D4252 (Hunsrück und Saar-Nahe-Berg- und Hügelland) ein Maximum der Aktivität in der letzten Augustwoche festgestellt, das wahrscheinlich mit dem Herbstzug dieser Art in

Verbindung stand. Bei der Erfassung in RENEBAT I im Jahr 2008 lag dieses Maximum etwas später Mitte September. Für die naturräumliche Einheit D1418 (Thüringer Becken mit Randplatten und Oberlausitz) wurde 2012 kein kurzes Maximum sondern ein längerer Zeitraum erhöhter Aktivität von Ende Juli bis Ende August beobachtet. Für die anderen naturräumlichen Einheiten wurden 2012 zu wenige WEA beprobt, um Aussagen zum Zuggeschehen treffen zu können.

Für die Sommer- und Herbstmonate zeigten sich, wie auch in vielen Standortgutachten und auch in RENEBAT I (BEHR et al. 2011a) deutliche artspezifische Unterschiede in der Lage des Aktivitätsmaximums, mit dem frühesten Maximum für die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, und dem spätesten Maximum für die Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*. Das Maximum der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, lag im Juli und damit etwa einen Monat früher als das in anderen Jahren nachgewiesene Maximum der Schwärmaktivität dieser Art an Massenwinterquartieren in Hessen (SIMON et al. 2004).

9.4 Aktivität in Abhängigkeit von der Nachtzeit

Im Mittel zeigte die Fledermausaktivität eine zweigipflige Verteilung mit einem hohen Maximum in der ersten Nachthälfte, einer mehr oder weniger kontinuierlichen Abnahme bis zum Morgen und einem niedrigeren zweiten Maximum kurz vor Sonnenaufgang. Dieses zweite Maximum in den über alle beprobten WEA gemittelten Daten beruhte fast ausschließlich auf der sehr hohen Aktivität am Morgen an den beiden WEA nur eines der beprobten Standorte. Im Datensatz von RENEBAT I aus dem Jahr 2008 ergab sich im Mittel nur ein Maximum im ersten Viertel der Nacht. Auch 2008 gab es jedoch einige wenige WEA mit zweigipfligen Verteilungen. Eine eingipflige Verteilung wurde auch in mehreren Arbeiten in den USA für größere Höhe über dem Boden nachgewiesen (ARNETT et al. 2006; ARNETT et al. 2007). Frühere Arbeiten in Baden-Württemberg zeigten an der WEA-Gondel hingegen ein wenn auch schwach ausgeprägtes zweites Maximum der Aktivität kurz vor Sonnenaufgang (BEHR et al. 2007).

Die Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, zeigte wie auch schon im Jahr 2008 (RENEBAT I) eine deutliche Abweichung von der genannten Verteilung mit einem Aktivitätsmaximum etwa in der Mitte der Nacht und einem breiten Abfall zu den Abend- und Morgenstunden. Diese Abweichung der Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, von dem Muster der anderen Arten weist, wie bereits das späte Aktivitätsmaximum im Jahresverlauf und die hohe „Windhärte“ der Art (s. u.) darauf hin, dass bei dieser Art die Aktivität im Rotorbereich von WEA eine andere Ursache hat als bei anderen Arten. Möglicherweise ist bei der Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, eher von Zug- und bei den anderen Arten eher von Nahrungssuchverhalten auszugehen.

In der hier dargestellten Analyse wurde die Interaktion von Temperatur und Nachtzeit (d. h. der wechselseitige Einfluss dieser Variablen auf die Aktivität) nicht berücksichtigt. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass z. B. für den Großen Abendsegler, *N. noctula*, (KRONWITTER 1988), den Kleinabendsegler, *N. leisleri*, (SHIEL et al. 1998) und die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, (MAIER 1992) ein zweites Aktivitätsmaximum in den Morgenstunden durch höhere Temperaturen begünstigt wird.

Auch eigene Erfahrungen bei der Erfassung von Quartieren der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, und der Breitflügelfledermaus, *E. serotinus*, gaben Hinweise auf eine Temperaturabhängigkeit. Schwärmende Tiere beider Arten wurden vor Sonnenaufgang nur nach relativ warmen Nächten beobachtet, wenn die Mehrzahl der Wochenstubierte in einem kurzen Zeitraum zum Quartier zurückkehrte. In kühlen Nächten konnte dagegen auch an bekannten Quartieren dieser Arten kein Schwärmen beobachtet werden.

9.5 Aktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

Unser Datensatz zeigte, wie auch schon in RENEBAAT I im Jahr 2008 für den Rotorbereich der WEA eine starke Abnahme der Aktivität mit höheren Windgeschwindigkeiten (RENEBAAT II im Jahr 2012: 16 % der Aktivität bei $\geq 4 \text{ ms}^{-1}$ und 4 % bei $\geq 5 \text{ ms}^{-1}$), wie sie auch in RENEBAAT I nachgewiesen wurde (RENEBAAT I im Jahr 2008: 29 % der Aktivität bei $\geq 4 \text{ ms}^{-1}$ und 15 % bei $\geq 5 \text{ ms}^{-1}$) und sich schon in früheren Arbeiten angedeutet hatte (HENSEN 2004; BEHR et al. 2005; BEHR et al. 2006a; BEHR et al. 2006b; BEHR et al. 2006c; BEHR et al. 2007; BEHR et al. 2011a).

Die Abnahme der Aktivität mit höheren Windgeschwindigkeiten war im Datensatz von RENEBAAT II im Jahr 2012 im Mittel deutlich stärker ausgeprägt als in RENEBAAT I im Jahr 2008 (siehe oben angegebene Werte). Der Hauptgrund hierfür dürfte zum Teil in den unterschiedlichen geografischen Schwerpunkten der beiden Datensätze liegen. Bereits im Jahr 2008 zeigten die beiden naturräumlichen Einheiten D1418 und D4252, die im Jahr 2012 scherpunktmäßig beprobt wurden, eine stärkere Abnahme der Aktivität mit höheren Windgeschwindigkeiten (D1418 im Jahr 2008: 15 % der Aktivität bei $\geq 4 \text{ ms}^{-1}$ und 7 % bei $\geq 5 \text{ ms}^{-1}$; D4252 im Jahr 2008: 25 % der Aktivität bei $\geq 4 \text{ ms}^{-1}$ und 12 % bei $\geq 5 \text{ ms}^{-1}$) als das Mittel aller beprobten WEA. Der Grund hierfür dürfte der höhere Anteil der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, einer windempfindlichen Art, an der Aktivität in diesen Einheiten sein. Darüber hinaus spielten Zufallseffekte in der deutlich kleineren Stichprobe im Jahr 2012 eine größere Rolle.

Auch mehrere in Nordamerika durchgeführte Arbeiten haben mit akustischen Detektoren (ARNETT et al. 2006; REDELL et al. 2006; REYNOLDS 2006) oder mit Wärmebildaufnahmen

(HORN et al. 2008) für größere Höhen über dem Boden einen Zusammenhang von niedrigen Windgeschwindigkeiten und Zeiten mit erhöhter Fledermausaktivität nachgewiesen (kein solcher Zusammenhang fand sich jedoch bei ARNETT et al. 2007). Entsprechendes galt für das vermehrte Auffinden toter Fledermäuse unter WEA nach Nächten mit niedrigen Windgeschwindigkeiten (Übersicht in ARNETT et al. 2008; ARNETT et al. 2009). So wurden an zwei untersuchten Standorten in Pennsylvania und West Virginia 82 % bzw. 85 % der toten Fledermäuse nach Nächten mit einer medianen Windgeschwindigkeit von weniger als 6 ms^{-1} gefunden. 81 % der Nächte, nach denen keine toten Fledermäuse gefunden wurden, hatten eine mediane Windgeschwindigkeit von mehr als 6 ms^{-1} (KERNS et al. 2005). Auch zwei weitere Arbeiten in Tennessee und Iowa zeigten einen Zusammenhang des Fledermausschlags mit niedrigen Windgeschwindigkeiten (FIEDLER 2004; JAIN 2005).

In einer der oben genannten Detektorstudien nahm die Aktivität um 4 - 13 % (Grenzen des 95 % Konfidenzintervalls) pro Erhöhung der Windgeschwindigkeit um 1 ms^{-1} ab (REDELL et al. 2006). In einer anderen Untersuchung verringerte sich die Aktivität um 11 - 39 % pro Erhöhung der Windgeschwindigkeit um 1 ms^{-1} (ARNETT et al. 2006). In den genannten Untersuchungen wurde der Effekt der Windgeschwindigkeit jedoch nicht für die verschiedenen untersuchten Höhen über dem Boden (1,5, 22 und 44 m) differenziert. Bei dem von uns im Jahr 2008 (RENEBAT I) erhobenen Datensatz war die Aktivität im Rotorbereich wesentlich stärker von der Windgeschwindigkeit abhängig als am Boden. Es ist davon auszugehen, dass auch in den genannten Studien anderer Autoren die Abhängigkeit der Aktivität von der Windgeschwindigkeit in größerer Höhe über dem Boden ausgeprägter war als gemittelt über mehrere Höhenstufen (siehe dazu auch die Anmerkung zu den genannten US-Detektor-Studien weiter unten bei der Temperatur).

Unsere Ergebnisse zeigen für die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, die schnellste Abnahme der Aktivität bei höheren Windgeschwindigkeiten. Für diese Art wurden im Transferflug Fluggeschwindigkeiten von etwa 6 ms^{-1} gemessen (KALKO 1991; SIMON et al. 2004). Es überrascht daher nicht, dass diese Art bei Windgeschwindigkeiten $\geq 6 \text{ ms}^{-1}$ kaum noch Aktivität zeigte. Dagegen war die Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, die „windhärteste“ der untersuchten Arten. Dass *P. nathusii* auch bei höheren Windgeschwindigkeiten noch relativ viel Aktivität zeigte, könnte neben einer höheren Toleranz gegenüber hohen Windgeschwindigkeiten zum einen daran liegen, dass die Art relativ spät im Jahr ihr Aktivitätsmaximum zeigte, also zu einer Zeit, in der die Windgeschwindigkeit durchschnittlich höher ist als im Sommer. Zum anderen könnte ein relativ hoher Anteil der Aktivität der Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, auf Zugbewegungen zurückzuführen und damit in geringerem Maße von der Insektenaktivität bestimmt sein, die mit höheren Windgeschwindigkeiten stark abnimmt (CORTEN et al. 2001).

9.6 Aktivität in Abhängigkeit von der Temperatur

Die Aktivitätswerte zeigten in unserer Untersuchung einen Anstieg mit der Temperatur im Bereich bis etwa 30°C (im Datensatz von RENEBAAT I im Jahr 2008 bis 25°C) und eine Abnahme mit der Temperatur für Werte über 30°C (in RENEBAAT I über 25°C). Die Ergebnisse aus RENEBAAT I (2008) und aus RENEBAAT II (2012) waren damit sehr ähnlich, mit einer leichten Verschiebung der Aktivität hin zu höheren Temperaturen in RENEBAAT II im Jahr 2012.

Ähnlich unseren Ergebnissen aus RENEBAAT I und RENEBAAT II wurde bei einer Untersuchung in Pennsylvania (USA) ein positiver Zusammenhang der akustischen Aktivität von Fledermäusen mit der Temperatur bis etwa 19 - 21°C gefunden (ARNETT et al. 2006). Bei höheren Temperaturen nahm auch hier die Aktivität ab. In der genannten Untersuchung war der Effekt nur in 1,5 und 22 m über dem Boden, jedoch nicht in einer Höhe von 44 m über dem Boden zu beobachten. In einer weiteren Untersuchung in Massachusetts (USA) war für die Aktivität in der Höhe von 44 m über dem Boden kein Zusammenhang mit der Temperatur nachzuweisen (ARNETT et al. 2007). Die Autoren der beiden genannten Studien aus den USA erklären die Unterschiede im Temperatureffekt für verschiedene Höhen über dem Boden unter anderem damit, dass die Höhenstufen von unterschiedlichen Frequenztypen (der Ortungsrufe) und damit verschiedenen Fledermausarten dominiert waren (hochfrequenter rufende Arten am Boden, niederfrequenter rufende Arten in größerer Höhe), die unterschiedliche Temperaturempfindlichkeit (z. B. wegen Unterschieden in der Körpermasse oder im Anteil wandernder Tiere) zeigten (zum Zusammenhang von Rufcharakteristika und Jagdhabitat siehe SCHNITZLER et al. 2003). REDELL et al. (2006) zeigten jedoch in einer anderen Arbeit, dass die Aktivität bei tieffrequent rufenden Arten stärker mit der Temperatur zunahm als bei hochfrequent rufende Arten (3 - 9 % für hochfrequent, 7 - 13 % für niederfrequent rufende Arten).

Die genannten Detektor-Studien verwendeten statistische Modelle, bei denen jeweils alle Höhenstufen und Arten (als Frequenztypen) in ein gemeinsames Modell gingen. Es ist möglich, dass dadurch z. B. Effekte für die oberste Höhenstufe (44 m) überdeckt wurden durch die Effekte der niedrigeren Höhenstufen (1,5 und 22 m) mit wesentlich höherer Aktivität, da nicht sämtliche Interaktionen (von Höhenstufe, Frequenztyp und z. B. Temperatur und quadratischem Effekt der Temperatur) gleichzeitig modelliert wurden. Dies gilt auch für den Effekt der Windgeschwindigkeit in diesen Studien, der teilweise gar nicht für Höhenstufen differenziert (also als Interaktion mit der Höhenstufe) dargestellt wurde.

Bei Untersuchungen in Kuppenlagen des Schwarzwalds (BEHR et al. 2007) wurde eine relativ geringe negative Korrelation der Fledermausaktivität an der WEA-Gondel mit

der mittleren Tagestemperatur nachgewiesen. D. h. die Aktivität nahm mit höheren Temperaturen ab. Dies wurde auch in anderen Untersuchungen für Kuppenlagen des Schwarzwaldes beobachtet (eigene Beobachtungen). Für die niedrigsten gemessenen Temperaturen im Untersuchungszeitraum der genannten Studie (etwa 3 bis 5°C) wurde jedoch keine Fledermausaktivität an der WEA-Gondel registriert. Die Ergebnisse der genannten Studien weichen überraschend vom allgemeinen Kenntnisstand zum Verhalten von Fledermäusen und auch zu den Ergebnissen dieses Forschungsvorhabens ab. Möglicherweise sind die Standorte in den Höhenlagen des Schwarzwaldes in bestimmten Aspekten der Fledermausaktivität als Sonderstandorte zu betrachten.

Als sehr gering erwies sich in unserer Untersuchung die Fledermausaktivität bei Temperaturen bis zu 10°C. Bei einer Untersuchung im US-Bundesstaat New York wurde ebenfalls nur wenig Aktivität bei Temperaturen unter 10,5°C nachgewiesen (REYNOLDS 2006).

Bezüglich des mit der Fledermausaktivität einhergehenden Schlagrisikos wurde in einer Untersuchung in den USA an einem Standort kein, an einem zweiten Standort ein schwacher positiver Zusammenhang des Fledermausschlags mit der Temperatur in der vorhergehenden Nacht gefunden (KERNS et al. 2005).

9.7 Insekten- und Fledermausaktivität

ERICKSON et al. (2002) haben darauf hingewiesen, dass regionale und lokale Wetterbedingungen das Verhalten von Fledermäusen während der Nahrungssuche und während der Wanderung beeinflussen können. Fledermäuse verringern ihre Nahrungssuchaktivität in Zeiten von Regen, niedrigen Temperaturen und starkem Wind. Die Autoren vermuten, dass z. B. starker Wind oder niedrige Temperaturen das Verhalten und die Verfügbarkeit von Insekten beeinflussen, was sich wiederum im Verhalten der Fledermäuse widerspiegelt. Andererseits könnten Witterungsbedingungen, die das zeitlich konzentrierte Schlüpfen von Insekten begünstigen, zu kurzzeitigen und lokal begrenzten Aktivitätsmaxima von Fledermäusen führen.

Windgeschwindigkeit und -richtung beeinflussten die Habitatnutzung von Fledermäusen in einer kanadischen Studie: Die Aktivität war auf der Leeseite eines Höhenrückens höher (BARCLAY 1985). In den Niederlanden konnten VERBOOM et al. (1999) zeigen, dass sich die Nahrungssuche und das Gruppenverhalten der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, mit zunehmender Windgeschwindigkeit verstärkt auf die Leeseite von Bäumen konzentrierte.

Eine in Kalifornien durchgeführte Studie beschäftigte sich mit dem aerodynamischen Problem von auf WEA-Rotoren klebenden Insekten (die Rotoren werden durch den Insektenbelag weniger effizient). Es wurde festgestellt, dass dieses Problem durch höheres Insektenaufkommen vornehmlich bei höherer Luftfeuchtigkeit, geringen Windgeschwindigkeiten (weniger als 6 ms^{-1}), Lufttemperaturen von mehr als $10 \text{ }^\circ\text{C}$ und erst ab Ende Juli auftrat (CORTEN et al. 2001; HENSEN 2004). Falls diese Ergebnisse sich auf Mitteleuropa übertragen lassen, könnte im Insektenaufkommen auf Höhe der WEA-Gondel eine Erklärung sowohl für den problematischen Jahreszeitraum als auch für die ermittelten problematischen Windgeschwindigkeiten für Insekten fressende Fledermäuse zu finden sein.

9.8 Vergleich der Fledermausaktivität für die eingesetzten Detektoren

Da in jeder WEA zusätzlich zu einem Batcorder alternativ ein Anabat SD1 oder ein Avisoft-System installiert wurde, war ein direkter Vergleich paralleler Erfassungen nur zwischen Batcorder und Anabat SD1 einerseits und Batcorder und Avisoft-System andererseits möglich.

Alle drei eingesetzten Detektorsysteme verwenden unterschiedliche Algorithmen der Aufnahmesteuerung (z. B. Schwellenwerte und Pre- und Posttrigger). Bei den von uns verwendeten Einstellungen schrieben z. B. der Anabat SD1 und das Avisoft-System längere Sequenzen in eine Datei, während der Batcorder sie in mehrere kurze Abschnitte unterteilte. Um die Aufnahmezahlen der drei Detektortypen vergleichbar zu machen, verwenden wir daher hier nicht die absolute Anzahl von Aufnahmen sondern den Anteil von 10-Minuten-Intervallen, in denen eine Art(gruppe) nachgewiesen wurde (die Fledermausaktivität wurde also bezogen auf 10-Minuten-Intervalle binarisiert in presence/absence Daten – An-/Abwesenheit).

Trotz dieser Binarisierung und dem zeitgleichen Einsatz der Detektoren kann eine Reihe von Ursachen zu unterschiedlichen Zahlen für die beiden Detektortypen führen. Dazu gehören unter anderem

- Mikrofoneigenschaften (Empfindlichkeit, Frequenzgang, Richtcharakteristik – siehe BEHR et al. 2011d; SIMON et al. 2015 in diesem Dokument), wobei der Batcorder und das Avisoft-System dasselbe Mikrofon verwenden
- Unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber Witterungseinflüssen (Feuchtigkeit, Wind, etc.)
- Sensitivitätseinstellungen (BEHR et al. 2011d; SIMON et al. 2015 in diesem Dokument)

- Datenformate und damit unterschiedliche Bestimmbarkeit (Nulldurchgangsana-lyse vs. 500 kHz sample Daten – siehe BEHR et al. 2011d; SIMON et al. 2015 in diesem Dokument)
- Artbestimmung der aufgenommenen Sequenzen (automatisiert vs. manuell)

Dementsprechend wurden auch systematische Unterschiede in den nachgewiesenen Art-häufigkeiten zwischen den Detektorsystemen nachgewiesen.

Für die meisten Art(gruppen) zeigten sowohl der Anabat SD1 als auch das Avisoft-System in etwa doppelt so hohe Aktivitätswerte wie der Batcorder. Das Verhältnis der Aufnah-mezahlen war insbesondere für den Batcorder und das Avisoft-System für verschiedene Artgruppen sehr ähnlich. Im Verhältnis der Aktivitätswerte von Anabat SD1 und Bat-corder waren jedoch Unterschiede zwischen den Arten und Artgruppen zu beobachten. Die Ursache für das je nach Art(gruppe) unterschiedliche Verhältnis der Aktivitätswerte von Anabat SD1 und Batcorder könnte sein, dass der Anabat SD1 ein anderes Mikro-fon verwendet als die beiden anderen Systeme. Die genannten Mikrofontypen besitzen unterschiedliche Frequenzgänge. Rufe unterschiedlicher Arten und Frequenzbereiche werden daher von Batcorder und Avisoft-System einerseits und Anabat SD1 andererseits in unterschiedlicher relativer Häufigkeit aufgenommen.

Am größten waren die Unterschiede zwischen Anabat SD1 und Batcorder beim Großen Abendsegler, *N. noctula*, was jedoch wahrscheinlich vorwiegend durch die Unterschiede zwischen manueller und automatischer Artbestimmung verursacht wurde.

Ein Vergleich der gemessenen akustischen Aktivität zwischen den drei Detektortypen und für verschiedene Windgeschwindigkeiten zeigte ein relativ konstantes Verhältnis der Aufnahmezahlen verschiedener Detektoren. Es wurden also z. B. mit dem Avisoft-System für alle Windgeschwindigkeitsklassen etwa doppelt so viele 10-Minuten-Intervalle mit Aktivität registriert wie mit dem Batcorder. Größere Unterschiede zwischen den verschie-denen Detektortypen, z. B. hinsichtlich der Empfindlichkeit gegenüber Windeinflüssen wurden also nicht nachgewiesen.

9.9 Vergleich der Aktivitätsmessungen für verschiedene Anlagen und Naturräume

Die Naturräume zeigten im hier dargestellten Datensatz aus dem Jahr 2012 wie auch schon im Jahr 2008 (Datensatz von RENEBAT I) ein insgesamt ähnliches akustisches Artenspektrum mit den typischen Unterschieden zwischen östlich und westlich im Bun-desgebiet gelegenen Naturräumen. Die Gruppe Nyctaloid und hier vor allem der Große

Abendsegler, *N. noctula*, traten häufiger im Osten auf, während die Gruppe Pipistrelloid im Westen höhere Anteile hatte. Hierbei zeigte die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, (und wohl auch der nur selten auf Artniveau bestimmte Kleinabendsegler, *N. leisleri*) im Westen den höchsten Anteil. Hohe Aktivitäten der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, und des Kleinabendseglers, *N. leisleri*, an WEA konnten u.a. auch bei akustischen Untersuchungen und Schlagopfernachsuchen im Südwesten des Bundesgebietes nachgewiesen werden (BRINKMANN et al. 2006a; BEHR et al. 2007).

Die Rauhhaufledermaus, *P. nathusii*, vollzieht regelmäßige Fernwanderungen zwischen den Wochenstubegebieten im Nordosten Mitteleuropas und den Überwinterungsgebieten im südwestlichen Europa (Hutterer et al. 2005). Wir konnten *P. nathusii* an vielen der von uns untersuchten WEA-Standorte zur Zugzeit nachweisen.

9.10 Akustische Erfassung der Fledermausaktivität zur Vorhersage und Verringerung des Kollisionsrisikos an WEA

Ein zentraler Bestandteil des Forschungsvorhabens war die hier dargestellte akustische Erfassung der Fledermausaktivität im Rotorbereich von Windenergieanlagen (WEA). Akustisches Monitoring kann dazu verwendet werden, die Aktivität echoortender Fledermäuse zu erfassen und einer Art oder Artgruppe zuzuordnen. Die in diesem Forschungsvorhaben erhobenen Daten zur akustischen Aktivität ermöglichen quantitative Aussagen über das Kollisionsrisiko von Fledermäusen an WEA (siehe dazu KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a; KORNER-NIEVERGELT et al. 2013). Die Daten wurden dazu verwendet, das Schlagrisiko für Fledermäuse an den WEA während der experimentellen Implementierung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen zu bestimmen (siehe dazu BEHR et al. 2015 in diesem Bericht). Akustische Aktivitätsdaten erlauben darüber hinaus die Vorhersage von Zeiten mit erhöhter Aktivität und damit erhöhtem Kollisionsrisiko in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren, Jahreszeit bzw. Monat und Nachtzeit (siehe dazu BEHR et al. 2011c).

Die zeitliche Auflösung akustischer Aktivitätsdaten ist dabei wesentlich höher als die von Schlagopfernachsuchen, die im besten Fall einer täglichen Nachsuche nur Rückschlüsse auf das Kollisionsrisiko während der gesamten vorhergehenden Nacht zulassen. Fragen zu Aktivitätsschwerpunkten im Nachtverlauf, zum Verhalten der Tiere im Rotorbereich oder zum detaillierten Einfluss meteorologischer Parameter auf die Aktivität können mit Schlagopfernachsuchen daher nicht beantwortet werden. Zeitlich präzise Daten zur Aktivität und damit zum Kollisionsrisiko sind also für eine differenzierte Prognose der Gefährdung von Fledermäusen an WEA notwendig. Basierend auf dieser Gefährdungsprognose können dann Maßnahmen (etwa fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen

– siehe dazu BEHR et al. 2011b) getroffen werden, die einerseits ein Maximum der Belange des Artenschutzes abdecken und andererseits zu einer minimalen Beeinträchtigung beim Betrieb von WEA führen. Eine möglichst exakte Vorhersage der Gefährdungszeiträume liegt damit sowohl im Interesse des Artenschutzes als auch im Interesse einer nachhaltigen Energieerzeugung.

Seit Beginn der Arbeiten in RENEBA I und RENEBA II hat sich die Erfassung der akustischen Aktivität zur Untersuchung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an WEA zunehmend etabliert. So wurden in den USA und Kanada, wo bislang kaum Detektoren in der Gondel von WEA installiert wurden, an einigen Standorten vergleichende Untersuchungen zur Fledermausaktivität am Boden und an der Spitze von Messtürmen (30 bis 40 m Höhe) durchgeführt (z. B. ARNETT et al. 2006; ARNETT et al. 2007; BAERWALD et al. 2009). Auch aus England liegt eine solche Studie vor (COLLINS et al. 2009). In Mitteleuropa wurde mittlerweile im Rahmen mehrerer Monitoring-Vorhaben als Bestandteil eingriffsrechtlicher Verfahren auch die Aktivität von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA mit in der Gondel installierten Geräten erfasst (BEHR et al. 2005; ADORF et al. 2006; BEHR et al. 2007; BEUCHER et al. 2010).

Es zeigt sich also, dass eine automatisierte akustische Erfassung der Fledermausaktivität an WEA im Rahmen der Eingriffsplanung einerseits technisch realisierbar ist und andererseits hinsichtlich der Aussagenschärfe und für die Umsetzung von Vermeidungsmaßnahmen große Vorteile mit sich bringt.

10 Literatur

- ADOMEIT, U., O. BEHR, R. BRINKMANN, F. KORNER-NIEVERGELT UND I. NIERMANN (2011): Charakterisierung der Fledermausaktivität im Umfeld von Windenergieanlagen mittels IR-Stereoaufnahmen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 145-176.
- ADORF, F., T. GRUNWALD, B. V. LAAR UND F. SCHÄFER (2006): Neue bioakustische Methoden zur Erfassung der Höhenaktivität von Fledermäusen an geplanten und bestehenden WEA-Standorten. Poster auf der 8. Fachtagung der BAG Fledermausschutz im NABU in Dresden.
- ARNETT, E. B. (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, A final report prepared for the bats and wind energy cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.

- ARNETT, E. B., W. K. BROWN, W. P. ERICKSON, J. K. FIEDLER, B. L. HAMILTON, T. H. HENRY, A. JAIN, G. D. JOHNSON, J. KERNS, R. R. KOFORD, C. P. NICHOLSON, T. J. O'CONNELL, M. D. PIORKOWSKI UND R. D. TANKERSLEY (2008): Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. *J Wildl Manage* 72: 61-78.
- ARNETT, E. B., J. P. HAYES UND M. P. HUSO (2006): Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in south-central Pennsylvania. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- ARNETT, E. B., M. P. HUSO, D. S. REYNOLDS UND M. SCHIRMACHER (2007): Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in northwest Massachusetts. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- ARNETT, E. B., M. R. SCHIRMACHER, M. M. P. HUSO UND J. P. HAYES (2009): Patterns of bat fatality at the Casselman Wind Project in south-central Pennsylvania. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative and the Pennsylvania Game Commission. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- BACH, L. (2001): Fledermäuse und Windenergienutzung – reale Probleme oder Einbildung? *Vogelkdl Ber Niedersachs* 33: 119-124.
- BAERWALD, E. F. UND R. M. R. BARCLAY (2009): Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. *J Mamm* 90: 1341-1349.
- BARCLAY, R. M. R. (1985): Long- versus short-range foraging strategies of hoary (*Lasiurus cinereus*) and silver-haired (*Lasionycteris noctivagans*) bats and the consequences for prey selection. *Can J Zool* 63: 2507–2515.
- BARCLAY, R. M. R., E. F. BAERWALD UND J. C. GRUVER (2007): Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Can J Zool* 85: 381-387.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, K. HOCHRADEL, J. MAGES, A. NAUCKE, M. NAGY, I. NIERMANN, R. SIMON, N. WEBER UND F. KORNER-NIEVERGELT (2015): Experimenteller Test der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 205-269.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011a): Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 177-286.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011b): Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen. - In: Entwicklung

- von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 354-383.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011c): Vorhersage der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 287-322.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND J. MAGES (2011d): Methoden akustischer Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 130-144.
- BEHR, O., D. EDER, U. MARCKMANN, H. METTE-CHRIST, N. REISINGER, V. RUNKEL UND O. V. HELVERSEN (2007): Akustisches Monitoring im Rotorbereich von Windenergieanlagen und methodische Probleme beim Nachweis von Fledermaus-Schlagopfern – Ergebnisse aus Untersuchungen im mittleren und südlichen Schwarzwald. *Nyctalus* 12: 115-127.
- BEHR, O., D. EDER UND O. VON HELVERSEN (2006a): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Kempfenbühl-Schlossbühl“ bei Lahr im Schwarzwald. Erlangen, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der regiowind GmbH, Freiburg.
- BEHR, O., D. GLAUBITZ, U. MARCKMANN, H. METTE-CHRIST, K. MOCH, N. REISINGER UND V. RUNKEL (2006b): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Ittenschwander Horn“ bei Fröhnd im Schwarzwald im Jahr 2005 Erlangen, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Windpark Fröhnd GmbH & Co KG.
- BEHR, O. UND O. VON HELVERSEN (2005): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Roßkopf“ (Freiburg i. Br.): Erlangen, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der regiowind GmbH, Freiburg.
- BEHR, O. UND O. VON HELVERSEN (2006c): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Roßkopf“ (Freiburg i. Br.) im Jahr 2005. Erlangen, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der regiowind GmbH, Freiburg.

- BEUCHER, Y., V. KELM, M. GEYELIN UND D. PICK (2010): Windpark Castelnau Pégayrols (Dep.12), Monitoring von Fledermäusen, Fazit der Untersuchungen im zweiten Betriebsjahr (2009), Zusammenfassung des Berichts März 2010.
- BONTADINA, F. UND T. SATTLER (2006): Grundlagen zur ökologischen Bewertung von zwei Windkraftgebieten in Frankreich aufgrund der Diversität und Aktivität von Fledermäusen – unveröff. Gutachten i.A. von Megawatt Eole GmbH.
- BRINKMANN, R., O. BEHR, B. D. WOLF, J. MAGES, I. NIERMANN UND M. REICH (2011): Anlass, Aufgabenstellung und Studiendesign. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 16-39.
- BRINKMANN, R., K. MAYER, F. KRETZSCHMAR UND J. V. WITZLEBEN (2006a): Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse. Ergebnisse aus dem Regierungsbezirk Freiburg mit einer Handlungsempfehlung für die Praxis. Freiburg, Regierungspräsidium Freiburg, Referat Naturschutz und Landschaftspflege.
- BRINKMANN, R., H. SCHAUER-WEISSHAHN UND F. BONTADINA (2006b): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg, Unveröff. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg, gefördert durch die Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg.
- COLLINS, J. UND G. JONES (2009): Differences in bat activity in relation to bat detector height: implications for bat surveys at proposed windfarm sites. *Acta Chiropterologica* 11: 343-350.
- CORTEN, G. P. UND H. F. VELDKAMP (2001): Insects can halve wind-turbine power. *Nature* 412: 42-43.
- DESHOLM, M. (2003): Thermal Animal Detection System (TADS) – Development of a method for estimating collision frequency of migrating birds at offshore wind turbines, National Environmental Research Institute, Denmark.
- DULAC, P. (2010): Bilan de 3,5 années de suivi de la mortalité des chiroptères sous les éoliennes de Bouin (Vendée). *Symbioses* 25: 32-36.
- DÜRR, T. (2010): Aktueller Auszug aus der bundesweiten Funddatei zu Schlagopfern an Windkraftanlagen.
- DÜRR, T. UND L. BACH (2004): Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergie-Anlagen – Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz Band 7*. Bremen, BUND Landesverband Bremen e. V.: 253-263.
- ERICKSON, J. L. UND S. D. WEST (2002): The influence of regional climate and nightly weather conditions on activity patterns of insectivorous bats. *Acta Chiropterologica* 4: 17-24.

- FIEDLER, J. K. (2004): Assessment of bat mortality and activity at Buffalo Mountain Windfarm, eastern Tennessee. Knoxville, USA, University of Tennessee.
- GANNON, W. L., R. E. SHERWIN UND S. HAYMOND (2003): On the importance of articulating assumptions when conducting acoustic studies of habitat use by bats. *Wildl Soc Bull* 31: 45-61.
- GRUNWALD, T. UND F. SCHÄFER (2007a): Aktivität von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen an bestehenden WEA in Südwestdeutschland. *Nyctalus* 12: 182-198.
- GRUNWALD, T., F. SCHÄFER, F. ADORF UND B. v.LAAR (2007b): Neue bioakustische Methoden zur Erfassung der Höhenaktivität von Fledermäusen an geplanten und bestehenden WEA-Standorten. *Nyctalus* 12: 131-140.
- HAYES, J. P. (2000): Assumptions and practical considerations in the design and interpretation of echolocation-monitoring studies. *Acta Chiropterologica* 2: 225-236.
- HENSEN, F. (2004): Gedanken und Arbeitshypothesen zur Fledermausverträglichkeit von Windenergieanlagen. *Nyctalus* 9: 427-435.
- HOCHRADEL, K., U. ADOMEIT, N. HEINZE, M. NAGY, F. STILLER UND O. BEHR (2015): Wärmeoptische 3D-Erfassung der Fledermausaktivität im Rotorbereich von Windenergieanlagen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 81-100.
- HORN, J. UND E. B. ARNETT (2005): Timing of nightly bat activity and interaction with wind turbine blades. In: 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. E. B. Arnett, A final report prepared for the bats and wind energy cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA: 96-116.
- HORN, J. W., E. B. ARNETT UND T. H. KUNZ (2008): Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *J Wildl Manage* 72: 123-132.
- JAIN, A. A. (2005): Bird and bat behavior and mortality at a northern Iowa wind farm. Ames, USA, Iowa State University.
- JOHNSON, G. D. (2004): Bat activity, composition, and collision mortality at a large wind plant in Minnesota. *Wildl Soc Bull* 32: 1278-1288.
- JOHNSON, G. D. (2005): A review of bat mortality at wind-energy developments in the United States. *Bat research news* 46: 45-49.
- JOHNSON, G. D., W. P. ERICKSON, M. D. STRICKLAND, M. F. SHEPHERD, D. A. SHEPHERD UND S. A. SARAPPO (2003): Mortality of bats at a large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. *Am Midl Nat* 150: 332-342.
- KALKO, E. V. K. (1991): Das Echoortungs- und Jagdverhalten der drei europäischen Zwergfledermausarten, *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber 1774), *Pipistrellus*

nathusii (Keyserling & Blasius 1939) und *Pipistrellus kuhli* (Kuhl 1819). Tübingen, Universität Tübingen.

- KERNS, J., W. P. ERICKSON UND E. B. ARNETT (2005): Bat and bird fatality at wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia. In 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. E. B. Arnett, A final report prepared for the bats and wind energy cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA: 24-95.
- KORNER-NIEVERGELT, F., O. BEHR, I. NIERMANN UND R. BRINKMANN (2011a): Schätzung der Zahl verunglückter Fledermäuse an Windenergieanlagen mittels akustischer Aktivitätsmessungen und modifizierter N-mixture Modelle. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 323-353.
- KORNER-NIEVERGELT, F., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND O. BEHR (2013): Estimating bat and bird mortality occurring at wind energy turbines from covariates and carcass searches using mixture models. PLoS ONE 8: e67997.
- KORNER-NIEVERGELT, F., P. KORNER-NIEVERGELT, O. BEHR, I. NIERMANN, R. BRINKMANN UND B. HELLRIEGEL (2011b): A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. Wildl Biol 17: 350-363.
- 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: 23-85.
- KUNZ, T. H., E. B. ARNETT, B. M. COOPER, W. P. ERICKSON, R. P. LARKIN, T. MABEE, M. L. MORRISON, M. D. STRICKLAND UND J. M. SZEWCZAK (2007a): Assessing impacts of wind-energy development on nocturnally active birds and bats: a guidance document. J Wildl Manage 71: 2449-2486.
- KUNZ, T. H., E. B. ARNETT, W. P. ERICKSON, A. R. HOAR, G. D. JOHNSON, R. P. LARKIN, M. D. STRICKLAND, R. W. THRESHER UND M. D. TUTTLE (2007b): Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. Front Ecol Environ 5: 315-324.
- LAND BAYERN (2011): Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA), 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.
- MAIER, C. (1992): Activity patterns of pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*) in Oxfordshire. J Zool 228: 69-80.
- MAYER, K., J. HURST, I. NIERMANN, M. REICH UND R. BRINKMANN (2015): Planungsvorgaben bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und Betrieb von Windenergieanlagen - eine Recherche bei Behörden und nicht-staatlichen

- Organisationen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 271-315.
- MARCKMANN, U. UND V. RUNKEL (2010): Die automatische Rufanalyse mit dem batcor-der-System. Version 1.01 (August 2010), Runkel, Marckmann und Schuster GbR.
- NIERMANN, I., O. BEHR UND R. BRINKMANN (2007): Methodische Hinweise und Empfehlungen zur Bestimmung von Fledermaus-Schlagopferzahlen an Windenergieanlagen. *Nyctalus* 12: 152-162.
- NIERMANN, I., O. BEHR, R. BRINKMANN, F. KORNER-NIEVERGELT, R. SIMON UND M. REICH (2015): Kollisionsopfersuchen als Grundlage zur Überprüfung der Wirksamkeit von Abschaltalgorithmen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 165-204.
- NIERMANN, I., R. BRINKMANN, F. KORNER-NIEVERGELT UND O. BEHR (2011a): Systematische Schlagopfersuche – Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 40-115.
- NIERMANN, I., S. V. VELTEN, F. KORNER-NIEVERGELT, R. BRINKMANN UND O. BEHR (2011b): Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 384-405.
- REDELL, D., E. B. ARNETT, J. P. HAYES UND M. HUSO (2006): Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in south-central Wisconsin. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- REYNOLDS, D. S. (2006): Monitoring the potential impact of a wind development site on bats in the northeast. *J Wildl Manage* 70: 1219–1227.
- SCHNITZLER, H. U., C. F. MOSS UND A. DENZINGER (2003): From spatial orientation to food acquisition in echolocating bats. *Trends in Ecology & Evolution* 18: 386-394.
- SCHUSTER, E., L. BULLING UND J. KÖPPEL (2015): Consolidating the state of knowledge: a synoptical review of wind energy's wildlife effects. *Environmental management* 56: 300-331.
- SHERWIN, R. E., W. L. GANNON UND S. HAYMOND (2000): The efficacy of acoustic techniques to infer differential use of habitat by bats. *Acta Chiropterologica* 2: 145-153.

- SHIEL, C. B. UND J. S. FAIRLEY (1998): Activity of Leisler's bat *Nyctalus leisleri* (Kuhl) in the field in south-east county Wexford, as revealed by a bat detector. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*: 105-112.
- SIMON, M., S. HÜTTENBÜGEL UND J. SMIT-VIERGUTZ (2004): Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Dörfern und Städten. Bonn - Bad Godesberg, BfN. 76.
- SIMON, R., K. HOCHRADEL, J. MAGES, M. NAGY, A. NAUCKE, I. NIERMANN, N. WEBER UND O. BEHR (2015): Methoden der akustischen Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 39-80.
- SPEAKMAN, J. R. UND P. A. RACEY (1991): No cost of echolocation for bats in flight. *Nature* 350: 421-423.
- VERBOOM, B. UND K. SPOELSTRA (1999): Effects of food abundance and wind on the use of tree lines by an insectivorous bat, *Pipistrellus pipistrellus*. *Can J Zool* 77: 1393-1401.
- WELLER, T. J. UND J. A. BALDWIN (2011): Using echolocation monitoring to model bat occupancy and inform mitigations at wind energy facilities. *J Wildl Manage.*
- YOUNG, D. P., W. P. ERICKSON, M. D. STRICKLAND, R. E. GOOD UND K. J. SERNKA (2003): Comparison of avian responses to UV-light-reflective paint on wind turbines. Cheyenne, Wyoming, Western EcoSystems Technology, Inc.

Kollisionsopfersuchen als Grundlage zur Überprüfung der Wirksamkeit von Abschaltalgorithmen

IVO NIERMANN^a, OLIVER BEHR^b, ROBERT BRINKMANN^c, FRÄNZI KORNER-NIEVERGELT^d,
RALPH SIMON^b, MICHAEL REICH^a

a Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

b Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik, Erlangen

c FrInaT, Freiburger Institut für angewandte Tierökologie GmbH, Freiburg

d oikostat GmbH, Ettiswil (CH)

Inhalt

1	Zusammenfassung	166
2	Anlass und Ziel.	167
3	Methoden	168
3.1	Untersuchungsgebiete und -zeiträume	168
3.2	Kollisionsopfersuchen	171
3.3	Methodisch bedingte Fehler.	173
3.4	Hochrechnung der Kollisionsopferzahlen.	173
3.5	Weitere methodische Untersuchungen	174
4	Ergebnisse.	176
4.1	Kollisionsopfersuchen	176
4.2	Methodisch bedingte Fehler.	182
4.3	Hochrechnung der Kollisionsopferzahlen.	185
4.4	Weitere methodische Untersuchungen	187

5	Diskussion.	194
5.1	Kollisionsopfersuchen	194
5.2	Methodisch bedingte Fehler.	196
5.3	Hochrechnung der Kollisionsopferzahlen.	198
5.4	Weitere methodische Untersuchungen	198
6	Literatur.	200
7	Anhang	202

1 Zusammenfassung

Als Bestandteil des Forschungsvorhabens RENEBAT II zur „Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“ war es Aufgabe des vorliegenden Beitrags, die Anzahl der an den untersuchten Windenergieanlagen kollidierten Opfer zu ermitteln und diese einer der beiden untersuchten Betriebsarten zuzuordnen. Auf diese Weise sollte die Wirksamkeit der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen ermittelt werden. Diese waren in den 16 untersuchten Windenergieanlagen implementiert und wurden dort im Wechsel mit dem Normalbetrieb getestet. Alle sieben Tage wurde der Betrieb zwischen den beiden Anlagen eines Windparks gewechselt.

Die untersuchten Windenergieanlagen befanden sich in fünf verschiedenen naturräumlichen Regionen Deutschlands und wurden täglich im Zeitraum vom 04.07. bis zum 11.10.2012 abgesucht. In der Summe wurden 1596 Suchen durchgeführt. Gefunden wurden 39 Fledermauskollisionsoffer aus sieben Arten. Die Mehrzahl der Individuen war jenen Arten zuzuordnen, die auch bundesweit besonders häufig zu den Kollisionsopfern zählen. Zu nennen sind insbesondere der Abendsegler, die Rauhhautfledermaus, die Zwergfledermaus, der Kleinabendsegler und die Zweifarbfledermaus. Daneben wurden Individuen der Mückenfledermaus und der Breitflügelfledermaus gefunden. Weiterhin wurden das Alter und das Geschlecht der Individuen festgestellt sowie die Entfernung zwischen den Opfern und dem Mastfuß der Anlagen.

Um die zentrale Frage nach der Wirksamkeit der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen zu klären, mussten die Kollisionsopfer einer der beiden Betriebsarten (fledermausfreundlicher oder normaler Betrieb) zugeordnet werden. Dies erfolgte über eine Einschätzung des Todeszeitpunktes. Um die Zuordnung abzusichern, wurden für die Validierung der Wirksamkeit nur jene Tiere berücksichtigt, die in der Nacht vor der Suche kollidiert sind. Das waren 21 von 39 Tieren. Von den 21 Tieren wurden drei

nach Nächten im fledermausfreundlichen Betrieb gefunden und 18 nach Nächten im Normalbetrieb.

Im Hinblick auf die Hochrechnung der Gesamtzahl der Kollisionsoffer wurden an den Anlagen die wesentlichen Suchfehler quantifiziert. Dies war die absuchbare Fläche unter den Anlagen, die anlagenspezifische Verbleiberate der Fledermäuse sowie die personenspezifische Sucheeffizienz in drei verschiedenen Sichtbarkeitsklassen. Die Kollisionsrate (pro Nacht) betrug im Experiment für Nächte mit fledermausfreundlichem Betrieb 0,0108 und für Nächte mit Normalbetrieb 0,0650. Das Verhältnis der Kollisionsrate bei Normalbetrieb zu jenem bei fledermausfreundlichem Betrieb betrug also ca. 6:1.

In einer ergänzenden Untersuchung konnte festgestellt werden, dass es in der Regel keinen Unterschied macht, ob die Labormäuse, die der Ermittlung der Verbleiberate dienen, morgens oder abends an den Anlagen ausgelegt werden. Nach den vorliegenden Ergebnissen sollte der Auslegezeitpunkt lediglich im offenen Gelände und bei kurzen Suchintervallen berücksichtigt werden. Eine weitere methodenkritische Untersuchung wurde durchgeführt. In dieser wurden die Möglichkeiten geprüft, bei den Kollisionsoffersuchen GPS-Logger zur Kontrolle z. B. der angestrebten, gleichmäßigen Untersuchungsintensität einzusetzen.

2 Anlass und Ziel

Das durchgeführte Forschungsvorhaben RENEBAAT II hatte zum Ziel, die fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen, die im Rahmen von RENEBAAT I entwickelt wurden (BEHR et al. 2011), unter realen Bedingungen in Windenergieanlagen (WEA) zu implementieren und die Wirksamkeit dieser Maßnahme zu überprüfen. Dabei sollte nicht nur untersucht werden, ob die angestrebte Reduktion der Kollisionsoffer erreicht werden konnte, sondern ob dies auch im Rahmen der prognostizierten Ertragsverluste möglich war. Um die angestrebte Reduktion der Fledermauskollisionen untersuchen zu können wurde – neben der akustischen Erfassung der Fledermäuse in Gondelhöhe – eine weitere, von der Bioakustik unabhängige Untersuchungsmethode eingesetzt: die Kollisionsoffersuche. Diese seit vielen Jahren etablierte Methode ermöglicht die Quantifizierung des Kollisionsrisikos an den WEA. Zusätzlich ist es mit dieser Methode möglich, weitere Daten über die Kollisionsoffer zu gewinnen, wie z. B. die betroffenen Arten, Altersgruppen, Geschlechter sowie Hinweise auf die Todesursache und die Herkunft der Kollisionsoffer.

Im Zusammenspiel mit den übrigen Bestandteilen des Forschungsvorhabens RENEBAI II „Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“ verfolgt der vorliegende Beitrag insbesondere folgende Ziele:

- Bereitstellung der Daten zu den Kollisionsopfern als Beitrag zur Überprüfung der Wirksamkeit der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen;
- die Weiterentwicklung der Methodik der Kollisionsopfersuche (morgens vs. abends, Verwendung von GPS-Loggern); und
- weitere Informationen über die gefundenen Kollisionsopfer zur Spezifizierung der Empfindlichkeit von unterschiedlichen Arten gegenüber dem Kollisionsrisiko zu gewinnen.

Das erstgenannte Ziel war die zentrale Forschungsfrage dieses Forschungsvorhabens. Daher wurde die Untersuchung auf die Klärung dieser Frage ausgerichtet. Dies betraf nicht nur die Auswahl der Anlagen (es wurden Anlagen mit einer hoher Fledermausaktivität ausgesucht), sondern auch das Untersuchungsdesign (siebentägiger Wechsel der Betriebsart innerhalb eines Windparks). Weiteren Angaben zur allgemeinen Methodik finden sich bei BEHR et al. (2015). Zugunsten dieses Untersuchungsansatzes mussten bestimmte Abstriche bei einzelnen anderen Fragen gemacht werden. Durch den wiederholten Wechsel der Betriebsarten an den WEA war es z. B. nicht sinnvoll, aus der Gesamtzahl der Kollisionsopfer an einer WEA eine Hochrechnung aller verunglückten Tiere zu berechnen, da diese Zahl die Opfer des Normalbetriebs und die des fledermausfreundlichen Betriebs beinhalten würde.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die möglichst präzise Ermittlung der Entdeckungswahrscheinlichkeit der kollidierten Fledermäuse, als Grundlage für die Bewertung der Wirksamkeit der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen. Die Konzentration auf die spezielle Fragestellung führte daher, im Vergleich zum Bericht des Forschungsvorhabens RENEBAI I (NIERMANN et al. 2011), zu anders gelagerten Auswertungen im Detail bei grundsätzlich ähnlichem Aufbau des Beitrags.

3 Methoden

3.1 Untersuchungsgebiete und -zeiträume

Die Kollisionsopfersuchen fanden parallel zu den akustischen Untersuchungen im Jahr 2012 statt. Diese Suchen konzentrierten sich auf 16 Windenergieanlagen in acht

Windparks (siehe Tabelle 1) in Deutschland. Diese Parks lagen in fünf naturräumlichen Regionen Deutschlands, die ihrerseits drei Großlandschaften zuzuordnen sind.

Tabelle 1 Anzahl der untersuchten WEA in den naturräumlichen Regionen bzw. Großlandschaften Deutschlands (BfN 2008)

Nr.	Bezeichnung	Großlandschaft	Anzahl WEA
D02	Nordostmecklenburgisches Flachland	Nordostdeutsches Tiefland	2
D12	Mittelbrandenburgische Platten		2
D14	Oberlausitz	Östliche Mittelgebirge	2
D18	Thüringer Becken mit Randplatten		6
D52	Saar-Nahe-Berg- und Hügelland	Westliche Mittelgebirge	4
	Summe		16

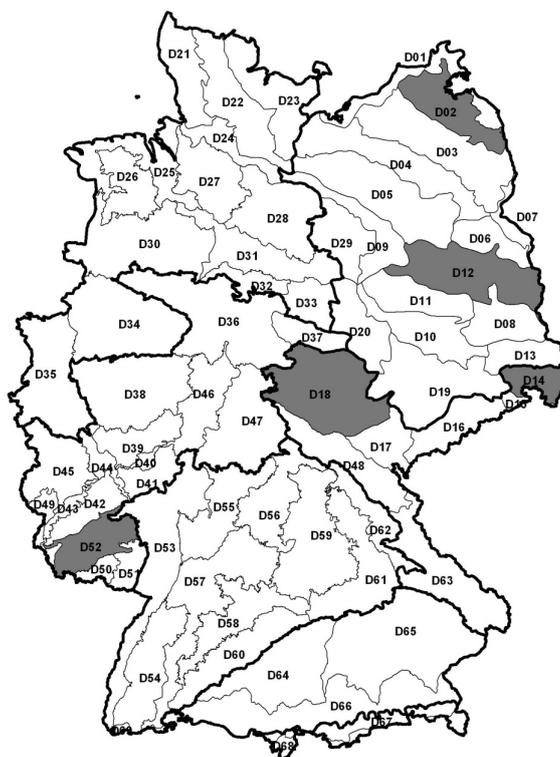


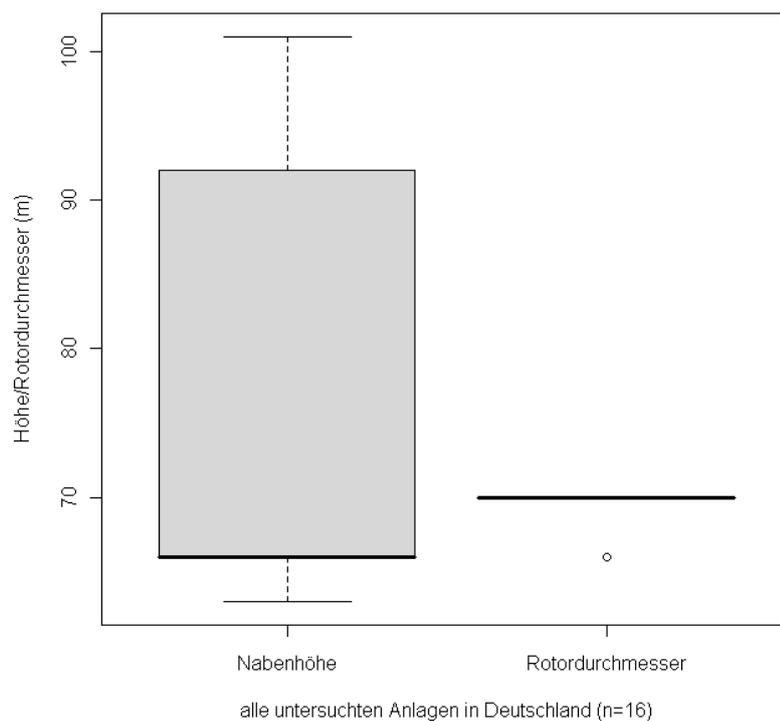
Abbildung 1 Naturräumliche Regionen Deutschlands, in denen die Untersuchung durchgeführt wurden (Kartengrundlage BfN 2008)

Da es sich bei allen untersuchten Anlagen um zuvor mindestens akustisch beprobte Anlagen handelte, werden nachfolgend jene Kürzel verwendet, wie sie bereits für RENEBAT I (BRINKMANN et al. 2011) eingeführt wurden (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2 Kürzel der in Deutschland untersuchten Anlagen

Nr.	Bezeichnung	Anlagen-Kürzel
D02	Nordostmecklenburgisches Flachland	D0203a, D0203b
D12	Mittelbrandenburgische Platten	D12a, D12b
D14	Oberlausitz	D1418a, D1418b, D1418i, D1418j,
D18	Thüringer Becken mit Randplatten	D1418k, D1418l, D1418m, D1418n
D52	Saar-Nahe-Berg- und Hügelland	D4252g, D4252h, D4252m, D4252n

Bei den untersuchten WEA in Deutschland handelte es sich ausnahmslos um Anlagen der Fa. ENERCON des Typs E-66. Der Median der Nabenhöhe der 16 untersuchten Anlagen lag bei 66 m Höhe (mit einer Streuung von 63 m bis 101 m Höhe). Der Rotordurchmesser der untersuchten Anlagen war einheitlicher, er betrug im Median 70 m (mit einer Streuung von 66 m bis maximal 70 m Rotordurchmesser) (siehe Abbildung 2).

**Abbildung 2** Nabenhöhen und Rotordurchmesser der untersuchten Anlagen in Deutschland (n=16)

Um die Suchbedingungen unter den Anlagen zu optimieren wurden zum Teil Pflegemaßnahmen durchgeführt (siehe Tabelle 3). Diese Maßnahmen bestanden in erster Linie in der Mahd von zugewachsenen Flächen. Dabei wurden aber nur in wenigen Fällen die landwirtschaftlichen Kulturen unter den Anlagen beseitigt. Vielmehr bestand die Pflege in der Regel darin, die sonstigen, d. h. landwirtschaftlich nicht genutzten Flächen für eine

Suche zu optimieren. Gerade bei älteren Anlagen wachsen nicht nur die Flächen unmittelbar um den Mastfuß zu, sondern zum Teil auch die geschotterten Kranstellplätze. Die Pflege bezog sich daher meist auf nur kleine Flächenanteile, die aber aufgrund ihrer Nähe zum Mastfuß Bedeutung haben. Die Pflegemaßnahmen wurden an einzelnen Anlagen mehrfach durchgeführt.

Tabelle 3 Optimierung der Absuchbarkeit durch Pflegemaßnahmen unter den Anlagen

Nr.	Bezeichnung	Absuchbarkeit optimiert	übrige Anlagen
D02	Nordostmecklenburgisches Flachland	D0203a, D0203b	
D12	Mittelbrandenburgische Platten	D12a, D12b	
D14	Oberlausitz	D1418a, D1418b,	D1418i, D1418j,
D18	Thüringer Becken mit Randplatten	D1418l, D1418m, D1418n	D1418k,
D52	Saar-Nahe-Berg- und Hügelland	D4252g, D4252h, D4252m, D4252n	

Die Kollisionsopfersuchen fanden an allen Anlagen täglich im Zeitraum vom 04.07. bis zum 11.10.2012 statt. Ziel war es dabei, einen Untersuchungszeitraum von 14 Wochen abzudecken. Die Summe der Untersuchungstage betrug 100 Tage je Anlage. In zwei Windparks gab es jeweils einen ungültigen Untersuchungstag. Auf diese Weise summiert sich die Anzahl aller Nachsuchen an den 16 WEA in Deutschland auf insgesamt 1596 Suchen (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4 Anzahl der durchgeführten Nachsuchen je naturräumliche Regionen bzw. Großlandschaft (nach BfN 2008)

Nr.	Naturräumliche Region	Großlandschaft	Anzahl der Nachsuchen
D02	Nordostmecklenburgisches Flachland	Nordostdeutsches Tiefland	200
D12	Mittelbrandenburgische Platten		200
D14	Oberlausitz	Östliche Mittelgebirge	200
D18	Thüringer Becken mit Randplatten		596
D52	Saar-Nahe-Berg- und Hügelland	Westliche Mittelgebirge	400
		Summe	1596

3.2 Kollisionsopfersuchen

Der Fokus des vorliegenden Forschungsberichts lag auf der Validierung der Wirksamkeit der vorgeschlagenen fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen (BEHR et al. 2011).

Diese Validierung kann z. B. mittels akustischer Aufzeichnung erfolgen. Die andere, direkte Möglichkeit ist die parallele Durchführung einer Kollisionsopfersuche unter den WEA. Die Methodik der Kollisionsopfersuche war in den wesentlichen Aspekten mit der Erfassungsmethodik des Forschungsvorhabens RENEBAAT I identisch (siehe NIERMANN et al. 2011).

Das Untersuchungsdesign des vorliegenden Feldexperiments sah einen siebentägigen Wechsel des Betriebs mit bzw. ohne Abschaltalgorithmus vor (siehe dazu auch BEHR et al. 2015). Dabei wurden die beiden Anlagen in einem Windpark jeweils wechselnd mit bzw. ohne Abschaltalgorithmus betrieben. Dabei war weder den Nachsuchenden im Gelände noch dem Mitarbeiter, der für die Koordination der Nachsuchen zuständig war, während der Untersuchung bekannt, welche WEA in welcher Betriebsform lief.

Um die aufgefundenen Tiere der richtigen Betriebsform zuordnen zu können, musste die Schätzung des Todeszeitpunktes besonders gründlich vorgenommen werden. Diese erfolgte über den (Zerfalls-) Zustand der gefundenen Fledermäuse. Dabei wurde nur zwischen „frischtoten“ Tieren (d. h. die in der letzten Nacht verunglückt sind) und solchen Tieren unterschieden, die zum Fundzeitpunkt sehr wahrscheinlich schon länger tot waren (siehe Tabelle 5). Die Kadaver der letztgenannten Gruppe wurden bei der Frage der Zuordnung der Kollisionsopfer zu einer der beiden Betriebsarten nicht berücksichtigt, weil die Unsicherheit bei der Einstufung des Kollisionszeitraumes mit zunehmender zeitlicher Entfernung zunimmt.

Tabelle 5 Merkmale zur Einstufung des wahrscheinlichen Kollisionszeitraumes

Kollisionszeitraum	Merkmale
in der letzten Nacht (vor weniger als 16 Std.)	<ul style="list-style-type: none"> • Tier lebendig • Augen sind nicht dehydriert, d. h. sie sind rund gefüllt, nicht eingefallen • kein Leichengeruch • i. d. R. keine Fliegeneier und -maden (gilt für sehr frühe Suchen am Tag) (SCHIRMACHER schriftl. Mitt.) • frisches Blut, frische offene Wunden der letalen Wunden
vor der letzten Nacht (vor mehr als 16 Std.)	<ul style="list-style-type: none"> • Augen sind mehr oder weniger dehydriert, im weiteren Verlauf trocknen auch die Tiere ein • mehr oder weniger deutlicher Leichengeruch • Fliegeneier und -maden, Fliegenpuppen (Puparien) • Blut und offene Wunden getrocknet • sekundäre, d. h. postmortale Verletzungen durch Prädatoren (Fraß durch Wespen, Schnecken, Ameisen etc.) angefangen an den Körperöffnungen bis hin zur partiellen Skelettierung. • Fell ohne Glanz, verdeckt

3.3 Methodisch bedingte Fehler

Um auch die Ergebnisse dieser Schlagopfersuchen hochrechnen zu können, war eine Erfassung der methodisch bedingten Fehler nötig. Wie bei RENEBAAT I wurden auch bei dieser Untersuchung die wichtigsten Suchfehler quantifiziert:

- die absuchbaren Flächenanteile innerhalb eines Suchradius von 50 m um die WEA,
- die anlagenspezifische Verbleiberate der Fledermäuse, d. h. der Anteil der toten Tiere, der trotz der Aktivität von Prädatoren innerhalb eines Suchintervalls unter den Anlagen verbleibt, sowie
- die personenspezifische Sucheeffizienz in drei verschiedenen Typen von Sichtbarkeitsklassen.

Eine vollständige Darstellung der Methoden zur Erhebung dieser Fehler kann NIERMANN et al. (2011) entnommen werden.

3.4 Hochrechnung der Kollisionsofferzahlen

Für die Hochrechnung der Kollisionsofferzahlen wurden nur frische Kollisionsoffer verwendet, so dass angenommen werden kann, dass alle gefundenen Kollisionsoffer in der letzten Nacht verunglückt sind (siehe Kap. 3.2). Die Wahrscheinlichkeit, dass eine verunglückte Fledermaus gefunden wird, wird als Produkt aus dem Anteil in eine absuchbare Fläche gefallener Fledermäuse a , der täglichen Verbleiberate s und der Sucheeffizienz f berechnet:

$$p_{i,t} = a_{i,t} * s_i * f_{p[i,t]}$$

wobei i der Index für die Anlage, t der Index für den Tag und $p[i,t]$ die Wahrscheinlichkeit ist, dass eine am Tag t an der Anlage i kollidierte Fledermaus durch eine Suchperson gefunden wird. Wir verwendeten also die bei Brinkmann et al. (2011) als „einfache Formel“ bezeichnete Methode, welche annimmt, dass keine Schlagopfer, die während einer Nachsuche übersehen werden, später gefunden werden können. Diese Formel ist hier angemessen, da explizit nur frische Kollisionsoffer verwendet wurden, also jene, die in der vorangegangenen Nacht verunglückt sind.

Die Entdeckungswahrscheinlichkeit wurde für jede Anlage und jeden Tag separat gerechnet, da sich der Anteil abgesuchter Fläche sowie die Suchpersonen zwischen den Tagen unterscheiden.

Erstellt wurden zwei Hochrechnungen. Mit der Ersten wurde die Summe der Kollisionsopfer über alle Anlagen je Betriebsform errechnet. Hierbei wurde der Mittelwert der täglichen Entdeckungswahrscheinlichkeiten über alle Anlagen und Tage je Betriebsart (mit dem Satz von Bayes) berechnet. Auf eine Berechnung der Unsicherheitsintervalle wurde dabei verzichtet. Mit der zweiten Hochrechnung wurde die Anzahl der Kollisionsopfer je Anlage und Betriebsart (fledermausfreundlicher Betrieb vs. Normalbetrieb) errechnet. Eingegangen in die Berechnung ist auch hier die Summe der gefundenen Kollisionsopfer und die gemittelte Entdeckungswahrscheinlichkeit, allerdings mit dem jeweiligen Vertrauensintervall. Die Hochrechnung erfolgte mittels Satz von Bayes und Monte-Carlo-Simulation.

3.5 Weitere methodische Untersuchungen

3.5.1 Einfluss des Auslegezeitpunktes auf die Verbleiberate

Die Verbleiberate der Fledermäuse unter den WEA wird in der Praxis quantifiziert, indem als Ersatz für die Fledermäuse vergleichbar große Tiere (z. B. Labormäuse) ausgelegt werden, um zu untersuchen, wie lange diese auf den Flächen verbleiben. Dabei werden die Tiere in der Regel morgens – in Zusammenhang mit den regulären Suchen nach Kollisionsopfern – ausgelegt. Einerseits entfällt auf diese Weise eine zusätzliche Anfahrt zu den untersuchten Anlagen, andererseits liegen die Modellorganismen dann bereits ca. 24 Stunden, bevor ihre Absenz oder Präsenz das nächste Mal kontrolliert wird. Diese Zeitspanne ist damit deutlich länger, als wenn die Modellorganismen nur über Nacht oder einen Teil der Nacht gelegen hätten. Geprüft werden sollte, welchen Einfluss der Auslegezeitpunkt (abends oder morgens) auf die Verbleiberate hat.

Die Untersuchungen fanden in der Naturräumlichen Region „Mittelbrandenburgische Platten“ (D12) im Jahr 2009 statt. Dort wurden an sieben Tagen im Zeitraum vom 18.08. bis 27.08.2009 dunkle Labormäuse ausgelegt. Die Untersuchung wurde als Paarvergleich angelegt, d. h. an jeder einzelnen WEA wurde jeweils morgens und abends eine Labormaus ausgelegt und dann einmal täglich der Verbleib der Tiere kontrolliert (wie in der Praxis üblich morgens). Insgesamt wurden in diesem Versuch 232 Tiere, d. h. 116 Paare ausgelegt. Ein Teil der Paare konnte bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden, da einzelne Tiere erkennbar durch andere Einflüsse als Prädatoren von der Fläche verschwanden (i. d. R. durch landwirtschaftliche Bodenbearbeitung). Dies betraf insgesamt acht Paare, so dass die Ergebnisse von 108 Paaren in die Auswertung eingingen. Diese Paare lagen an insgesamt 57 verschiedenen WEA in der genannten naturräumlichen Region.

Die Analyse erfolgte mit einem Cox Proportional Hazard Modell für die 216 Tiere, für die die Sichtbarkeitsklasse, in der sie lagen, bekannt war. Als erklärende Variablen wurde der Auslagezeitpunkt und die Sichtbarkeitsklasse verwendet. In einem ersten Modell nahmen wir an, dass die Veränderung der Verbleiberate mit dem Alter der Kadaver in allen Gruppen gleich wäre. Das ist in diesem Fall vermutlich nicht gegeben, weil wir erwarten müssen, dass jene Tiere, die am Abend ausgelegt wurden, nur am ersten Tag zu einem geringeren Anteil verschwinden als jene, die am Morgen ausgelegt wurden. Für alle folgenden Tage erwarteten wir keinen Unterschied, denn ab diesem Zeitpunkt war die Zeitspanne zwischen den Nachsuchen für beide Gruppen gleich groß. Falls jedoch große Unterschiede zwischen den an verschiedenen Zeitpunkten ausgelegten Tieren bestünden, oder falls der halbe Tag Unterschied im Alter einen Einfluss auf die mittlere Verbleibedauer hätte, würden wir das in diesem ersten Modell erkennen. Zudem dient dieses Modell dazu, die Unterschiede in der Verbleibedauer in verschiedenen Sichtbarkeitsklassen zu messen.

In einem zweiten Modell wurden die abends und morgens ausgelegten Tiere separat analysiert. Das Ziel dieser Analyse war es, die Verbleibewahrscheinlichkeit vom Auslegen bis zur ersten Nachsuche zwischen den beiden Gruppen zu vergleichen.

3.5.2 Begleitung von Kollisionsopfersuchen mit GPS-Loggern

Für die Durchführung von Kollisionsopfersuchen werden Vorgaben gemacht, die darauf abzielen, die Vergleichbarkeit der Suchen sicherzustellen. So sollte z. B. die Absuchgeschwindigkeit auf Flächen gleicher Sichtbarkeitsklassen gleichbleibend sein. Mit dem Aufkommen von preisgünstigen GPS-Loggern besteht nun die Möglichkeit, zu prüfen, inwieweit die Vorgaben umgesetzt wurden.

Für die Untersuchung wurde ein handliches, preisgünstiges und möglichst einfach zu bedienendes Gerät gesucht, welches jedoch insbesondere den Export der aufgezeichneten GPS-Punkte aus dem Logger in ein Geoinformationssystem ermöglichen sollte. Nach einer cursorischen Marktanalyse fiel die Entscheidung für den GPS Daten Logger „GT-730“, der über die Fa. Conrad Electronic SE¹ vertrieben wird. Das Gerät hat einen Schalter (zum an- und ausschalten) und einen Knopf, mit dem die Positionsfixierungen gestartet werden können. Die Voreinstellungen an den Loggern wurden so vorgenommen, dass alle fünf Sekunden oder alle zwei Meter eine Positionsfixierung gespeichert wurde. Diese Logger wurden allen Nachsuchenden zur Verfügung gestellt. Sie sollten während der Suchen angestellt werden.

1 <http://www.conrad.de/ce/de/product/373686/GPS-Datenlogger-GT-730>

4 Ergebnisse

4.1 Kollisionsopfersuchen

4.1.1 Anzahl der gefundenen Tiere und betroffenen Arten

Insgesamt wurden 39 Kollisionsopfer unter den untersuchten Anlagen gefunden. Unter ihnen befanden sich Individuen von sieben Arten (Tabelle 6). Der Abendsegler führt die Liste der Schlagopfer mit 16 Individuen an. Gefolgt wird er von der Rauhhautfledermaus mit 12 Individuen und der Zwergfledermaus mit 4 gefundenen Tieren. Gefunden wurden außerdem drei Mückenfledermäuse, zwei Kleinabendsegler sowie eine Zweifarbfledermaus und eine Breitflügelfledermaus. Von den gefundenen Tieren befand sich zum Fundzeitpunkt noch ein Tier – ein Abendsegler – am Leben.

Tabelle 6 Anzahl und Anteil der Kollisionsopfer der unter den untersuchten deutschen Windenergieanlagen gefundenen Fledermäuse (n=39)

Art	Anzahl	Anteile v.H. (gerundet)
Abendsegler (<i>Nyctalus noctula</i>)	16	41 %
Rauhhautfledermaus (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	12	31 %
Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	4	10 %
Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)	3	8 %
Kleinabendsegler (<i>Nyctalus leisleri</i>)	2	5 %
Zweifarbflödermaus (<i>Vespertilio murinus</i>)	1	3 %
Breitflügelfledermaus (<i>Eptesicus serotinus</i>)	1	3 %

Es gab Unterschiede in der Anzahl der gefundenen Kollisionsopfer je naturräumlicher Einheit. Dabei sind neben der Anzahl der abgesuchten Anlagen je Naturraum (siehe Tabelle 1) auch die Zahl der durchgeführten Nachsuchen (siehe Tabelle 4) zu berücksichtigen. Auch die Suchbedingungen an den einzelnen Anlagen haben einen Einfluss auf die Möglichkeit Tiere zu finden. Dennoch fällt auf, dass die Anlagen in der Oberlausitz und im Thüringer Becken die mit Abstand höchsten Kollisionsopferzahlen erbrachten, während an den vier Anlagen im Saar-Nahe-Berg- und Hügelland (bei der Hälfte der durchgeführten Nachsuchen) lediglich vier Tiere gefunden wurden (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7 Anzahl der Kollisionsopfer in den naturräumlichen Regionen (n=39)

Nr.	Naturräumliche Region	Großlandschaft	Kollisionsopfer	Anzahl Suchen
D02	Nordostmecklenburgisches Flachland	Nordostdeutsches Tiefland	12	200
D12	Mittelbrandenburgische Platten			200
D14	Oberlausitz	Östliche Mittelgebirge	23	200
D18	Thüringer Becken mit Randplatten			596
D52	Saar-Nahe-Berg- und Hügelland	Westliche Mittelgebirge	4	400
		Summe	39	1596

4.1.2 Regionale Artenzusammensetzung

Die Zusammensetzung der gefundenen Kollisionsopfer unter den WEA in den naturräumlichen Regionen ist in Tabelle 8 dargestellt. Alle untersuchten naturräumlichen Regionen waren durch mehr als eine betroffene Fledermausart gekennzeichnet. In der Region D18 wurden nur zwei Arten festgestellt, während in der Region D1418 sechs Arten festgestellt wurden. Der Abendsegler wurde – genauso wie die Rauhhaufledermaus – in vier der fünf untersuchten Regionen festgestellt. Alle anderen Arten konzentrieren sich scheinbar auf deutlich weniger Räume, sind aber auch seltener gefunden worden (siehe Tabelle 6).

Tabelle 8 Artenzusammensetzung der Kollisionsopfer (n=39) in den naturräumlichen Regionen

Art	D02	D12	D1418	D52
Abendsegler (<i>Nyctalus noctula</i>)	-	4	10	2
Rauhhaufledermaus (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	2	2	8	-
Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	1	2	-	1
Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)	1	-	2	-
Kleinabendsegler (<i>Nyctalus leisleri</i>)	-	-	1	1
Zweifarbflödermaus (<i>Vespertilio murinus</i>)	-	-	1	-
Breitflügelödermaus (<i>Eptesicus serotinus</i>)	-	-	1	-
Summe	4	8	23	4

4.1.3 Phänologie

Der Untersuchungszeitraum war grundsätzlich auf ca. 14 Wochen ausgelegt, d. h. auf einen Zeitraum von ca. 100 Tagen. Die Fundzeitpunkte der Kollisionsopfer sind in Abbildung 3 dargestellt. An den niedrigen Kollisionsopferzahlen zu Beginn und am Ende der Untersuchung sowie den höheren Zahlen in der Mitte der Untersuchungszeit ist erkennbar, dass die Untersuchung den Zeitraum einschloss, in dem der größte Teil der Kollisionen stattfand. Zu Beginn der Untersuchung wurden lediglich einzelne Zwergfledermäuse und eine Rauhhautfledermaus gefunden. Ab der 30. KW, also der letzten Dekade des Julis, wurden vermehrt Funde registriert. Vor allem der Abendsegler trat nun als Kollisionsopfer auf. Ab der dritten Dekade des Augusts wurde auch eine größere Anzahl von Rauhhautfledermäusen gefunden. Im Untersuchungsjahr wurden nach der 36. KW nur noch vereinzelt Tiere entdeckt. In der Summe wurden in den zentralen sieben Wochen 34 Kollisionsopfer gefunden (87 %). Einen ausgesprochenen Höchstwert erreicht die Anzahl der Kollisionsopfer in keiner Kalenderwoche, vielmehr werden in der 32., 34. und 36. KW jeweils sechs verunglückte Tiere gefunden.

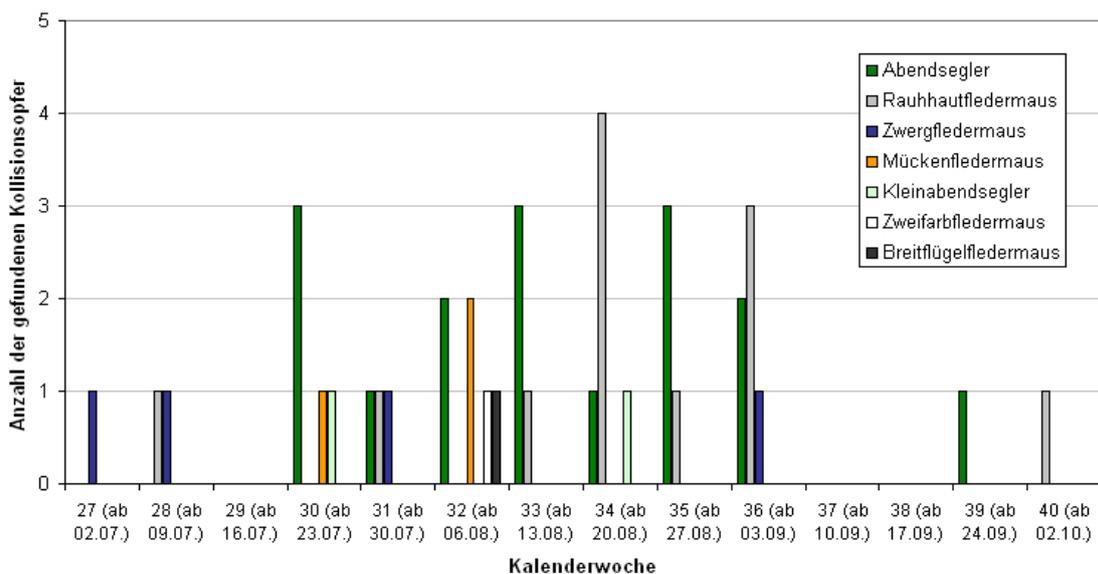


Abbildung 3 Anzahl der Kollisionsopfer je Kalenderwoche und Art (n=39)

4.1.4 Alter und Geschlecht der Kollisionsopfer

Das Alter von Fledermäusen kann mit Hilfe des Verknöcherungsgrades der Fingerglieder eingestuft werden (siehe z. B. ANTHONY 1988). Dieses Merkmal, das zur Unterscheidung von Adulten und diesjährigen Jungtieren verwendet werden kann, kann allerdings nicht während des gesamten Jahres verwendet werden. Vielmehr nimmt der Verknöcherungsgrad schnell zu, so dass dieses Merkmal schon ca. drei Monate nach Geburt der Tiere nicht mehr geeignet ist, diesjährige Tiere von älteren zu unterscheiden (ebd.). Für

einzelne Arten sind raschere Verknöcherungen der sog. Epiphysenfugen beschrieben worden (TRAPPMANN 1999, KALLASCH & LEHNERT 1995, BRUNET-ROSSINI & WILKINSON 2009), so dass dieses Merkmal schon Anfang September nicht mehr geeignet ist. Um eine deutliche Ausprägung des Merkmals zu gewährleisten, wurde die Altersverteilung aller Arten nur für die Tiere dargestellt, die im Juli und August verunglückt sind (siehe Tabelle 9).

Diese Aufstellung zeigt in der Summe einen leichten Überhang an adulten Tieren. Diese Dominanz der adulten Tiere manifestiert sich in der Folge auch bei einzelnen Arten: der Rauhhaufledermaus, der Zwergledermaus und der Mückenledermaus. Beim Abendsegler war das Verhältnis von diesjährigen Tieren zu Individuen, die mindestens ein Jahr alt waren, ausgeglichen. Lediglich bei der Zweifarbledermaus und der Breitflügelledermaus wurden nur subadulte Tiere gefunden. Allerdings ist die Anzahl der gefundenen Tiere so klein, dass der Zufall einen großen Einfluss auf die Zusammensetzung der Stichprobe hat.

Tabelle 9 Altersverteilung der im Juli und August gefundenen Kollisionsopfer (n=30)

Art	Adult	Subadult
Abendsegler (<i>Nyctalus noctula</i>)	6	6
Rauhhaufledermaus (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	6	2
Zwergledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	2	1
Mückenledermaus (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)	2	1
Kleinabendsegler (<i>Nyctalus leisleri</i>)	1	1
Zweifarbledermaus (<i>Vespertilio murinus</i>)	-	1
Breitflügelledermaus (<i>Eptesicus serotinus</i>)	-	1
Summe	17	13

Der Anteil der Männchen und Weibchen zueinander ist bei den beiden häufig gefundenen Arten, dem Abendsegler und der Rauhhaufledermaus, mehr oder weniger ausgeglichen. In beiden Fällen dominieren die Weibchen nur leicht. Ausschließlich Weibchen wurden dagegen bei der Mückenledermaus und der Breitflügelledermaus gefunden, bei dem Kleinabendsegler und der Zweifarbledermaus waren es nur (einzelne) Männchen. Angesichts einer insgesamt kleinen Stichprobe lassen sich aus diesen Zahlen jedoch keine allgemeingültigen Aussagen ableiten. Eine äußerliche Bestimmung des Geschlechts war bei sechs Tieren nicht möglich, weil der Prädatorenfraß bzw. der Zerfall der Tiere dies nicht mehr zuließ.

Tabelle 10 Geschlechtsverteilung je Art unter den in Deutschland gefundenen Kollisionsopfern (n=39)

Art	Männchen	Weibchen	nicht bestimmbar
Abendsegler (<i>Nyctalus noctula</i>)	6	7	3
Rauhhaufledermaus (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	5	6	1
Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	1	2	1
Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)	-	3	-
Kleinabendsegler (<i>Nyctalus leisleri</i>)	1	-	1
Zweifarbflodermäus (<i>Vespertilio murinus</i>)	1	-	-
Breitflügelledermäus (<i>Eptesicus serotinus</i>)	-	1	-
Summe	14	19	6

4.1.5 Schätzung des Kollisionszeitraumes

Die Schätzung des Kollisionszeitraumes war eine notwendige Vorarbeit um die Kollisionsopfer den entsprechenden Betriebsarten der WEA zuzuordnen. Diese Zuordnung erfolgte streng nach den dargestellten Kriterien (siehe Tabelle 5). Daher wurden – trotz der täglichen Nachsuche – lediglich 64 % der gefundenen Fledermäuse der Kategorie „frische“ Kollisionsopfer zugeordnet. Die zweite Klasse der Opfer, die zum Fundzeitpunkt vermutlich schon zwei bis drei Nächte verunglückt waren, nimmt daher einen vergleichsweise hohen Anteil von 28 % der Tiere ein. Bei insgesamt drei Tieren wird angenommen, dass die Kollision dagegen schon länger als vier Nächte zurücklag (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11 Geschätzter Kollisionszeitraum der gefundenen Fledermäuse

geschätzter Zeitraum	Anzahl der Fledermäuse	Anteil der Fledermäuse
letzte Nacht	25	64,1 %
2-3 Nächte	11	28,2 %
4-7 Nächte	2	5,1 %
7-14 Nächte	1	2,6 %
Summe	39	100 %

Die Zuordnung der „frischen“ Kollisionsopfer zu den beiden Betriebsarten (Normalbetrieb vs. fledermausfreundlicher Betrieb) wird in Tabelle 12 dargestellt. Demnach wurden nach Nächten im Normalbetrieb insgesamt 21 Tiere gefunden, während es nach Nächten im fledermausfreundlichen Betrieb lediglich drei Tiere waren. Im Normalbetrieb

liefen die Anlagen in insgesamt 785 Nächten, im fledermausfreundlichen Betrieb in 743 Nächten. Die Tabelle zeigt zudem an, wie viele Nächte seit dem Wechsel der Betriebsart vergangen waren.

Tabelle 12 Feststellung der frischtoten Fledermäuse in Abhängigkeit von der Betriebsart² der Anlagen in der vorangegangenen Nacht

Anzahl der Nächte seit Beginn des Betriebs	Normalbetrieb	fledermausfreundlicher Betrieb
1	1	-
2	4	1
3	2	1
4	6	-
5	3	-
6	3	1
7	2	-
Summe	21	3

4.1.6 Verteilung der Kollisionsopfer unter den WEA

Die Entfernung zwischen den aufgefundenen Kollisionsopfern und dem Mastfuß wurde gemessen. Die Opfer können daher verschiedenen Äquidistanzringen zugeordnet werden. Bereits im Forschungsvorhaben RENEBAT I wurden dafür Ringe mit einer Breite von jeweils zehn Metern verwendet. Die meisten Tiere wurden demnach in unmittelbarer Nähe zum Mastfuß gefunden, d. h. in einer Entfernung von maximal 20 m. In diesem Bereich lagen 22 von 39 Tieren, d. h. etwas über 56 % der gefundenen Kollisionsopfer. Innerhalb des Radius von 50 m wurden 37 Tiere gefunden, d. h. knapp 95 % aller Kollisionsopfer (siehe Abbildung 4).

² Eine frisch tote Fledermaus konnte keiner Betriebsart zugeordnet werden, da die entsprechende Anlage in der Nacht zuvor nicht korrekt gesteuert wurde.

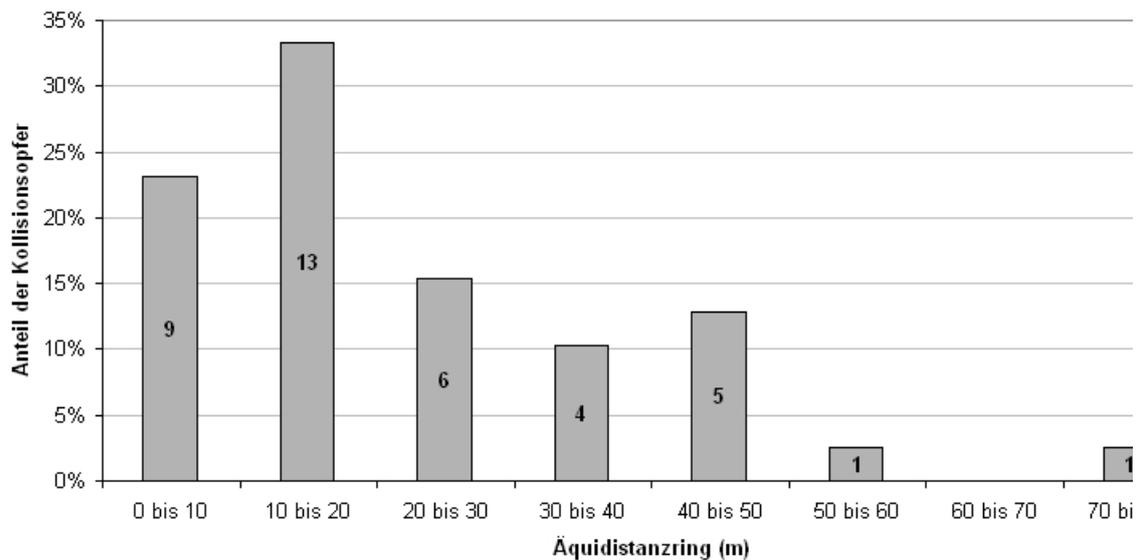


Abbildung 4 Verteilung der Kollisionsopfer in den Äquidistanzringen von jeweils 10 m Breite um die Außenwand des WEA-Turms (n=39) (Anzahl der Tiere in den Balken)

4.2 Methodisch bedingte Fehler

4.2.1 Untersuchungsflächen

Die absuchbaren Flächenanteile wurden zu Beginn und während der Untersuchung dokumentiert. Änderungen in der Flächennutzung unter den Anlagen ergaben sich vor allem aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung, zum Teil auch aufgrund der veranlassten Maßnahmen zur Verbesserung der Suchen. Die Änderung der absuchbaren Flächen ist für jede Anlage dokumentiert (siehe Abbildung 16 und Abbildung 17 im Anhang). Die Entwicklung der Anteile der Sichtbarkeitsklassen in einem 50 m Radius um die Anlage zeigt Abbildung 5 für alle untersuchten Anlagen.

Der durchschnittliche, absuchbare Flächenanteil lag zu Beginn der Untersuchung lediglich bei ca. 30 % (siehe Abbildung 5). Erst Ende Juli stieg dieser Anteil – unter anderem durch die veranlassten Maßnahmen – langsam an und erreichte in der dritten Dekade des August einen Anteil von 80 %. Dieser Flächenanteil wurde im September und Oktober nur noch phasenweise geringfügig auf 83 bis 85 % gesteigert. Bis zum Ende der Untersuchung blieb der Anteil auf diesem vergleichsweise hohen Niveau stehen.

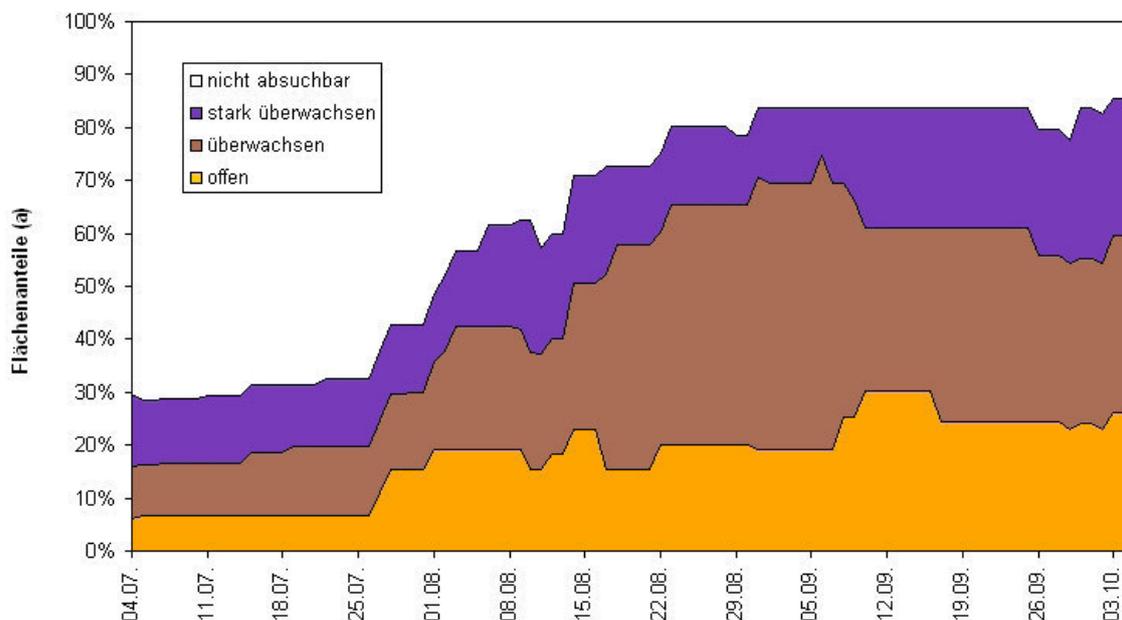


Abbildung 5 Entwicklung des durchschnittlichen, absuchbaren Flächenanteils der untersuchten Anlagen (bezogen auf einen Radius von 50 m um die Anlagen)

4.2.2 Verbleiberate

Die Verbleiberate wurde an allen Windenergieanlagen, an denen auch Kollisionsoptionen durchgeführt wurden, erhoben. Die Verbleiberate wurde während der gesamten Untersuchungszeit mit Hilfe von insgesamt 437 gültig ausgelegten dunklen Labormäusen ermittelt. Je Anlage wurden dazu im Verlauf der Untersuchung zwischen 13 und 57 (im Median 23) Labormäuse ausgelegt.

Der Mittelwert der geschätzten Verbleiberate über alle Anlagen liegt bei 0,72 Tiere nach 24 Stunden (mit einem 95 % Vertrauensintervall, das von 0,53 bis 0,84 reicht). D. h. nach 24 Stunden befinden sich im Mittel von 10 Tieren 2,8 Tiere nicht mehr auf den Flächen unter den Windenergieanlagen. Die mittlere Liegedauer der Tiere an den untersuchten Anlagen betrug 3,5 Tage (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13 Geschätzte mittlere Verbleiberate mit unterer und oberer Grenze des 95 % Vertrauensintervalls sowie die geschätzte mittlere Liegedauer pro Anlage

Anlage	Verbleiberate	untere Grenze	obere Grenze	Liegedauer
D0203a	0,77	0,60	0,88	3,91
D0203b	0,63	0,49	0,73	2,13
D12a	0,76	0,59	0,87	3,64

Anlage	Verbleiberate	untere Grenze	obere Grenze	Liegedauer
D12b	0,73	0,55	0,85	3,18
D1418a	0,82	0,65	0,91	5,00
D1418b	0,81	0,62	0,91	4,75
D1418i	0,70	0,47	0,84	2,75
D1418j	0,760	0,57	0,88	3,65
D1418k	0,49	0,26	0,69	1,40
D1418l	0,55	0,32	0,73	1,69
D1418m	0,76	0,56	0,87	3,57
D1418n	0,77	0,59	0,88	3,83
D4252g	0,72	0,51	0,85	3,09
D4252h	0,88	0,77	0,94	7,89
D4252m	0,76	0,56	0,87	3,57
D4252n	0,60	0,35	0,77	1,95
Mittelwert	0,72	0,53	0,84	3,50

4.2.3 Sucheﬃzienz

Zur Ermittlung der Sucheﬃzienz wurden im Laufe der Untersuchung insgesamt 1006 Objekte ausgelegt und nachgesucht. In der überwiegenden Anzahl der Fälle handelte es sich um Attrappen (n=821), doch wurden auch dunkle Labormäuse verwendet (n=185). Geprüft wurden insgesamt 19 Suchende (siehe Abbildung 6). Diese Suchenden haben 99 % (n=1581) aller Kollisionsopfersuchen (n=1596) durchgeführt. Bei den übrigen Suchen (n=15) wurden Personen eingesetzt, die nicht persönlich auf ihre Sucheﬃzienz geprüft wurden – ihnen wurden die Durchschnittswerte aller übrigen Suchenden zugeschrieben.

Die geprüften Suchpersonen zeigten auf den Flächen der Sichtbarkeitsklasse „offen“ im Mittel eine Sucheﬃzienz von 0,90 (mit einer unteren bzw. oberen Grenze des Vertrauensintervalls von 0,85 bzw. 0,94), auf den „überwachsenen“ Flächen eine mittlere Sucheﬃzienz von 0,86 (mit einer unteren bzw. oberen Grenze des Vertrauensintervalls von 0,79 bzw. 0,91) und auf Flächen mit der Sichtbarkeitsklasse „stark überwachsen“ eine mittlere Sucheﬃzienz von 0,73 (mit einer unteren bzw. oberen Grenze des Vertrauensintervalls von 0,62 bzw. 0,82).

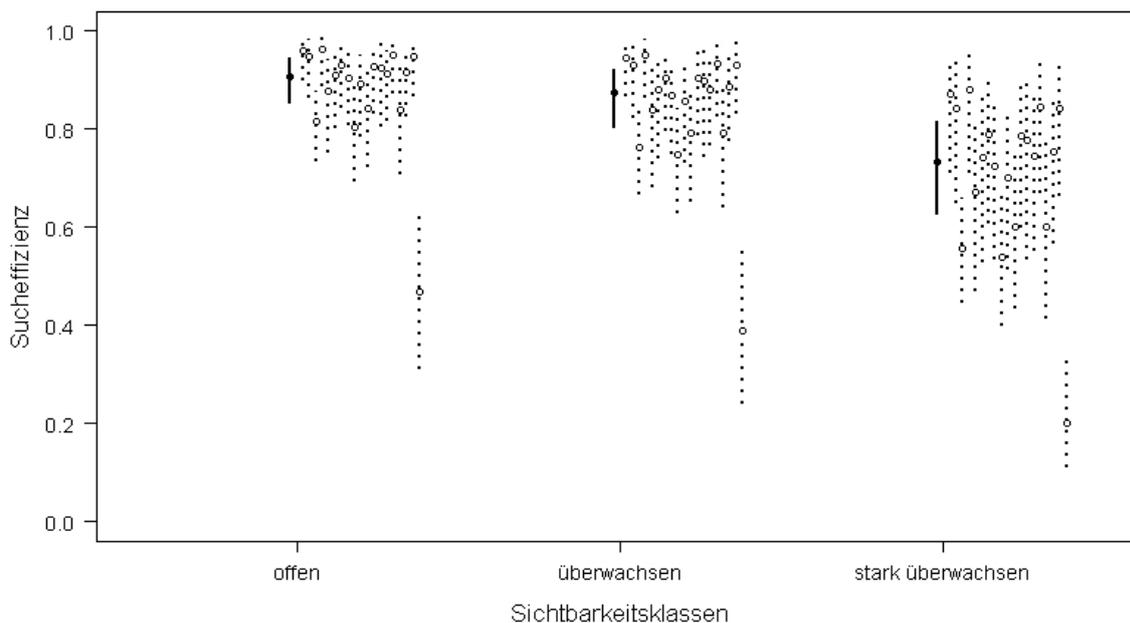


Abbildung 6 Mittelwerte, untere und obere Grenze des Vertrauensintervalls der geschätzten Sucheﬃzienz je getesteter Person und Sichtbarkeitsklasse

4.3 Hochrechnung der Kollisionsopferzahlen

4.3.1 Hochrechnung über alle Anlagen je Betriebsart

Nach den 743 Nächten mit dem fledermausfreundlichen Betrieb wurden insgesamt drei frische Kollisionsopfer gefunden. Dagegen wurden nach den 785 Nächten im Normalbetrieb 21 frische Kollisionsopfer registriert. Die mittlere Entdeckungswahrscheinlichkeit eines Kollisionsopfers betrug für die Nächte mit fledermausfreundlichem Betrieb 0,4135, für Nächte mit Normalbetrieb 0,4189. Daraus ergibt sich eine geschätzte Summe der Kollisionsopfer während aller Nächte mit fledermausfreundlichem Betrieb von 8 und während dem Normalbetrieb von 51 Tieren. Zu betonen ist dabei, dass es nicht Ziel war, die Anzahl der Kollisionsopfer auf Null zu senken (siehe BEHR et al. 2015). Vielmehr sollte in diesem Experiment die Anzahl der Opfer auf einen Zielwert von 0,56 toten Tieren im Zeitraum von 49 Tagen, von 1,12 toten Tieren im Gesamtzeitraum des Experiments (98 Tage) begrenzt werden. Dieser Wert entsprach einer Gesamtzahl von 2 Tieren je Anlage und Saison (Zeit, in der Fledermäuse innerhalb eines Jahres im Rotorbereich von WEA aktiv sind – abhängig von Art, Klima und Standort etwa März bis November).

Die Kollisionsrate (pro Nacht) betrug im Experiment für Nächte mit fledermausfreundlichem Betrieb 0,0108 und für Nächte mit Normalbetrieb 0,0650. Das Verhältnis der

Kollisionsrate bei Normalbetrieb zu jenem bei fledermausfreundlichem Betrieb betrug also ca. 6:1.

4.3.2 Hochrechnung der einzelnen Anlagen je Betriebsart

Neben einer betriebsbezogenen Hochrechnung für alle Anlagen (siehe Kap. 4.3.1) wurde auch eine für jede einzelne Anlage erstellt. Die zentralen Angaben dazu sind in Tabelle 14 enthalten. Neben der Anzahl der Kollisionsopfer und der Entdeckungswahrscheinlichkeit enthält die Tabelle die Schätzung der Zahl der Kollisionsopfer mit der Angabe einer unteren und oberen Grenze des Vertrauensintervalls, je Anlage und Betriebsart. Aus dieser Schätzung kann in Verbindung mit der Anzahl der Untersuchungstage die entsprechende Kollisionsrate errechnet werden, die ebenfalls angegeben ist (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14 Daten zur Hochrechnung je Anlage und Betriebsart: Totfunde = Anzahl gefundener Kollisionsopfer, p = Entdeckungswahrscheinlichkeit, p.se= Standardfehler von p, p.lwr = untere Grenze des 95 % Vertrauensintervalls, upr = obere Grenze des 95 % Vertrauensintervalls, estN = geschätzte Zahl Schlagopfer, Tage = Anzahl Untersuchungstage, Kollisionsrate = Kollisionsopfer pro Nacht

	Anlage	Totfunde	Entdeckungswahrscheinlichkeit				Schätzung Zahl Kollisionsopfer			Tage	Kollisionsrate
			p	p.se	p.lwr	p.upr	estN	estN.lwr	estN.upr		
Fledermausfreundlicher Betrieb	D0203a	-	0,270	0,027	0,243	0,296	2	0	11	46	0,043
	D0203b	-	0,291	0,029	0,262	0,320	2	0	10	48	0,042
	D12a	-	0,569	0,056	0,513	0,625	0	0	4	49	0,000
	D12b	1	0,653	0,070	0,583	0,723	2	1	5	48	0,042
	D1418a	1	0,468	0,046	0,423	0,514	3	1	9	42	0,071
	D1418b	-	0,436	0,046	0,391	0,482	1	0	6	47	0,021
	D1418i	-	0,429	0,060	0,369	0,489	1	0	6	41	0,024
	D1418j	-	0,374	0,041	0,333	0,416	1	0	7	49	0,020
	D1418k	-	0,322	0,070	0,251	0,392	1	0	9	46	0,022
	D1418l	-	0,271	0,050	0,220	0,321	2	0	11	41	0,049
	D1418m	-	0,510	0,057	0,453	0,567	0	0	5	44	0,000
	D1418n	-	0,533	0,056	0,477	0,590	0	0	4	49	0,000
	D4252g	1	0,337	0,051	0,286	0,388	4	1	14	49	0,082
	D4252h	-	0,450	0,043	0,407	0,493	1	0	6	48	0,021
	D4252m	-	0,358	0,047	0,311	0,405	1	0	8	48	0,021
	D4252n	-	0,327	0,065	0,262	0,392	1	0	9	48	0,021

	Anlage	Tot- funde	Entdeckungswahrscheinlichkeit				Schätzung Zahl Kollisionsopfer			Tage	Kollisions- rate
			p	p.se	p.lwr	p.upr	estN	estN. lwr	estN. upr		
Normalbetrieb	D0203a	1	0,280	0,028	0,252	0,307	5	1	17	47	0,106
	D0203b	2	0,245	0,025	0,220	0,269	10	3	26	51	0,196
	D12a	4	0,562	0,055	0,507	0,617	7	4	14	51	0,137
	D12b	1	0,643	0,069	0,573	0,712	2	1	6	49	0,041
	D1418a	5	0,469	0,047	0,422	0,515	11	6	21	56	0,196
	D1418b	3	0,452	0,047	0,405	0,499	7	3	16	51	0,137
	D1418i	1	0,502	0,070	0,432	0,572	2	1	8	49	0,041
	D1418j	-	0,448	0,050	0,399	0,498	1	0	6	44	0,023
	D1418k	-	0,355	0,078	0,277	0,433	1	0	8	43	0,023
	D1418l	-	0,227	0,042	0,184	0,269	2	0	14	46	0,043
	D1418m	1	0,545	0,060	0,484	0,605	2	1	7	51	0,039
	D1418n	3	0,525	0,056	0,469	0,581	6	3	13	49	0,122
	D4252g	-	0,392	0,057	0,335	0,449	1	0	7	49	0,020
	D4252h	-	0,365	0,037	0,328	0,403	1	0	8	51	0,020
	D4252m	-	0,365	0,047	0,318	0,412	1	0	8	48	0,021
D4252n	-	0,297	0,060	0,236	0,357	1	0	10	50	0,020	

Da die Hochrechnung pro Anlage und Betriebsart z.T. auf einer sehr geringen Anzahl gefundener Kollisionsopfer beruht, sind die Schätzwerte mit großer Unsicherheit behaftet. Diese Verhältnisse wurden durch den Versuchsaufbau begünstigt, bei dem der Wechsel der Betriebsarten und die Beschränkung der Hochrechnung auf die frischtoten Tiere berücksichtigen musste.

4.4 Weitere methodische Untersuchungen

4.4.1 Einfluss des Auslegezeitpunktes auf die Verbleiberate

Die Analyse des Einflusses des Auslegezeitpunktes von Labormäusen (morgens vs. abends) auf die festgestellte Verbleiberate hat ergeben, dass die durchschnittliche Liegedauer der Tiere 2,12 Tage beträgt, wenn die Labormäuse morgens, und 2,39 Tage beträgt, wenn sie abends ausgelegt wurden. Der Median der Liegedauer lag bei beiden Gruppen gleich hoch und betrug 2 Tage (siehe Abbildung 7).

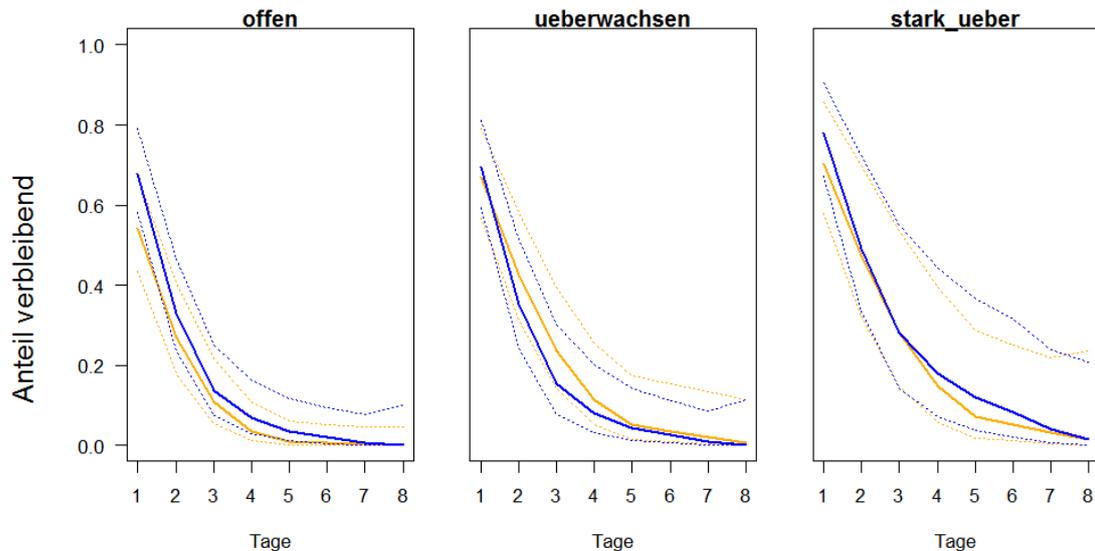


Abbildung 7 Anteile verbleibender Kadaver in den Tagen nach dem Auslegetag in drei verschiedenen Sichtbarkeitsklassen. Orange = Tiere, die am Morgen (von Tag 0) ausgelegt wurden, blau = Tiere, die am Abend (von Tag 0) ausgelegt wurden. Gepunktet ist das 95% Vertrauensintervall angegeben.

Die Analyse zeigte, dass sich die durchschnittliche Verbleiberate zwischen den Tieren mit unterschiedlichen Auslegezeitpunkten nicht unterschied (odds ratio = 1.07, 95 % CI = 0,81-1,40). Die Kadaver verschwinden jedoch signifikant weniger häufig in stark überwachsenem Gelände im Vergleich zu offenem Gelände (odds ratio = 0.61, 95 % CI = 0,41-0,91).

In offenem Gelände ist bei der ersten Nachsuche von den Tieren, die am Morgen ausgelegt worden sind, ein kleinerer Anteil noch da, nämlich 54 % (44 %-67 %), als von jenen, die am Abend ausgelegt worden sind. Von jenen, die am Abend ausgelegt worden sind, liegen bei der ersten Nachsuche noch 68 % (58 %-79 %) dort. In den Sichtbarkeitsklassen „überwachsen“ und „stark überwachsen“ gab es bei der ersten Nachsuche keine Unterschiede in den Verbleiberaten zwischen den am Morgen und am Abend ausgelegten Labormäusen (siehe Abbildung 7).

4.4.2 Begleitung der Kollisionsopfersuchen mit GPS-Loggern

Ziel des Einsatzes der Logger war es zu prüfen, welche Informationen mit diesen Geräten im Zusammenhang mit systematischen Kollisionsopfersuchen erhoben werden können. Obwohl alle (bis auf einen) Nachsuchenden mit entsprechenden Geräten ausgestattet wurden und diese vergleichsweise einfach zu bedienen waren, war die Anzahl der Punkte, die im Verlauf der Untersuchung geschrieben wurden unterschiedlich hoch. In der Praxis wurden zwischen lediglich 2,45 % und 77 % der theoretischen Maximalzahl von ca. 72.000 Positionspunkten³ je Anlage gespeichert (siehe Tabelle 15).

³ Nachsuche über eine Dauer von 100 Tagen, 60 Minuten Dauer je Suche und einer Koordinate alle 5 Sekunden (d. h. 12 Punkte/Min)

Tabelle 15 Anzahl der Loggerpunkte im 100 m-Radius um den Mastfuß

Kürzel	Anzahl der Punkte	Anteil der Punkte im gesamten Untersuchungszeitraum (72.000 =100 %)
D0203a	5.535	7,69 %
D0203b	9.220	12,81 %
D12a	4.984	6,92 %
D12b	1.766	2,45 %
D1418a	17.254	23,96 %
D1418b	17.945	24,92 %
D1418i	36.810	51,13 %
D1418j	40.165	55,78 %
D1418k	2.226	3,09 %
D1418l	8.503	11,81 %
D1418m	44.635	61,99 %
D1418n	43.093	59,85 %
D4252g	54.121	75,17 %
D4252h	53.331	74,07 %
D4252m	52.343	72,70 %
D4252n	55.717	77,38 %

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Datenmengen werden nachfolgend nur einige exemplarische Auswertungsmöglichkeiten dargestellt, die an den Anlagen mit hohen Punktzahlen (d. h. über 50 % der theoretischen Punktzahl) erprobt wurden.

Die Dauer der einzelnen Suchen lassen sich aus den Anfangs- und Endzeiten der Loggerpunkte je Tag ableiten. Neben Anlagen mit heterogenen Datensätzen gab es auch Anlagen, die über einen längeren Zeitraum sehr homogene Ergebnisse erbrachten (siehe Abbildung 9). Ein Beispiel für einen heterogenen Datensatz gibt Abbildung 8. Technische Ausfälle der Logger sind eine mögliche Erklärung für die großen Schwankungen der Punktzahl und der abgebildeten Suchdauer. Auch der Anteil der absuchbaren Fläche, der sich im Verlauf der Zeit änderte, hat einen Einfluss auf die Zeitspanne, die benötigt wird, um die Flächen abzusuchen.

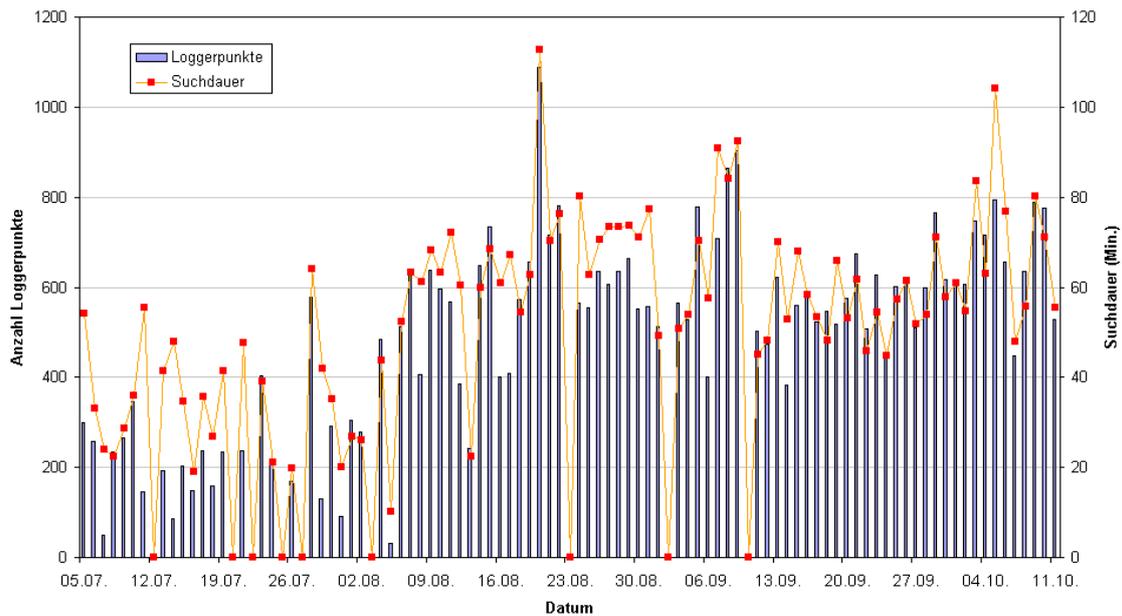


Abbildung 8 Loggerpunkte und Suchdauer an einer Anlage im Raum D1418

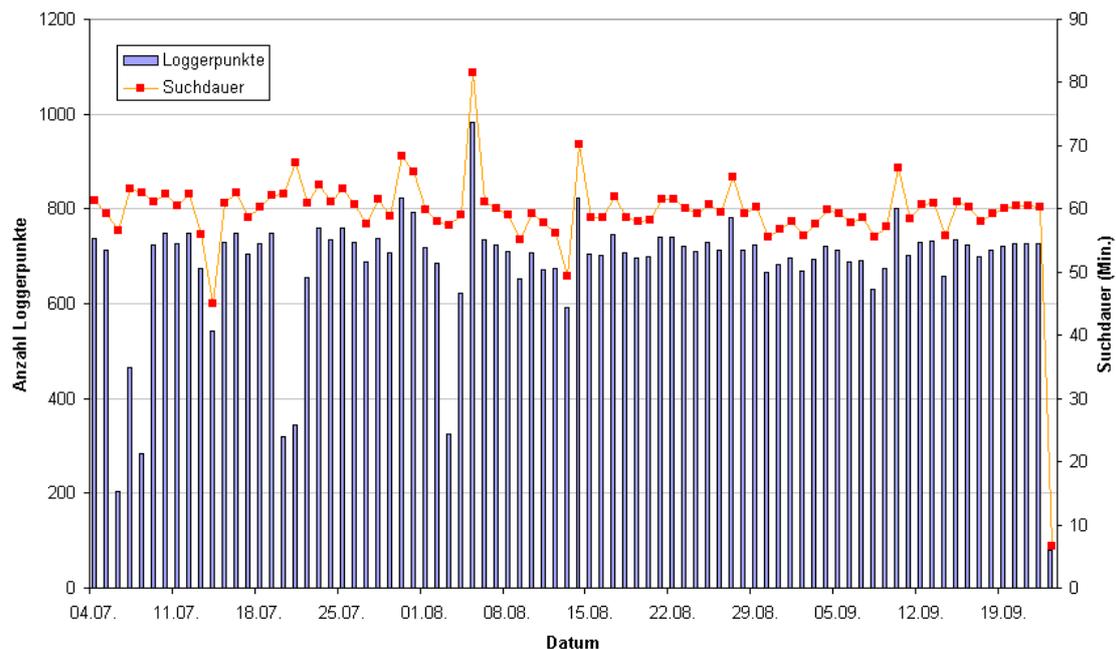


Abbildung 9 Loggerpunkte und Suchdauer an einer Anlage im Raum D4252

Die Suchrichtung kann – durch die angegebene Peilung – ebenfalls aus den Loggerdaten ermittelt werden. Während die Laufrichtung auf den Kranstellplätzen offensichtlich frei gewählt wurde, zeichnen sich in den Grafiken über die Verteilung der Laufrichtung meist jeweils eine oder zwei dominante Suchrichtungen ab (z. B. Abbildung 10 und Abbildung 11). Der Abgleich mit den Luftbildern der jeweiligen Anlagen zeigte, dass diese

Hauptlaufrichtungen mit denen der Bearbeitungsrichtung der Äcker übereinstimmt. Dies hat den Vorteil, dass sich die Suchenden zwischen den Reihen der auflaufenden Feldfrüchte bewegen können und der Schaden an den Kulturen minimiert wird. Gleichzeitig lassen sich auf diese Weise leicht gleichmäßige Abstände zwischen den Transekten einhalten.

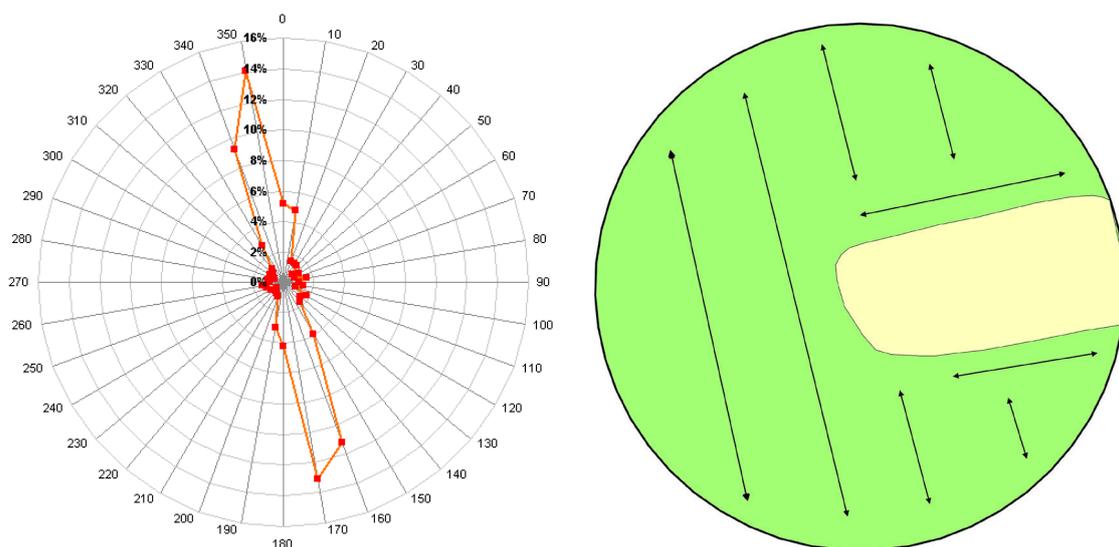


Abbildung 10 Exemplarische Verteilung der Suchrichtung an einer Anlage im Raum D1418, rechts die Bearbeitungsrichtung der umliegenden Äcker im Radius von 50 m

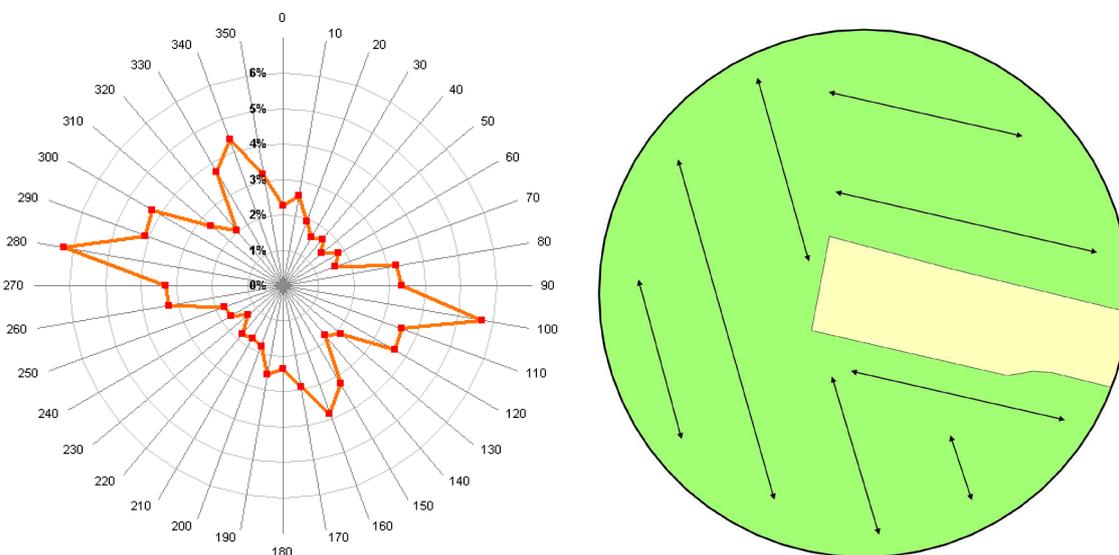


Abbildung 11 Exemplarische Verteilung der Suchrichtung an einer Anlage im Raum D1418, rechts die Bearbeitungsrichtung der umliegenden Äcker im Radius von 50 m

Zunächst wurden die aufgezeichneten Koordinaten in ein GIS (ArcGIS, ESRI) importiert und mit den Suchflächen überlagert. Um die Untersuchungsichte vergleichen zu

können, wurden innerhalb der Datenreihen Zeiträume gesucht, in denen auf einem möglichst großen Flächenanteil homogene Untersuchungsbedingungen (d. h. gleiche Sichtbarkeitsklassen) verzeichnet wurden. So waren die Voraussetzungen für eine gleichmäßige Untersuchungsichte grundsätzlich gegeben.

Abbildung 12 zeigt eine Anlage (im Zeitraum 14.08.-23.09.) mit einer abweichenden Untersuchungsichte. Auf dem Kranstellplatz waren in dieser Zeit ca. 600 m² der Sichtbarkeitsklasse „offen“ zugeordnet, auf den landwirtschaftlichen Flächen standen 13.800 m² zur Verfügung. Die Analyse zeigt, dass die offenen Flächen auf dem Kranstellplatz zehn mal so intensiv abgesucht wurden wie auf den landwirtschaftlichen Flächen.

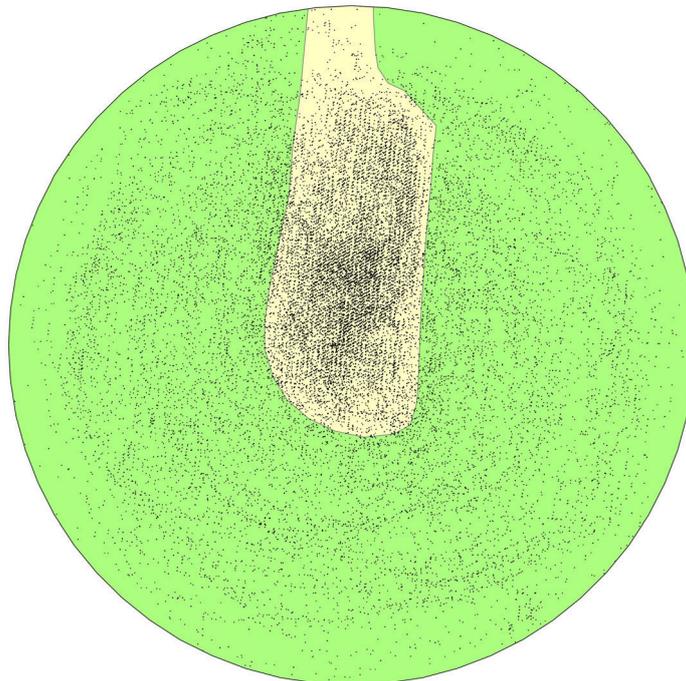


Abbildung 12 Beispiel einer Untersuchungsphase mit ungleicher Untersuchungsichte an einer Anlage im Raum D4252

Auch in Abbildung 13 ist eine Phase an einer Anlage dargestellt, in der (im Zeitraum vom 27.07.-16.08) ebenfalls eine unterschiedliche Untersuchungsichte festgestellt wurde. Auch hier wurde wieder die Untersuchungsichte von Flächen gleicher Sichtbarkeitsklassen auf dem Kranstellplatz mit denen auf den landwirtschaftlichen Flächen verglichen. Bei den offenen Flächen auf dem Kranstellplatz (290 m²) wurde eine 4,8 mal so hohe Untersuchungsichte festgestellt wie auf den offenen Flächen auf den landwirtschaftlichen Flächen (5.900 m²). Auch die überwachsenen Flächen im Bereich des Kranstellplatzes (840 m²) wurden dreieinhalb mal so intensiv abgesucht wie die Bereiche der gleichen Sichtbarkeitsklasse auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen (250 m²).

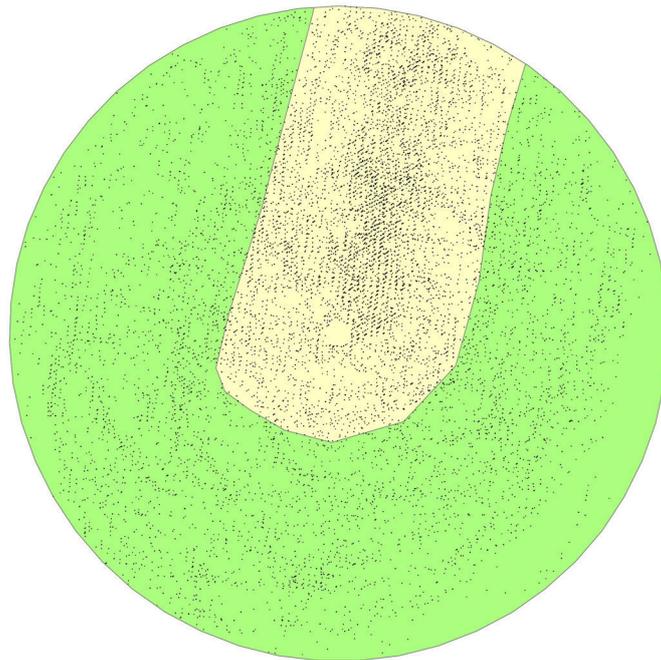


Abbildung 13 Beispiel einer Untersuchungsphase mit ungleicher Untersuchungsdichte an einer Anlage im Raum D4252

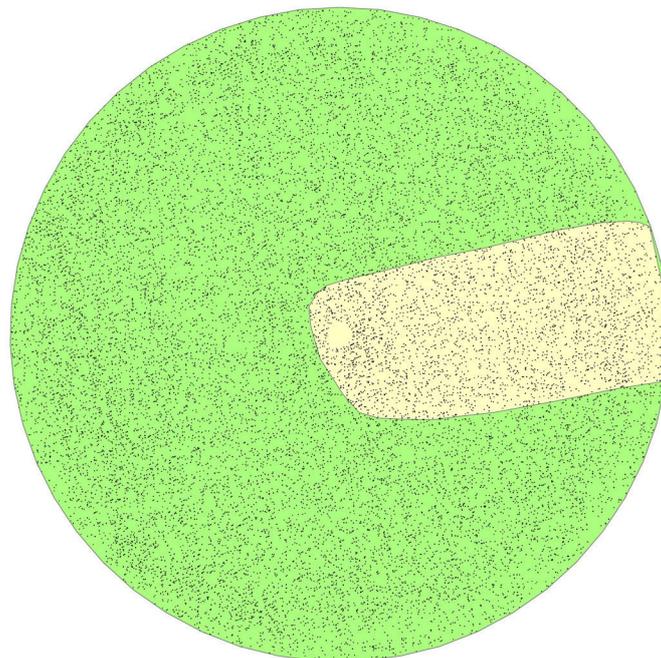


Abbildung 14 Beispiel einer Untersuchungsphase mit homogener Untersuchungsdichte an einer Anlage im Raum D1418

Neben aufgeführten Beispielen von Anlagen, an denen zeitweise eine uneinheitliche Untersuchungsdichte festzustellen war, gab es auch Beispiele für homogene Untersuchungsdichten. Abbildung 14 zeigt eine Anlage im Raum D1418 im Zeitraum

31.08.-11.10., bei der die überwachsenen Flächen auf dem Stellplatz (910 m²) und den landwirtschaftlichen Flächen (7120 m²) nahezu gleich intensiv untersucht wurden.

5 Diskussion

5.1 Kollisionsopfersuchen

Die Suchen unter den Anlagen haben zu Funden von 39 Fledermäusen geführt. Insgesamt wurden im Rahmen dieser Untersuchung sieben Arten als Kollisionsopfer nachgewiesen. Der Abendsegler war am häufigsten betroffen, gefolgt wird er von der Rauhhautfledermaus und der Zwergfledermaus. In dieser Rangfolge gleicht diese Stichprobe exakt der bundesdeutschen Fundkartei, die von der Staatlichen Vogelschutzwarte in Brandenburg geführt wird. Dort werden mittlerweile 1982 Fledermauskollisionsopfer für Deutschland geführt (DÜRR 2013). Während die Liste der Kollisionsopfer im vorliegenden Fall mit der Mückenfledermaus, dem Kleinabendsegler, der Zweifarbfledermaus und der Breitflügelfledermaus fortgeführt wird, nennt die bundesdeutsche Liste an vierter Stelle den Kleinabendsegler, dann die Zweifarbfledermaus, die Mückenfledermaus und die Breitflügelfledermaus (DÜRR 2013). Damit enthält die Liste der im Projekt gefundenen Arten genau die Arten, die bundesweit am häufigsten unter Windenergieanlagen gefunden wurden, zum Teil in der gleichen Reihenfolge. Auch im Forschungsvorhaben RENEBA I (NIERMANN et al. 2011) wurden sieben Fledermausarten unter den Windenergieanlagen gefunden. Diese Liste unterschied sich von der nun vorliegenden lediglich dadurch, dass das Braune Langohr statt der Mückenfledermaus aufgeführt war. In der Summe beider Forschungsvorhaben wurden daher acht Arten und 139 Fledermausindividuen gefunden.

Die im Vergleich zum Forschungsvorhaben RENEBA I geringere Anzahl an verunglückten Tieren in dieser Untersuchung ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass die Anlagen ungefähr die Hälfte der Nächte in einem fledermausfreundlichen Betrieb gelaufen sind (siehe Kap. 4.3.1). Wären die Anlagen stattdessen durchgängig im Normalbetrieb gelaufen, wäre ebenfalls mit ca. 100 Kollisionsopfern zu rechnen gewesen (siehe Kap. 4.3.1). Eine weitere Erklärung für die geringere Anzahl an Opfern in der vorliegenden Untersuchung ist die insgesamt geringere Anzahl an durchgeführten Suchen (n=1596) im Vergleich zu RENEBA I (n=2053, siehe NIERMANN et al. 2011).

Bei der Verteilung der Kollisionsopfer auf die untersuchten naturräumlichen Regionen können auch in der vorliegenden Untersuchung Räume benannt werden, in denen Anlagen mit einem hohen Kollisionsrisiko untersucht wurden. Zu diesen Anlagen gehören in jedem Fall die Windenergieanlagen in der Oberlausitz (D14). Auch die untersuchten

Anlagen in der Region der Mittelbrandenburgischen Platten (D12) sind zu den kollisionssträchtigen Anlagen zu zählen. Weniger Kollisionsoffer als aufgrund der Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben RENEBAAT I zu erwarten waren wurden dagegen im Raum Saar-Nahe-Berg- und Hügelland (D52) festgestellt. Die beiden erstgenannten Regionen (D14 und D12) waren bereits in der Untersuchung von NIERMANN et al. (2011) durch hohe Kollisionsraten gekennzeichnet. Dagegen fällt auf, dass für die Anlage D4252m, für die im Forschungsvorhaben RENEBAAT I eine hohe Anzahl von Kollisionsoffern berechnet wurde (ebd.), in dieser Untersuchung eine unterdurchschnittliche Opferzahl aufweist. Dies deutet auf eine deutliche Schwankung der Aktivität zwischen den Jahren hin. Eine ausführliche Diskussion dazu finden sich – auf der Grundlage der akustischen Daten – bei BEHR et al. (2015).

Die Fledermausarten in Deutschland sind regional unterschiedlich stark von Kollisionen an Windenergieanlagen betroffen. Räumliche Aktivitätsschwerpunkte bei den Arten sind hierfür verantwortlich. Die Liste der Kollisionsoffer kann in dieser Hinsicht nur eine grobe Orientierung geben, eine ungleich höhere zeitliche und quantitative Auflösung bieten dagegen die akustischen Daten. Die Kollisionsoffer aus RENEBAAT I (NIERMANN et al. 2011) zeigten einige Auffälligkeiten. So lagen aus dieser Untersuchung lediglich für die drei Untersuchungsräume im Osten Kollisionsoffer des Abendseglers vor. Nun kann diese Liste durch die zwei Funde dieser Art für den Raum D52 ergänzt werden. Weiterhin war in RENEBAAT I aufgefallen, dass die Zwergfledermaus als Opfer in den naturräumlichen Regionen an der Küste fehlte. Auch dieser Befund kann nun auf der Grundlage einer gefundenen Zwergfledermaus im Raum D02 relativiert werden. Beide Aussagen, der Schwerpunkt der Abendsegler in den östlichen Regionen und die geringe Aktivitätsdichte der Zwergfledermaus im Bereich der Küste dürften von diesen Ergebnissen nicht grundsätzlich infrage gestellt werden. Zu diesen Ergebnissen kann auch gezählt werden, dass die Aktivitätsdichte der Rauhhautfledermaus im Bereich der östlichen und nördlichen Regionen vergleichsweise hoch ist und – nach den vorliegenden Kollisionsofferdaten – Richtung Südwesten abnimmt. Ein deutlich differenzierteres Bild des Aktivitätsniveaus an den Anlagen lässt sich mit Hilfe der akustischen Daten zeichnen.

Die Phänologie der Arten konnte mit Hilfe dieser Untersuchung erneut nicht in ihrer gesamten Breite festgestellt werden. Vielmehr wurde die Untersuchung – im Hinblick auf einen effizienten Umgang mit den begrenzten finanziellen Ressourcen – auf den Zeitraum fokussiert, in dem mit einem besonderen Kollisionsrisiko zu rechnen ist. Dieses Ziel wurde offensichtlich erreicht, denn im mittleren Teil der Untersuchungszeit konnte die große Mehrheit der Kollisionsoffer festgestellt werden, während die Anzahl der Tiere zu Beginn und gegen Ende der Untersuchung gering blieb. Dennoch ist klar, dass Kollisionsoffer grundsätzlich über einen deutlich größeren Zeitraum auftreten können. So konnte DÜRR (2007) zeigen, dass grundsätzlich von März bis einschließlich November

mit Opfern zu rechnen ist, auch wenn außerhalb der Kernzeit nur geringe Kollisionsopferzahlen registriert werden.

Mit der Analyse des Alters und des Geschlechts von Kollisionsopfern werden Hoffnungen auf allgemeingültige Erklärungsmuster für die Kollision von Tieren verknüpft. In der Vergangenheit wurde z. B. vermutet, dass vor allem Jungtiere von der Kollision betroffen sind: Dies hätte mit mangelnder Erfahrung oder mangelnden Flugfähigkeiten dieser Tiere erklärt werden können (ARNETT et al. 2008). Ein hoher Anteil von Männchen an den Opfern hätte mit potenziellem Balzverhalten an den Anlagen erklärt werden können (CRYAN 2008). Im allgemeinen können jedoch keine deutlichen Verschiebungen festgestellt werden, so dass sich die aufgeführten Erklärungsmuster nicht bestätigt haben. In der vorliegenden Untersuchung dominierten adulte Tiere. Darüber hinaus konnte eine leichte Dominanz von Weibchen festgestellt werden. Auch bei RENEBAAT I (NIERMANN et al. 2001) kam es bereits zu einem leichten Überhang der Weibchen.

Um die wichtige Frage nach der Effizienz von Abschaltalgorithmen zu klären, war es von besonderer Bedeutung, eine sichere Zuordnung der gefundenen Tiere zu einer der beiden Betriebsarten vorzunehmen. Diese erfolgte – wie in RENEBAAT I – durch äußere Merkmale. Dabei wurde der für die Einordnung geschätzte Kollisionszeitraum „letzte Nacht“ nur sehr restriktiv vergeben. Zu erkennen ist das daran, dass in der vorliegenden Untersuchung nur 64 % der Tiere – trotz der täglichen Nachsuche – dieser Kategorie zugeordnet wurden. Im Forschungsvorhaben RENEBAAT I lag dieser Anteil, ebenfalls bei täglicher Nachsuche, bei 80 % der Kollisionsopfer (NIERMANN et al. 2011). Die Möglichkeit, den Todeszeitpunkt mit Hilfe der forensischen Entomologie (BENECKE 2001, KLOTZBACH et al. 2004, GENNARD 2012) zu bestimmen, wurde aus verschiedenen Gründen nicht genutzt. Dies hätte nicht nur auf Seiten der Bearbeiter andere Qualifikationen erfordert, sondern hätte auch eine andere Behandlung der aufgefundenen Fledermäuse erforderlich gemacht. So hätte ein Teil der Entwicklungsstadien der Fliegen geborgen und im Labor bis zu Imagines aufgezogen werden müssen, da die Bestimmung der Arten anhand ihrer Larvenstadien in der Regel nicht möglich ist. Diese Artansprache der Fliegen ist aber für die Bestimmung des Todeszeitpunktes von besonderer Bedeutung. Mit diesem Verfahren wäre es wahrscheinlich möglich gewesen, weitere Tiere sicher zuzuordnen.

5.2 Methodisch bedingte Fehler

Um die Hochrechnung der Kollisionsopferzahlen zu ermöglichen wurden die wesentlichen systematischen Suchfehler während der Felduntersuchungen quantifiziert. Zu diesen methodisch bedingten Fehlern gehört die Ermittlung der absuchbaren Fläche. Diese wurden anlagenbezogen erhoben und fielen sehr unterschiedlich aus. In der Gesamtschau

aller Untersuchungsflächen begann die Untersuchung mit einem vergleichsweise kleinen Flächenanteil von ca. 30 % an der gesamten absuchbaren Fläche. Durch Veränderungen, die im Jahresverlauf bewirtschaftungsbedingt ohnehin auf den landwirtschaftlichen Flächen stattfinden und durch die gezielte Mahd zur Verbesserung der Absuchbarkeit, die durch das Forschungsvorhaben RENEBAT II veranlasst wurden, nahm der absuchbare Flächenanteil im Verlauf der Untersuchungszeit zu und erreichte Ende August einen Anteil von ca. 80 % der Fläche. Dieser hohe Anteil sollte jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass die meisten Kollisionen im Zeitraum zwischen der dritten Julidekade und der ersten Septemberdekade zu verzeichnen waren. Sie fielen also in eine Zeit, in der die absuchbaren Flächenanteile im Durchschnitt aller Anlagen noch nicht den Maximalwert erreicht hatten (siehe Abbildung 5). Dies führt, wie in NIERMANN et al. (2011) dargestellt, zu einer entsprechenden Vergrößerung des maximalen Fehlers der Hochrechnung.

Auch die Verbleiberate wurde an allen untersuchten Anlagen ermittelt. Dabei konnte im Durchschnitt eine Verbleiberate von ca. 0,72 festgestellt werden. Das bedeutet, dass nach 24 Stunden von 10 Tieren 2,8 von den Flächen verschwunden waren. An der individuellen Anlage kann die Situation dabei deutlich von diesem Mittelwert abweichen, so lag die Verbleiberate an einer Anlage unter 0,5, bei einer anderen dagegen bei 0,88. In RENEBAT I lag die durchschnittliche Verbleiberate bei 0,79 (NIERMANN et al. 2011).

Der dritte systematische Suchfehler, der bei den Hochrechnungen quantifiziert werden muss, ist die Sucheeffizienz der Suchenden. Diese Prüfung ergab, wie erwartet, dass im Mittel aller geprüften Suchenden die Sucheeffizienz von den offenen Flächen über die überwachsenen Flächen bis zu den stark überwachsenen Flächen abnimmt. Auf den offenen Flächen zeigten die Suchenden im Mittel eine Sucheeffizienz von 0,90, auf den überwachsenen einen Wert von 0,86 und auf den stark überwachsenen Flächen eine mittlere Sucheeffizienz von 0,73 (siehe 4.2.3). Dies entspricht den Erwartungen, muss jedoch für den individuellen Suchenden nicht zwangsläufig zutreffen. Den gleichen Befund ergaben bereits die Daten aus RENEBAT I (NIERMANN et al. 2011). Dort zeigten die Suchenden auf offenen Flächen im Mittel eine Sucheeffizienz von 0,75, auf überwachsenen Flächen eine Sucheeffizienz von 0,66 und auf den stark überwachsenen Flächen eine Sucheeffizienz von 0,58 (ebd.). Bei beiden Untersuchungen lag die durchschnittliche Sucheeffizienz deutlich über denen die KERNS et al. (2005) im Rahmen ihrer Untersuchung festgestellt haben. Sie ermittelten bei den Suchenden im offenen Bereich einen Wert von 0,51, im überwachsenen einen Wert von 0,45 und im stark überwachsenen Bereich einen Wert von 0,29. Die Bilder von den Suchflächen, die KERNS et al. (2005) ihrem Bericht beigefügt haben, legen nahe, dass auf den Suchflächen nicht die Vegetationsbedeckung der begrenzende Faktor war, sondern das Geröll. Insoweit waren die Verhältnisse in der vorliegenden Untersuchung deutlich günstiger.

5.3 Hochrechnung der Kollisionsopferzahlen

Das Hauptziel der Untersuchung war es, die Wirksamkeit der implementierten fledermausfreundlichen Abschaltalgorithmen zu prüfen. Dadurch war es erforderlich, die Kollisionsopfer sicher einer der beiden Betriebsarten zuzuordnen. Die frischen Kollisionsopfer, die mit hoher Wahrscheinlichkeit der Betriebsart der jeweils letzten Nacht zugeordnet wurden, wurden verwendet, um jeweils eine Hochrechnung für den Normalbetrieb und eine für den fledermausfreundlichen Betrieb zu erstellen. Demnach ergab die Hochrechnung für den Normalbetrieb eine geschätzte Kollisionsopferzahl von 51 Tieren und für den fledermausfreundlichen Betrieb eine Zahl von 8 Tieren.

Die hochgerechneten Zahlen bei den Einzelanlagen können nicht direkt mit den Zahlen aus dem Forschungsvorhaben RENEBAT I verglichen werden (NIERMANN et al. 2011). Zum einen ist die Anzahl der Untersuchungs Nächte durch die Zuordnung der Nächte zu den beiden Betriebsarten in der vorliegenden Untersuchung deutlich kleiner (785 Nächte vs. 2052 Nächte im Normalbetrieb bei NIERMANN et al. 2011). Zum anderen konnten für die Hochrechnung nur die Tiere verwendet werden, die sicher der Betriebsart der letzten Nacht zugeordnet werden konnten. Aus diesem Grunde wurde hier auch nur die einfache Formel verwendet, weil sie nur frische Kollisionsopfer zulässt.

Wichtig ist an dieser Stelle der erneute Hinweis, dass es nicht Ziel der Untersuchung war, die Anzahl der Tiere an den Anlagen mit fledermausfreundlichem Betrieb auf Null zu reduzieren. Vielmehr wurde ein spezieller Wert angepeilt. Wie bereits in Kap. 4.3.1. dargestellt, sollte in diesem Experiment die Anzahl der Opfer auf einen Zielwert von 0,56 toten Tieren im Zeitraum von 49 Tagen, von 1,12 toten Tieren im Gesamtzeitraum des Experiments (98 Tage) begrenzt werden. Dieser Wert entspricht einer Gesamtzahl von 2 Tieren je Anlage und Saison (d. h. in der Zeit, in der Fledermäuse innerhalb eines Jahres im Rotorbereich von WEA aktiv sind – abhängig von Art, Klima und Standort etwa März bis November). Das Ergebnis, wonach die angestrebte Reduktion auf 2 Kollisionsopfer je Anlage erreicht wurde zeigt, dass der fledermausfreundliche Betrieb eine hoch wirksame Vermeidungsmaßnahme darstellt (siehe BEHR et al. 2015). Damit kann – nach derzeitigem Wissensstand – auch jeder andere Zielwert erreicht werden, der behördenseitig festgelegt wird.

5.4 Weitere methodische Untersuchungen

Für die Anwendung einer Erfassungsmethode ist die Kenntnis der Möglichkeiten und Grenzen der Methoden vorteilhaft. Eine Reihe von Arbeiten hat in den letzten Jahren dazu beigetragen, diese Möglichkeiten auszuloten. Dies betrifft unter anderem die

Möglichkeiten der Verwendung von Objekten zur Ermittlung der Sucheffizienz (NIERMANN et al. 2011) und der Verbleiberate (KERNs et al. 2005, NIERMANN et al. 2011) sowie die Auswirkung von Suchintervallen auf die Hochrechnung (KERNs et al. 2005). Außerdem wurden die Möglichkeiten zur Steigerung der Sucheffizienz durch den Einsatz von Hunden (ARNETT 2006, PAULA et al. 2011) geprüft. Auch die methodische Auseinandersetzung mit verschiedenen Verfahren zur Hochrechnung der Opferzahlen hat begonnen (HUSO 2008, HUSO 2010, KORNER-NIEVERGELT et al. 2011).

In Kontext der methodenkritischen Untersuchungen kam die Frage auf, ob der Zeitpunkt, an dem die Labormäuse zur Ermittlung der Verbleiberate ausgelegt werden, einen Einfluss auf die ermittelte Verbleiberate hat. Die Verbleiberate wird in der Praxis im Zusammenhang mit den Kollisionsopfersuchen erhoben, d. h. das Auslegen der Objekte findet i. d. R. nach den Suchen am Morgen statt. Dadurch liegen die ausgelegten Objekte einige Stunden länger als die Fledermäuse, die in der darauffolgenden Nacht verunglücken können.

Beim Vergleich der Betriebsalgorithmen haben wir eine konstante Schwundrate und keine Unterschiede zwischen den Sichtbarkeitsklassen angenommen. Zudem wurden die Tiere zur Bestimmung der anlagenspezifischen Verbleibedauer aus logistischen Gründen am Morgen ausgelegt. Wenn nun, basierend auf den am Morgen ausgelegten Tieren, ohne Berücksichtigung der Sichtbarkeitsklassen sowie unter Annahme von konstanten Verbleiberaten die Verbleiberate geschätzt wird, erhalten wir einen täglichen Verbleibeanteil von 64 % (59 % - 70 %, Exponentialmodell). Der über alle Sichtbarkeitsklassen gemittelte bis zur ersten Nachsuche verbleibende Anteil von am Abend ausgelegten Tieren betrug 70 % (62 %-79 %, Cox Proportional Hazard Modell). In den meisten Projekten, wie auch im vorliegenden, wird der erste Anteil gemessen, gerechnet werden müsste allerdings mit dem letzten Wert, weil die Fledermäuse erst am Abend sterben. An den in diesem Auslegeexperiment beprobten Anlagen hätte man die Verbleiberate daher um etwa 6 % unterschätzt. In den anderen Auswertungen könnte evt. eine ähnliche Unterschätzung vorhanden gewesen sein, falls die Resultate zwischen den Anlagen übertragbar sind. Das Berücksichtigen des Auslegezeitpunkts zur Bestimmung der Verbleiberate ist nach den vorliegenden Ergebnissen v.a. in offenem Gelände und bei kurzen Suchintervallen wichtig.

Die Verfahren der Hochrechnung der Kollisionsopferzahlen gehen von einer einheitlichen Untersuchungsintensität auf den abgesuchten Flächen aus. Bislang gab es kaum praxisnahe Möglichkeiten die Einhaltung dieser Vorgaben zu prüfen. Aus diesem Grund wurde untersucht, welche Analysemöglichkeiten grundsätzlich beim Einsatz von GPS-Loggern bestehen. Eine konsequente Anwendung der Geräte vorausgesetzt, ermöglichen diese sehr weitreichende Analysen, inklusive der Untersuchungsdichte. Dabei zeigte sich,

dass die Annahme einer homogenen Untersuchungsintensität auch auf Flächen einer Sichtbarkeitsklasse nicht immer erfüllt wird. Aus diesem Grund könnte es in Zukunft empfehlenswert sein Prüfungen dieser Art selbst vorzunehmen um ggf. eingeschliffene Verhaltensmuster (z. B. die intensivere Absuche der Kranstellplätze) zu erkennen und abzustellen. Auch bei den Loggern wären weitere technische Verbesserungen wünschenswert. Für die beschriebene Anwendung wäre eine weitere Vereinfachung der Bedienung, eine deutliche Verlängerung der Laufzeit und der Ausschluss eines Daten-Uploads auf den Logger zu begrüßen.

6 Literatur

- ANTHONY, E.L.P. (1988): Age Determination in Bats. In Kunz, T.H. (ed.): Ecological and behavioral methods for the study of bats. 47-58.
- ARNETT, E.B. (2006): A preliminary evaluation on the use of dogs to recover bat fatalities at wind energy facilities. *Wildlife Society Bulletin* 34: 1440–1445.
- ARNETT, E.B., BROWN, W.K., ERIKSON, W.P., FIEDLER, J.K., HAMILTON, B.L., HENRY, T.H., JAIN, A., JOHNSON, G.D., KERNS, J., KOFORD, R.R., NICHOLSON, C.P., O'CONNELL, T.J., PIORKOWSKI, M.D. & TANKERSLEY, R.D. (2008): Patterns of bat fatalities at wind energy Facilities in North America. *J. Wildl. Manage.* 72(1): 61-78.
- 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. (2015): Experimenteller Test der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 205-269.
- BENECKE, M. (2001): A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International* 120: 2-14.
- BRUNET-ROSSINNI, A.K. & WILKINSON, G.S. (2009): Methods for Age Estimation and the Study of Senescence in Bats. Pp. 315–325. In: Ecological and behavioral methods for the study of bats (Kunz, T.H. & Parsons, S. eds.). Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
- CRYAN, P.M. (2008): Mating Behaviour as a possible cause of bat fatalities at wind turbines. *J. Wildlife Management* 72: 845-849.
- DÜRR, T. (2007): Die bundesweite Kartei zur Dokumentation von Fledermausverlusten an Windenergieanlagen – ein Rückblick auf 5 Jahre Datenerfassung. *Nyctalus N.F.* 12(2-3): 108-114.
- DÜRR, T. (2013): Fledermausverluste an Windenergieanlagen – Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt,

- Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. Stand 25.10.2013. http://www.lugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/wka_fmaus_eu.xls.
- GENNARD, D. (2012): Forensic Entomology – An Introduction, Second Edition. Wiley-Blackwell, 244 Seiten.
- HUSO, M. (2008): A comparison of estimators of bat (and bird) mortality at wind power generation facilities. Vortragsfolien für den BWEC Workshop 2008.
- HUSO, M.M.P. (2010): An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics* 22: 318-329.
- KALLASCH, C. & LEHNERT, M. (1995): Zur Populationsökologie von Wasser- und Fransenfledermäusen (*Myotis daubentoni* und *Myotis nattereri*) in der Spandauer Zitadelle (Berlin). *Sber. Ges. Naturf. Freunde (N.F.)* 34: 69-91.
- KERNS, J., ERICKSON, W.-P. & ARNETT, E.B. (2005): Bat and Bird Fatality at Wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia. Arnett, E.B. (ed.): Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: an assessment of bat fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- KLOTZBACH, H., KRETTEK, R., BRATZKE, H., PÜSCHEL, K., ZEHNER, R., & AMENDT, J. (2004): The history of forensic entomology in German-Speaking countries. *Forensic Science International* 144: 259-263.
- KORNER-NIEVERGELT, F., KORNER-NIEVERGELT, P., BEHR, O., NIERMANN, I., BRINKMANN, R. & HELLRIEGEL, B. (2011): A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. *Wildl. Biol.* 17: 350-363.
- NIERMANN, I., BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F. & BEHR, O. (2011): Systematische Schlagopfersuche – Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 40-115.
- PAULA, J., LEAL, M.C., SILVA, M.J., MASCARENHA, R., COSTA, H., MASCARENHAS, M., (2011): Dogs as a tool to improve bird-strike mortality estimates at wind farms. *Journal for Nature Conservation* 19: 202–208.
- TRAPPMANN, C. (1999): Anmerkungen zur Altersbestimmung bei der Fransenfledermaus, *Myotis nattereri* (Kuhl, 1817). *Nyctalus (N.F.)* 7(1): 121-135.

7 Anhang

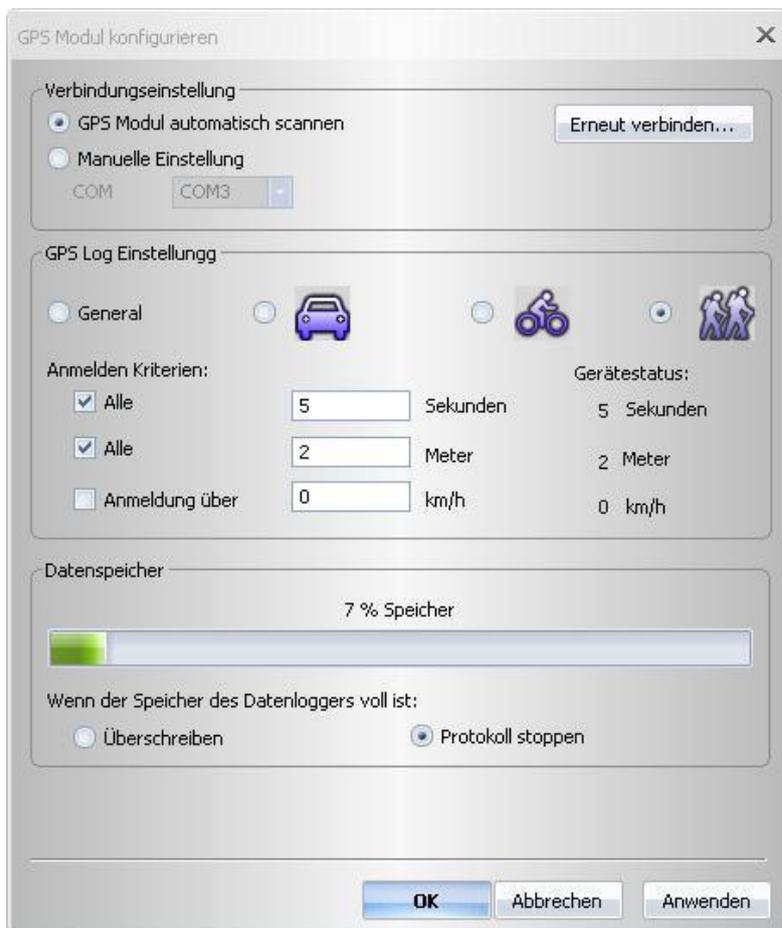


Abbildung 15 Konfiguration der GPS-Logger

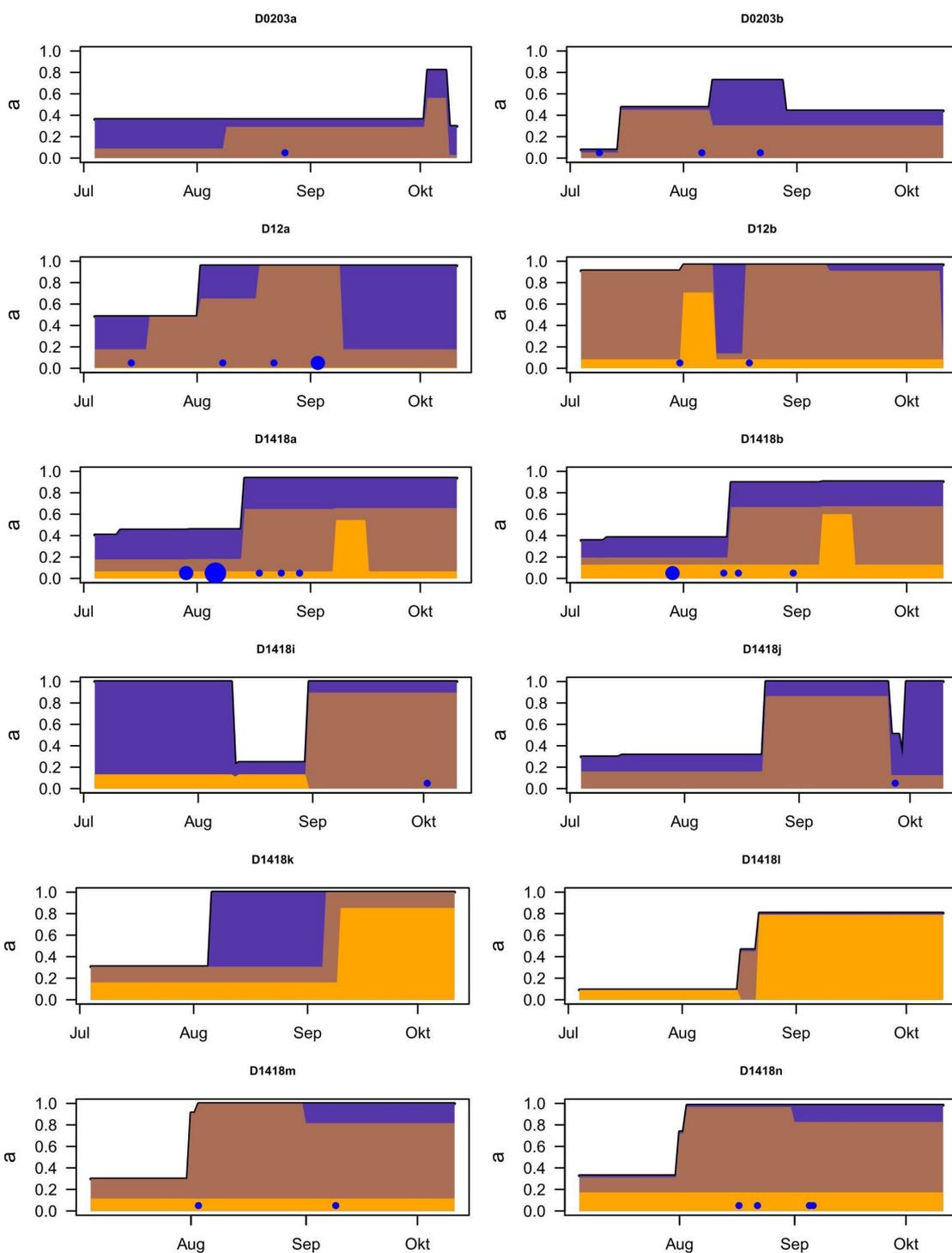


Abbildung 16 Entwicklung der absuchbaren Flächenanteile (a) an den untersuchten Windenergieanlagen

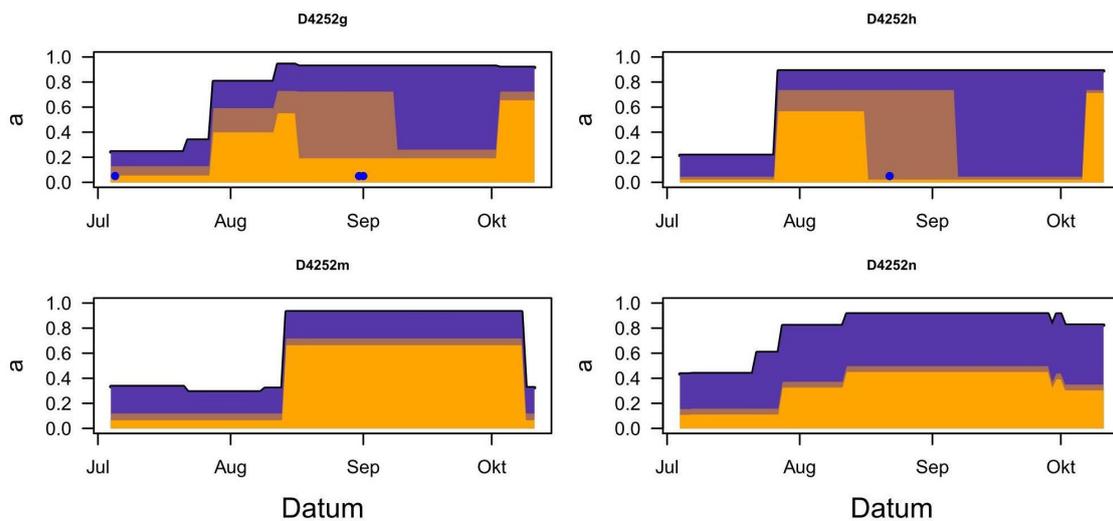


Abbildung 17 Entwicklung der absuchbaren Flächenanteile (a) an den untersuchten Windenergieanlagen

Experimenteller Test der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen

OLIVER BEHR^a, ROBERT BRINKMANN^b, KLAUS HOCHRADEL^a, JOHANNA HURST^b,
JÜRGEN MAGES^a, ANDREAS NAUCKE^a, MARTINA NAGY^a, IVO NIERMANN^c,
HENDRIK REERS^b, RALPH SIMON^a, NATALIE WEBER^a, FRÄNZI KORNER-NIEVERGELT^d

^aFriedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik, Erlangen

^bFreiburger Institut für angewandte Tierökologie GmbH (FrInaT), Freiburg

^cLeibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

^doikostat GmbH, Ettiswil (CH)

Inhalt

1	Zusammenfassung	207
2	Einleitung	209
2.1	Schwierigkeiten bei der Erfassung des Schlagrisikos für Fledermäuse an WEA	209
2.2	Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen zur Reduktion des Schlagrisikos von Fledermäusen an WEA	211
2.3	Vor- und Nachteile verschiedener Untersuchungsansätze	212
2.4	Ziele der hier dargestellten Untersuchungen.	213
3	Methode	215
3.1	Experimentelles Design	215
3.2	Datengrundlage	216
3.3	Berechnung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen	217
3.4	Umsetzung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen an den WEA	219
3.5	Ermittlung der Ertragsausfälle durch den fledermausfreundlichen Betrieb.	223
3.6	Schlagopferzahlen berechnet aus akustischen Daten	224
3.7	Schlagopferzahlen berechnet aus Nachsuchdaten	225

3.8	Berechnung der Schlagopferzahlen aus kombinierten akustischen und Nachsuchdaten	225
3.9	Anpassung und Überprüfung des Modells	227
4	Ergebnisse	228
4.1	Erwartete Schlagopferzahlen im fledermausfreundlichen Betrieb.	228
4.2	Schlagopferzahlen berechnet aus akustischen Daten	229
4.3	Schlagopferzahlen berechnet aus den Daten der Nachsuchen	230
4.4	Unsicherheit der Schlagopferzahlen aus Nachsuchen für einzelne WEA	234
4.5	Schlagopferzahlen aus kombinierten akustischen und Nachsuchdaten	234
4.6	Ertragseinbuße durch den fledermausfreundlichen Betrieb	242
5	Diskussion.	244
5.1	Schlagopferzahlen berechnet aus akustischen Daten	245
5.2	Schlagopferzahlen berechnet aus den Daten der Nachsuchen	247
5.3	Schlagopferzahlen aus kombinierten akustischen und Nachsuchdaten	248
5.4	Streuung der Zahl getöteter Fledermäuse	249
5.5	Zeiteinheit der Gefährdungsbeurteilung: 10-Minuten-Intervalle	249
5.6	Übertragbarkeit der Methodik auf nicht im Forschungsvorhaben beprobte WEA 250	
5.7	Spezifische fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für einzelne Artgruppen	253
5.8	Experimenteller Einsatz fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen	254
5.9	Effizienz fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen	257
5.10	Schlussfolgerungen	259
6	Literatur.	259
7	Glossar	265
7.1	Betrieb von Windenergieanlagen	265
7.2	Statistik	266
8	Anhang	268
8.1	Diagnostische Abbildungen für die Beurteilung der Modellgüte	268

1 Zusammenfassung

Fledermausschlagopfer an Windenergieanlagen (im Folgenden „WEA“) treten an vielen Standorten und teilweise in größeren Zahlen auf. Eine Reduktion der Schlagopferzahlen ist nicht nur aus Perspektive des Naturschutzes, sondern auch für die Akzeptanz des Ausbaus der Windenergie wichtig. Zum derzeitigen Kenntnisstand sind nur Betriebsalgorithmen, die die Rotoren der WEA zu Zeiten von hohem Schlagrisiko still stellen, in der Lage, die Zahl zu Tode kommender Fledermäuse substanziell zu reduzieren.

Im vorhergehenden Forschungsvorhaben (im Folgenden „RENEBAT I“) wurde eine Methode entwickelt, mit der das Schlagrisiko für Fledermäuse an WEA quantifiziert und reduziert werden kann. Die Datengrundlage hierfür bilden eine akustische Aktivitätserfassung im Rotorbereich der WEA und die an der Anlage gemessenen Windgeschwindigkeitswerte. Basierend auf diesen Daten wird für einzelne 10-Minuten-Intervalle ein anlagenspezifischer Erwartungswert des Schlagrisikos berechnet.

Der fledermausfreundliche Betriebsalgorithmus bestimmt die Zeiträume, in denen der Quotient aus der zu erwartenden Ertragseinbuße und der vorhergesagten Zahl toter Fledermäuse minimal ist. In diesen Zeiträumen wird die WEA aus dem Wind genommen, die Drehgeschwindigkeit des Rotors auf einen geringen Wert reduziert und damit die Kollision von Fledermäusen vermieden. Eine solche Anlagensteuerung soll also das Risiko des Fledermausschlags auf einen in der Regel behördlich festgelegten jährlichen Durchschnittswert reduzieren und gleichzeitig die resultierenden Ertragseinbußen minimieren.

Wir stellen hier die Ergebnisse eines Praxistests der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen vor, der an 16 WEA in 8 Windparks (2 WEA je Windpark) im Bundesgebiet durchgeführt wurde. Der Zeitraum des Experiments erstreckte sich über 14 Wochen von Anfang Juli bis Anfang Oktober 2012. Alle 16 WEA im Experiment waren bereits im vorangegangenen Forschungsvorhaben RENEBAT I im Jahr 2008 akustisch beprobt worden. Wir wählten sie aus dem vorhandenen Datenpool (70 beprobte WEA im Jahr 2008) nach einem hohen Schlagrisiko und nach einer guten Eignung für Schlagopfernachsungen aus. Winddaten lagen ebenfalls aus dem Jahr 2008 für alle Anlagen vor, so dass fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen berechnet werden konnten.

Die beiden beprobten WEA eines Windparks wurden jeweils im wöchentlichen Wechsel mit bzw. ohne fledermausfreundliche Algorithmen betrieben. Die Schlagrate für den fledermausfreundlichen Betrieb wurde auf 0,011 tote Tiere pro WEA und Nacht festgesetzt, was 2 toten Tieren pro WEA und Saison entsprach. Zur Erfassung des Kollisionsrisikos führten wir tägliche Schlagopfernachsungen unter den beprobten WEA und eine

kontinuierliche akustische Aktivitätserfassung (Detektoren: Anabat SD1, Batcorder 1 und Avisoft-System) an der Gondel der WEA durch.

In den 7 Wochen mit Normalbetrieb wurden 21 Schlagopfer und während der 7 Wochen mit fledermausfreundlichem Betrieb 3 tote Tiere gefunden. Die aus den Nachsuchen ermittelte und sowohl für den Abtrag (hauptsächlich durch Aasfresser) als auch die Sucheffizienz korrigierte mittlere Schlagrate lag damit bei 0,064 toten Tieren je WEA und Nacht für den Normalbetrieb und bei 0,010 für den fledermausfreundlichen Betrieb. Der tatsächliche Wert im fledermausfreundlichen Betrieb unterschied sich also nur unwesentlich vom angestrebten Wert. Die Schlagrate im Normalbetrieb war somit mehr als sechs mal so hoch wie im fledermausfreundlichen Betrieb.

Wir berechneten die Schlagraten auch mit N-mixture-Modellen, die neben den Daten der Schlagopfernachsuchen auch die Daten der akustischen Aktivitätserfassung berücksichtigen. Die zur Verfügung stehenden Datensätze waren entsprechend kleiner, da in die Berechnung nur Zeiträume eingingen, in denen sowohl Nachsuchen als auch eine akustische Beprobung stattfand. Die mit dieser Methode berechneten Schlagraten für den fledermausfreundlichen Betrieb lagen je nach akustischem Datensatz (jeweils ein Datensatz für jeden der drei eingesetzten Detektortypen) zwischen 0,057 und 0,081 für den Normalbetrieb und 0,007 und 0,016 für den fledermausfreundlichen Betrieb.

Die Anlaufwindgeschwindigkeiten der Betriebsalgorithmen wurden mit einer Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$ definiert (die Windgeschwindigkeit muss $0,5 \text{ ms}^{-1}$ über der definierten Anlaufwindgeschwindigkeit liegen, um die Anlage anlaufen zu lassen). Wir verwendeten diese Hysterese-funktion, um die Zahl der Aus- und Einschaltvorgänge zu reduzieren.

Die Ertragsausfälle durch einen ganzjährigen fledermausfreundlichen Betrieb (Summe der berechneten Ertragsausfälle in Zeiten mit Normalbetrieb und der realen Ertragsausfälle in Zeiten mit fledermausfreundlichem Betrieb) lag im Mittel bei 2,1 % des Jahresertrags der WEA im gesamten Jahr 2012. Dieser Wert lag nah am vorhergesagten Wert von 2,2 % für die beprobten WEA. Da für das Experiment Anlagen mit hohem Schlagrisiko ausgewählt wurden, lag der Wert für einen zufallsausgewählten Datensatz im Mittel bei 1,8 % und damit niedriger. Bei Verzicht auf eine Hysterese reduzierte sich dieser Wert nochmals auf 1,4 %.

Wir konnten also zeigen, dass die im vorangegangenen Forschungsvorhaben RENEBA I entwickelten statistischen Modelle die Schlagopferzahlen an den untersuchten Anlagen mit hinreichender Genauigkeit vorhersagen können. Darüber hinaus konnten wir zeigen, dass der fledermausfreundliche Betriebsalgorithmus an den untersuchten Anlagen dazu geeignet ist, das Schlagrisiko mit hoher Präzision auf einen festgelegten Wert des

verbleibenden Kollisionsrisikos zu reduzieren. Die Kosten für dieses Vorgehen konnten wir für unseren Datensatz beispielhaft ermitteln.

2 Einleitung

Etwa seit der Jahrtausendwende ist das Problem des Fledermausschlags an Windenergieanlagen (im Folgenden „WEA“) neben dem des bereits früher diskutierten Vogelschlags verstärkt ins öffentliche Bewusstsein und damit auch in den Fokus entsprechender Untersuchungen gelangt (z. B. RAHMEL et al. 1999; BACH 2001; aktuelle Übersicht in SCHUSTER et al. 2015). Entsprechend dem Vorgehen bei der Vogelschlagproblematik wurde lange Zeit auch hinsichtlich der Fledermäuse versucht, im Rahmen der Eingriffsplanung, also vor dem Bau der WEA, das potenzielle Schlagrisiko eines Standortes zu beurteilen und entsprechende Schlussfolgerungen für den Genehmigungsprozess zu ziehen. Dabei kamen (und kommen teilweise noch) bundesweit sehr uneinheitliche methodische und planerische Standards zur Anwendung (siehe dazu z. B. NIERMANN et al. 2011b; MAYER et al. 2015 in diesem Dokument).

2.1 Schwierigkeiten bei der Erfassung des Schlagrisikos für Fledermäuse an WEA

Dass die Erfassung des Schlagrisikos für Fledermäuse an WEA nach wie vor bundesweit sehr uneinheitlich gehandhabt wird, liegt sicherlich zu einem großen Teil daran, dass die Untersuchung von Standorten vor dem Bau der WEA hinsichtlich des potenziellen Schlagrisikos für Fledermäuse methodisch extrem schwierig, mit großem Aufwand verbunden und dennoch mit großen Unsicherheiten behaftet ist. Die gängigen Nachweismethoden für das Vorkommen von Fledermäusen außerhalb von Quartieren sind in ihrer Reichweite begrenzt. Dies gilt für Netzfänge, aber auch für akustische Aktivitätsnachweise. Beide Methoden sind daher ungeeignet, vom Boden aus direkt die Aktivität im Rotorbereich moderner WEA zu erfassen. In wenigen Fällen wurden akustische Detektoren an Ballons (GRUNWALD et al. 2007; ALBRECHT et al. 2011), Zeppelin (SATTLER et al. 2005) oder Drachen in größerer Höhe über dem Boden eingesetzt. Dies ist sicherlich als deutliche Verbesserung zu sehen, eignet sich jedoch aus logistischen und Kostengründen kaum zu einer länger andauernden Erfassung und aus mechanischen Gründen z. B. nicht zu einer Untersuchung des Zusammenhangs von Windgeschwindigkeit und Aktivität.

Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass das Flugverhalten zumindest einiger Fledermausarten (z. B. der Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*) durch die WEA selbst und durch Veränderungen der Habitatstruktur beim Bau der Anlagen (Schaffung von Jagdhabitaten,

z. B. Lichtungen, Kranstellplätze, und von Leitlinien, z. B. Schneisen, Zuwegungen) beeinflusst wird (BEHR et al. 2006c; CRYAN 2008; ARNETT et al. 2009b; CRYAN et al. 2009). Es ist daher selbst durch eine Höhenerfassung vor dem Bau der WEA nur bedingt möglich, auf die Aktivität im Rotorbereich nach dem Bau der WEA zu schließen. Untersuchungen zum Zusammenhang von akustischer Aktivität in größerer Höhe über dem Boden vor dem Bau und der Zahl getöteter Fledermäuse nach dem Bau von WEA sind aufwändig und langwierig. Entsprechend sind uns derzeit nur wenige entsprechende Arbeiten aus den USA bekannt (ARNETT et al. 2009b; HEIN et al. 2013). In der Übersichtsarbeit von HEIN et al. (2013) ergab sich für zwölf Standorte in den USA nur ein tendenzieller und kein signifikanter Zusammenhang zwischen der vor dem Bau von WEA gemessenen akustischen Aktivität und der nach dem Bau gemessenen Schlagrate. Die gemessene akustische Aktivität erklärte nur 22 % der Varianz der Schlagraten. Die Autoren schlussfolgern daher, dass die vor dem Bau von WEA gemessene akustische Aktivität das Schlagrisiko nicht zuverlässig vorhersagen kann.

Wegen der mit einer Höhenerfassung einhergehenden technischen Probleme wird häufig die akustische Aktivität von Fledermäusen am Boden gemessen und hieraus auf das potenzielle Schlagrisiko nach dem Bau der WEA geschlossen. Verschiedene Arbeiten haben jedoch gezeigt, dass zumindest an bestehenden WEA die Vorhersage der Aktivität im Gondelbereich aus einer bodennahen Erfassung selbst bei umfangreichen Stichproben mit einer relativ großen Ungenauigkeit behaftet ist (BEHR et al. 2011a: auch wenn mehr als 20 Nächte gemessen wurden, lag nur ein Drittel der Vorhersagen im Bereich von 50 – 150 % des eigentlichen Messwertes der Aktivität an der Gondel). Arbeiten zur Höhenstratifizierung der Fledermausaktivität haben große Unterschiede nachgewiesen zwischen der Aktivität am Boden und an der Spitze von Messtürmen in etwa 30 bis 40 m Höhe (ARNETT et al. 2006; ARNETT et al. 2007; COLLINS et al. 2009) oder an Ballons in etwa 70 m Höhe (ALBRECHT et al. 2011) bzw. zwischen der Aktivität an der Gondel und am Fuß von WEA (BEHR et al. 2006a; BEHR et al. 2006b; BEHR et al. 2006c; BEHR et al. 2007; BEHR et al. 2011a). Die genannten Arbeiten zeigen darüber hinaus für größere Höhen über dem Boden eine deutliche Verschiebung des Artenspektrums hin zu Arten des freien Luftraums.

Ein weiterer methodischer Ansatz zur Beurteilung des Schlagrisikos vor dem Bau von WEA ist die Bewertung von Landschaftsparametern im Umfeld des geplanten Standorts. Dies wird zur Beurteilung des Schlagrisikos für Vögel eingesetzt (z. B. Nähe zu Gewässern, Rastplätzen, etc.). Auch dieses Vorgehen ist jedoch für die Vorhersage des Schlagrisikos von Fledermäusen als problematisch anzusehen, da nur wenige belastbare Belege für einen tatsächlichen Zusammenhang zwischen den bislang vorgeschlagenen Landschaftsparametern und dem Auftreten von Schlagopfern vorliegen (siehe dazu NIERMANN et al. 2011b).

Mit den genannten Methoden ist also die Analyse des potenziellen Schlagrisikos für Fledermäuse an einem geplanten WEA-Standort vor dem Bau der Anlagen mit einer großen Unsicherheit behaftet. Es liegen bislang auch nur wenige Arbeiten vor, die das Ergebnis solcher Voruntersuchungen mit den tatsächlichen Verhältnissen nach dem Bau der Anlagen abgleichen (z. B. eine noch nicht abgeschlossene 5 Jahres-Studie in den USA: ARNETT et al. 2009b, HEIN et al. 2013). In einer Studie an einem südfranzösischen Standort war die Zahl der Schlagopfer wesentlich höher als nach den Voruntersuchungen angenommen (BEUCHER et al. 2010).

Auch die Erfassung der Zahl getöteter Fledermäuse an bestehenden WEA war lange Zeit mit großen Unsicherheiten oder Fehlern behaftet. In der Regel wurden solche Zahlen durch Nachsuchen unter den Anlagen ermittelt. Dieses Vorgehen ist jedoch an den meisten Standorten mit zahlreichen Problemen behaftet, die eines methodisch sauberen und aufwändigen Vorgehens bedürfen (siehe dazu NIERMANN et al. 2011a, BERNARDINO et al. 2013, KORNER-NIEVERGELT et al. 2013; KORNER-NIEVERGELT et al. 2015). Der notwendige methodische Aufwand wurde und wird bei Standortuntersuchungen in Europa jedoch nur in einer Minderzahl aller Fälle betrieben – deutlich höhere und einheitlichere Standards werden bereits seit mehreren Jahren bei Schlagopfernachsuchen in Nordamerika angewendet (z. B. KUNZ et al. 2007, HEIN et al. 2013).

Die genannten Schwierigkeiten bei der quantitativen Vorhersage oder Erfassung des Fledermausschlags an WEA haben dazu geführt, dass es über mehrere Jahre Unsicherheiten und Auseinandersetzungen über den tatsächlichen Umfang dieses Problems gab. Vor diesem Hintergrund war es schwierig, konstruktive Lösungsansätze zu suchen, was sich unter anderem in den unterschiedlichen Vorgehensweisen einzelner Bundesländer widerspiegelt.

2.2 Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen zur Reduktion des Schlagrisikos von Fledermäusen an WEA

Im Forschungsvorhaben RENEBAAT I (BRINKMANN et al. 2011a) wurde von uns eine Methode entwickelt, mit der das Schlagrisiko für Fledermäuse an WEA quantifiziert und reduziert werden kann (BEHR et al. 2011b). Die Datengrundlage hierfür bilden eine akustische Aktivitätserfassung im Rotorbereich der WEA einerseits und die an der Anlage gemessene Windgeschwindigkeit andererseits. Basierend auf diesen Daten wird für eine spezifische Anlage und einzelne 10-Minuten-Intervalle ein Erwartungswert der Zahl getöteter Fledermäuse berechnet. Dieser Erwartungswert errechnet sich aus den Einflussfaktoren Monat, Nachtzeit und Windgeschwindigkeit (letztere an der WEA-Gondel gemessen) und einem anlagenspezifischen Faktor, der das Niveau der akustischen

Fledermausaktivität an dieser WEA beschreibt. Eine Gegenüberstellung der Vorhersage der Zahl getöteter Fledermäuse und des potenziell erzielten Energieertrags der Anlage ermöglicht dann eine abwägende Bewertung für einzelne 10-Minuten-Intervalle (eine aktuelle Übersicht zum nachgewiesenen Effekt der genannten Einflussfaktoren auf die Fledermausaktivität an WEA findet sich in SCHUSTER et al. 2015).

Die Bewertung einzelner Zeitabschnitte – in der Regel 10-Minuten-Intervalle – kann als Grundlage für einen zeitlich hoch auflösenden, fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus für WEA verwendet werden. Der Algorithmus bestimmt die Zeiträume, in denen der Quotient aus der zu erwartenden Ertragseinbuße und der vorhergesagten Zahl toter Fledermäuse minimal ist. In diesen Zeiträumen wird die WEA aus dem Wind genommen, der Rotor still gestellt und damit die Kollision von Fledermäusen vermieden (an stehenden WEA wurden in mehreren Untersuchungen keine toten Fledermäuse gefunden – z. B. ARNETT 2005). Eine solche Anlagensteuerung soll also das Risiko des Fledermausschlags auf einen festgelegten jährlichen Durchschnittswert in Kauf genommener toter Fledermäuse reduzieren und gleichzeitig die resultierenden Ertragseinbußen minimieren.

2.3 Vor- und Nachteile verschiedener Untersuchungsansätze

Als nachteilig an der oben beschriebenen in RENEBAT I entwickelten Methode ist anzusehen, dass eine Beurteilung der WEA und die Ausarbeitung entsprechender Vermeidungsmaßnahmen erst nach dem Bau der Anlagen erfolgt. Dies führt zu einer gewissen Unsicherheit bei der Standortplanung, die sich nach derzeit vorliegenden Daten jedoch in einem eng umgrenzten Rahmen bewegt (siehe BEHR et al. 2011b und Abschnitt 4.6 in diesem Artikel). In diesem Zusammenhang sind Voruntersuchungen des geplanten Standorts wichtig, die Hinweise auf sehr hohe Fledermausaktivität z. B. in der Nähe von Winterquartieren oder wichtigen Wochenstubegebieten geben können. An solchen Standorten ist zwar prinzipiell ein Betrieb von WEA mit entsprechenden fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen möglich. Die dadurch entstehenden Ertragsausfälle können jedoch in Fällen von extrem hoher Fledermausaktivität die Rentabilität eines Standorts stark herabsetzen.

Als Vorteil der von uns entwickelten Methode ist zu sehen, dass einige der weiter oben genannten Probleme nicht auftreten: Die Aktivität und damit das Schlagrisiko von Fledermäusen wird an der bestehenden Anlage und im eigentlichen Gefährdungsbereich erfasst. Der Nachweis der akustischen Aktivität kann mit modernen automatisierten Verfahren einfacher und methodisch einheitlicher erfolgen als die Suche nach Schlagopfern unter den WEA (zu den methodischen Voraussetzungen der Schlagopfersuche siehe

NIERMANN et al. 2011a). Die von uns entwickelte Methodik der akustischen Erfassung erlaubt eine Dauerbeprobung während der Sommermonate mit vertretbarem Aufwand (dies ist u.a. wegen der für Fledermäuse typischen, sehr kurzzeitigen Aktivitätsmaxima ein entscheidender Vorteil gegenüber Untersuchungen, die diesen Zeitraum nur in Stichproben untersuchen).

Die von uns vorgeschlagenen Betriebsalgorithmen

- sind **anlagenspezifisch** und berücksichtigen zu einem hohen Grad die teilweise sehr großen Unterschiede zwischen einzelnen Anlagen in der Fledermausaktivität und in der Windgeschwindigkeit,
- berücksichtigen zur Vorhersage spezifischer Gefährdungszeiträume neben der Windgeschwindigkeit die Einflussfaktoren **Monat und Nachtzeit** (auch die Berücksichtigung von Temperatur und Niederschlag sind ggf. möglich),
- ermöglichen damit eine Gewichtung **verschiedener Jahreszeiten**,
- und können für ein **festzulegendes Schlagrisiko für Fledermäuse** spezifiziert werden.

In den genannten Punkten unterscheiden sich die von uns vorgeschlagenen fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen von Betriebsalgorithmen, die bislang in verschiedenen Experimenten in Nordamerika und Europa getestet wurden (BEHR et al. 2006c; ARNETT et al. 2009a; BAERWALD et al. 2009; BEUCHER et al. 2011; GOOD et al. 2011; Übersicht über die nordamerikanischen Studien in ARNETT et al. 2013). Die genannten Studien definierten in der Regel eine feste Anlaufwindgeschwindigkeit (oder *cut-in* Windgeschwindigkeit) über der vom Hersteller angegebenen Anlaufwindgeschwindigkeit für den Betrieb der WEA. Diese Anlaufwindgeschwindigkeit war unabhängig von der tatsächlichen Fledermausaktivität und lag meist zwischen 5 und 6,5 ms^{-1} . Die meisten der genannten Studien konnten eine starke Reduzierung (in der Regel um mehr als 50 %) des Schlagrisikos durch die Anhebung der Anlaufwindgeschwindigkeit nachweisen.

2.4 Ziele der hier dargestellten Untersuchungen

Übergeordnetes Ziel des in diesem Bericht dargestellten und durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten dreijährigen Forschungsvorhabens „Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“ (im Folgenden „RENEBAT II“) war es, auch an umstrittenen Standorten sowohl den Belangen des Fledermausschutzes als auch dem Ziel des Ausbaus der Windenergie und damit der Förderung regenerativer Energiequellen Rechnung zu tragen.

Die bei der Standortplanung und Genehmigung von WEA beteiligten Akteure (z. B. in Behörden und Gutachterbüros) sollten in die Lage versetzt werden, diese Methoden eigenständig und mit möglichst geringem Aufwand umzusetzen, um eine zeitnahe und breite praktische Umsetzung zu ermöglichen. Praktisches Ziel war daher die Validierung und Weiterentwicklung der im vorangegangenen Forschungsvorhaben RENEBAT I entwickelten Methoden, insbesondere der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen.

Hierzu führten wir an ausgewählten WEA-Standorten Modelluntersuchungen zur Reduktion des Kollisionsrisikos (WEA im fledermausfreundlichen Betrieb) mit der von uns entwickelten Untersuchungsmethodik durch. Der von uns entwickelte Ansatz sieht im ersten Schritt eine akustische Erfassung der Fledermausaktivität vor. Basierend auf den Ergebnissen dieser Erfassung wird dann über Betriebseinschränkungen zur Verminderung des Kollisionsrisikos entschieden. Um den Untersuchungszeitraum kurz zu halten, griffen wir bei den hier dargestellten Untersuchungen auf den Pool von Anlagen zurück, der bereits in RENEBAT I akustisch beprobt worden war. Da diese Anlagen nun im Jahr 2012 erneut beprobt wurden, können wir erste Hinweise darauf geben, in welchem Umfang sich die Fledermausaktivität an WEA zwischen verschiedenen Jahren unterscheidet.

Die hier dargestellten Ergebnisse sind einerseits als Praxistest zu sehen, der es uns ermöglichen sollte, Probleme abzufangen, die beim Einsatz unserer Methodik auftreten können. Andererseits gehen wir davon aus, dass es anhand dokumentierter Fallbeispiele allen an der Standortplanung beteiligten Parteien leichter fallen wird, unseren Untersuchungsansatz praktisch umzusetzen. Die technische Umsetzbarkeit und die Effizienz unseres methodischen Ansatzes wurden von uns geprüft, indem wir das verbleibende Kollisionsrisiko im fledermausfreundlichen Betrieb quantifizierten und mit dem theoretisch vorhergesagten abglichen. Zur Erfassung des Kollisionsrisikos führten wir tägliche Schlagopfernachsuche unter den beprobten WEA und eine kontinuierliche akustische Aktivitätserfassung durch.

Die Kosten aus Betriebsausfällen und aus der Implementierung der Betriebsalgorithmen wurden im Experiment unter praxisnahen Bedingungen ermittelt.

Basierend auf den erfassten Daten wurden von uns Updates der in RENEBAT I entwickelten Modelle zur Berechnung des Schlagrisikos aus der akustischen Aktivität erstellt. Diese Updates basieren auf einem größeren Datensatz als die ursprünglichen Modelle.

3 Methode

Zu den im Text verwendeten statistischen Begriffen und Symbolen siehe das Glossar in Abschnitt 7.

3.1 Experimentelles Design

Die im zurückliegenden Forschungsvorhaben RENEBAT I entwickelten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen wurden 2012 im Rahmen eines Feldexperimentes an 16 ausgewählten Windenergieanlagen (im Folgenden „WEA“) in acht Windparks (jeweils zwei WEA je Windpark) verteilt auf vier Naturräume im Bundesgebiet eingesetzt (BRINKMANN et al. 2011b ; NIERMANN et al. 2015 in diesem Dokument). Zwei weitere mit fledermausfreundlichen Algorithmen betriebene WEA an einem französischen Standort wiesen ein abweichendes Artspektrum auf, und es lagen keine gültigen Daten zu Schlagopfernachsuchen vor. Der südfranzösische Standort wird daher in diesem Artikel nicht dargestellt.

Da alle hier dargestellten 16 Anlagen bereits im Jahr 2008 in RENEBAT I akustisch beprobt worden waren, war das akustische Fledermausaktivitätsniveau dieser WEA bekannt. Dies ist eine der Voraussetzungen, um den Algorithmus des fledermausfreundlichen Betriebs berechnen zu können.

Die 16 im Experiment beprobten Anlagen wurden aus dem Pool aller im Jahr 2008 beprobten WEA (70 Anlagen in 35 Windparks) gezielt nach der Höhe des Schlagrisikos ausgewählt. Um im Experiment eine möglichst hohe Aussageschärfe (statistische Power) bei der Unterscheidung von Normalbetrieb und fledermausfreundlichem Betrieb zu erreichen, wurden Anlagen selektiert, die im Jahr 2008 die höchsten Schlagopferfundzahlen und anhand der akustischen Daten ein hohes vorhergesagtes Schlagrisiko aufwiesen (Mittelwert der vorhergesagten Schlagopferzahl für den beprobten Zeitraum von 92 (Mittelwert der vorhergesagten Schlagopferzahl für den im Experiment beprobten Zeitraum von 92 Tagen im Sommer 2008: 4,8 für alle 71 beprobten WEA und 6,0 für die 16 WEA, die für das Experiment im Jahr 2012 ausgewählt wurden).

Der Zeitraum des Experiments erstreckte sich vom 05.07.2012 abends bis 11.10.2012 morgens, lag also innerhalb des angenommenen Hauptaktivitäts- und damit Hauptgefährdungszeitraums von Fledermäusen an WEA in Mitteleuropa (BEHR et al. 2011a). Der Zeitraum umfasste 98 Nächte mit 14 Wochen-Intervallen. Innerhalb dieser Wochen-Intervalle wurden die beiden beprobten WEA eines Windparks im Wechsel mit bzw. ohne fledermausfreundliche Algorithmen betrieben. Jede Woche wurde der Betrieb

gewechselt, d. h. eine Anlage lief jeweils eine Woche lang im fledermausfreundlichen Betrieb und danach eine Woche im Normalbetrieb. Die beiden Anlagen desselben Windparks liefen immer in unterschiedlichen Betriebsarten. Es wurde also z. B. in der ersten Woche WEA1 mit und WEA2 ohne fledermausfreundlichem Algorithmus betrieben, in der zweiten Woche dann WEA1 ohne und WEA2 mit fledermausfreundlichem Algorithmus. Daraus ergaben sich sieben Wochenintervalle mit und sieben ohne fledermausfreundlichen Betrieb pro WEA.

Wir wählten Wochenintervalle, um einerseits gefundene tote Tiere sicher den Zeiträumen mit und ohne fledermausfreundlichem Betriebsalgorithmus zuordnen zu können (da es vorkommen kann, dass Tiere nicht schon bei der ersten Suche gefunden werden – letztendlich betrachteten wir jedoch für die hier dargestellte Auswertung nur frischtote Tiere, die der letzten Nacht zugeordnet werden konnten) – dies sprach für lange Intervalle. Andererseits sollten Witterungs- und andere mögliche Einflüsse möglichst zufällig über die Zeiten mit und ohne fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus verteilt sein – dies sprach für kurze Intervalle. Die Dauer von einer Woche pro Intervall wurde als Kompromiss gewählt.

3.2 Datengrundlage

Während des Experimentzeitraums vom 05.07.2012 bis 11.10.2012 wurden an allen WEA Daten zur akustischen Aktivität erhoben (siehe dazu BEHR et al. 2015a in diesem Dokument) und Schlagopfernachsuchen durchgeführt (siehe dazu NIERMANN et al. 2015 in diesem Dokument). Die akustische Erfassung erfolgte kontinuierlich und die Nachsuchen täglich. Die Installation der akustischen Detektoren erfolgte sukzessive vor dem Start des Experiments am 05.07.2012. Deshalb standen für einige Anlagen bereits ab dem 02.07.2012 Aktivitätsmessungen zur Verfügung, die in die Auswertung mit gingen. Die akustische Aktivität wurde an der Gondel der beprobten WEA und mittels drei verschiedener Detektortypen gemessen: Batcorder 1, Anabat SD1 und Avisoft-System.

In allen Gondeln der 16 hier dargestellten WEA (an acht Standorten, d. h. Windparks; zwei WEA je Windpark – siehe Abschnitt 3.1) wurde jeweils ein Batcorder in weitgehend derselben Konfiguration wie im Jahr 2008 installiert. Zusätzlich wurde in jedem untersuchten Windpark in einer WEA ein Anabat SD1 und in der anderen WEA ein Avisoft-System installiert (siehe dazu BEHR et al. 2015a in diesem Dokument).

Jeden Morgen wurde die Fläche unter jeder Anlage systematisch nach Schlagopfern abgesucht. Zusätzlich verwendeten wir die in diesem Bericht geschätzten Schlagopfer-Entdeckungswahrscheinlichkeiten. Diese wurden aus experimentell ermittelten

Schwundraten und Sucheigenschaften sowie der Verteilung der abgesuchten Fläche im Verhältnis zur räumlichen Verteilung von Fledermausschlagopfern ermittelt (siehe dazu auch NIERMANN et al. 2011a).

Betriebsdaten (Windgeschwindigkeit und Leistung gemittelt über 10-Minuten-Intervalle) lagen für alle WEA für über 99 % des beprobten Zeitraums vor.

Für die Aktualisierung des bereits in RENEBA I verwendeten N-mixture Modells verwendeten wir neben den 2012 erhobenen Daten aus RENEBA II die Akustik- und Schlagopfernachsuchdaten aus RENEBA I (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a; KORNER-NIEVERGELT et al. 2013).

Die Analysen erfolgten getrennt für die eingesetzten Detektoren (Anabat SD1 – im folgenden SD1, Batcorder und Avisoft System – im folgenden Avisoft). Einzelne Arten und Artgruppen wurden nicht differenziert, da der Datensatz zu den Schlagopferzahlen hierzu nicht umfangreich genug war. Mit einem größeren Datensatz ist es jedoch prinzipiell möglich, die Modelle auch für Arten oder Artgruppen zu differenzieren.

Nicht beprobte Zeiträume während des Experiments 2012 wurden extrapoliert. Hierbei wurde vereinfachend angenommen, dass sich sowohl die Verteilung der Aktivität als auch die Verteilung der Windgeschwindigkeit nicht zwischen beprobten und extrapolierten Zeiträumen unterschied.

3.3 Berechnung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen

Die Berechnung der eingesetzten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen erfolgte entsprechend der Hinweise in BEHR et al. (2011b) und in diesem Band (siehe dazu BEHR et al. 2015b in diesem Dokument) in mehreren Teilschritten.

3.3.1 Detektoren

Eine Berechnung der erwarteten Schlagopferzahl und der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen konnte basierend auf den Daten der Detektoren Batcorder und Anabat SD1 erfolgen (das Avisoft-System war bei der Datenerfassung in RENEBA I im Jahr 2008 noch nicht entwickelt). Da für den Batcorder aus RENEBA I ein deutlich größerer Datensatz vorlag, wählten wir die Daten dieses Detektors zur Berechnung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen.

3.3.2 Vorhersage der akustischen Aktivität

Erster Teilschritt war die Vorhersage der akustischen Aktivität für 10-Minuten-Intervalle aus der Windgeschwindigkeit, der Nachtzeit, dem Monat und einem anlagenspezifischen Faktor. Hierzu verwendeten wir das in RENEBAT I in BEHR et al. (2011c) eingeführte generalisierte lineare Modell (GLM). In RENEBAT I wurde das GLM für alle Anlagen des Datensatzes berechnet. Unterschiede zwischen den Anlagen im Aktivitätsniveau gingen in den anlagenspezifischen Faktor ein. Die Effekte der anderen Einflussvariablen aus dem Gesamtmodell aus RENEBAT I sind dem Bericht zu entnehmen (BEHR et al. 2011c): Die vorhergesagte Aktivität nahm bei den Daten aus RENEBAT I mit höheren Windgeschwindigkeiten stark ab. Weiterhin zeigte sich eine leichte Abnahme der Aktivität von Mai (Beginn der Untersuchung) auf Juni und ein erneuter Anstieg der Aktivität auf das Maximum im Spätsommer bzw. Herbst. Innerhalb der Nacht lag der Schwerpunkt der Aktivität im ersten Viertel (eine aktuelle Übersicht zum nachgewiesenen Effekt der genannten Einflussfaktoren auf die Fledermausaktivität an WEA findet sich in SCHUSTER et al. 2015).

Da keine Interaktionen zwischen den Einflussvariablen berücksichtigt wurden, wurden Unterschiede zwischen den Anlagen in der Verteilung der Aktivität über die Nacht oder über die Monate des Jahres nicht modelliert. Für zukünftige Weiterentwicklungen der Modelle ist die Integration naturraumspezifischer Unterschiede geplant.

3.3.3 Berechnung der Anzahl toter Fledermäuse aus der akustischen Aktivität

Ein weiterer Teilschritt bei der Berechnung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen war die Berechnung der Anzahl toter Fledermäuse aus der akustischen Aktivität. Hierzu verwendeten wir die ebenfalls in RENEBAT I entwickelten Formeln aus den N-mixture-Modellen (KORNER-NIEVERGELT et al. 2010; KORNER-NIEVERGELT et al. 2013). Wir verwendeten den Typ A der Modelle (Formel $M \sim scAkt + scWind + scWind^2$ – für die Abkürzungen siehe Glossar in Abschnitt 7) mit informativen A-priori-Verteilungen für die Entdeckungswahrscheinlichkeiten (siehe Tabelle 4 auf Seite 338 in KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a).

3.3.4 Zugelassenes Schlagrisiko

Die Zielgröße des Schlagrisikos, d. h. die Zahl von Fledermäusen, die trotz fledermausfreundlichen Betriebs im Mittel pro Jahr zu Tode kommen, wurde in der Expert_innenrunde der projektbegleitenden Arbeitsgruppe zu RENEBAT II auf zwei Tiere pro Jahr festgelegt, wie es auch die derzeitige Regelungspraxis in einigen Bundesländern vorsieht (siehe dazu MAYER et al. 2015 in diesem Dokument).

Der Zeitraum des Experiments beinhaltete nicht die gesamte Aktivitätsperiode von Fledermäusen im Jahr, sondern beschränkte sich auf den Hauptgefährdungszeitraum. Die Zielgröße der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen wurde daher für den Zeitraum des Experiments vom 05.07.2012 bis 11.10.2012 anhand der Ergebnisse aus dem Jahr 2008 angepasst. Für den Zeitraum des Experiments wurde die Zahl von 1,1 zugelassenen Schlagopfern gewählt, was bei Extrapolation der Sommermonate auf das Gesamtjahr (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a) zwei toten Tieren pro Jahr entspricht. Für die Zeiträume mit fledermausfreundlichem Betriebsalgorithmus (die Hälfte des Experimentzeitraums) waren demnach 0,6 tote Tiere pro Anlage zu erwarten. Die erwartete Schlagrate pro Nacht im fledermausfreundlichen Betrieb lag somit bei 0,011 Tieren.

3.4 Umsetzung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen an den WEA

Die fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen definieren Anlaufwindgeschwindigkeiten (häufig wird auch der englische Begriff *cut-in wind-speed* verwendet), ab der sich bei der jeweiligen WEA die Rotoren drehen dürfen (siehe dazu auch das Glossar in Abschnitt 7). Unterhalb dieser Windgeschwindigkeit sollte sich der Rotor nur mit einer für Fledermäuse ungefährlichen Geschwindigkeit drehen, z. B. mit maximal 10 kmh^{-1} an der Rotorspitze. Die im fledermausfreundlichen Betrieb definierte Anlaufwindgeschwindigkeit wird differenziert für Monate und Nachtzeitintervalle und ist spezifisch für jede WEA. Tabelle 1 zeigt beispielhaft die Vorgaben für den fledermausfreundlichen Betrieb an einer fiktiven Anlage. Aus der Tabelle 1 ergibt sich z. B., dass der Rotor im Monat Mai (Monat 05) im Nachtintervall 0.2-0.3 ab $6,0 \text{ ms}^{-1}$ Windgeschwindigkeit rotieren darf (zur Berechnung und Definition der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen siehe BEHR et al. 2011b).

Eine direkte Implementierung der relativen Nachtzeitintervalle (z. B. Intervall 0-0.1, also das Intervall ab Sonnenuntergang bis 10 % der Nachtlänge ab Sonnenuntergang) war zum Zeitpunkt des Experiments bei den Enercon-WEA noch nicht möglich (wird aber derzeit von Enercon entwickelt). Die beispielhaft in Tabelle 1 dargestellten Werte wurden daher in explizite Uhrzeiten umgerechnet. Hieraus resultierte eine Tabelle, in der für jede WEA und jedes Intervall des Experimentzeitraums die Uhrzeit und die definierte Anlaufwindgeschwindigkeit angegeben war (also z. B. vom 05.07.2012 um 20:07 Uhr bis zum 05.07.2012 21:14 Uhr eine Anlaufwindgeschwindigkeit von $3,7 \text{ ms}^{-1}$). Diese Tabelle wurde in die Anlagensteuerung implementiert. Abbildung 1 zeigt die Arbeitsweise des fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus während eines Beispieltages.

Tabelle 1 Anlaufwindgeschwindigkeiten: Beispieltabelle zur Steuerung einer Windenergieanlage entsprechend dem errechneten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus. Für eine spezifische Anlage ist für jede Monat-Nachtzeit-Kombination die Windgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde angegeben, ab der der Rotor beginnen darf, sich zu drehen – also die Anlaufwindgeschwindigkeit. Die Nachtzeit ist in relativen 10%-Intervallen von 0 (Sonnenuntergang) bis 1 (Sonnenaufgang) angegeben. Zusätzlich ist ein Intervall während der Abenddämmerung („-0,15-0“) angegeben. Gezeigt ist ein Auszug der Steuerungstabelle für die Monate April bis Juni. Eine für einen realen Standort zu erstellende Tabelle muss den gesamten relevanten Zeitraum, z. B. von Anfang April bis Ende Oktober umfassen.

Monat	Nachtzeit Intervall	Anlaufwindgeschwindigkeit (ms ⁻¹)
04	-0,15-0	4,0
04	0-0,1	5,5
04	0,1-0,2	5,9
04	0,2-0,3	5,7
04	0,3-0,4	5,6
04	0,4-0,5	5,6
04	0,5-0,6	5,4
04	0,6-0,7	5,4
04	0,7-0,8	5,0
04	0,8-0,9	4,9
04	0,9-1	3,5
05	-0,15-0	4,6
05	0-0,1	5,9
05	0,1-0,2	6,2
05	0,2-0,3	6,0
05	0,3-0,4	6,0
05	0,4-0,5	6,0
05	0,5-0,6	5,8
05	0,6-0,7	5,8
05	0,7-0,8	5,5
05	0,8-0,9	5,4
05	0,9-1	4,2
06	-0,15-0	4,5
06	0-0,1	5,9
06	0,1-0,2	6,3
06	0,2-0,3	6,0
06	0,3-0,4	6,0
06	0,4-0,5	5,9
06	0,5-0,6	5,7
06	0,6-0,7	5,7
06	0,7-0,8	5,4
06	0,8-0,9	5,3
06	0,9-1	4,0
usw...	usw...	usw...

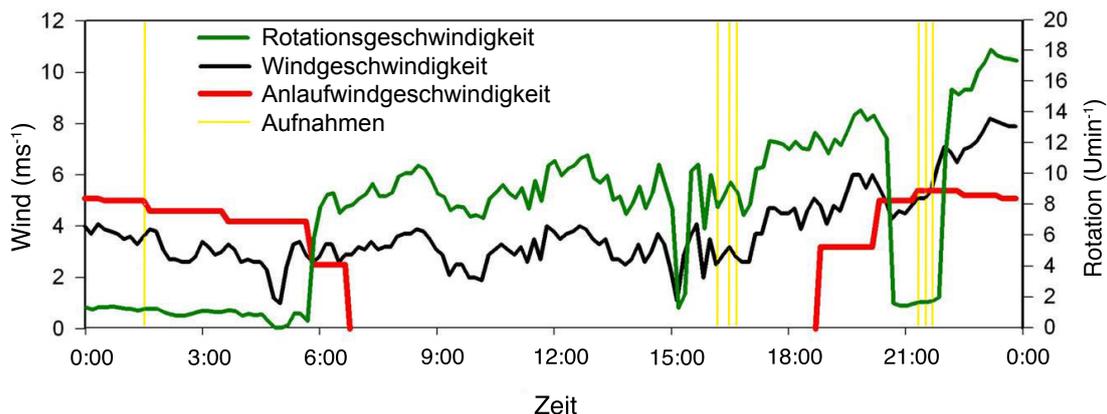


Abbildung 1 Beispielhafte Darstellung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen anhand eines Tages (x-Achse: Uhrzeit von 00:00 Uhr bis 00:00 Uhr des Folgetages) aus dem im Jahr 2012 erhobenen Datensatz. Gezeigt sind die an der WEA-Gondel gemessene Windgeschwindigkeit (linke y-Achse: schwarze Linie), die durch den fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus vorgegebene Anlaufwindgeschwindigkeit (linke y-Achse: rote Linie) und die Rotationsgeschwindigkeit des Rotors (rechte y-Achse: grüne Linie). Rotationsgeschwindigkeiten unter 2 Umin^{-1} werden gemessen, wenn die Anlage nicht läuft (im Beispiel während der Schwachwindzeit von 00:00 bis 5:30 Uhr und während einer Stunde am Abend). Anlaufwindgeschwindigkeiten waren nur während der Nacht und während der Abenddämmerung definiert. Gelbe senkrechte Linien zeigen Zeitpunkte von Aufnahmen des Batcorders. Aufnahmen tagsüber waren Testsignale, mit denen täglich die Funktionalität des Mikrofons geprüft wurde. Aufnahmen in der Nacht waren Fledermausrufaufnahmen. Im gezeigten Beispiel lagen die Aufnahmen von Fledermausrufen in Abschaltzeiten des fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus.

3.4.1 Hysterese der Anlaufwindgeschwindigkeit

Die Anlaufwindgeschwindigkeiten der Betriebsalgorithmen wurden mit einer Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$ definiert. Dies bedeutet, dass zum Beispiel bei einer definierten Anlaufwindgeschwindigkeit von $3,7 \text{ ms}^{-1}$ eine laufende WEA gestoppt wurde, wenn die Windgeschwindigkeit von höheren Werten auf unter $3,7 \text{ ms}^{-1}$ abnahm. Um eine stehende WEA jedoch wieder einzuschalten, musste die gemessene Windgeschwindigkeit größer oder gleich dem Wert für die definierte Anlaufwindgeschwindigkeit plus den Wert der Hysterese, also größer oder gleich $3,7 \text{ ms}^{-1} + 0,5 \text{ ms}^{-1} = 4,2 \text{ ms}^{-1}$ liegen.

Wir verwendeten diese Hysterese-funktion, um die Zahl der Aus- und Einschaltvorgänge zu reduzieren, die durch den fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus vorgegeben werden. Bei Simulationen mit dem im Jahr 2008 an 71 WEA erhobenen Datensatz (BRINKMANN et al. 2011b) reduzierte sich die Zahl der Abschaltvorgänge (Algorithmus zur Reduzierung der Schlagopferzahl auf zwei Tiere pro Jahr im Zeitraum 01.04.2008 bis 31.10.2008) durch eine Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$ von im Mittel 294 auf im Mittel 203 und somit um 31 %. Die zu erwartenden Ertragsausfälle erhöhten sich durch die Hysterese im Mittel von 1,4 % auf 1,8 % des Jahresertrags und somit um 29 %.

3.4.2 Abweichung der gemessenen Windgeschwindigkeit während Stillstandszeiten des Rotors

Bei der Definition der Algorithmen und insbesondere der Hysterese ist zu beachten, dass sich die vom Anemometer auf der WEA gemessene Windgeschwindigkeit je nach Betriebszustand der Anlage stark ändern kann. Die Ursache hierfür ist, dass die Luftströmung um die Gondel (und damit das Anemometer) in Abhängigkeit davon variiert, ob und wie schnell sich der Rotor dreht.

Besonders groß und gleichzeitig kaum vorhersagbar ist dieser Effekt, wenn der Rotor z. B. während Wartungsarbeiten arretiert wird. In diesem Fall kann die gemessene Windgeschwindigkeit kaum verändert sein, wenn kein Rotorblatt vor dem Anemometer steht. Die gemessene Windgeschwindigkeit kann jedoch auch stark erniedrigt sein, wenn sich ein Rotorblatt direkt in Windrichtung vor dem Anemometer befindet.

Die „Abschaltung“ einer WEA zu Reduktion des Schlagrisikos für Fledermäuse erfolgt jedoch in der Regel durch ein Verdrehen der Rotorblätter, was dazu führt, dass der Rotor mit niedriger Geschwindigkeit „trudelt“. In diesem Fall ist der Effekt auf die gemessene Windgeschwindigkeit besser vorhersagbar, jedoch vom Anlagentyp abhängig und sogar bei verschiedenen WEA desselben Typs variabel.

Den Vorgang des Verdrehens (*pitch*) der Rotorblätter, um die Drehgeschwindigkeit des Rotors auf ein für Fledermäuse ungefährliches Maß zu reduzieren, bezeichnen wir hier der Einfachheit halber als „Abschaltung“, obwohl die Anlage natürlich nicht im engeren Sinne abgeschaltet wird und der Rotor nicht vollständig zum Stillstand kommt (siehe dazu das Glossar in Abschnitt 7).

Um den Effekt der niedrigen Drehgeschwindigkeit des Rotors bei „Abschalten“ der Anlagen auf die Windgeschwindigkeitsmessung zu quantifizieren, verwendeten wir die jeweils zweite beprobte WEA jedes Windparks als Referenz. Für jedes Anlagenpaar berechneten wir zunächst eine lineare Korrelation der gemessenen Windgeschwindigkeiten je WEA für Zeiten, in denen beide WEA im Normalbetrieb liefen (da sich die Windgeschwindigkeiten je nach Standort der WEA unterscheiden können). Zwei weitere lineare Korrelationen berechneten wir für Zeiten, in denen jeweils die erste oder die zweite WEA „abgeschaltet“ wurde. Die Abweichung der Regressionskoeffizienten für die „Abschaltzeiten“ vom Koeffizienten für den Normalbetrieb quantifizierte dann die Größe des Effekts der „Abschaltung“ auf Windgeschwindigkeitsmessung.

Die gemessene Windgeschwindigkeit lag bei „Abschaltung“ der WEA im Mittel 12 % niedriger als im Normalbetrieb (Median 13 %, min 4 %, max 19 %). Dies führte in gewisser Weise zu einer Vergrößerung der im vorherigen Kapitel beschriebenen Hysterese.

Die Ertragsausfälle im fledermausfreundlichen Betrieb berechneten wir aus der gemessenen Windgeschwindigkeit (Abschnitt 4.6). Die Windgeschwindigkeit wurde zuvor für den dargestellten Effekt der „Abschaltung“ korrigiert.

Die hier genannten Werte gelten für die von uns beprobten Anlagen der Enercon Typen E-66 und E-70. Uns liegen Hinweise darauf vor, dass z. B. bei zumindest einigen Anlagen des Typs E-101 das „Trudeln“ (siehe Glossar in Abschnitt 7) des Rotors sogar zu einer Erhöhung der gemessenen Windgeschwindigkeit im Vergleich zum Normalbetrieb und damit zu einem dem von uns gemessenen gegenläufigen Effekt führt (Hendrik Reers, Büro FrInaT, Freiburg, schriftliche Mitteilung).

3.5 Ermittlung der Ertragsausfälle durch den fledermausfreundlichen Betrieb

Eines der Ziele des hier dargestellten Experiments war die realistische Ermittlung der Ertragsausfälle, die durch den fledermausfreundlichen Betrieb einer WEA entstehen. Wir stellen hier die Kosten dar, die durch einen fledermausfreundlichen Betrieb der WEA während des relevanten Teils des Jahres (wir verwenden hier den Zeitraum vom 01.04. bis 31.10.) entstehen. Betriebsdaten (Windgeschwindigkeit und Leistung gemittelt über 10-Minuten-Intervalle) lagen für alle WEA für über 99 % des genannten Zeitraums vor.

Den Vorgang des Verdrehens (*pitch*) der Rotorblätter, um die Drehgeschwindigkeit des Rotors auf ein für Fledermäuse ungefährliches Maß zu reduzieren, bezeichnen wir hier der Einfachheit halber als „Abschaltung“, obwohl die Anlage natürlich nicht im engeren Sinne abgeschaltet wird und der Rotor nicht vollständig zum Stillstand kommt (siehe dazu auch das Glossar in Abschnitt 7).

In Zeiträumen, in denen die WEA im Normalbetrieb liefen, summierten wir den produzierten Ertrag während aller 10-Minuten-Intervalle, in denen die WEA aufgrund der gemessenen Windgeschwindigkeit abgeschaltet worden wäre.

In den Experiment-Zeiträumen, in denen die WEA wegen des fledermausfreundlichen Betriebs keinen Ertrag erwirtschaftete, berechneten wir den Ertragsverlust aus der anlagenspezifischen Kennlinie der Leistung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

(abschnittsweise kubische Regression). Die gemessene Windgeschwindigkeit wurde für den Effekt der Abschaltung korrigiert (siehe Abschnitt 3.4.2).

Die Summe der berechneten und der realen Ertragsausfälle im Normal- und im fledermausfreundlichen Betrieb wird von uns in Prozent des Ertrags der WEA im gesamten Jahr 2012 angegeben. Wir verwenden diesen Wert, um die von uns beprobten Anlagen untereinander und mit WEA an anderen Standorten leichter vergleichen zu können.

3.6 Schlagopferzahlen berechnet aus akustischen Daten

In einem ersten Schritt berechneten wir die Schlagopferzahlen für den Zeitraum des Experiments allein aus der im Jahr 2012 gemessenen akustischen Aktivität. Für die Berechnung verwendeten wir die in KORNER-NIEVERGELT et al. (2011a) präsentierte Modellformeln, die mit den in RENEBAT I gemessenen Aktivitätsdaten entwickelt wurden (Modelle „BCG 2008 Chiroptera“ und „SD1 2007 und 2008 Chiroptera“). Für die Batcorder-Aktivitätsdaten wurden folgende Formeln verwendet, um die Schlagrate für eine Nacht t und eine Anlage i zu berechnen:

$$zAkt_{it} = (\log(Akt_{it} + 1)) - 1.098 / 1.51947 \quad (1)$$

$$zWind_{it} = (Wind_{it} - 5.543) / 1.801978 \quad (2)$$

$$\hat{\lambda}_{it} = \exp(-3.492 + 0.402 * zAkt_{it} - 1.776 * zWind_{it} - 0.802 * zWind2_{it}) \quad (3)$$

Akt_{it} und $Wind_{it}$ waren die gemessene akustische Aktivität (Summe der mittels Batcorder aufgenommenen Rufsequenzen über die Nacht) und die gemessene Windgeschwindigkeit (Median der 10-Minuten-Mittelwerte über die Nacht) für eine spezifische Nacht t an Turbine i (siehe dazu auch das Glossar in Abschnitt 7).

Für die Anabat SD1-Daten wurden folgende Formeln verwendet:

$$zAkt_{it} = (\log(Akt_{it} + 1)) - 0.7954 / 1.0884 \quad (4)$$

$$zWind_{it} = (Wind_{it} - 5.2115) / 1.8922 \quad (5)$$

$$\hat{\lambda}_{it} = \exp(-2.811 + 0.662 * zAkt_{it} - 0.277 * zWind_{it} - 0.231 * zWind2_{it}) \quad (6)$$

Für Akt_{it} wurden hier die Anabat SD1-Akustikmessungen eingetragen.

Die Unsicherheit der Modellkoeffizienten berücksichtigten wir mittels einer Monte-Carlo-Simulation. Dabei führten wir alle Rechenschritte 1000 mal mit jeweils verschiedenen Zufallswerten aus der A-posteriori-Verteilung der Modellparameter durch.

3.7 Schlagopferzahlen berechnet aus Nachsuchdaten

Die aus den Akustikdaten berechneten Schlagopferzahlen verglichen wir mit aus den Schlagopfernachsuchen hochgerechneten Zahlen. Wir verwendeten die Summe der gefundenen Schlagopfer über alle Anlagen pro Betriebsart (Normalbetrieb, fledermausfreundlicher Betrieb) und verwendeten den Mittelwert der täglichen Entdeckungswahrscheinlichkeiten (siehe dazu NIERMANN et al. 2015 in diesem Dokument) über alle Anlagen und Tage pro Betriebsart. Daraus berechneten wir mittels des Satzes von Bayes die A-posteriori-Verteilung der Schlagopferzahl (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011b). Wir verwendeten den Median der A-posteriori-Verteilung als Schätzung für die Schlagopferzahl.

Damit die Schlagopfer eindeutig einer Betriebsart zugeordnet werden konnten, gingen nur frische Schlagopfer (siehe dazu NIERMANN et al. 2015 in diesem Dokument) in die Berechnung ein. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit wurde als Produkt aus dem Anteil in eine abgesuchte Fläche fallender Fledermäuse a , der Wahrscheinlichkeit, dass ein Fledermausschlagopfer über 24 Stunden liegen bleibt s , und der Wahrscheinlichkeit, dass ein Fledermausschlagopfer während einer Nachsuche entdeckt wird f , berechnet.

$$p_{it} = a_{it} * s_i * f_{it} \quad (7)$$

Da täglich nachgesucht und nur frische Schlagopfer verwendet wurden, ist eine solche einfache Formel für die Entdeckungswahrscheinlichkeit angemessen. Die üblicherweise verwendeten Formeln zur Berechnung der Entdeckungswahrscheinlichkeiten, (z. B. HUSO 2010 oder KORNER-NIEVERGELT et al. 2011b), würden in diesem Falle die Entdeckungswahrscheinlichkeit überschätzen, da diese annehmen, dass auch ältere Schlagopfer gefunden werden können.

3.8 Berechnung der Schlagopferzahlen aus kombinierten akustischen und Nachsuchdaten

Wir kombinierten die akustischen Daten mit den Daten der Schlagopfernachsuchen aus RENEBAT I (Jahre 2007 und 2008) und RENEBAT II (2012). Damit war es möglich, Updates der in KORNER-NIEVERGELT et al. (2011a) präsentierten N-mixture-Modelle

für die Batcorder- und Anabat SD1-Akustikdaten zu erstellen, die auf einem entsprechend größeren Datensatz basierten. Neu erstellt wurde auch ein N-mixture-Modell für die Avisoft-Akustikdaten. Letzteres basierte nur auf den Daten aus dem Jahr 2012. Als Prädiktoren für die Schlagrate wurde neu zusätzlich zur Windgeschwindigkeit und der akustischen Aktivität auch die Betriebsart (fledermausfreundlicher Betrieb oder Normalbetrieb) verwendet. Um die Schlagopfer präzise einer Betriebsart zuzuordnen, benutzten wir nur frische Schlagopferfunde und das N-mixture-Modell mit einstufigem Beobachtungsprozess, wie es bereits in KORNER-NIEVERGELT et al. (2011a) vorgestellt wurde. Wir verwendeten also nicht das Modell mit dreistufigem Beobachtungsprozess, das erlaubt, dass auch Schlagopfer aus früheren Nächten bei einer Nachsuche gefunden werden können, wie in KORNER-NIEVERGELT et al. (2013) dargestellt. Das dreistufige Modell erlaubt eine präzisere Schätzung der Schlagopferzahlen: Einerseits weil es den Kollisionsprozess naturgetreuer abbildet, und andererseits weil mehr Schlagopfer berücksichtigt und die Berechnungen basierend auf einer entsprechend größeren Stichprobe durchgeführt werden können. Ein Nachteil des dreistufigen Modells ist jedoch, dass die gefundenen Schlagopfer nicht eindeutig einer Nacht zugeordnet werden können. Um den Unterschied in der Schlagopferzahl zwischen den beiden Betriebsarten möglichst präzise zu schätzen, verwendeten wir hier deshalb das einstufige Modell.

3.8.1 Voraussetzungen und Annahmen des N-mixture Modells

Bei der Berechnung des Modells wurden die Daten aus den verschiedenen Erfassungsjahren gemeinsam verwendet (gepooled). Als Voraussetzung hierzu nahmen wir an, dass sich die Fledermäuse zwischen den Jahren ähnlich verhielten (wenn gleich viele Fledermäuse im rotorüberstrichenen Bereich fliegen, erwarten wir bei konstanter Windgeschwindigkeit eine gleich hohe Anzahl Kollisionen). Diese Annahme ist wahrscheinlich, wenn die Artzusammensetzung in beiden Jahren ähnlich war. Dies war an den 16 Anlagen, die sowohl 2008 als auch 2012 akustisch und mit Nachsuchen beprobt wurden (siehe dazu NIERMANN et al. 2015 in diesem Dokument), der Fall.

Das Modell nimmt weiterhin an, dass die Zahl an Anlage i während der Nacht t verunglückter Fledermäuse poissonverteilt mit Erwartungswert λ ist.

$$N_{it} \sim \text{Pois}(\lambda_{it}) \tag{8}$$

Der Erwartungswert wurde abhängig vom Betrieb (b : Normalbetrieb oder fledermausfreundlicher Betrieb), der akustischen Aktivität und der Windgeschwindigkeit modelliert und der Logarithmus als Linkfunktion verwendet:

$$\lambda_{it} = \exp(\alpha_0 b + \alpha_1 b * zAct_{it} + \alpha_2 b * zWind_{it} + \alpha_3 b * zWind_{it,2}) \quad (9)$$

Da für die Schätzung der Parameter für den fledermausfreundlichen Betrieb nur wenige Daten vorhanden waren und wir annehmen konnten, dass während des fledermausfreundlichen Betriebs praktisch kein oder nur ein geringer Zusammenhang zwischen Aktivität respektive Windgeschwindigkeit und Schlagrate vorhanden war, fixierten wir diese Parameter für den fledermausfreundlichen Betrieb auf null. D. h. wir schätzten für den fledermausfreundlichen Betrieb nur einen Gesamtmittelwert der Schlagrate.

Im Unterschied zum N-Mixture-Modell aus KORNER-NIEVERGELT et al. (2011a), wo angenommen wurde, dass die Wahrscheinlichkeit, ein Schlagopfer zu finden, über die Zeit konstant war, berücksichtigten wir hier über die Zeit variierende Entdeckungswahrscheinlichkeiten. Dazu verwenden wir für jede Anlage tagesspezifische Werte für den Anteil in eine abgesuchte Fläche gefallener Fledermäuse a_{it} , für die Sucheffizienz f_{it} und für die Schwundrate s_{it} . Für die Sucheffizienz und die Schwundrate lagen uns Schätzwerte mit 95 % Vertrauens- oder Kreditabilitätsintervallen¹ vor. Die Vertrauens- und Kreditabilitätsintervalle wurden im Modell verwendet, um Beta-Verteilungen zu parametrisieren (vergleiche dazu KORNER-NIEVERGELT et al. 2013):

$$f_{it} \sim \text{Beta}(a_{it}^f, b_{it}^f) \quad (10)$$

$$s_{it} \sim \text{Beta}(a_{it}^s, b_{it}^s) \quad (11)$$

$$p_{it} = a_{it} * f_{it} * s_{it} \quad (12)$$

Da auch hier nur frische Schlagopferfunde verwendet wurden, ist eine einfache Formel für die Verrechnung von a , s und f angebracht. Die Zahl pro Nachsuche gefundener Schlagopfer c_{it} wurde zuletzt als binomialverteilte Variable modelliert.

$$c_{it} \sim \text{Binom}(p_{it}, N_{it}) \quad (13)$$

Für die Modellparameter α_{kb} wurden flache Normalverteilungen (Norm(0; 100)) als A-priori-Verteilungen angenommen.

3.9 Anpassung und Überprüfung des Modells

Für die Modellanpassung verwendeten wir Markov-Chain-Monte-Carlo-(MCMC)-Simulationen. MCMC ist eine Simulationstechnik, die ausgehend von willkürlich gewählten Startwerten den Daten und der Modellstruktur neue Zufallswerte generiert,

¹ Das Kreditabilitätsintervall der bayesschen Statistik entspricht in etwa dem bekannteren Vertrauensintervall. Zu diesem und weiteren im Text verwendeten statistischen Begriffen und Symbolen siehe auch das Glossar in Abschnitt 7.

die zuletzt (d. h. wenn die Ketten konvergiert haben) aus der A-posteriori-Verteilung der Modellparameter stammen. Wir simulierten 2 Ketten à 11000 Iterationen, von denen wir die ersten 10000 Iterationen als *burn-in* entfernten. Von den verbleibenden Iterationen verwendeten wir jede fünfzigste für die Beschreibung der A-posteriori-Verteilung der Modellparameter. Die MCMC-Simulationen führten wir in WinBUGS durch (LUNN et al., 2009), das wir von R 3.0.0 (R Core Team, 2013) über das Package R2WinBUGS (STURTZ et al., 2005) ansteuerten.

Wir überprüften visuell und anhand des \hat{r} -Wertes (BROOKS et al., 1998), ob die Markov-Ketten konvergiert hatten. Wir überprüften die Güte der Modellanpassung mittels „Posterior Predictive Model Checking“ (GELMAN et al., 1996). Dabei simulierten wir mehrere neue Datensätze aus dem Modell und verglichen diese Datensätze grafisch mit den effektiv beobachteten Daten. Zusätzlich stellen wir die beobachteten Schlagopferfunddaten den durch das Modell vorhergesagten mittleren Schlagopferfundzahlen gegenüber (Abbildung 12 bis Abbildung 14 im Anhang).

4 Ergebnisse

4.1 Erwartete Schlagopferzahlen im fledermausfreundlichen Betrieb

Der fledermausfreundliche Betrieb wurde so berechnet, dass während 98 Tagen im Durchschnitt 1,121 Tiere pro WEA zu Tode kommen (zu diesem Wert siehe Abschnitt 3.3.4 – die vorhergesagte Zahl toter Fledermäuse ist als mittlere Risikoprognose zu verstehen, wodurch sich Bruchteile von 1 erklären). Dieser Wert entspricht geschätzten 2 Schlagopfern während der gesamten Aktivitätsperiode eines Jahres (siehe Abschnitt 3.3.4) und einer Schlagrate von 0,011 pro Nacht. Während 515 Nächten mit fledermausfreundlichem Betrieb und Batcorder-Beprobung erwarteten wir deshalb eine Schlagopferzahl von 5,9 summiert über alle beprobten WEA (Kreuz in Abbildung 2) und für die 254 Betriebsnächte mit Anabat SD1-Beprobung einen Wert von 2,9 summiert über alle beprobten WEA (Kreuz in Abbildung 3).

Für einen 98-Tages-Zeitraum im Sommer des Jahres 2008 (RENEBAT I) – die Werte wurden 2008 für einen 92-Tages-Zeitraum berechnet und hier linear auf 98 Tage extrapoliert – wurden an denselben WEA im Normalbetrieb aus den akustischen Daten des Batcorders (nur ein Teil der WEA wurde auch mit dem Anabat SD1 beprobt) im Mittel 5,8 Schlagopfer pro WEA und in Summe für alle 16 WEA 92 Schlagopfer für den Normalbetrieb berechnet (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a). Während des Experimentzeitraums im Jahr 2012 wären bei gleicher Schlagrate demnach in Summe 46 tote Tiere je

Betriebsart zu erwarten gewesen (die WEA liefen jeweils die Hälfte des Experimentzeitraums im Normalbetrieb und mit fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen).

4.2 Schlagopferzahlen berechnet aus akustischen Daten

Zunächst berechneten wir die Schlagopferzahlen für den Zeitraum des Experiments allein aus der gemessenen akustischen Aktivität mit der entsprechenden Formel des N-mixture-Modells (siehe Abschnitt 3.6). Da in diese Berechnung nur die Akustikdaten eingingen, wurden die Schlagopferzahlen für eine im Normalbetrieb befindliche WEA berechnet. D. h. auch für Zeiträume mit fledermausfreundlichem Betrieb wurde mit dieser Methode die Schlagopferzahl berechnet, die im Normalbetrieb zu erwarten gewesen wäre.

Für diese Berechnung standen Batcorder-Akustikmessungen aus 515 Nächten mit fledermausfreundlichem Betrieb und 530 Nächten mit Normalbetrieb zur Verfügung. Für die genannten Nächte lagen auch Daten aus den Schlagopfernachsuchen sowie Daten zur Windgeschwindigkeit vor. Für den Anabat SD1 standen 254 Nächte mit fledermausfreundlichem Betrieb und 267 Nächte mit Normalbetrieb zur Verfügung (ebenfalls mit Daten zu Schlagopfernachsuchen und zur Windgeschwindigkeit). Die nachfolgend dargestellten Berechnungen basieren auf diesen Nächten. Die Daten des Avisoft-Systems konnten für diesen Teil der Auswertung nicht berücksichtigt werden, da hierfür kein N-mixture-Modell aus RENEBAI I zur Verfügung stand.

Die mit den Modellen aus RENEBAI I (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a) vorhergesagten Schlagraten betragen 0,07 (Baticorder) bzw. 0,122 (Anabat SD1) Fledermäuse pro Nacht für den gesamten Zeitraum des Experiments unter der Annahme, dass die Anlagen immer im Normalbetrieb gelaufen wären. Die für die verschiedenen Betriebszeiten pro Anlage summierten vorhergesagten Schlagopferzahlen sind in Tabelle 8 für die Baticorder-Daten und in Tabelle 9 für die Anabat SD1-Daten dargestellt.

Die Summe der mittels Baticorder-Daten berechneten Schlagopferzahlen pro Betriebsart für alle Anlagen lag für die 530 Betriebsnächte mit Normalbetrieb bei 32,4 (95 % Kreditintervall: 21,8 bis 45,8) Schlagopfern. Für die 515 Betriebsnächte mit fledermausfreundlichem Betrieb erhielten wir 39,8 (25,4 bis 59,7) Schlagopfer – angenommen, die Anlagen wären im Normalbetrieb gelaufen (Tabelle 2 und blaue Kreise in Abbildung 2). Die zugehörigen Schlagraten pro Nacht betragen 0,061 und 0,077 und die Summen der erwarteten Schlagopfer an allen 16 WEA für den gesamten Zeitraum des Experiments von 98 Tagen betragen damit 48 bzw. 60 Tiere (Normalbetrieb bzw. fledermausfreundlicher Betrieb). Die mittels Anabat SD1-Daten berechneten Vorhersagen summierten sich für die 267 Betriebsnächte mit Normalbetrieb (nur die Hälfte der WEA

wurde mit dem Anabat SD1 beprobt) auf 28,7 (95 % Kreditibilitätsintervall: 20,9 bis 38,3) Schlagopfer und für die 254 Betriebsnächte mit fledermausfreundlichem Betrieb auf 36,9 (25,3 bis 51,5) – wiederum angenommen, es hätte Normalbetrieb geherrscht (Tabelle 2 und blaue Kreise in Abbildung 3). Die zugehörigen Schlagraten pro Nacht betrugen 0,108 und 0,145.

Tabelle 2 Übersicht über die berechneten Schlagraten (Anzahl Schlagopfer pro Nacht) basierend auf den akustischen Aktivitätsmessungen von Batcorder und Anabat SD1 für die Zeiträume mit Normalbetrieb und fledermausfreundlichem Betrieb. Angegeben ist die Zahl der Schlagopfer unter der Voraussetzung, dass die Anlagen während der angegebenen Anzahl Nächte – auch in Zeiten mit fledermausfreundlichem Betrieb – im Normalbetrieb gelaufen wären (in Klammern für die Zahl der Schlagopfer und die Schlagrate das 95 % Kreditibilitätsintervall, also das 2,5 % und das 97,5 % Quantil der A-posteriori-Verteilung).

Detektor	Fledermausfreundlicher Betrieb	Anzahl Nächte	Anzahl Aufnahmen	Anzahl Schlagopfer	Schlagrate
Batcorder	Ja	515	22866	39,8 (25,4 - 59,7)	0,077 (0,049 - 0,116)
Batcorder	Nein	530	9826	32,4 (21,8 - 45,8)	0,061 (0,041 - 0,086)
Anabat SD1	Ja	254	3492	36,9 (25,3 - 51,5)	0,145 (0,100 - 0,203)
Anabat SD1	Nein	267	2045	28,7 (20,9 - 38,3)	0,108 (0,078 - 0,143)

4.3 Schlagopferzahlen berechnet aus den Daten der Nachsuchen

Die Werte der Schlagraten, die aus den Schlagopferforschungen berechnet wurden, sind in Tabelle 3 angegeben und in Abbildung 2 und Abbildung 3 gezeigt. Wir geben hier einerseits die aus allen gültigen Nachsuchen geschätzten Zahlen und andererseits die Werte an, die sich für Zeiträume ergaben, in denen gleichzeitig gültige akustische Daten des Batcorders oder des Anabat SD1 vorlagen. Die Werte für gleichzeitige akustische Beprobungen können mit den im Abschnitt 4.2 dargestellten Werten verglichen werden.

Nach den 743 gültigen Nächten mit **fledermausfreundlichem Betrieb** wurden mit einer mittleren Entdeckungswahrscheinlichkeit von 0,41 insgesamt 3 Schlagopfer gefunden (Summe aller beprobten WEA). Daraus schätzten wir eine tatsächliche Schlagopferzahl von 8 (95 % Kreditibilitätsintervall: 3 - 18) und eine mittlere Schlagrate von 0,010 (Schlagopfer pro WEA und Nacht).

Tabelle 3 Übersicht über die berechneten Schlagraten (Anzahl Schlagopfer pro Nacht) basierend auf den Schlagopfernachsuchen für alle gültigen Nachsuchen sowie für Zeiträume mit gleichzeitiger akustischer Beprobung mit dem Batcorder oder dem Anabat SD1. Angegeben ist die Zahl der Schlagopfer während des Normalbetriebs und während des fledermausfreundlichen Betriebs (die Zahl entspricht dem Median der A-posteriori-Verteilung, in Klammern das 95 % Kreditivitätsintervall, also das 2,5 % und das 97,5 % Quantil der A-posteriori-Verteilung). Die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine verunglückte Fledermaus während der Untersuchungsperiode durch eine Suchperson gefunden wurde. Die Schlagraten wurden berechnet als Anzahl gefundener Schlagopfer/Entdeckungswahrscheinlichkeit/Anzahl Tage.

Detektor	Fledermausfreundlicher Betrieb	Anzahl Tage	Anzahl gefundener Schlagopfer (Summe WEA)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	Korrigierte Anzahl Schlagopfer (Summe aller WEA)	Schlagrate
Batcorder	Ja	515	2	0,43 (0,32-0,52)	5 (2 – 14)	0,009 (0,004 – 0,027)
Batcorder	Nein	530	6	0,44 (0,33-0,55)	14 (8 – 27)	0,026 (0,015 – 0,051)
Anabat SD1	Ja	254	1	0,45 (0,35 – 0,53)	3 (1 – 10)	0,009 (0,004 – 0,039)
Anabat SD1	Nein	267	8	0,44 (0,34 – 0,52)	19 (11 – 33)	0,068 (0,041 – 0,124)
Gesamtzeitraum	Ja	743	3	0,41 (0,32 – 0,50)	8 (3 – 18)	0,010 (0,004-0,024)
Gesamtzeitraum	Nein	782	21	0,42 (0,32 – 0,51)	51 (36 – 75)	0,064 (0,046 – 0,096)

Nach den 515 Nächten mit **fledermausfreundlichem Betrieb** und gültiger **Batcorder**-Beprobung wurden mit einer mittleren Entdeckungswahrscheinlichkeit von 0,431 insgesamt 2 Schlagopfer gefunden (Summe aller beprobten WEA). Daraus schätzten wir eine tatsächliche Schlagopferzahl von 5 (95 % Kreditibilitätsintervall: 2 - 14). Die daraus resultierende mittlere Schlagrate pro Nacht betrug 0,009.

Nach den 254 Nächten mit **fledermausfreundlichem Betrieb** und gültiger **Anabat SD1**-Beprobung wurde mit einer mittleren Entdeckungswahrscheinlichkeit von 0,446 insgesamt 1 Schlagopfer gefunden (Summe aller beprobten WEA). Daraus schätzten wir eine tatsächliche Schlagopferzahl von 3 (95 % Kreditibilitätsintervall: 1 - 10). Die daraus resultierende mittlere Schlagrate pro Nacht betrug 0,009. Die geschätzten Schlagraten für den fledermausfreundlichen Betrieb waren also für alle drei hier dargestellten Stichproben nahezu identisch und sehr ähnlich der für den Algorithmus eingestellten Schlagrate von 0,011 Tieren pro Nacht (siehe Abschnitt 3.3.4). Die für die fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen vorgegebenen durchschnittlich tolerierten Schlagopferzahlen wurden somit sehr gut eingehalten (Abbildung 2 und Abbildung 3).

Nach den 782 gültigen Nächten mit **Normalbetrieb** wurden mit einer mittleren Entdeckungswahrscheinlichkeit von 0,42 insgesamt 21 Schlagopfer gefunden (Summe aller beprobten WEA). Daraus schätzten wir eine tatsächliche Schlagopferzahl von 51 (95 % Kreditibilitätsintervall: 36 - 75 und eine mittlere Schlagrate von 0,064.

Nach den 530 Nächten mit **Normalbetrieb** und gültiger **Batcorder**-Beprobung wurden mit einer mittleren Entdeckungswahrscheinlichkeit von 0,441 insgesamt 6 Schlagopfer gefunden. Daraus schätzten wir eine tatsächliche Schlagopferzahl von 14 (95 % Kreditibilitätsintervall: 8 - 27). Die daraus resultierende mittlere Schlagrate pro Nacht betrug 0,026. Die Schlagrate lag für diese Stichprobe also deutlich unter der des Gesamtdatensatzes und auch unter der für den Anabat SD1.

Nach den 267 Nächten mit **Normalbetrieb** und gültiger **Anabat SD1**-Beprobung wurden mit einer mittleren Entdeckungswahrscheinlichkeit von 0,438 insgesamt 8 Schlagopfer gefunden. Daraus schätzten wir eine tatsächliche Schlagopferzahl von 19 (95 % Kreditibilitätsintervall: 11 - 33). Die daraus resultierende mittlere Schlagrate pro Nacht betrug 0,068.

In Abbildung 2 und Abbildung 3 ist zu erkennen, dass die korrigierten Fundzahlen aus Schlagopfernachsuchen für den Zeitraum mit Normalbetrieb leicht tiefer ausfielen als die mittels beider Modelle (BCG 2008 und SD1 2007/2008) vorhergesagten Zahlen. Der Effekt des fledermausfreundlichen Algorithmus ist als Reduktion der Schlagopferzahl deutlich zu erkennen und liegt sehr nah am vorgegebenen Wert.

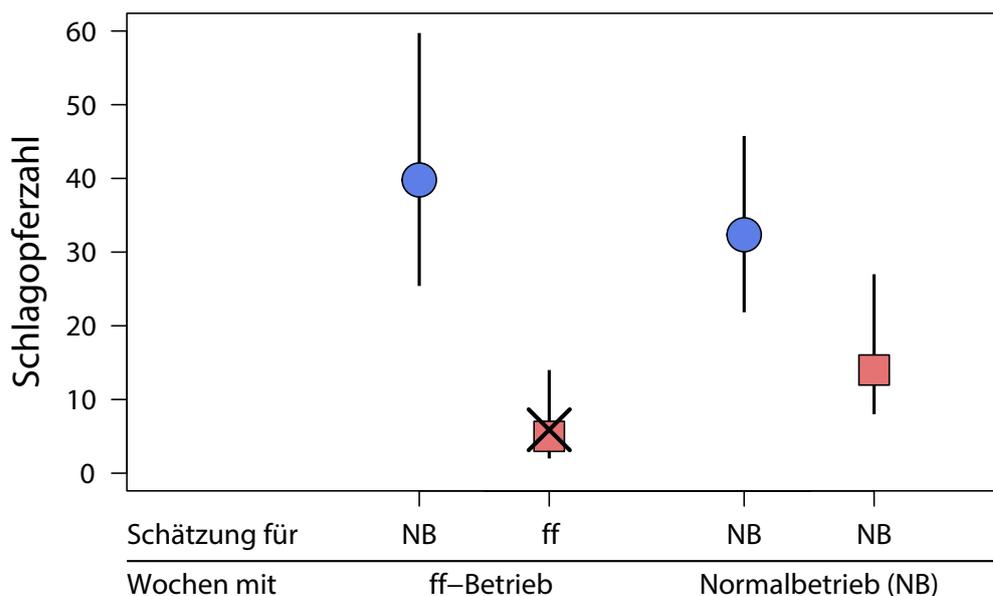


Abbildung 2 Mit dem Modell „BCG 2008 Chiroptera“ (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a) vorhergesagte (blaue Kreise) und aus den Schlagopferdaten hochgerechnete (rote Vierecke) Summe der Schlagopferzahlen über alle Anlagen für die beprobten Zeiträume mit fledermausfreundlichem Betrieb (ff) und Normalbetrieb (NB). Die Modellvorhersagen (blaue Kreise) für den Zeitraum mit fledermausfreundlichem Betrieb nehmen Normalbetrieb an, auch wenn die WEA im fledermausfreundlichen Betrieb lief (blauer Kreis links). Die Hochrechnungen (rote Vierecke) zeigen dagegen für den fledermausfreundlichen Betrieb die tatsächlichen Schlagopferzahlen an. Das Kreuz gibt an, auf welchen Zielwert der Betriebsalgorithmus eingestellt wurde. Für die aus der akustischen Aktivität vorhergesagten Werte wurden die Batcorder-Daten verwendet.

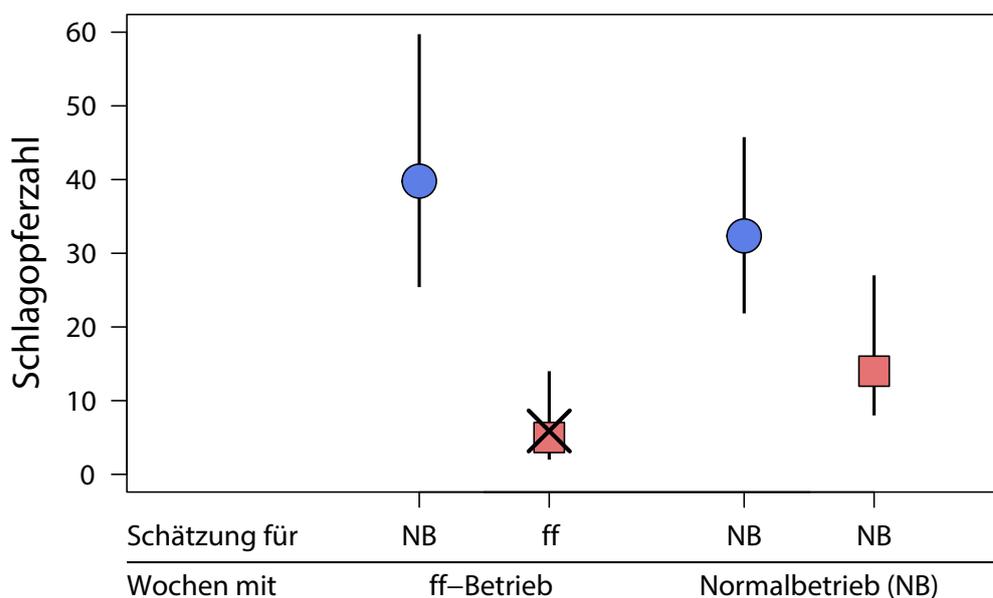


Abbildung 3 Vorhersagen mit dem Modell „SD1 2007/2008 Chiroptera“ (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a) und den Daten des Anabat SD1. Andere Angaben wie in Abbildung 2.

4.4 Unsicherheit der Schlagopferzahlen aus Nachsuchen für einzelne WEA

Wenn wir korrigierte Schlagopferzahlen allein basierend auf den Schlagopferfunden und der geschätzten Entdeckungswahrscheinlichkeit für jede Anlage einzeln berechnen, dann ist die Unsicherheit dieser Schätzwerte sehr hoch, da an einzelnen Anlagen nur wenige Schlagopfer gefunden wurden (Tabelle 3). Die Schätzwerte sind in Tabelle 3 angegeben.

Die folgenden Rechnungen verdeutlichen, dass solche Schätzwerte (beruhend auf einer sehr kleinen Anzahl von Schlagopferfunden) mit großer Vorsicht zu interpretieren sind: Summieren wir die anlagenspezifischen Schätzwerte (N) pro Betrieb, so erhalten wir eine sehr viel höhere Summe der Schlagopferzahlen (nämlich 16 für den Zeitraum mit fledermausfreundlichem Betrieb und 25 für den Zeitraum mit Normalbetrieb) als wenn wir zuerst die Schlagopferfundzahlen summieren und dann mit einer mittleren Entdeckungswahrscheinlichkeit hochrechnen (Nächte mit Batcorder-Beprobung: mit fledermausfreundlichem Betrieb: 5, Normalbetrieb: 14; Nächte mit Anabat SD1-Beprobung: mit fledermausfreundlichem Betrieb: 3, Normalbetrieb: 19). Der Grund für diese Unstimmigkeit ist, dass beim Hochrechnen der Summe der Schlagopfer die stochastische Unsicherheit viel kleiner ist, als wenn für jede Anlage einzeln hochgerechnet wird. Wenn wir an 10 Anlagen kein Schlagopfer finden, wissen wir mehr über die Zahl gesamthaft gestorbener Tiere, als wenn wir nur von einer dieser 10 Anlagen wissen, dass keine Schlagopfer gefunden wurden. Diese Unsicherheit drückt sich in der Langschwänzigkeit der A-posteriori-Verteilungen aus, welche die einzelnen Mediane nach oben zieht. Hochrechnungen, die alleine auf Schlagopfernachsuchen beruhen, sind deshalb nur bei einer hohen Zahl gefundener Schlagopfer zuverlässig. KORNER-NIEVERGELT et al. (2011b) empfehlen eine Mindestschlagopferzahl von 10. Unsere Berechnungen in diesem Bericht bestätigen, dass Schlaggratenberechnungen, die auf gefundenen Schlagopferzahlen von 0 bis 2 Tieren beruhen, mit grosser Vorsicht zu interpretieren sind.

Anlagenspezifische Schlagopferschätzungen können präziser sein, wenn die Schlagopferfunddaten mit Akustikdaten kombiniert werden, wie in Abschnitt 4.5 dargestellt.

4.5 Schlagopferzahlen aus kombinierten akustischen und Nachsuchdaten

Für die in diesem Abschnitt dargestellten Berechnungen wurden Nächte mit gültigen Daten sowohl zur akustischen Aktivität als auch zu den Schlagopfernachsuchen aus den beiden Forschungsvorhaben RENEBAT I und II gepoolt (einen Überblick über die Datensätze gibt Tabelle 4). Für den Anabat SD1 gingen daher Daten aus den Jahren 2007/2008 (RENEBAT I) und 2012 (RENEBAT II) ein, für den Batcorder Daten aus den Jahren 2008 (RENEBAT I) und 2012 (RENEBAT II) und für das Avisoft-System nur aus dem Jahr

2012 (RENEBAT II). In RENEBAT I wurden die WEA nur im Normalbetrieb beprobt, in RENEBAT II im Jahr 2012 wurde nach jeweils einer Woche die Betriebsart zwischen Normalbetrieb und fledermausfreundlichem Betrieb gewechselt.

Tabelle 4 Übersicht über die Anzahl gültiger Nächte mit sowohl akustischer Beprobung als auch Schlagopfernachsuche, sowie die Zahl gefundener Schlagopfer nach diesen Nächten für die drei verwendeten Detektorsysteme in den RENEBAT I und II. Aus RENEBAT I gingen Daten des Anabat SD1 aus den Jahren 2007 und 2008 ein, Daten des Batcorders nur aus dem Jahr 2008, und für das Avisoft-System keine Daten. Aus RENEBAT II lagen Daten für alle Detektorsysteme vor.

Detektor	Summe der Anlagen-Nächte RENEBAT I & II		Anzahl WEA in RENEBAT I (Normalbetrieb)	Anzahl WEA in RENEBAT II (Normalbetrieb und Fledermausfreundlicher Betrieb)	Anzahl gefundener Schlagopfer (Summe aller WEA)
	Normalbetrieb	Fledermausfreundlicher Betrieb			
Batcorder	1755	515	18	16	43
Anabat SD1	649	254	7	7	25
Avisoft System	262	291	-	7	12

Schlagopfer wurden hauptsächlich nach Nächten mit Windgeschwindigkeiten unter 6 ms^{-1} (Median der Windgeschwindigkeit der 10-Minuten-Intervalle einer Nacht) gefunden und oft nach Nächten mit hoher akustischer Aktivität (Abbildung 4 bis Abbildung 6). Die wenigen während des fledermausfreundlichen Betriebs gefundenen Schlagopfer traten nach Nächten mit mehr als 5 ms^{-1} Windgeschwindigkeit auf.

Mit dem in Abschnitt 3.88 und in KORNER-NIEVERGELT et al. (2011a) beschriebenen Verfahren wurde aus den kombinierten Daten der akustischen Erfassung und der Schlagopfernachsuchen eine Formel erstellt, mit der das Schlagrisiko für eine Nacht aus der Anzahl der Aufnahmen pro Nacht und dem Median der Windgeschwindigkeit ermittelt werden kann.

Die Struktur der Formel, um die erwartete Zahl verunglückter Fledermäuse in einer Nacht zu schätzen, lautet:

$$\text{Anzahl Schlagopfer pro Nacht} = \exp(a_0 + a_1 \cdot \text{scAkt} + a_2 \cdot \text{scWind} + a_3 \cdot \text{scWind}^2)$$

Oder entsprechend in mathematischer Notation:

$$\text{Anzahl Schlagopfer pro Nacht} = e^{a_0 + a_1 * scAct + a_2 * scWind + a_3 * scWind^2}$$

a_0 , a_1 , a_2 und a_3 sind Modellparameter, die aus dem Datensatz geschätzt wurden; $scAct$ war die logarithmierte und skalierte Aktivität der jeweiligen gesamten Nacht und $scWind$ die skalierte Windgeschwindigkeit der jeweiligen gesamten Nacht (Median der Werte für 10-Minuten-Intervalle).

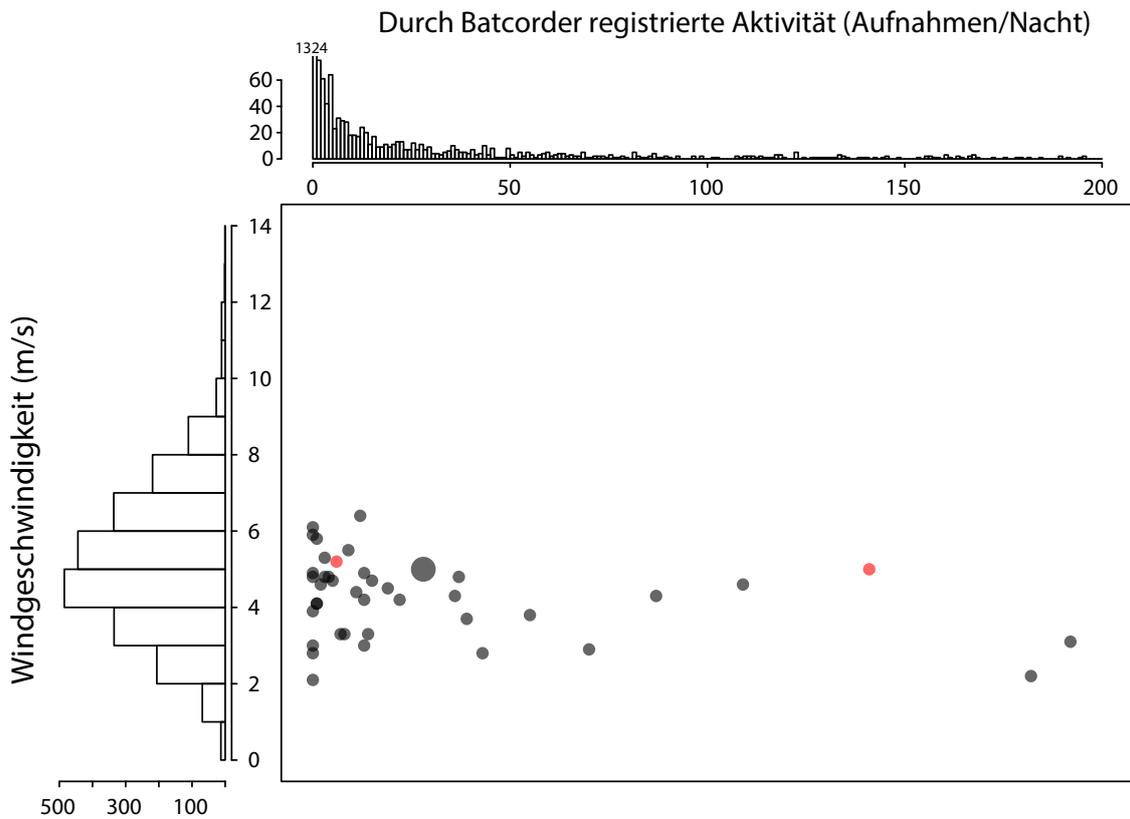


Abbildung 4 Verteilung der Schlagopferfunde auf die Windgeschwindigkeit (Median der Windgeschwindigkeit aller 10-Minuten-Intervalle einer Nacht) und auf die akustische Aktivität, die mit den Batcordern gemessen wurde (Anzahl Aufnahmen). Kleine Punkte entsprechen einem, große Punkte zwei Schlagopferfunden während einer Nachsuche. Die Punkte sind in transparentem grau dargestellt, so dass sich überlagernde Punkte dunkler erscheinen. Die roten Punkte markieren Schlagopferfunde nach Nächten mit fledermausfreundlichem Betrieb. In den beiden Randhistogrammen ist die Verteilung der Windgeschwindigkeit und der Aktivität angegeben. Im horizontalen Histogramm gibt die Säule über der Aktivitätsmessung Null die Anzahl Nächte mit keinen aufgenommenen Rufsequenzen wieder. Diese Säule für die Nullwerte (Nächte ohne Aufnahmen) wurde in der Darstellung abgeschnitten, um die anderen Säulen sichtbar zu machen. Die Anzahl der Nächte ohne Aufnahmen ist an dieser Stelle als Zahl wiedergegeben.

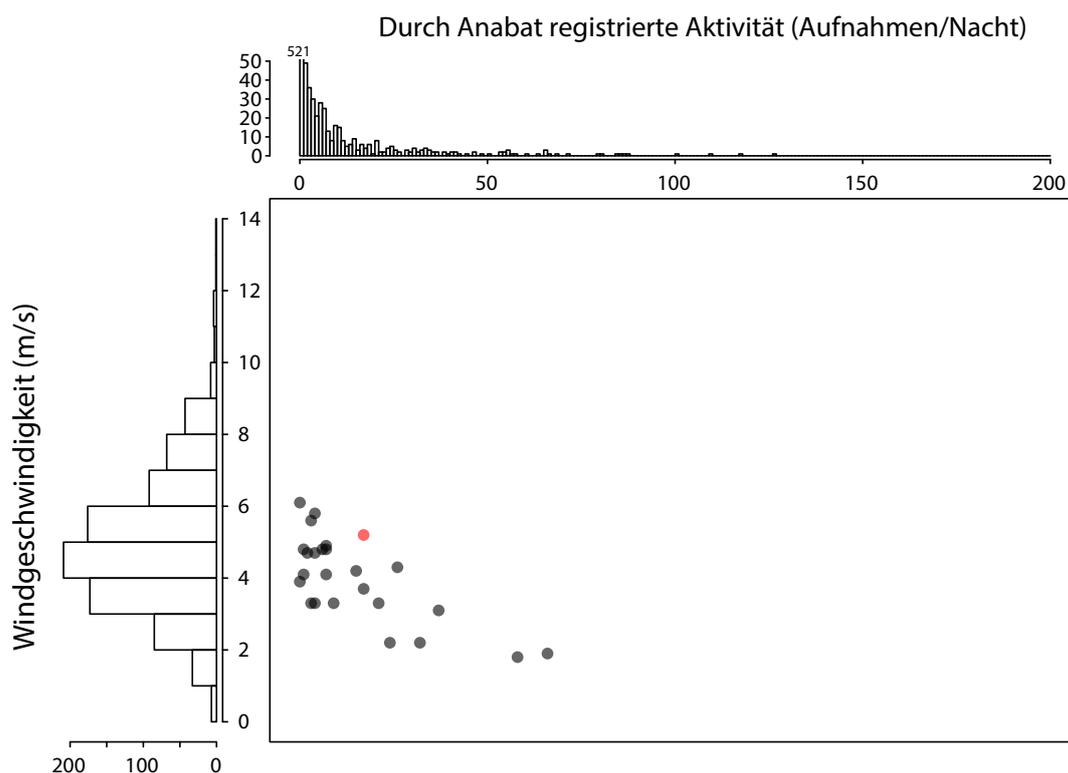


Abbildung 5 Verteilung der Schlagopferfunde auf die Windgeschwindigkeit und auf die akustische Aktivität, die mit dem Anabat SD1 gemessen wurde. Sonstige Angaben wie in Abbildung 4.

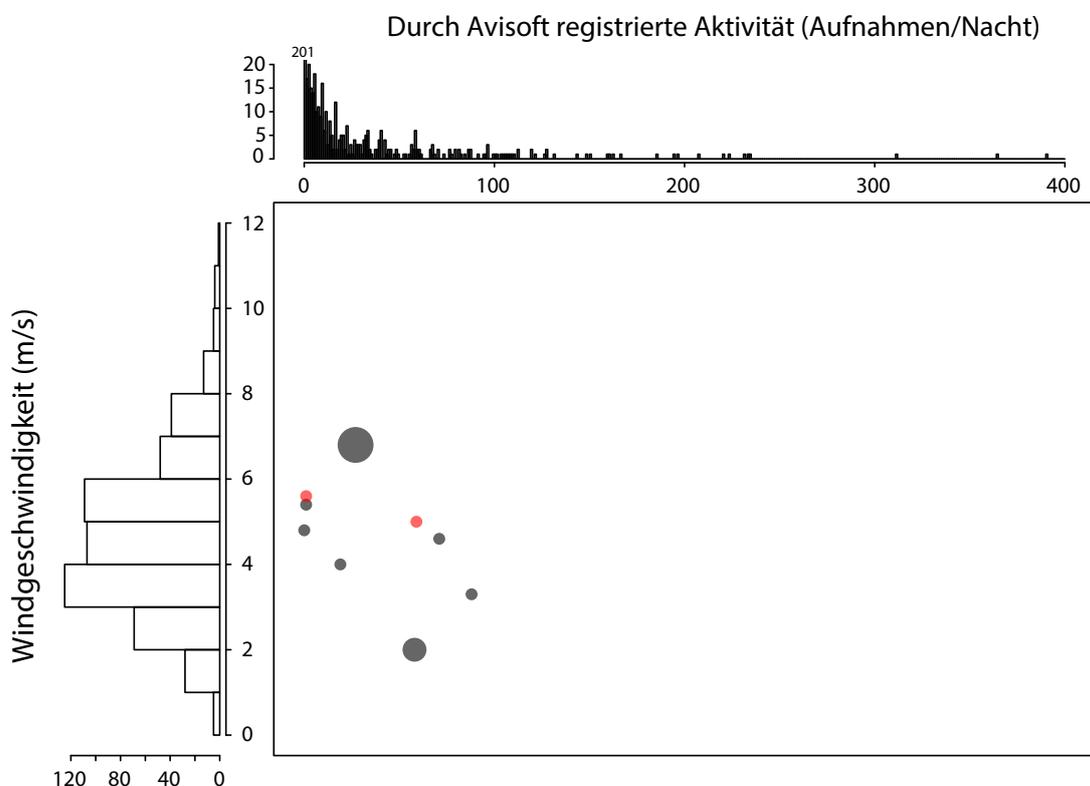


Abbildung 6 Verteilung der Schlagopferfunde auf die Windgeschwindigkeit und auf die akustische Aktivität, die mit dem Avisoft System gemessen wurde. Sonstige Angaben wie in Abbildung 4.

Die Skalierungen wurden wie folgt vorgenommen:

Für den **Batcorder**

$$\text{scAkt} = (\log(\text{Akt} + 1) - 1,287) / 1,690$$

$$\text{scWind} = (\text{Wind} - 5,218) / 1,890$$

Für den **Anabat SD1**

$$\text{scAkt} = (\log(\text{Akt} + 1) - 1,072) / 1,282$$

$$\text{scWind} = (\text{Wind} - 4,957) / 1,895$$

Für das **Avisoft-System**

$$\text{scAkt} = (\log(\text{Akt} + 1) - 1,985) / 1,689$$

$$\text{scWind} = (\text{Wind} - 4,675) / 1,816$$

Die Schätzwerte der Modellkoeffizienten für den Normalbetrieb sind der Tabelle 5 zu entnehmen. Die Modellkoeffizienten für den Batcorder und den Anabat SD1 stellen Updates der Modellformeln „BCG Chiroptera 2008“ und „SD1 Chiroptera 2007 und 2008“ in Tabelle 5 auf Seite 340 in KORNER-NIEVERGELT et al. (2011a) dar. Für das Avisoft-System wird hier zum ersten Mal ein N-mixture-Modell präsentiert.

Tabelle 5 Modellkoeffizienten des N-mixture-Modells für Normalbetrieb basierend auf den Daten des Batcorders (Jahre 2008 und 2012), des Anabat SD1 (2007, 2008 und 2012), des Avisoft-Systems (2012) und der jeweiligen Schlagopfernachsuchen; Untergrenze, Obergrenze: untere und obere Grenze des 95 % Kreditivitätsintervalls.

Detektor	Parameter	Schätzwert	Untergrenze	Obergrenze
Batcorder	a0 - Intercept	-2,995	-3,456	-2,583
	a1 - Aktivität	0,440	0,141	0,738
	a2 - Wind linear	-1,546	-2,590	-0,646
	a3 - Wind quadrat.	-1,059	-1,817	-0,420
Anabat SD1	a0 - Intercept	-2,658	-3,276	-2,104
	a1 - Aktivität	0,717	0,304	1,124
	a2 - Wind linear	-0,975	-2,257	-0,029
	a3 - Wind quadrat.	-0,754	-1,649	-0,104
Avisoft-System	a0 - Intercept	-2,847	-3,823	-2,014
	a1 - Aktivität	1,139	0,334	1,920
	a2 - Wind linear	0,634	-0,224	1,485
	a3 - Wind quadrat.	-0,204	-0,816	0,212

Demnach ergab sich z. B. folgende Formel zur Berechnung der Anzahl Schlagopfer pro Nacht für den Batcorder im Normalbetrieb:

$$\text{Anzahl Schlagopfer pro Nacht} = \exp(-2,995 + 0,440 * \text{scAkt} - 1,546 * \text{scWind} - 1,059 * \text{scWind}^2)$$

Die Schätzwerte der Modellkoeffizienten für den fledermausfreundlichen Betrieb sind in der Tabelle 6 für die drei Detektortypen dargestellt. Für den fledermausfreundlichen Betrieb konnten wir keine Zusammenhänge zwischen Aktivität oder Windgeschwindigkeit und Schlagrate finden (sehr breite Vertrauensintervalle der Modellkoeffizienten – nur für die Batcorder-Daten getestet). Wir fixierten daher die Parameter für Aktivität und Windgeschwindigkeit für den fledermausfreundlichen Betrieb auf null und schätzten so für den fledermausfreundlichen Betrieb nur einen Gesamtmittelwert der Schlagrate (*Intercept*).

Tabelle 6 Modellkoeffizienten des vereinfachten N-mixture-Modells für fledermausfreundlichen Betrieb (eingestellt auf 1,12 Schlagopfer pro 98 Nächte) basierend auf den Daten des Batcorders (Jahr 2012), des Anabat SD1 (2012) und des Avisoft-Systems (2012); Untergrenze, Obergrenze: untere und obere Grenze des 95 % Kredibilitätsintervalls.

Detektor	Parameter	Schätzwert	Untergrenze	Obergrenze
Batcorder	a_0 - Intercept	-4,925	-6,632	-3,633
Anabat SD1	a_0 - Intercept	-5,213	-8,180	-3,370
Avisoft-System	a_0 - Intercept	-4,255	-6,140	-2,960

Demnach ergab sich z. B. folgende stark vereinfachte Formel zur Berechnung der Anzahl Schlagopfer pro Nacht für den Batcorder im fledermausfreundlichen Betrieb:

$$\text{Anzahl Schlagopfer pro Nacht} = \exp(-4,925)$$

Tabelle 7 zeigt die mittleren Schlagraten (Anzahl Schlagopfer pro Nacht) berechnet mit den N-mixture-Modellen für Normalbetrieb und fledermausfreundlichen Betrieb. Die Schlagrate im fledermausfreundlichen Betrieb lag für die Daten des Batcorders und des Anabat SD1 leicht unter dem vorgegebenen Zielwert von 0,011 (Abbildung 7 bis Abbildung 9; zum Zielwert siehe Abschnitt 3.3.4), für die Daten des Avisoft-Systems etwas darüber.

Tabelle 7 Übersicht über die Schlagraten (Anzahl Schlagopfer pro Nacht) berechnet mit den N-mixture-Modellen für Normalbetrieb und fledermausfreundlichen Betrieb (in Klammern das 95 % Kreditivitätsintervall, also das 2,5 % und das 97,5 % Quantil der A-posteriori-Verteilung). In die Modelle gingen Daten des Batcorders (Jahre 2008 und 2012), des Anabat SD1 (2007, 2008 und 2012), des Avisoft-Systems (2012) und der jeweiligen Schlagopfernachsuchen ein.

Detektor	Schlagrate (Anzahl toter Fledermäuse pro Nacht)	
	Normalbetrieb	Fledermausfreundlicher Betrieb
Batcorder	0,057 (0,041 - 0,077)	0,008 (0,001 - 0,026)
Anabat SD1	0,081 (0,052 - 0,118)	0,007 (0,000 - 0,034)
Avisoft-System	0,067 (0,033 - 0,119)	0,016 (0,002 - 0,052)

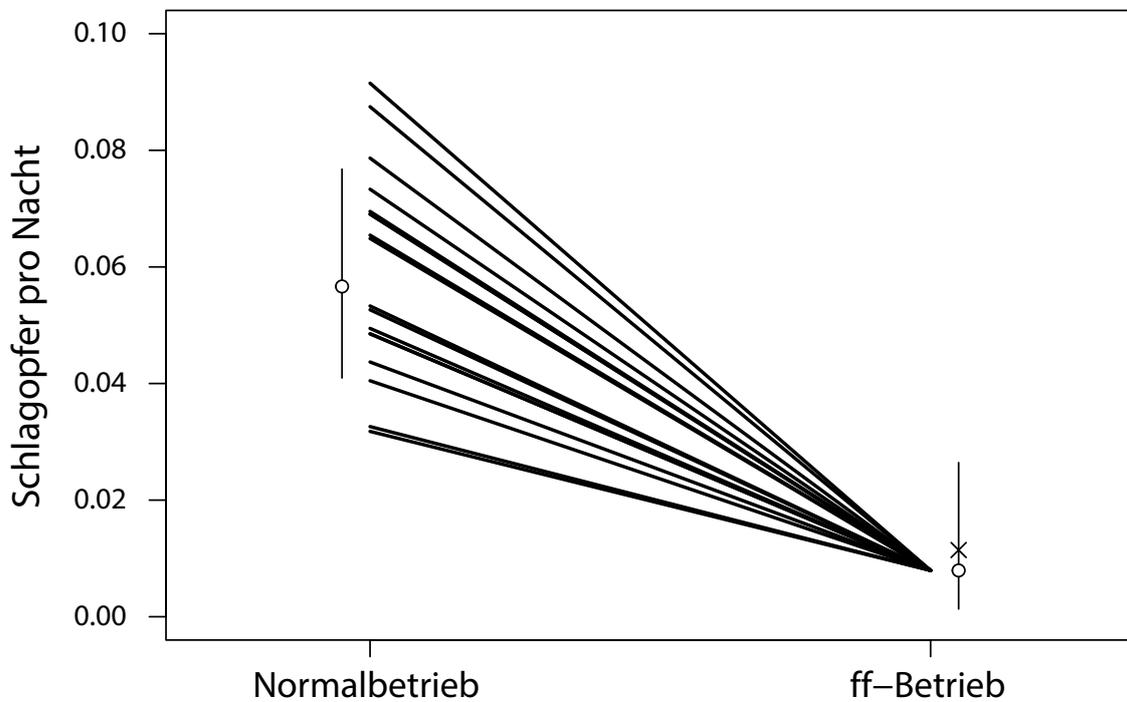


Abbildung 7 Mittlere Schlagraten pro Nacht und WEA für den Normalbetrieb und für den fledermausfreundlichen Betrieb (ff-Betrieb) basierend auf dem Modell für die Batcorder-Daten. Linien verbinden die Schlagraten derselben Anlage. Kreise geben die über alle Anlagen gemittelten (geometrisches Mittel) Schlagraten mit 95 % Kreditivitätsintervall an. Das Kreuz zeigt die Schlagrate an, auf die der Betriebsalgorithmus eingestellt war. Da im fledermausfreundlichen Betrieb nur wenige Schlagopfer gefunden wurden, wurden hier die Daten aller WEA gepoolt und ein Gesamtmittelwert berechnet.

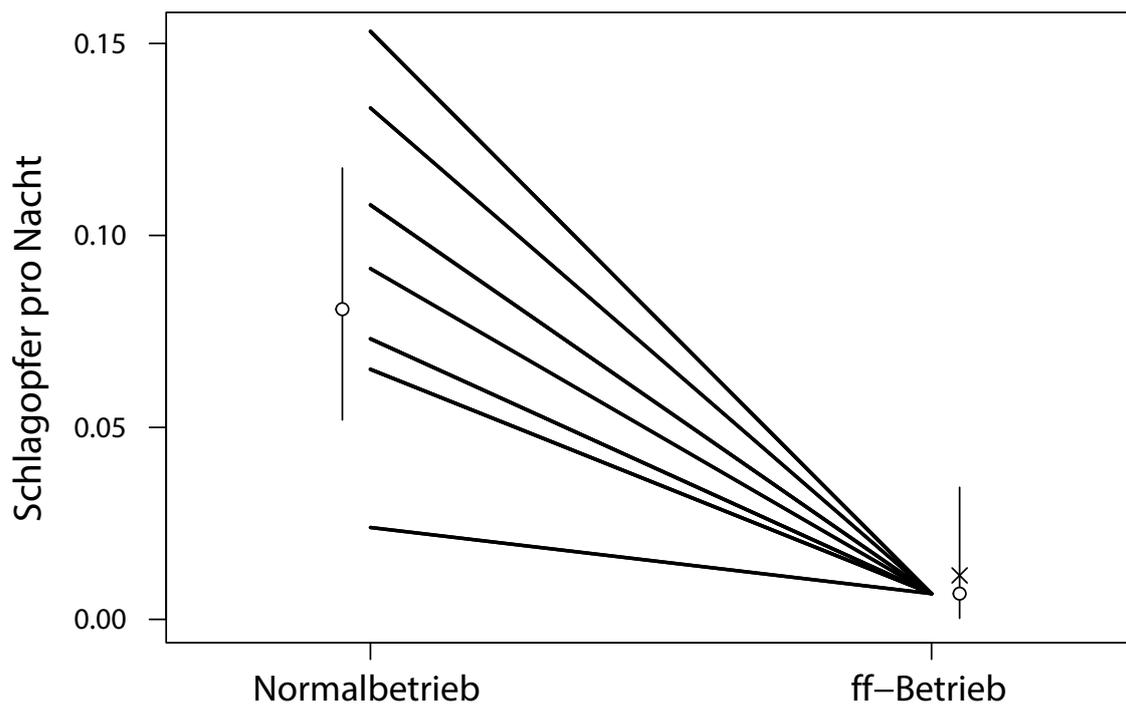


Abbildung 8 Mittlere Schlagraten pro Nacht und WEA für den Normalbetrieb und für den fledermausfreundlichen Betrieb (ff-Betrieb) basierend auf dem Modell für die Anabat SD1-Daten. Andere Angaben wie in Abbildung 7.

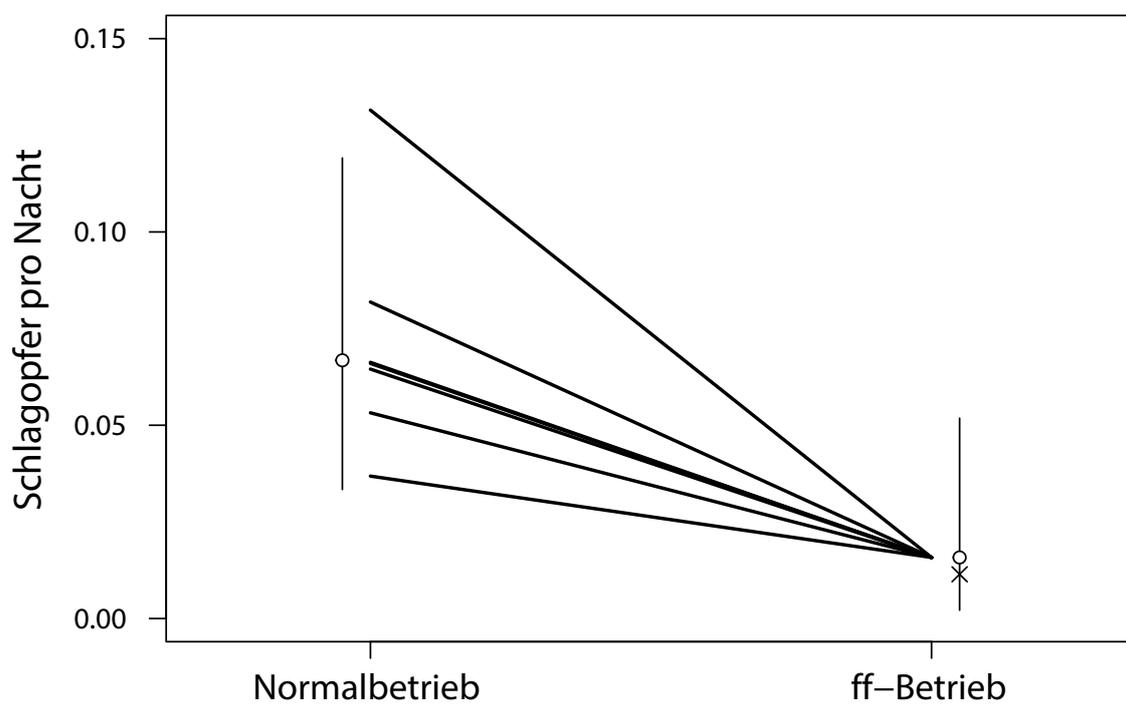


Abbildung 9 Mittlere Schlagraten pro Nacht und WEA für den Normalbetrieb und für den fledermausfreundlichen Betrieb (ff-Betrieb) basierend auf dem Modell für die Avisoft-System-Daten. Andere Angaben wie in Abbildung 7.

4.6 ErtragseinbuÙe durch den fledermausfreundlichen Betrieb

Ziel des hier dargestellten Experiments war nicht nur zu prüfen, ob die von uns entwickelten Algorithmen für den fledermausfreundlichen Betrieb die Zahl der Fledermausschlagopfer in der vorhergesehenen Weise reduzieren. Darüber hinaus sollte eine realistische Ermittlung der Ertragsausfälle stattfinden, die durch den fledermausfreundlichen Betrieb einer WEA entstehen. Wir stellen hier die Kosten (durch Ertragsausfälle) dar, die durch einen fledermausfreundlichen Betrieb der WEA während des relevanten Teils des Jahres (wir verwenden hier den Zeitraum vom 01.04. bis 31.10.) entstanden wären (unter der im Experiment gesetzten Voraussetzung von zwei Schlagopfern pro WEA und Jahr und einer Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$). Wir verwendeten hierzu den größten vorliegenden Datensatz, der mit Batcordern erhoben wurde.

Den Vorgang des Verdrehens (*pitch*) der Rotorblätter, um die Drehgeschwindigkeit des Rotors auf ein für Fledermäuse ungefährliches Maß zu reduzieren, bezeichnen wir hier der Einfachheit halber als „Abschaltung“, obwohl die Anlage natürlich nicht im engeren Sinne abgeschaltet wird und der Rotor nicht vollständig zum Stillstand kommt.

In Zeiträumen, in denen die WEA im Normalbetrieb liefen (Betriebsdaten aller WEA lagen für das gesamte Jahr vor), summierten wir den produzierten Ertrag während aller 10-Minuten-Intervalle, in denen die WEA aufgrund der gemessenen Windgeschwindigkeit „abgeschaltet“ worden wäre. Hierbei wurde die im Experiment verwendete Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$ berücksichtigt.

In den Experiment-Zeiträumen, in denen die WEA wegen des fledermausfreundlichen Betriebs keinen Ertrag erwirtschaftete, berechneten wir den Ertragsverlust aus der anlagenspezifischen Kennlinie der Leistung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (abschnittsweise kubische Regression). Die gemessene Windgeschwindigkeit wurde für den Effekt der Abschaltung korrigiert (siehe Abschnitt 3.4.2).

Wir beziehen hier den Ertragsverlust durch den fledermausfreundlichen Betrieb auf den Jahresertrag, um die von uns beprobten Anlagen untereinander und mit WEA an anderen Standorten leichter vergleichen zu können. Der Jahresertrag der 16 beprobten WEA lag im Jahr 2012 im Mittel bei 2461 MWh (95 % Konfidenzintervall 2278 MWh bis 2645 MWh, minimal 1922 MWh und maximal 3299 MWh) und damit sehr ähnlich dem Fünfjahresmittel von 2008 bis 2012 mit im Mittel 2415 MWh (95 % Konfidenzintervall 2240 MWh bis 2590 MWh, minimal 1804 MWh und maximal 3137 MWh – die Mittelwerte waren also nicht signifikant verschieden).²

² Im Endbericht des Vorgängerprojektes wurde der Ertragsausfall angegeben als Prozentsatz eines für Binnenlandstandorte deutlich zu hoch angenommenen Jahresertrags von 4500 MWh (BEHR et al. 2011b). Der reale Jahresertrag war nicht bekannt, und die relativen Kosten des fledermausfreundlichen Betriebs wurden daher unterschätzt.

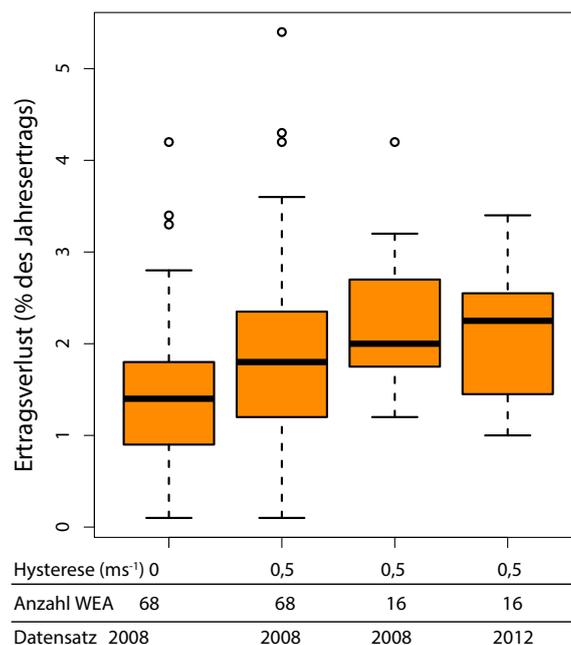


Abbildung 10 Ertragsverlust im fledermausfreundlichen Betrieb (Reduktion des Schlagrisikos auf zwei tote Fledermäuse pro Jahr) im Zeitraum 01.04. bis 31.10. bezogen auf den Jahresertrag der jeweiligen WEA. Gezeigt sind Boxen (der Balken in der orangenen Box zeigt den Median, die orangene Box den Interquartilbereich von 25 % bis 75 %, die „Schnurrhaare“ zeigen Datenpunkte mit einer Entfernung von bis zum 1,5fachen des Interquartilbereichs von der Box, Kreise zeigen Ausreißer) für (1) den Gesamtdatensatz 2008 ohne Hysterese, (2) den Gesamtdatensatz 2008 mit Hysterese $0,5 \text{ ms}^{-1}$, (3) die WEA aus dem Datensatz 2008, die auch im Jahr 2012 beprobt wurden, mit Hysterese $0,5 \text{ ms}^{-1}$, (4) den Datensatz 2012 mit Hysterese $0,5 \text{ ms}^{-1}$. Der Ertragsverlust ist angegeben in % des realen Jahresertrags der jeweiligen WEA.

Die Summe der berechneten und der realen Ertragsausfälle im Normal- und im fledermausfreundlichen Betrieb lag im Mittel bei 2,1 % (95 % Konfidenzintervall 1,7 % bis 2,4 %, minimal 1,0 % und maximal 3,4 %) des Jahresertrags der WEA im gesamten Jahr 2012 (siehe dazu auch Abbildung 10).

Die anhand der Daten des Jahres 2012 ermittelten Werte waren damit den aus den Daten des Jahres 2008 für dieselben WEA vorhergesagten Werten sehr ähnlich (Mittelwert 2,2 %, 95 % Konfidenzintervall 1,8 % bis 2,6 %, minimal 1,2 % und maximal 4,2 % – bezogen auf den Jahresertrag 2008, Hysterese berücksichtigt – die Mittelwerte der Jahre 2008 und 2012 waren also nicht signifikant verschieden). Da für das Experiment im Jahr 2012 WEA mit hohem Schlagrisiko ausgewählt wurden, lagen die Werte für den zufallsausgewählten Gesamtdatensatz 2008 im Mittel niedriger (Mittelwert 1,8 %, 95 % Konfidenzintervall 1,3 % bis 2,3 %, minimal 0,1 % und maximal 5,4 %). Wurde keine Hysterese verwendet, reduzierte sich dieser Wert auf im Mittel 1,4 % (95 % Konfidenzintervall 1,0 % bis 1,8 %, minimal 0,1 % und maximal 4,2 %).

Abbildung 11 zeigt die Abhängigkeit der berechneten Ertragsverluste von der Anzahl zugelassener Fledermausschlagopfer pro WEA und Jahr für den Gesamtdatensatz 2008 ohne Hysterese und mit einer Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$.

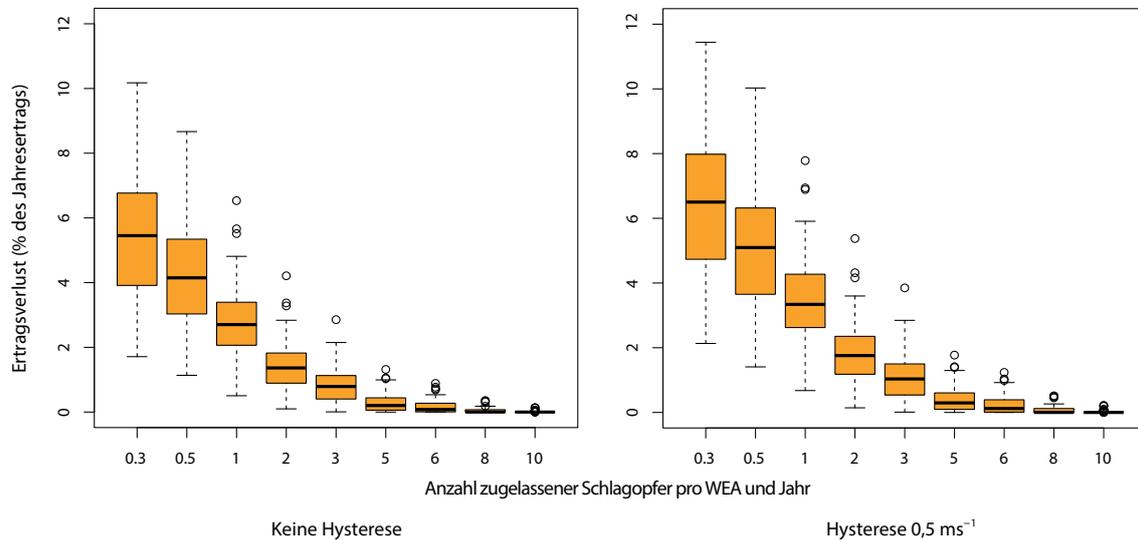


Abbildung 11 Ertragsverlust im fledermausfreundlichen Betrieb im Zeitraum 01.04. bis 31.10. bezogen auf den Jahresertrag der jeweiligen WEA. Gezeigt sind die Werte für verschiedene Anzahlen zugelassener Fledermausschlagopfer pro WEA und Jahr (x-Achse) – Gesamtdatensatz 2008 ohne Hysterese (links) und mit Hysterese $0,5 \text{ ms}^{-1}$ (rechts). Der Ertragsverlust ist angegeben in Prozent des realen Jahresertrags der jeweiligen WEA.

5 Diskussion

Im vorangegangenen Forschungsvorhaben (RENEBAT I) wurde eine Methode entwickelt, mit der das Schlagrisiko für Fledermäuse an WEA quantifiziert und reduziert werden kann (BEHR et al. 2011b). Die Reduktion des Schlagrisikos erfolgt dabei anlagenspezifisch durch fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen, die die WEA während Zeiten mit hohem Schlagrisiko und geringem Energieertrag abstellen. Eine solche Anlagensteuerung reduziert das Risiko des Fledermausschlags auf einen festgelegten Wert in Kauf genommener toter Fledermäuse und minimiert die resultierenden Ertragseinbußen.

Ziel des hier dargestellten Forschungsvorhabens war es, der Methode fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen zu einer zeitnahen und breiten praktischen Umsetzung zu verhelfen. Die bei der Standortplanung und Genehmigung von WEA beteiligten Akteure (z. B. in Behörden und Gutachterbüros) sollten in die Lage versetzt werden, diese Methoden mit begrenztem Aufwand eigenständig umzusetzen (siehe dazu auch MAYER et al. 2015 in diesem Dokument).

Hierzu führten wir an 16 WEA in acht Windparks ein Experiment zur Reduktion des Kollisionsrisikos mit fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen durch. Die 16 WEA liefen während des Experiments alternierend im fledermausfreundlichen oder im Normalbetrieb. Dieses Experiment ist einerseits als Praxistest zu sehen, um Probleme, die beim Einsatz unserer Methode auftreten können, aufzudecken und ggf. zu beheben. Andererseits gehen wir davon aus, dass es anhand dokumentierter Fallbeispiele allen an der Standortplanung beteiligten Parteien leichter fallen wird, unseren Untersuchungsansatz praktisch umzusetzen.

Im Experiment prüften wir die technische Umsetzbarkeit und die Effizienz unseres methodischen Ansatzes. Das theoretisch vorhergesagte Kollisionsrisiko im fledermausfreundlichen Betrieb wurde mit dem tatsächlich gemessenen abgeglichen. Das tatsächliche Kollisionsrisiko ermittelten wir dabei basierend aus zwei unabhängigen Datensätzen: Einerseits wurde an den WEA die akustische Fledermausaktivität im Gondelbereich gemessen (BEHR et al. 2015a), aus der mit einer von uns entwickelten Methode das Schlagrisiko für den Normalbetrieb berechnet werden kann (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a; KORNER-NIEVERGELT et al. 2013). Andererseits wurden an den WEA Schlagopfernachsuchen durchgeführt durchgeführt (NIERMANN et al. 2015). Darüber hinaus kombinierten wir die beiden vorliegenden Datensätze, um Aussagen mit geringerer statistischer Unsicherheit treffen zu können.

Weiterhin wurden die durch die Implementierung der Betriebsalgorithmen entstehenden Ertragsausfälle unter praxisnahen Bedingungen ermittelt und in Relation zu den realen Jahreserträgen der WEA gesetzt. Darüber hinaus ermöglicht der erhobene Datensatz in Verbindung mit dem im letzten Vorhaben erfassten erste Rückschlüsse darauf, in welchem Umfang sich die Fledermausaktivität an WEA zwischen verschiedenen Jahren unterscheidet.

5.1 Schlagopferzahlen berechnet aus akustischen Daten

Diese Berechnungen der Schlagopferzahlen beruhen auf den Daten der akustischen Fledermausaktivität, die weitgehend unabhängig vom Betriebsmodus sind. Dementsprechend wurden die Schlagopferzahlen in diesem Abschnitt grundsätzlich für eine im Normalbetrieb laufende WEA berechnet. Für Zeiträume mit fledermausfreundlichem Betrieb wurde also die Schlagopferzahl berechnet, die im Normalbetrieb zu erwarten gewesen wäre.

Die WEA wurden bereits in RENEBAT I im Jahr 2008 akustisch beprobt. Wir konnten daher das Schlagrisiko für denselben Zeitraum (05.07. bis 11.10.) des Jahres 2008

berechnen, der während des Experiments im Jahr 2012 beprobt wurde. Die Schlagrate (Anzahl Schlagopfer pro Anlage und Nacht) berechnet aus dem 2008er Datensatz betrug 0,059 an den 16 beprobten WEA für den 98-Tages Zeitraum. Dies entspricht in Summe 92 Tieren an allen WEA im genannten Zeitraum und jeweils 46 Tieren während des Normalbetriebs und während des fledermausfreundlichen Betriebs (unter der Annahme, dass dieser keinen Effekt auf das Schlagrisiko hätte). Die im Jahr 2012 gemessene akustische Aktivität lag etwas höher als im Jahr 2008. Entsprechend lagen auch die aus der akustischen Aktivität (Batcorder-Daten 2012) berechneten Schlagraten bei 0,077 (entsprechend 60 Tieren an allen WEA im Gesamtzeitraum) für den fledermausfreundlichen und bei 0,061 (entsprechend 48 Tieren insgesamt) für den Normalbetrieb und damit etwas höher als im 2008er Datensatz. In Summe waren die aus den 2008er Daten berechneten Schlagraten jedoch ähnlich den aus den 2012er Daten berechneten Werten. Die berechneten Schlagraten (Anzahl der Schlagopfer pro Nacht) waren während des fledermausfreundlichen Betriebs (unter der Annahme, dass dieser keinen Effekt auf das Schlagrisiko hätte) etwas höher als für Zeiten mit Normalbetrieb.

Auffällig war der Unterschied in der vorhergesagten mittleren Schlagrate (Schlagopfer pro Nacht) für den Normalbetrieb durch das Batcorder-Modell (0,077) und durch das Anabat SD1-Modell (0,122). Dieser Unterschied hat vermutlich zwei Ursachen: Erstens waren während der durch den Anabat SD1 beprobten Nächte tatsächlich mehr Schlagopfer zu verzeichnen als in den Nächten, die mit dem Batcorder beprobt wurden (Abschnitt 4.3). Während der im Vergleich zum Batcorder nur etwa halb so vielen Nächte, die mit dem Anabat SD1 beprobt wurden, wurden 2 Schlagopfer mehr gefunden. Die unabhängig von den akustischen Messungen hochgerechneten Schlagopferzahlen zeigten eine mehr als doppelt so hohe Schlagrate für die Nächte mit Anabat SD1-Beprobung wie für die Nächte, die mittels Batcorder beprobt wurden. Zweitens hatte das Anabat SD1-Modell bereits für den Datensatz aus RENEBAT I leicht höhere Schlagopferzahlen ergeben. Der Grund hierfür lag auch in RENEBAT I vermutlich in unterschiedlichen Stichproben. Dass der Unterschied zwischen den Vorhersagen aus dem Batcorder und Anabat SD1 Datensatz lediglich auf unterschiedlichen Stichproben beruht, wird durch das Resultat aus dem Modell für den fledermausfreundlichen Betrieb unterstützt (Abschnitt 4.6). Im fledermausfreundlichen Betrieb wurde die Schlagrate künstlich (durch den Betriebsalgorithmus) konstant gehalten. Die N-mixture-Modelle für Batcorder und Anabat SD1, welche für diese Zeiträume (fledermausfreundlicher Betrieb) erstellt wurden, schätzten gleich große Schlagraten.

5.2 Schlagopferzahlen berechnet aus den Daten der Nachsuchen

In Zeiträumen mit Normalbetrieb wurden 21 Schlagopfer und in Zeiträumen mit fledermausfreundlichem Betrieb drei tote Tiere gefunden. Mit drei Schlagopfern war die Stichprobe zur Berechnung der Schlagopferzahl im fledermausfreundlichen Betrieb klein. Dies gilt auch für die Stichproben von zwei bis acht Schlagopferfunden pro Betriebsart für Zeiträume mit gleichzeitiger akustischer Beprobung (Grund für die kleinen Stichproben waren hier unter anderem Ausfallzeiten der Detektoren). Für eine verlässliche Schlagopferzahlschätzung aus Nachsuchdaten werden mindestens zehn Schlagopfer empfohlen (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011b). Schlagopferzahlen, deren Berechnung auf kleineren Stichproben basiert (Spalte „Anzahl gefundener Schlagopfer“ in Tabelle 3), sollten deshalb mit entsprechender Vorsicht interpretiert werden.

Die aus den Nachsuchen geschätzten Schlagraten für den fledermausfreundlichen Betrieb lagen bei den ausgewerteten Stichproben bei 0,010 (Gesamtdatensatz) bzw. 0,009 (Datensätze mit gleichzeitiger akustischer Beprobung mit Batcorder oder Anabat SD1), also etwa einem Tier pro Anlage in 100 Nächten. Dieser Wert lag sehr knapp unter der vorgegebenen Schlagrate für den fledermausfreundlichen Betrieb von 0,011 Tieren pro Anlage und Nacht. Der Effekt des fledermausfreundlichen Betriebs auf die Schlagrate war also geringfügig höher als aufgrund der Voruntersuchungen im Jahr 2008 (RENE-BAT I) angenommen. Ein möglicher Grund hierfür ist, dass die Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$ zu längeren Abschaltzeiten führte als ursprünglich im Algorithmus vorgesehen (siehe dazu Abschnitt 3.4.1). Die Schlagrate von 0,010 im fledermausfreundlichen Betrieb während des Experiments im Jahr 2012 stand einer Rate von 0,064 (Gesamtdatensatz der Nachsuchen) im Normalbetrieb gegenüber, was einem Verhältnis von 1 : 6,4 (also gut sechs mal so vielen Schlagopfern im Normalbetrieb) entspricht.

Die für den Normalbetrieb berechnete Schlagrate lag für die Stichprobe mit gleichzeitiger akustischer Beprobung mit dem Batcorder bei 0,026 und damit deutlich unter der des Gesamtdatensatzes (0,064) und der mit gleichzeitiger Beprobung durch den Anabat SD1 (0,068). Die Ursache für die geringere berechnete Schlagrate der Batcorder-Stichprobe könnte ein zufällig tatsächlich geringeres Schlagrisiko in dieser Stichprobe sein, was auch durch die Ergebnisse der Berechnungen aus den akustischen Daten gestützt wird (Abschnitt 5.1).

Die für denselben Zeitraum nur aus den akustischen Daten berechnete Schlagrate (Abschnitt 4.2 – Normalbetrieb) lag für den Batcorder bei 0,061 (also ähnlich den Werten der Gesamtstichprobe und des Anabat SD1 bei den Nachsuchen), für den Anabat SD1 jedoch deutlich höher bei 0,108.

Die Unterschiede zwischen den aus der akustischen Aktivität berechneten Schlagopferzahlen (Abschnitt 4.2) zu den auf Schlagopfernachsuchen basierenden Zahlen können einerseits auf die Unsicherheit der Hochrechnungen aus den Daten der Nachsuchen (sowie der Berechnung aus den akustischen Daten) und andererseits auf Stichprobeneffekte zurückzuführen sein.

5.3 Schlagopferzahlen aus kombinierten akustischen und Nachsuchdaten

Hier werden die Schlagopferzahlen diskutiert, die sich mit den in diesem Forschungsvorhaben RENEBAT II neu errechneten N-mixture-Modellen ergaben. Diese neuen Modelle berücksichtigen auch die Betriebsart (Normalbetrieb oder fledermausfreundlicher Betrieb). Für den Normalbetrieb wurden die Daten aus RENEBAT I (2008) und aus dem hier dargestellten RENEBAT II kombiniert. Die Modelle für den Normalbetrieb sind also als präzisere Updates der in RENEBAT I veröffentlichten Modelle (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011a) zu sehen (dies gilt nicht für das Avisoft-System, das 2008 noch nicht eingesetzt worden war).

Für den fledermausfreundlichen Betrieb lagen wie bereits im Abschnitt 5.2 diskutiert nur wenige Schlagopferfunde vor. Da im hier dargestellten Ansatz (N-mixture-Modelle) die Informationen aus den Schlagopfernachsuchen, den akustischen Messungen sowie den Windmessungen kombiniert wurden, sind die Berechnungen jedoch präziser als die in den Kapiteln 5.1 und 5.2 diskutierten, in denen die beiden Datenquellen unabhängig voneinander ausgewertet wurden.

Schlagopfer wurden hauptsächlich nach Nächten mit Windgeschwindigkeit unter 6 ms^{-1} (Median der Windgeschwindigkeit der 10-Minuten-Intervalle einer Nacht) gefunden und oft nach Nächten mit einer hohen akustischen Aktivität. Die drei während des fledermausfreundlichen Betriebs gefundenen Schlagopfer traten nach Nächten mit mehr als 5 ms^{-1} Windgeschwindigkeit auf, in denen also die Windgeschwindigkeit zumindest teilweise über der durch den fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus definierten Anlaufwindgeschwindigkeit lag. Um die Kosten für den fledermausfreundlichen Betrieb möglichst gering zu halten, werden die WEA zunächst in Zeiten mit niedrigen Windgeschwindigkeiten abgeschaltet. Das verbleibende Schlagrisiko konzentriert sich dann auf Zeiten, in denen die Windgeschwindigkeit knapp über der vorgeschriebenen Anlaufwindgeschwindigkeit liegt, also meist im Bereich von 5 bis 6 ms^{-1} .

Die berechneten Schlagraten im fledermausfreundlichen Betrieb lagen für die Daten des Batcorders (0,008 Schlagopfer pro Anlage und Nacht) und des Anabat SD1 (Schlagrate

0,007) leicht unter dem vorgegebenen Zielwert von 0,011 Schlagopfern pro Anlage und Nacht und damit sehr nah an den nur aus den Daten der Nachsuchen geschätzten Werten (Abschnitt 5.2). Für die Daten des Avisoft-Systems lag die geschätzte Schlagrate (0,016) etwas höher. Das Modell für die Daten des Avisoft-Systems wurde mit einem kleinen Datensatz entwickelt (291 Messungen bei Normalbetrieb). Die Schätzungen dieses Modells sind entsprechend unsicher.

5.4 Streuung der Zahl getöteter Fledermäuse

Die hier vorgeschlagene Methode zur Berechnung und Reduzierung der Zahl getöteter Fledermäuse an WEA beruht auf Mittelwerten verschiedener Anlagen und Zeiträume. Wenn also z. B. die Zahl getöteter Fledermäuse auf durchschnittlich nur zwei Tiere pro Jahr gesenkt wird, so bedeutet dies, dass einzelne Anlagen und Jahre Werte aufweisen können, die unter oder über diesem Wert liegen. Die Zahl getöteter Fledermäuse in der Gesamtlaufzeit einer Anlage (in diesem Beispiel und bei einer angenommenen Gesamtlaufzeit von 20 Jahren also 40 Tiere) weist eine entsprechend größere Genauigkeit auf, da zufällige jährliche Abweichungen gemittelt werden.

DULAC (2010) hat in einer dreieinhalbjährigen Untersuchung mit ganzjährigen Schlagopfernachsuchen für einen stark vom Zugeschehen der Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, geprägten WEA-Standort an der französischen Atlantikküste nachgewiesen, dass die Schlagopferzahlen einzelner Jahre relativ ähnlich waren, sich der Schwerpunkt des Auftretens von Schlagopfern jedoch von Jahr zu Jahr innerhalb der Monate August bis Oktober verschob.

5.5 Zeiteinheit der Gefährdungsbeurteilung: 10-Minuten-Intervalle

Wie bereits im Bericht zu RENEBAT I diskutiert, wählten wir 10 Minuten als kleinsten Zeitraum für die Bewertung und Abschaltung der WEA. 10-Minuten-Intervalle werden auch bei der Steuerung und der Überwachung vieler Anlagen als Zeiteinheit benutzt. Eine Implementierung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen für 10-Minuten-Intervalle ist daher technisch verhältnismäßig einfach. Prinzipiell können aber auch andere Zeitspannen verwendet werden. Die Untergrenze der Zeitspanne wird dabei in der Regel von der Zahl zusätzlicher An- und Abschaltvorgänge bestimmt, die je nach Anlagentyp zu einem höheren Verschleiß von Bauteilen führen können. Die Obergrenze wird von der Notwendigkeit bestimmt, auf Änderungen der vorhergesagten Fledermausaktivität zeitnah reagieren zu können. Würde dem Schwellenwert ein Puffer hinzuaddiert, könnte das Zeitintervall entsprechend verlängert werden. D. h. eine zeitlich

weniger spezifische Steuerung würde bei gleichem angestrebten Schutzeffekt für Fledermäuse zu höheren Kosten führen, wobei der Unterschied von der Größe des gewählten Puffers abhinge.

Die Abschaltung der WEA erfolgt erst nach 10-Minuten-Intervallen, für die die Gefährdung von Fledermäusen über dem festgelegten Schwellenwert lag, da die für die Berechnung notwendigen Werte z. B. zur Windgeschwindigkeit erst am Ende des 10-Minuten-Intervalls vorliegen. Dies ist wegen der hohen zeitlichen Auflösung relativ unproblematisch, da sich das Gefährdungspotential innerhalb von zehn Minuten in der Regel nicht sprunghaft ändert. Dem Problem könnte daher begegnet werden, indem dem festgesetzten Schwellenwert ein kleiner Puffer hinzuaddiert wird. Eine mögliche Ausnahme hiervon sind aufziehende Gewitterfronten, die zu einem schnellen Anstieg der Windgeschwindigkeit nach vorheriger Windstille und damit zu einem schnellen Anlaufen der Rotoren aus dem Stillstand führen können und die zumindest in den USA als Zeiträume erhöhten Schlagrisikos genannt werden (Übersicht in ARNETT et al. 2008).

Die vorhergesagte Zahl toter Fledermäuse je 10-Minuten-Intervall ist als mittlere Risikoprognose, jedoch nicht als für jedes 10-Minuten-Intervall real zutreffende Zahl zu verstehen. Unter dieser Voraussetzung erklärt sich auch der Sinn von Zahlen vorhergesagter toter Fledermäuse, die nur einen Bruchteil von 1 ausmachen.

5.6 Übertragbarkeit der Methodik auf nicht im Forschungsvorhaben beprobte WEA

Unsere Analysen und die hier dargestellten Ergebnisse beruhen auf den in den in RENEBA I & II erhobenen Datensätzen aus den Jahren 2007, 2008 und 2012 an den untersuchten WEA (Anlagen der Firma Enercon mit Rotordurchmessern von 66 bis 82 m, überwiegend vom Typ E70). Bei dem dargestellten Verfahren ist die Integration neuer Anlagen und Zeiträume bereits vorgesehen. Sofern andere Bearbeiter die von uns vorgeschlagene Methodik der Datenerfassung wählen und einen in seiner Größe aussagekräftigen Datensatz erheben, kann das hier dargestellte Verfahren in der Regel auf die neuen Anlagen angewendet werden (siehe dazu BEHR et al. 2015b in diesem Dokument).

Als problematisch können sich hierbei jedoch Standorte erweisen, die in wichtigen Aspekten der Fledermausaktivität stark vom Mittelwert der Anlagen im Datensatz aus RENEBA I abweichen. Dies würde dazu führen, dass die Aktivität und damit die Zahl toter Fledermäuse an diesen Anlagen nur ungenau vorhergesagt wird. In einem solchen Fall wäre es günstiger, ein eigenes Modell nur für die an dieser Anlage erhobenen Daten zu erstellen (BEHR et al. 2011c; BEHR et al. 2015b in diesem Dokument), jedoch nur, wenn

eine gute Datenbasis für die Berechnung vorliegt. Modelle für Einzelanlagen beruhen auf einem wesentlich kleineren Datensatz und sind damit stärker von Zufallseffekten beeinflusst. Daher können z. B. zufällige Sonderereignisse aus dem Jahr der Datenerfassung in das Modell eingehen, das damit jedoch die Aktivität in den Folgejahren nicht hinreichend beschreibt. Im Extremfall eines sehr kleinen Datensatzes könnte dies dazu führen, dass die wenigen gesammelten Aufnahmen zwar sehr gut durch die annähernd gleich große Zahl von in das Modell eingehenden Einflussvariablen beschrieben werden, das Modell aber keine generelle Beschreibung der Zusammenhänge von Einflussvariablen und Aktivität leistet (*overfit*).

In aller Regel wird es daher angezeigt sein, die Modell-Parameter für Windgeschwindigkeit, Nachtzeit und Monat aus dem von uns erstellten Gesamtmodell zu verwenden und nur den anlagenspezifischen Parameter (d. h. das Aktivitätsniveau der jeweiligen Anlage) aus den neu erhobenen Daten zu berechnen. In letzterem Fall ist es möglich, das Access-Tool ProBat zur Berechnung der Algorithmen zu verwenden, dessen Entwicklung in RENEBAT II begonnen wurde (<http://windbat.techfak.fau.de>).

Die direkte Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen nach dem von uns entwickelten Verfahren ist prinzipiell für alle Anlagen möglich, die in ihrer Größe den von uns beprobten Anlagen ähneln. Entscheidend ist dabei der Rotordurchmesser (60 bis 70 m), da mit der akustischen Aktivitätserfassung je nach Fledermausart nur ein Teil des Rotorbereichs erfasst wird. Für WEA mit einem abweichenden Rotordurchmesser wurde in RENEBAT II eine Korrekturformel entwickelt, die das berechnete Schlagrisiko entsprechend dem Rotordurchmesser anpasst.

Weniger wichtig sind Unterschiede in der Nabenhöhe, da die Fledermausaktivität im Gondelbereich erfasst wird. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die vertikale Aktivitätsverteilung innerhalb des Rotorbereichs von der Nabenhöhe abhängig sein könnte (z. B. eine überdurchschnittlich hohe Aktivität im unteren Rotorbereich wenn sich der Rotor in geringem Abstand zu Baumkronen befindet, was ebenfalls zu einer Unterschätzung der Zahl getöteter Fledermäuse führen würde).

Das hier dargestellte Verfahren zur Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen wurde von uns in Rücksprache mit der Firma Enercon entwickelt und ist an Anlagen dieses Herstellers einsetzbar. Die Implementierbarkeit in der Anlagensteuerung anderer Hersteller kann mit einem mehr oder weniger großen Aufwand verbunden sein und wurde von uns nicht geprüft. So war es z. B. bei einem Experiment zu fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen in Kanada nicht möglich, die Parameter der Anlagensteuerung nach Tageszeiten zu spezifizieren (BAERWALD et al. 2009), was anscheinend bislang auch an Standorten in Deutschland häufig der Fall ist. In diesen Fällen kann ggf. eine pauschale

Anlaufwindgeschwindigkeit für den gesamten Zeitraum des fledermausfreundlichen Betriebs der WEA implementiert werden. Diese wird ebenfalls im Access-Tool ProBat zur Berechnung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen berechnet, ist jedoch mit höheren Kosten verbunden, da Gefährdungszeiträume nicht detailliert abgebildet werden können (siehe dazu BEHR et al. 2015b in diesem Dokument).

Ein Punkt, in dem sich Enercon-Anlagen von denen anderer Hersteller unterscheiden, ist die Kraftübertragung vom Rotor auf den Generator. Im Gegensatz zu anderen Herstellern arbeitet Enercon mit einem getriebelosen Verfahren. Da das Getriebe im Allgemeinen einem hohen Verschleiß ausgesetzt ist, kann eine erhöhte Zahl von An- und Abschaltungen für Getriebeanlagen problematisch und eine entsprechende Anpassung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen nötig werden.

Es wird im Zusammenhang mit dem Schlagrisiko an WEA immer wieder auf die vermeintlich höheren Anlaufwindgeschwindigkeiten (häufig wird auch der englische Begriff *cut-in* Windgeschwindigkeit verwendet) von z. B. Vestas-Anlagen im Vergleich zu Enercon-WEA hingewiesen. Hierbei wird jedoch in der Regel nicht berücksichtigt, dass die reale Rotationsgeschwindigkeit der WEA nicht gleichzusetzen ist mit der vom Hersteller angegebenen *cut-in* Windgeschwindigkeit. So gibt Vestas für die V90 Anlage eine *cut-in* Windgeschwindigkeit von 4 ms^{-1} an. Anlagen dieses Typs rotieren jedoch häufig schon ab 2 ms^{-1} Windgeschwindigkeit und so gut wie immer ab 3 ms^{-1} Windgeschwindigkeit (persönliche Mitteilung verschiedener Gutachter aus Datensätzen von über 10 Anlagen an verschiedenen Standorten). Die *cut-in* Windgeschwindigkeit des Herstellers gibt dagegen in der Regel an, ab wann die WEA Strom produziert.

Darüber hinaus ist die Frage der realen Anlaufwindgeschwindigkeit im Bereich von 2 bis 3 ms^{-1} für die Funktion des fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus meist nicht relevant, da das verbleibende Risiko über der durch den Algorithmus definierten *cut-in* Windgeschwindigkeit bewertet wird. Bei einer definierten *cut-in* Windgeschwindigkeit von z. B. 5 ms^{-1} ist also das verbleibende Risiko für Windgeschwindigkeiten ab 5 ms^{-1} relevant. Da die definierte *cut-in* Windgeschwindigkeit in der Regel über der *cut-in* Windgeschwindigkeit im Normalbetrieb liegt, spielt es keine Rolle, wie sich die WEA im Normalbetrieb verhält.

Bei einem Experiment zur Effizienz veränderter Betriebsalgorithmen in Kanada (BAERWALD et al. 2009) wurde bei einigen Anlagen (Typ V80 der Firma Vestas) nicht die Anlaufwindgeschwindigkeit, sondern der Anstellwinkel der Rotorblätter verändert. Dies führte ebenfalls dazu, dass sich die Rotoren bei niedrigen Windgeschwindigkeiten nicht drehten und entsprechend zu einer Reduktion der Fledermausmortalität um über 50 %. Die Ertragseinbuße durch die Veränderung des Anstellwinkels war jedoch wesentlich

geringer als durch die erhöhte Anlaufwindgeschwindigkeit. Darüber hinaus wurde dieses Verfahren gewählt, um den Verschleiß von Bauteilen der Anlagen durch An- und Abschaltvorgänge zu verringern.

Aktivitätserfassungen an WEA in Deutschland haben gezeigt, dass der Batcorder auch auf Anlagen anderer Hersteller (u.a. Nordex und Vestas) häufig sinnvoll eingesetzt werden kann (Mitteilung der Firma EcoObs 2014). In einigen Fällen werden jedoch sehr viele Störsignale aufgezeichnet, die einen sinnvollen Betrieb der Geräte unmöglich machen können. In solchen Fällen hat es sich als nützlich erwiesen, Batcorder mit einer geringeren Empfindlichkeit von -27 dB Threshold (für diese Empfindlichkeitsstufe liegt jetzt auch eine Formel vor, mit der aus den akustischen Daten das Schlagrisiko berechnet werden kann – siehe dazu das ProBat Tool unter <http://windbat.techfak.fau.de>), oder ein weniger störungsanfälliges Detektorsystem (z. B. Avisoft-System) zu verwenden.

5.7 Spezifische fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für einzelne Artgruppen

Die hier gezeigten Daten zu fledermausfreundlichen Abschaltalgorithmen beschränken sich wie bereits in RENEBAT I auf die Artgruppe Chiroptera. Im Prinzip ist es möglich, solche Algorithmen auch spezifischer für Artgruppen oder einzelne Arten zu berechnen. Nach unserem Kenntnisstand wäre dies nur für die Artgruppe Nyctaloid sinnvoll, die an einigen Anlagen das Artenspektrum extrem dominiert. Für solchen Anlagen mit nahezu ausschließlich Aufnahmen aus der Artgruppe Nyctaloid (meist überwiegend Große Abendsegler, *N. noctula*) könnte ein spezifisch auf diese Gruppe zugeschnittener Betriebsalgorithmus sinnvoll sein. Erste Analysen in RENEBAT I haben gezeigt, dass sich dies als ökonomisch günstiger erweisen könnte, als den Algorithmus für Chiroptera zu verwenden. Ein fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmus für die Artgruppe Pipistrelloid erscheint zum jetzigen Zeitpunkt nicht sinnvoll, da uns keine Anlage bekannt ist, an der sich das Artenspektrum (nahezu) ausschließlich auf diese Gruppe beschränkt. Für Standorte mit einer hohen Aktivität der Rauhhautfledermaus, *P. nathusii*, könnte wegen des abweichenden Aktivitätsmusters dieser Art (siehe dazu BEHR et al. 2011a) eine entsprechende Spezifizierung sinnvoll sein. Die Größe des uns für diese Art vorliegenden Datensatzes lässt dies jedoch, wie schon in RENEBAT I, nicht zu (siehe dazu KORNER-NIEVERGELT et al. 2010).

5.8 Experimenteller Einsatz fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen

Seit der Veröffentlichung des Berichts zu RENEBAT I im Jahr 2011 wurden mehrere Arbeiten zum Einsatz von Betriebsalgorithmen, die das Schlagrisiko von Fledermäusen an WEA mindern sollen, publiziert. Eine von BEUCHER et al. (2011) durchgeführte Arbeit betrifft einen südfranzösischen Standort (dt. Zusammenfassung in KELM et al. 2011). Alle weiteren Arbeiten betreffen Windparks in den USA (GOOD et al. 2011; ARNETT et al. 2013). Dies ist insofern erstaunlich, als in Mitteleuropa an zahlreichen Standorten WEA mit Betriebseinschränkungen beauftragt wurden und werden. Insofern der Effekt dieser Maßnahme überhaupt kontrolliert wurde, sind die entsprechenden Ergebnisse nicht öffentlich zugänglich und können damit auch nicht zur Verbesserung von Vermeidungsmaßnahmen beitragen.

So überwiegen bei den Publikationen zum Effekt fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen (BEHR et al. 2006c; ARNETT et al. 2009a; BAERWALD et al. 2009; BEUCHER et al. 2011; GOOD et al. 2011; ARNETT et al. 2013) nach wie vor Arbeiten aus Nordamerika, obwohl diese Methode dort wesentlich seltener in der Praxis angewendet wird. Alle genannten Arbeiten verwendeten einfache Betriebsalgorithmen, deren Vorhersage der für Fledermäuse problematischen Zeiträume nur auf der Windgeschwindigkeit beruhte. Die Anlagen wurden entsprechend unterhalb mehr oder weniger willkürlich festgelegter Schwellenwerte im Bereich von 5 bis $6,5 \text{ ms}^{-1}$ abgeschaltet beziehungsweise in der Anlagensteuerung die Anlaufwindgeschwindigkeit entsprechend angehoben (die normale Anlaufwindgeschwindigkeit der Anlagen lag bei etwa $3 \text{ bis } 4 \text{ ms}^{-1}$).

Wir selbst konnten in Europa erstmals die Wirksamkeit fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen an einem Mittelgebirgs-Standort in Deutschland nachweisen (BEHR et al. 2005).

In einer weiteren europäischen Studie im Windpark Castelnau-Pégayrols in Südfrankreich (BEUCHER et al. 2011; dt. Zusammenfassung in KELM et al. 2011) wurde die Zahl gefundener Schlagopfer zwischen den Jahren 2008 und 2009 im Normalbetrieb einerseits und den Folgejahren 2010 und 2011 mit einer pauschalen *cut-in* Windgeschwindigkeit von $6,5 \text{ ms}^{-1}$ (2010) bzw. $5,5 \text{ ms}^{-1}$ (2011) andererseits verglichen. Die Zahl der Nachsuchtage war mit in der Regel zwei Nachsuchen pro Woche zwischen Mai und September bzw. Oktober (35 Nachsuchen im Jahr 2009 bzw. 40 im Jahr 2010) für die Untersuchungsjahre in etwa vergleichbar. Die Zahl gefundener Schlagopfer reduzierte sich von 73 gefundenen Schlagopfern im Jahr 2008 und 98 gefundenen toten Tieren im Jahr 2009 auf 2 im Jahr 2010 und 3 im Jahr 2011 (alle Werte sind nicht korrigierte Fundzahlen). Hierbei ist zu beachten, dass die Zeiträume mit fledermausfreundlichem Betrieb und Normalbetrieb

in unterschiedlichen Jahren lagen, was die Vergleichbarkeit einschränkt. Darüber hinaus wurde als weitere Maßnahme zur Reduktion des Schlagrisikos in den Jahren 2010 und 2011 die durch Bewegungsmelder aktivierbare Beleuchtung des Turmfußes der WEA abgeschaltet, um das Anlocken von Fledermäusen durch im Lichtkegel fliegende Insekten zu verhindern. Eine Trennung der Effekte der Anhebung der Anlaufwindgeschwindigkeit und der Abschaltung der Beleuchtung war nicht möglich. Die Kosten für die Abschaltungen wurden in dieser Studie nicht nachvollzogen, vom Betreiber aber auf 1 bis 2 % des Jahresertrags geschätzt.

Das Potenzial fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen zeigen auch diverse Studien aus Nordamerika (ARNETT et al. 2009a; BAERWALD et al. 2009; GOOD et al. 2011; Übersicht in ARNETT et al. 2013).

Die meisten der nordamerikanischen Studien (Übersicht in ARNETT et al. 2013) konnten eine Reduktion des Schlagrisikos um mindestens 50 % nachweisen, wenn die Anlaufwindgeschwindigkeit um mindestens $1,5 \text{ ms}^{-1}$ über die vom Hersteller angegebene angehoben wurde. In zwei Studien wurden ebenso positive Effekte nachgewiesen, wenn die Anlagen nicht abgestellt, sondern nur auf eine langsamere Drehzahl gedrosselt wurden. Einige Studien konnten keine positiven Effekte in vergleichbarer Höhe nachweisen. Dies war entweder dadurch zu erklären, dass die Verteilung der Windgeschwindigkeiten im Zeitraum des Experiments zu nur wenigen Abschaltungen durch den Algorithmus führte (die Windgeschwindigkeiten lagen entweder ohnehin unter der normalen Anlaufwindgeschwindigkeit der Anlage oder über der durch den Algorithmus definierten Anlaufwindgeschwindigkeit), oder in einem Fall (hier reduzierte sich das Schlagrisiko nur um etwa 20 bis 38 %) dadurch, dass überwiegend die Mexikanische Bulldogfledermaus, *Tadarida brasiliensis*, betroffen war – eine Art, die auch bei hohen Windgeschwindigkeiten im freien Luftraum aktiv ist (alle Zitate nach ARNETT et al. 2013).

Die meisten der von ARNETT et al. (2013) geprüften Studien machen keine Angaben zu Ertragsverlusten durch die Anhebung der Anlaufwindgeschwindigkeit. Die Studien, die solche Angaben enthalten, schätzen den Ertragsverlust auf weniger als 1 % des Jahresertrags, wenn die WEA während der Hauptgefährdungszeiten im Jahr mit den getesteten Betriebseinschränkungen laufen würden. Darüber hinaus machten die Betreiber der WEA Personalkosten für die Implementierung und Überprüfung der Algorithmen geltend.

Drei der von ARNETT et al. (2013) zusammengefassten Studien stellen wir im Folgenden im Detail vor:

Von Ende Juli bis Anfang Oktober 2008 wurde in Pennsylvania (USA) in einem Windpark (Casselman) ein Experiment zur Effektivität fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen durchgeführt (ARNETT et al. 2009a). Verglichen wurde die Zahl getöteter Fledermäuse an WEA, die normal betrieben wurden, mit WEA, die mit einem auf der Windgeschwindigkeit basierenden Betriebsalgorithmus betrieben wurden (insgesamt 12 WEA im Experiment und 10 benachbarte Anlagen im Normalbetrieb). Für den angepassten Betriebsalgorithmus wurden zwei verschiedene Anlaufwindgeschwindigkeiten getestet: 5 ms^{-1} und $6,5 \text{ ms}^{-1}$. Um die Effektivität der Algorithmen zu prüfen, wurden an allen Anlagen tägliche Nachsuchen nach verunglückten Fledermäusen durchgeführt.

Die Zahl verunglückter Fledermäuse unterschied sich signifikant zwischen den drei Betriebsarten und war bei Anlagen im Normalbetrieb im Schnitt 5,4-mal so hoch wie bei Anlagen mit fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen (5 ms^{-1} und $6,5 \text{ ms}^{-1}$ Anlaufwindgeschwindigkeit).

Die Kosten für den fledermausfreundlichen Betrieb für den 76-tägigen Zeitraum des Experiments (0,5 h vor Sonnenuntergang bis 0,5 h nach Sonnenaufgang) beliefen sich durchschnittlich auf 0,3 % (5 ms^{-1} Anlaufwindgeschwindigkeit) bzw. 1 % ($6,5 \text{ ms}^{-1}$) des Jahresertrags. Die Angaben zu den Kosten in Nordamerika sind auf europäische Verhältnisse kaum übertragbar, da sich die Anlagentechnik und die Vergütungsmodelle stark unterscheiden.

Einen ähnlichen Ansatz verfolgten GOOD et al. (2011). Sie konnten eine Reduktion der Schlagopferzahl um etwa 50 % nachweisen, wenn die Anlaufwindgeschwindigkeit von $3,5$ auf 5 ms^{-1} angehoben wurde, und um 78 % bei einer Anlaufwindgeschwindigkeit von $6,5 \text{ ms}^{-1}$.

In Alberta, Canada, wurde an 21 Anlagen mit hohen Schlagopferzahlen (korrigierte Schlagopferzahl 21,7 bzw. 26,3 Tiere pro Anlage und Jahr in zwei aufeinander folgenden Erfassungsjahren) die Wirksamkeit einer höheren Anlaufwindgeschwindigkeit ($5,5 \text{ ms}^{-1}$) und eines veränderten Anstellwinkels der Rotorblätter (was ebenfalls dazu führte, dass die Rotoren bei niedrigen Windgeschwindigkeiten still standen) geprüft. Die Zahl getöteter Fledermäuse konnte durch diese Maßnahmen um 60,0 bzw. 57,5 % reduziert werden (BAERWALD et al. 2009).

Bei den an diesem Standort verunglückten Tieren handelte es sich um durchziehende Individuen fernziehender Arten vorwiegend des freien Luftraums. Es ist wahrscheinlich, dass diese Arten auf dem Zug weniger empfindlich auf höhere Windgeschwindigkeiten reagieren, als dies typischerweise für die in Mitteleuropa vorkommenden Arten der Fall ist.

Die Anlagensteuerung konnte bei diesem Experiment nicht für Tageszeiten differenziert werden. D. h. die erhöhte Anlaufwindgeschwindigkeit galt während des gesamten Tages und der Nacht. Unter diesen ökonomisch ungünstigen Voraussetzungen wurde die Ertragseinbuße während der einmonatigen Dauer des Experiments für die 15 Anlagen mit erhöhter Anlaufwindgeschwindigkeit insgesamt auf 3.000 bis 4.000 kanadische Dollar geschätzt.

In allen hier im Detail genannten Untersuchungen konnte bereits durch relativ unspezifische Betriebsalgorithmen (basierend nur auf der Windgeschwindigkeit) die Zahl getöteter Fledermäuse um mehr als 50 % gesenkt werden. ARNETT et al. (2013) fordern weitere Untersuchungen, um Ertragsverluste durch Betriebsalgorithmen zu minimieren – bei einer möglichst großen Reduktion des Schlagrisikos für Fledermäuse an WEA. Die Autoren schlagen daher vor, neben der Windgeschwindigkeit noch weitere Vorhersageparameter wie Temperatur, Nachtzeit und Fledermausaktivität als Bedingungen der Betriebsalgorithmen mit zu verwenden. Diesen Ansatz haben wir bereits bei der Entwicklung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen in RENEBAAT I und beim Test dieser Algorithmen im hier beschriebenen RENEBAAT II erfolgreich verfolgt.

5.9 Effizienz fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen

Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen ziehen Ertragseinbußen für den Betreiber der WEA nach sich. Von Vorteil ist, dass die Sommermonate mit einem Schwerpunkt der Fledermausaktivität häufig die windärmsten des Jahres sind und dass in diesen Monaten die Nächte relativ kurz und die Nachtstunden ertragsärmer als die Tagesstunden sind (HENSEN 2004; BAERWALD et al. 2009). Ein positiver Faktor ist weiterhin, dass der Ertrag einer WEA näherungsweise mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit steigt. Zeiten mit niedrigen Windgeschwindigkeiten und damit höherer Fledermausaktivität haben dementsprechend einen verhältnismäßig geringen Anteil am Gesamtertrag.

Die in dieser Arbeit entwickelten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen sind durch die Verwendung eines komplexeren Modells der Aktivitätsvorhersage effizienter als die häufig verwendete pauschale Festsetzung einer Windgeschwindigkeit, unterhalb derer die Rotoren still gestellt werden. Zusätzlich zur Windgeschwindigkeit verwendeten wir die Uhrzeit während der Nacht, den Monat und das akustische Aktivitätsniveau einer WEA zur Vorhersage der Fledermausaktivität. Dies erhöhte die Effizienz der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen im Vergleich zur bislang gängigen Vorgehensweise (siehe dazu BEHR et al. 2011b).

Durch die Berücksichtigung des spezifischen Aktivitätsniveaus jeder WEA kann der Umfang der Abschaltzeiten dem tatsächlichen Gefährdungspotential angepasst werden. Für einige Anlagen werden dadurch die Abschaltzeiten wesentlich kostengünstiger oder entfallen sogar ganz – je nach gewähltem Schwellenwert zu Tode kommender Fledermäuse. Dem stehen an besonders problematischen Anlagen mit entsprechend hohem Handlungsbedarf längere Abschaltzeiten und damit größere Kosten gegenüber.

Das von uns erarbeitete Verfahren erstellt also anlagenspezifische Betriebsalgorithmen. Damit kann der spezifischen Fledermausaktivität an einer Anlage Rechnung getragen werden. Unsere Daten zeigen, dass sich Anlagen stark in der Fledermausaktivität unterscheiden. Unser Vorgehen verhindert also auf der einen Seite unnötige Abschaltverluste, während auf der anderen Seite der positive Effekt für Fledermäuse maximiert wird.

Mit Hilfe des hier dargestellten Ansatzes ist es möglich, auch an umstrittenen Standorten sowohl den Belangen des Fledermausschutzes als auch dem Ziel des Ausbaus der Windenergie und damit der Förderung regenerativer Energiequellen Rechnung zu tragen. Die an der Eingriffsplanung beteiligten Personen werden in die Lage versetzt, das Kollisionsrisiko für Fledermäuse und die Kosten für dessen Reduzierung quantitativ abzuschätzen (BEHR et al. 2011b).

Die berechnete Ertragsausfall durch einen fledermausfreundlichen Betrieb im Zeitraum vom 01.04. bis 31.10. (unter der im Experiment gesetzten Voraussetzung von zwei Schlagopfern pro WEA und Jahr und einer Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$) lag für die 16 im Experiment beprobten WEA im Mittel bei 2,1 % (95 % Konfidenzintervall 1,7 % bis 2,4 %, minimal 1,0 % und maximal 3,4 %) des Jahresertrags der WEA im gesamten Jahr 2012 (im Mittel 2461 MWh Jahresertrag)³.

Da für das Experiment im Jahr 2012 WEA mit hohem Schlagrisiko ausgewählt wurden, lagen die Werte für den zufallsausgewählten Gesamtdatensatz von 70 WEA im Jahr 2008 im Mittel niedriger bei 1,8 %. Wurde keine Hysterese verwendet, reduzierte sich dieser Wert auf im Mittel 1,4 % (95 % Konfidenzintervall 1,0 % bis 1,8 %, minimal 0,1 % und maximal 4,2 %).

Es ist also einerseits zu erkennen, dass sich die Kosten für verschiedene WEA stark unterscheiden. Gründe für diese Unterschiede sind die spezifische Windgeschwindigkeitsverteilung und das Niveau der Fledermausaktivität an der jeweiligen WEA. Andererseits ist zu erkennen, dass die von uns zur Verringerung der Zahl der Ab- und Einschaltvorgänge der WEA verwendete Hysterese-Funktion einen starken Effekt auf die resultierenden Kosten hatte – die Kosten lagen mit Hysterese deutlich höher. Hier sind

³ Im Endbericht des Vorgängerprojektes wurde der Ertragsausfall angegeben als Prozentsatz eines für Binnenlandstandorte deutlich zu hoch angenommenen Jahresertrags von 4500 MWh (BEHR et al. 2011b). Der reale Jahresertrag war nicht bekannt und die relativen Kosten wurden daher unterschätzt.

technische Lösungen, die einen Betrieb der WEA ohne oder mit nur geringer Hysterese ermöglichen, sicherlich wünschenswert.

Zusätzlich zu den dargestellten Ertragsausfällen durch die im fledermausfreundlichen Betrieb definierten Abschaltzeiten entstehen Kosten für die Erstellung der Betriebsalgorithmen. Diese fallen an für die Installation und Wartung der akustischen Erfassungsgeräte in der Gondel der WEA (in der Regel in Begleitung von Service-Mitarbeitern des Herstellers oder Betreibers der WEA durchzuführen) und durch die Abschaltung der WEA während der genannten Arbeiten. Im Rahmen eines Fachgutachtens sind die erfassten akustischen Daten auszuwerten und so aufzubereiten, dass fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen berechnet werden können. Die Höhe der Kosten für die Erfassung in der Gondel und die Erstellung des Fachgutachtens unterscheidet sich je nach Gutachter, Standort und Anlagentyp.

5.10 Schlussfolgerungen

Es wurde gezeigt, dass die im vorangegangenen Forschungsvorhaben RENEBAT I entwickelten statistischen Modelle die Schlagopferzahlen an den untersuchten Anlagen mit hinreichender Genauigkeit vorhersagen können. Darüber hinaus konnten wir zeigen, dass der von BEHR et al. (2011b) vorgestellte fledermausfreundliche Betriebsalgorithmus an den untersuchten Anlagen dazu geeignet ist, das Schlagrisiko mit hoher Präzision auf einen festgelegten Wert des verbleibenden Kollisionsrisikos zu reduzieren.

6 Literatur

- ALBRECHT, K. UND C. GRÜNFELDER (2011): Fledermäuse für die Standortplanung von Windenergieanlagen erfassen – Erhebungen in kollisionsrelevanten Höhen mit einem Heliumballon. NuL 43: 5-14.
- ARNETT, E. B. (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, A final report prepared for the bats and wind energy cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- ARNETT, E. B., W. K. BROWN, W. P. ERICKSON, J. K. FIEDLER, B. L. HAMILTON, T. H. HENRY, A. JAIN, G. D. JOHNSON, J. KERNS, R. R. KOFORD, C. P. NICHOLSON, T. J. O'CONNELL, M. D. PIORKOWSKI UND R. D. TANKERSLEY (2008): Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. J Wildl Manage 72: 61-78.
- ARNETT, E. B., J. P. HAYES UND M. P. HUSO (2006): Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in south-central Pennsylvania. An annual report

- submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- ARNETT, E. B., M. P. HUSO, D. S. REYNOLDS UND M. SCHIRMACHER (2007): Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in northwest Massachusetts. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- ARNETT, E. B., G. D. JOHNSON, W. P. ERICKSON UND C. D. HEIN (2013): A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- ARNETT, E. B., M. SCHIRMACHER, M. M. P. HUSO UND J. P. HAYES (2009a): Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- ARNETT, E. B., M. R. SCHIRMACHER, M. M. P. HUSO UND J. P. HAYES (2009b): Patterns of bat fatality at the Casselman Wind Project in south-central Pennsylvania. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative and the Pennsylvania Game Commission. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- BACH, L. (2001): Fledermäuse und Windenergienutzung – reale Probleme oder Einbildung? *Vogelkdl Ber Niedersachs* 33: 119-124.
- BAERWALD, E. F., J. EDWORTHY, M. HOLDER UND R. M. R. BARCLAY (2009): A large-scale mitigation experiment to reduce bat fatalities at wind energy facilities. *J Wildl Manage* 73: 1077-1081.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, K. HOCHRADEL, F. KORNER-NIEVERGELT, J. MAGES, A. NAUCKE, M. NAGY, I. NIERMANN, R. SIMON UND N. WEBER (2015a): Akustische Erfassung der Fledermausaktivität. - In: *Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II)*. O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: *Umwelt und Raum* Bd. 7, 101-164.
- BEHR, O., R. SIMON, M. NAGY (2015b): Leitfaden zur Durchführung einer akustischen Aktivitätserfassung an Windenergieanlagen und zur Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen. - In: *Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II)*. O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: *Umwelt und Raum* Bd. 7, 317-368.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011a): Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen*. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: *Umwelt und Raum* Bd. 4, 177-286.

- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011b): Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 354-383.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011c): Vorhersage der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 287-322.
- BEHR, O., D. EDER, U. MARCKMANN, H. METTE-CHRIST, N. REISINGER, V. RUNKEL UND O. VON HELVERSEN (2007): Akustisches Monitoring im Rotorbereich von Windenergieanlagen und methodische Probleme beim Nachweis von Fledermaus-Schlagopfern – Ergebnisse aus Untersuchungen im mittleren und südlichen Schwarzwald. *Nyctalus* 12: 115-127.
- BEHR, O., D. EDER UND O. VON HELVERSEN (2006a): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Kempfenbühl-Schlossbühl“ bei Lahr im Schwarzwald. Erlangen, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der regiowind GmbH, Freiburg.
- BEHR, O., D. GLAUBITZ, U. MARCKMANN, H. METTE-CHRIST, K. MOCH, N. REISINGER UND V. RUNKEL (2006b): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Ittenschwander Horn“ bei Fröhd im Schwarzwald im Jahr 2005 Erlangen, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der Windpark Fröhd GmbH & Co. KG.
- BEHR, O. UND O. VON HELVERSEN (2005): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Roßkopf“ (Freiburg i. Br.). Erlangen, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der regiowind GmbH, Freiburg.
- BEHR, O. UND O. VON HELVERSEN (2006c): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen - Wirkungskontrolle zum Windpark „Roßkopf“ (Freiburg i. Br.) im Jahr 2005. Erlangen, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag der regiowind GmbH, Freiburg.
- BERNARDINO, J., R. BISPO, H. COSTA UND M. MASCARENHAS (2013): Estimating bird and bat fatality at wind farms: a practical overview of estimators, their assumptions and limitations. *New Zealand Journal of Zoology* 40: 63-74.

- BEUCHER, Y., V. KELM, F. ALBESPY, M. GEYELIN, L. NAZON UND D. PICK (2011): Parc éolien de Castelnau-Pégayrols (12). Suivi d'impacts post-implantation sur les chauves souris. Bilan de campagne des 2ème et 3ème année d'exploitation (2009-2010).
- BEUCHER, Y., V. KELM, M. GEYELIN UND D. PICK (2010): Windpark Castelnau Pégayrols (Dep.12), Monitoring von Fledermäusen, Fazit der Untersuchungen im zweiten Betriebsjahr (2009), Zusammenfassung des Berichts März 2010.
- BRINKMANN, R., O. BEHR, F. KORNER-NIEVERGELT, J. MAGES, I. NIERMANN UND M. REICH (2011a): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Göttingen, Cuvillier Verlag.
- BRINKMANN, R., O. BEHR, B. D. WOLF, J. MAGES, I. NIERMANN UND M. REICH (2011b): Anlass, Aufgabenstellung und Studiendesign. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 16-39.
- BROOKS, S. P. (1998): Markov chain Monte Carlo method and its application. *Journal of the Royal Statistical Society. Series D (The statistician)* 47: 69-100.
- COLLINS, J. UND G. JONES (2009): Differences in bat activity in relation to bat detector height: implications for bat surveys at proposed windfarm sites. *Acta Chiropterologica* 11: 343-350.
- CRYAN, P. M. (2008): Mating behavior as a possible cause of bat fatalities at wind turbines. *J Wildl Manage* 72: 845-849.
- CRYAN, P. M. UND R. M. R. BARCLAY (2009): Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. *J Mamm* 90: 1330-1340.
- DULAC, P. (2010): Bilan de 3,5 années de suivi de la mortalité des chiroptères sous les éoliennes de Bouin (Vendée). *Symbioses* 25: 32-36.
- GELMAN, A., X.-L. MENG UND H. STERN (1996): Posterior predictive assessment of model fitness via realized discrepancies. *Statistica sinica* 6: 733-760.
- GOOD, R., W. ERICKSON, A. MERRILL, S. SIMON, K. MURRAY, K. BAY UND C. FRITCHMAN (2011): Bat monitoring studies at the Fowler Ridge Wind Energy Facility Benton County, Indiana. A report prepared for Fowler Ridge Wind Farm, Western Eco Systems Technology, Inc., Cheyenne, Wyoming.
- GRUNWALD, T., F. SCHÄFER, F. ADORF UND B. VON LAAR (2007): Neue bioakustische Methoden zur Erfassung der Höhenaktivität von Fledermäusen an geplanten und bestehenden WEA-Standorten. *Nyctalus* 12: 131-140.
- HEIN, C. D., J. GRUVER UND E. B. ARNETT (2013): Relating pre-construction bat activity and post-construction bat fatality to predict risk at wind energy fatalities: a synthesis. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory, Bat Conservation International, Austin, TX, USA.

- HENSEN, F. (2004): Gedanken und Arbeitshypothesen zur Fledermausverträglichkeit von Windenergieanlagen. *Nyctalus* 9: 427-435.
- HUSO, M. M. P. (2010): An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics* DOI: 10.1002/env.1052.
- KELM, V. UND Y. BEUCHER (2011): Parc Eolien Site de Castelnau-Pégayrols, Département Aveyron – deutsche Zusammenfassung des französischen Berichtes der Fledermausstudie, KJM Conseil, Berlin, Germany.
- KORNER-NIEVERGELT, F., O. BEHR, I. NIERMANN UND R. BRINKMANN (2010): Schätzung der Zahl verunglückter Fledermäuse an Windenergieanlagen mittels akustischer Aktivitätsmessungen und modifizierter N-mixture Modelle. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen – Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Förderkennzeichen 0327638A+B). R. Brinkmann, I. Niermann und O. Behr.
- KORNER-NIEVERGELT, F., O. BEHR, I. NIERMANN UND R. BRINKMANN (2011a): Schätzung der Zahl verunglückter Fledermäuse an Windenergieanlagen mittels akustischer Aktivitätsmessungen und modifizierter N-mixture Modelle. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 323-353.
- KORNER-NIEVERGELT, F., O. BEHR, R. BRINKMANN, M. A. ETTERTSON, M. M. P. HUSO, D. DALTHORP, P. KORNER-NIEVERGELT, T. ROTH UND I. NIERMANN (2015): Mortality estimation from carcass searches using the R-package carcass – a tutorial. *Wildl Biol* 21: 30-43.
- KORNER-NIEVERGELT, F., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND O. BEHR (2013). Estimating bat and bird mortality occurring at wind energy turbines from covariates and carcass searches using mixture models. *PLoS ONE* 8: e67997.
- KORNER-NIEVERGELT, F., P. KORNER-NIEVERGELT, O. BEHR, I. NIERMANN, R. BRINKMANN UND B. HELLRIEGEL (2011b): A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. *Wildl Biol* 17: 350-363.
- KUNZ, T. H., E. B. ARNETT, B. M. COOPER, W. P. ERICKSON, R. P. LARKIN, T. MABEE, M. L. MORRISON, M. D. STRICKLAND UND J. M. SZEWCZAK (2007): Assessing impacts of wind-energy development on nocturnally active birds and bats: a guidance document. *J Wildl Manage* 71: 2449-2486.
- LUNN, D., D. SPIEGELHALTER, A. THOMAS UND N. BEST (2009): The BUGS project: Evolution, critique and future directions. *Statistics in medicine* 28: 3049.
- MAYER, K., J. HURST UND R. BRINKMANN (2015): Planungsvorgaben bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und Betrieb von Windenergieanlagen - eine Recherche bei Behörden und nicht-staatlichen Organisationen. - In:

- Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 271-315.
- NIERMANN, I., R. BRINKMANN, F. KORNER-NIEVERGELT UND O. BEHR (2011a): Systematische Schlagopfersuche – Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 40-115.
- NIERMANN, I., F. KORNER-NIEVERGELT, R. BRINKMANN UND O. BEHR (2015): Kollisionsopfersuchen als Grundlage zur Überprüfung der Wirksamkeit von Abschaltalgorithmen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 165-204.
- NIERMANN, I., S. VON VELTEN, F. KORNER-NIEVERGELT, R. BRINKMANN UND O. BEHR (2011b): Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 384-405.
- RAHMEL, U., L. BACH, C. BRINKMANN, C. DENSE, H. LIMMENS, G. MÄSCHER, M. REICHENBACH UND A. ROSCHEN (1999): Windkraftplanung und Fledermäuse. Konfliktfelder und Hinweise zur Erfassungsmethodik. Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz 4: 155-161.
- SATTLER, T. UND F. BONTADINA (2005): Grundlagen zur ökologischen Bewertung von zwei Windkraftgebieten in Frankreich aufgrund der Diversität und Aktivität von Fledermäusen. Unveröffentlichter Kurzbericht. SWILD, Zürich im Auftrag von Megawatt Eole, Stuttgart.
- SCHUSTER, E., L. BULLING UND J. KÖPPEL (2015): Consolidating the state of knowledge: a synoptical review of wind energy's wildlife effects. Environmental management 56: 300-331.
- STURTZ, S., U. LIGGES UND A. E. GELMAN (2005): R2WinBUGS: a package for running WinBUGS from R. Journal of Statistical software 12: 1-16.

7 Glossar

7.1 Betrieb von Windenergieanlagen

Hinter den fettgedruckten deutschen Begriffen sind in Klammern die (in einigen Fällen geläufigeren) entsprechenden englischen Begriffe angegeben.

Abschaltung (*curtailment*): Die Verringerung der Energieeinspeisung in das Netz in Zeiten, in denen normalerweise Energie ins Netz gespeist werden würde. Technisch geschieht dies normalerweise durch ein Verdrehen der Rotorblätter (*pitch*), wodurch sich die Geschwindigkeit des Rotors stark verringert.

Anlaufwindgeschwindigkeit (*cut-in speed*): Die Windgeschwindigkeit, ab der der Generator mit dem Stromnetz verbunden und Energie eingespeist wird. Diese Windgeschwindigkeit liegt bei aktuellen Anlagen etwa bei 3 bis 4 ms^{-1} . Das Verhalten verschiedener Anlagentypen unterhalb dieser Windgeschwindigkeit ist unterschiedlich. In der Regel drehen die Rotoren bereits deutlich unterhalb der Anlaufwindgeschwindigkeit so schnell, dass eine Kollisionsgefahr für Fledermäuse besteht – es wird jedoch noch kein Strom in das Netz eingespeist.

Fahnenstellung (*feathering / feathered*): Die Rotationsgeschwindigkeit der Anlage wird bei aktuellen Anlagen in der Regel reduziert, indem die einzelnen Rotorblätter parallel zum Wind – „in den Wind“ – gedreht werden (*pitch*). Diesen Vorgang bezeichnen wir hier auch als „Abschalten“, da dies der entscheidende Vorgang ist, um das Kollisionsrisiko für Fledermäuse zu senken. Die Anlage wird jedoch natürlich nicht im engeren Sinne „abgeschaltet“ und der Rotor kommt in der Regel auch nicht vollständig zum Stillstand (siehe „Trudeln“).

Trudeln (*free-wheeling*): Werden die Rotorblätter in Fahnenstellung gebracht, verringert sich die Geschwindigkeit des Rotors stark. In der Regel „trudelt“ der Rotor dann jedoch noch mit einer geringen Geschwindigkeit (je nach Windgeschwindigkeit z. B. 0 bis 3 ms^{-1}) Diese Geschwindigkeit stellt nach bisherigen Erkenntnissen für Fledermäuse nur eine geringe Gefahr dar. Im Gegensatz zum Trudeln kann der Rotor auch arretiert werden und steht dann vollständig still. Dies ist in der Regel vorgeschrieben, wenn sich Personen in der Gondel der WEA befinden.

Anhebung der Anlaufwindgeschwindigkeit (*increasing cut-in speed*): Hierzu wird die Anlagensteuerung (SCADA-System – Supervisory Control and Data Acquisitions) auf eine höhere Anlaufwindgeschwindigkeit als die normalerweise vom Hersteller verwendete programmiert. Unterhalb dieser Windgeschwindigkeit, die

normalerweise über 10-Minuten-Intervalle gemittelt wird, bleiben die Rotorblätter in Fahnenstellung.

Hysterese (*hysteresis*): Die Anlaufwindgeschwindigkeiten der Betriebsalgorithmen wurden von uns mit einer Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$ definiert, um die Zahl der Aus- und Einschaltvorgänge zu reduzieren, die durch den fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus vorgegeben werden. Dies bedeutet, dass zum Beispiel bei einer definierten Anlaufwindgeschwindigkeit von $3,7 \text{ ms}^{-1}$ eine laufende WEA gestoppt wurde, wenn die Windgeschwindigkeit von höheren Werten auf unter $3,7 \text{ ms}^{-1}$ abnahm. Um eine stehende WEA jedoch wieder einzuschalten, musste die gemessene Windgeschwindigkeit größer oder gleich dem Wert für die definierte Anlaufwindgeschwindigkeit plus den Wert der Hysterese, also größer oder gleich $3,7 \text{ ms}^{-1} + 0,5 \text{ ms}^{-1} = 4,2 \text{ ms}^{-1}$ liegen.

7.2 Statistik

7.2.1 Variablen

Abk. Beschreibung

c count; Anzahl gefundener Schlagopfer

N number of fatalities; Anzahl Schlagopfer

7.2.2 Parameter

Abk. Beschreibung

s tägliche Verbleibrate: Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer während 24 h auf dem Boden verbleibt

f Sucheffizienz: Wahrscheinlichkeit, dass ein sich in der abgesuchten Fläche befindender Schlagopfer während einer Nachsuche gefunden wird

a Anteil der Schlagopfer, die in eine abgesuchte Fläche gefallen sind

p Entdeckungswahrscheinlichkeit: Wahrscheinlichkeit, dass ein Schlagopfer, das während der Untersuchungsperiode gestorben ist, durch eine Suchperson gefunden wird

d Suchintervall: Anzahl Tage zwischen zwei Nachsuchen

n Gesamtzahl von Nachsuchen an einer Windturbine

7.2.3 Indizes

Abk. Beschreibung

i WEA

t Tag

7.2.4 Begriffe

Kredibilitätsintervall: In der Bayesianischen Statistik verwendetes Äquivalent zum Vertrauensintervall. Maß für die stichprobenbedingte Unsicherheit eines Schätzwertes. Das Bayesianische Kredibilitätsintervall (CrI) gibt die Spannweite von Werten an, in welcher wir den wahren Parameterwert mit einer definierten (meist 95 %) Wahrscheinlichkeit erwarten.

A-priori-Verteilung: Wahrscheinlichkeitsverteilung von einem Parameter, die zeigt, was wir über einen Parameter wissen, bevor wir die Daten betrachtet haben. Das Vorwissen.

A-posteriori-Verteilung: Die A-posteriori-Verteilung ist eine mathematische Beschreibung des Wissens über den spezifischen Parameter, nachdem die Daten betrachtet wurden, und unter der Voraussetzung, dass das verwendete Modell der Wahrheit entspricht. Sie wird in der Bayesianischen Statistik verwendet, um Schätzwerte für Parameter und ihre Unsicherheit zu beschreiben.

Vertrauensintervall: Maß für die stichprobenbedingte Unsicherheit eines Schätzwertes. Wenn wir das Experiment viele Male unter den gleichen Bedingungen wiederholen würden, dann erwarten wir 95 % der neuen Schätzwerte innerhalb des 95 %-Vertrauensintervalls.

Vorhersageintervall: Innerhalb des Vorhersageintervalls werden 95 % von neuen Beobachtungen erwartet.

8 Anhang

8.1 Diagnostische Abbildungen für die Beurteilung der Modellgüte

Die aus den Modellen vorhergesagten Schlagopferfundzahlen stimmten relativ gut mit den beobachteten Schlagopferfunden überein (Abbildung 12 bis Abbildung 14). Hohe Schlagopferfundzahlen wurden durch die Modelle leicht unterschätzt.

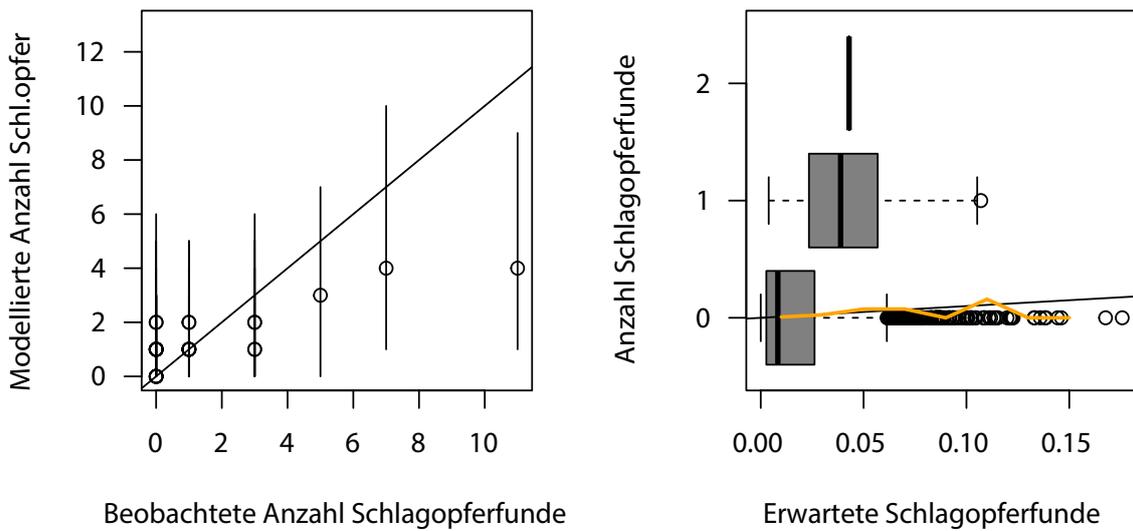


Abbildung 12 Links: Aus dem Modell für die Daten des Batcorders vorhergesagte Schlagopferzahlen der einzelnen WEA (mit 95 % Vorhersageintervall) aufgetragen gegen die effektiv gefundene Schlagopferzahl für den Untersuchungszeitraum. Rechts: Effektiv gefundene Schlagopferzahl pro Nachsuche (nicht korrigiert für Schwundrate und Nachsucheffizienz) versus Modellvorhersage für nicht korrigierte Fundzahlen. In beiden Teilabbildungen gibt die schwarze Linie die perfekte Übereinstimmung ($y = x$) an. Die orange Linie in der rechten Teilabbildung zeigt den Mittelwert der effektiven Schlagopferfunde pro Tag für jeden entsprechenden Vorhersagewert aus dem Modell.

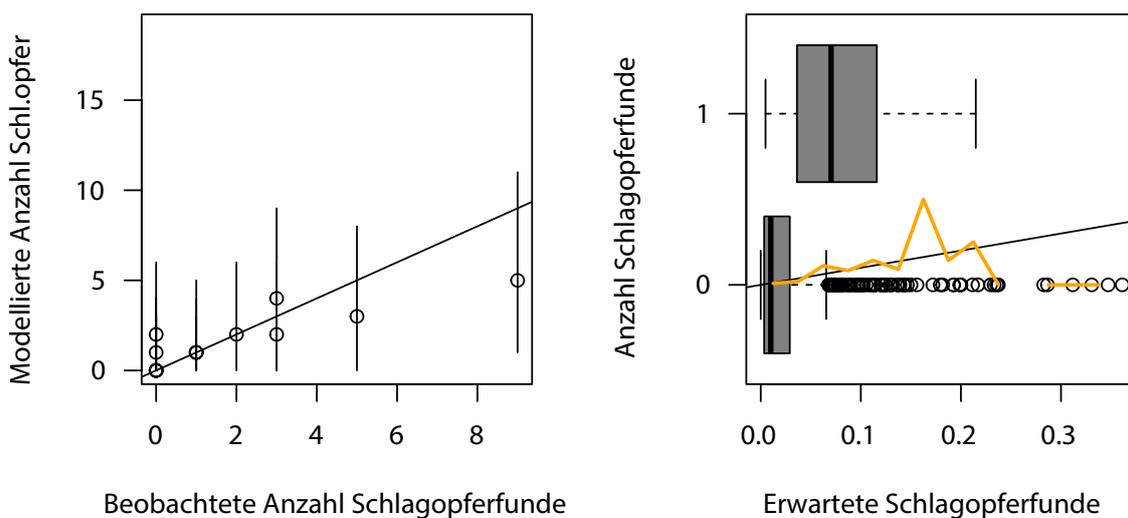


Abbildung 13 Wie Abbildung 12, jedoch mit den Daten des Anabat SD1.

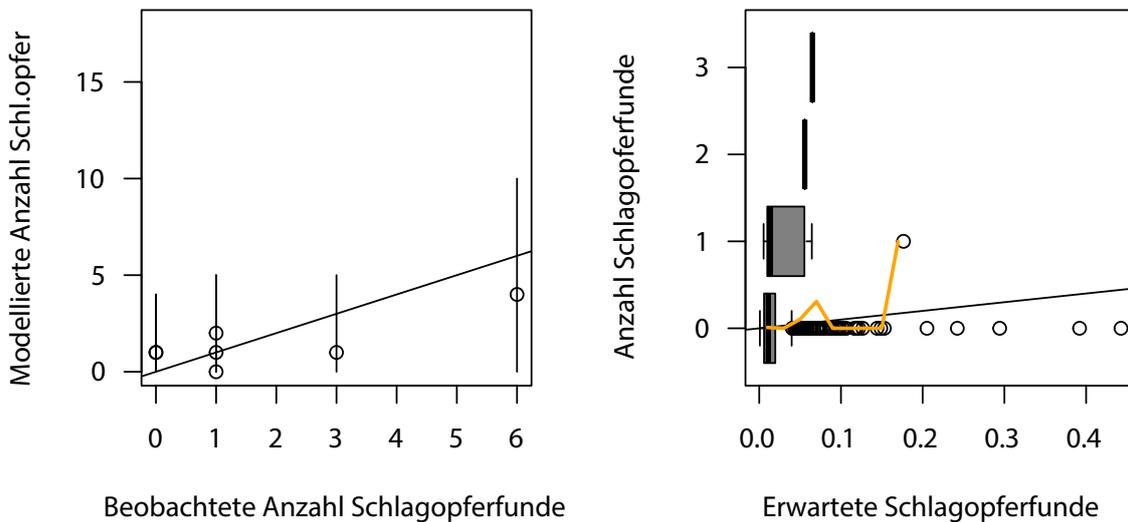


Abbildung 14 Wie Abbildung 12, jedoch mit den Daten des Avisoft-Systems.

Planungsvorgaben bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und Betrieb von Windenergieanlagen – eine Recherche bei Behörden und nicht-staatlichen Organisationen

KRISTINE MAYER^a, JOHANNA HURST^a, IVO NIERMANN^b,
MICHAEL REICH^b, ROBERT BRINKMANN^a

^a Freiburger Institut für angewandte Tierökologie GmbH (FrInaT), Freiburg

^b Leibniz Universität Hannover, Institut für Umweltplanung, Hannover

Inhalt

1	Zusammenfassung	272
2	Anlass.	274
3	Ziele	277
4	Methoden	278
4.1	Recherche	278
4.2	Auswahl der Abhandlungen.	278
4.3	Auswertung der Abhandlungen	279
4.4	Workshop mit Vertreterinnen und Vertretern der Landesbehörden.	281
5	Ergebnisse	282
5.1	Suchergebnisse	282
5.2	Ergebnisse der vergleichenden Auswertung	286
5.3	Workshop mit Vertreterinnen und Vertretern der Landesbehörden.	295

6	Diskussion.	297
6.1	Vergleichende Auswertung	297
6.2	Workshop mit Vertreterinnen und Vertretern der Landesbehörden.	302
6.3	Ausblick	307
7	Literatur.	308

1 Zusammenfassung

Beim Bau und Betrieb von Windenergieanlagen muss der Artenschutz für die einheimischen Fledermausarten, die alle europarechtlich geschützt sind, berücksichtigt werden. Dazu werden einerseits bereits bei der Ausweisung von Vorrangflächen bekannte wichtige Lebensräume von Fledermäusen für Windkraftstandorte ausgeschlossen oder bei der Standortplanung differenzierende Voruntersuchungen durchgeführt. Zum anderen werden zur Verminderung des Kollisionsrisikos fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen zur Reduktion des Kollisionsrisikos eingesetzt und nach Bau von Windenergieanlagen (WEA) durch akustische Erfassungen in Gondelhöhe und Schlagopfersuchen die Kollisionsraten untersucht.

Für den Ausbau der Windenergie existieren in den einzelnen Bundesländern unterschiedliche Vorgaben, wozu auch Regelungen bezüglich des Naturschutzes gehören. Zwar hat sich die Berücksichtigung von Belangen des Fledermaus-Artenschutzes im Rahmen von Standortgenehmigungsverfahren durchgesetzt, jedoch unterscheiden sich die Vorgaben zu Art und Umfang der Berücksichtigung in den Ländern stark.

Ziel dieser Arbeit war es, die bislang veröffentlichten Regelwerke, Empfehlungen und Forderungen zu recherchieren und vergleichend auszuwerten. Die Ergebnisse sollen auch eine Basis für einen Diskussionsprozess zwischen den zuständigen Landesbehörden und nicht-staatlichen Organisationen bilden, um Empfehlungen und Vorgaben kritisch zu hinterfragen und gegebenenfalls anzupassen. Ein weiteres Ziel war, die bestehenden Empfehlungen und Vorgaben daraufhin zu prüfen, wie der im Forschungsvorhaben RENEBAT I entwickelte Lösungsansatz weiterhin implementiert werden kann.

Zunächst wurden die Empfehlungen und Vorgaben von Behörden und behördennahen Institutionen systematisch gesucht und ausgewertet. In einem weiteren Schritt wurden Behörden-Vertreterinnen und Behörden-Vertreter der einzelnen Bundesländer zu den aktuellen Entwicklungen der jeweiligen Empfehlungen und Vorgaben telefonisch befragt. Ergänzend wurden einzelne Beiträge nicht-staatlicher Organisationen einbezogen.

Nach der Auswahl geeigneter Handreichungen wurden 25 Abhandlungen in die abschließende Analyse aufgenommen. Ausgewertet wurde, welche Angaben hinsichtlich der fünf Themenschwerpunkte Standortplanung, Voruntersuchungen, Betriebsalgorithmen, nachgelagerte Untersuchungen und Ausgleichsmaßnahmen bei Schädigung von Lebensstätten gemacht werden.

Die Auswertung der Rechercheergebnisse zeigt, dass in den einzelnen Bundesländern unterschiedliche Regelungen oder Empfehlungen bestehen, ob und inwieweit Fledermäuse beim Ausbau der Windkraft zu berücksichtigen sind. Das Thema Standortplanung bildete den Schwerpunkt der Vorgaben (in 22 der 25 Handreichungen vertreten). In vielen Fällen werden dabei allgemeine Ausschlussgebiete definiert, die nicht speziell auf Fledermäuse ausgerichtet sind. Standortspezifische Voruntersuchungen zu Fledermäusen wurden in 17 der Abhandlungen thematisiert. Aussagen zur Entwicklung und Etablierung von Betriebsalgorithmen machen derzeit 15 der ausgewerteten Handreichungen. In 11 Veröffentlichungen wurden allgemeine Aussagen zu Untersuchungen nach Bau der WEA, zu automatischen akustischen Erfassungen im Gondelbereich oder zu Schlagopfernachsuchen getroffen. Ausgleichsmaßnahmen bei Schädigung von Lebensstätten wurden in 9 Papieren vorgegeben oder empfohlen.

Die Auswertungsergebnisse machen deutlich, dass zunehmend verbindliche Vorgaben bezüglich des Umgangs mit Fledermäusen bei Windkraftplanungen gemacht werden. Vor allem hinsichtlich Detailfragen bestehen jedoch zum Teil große Unterschiede oder es werden keine Aussagen gemacht. Dies betrifft insbesondere auch die Frage, wie die Ergebnisse von Voruntersuchungen und eines Monitorings zu bewerten sind. Die meisten Erlasse fokussieren sich – ihrer Rolle vor allem in der Regionalplanung gemäß – auf das Thema der Ausschlussflächen und Abstandswerte, ohne dass auf Fledermäuse gesondert eingegangen wird. Die Handreichungen, in denen Fledermäuse genauer behandelt werden, geben jeweils sehr konkrete Handlungsanweisungen, die sich an den neuesten Forschungsergebnissen orientieren. Welche Bindungswirkungen solche Handreichungen entfalten, die derzeit empfehlenden Charakter haben, aber zum Teil weitgehend verbindlich zur Umsetzung gelangen, bleibt abzuwarten.

Der im März 2013 mit Ländervertreterinnen und Ländervertretern durchgeführte Workshop zu aktuellen Regelungen zum Fledermausartenschutz in Planungs- und Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen am Institut für Umweltplanung der Leibniz Universität Hannover (IUP) erbrachte einen wertvollen Austausch zu den aktuellen Entwicklungen in den einzelnen Bundesländern. In diesem Workshop wurden erste Ergebnisse der Recherche zu behördlichen Planungsvorgaben und Handreichungen zum Themenbereich Fledermaus-Artenschutz und Windenergie vorgestellt und gemeinsam diskutiert. Insgesamt zeigt sich, dass der Kommunikation der Ergebnisse des

Forschungsvorhabens „Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen“ (RENEBAT I – BRINKMANN et al. 2011a) eine wichtige Rolle zukommt, um die komplexen Zusammenhänge nach außen und in die Praxis zu tragen.

Die Rückmeldungen aus dem Workshop zeigen, dass einerseits die Unterschiedlichkeit in der generellen Vorgehensweise der Bundesländer sowie der naturräumlichen Ausstattung vor allem der windhöffigen Bereiche auch weiterhin divergente Regelungen im Länderkontext sinnvoll machen, andererseits werden akzeptierte einheitliche Regelungen als zeitsparend und verfahrensverkürzend wahrgenommen.

Mit Blick auf den derzeit stattfindenden und noch anstehenden umfangreichen Ausbau der Windenergie wäre es zielführend, die bestehenden Regelungen aufeinander abzustimmen, um Genehmigungsprozesse zu beschleunigen und den Fledermausartenschutz bundesweit auf einem einheitlichen Niveau zu berücksichtigen.

2 Anlass

Die Vermeidung von CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen zur Verminderung der Auswirkungen des Klimawandels und der Atomausstieg erfordern einen grundlegenden Umbau der Energieversorgung in Deutschland. Nach dem Energiekonzept der Bundesregierung soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch von derzeit 17 % bis zum Jahr 2025 auf 35 % ausgebaut werden. Die größten Ausbaupotentiale besitzt dabei die Windenergie: Ihr Anteil an der Stromerzeugung soll bis ins Jahr 2025 auf 25 % angehoben werden. Dazu sollen an bestehenden Anlagenstandorten im sogenannten Repowering-Verfahren leistungsstärkere WEA-Modelle mit höherem Wirkungsgrad errichtet werden, aber auch neue Eignungsgebiete für die Errichtung von neuen Anlagen erschlossen werden (Bundesrepublik Deutschland 2011). Aktuell sieht die Bundesregierung eine Steuerung des Ausbaus der Windenergie bei einer Entwicklung vor allem sehr windreicher Standorte vor. Die für 2014 geplante Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG, mittlerweile in Kraft getreten) soll bei einem angestrebten jährlichen Zubau von Windenergie an Land von bis zu 2.500 MW den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis 2025 auf bis zu 45 % und bis 2035 auf bis zu 60 % steigern (Bundesrepublik Deutschland 2014). Dabei soll die Förderung der Windenergie an Land gekürzt und vor allem der Repowering-Bonus gestrichen werden (ebd.). An windstarken Standorten ist auch im Binnenland weiterhin von einem fortschreitenden Ausbau der Windenergie als Schwerpunkt der Entwicklung erneuerbarer Energien auszugehen.

Der Klimawandel ist eine der wichtigsten Ursachen für den zunehmenden Verlust von Biodiversität. Veränderte Klimabedingungen führen dazu, dass sich Lebensräume dauerhaft verändern und so vor allem spezialisierte Arten keine geeigneten Habitate mehr finden. Der Ausbau erneuerbarer Energien als Maßnahme gegen den Klimawandel leistet somit auch einen wichtigen Beitrag zum Artenschutz. Dabei muss jedoch gewährleistet sein, dass der Ausbau der Windenergie nicht zu Lasten des Artenschutzes vorangetrieben wird.

Konflikte bestehen dabei vor allem hinsichtlich der Gruppe der Fledermäuse. Seit der Jahrtausendwende ist bekannt, dass auch in Deutschland Fledermäuse mit den sich drehenden Rotorblättern von Windenergieanlagen kollidieren und zu Tode kommen (zum Beispiel TRAPP et al. 2002). Dabei sind insbesondere Fledermausarten betroffen, die im freien Luftraum jagen oder Fernwanderungen zwischen ihren Sommer- und Winterhabitaten durchführen. Weiterhin können Fledermaus-Kolonien durch den Bau von WEA auch geschädigt oder in ihrer Konstitution geschwächt werden, wenn dabei Quartiere oder Jagdgebiete zerstört werden. Fledermaus-Individuen können ebenfalls geschädigt werden oder zu Tode kommen, wenn zur Zeit der Rodung von Bäumen Quartiere besetzt sind.

Nach deutschem und europäischem Recht sind alle Fledermausarten streng geschützt. Daher gilt für diese Arten der § 44 Abs. 1 des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG), nach dem es verboten ist, Tiere der streng geschützten Arten zu töten (Tötungsverbot, Satz 1), zu stören (Störungsverbot, Satz 2 – falls lokale Populationen erheblich beeinträchtigt werden) und ihre Lebensstätten zu beeinträchtigen und zu zerstören (Schadungsverbot, Satz 3). Um Verbotstatbestände zu vermeiden, müssen Fledermäuse daher in der Planungsphase und bei dem Betrieb von Windenergieanlagen berücksichtigt werden.

Derzeit werden in Deutschland üblicherweise Fledermausuntersuchungen in der Planungsphase durchgeführt, anhand derer beurteilt werden soll, inwieweit Fledermäuse durch die geplanten Anlagen beeinträchtigt werden. In diesen Voruntersuchungen wird die räumliche und zeitliche Verteilung der verschiedenen Fledermausarten in der Umgebung der geplanten Anlagen untersucht. Wird anhand dieser Untersuchungen ein signifikant erhöhtes Kollisionsrisiko und damit eine Erfüllung des Tötungstatbestandes prognostiziert, so werden die Anlagen unter Umständen mit Auflagen genehmigt. Gewöhnlich beinhalten diese Auflagen Abschaltungen zu Zeiten mit hoher Fledermausaktivität. Zusätzlich wird zum Teil ein nachgelagertes Monitoring mit Messungen der Aktivität in Gondelhöhe und/oder Schlagopfernachsungen an den bestehenden Anlagen gefordert. Werden durch den Bau von Anlagen Quartiere und/oder essenzielle Jagdgebiete beeinträchtigt, müssen vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen vorgesehen werden.

Der Schutz von Fledermäusen spielt aber auch bereits in der Ausweisung von Vorrangflächen eine Rolle. Gebiete, die als besonders wichtig für den Fledermausschutz erachtet werden, können durch eine großräumige Standortplanung als Ausschlussgebiete definiert werden. In einigen Bundesländern existieren zu diesem Zweck auch Abstandsregelungen oder tierökologische Abstandskriterien, die Minimalabstände zum Beispiel von Wochenstuben oder Wäldern vorschreiben (zum Beispiel Brandenburg; MUGV 2012). Dadurch sollen Konflikte mit dem Artenschutz in der Anlagenplanung vorausschauend vermieden und so eine höhere Planungssicherheit gewährleistet werden.

Da die Zuständigkeit im Naturschutz bei den einzelnen Ländern liegt, existieren bundesweit keine einheitlichen Vorgaben mit verbindlichem Charakter. Dies betrifft sowohl Regeln zu Ausschlussgebieten und Abstandsregelungen und die Planung von Vorrangflächen, als auch die Methodik von Voruntersuchungen sowie die Festlegung von Abschaltzeiten und Monitoring-Programmen. Des Weiteren gibt es keine einheitlichen Maßgaben zur Bewertung der Ergebnisse von Fledermaus-Untersuchungen an geplanten und bestehenden Standorten. Dies ist sowohl aus Sicht der Windparkentwickler und -betreiber wie auch der Genehmigungsbehörden unbefriedigend. In diesem Licht fand auch ein Workshop zu einem fachlichen Austausch mit Ländervertreterinnen und Ländervertretern zu aktuellen Regelungen zum Fledermausartenschutz in Planungs- und Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen statt, in dem die Rechercheergebnisse vorgestellt und diskutiert sowie die aktuellen Entwicklungen in den Bundesländern betrachtet wurden.

Es liegt in erster Linie in der Hand von Behörden, allgemeingültige Vorgaben für den Ausbau der Windenergie zu schaffen. Zu diesem Zweck wurden in einigen Bundesländern von behördlicher Seite Erlässe, Richtlinien oder Empfehlungen für den Bau von Windenergieanlagen und den Umgang mit dem Themenfeld Fledermäuse veröffentlicht. Aber auch nicht-staatliche Organisationen werden in diesen Prozess mit eingebunden. So haben Naturschutzverbände oft einen besseren Einblick in die Verbreitung verschiedener Fledermausarten und können dadurch wertvolle Hinweise zum Beispiel für Ausschlussgebiete liefern. In vielen Bundesländern wurden daher auch von Seiten nicht-staatlicher Institutionen und Verbände bereits Planungsempfehlungen zum Beispiel bezüglich Vorrangflächen, aber auch der Art der Voruntersuchungen und geeigneter Abschaltzeiten gegeben, die von Behörden bei der Entscheidungsfindung hinzugezogen werden können. Diese Empfehlungen werden derzeit zwar zum Teil von den sich manifestierenden Länderregelungen abgelöst, das inhaltliche Engagement von Naturschutzverbänden bildet aber nach wie vor ein Korrektiv, unter anderem für die fachliche Qualität der Anwendung dieser Länderregelungen in den einzelnen Plan- und Genehmigungsverfahren. Der Artenschutz in seiner jetzigen Anwendung fußt in wesentlichen

Punkten auf europaweiten Vorgaben, die bundesweit den Rahmen für die Ländergesetze bilden und auch in den Bundesländern möglichst einheitlich angewendet werden sollten.

3 Ziele

In Fortführung des Forschungsvorhabens RENEBA I (BRINKMANN et al. 2011a) ist die Zielrichtung von RENEBA II generell die Validierung der Ergebnisse, die Standardisierung von entwickelten Methoden und die Implementierung der Forschungsergebnisse in die Praxis. Die vergleichende Auswertung der aktuellen Regelungen und Empfehlungen geht somit der Frage nach, wie die Ergebnisse des Forschungsvorhabens RENEBA I seit Beginn der Forschungen im Jahr 2007 bis heute in die Planungs- und Genehmigungs-Praxis transportiert werden. Darüber hinaus wird geprüft, wie der im Forschungsvorhaben RENEBA I entwickelte Lösungsansatz weiterführend implementiert werden kann.

Folgenden Fragestellungen wird in der vorliegenden Untersuchung nachgegangen:

- Welche Vorgaben und Empfehlungen werden auf Landes- und Bundesebene zur Berücksichtigung des Fledermausartenschutzes bei der Planung und dem Betrieb von WEA gegeben?
- Inwieweit sind die im Forschungsvorhaben entwickelten Ansätze in die Planungs- und Genehmigungspraxis implementiert?
- Welche Empfehlungen können für die künftige Planungs- und Genehmigungspraxis gegeben werden?

Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, die aktuellen Empfehlungen und Forderungen bezüglich der derzeitigen Berücksichtigung des Fledermaus-Artenschutzes in der Windenergie-Planung und -Genehmigung zusammenzutragen. Die daraus entstandene vergleichende Übersicht dient als Grundlage für weitere Schritte zur Implementierung der Forschungsergebnisse in die Planungspraxis und für die Diskussion bestehender Regelungen zur Windenergie-Entwicklung vor dem Hintergrund einer möglichst einheitlichen Anwendung und Umsetzung des Fledermaus-Artenschutzes in Planungs- und Genehmigungsverfahren.

4 Methoden

4.1 Recherche

Um Empfehlungen zur Planung und zum Betrieb von WEA unter Berücksichtigung des Fledermausartenschutzes zu finden, wurde in einer ersten Bearbeitungsphase eine Internetrecherche durchgeführt. Ergänzend wurden gezielt Landesbehörden kontaktiert, um Hinweise auf in Entstehung begriffene Empfehlungen, Erlasse und Handreichungen zu erhalten.

4.2 Auswahl der Abhandlungen

Ausgewählt wurden alle Abhandlungen, die auf Bundes- oder Länderebene Relevanz im Planungsprozess entfalten und die der oben genannten Thematik entsprachen. Folgende Voraussetzungen mussten erfüllt sein:

- Empfehlungen zu Planung und/oder Betrieb von WEA,
- Empfehlungen zu mindestens einem der fünf Themengebiete Standortplanung, Voruntersuchungen, Betriebsalgorithmen, nachgelagerte Untersuchungen sowie Ausgleichsmaßnahmen bei Schädigung von Lebensstätten und
- Bezug zum Fledermausschutz oder Vorhandensein genereller verbindlicher Abstandsempfehlungen ohne konkreten Fledermausbezug.

Im Laufe der Bearbeitung zeichnete sich bereits eine hohe Dynamik bei der Entwicklung und Fortschreibung der Planungsvorgaben und Planungsempfehlungen ab. Erste Ergebnisse und der erarbeitete Lösungsansatz des Forschungsvorhabens RENEBAT I wurden frühzeitig in Fachkreisen diskutiert und auf Tagungen vorgestellt und fanden so bereits Eingang in Handreichungen und Planungsempfehlungen. Die aktuellen Entwicklungen erforderten eine mehrmalige Überprüfung und Aktualisierung der Rechercheergebnisse. In mehreren Schritten erfolgte eine neuerliche Auswahl nach Aktualität. Leitfäden und Entwürfe, die durch Neufassungen abgelöst wurden, sind in der aktuellen Übersicht nicht mehr aufgeführt. Handreichungen, die aufgrund einer geänderten Vorgehensweise auf Landesebene für die Planungspraxis nicht mehr aktuell waren, sind ebenfalls entfallen. So wurde beispielsweise ein in die Vorauswertungen dieses Ländervergleichs eingeflossenes Gutachten aus der Region Rheinhessen-Nahe in Rheinland-Pfalz (LUGW 2010), auf Grundlage dessen Aspekte des Fledermausschutzes in die Regionalplanebene eingestellt werden sollten, durch den naturschutzfachlichen Rahmen zum Ausbau der

Windenergienutzung in Rheinland-Pfalz (MULV 2012) abgelöst. Letztmalig wurden die Recherchen der behördlichen Abhandlungen am 20. Januar 2014 aktualisiert.

Neben Bundesländern, für die explizit keine veröffentlichten Länderregelungen vorliegen (zum Beispiel Sachsen-Anhalt), sind im vorliegenden Vergleich auch Bundesländer nicht aufgeführt, die zwar Regelungen haben, deren Aktualität jedoch nicht mehr gegeben ist. Aus dem Freistaat Thüringen wurde zum Beispiel in einem ersten Auswertungsschritt die „Handlungsempfehlung für die Fortschreibung der Regionalpläne zur Ausweisung von Vorranggebieten „Windenergie“, die zugleich die Wirkung von Eignungsgebieten haben“ aus dem Jahr 1995 herangezogen (Freistaat Thüringen 1995). Diese liegt zwar teilweise den derzeit vorhandenen Regionalplänen in Thüringen zu Grunde, ist aber durch aktuelle Entwicklungen überholt. Neue fachliche und planerische Standards sind in Thüringen in der Erarbeitung, liegen derzeit aber noch nicht in veröffentlichter Form vor. Aus diesem Grunde ist auch der Freistaat Thüringen im aktuellen Vergleich der Länderregelungen nicht separat aufgeführt.

Empfehlungen nicht-staatlicher Organisationen wurden vergleichend hinzugezogen, wenn diese wichtige Punkte aufgreifen, die in Länderregelungen derzeit unterrepräsentiert sind oder nicht genannt werden.

4.3 Auswertung der Abhandlungen

Zunächst wurde abgefragt, ob die in der Planungs- und Genehmigungspraxis relevanten Themenbereiche Standortplanung, Voruntersuchungen, Betriebsalgorithmen, nachgelagerte Untersuchungen und Ausgleichsmaßnahmen bei Schädigung von Lebensstätten besprochen werden.

Unter dem Themenbereich Standortplanung wurden neben dem grundsätzlichen Vorgehen vor allem Angaben zu Ausschlussgebieten oder Abstandsregelungen gefasst. Die Angaben zu Voruntersuchungen beziehen sich im Wesentlichen auf vorgeschlagene oder vorgegebene Untersuchungsradien und Untersuchungszeiträume sowie Methoden zur Erfassung von Fledermausvorkommen im Rahmen von Windenergie-Planungen. Bei dem Themenbereich Betriebsalgorithmen liegt der Fokus auf den Voraussetzungen, unter denen Betriebsalgorithmen empfohlen oder vorgeschrieben werden, auf möglichen Grenzwerten für den Betrieb von WEA mit artenschutzrechtlich begründeten Algorithmen, auf der Frage nach benannten Schwellenwerten für die Zahl akzeptierter toter Fledermäuse und auf Angaben zu einer Erfolgskontrolle eingerichteter Algorithmen. Da es ein Anliegen des gesamten Forschungsvorhabens RENEBA II war, zur Implementierung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen in die Praxis beizutragen, lag auf

diesem Punkt ein besonderes Augenmerk. Der Themenbereich Untersuchungen nach Bau der WEA umfasst Angaben zu einem nachgelagerten Monitoring der Fledermausaktivität durch automatische akustische Erfassungen und zur Erhebung der Fledermaus-Mortalität an errichteten Anlagen durch Schlagopfersuchen. Bei den Ausgleichsmaßnahmen für Eingriffe in Lebensstätten geht es darum, ob generell auf das Thema eingegangen wurde und welche Maßnahmen gegebenenfalls empfohlen oder vorgeschrieben werden.

Die Auswertung der Veröffentlichungen erfolgte anhand eines einheitlichen Kriterienkatalogs. Folgende Merkmale wurden dabei erfasst:

Standortplanung:

- Hinweise zum grundsätzlichen Vorgehen
- konkrete Ausschlussgebiete
- Abstandsregelungen

Voruntersuchungen:

- Untersuchungsradius
- Untersuchungszeitraum
- Untersuchungsmethoden (Detektorbegehungen, Quartiersuchen, automatische Erfassungen am Boden und in der Höhe)
- Datenrecherche
- Angaben zur Bewertung der Ergebnisse

Betriebsalgorithmen:

- Voraussetzungen
- Schwellenwerte für die Anzahl toter Fledermäuse
- Empfehlungen zu Abschaltzeiten
- Erfolgskontrolle

Untersuchungen nach Bau der WEA:

- Voraussetzungen
- Methoden (Gondelmonitoring, Schlagopfersuchen)
- Angaben zur Bewertung der Ergebnisse

Ausgleichsmaßnahmen:

- Art der Maßnahmen

Zudem wurden jeweils Hinweise vermerkt, die nicht in die übrigen Kategorien passten, aber dennoch für die unmittelbare Beachtung des Fledermausschutzes oder die generelle Berücksichtigung des Artenschutzes bei Planung und Betrieb von Windenergieanlagen Bedeutung haben.

Anschließend wurde quantitativ ausgewertet, wie viele der Abhandlungen sich mit den verschiedenen Themenschwerpunkten beschäftigen. Die unterschiedlichen Vorgaben, Forderungen, Empfehlungen und Hinweise wurden qualitativ miteinander verglichen.

4.4 Workshop mit Vertreterinnen und Vertretern der Landesbehörden

Am 11. und 12. März 2013 trafen sich am Institut für Umweltplanung der Leibniz Universität Hannover (IUP) Ländervertreterinnen und Ländervertreter zu einem fachlichen Austausch über aktuelle Regelungen zum Fledermausartenschutz in Planungs- und Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen. In diesem Workshop wurden die Ergebnisse der Recherche zu behördlichen Planungsvorgaben und Planungsempfehlungen zum Themenbereich Fledermaus-Artenschutz und Windenergie vorgestellt und gemeinsam diskutiert.

Die Ziele des Workshops waren:

- Überprüfung und Ergänzung der Ergebnisse der bis dato erarbeiteten Zusammenstellung der Vorgaben und Empfehlungen aus den Ländern,
- Diskussion aktueller Entwicklungen bezüglich der Berücksichtigung der im Forschungsvorhaben (RENEBAT I) erarbeiteten Ergebnisse in den Planungs- und Genehmigungsverfahren und in aktuell entwickelten Handreichungen der Länder und
- Informationsaustausch zu aktuellen Schwerpunkten in den einzelnen Ländern.

Am Workshop nahmen folgende Behördenvertreterinnen/Behördenvertreter teil: Felix Normann (Baden-Württemberg), Klemens Steiof (Berlin), Dr. Klaus Richarz (Hessen), Angelika Fuss (Mecklenburg-Vorpommern), Dagmar Stiefel (Niedersachsen), Wilhelm Breuer (Niedersachsen), Dr. Matthias Kaiser (Nordrhein-Westfalen), Claudia Schneider (Saarland), Bernd Ohlendorf (Sachsen-Anhalt), Ismene Mertens (Schleswig-Holstein), Carolin Dierkes (Schleswig-Holstein) und Hartmut Geiger (Thüringen). Aus dem

Kreis der dem Projekt zugeordneten Personen nahmen Boris de Wolf (Enercon), Franciska Klein (PTJ – Projektträger Jülich), Prof. Dr. Michael Reich (IUP Hannover), Ivo Niermann (IUP Hannover), Dr. Robert Brinkmann (Freiburger Institut für angewandte Tierökologie - FrInaT GmbH), Kristine Mayer (Freiburger Institut für angewandte Tierökologie - FrInaT GmbH) und Johanna Hurst (Freiburger Institut für angewandte Tierökologie - FrInaT GmbH) teil.

Den Teilnehmenden wurden an den zwei Workshop-Tagen die Ergebnisse der Datenrecherche sowie weitere Forschungsergebnisse in fünf Blöcken präsentiert:

- Übersicht zur vergleichenden Auswertung der Länderregelungen,
- Ergebnisse der Datenrecherche bezüglich nachgelagerter Untersuchungen nach Errichtung der WEA,
- Ausgewählte Ergebnisse der Forschungsvorhaben RENEBAAT I und RENEBAAT II,
- Umsetzung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen in der Praxis und
- Ergebnisse der Datenrecherche bezüglich Voruntersuchungen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens.

5 Ergebnisse

5.1 Suchergebnisse

Insgesamt wurden 25 aktuelle Abhandlungen in diesem Beitrag ausgewertet. Bei 23 davon handelt es sich um die Regelungen oder Empfehlungen von Behörden. Eine Sonderstellung nimmt das sogenannte NLT-Papier (NLT 2011) aus Niedersachsen ein. Das NLT-Papier ist eine Arbeitshilfe, die vom Niedersächsischen Landkreistag e.V. (der Vereinigung der 37 niedersächsischen Landkreise und der Region Hannover) herausgegeben und in unregelmäßigen Abständen fortgeschrieben wird. Es füllt in Niedersachsen die Lücke der fehlenden untergesetzlichen Regelungen. Die Vorgaben des NLT-Papiers sind nicht behördenverbindlich aber landesweit umfassend kommuniziert und anerkannt. Des Weiteren wurden die Empfehlungen von EUROBATS, dem Abkommen zur Erhaltung europäischer Fledermauspopulationen (RODRIGUES et al. 2008) ausgewertet, die den Charakter einer Konvention für die Vertragsstaaten des Abkommens haben und – obgleich sie nicht behördenverbindlich sind – starke Bindungswirkung entfalten.

Zehn der Papiere sind behördenverbindlich, die übrigen haben empfehlenden Charakter. Ein Guidance Document der EU-Kommission und ein Positionspapier des Bundesamtes

für Naturschutz haben überregional empfehlenden Charakter. Die übrigen Handreichungen sind länderspezifisch (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1 Übersicht der Abhandlungen von Behörden (Stand: 20. Januar 2014)

Herausgeber	Jahr	Titel / Quelle	Wirkungsebene/ Verbindlichkeit
EU-Kommission	2010	Guidance Document Wind energy developments and Natura 2000	EU-weit / empfehlender Charakter
EUROBATS (RODRIGUES et al.)	2008	Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Windenergieprojekten	Bereich der Vertragsstaaten des Abkommens / Konvention
Bundesamt für Naturschutz (BfN)	2011	Windkraft über Wald - Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz	bundesweit / empfehlender Charakter
Staatliche Naturschutz- verwaltung Baden- Württemberg	2006	Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse: Ergebnisse aus dem Regierungsbezirk Freiburg mit einer Handlungsempfehlung für die Praxis	Baden- Württemberg / empfehlender Charakter
Land Baden- Württemberg	2012	Windenergieerlass Baden-Württemberg 09. Mai 2012 Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, des Ministeriums für Verkehr und Infrastruktur und des Ministeriums für Finanzen und Wirtschaft	Baden- Württemberg / behörden- verbindlich
Freistaat Bayern	2011	Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA) Gemeinsame Bekanntmachung der Bayerischen Staatsministerien des Innern, für Wissenschaft, Forschung und Kunst, der Finanzen, für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, für Umwelt und Gesundheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten vom 20. Dezember 2011	Bayern / behörden- verbindlich
Bayerisches Landesamt für Umwelt	2013	Fachliche Erläuterungen zum Windkrafterlass Bayern – Verringerung des Kollisionsrisikos durch fledermausfreundlichen Betrieb der Anlagen Februar 2013 in Verbindung mit: Fachliche Erläuterungen zum Windkrafterlass Bayern; Fledermäuse – Fragen und Antworten April 2013	Bayern / empfehlender Charakter

Herausgeber	Jahr	Titel / Quelle	Wirkungsebene/ Verbindlichkeit
Land Brandenburg	2011	Beachtung naturschutzfachlicher Belange bei der Ausweisung von Windeignungsgebieten und bei der Genehmigung von Windenergieanlagen Erlass des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz vom 01. Januar 2011	Brandenburg / behördenverbindlich
Freie und Hansestadt Hamburg	2010	Ausschlussgebiete für Windkraftanlagen in Hamburg	Hamburg / behördenverbindlich
Land Hessen	2010	Handlungsempfehlungen des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung und des Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zu Abständen von raumbedeutsamen Windenergieanlagen zu schutzwürdigen Räumen und Einrichtungen	Hessen / empfehlender Charakter
Land Hessen - HMUELV / HMWWL	2012	Leitfaden – Berücksichtigung der Naturschutzbelange bei der Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA) in Hessen	Hessen / empfehlender Charakter
Land Mecklenburg-Vorpommern – MEIL	2012	Anlage 3 der Richtlinie zum Zwecke der Neuaufstellung, Änderung und Ergänzung Regionaler Raumentwicklungsprogramme in Mecklenburg-Vorpommern	Mecklenburg-Vorpommern / behördenverbindlich
Niedersächsischer Landkreistag e.V. (NLT)	2011	Arbeitshilfe Naturschutz und Windenergie Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie zur Durchführung der Umweltprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen Oktober 2011	Niedersachsen / empfehlender Charakter
Land Nordrhein-Westfalen	2011	Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung (Windenergie-Erlass) vom 11.07.2011 Gemeinsamer Runderlass des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein – Westfalen (Az. VIII2 - Winderlass) und des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (Az. X A 1 – 901.3/202) und der Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen (Az. III B 4 – 30.55.03.01)	Nordrhein-Westfalen / behördenverbindlich

Herausgeber	Jahr	Titel / Quelle	Wirkungsebene/ Verbindlichkeit
Land Nordrhein-Westfalen - MKULNV	2012	Leitfaden: Rahmenbedingungen für Windenergieanlagen auf Waldflächen in Nordrhein-Westfalen	Nordrhein-Westfalen / empfehlender Charakter
Land Nordrhein-Westfalen - MKULNV und LANUV	2013	Leitfaden Umsetzung des Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen in Nordrhein-Westfalen 12. November 2013	Nordrhein-Westfalen / empfehlender Charakter
Land Rheinland-Pfalz - MULV	2012	Naturschutzfachlicher Rahmen zum Ausbau der Windenergienutzung in Rheinland-Pfalz Artenschutz (Vögel, Fledermäuse) und NATURA 2000-Gebiete 13.09.2012	Rheinland-Pfalz / empfehlender Charakter
Land Rheinland-Pfalz	2013	Hinweise für die Beurteilung der Zulässigkeit der Errichtung von Windenergieanlagen in Rheinland-Pfalz (Rundschreiben Windenergie) 28. Mai 2013	Rheinland-Pfalz / behördenverbindlich
Land Saarland	Ohne Jahr	Pufferabstände um Ausschlussflächen der Windpotenzialstudie	Saarland / behördenverbindlich
Land Saarland – MUEV	2012	Leitfaden zur Windenergienutzung im Saarland 16. Januar 2012	Saarland / behördenverbindlich
Land Saarland	2013	Leitfaden zur Beachtung artenschutzrechtlicher Belange beim Ausbau der Windenergienutzung im Saarland – betreffend die besonders relevanten Artengruppen der Vögel und Fledermäuse Juni 2013	Saarland / empfehlender Charakter
Freistaat Sachsen – SMUL	2001	Windleitfaden – Leitfaden zur Genehmigung von Windkraftanlagen im Freistaat Sachsen	Sachsen / empfehlender Charakter
Land Schleswig-Holstein – LANU	2008	Empfehlung zur Berücksichtigung tierökologischer Belange bei Windenergieplanungen in Schleswig-Holstein	Schleswig-Holstein / empfehlender Charakter
Land Schleswig-Holstein	2012 (a)	Grundsätze zur Planung von und zur Anwendung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung bei Windkraftanlagen 26. November 2012 Gemeinsamer Runderlass der Staatskanzlei, des Innenministeriums, des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume und des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Technologie	Schleswig-Holstein / behördenverbindlich

Herausgeber	Jahr	Titel / Quelle	Wirkungsebene/ Verbindlichkeit
Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein	2012 (b)	Empfehlungspapier ohne Titel zu Voraussetzungen für eine erforderliche Abschaltung von Windenergieanlagen	Schleswig-Holstein / empfehlender Charakter

5.2 Ergebnisse der vergleichenden Auswertung

5.2.1 Ergebnisse im Überblick

Die Auswertung der Rechercheergebnisse, ob und inwieweit der Fledermausartenschutz beim Ausbau der Windkraft berücksichtigt wird, macht die große Bandbreite der Regelungen oder Empfehlungen in den einzelnen Bundesländern deutlich, insbesondere in Hinblick auf die Fragen:

- ob Vorgaben für die Standortplanung gemacht werden – vor allem ob Abstandsregelungen bestehen, und ob beziehungsweise welche Flächen gegebenenfalls als Ausschlussflächen behandelt werden sollen,
- ob Aussagen getroffen werden, wann und in welchem Umfang Voruntersuchungen erforderlich und wie diese durchzuführen sind,
- ob Vorgaben zur Einrichtung und zum Rahmen von Betriebsalgorithmen gemacht werden,
- ob beziehungsweise gegebenenfalls wie nachgelagerte Untersuchungen durchzuführen sind und welche Konsequenzen sich daraus ergeben und
- ob und gegebenenfalls welche Maßnahmen bei Verlust von Lebensstätten zu ergreifen sind.

Die teils großen Unterschiede in den Abhandlungen der Länder sind einerseits durch unterschiedliche Planungs- und Genehmigungstraditionen sowie durch die unterschiedliche naturräumliche Ausstattung der verschiedenen Bundesländer bedingt. Erkennbar ist andererseits aber auch ein zeitlicher Progress. Erst nach und nach entwickelten sich durch ein Gegenstromprinzip aus amtlichen Erfordernissen und ehrenamtlichem Fledermaus-schutz Vorgaben in den einzelnen Bundesländern, die eine konsequente Bearbeitung des Themas ermöglichten. Diese Vorgaben sind jedoch nach wie vor stark divers.

In fast allen (22) Veröffentlichungen werden Hinweise zur Standortplanung mit Angaben zu Ausschlussflächen gegeben (Tab 2). Einige Papiere (7) behandeln ausschließlich dieses Thema, was ihrem Charakter als Vorgabe für die Regionalplanung beziehungsweise (in den Stadtstaaten) für die vorbereitende Bauleitplanung (Flächennutzungsplanung)

Tabelle 2 Überblick über die Themengebiete, die in den betrachteten Handreichungen der Behörden behandelt werden.

Angaben zu	Standort- planung	Vorunter- suchungen	nachgelagerte Unter- suchungen	Betriebs- algorithmen	Ausgleichs- maßnahmen
EU-Kommission (2010)	X	X			
Rodrigues et al. (2008)	X	X	X	X	
BfN (2011)	X	X	X	X	
BaWü (2006)		X	X		
BaWü (2012)	X	X			X
Bayern (2011)	X	X	X	X	
Bayern (2013)		X	X	X	X
Brandenburg (2011)	X	X	X	X	X
Hamburg (2010)	X				
Hessen (2010)	X				
Hessen (2012)	X	X	X	X	X
Meck.-Vorp. (2012)	X				
Niedersachsen (2011)	X	X	X		X
NRW (2011)	X				
NRW (2012)	X	X	X	X	
NRW (2013)	X	X	X	X	
RLP (2012)	X	X	X	X	X
RLP (2013)	X	X	X		X
Saarland (ohne Jahr)	X				
Saarland (2012)	X	X			
Saarland (2013)	X	X	X	X	X
Sachsen (2001)	X				
Schl.-Holst. (2008)	X	X	X		
Schl.-Holst. (2012a)	X				
Schl.-Holst. (2012b)			X	X	
Gesamt	22	17	15	11	9

entspricht¹. Nicht berücksichtigt wird dieses Thema in drei Abhandlungen: einer Veröffentlichung der Naturschutzverwaltung Baden-Württemberg (STAATLICHE NATURSCHUTZVERWALTUNG BADEN-WÜRTEMBERG 2006 – hier werden die Ergebnisse einer Studie zur Kollision von Fledermäusen an WEA in einer Broschüre dargestellt, auf die abschließend konkrete Handlungsempfehlungen zu Voruntersuchungen folgen), in den fachlichen Erläuterungen zum Windkrafterlass Bayern (LFU 2013) und in einem Empfehlungspapier zu Voraussetzungen für eine erforderliche Abschaltung von Windenergieanlagen in Schleswig-Holstein (LAND SCHLESWIG-HOLSTEIN 2012), das sich ganz konkret mit Betriebsalgorithmen befasst, die erst zum Tragen kommen, wenn Standortfragen bereits geklärt sind. Im Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz (BFN 2011) und in einem Leitfaden aus Nordrhein-Westfalen (MKULNV 2012) werden auf Grund neuer Entwicklungen ausschließlich Waldstandorte behandelt. Voruntersuchungen werden in insgesamt 17 Veröffentlichungen besprochen. Betriebsalgorithmen werden in 15 Veröffentlichungen thematisiert, und auf Untersuchungen nach dem Bau der WEA wird in 11 Abhandlungen eingegangen. Das Thema Ausgleichsmaßnahmen im Falle von Lebensstättenverlust wird in 9 Handreichungen angesprochen.

5.2.2 Standortplanung

Die Standortplanung wird in fast allen Abhandlungen thematisiert. Die EU-Kommission (EC 2010) hebt in ihrem Guidance Document die besondere Bedeutung strategischer Entscheidungen bei der Windenergie-Entwicklung auf Ebene der Raumordnung hervor. In den meisten Bundesländern ist die Planung von Vorrangflächen auf Ebene der Regionalplanung vorgesehen, zum Beispiel in Bayern (FREISTAAT BAYERN 2011) und in Nordrhein-Westfalen (LAND NORDRHEIN-WESTFALEN 2011). Planungen auf der Ebene der Kommunen werden zusätzlich durch die Länder Baden-Württemberg (LAND BADEN-WÜRTEMBERG 2012), Rheinland-Pfalz (LAND RHEINLAND-PFALZ 2013) und Sachsen (SMUL 2001) explizit erwähnt.

Ausschlussgebiete werden von fast allen Veröffentlichungen genannt. In einzelnen Bundesländern beinhalten vor allem die Windkrafterlasse keine Vorgaben, die auf Fledermäuse zugeschnitten sind, sondern es werden in erster Linie Ausschlussgebiete definiert, die auch Fledermäusen zu Gute kommen können. Die EU-Kommission (EC 2010) benennt ihrer staatenübergreifenden Rolle entsprechend in ihrem Guidance Document namentlich keine Kategorien von Ausschlussgebieten. Wälder sind in Mecklenburg-Vorpommern (ab 10 ha), Schleswig-Holstein (ab 0,2 ha) und Hamburg von Windenergienutzung ausgeschlossen (MABL 2006, LAND SCHLESWIG-HOLSTEIN 2012, FREIE UND HANSESTADT HAMBURG 2010). In anderen Bundesländern werden die Wälder hinsichtlich ihrer Eignung für WEA kategorisiert beurteilt². Das Bundesamt für Naturschutz (BFN 2011) hingegen nennt „intensiv forstwirtschaftlich genutzte Fichten- und

1 zum Beispiel Pufferabstände um Ausschlussflächen der Windpotenzialstudie aus dem Saarland (LAND SAARLAND o.J.) oder die Ausschlussgebiete aus Hamburg (FREIE UND HANSESTADT HAMBURG 2010)

2 zum Beispiel Ausschluss von geschützten Waldgebieten in Baden-Württemberg oder von Naturwaldreservaten und Biotopschutzwäldern in Rheinland-Pfalz

Kiefernforste“ als eventuell geeignet. Besondere Gebiete für den Fledermausschutz sind in elf Handreichungen als Ausschlussgebiete definiert. Diese Gebiete sind zum Teil nicht näher beschrieben (FREIE UND HANSESTADT HAMBURG 2010: „Wertvolle Fledermausgebiete“ wie Leitkorridore des Fledermauszugs und Gebiete mit besonderer Bedeutung für den Fledermausschutz), zum Teil werden „bedeutende Quartiere“, sowohl Wochenstuben, Balz- als auch Winterquartiere, Jagdgebiete und Zugkorridore (zum Beispiel MUGV 2011) oder „Wanderkorridore von Vögeln und Fledermäusen und Gebiete mit Vorkommen gefährdeter beziehungsweise störungsempfindlicher Arten“ (BFN 2011) genannt. Der Windenergieerlass Baden-Württemberg nimmt in seinen Ausschlussgebieten eine Risikoabschätzung mit auf, indem er Zugkonzentrationskorridore von Vögeln oder Fledermäusen, bei denen Windenergieanlagen u.a. zu einer signifikanten Erhöhung des Tötungs- oder Verletzungsrisikos führen können, ausschließt (LAND BADEN-WÜRTTEMBERG 2012). Nordrhein-Westfalen gibt im Leitfaden „Umsetzung des Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen“ (MKULNV/LANUV 2013) den Hinweis, dass für die Regionalplanung keine Verpflichtung zur Durchführung einer Artenschutzprüfung besteht, empfiehlt aber in dem Zusammenhang ebenfalls, Artenschutzbelange bei der Ausweisung von WEA-Vorrangzonen auf Ebene der Regionalplanung im Sinne einer überschlägigen Vorabschätzung sinnvollerweise zu berücksichtigen, „soweit sie auf dieser Ebene bereits ersichtlich sind“, um „regionalplanerische Festsetzungen [zu] vermeiden, die in nachgeordneten Verfahren aus Artenschutzgründen nicht umgesetzt werden können“ (ebd.).

Abstandsregelungen werden ebenfalls in den meisten der Abhandlungen der Bundesländer getroffen. Das Guidance Document der EU-Kommission trifft keine Aussagen zu Abständen (EC 2010), während das Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz zwar ebenfalls keine Abstände nennt, aber auf die bewährte Anwendung von Abstandsregelungen hinweist (BFN 2011). Werden Abstände genannt, so sind diese oftmals divers (zum Beispiel Niedersachsen: „1.200 m zu FFH-Gebieten, die dem Fledermausschutz dienen, 500 m zu Nationalparks und Biosphärenreservaten, 100 m zu Waldflächen, 1.000 m zu Wochenstuben, Winterquartieren und bedeutenden Zugkorridoren eingriffssensibler Arten, 500 m zu wichtigen Jagdgebieten und Flugstraßen der eingriffssensiblen Arten“ (NLT 2011)). Abstände von Gebieten mit besonderer Bedeutung für den Fledermausschutz fordern insbesondere Schleswig-Holstein (LANU 2008) und Brandenburg (MUGV 2011). Für Hessen (HMUELV/HMWVL 2012) ist beispielsweise ein 5 km-Abstand zu Wochenstuben und Kolonien der Mops- und der Brandtfledermaus und zu Massenwinterquartieren von schlaggefährdeten Arten als Empfehlung genannt. Rheinland-Pfalz empfiehlt (MULV 2012) eine Tabuzone im 5 km-Abstand zu Wochenstuben der Mopsfledermaus und zu national bedeutenden Massenwinterquartieren von schlaggefährdeten Arten. Für das Saarland (LAND SAARLAND 2013) wird ein Mindestabstand von 5 km zu Wochenstubenquartieren und Kolonien von Mopsfledermaus und

zu national bedeutenden Massenwinterquartieren von schlaggefährdeten Arten sowie zu bekannten Wochenstuben, Sommer- und Winterquartieren der Großen Hufeisennase und um bekannte Winterquartiere der Wimperfledermaus genannt. In Bayern werden keine Abstandsregelungen getroffen.

In einigen Veröffentlichungen wird schließlich auf Bereiche verwiesen, die besonders geprüft werden müssen oder in denen die Windkraftnutzung nur mit Einschränkungen möglich ist. So verweist zum Beispiel Nordrhein-Westfalen (MKULNV 2012) auf die besondere Bedeutung von älteren Laubmischwäldern und strukturreichen Kiefernwäldern für Fledermäuse, Rheinland-Pfalz (MULV 2012) verweist auf sensible Bereiche wie zum Beispiel die UNESCO-Welterbegebiete Oberes Mittelrheintal und den Obergermanisch-Raetischen Limes.

Auch viele Positionspapiere nicht-staatlicher Organisationen thematisieren die Standortplanung. Bezüglich des grundsätzlichen Vorgehens wird in der Regel darauf verwiesen, dass die Planung von Vorrangflächen im Rahmen von Regionalplanungen und unter Ausschluss von für Fledermäuse relevanten Flächen stattfinden sollte. Detailreiche Forderungen formuliert das Papier der Bundesarbeitsgruppe Fledermausschutz im NABU (BAG 2012). Es wird die Empfehlung ausgesprochen, die Entwicklung von WEA an stark windhöufigen und aus naturschutzfachlicher Sicht eher unbedenklichen Standorten zu bündeln. Damit einher gehen die zwei grundsätzlichen Forderungen, dass Standorte, die aufgrund ihrer hohen Lebensraumqualität eine überdurchschnittliche Fledermausaktivität aufweisen, aus Artenschutzgründen frei von WEA bleiben sollen, und dass in walddreichen Bundesländern nur dann und unter strengen Auflagen Windenergie an Waldstandorten zu entwickeln sind, wenn keine naturschutzfachlich unbedenklichen Offenlandstandorte mehr zur Verfügung stehen. Zusätzlich wird der Appell zu einem grundsätzlichen Verzicht auf WEA in Wäldern der waldarmen Gebiete Norddeutschlands ausgesprochen. Mit der Empfehlung, sich bei der Entwicklung von WEA im Binnenland auf stark windhöufige Standorte zu konzentrieren, zielt das BAG-Papier in dieselbe Richtung wie die EEG-Novelle.

5.2.3 Voruntersuchungen

Angaben zur Durchführung von Voruntersuchungen machen 17 der einbezogenen Handreichungen, wenngleich nicht alle Papiere methodenkonkrete Aussagen beinhalten. Die EU-Kommission (EC 2010) gibt den Hinweis, dass Entscheidungen auf einer fundierten wissenschaftlichen Grundlage basieren müssen, nennt den korrekten Ablauf zur Durchführung der FFH-Verträglichkeitsprüfung und beschreibt die Vorgehensweise für die sachgemäße Beurteilung von Windenergie-Planungen in Natura 2000-Gebieten. Genaue Angaben zum Untersuchungskonzept werden in der Handreichung von EUROBATS

(RODRIGUES et al. 2008) gefordert³. Als Methoden werden Detektorbegehungen, das Ausbringen von Horchboxen und Höhererfassungen genannt. Auch eine ausführliche Datenrecherche sollte durchgeführt werden (ebd.).

Im Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz (BFN 2011) wird auf den bestehenden Bedarf der Entwicklung und Erprobung von Methoden zur Erfassung von Auswirkungen von Windenergieanlagen im Wald hingewiesen, ohne einen konkreten Methodenkanon zu benennen. Der Freistaat Bayern gibt in seiner gemeinsamen Bekanntmachung „Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA)“ beispielsweise keine konkreten Untersuchungsstandards vor (FREISTAAT BAYERN 2011), ergänzt aber in seinen fachlichen Erläuterungen zum Windkrafteerlass Bayern (LFU 2013) ein differenziertes Untersuchungskonzept, u.a. nach der Methodik des Forschungsvorhabens RENEBAAT I und den EUROBATS-Empfehlungen (RODRIGUES et al. 2008). Generell wird in der gemeinsamen Bekanntmachung „Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA)“ (FREISTAAT BAYERN 2011) darauf verwiesen, dass Untersuchungen nur notwendig sind, wenn es konkrete Anhaltspunkte auf Fledermausvorkommen in der Umgebung geplanter WEA gibt. Zu ermitteln ist dies über eine Relevanzprüfung, die Abfrage von Daten und durch Bestandserfassungen am Eingriffsort. Zudem gibt es hier die Möglichkeit, bei verbindlichem Gondelmonitoring auf Voruntersuchungen zu verzichten, sofern sich keine Quartiere im 1 km-Umkreis befinden. Das Land Baden-Württemberg sieht in seinem Windenergieerlass die „Begehung des Untersuchungsraums mit Erfassung des Arteninventars“ als erforderlich an, falls Häufigkeit und Verteilung von kollisions- oder störungsempfindlichen Arten nicht auf der Grundlage vorhandener Daten ermittelt werden können (LAND BADEN-WÜRTTEMBERG 2012), und verweist auf noch folgende Ausarbeitungen der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (mittlerweile veröffentlicht: LUBW 2014). Andere Papiere setzen auch methodisch Standards mit umfangreichen Details zu Umfang und Art der durchzuführenden Untersuchungen bis hin zu Hinweisen der zu verwendenden Technik, zum Beispiel bei automatischen akustischen Erfassungen (zum Beispiel LANU 2008, HMUELV/HMWVL 2012, MKULNV 2012, MULV 2012, LAND SAARLAND 2013).

Viele Empfehlungen nicht-staatlicher Organisationen legen einen detaillierten Vorschlag zum Methodenkanon und zum Umfang der erforderlichen Voruntersuchungen und zum Teil auch Forderungen zur Bewertung vor (zum Beispiel NABU-Bundesverband (NABU 2011), Arbeitsgemeinschaft Fledermausschutz Baden-Württemberg (AGF 2012), Landesarbeitsgruppe Fledermausschutz im NABU Hessen (AGFH 2012) oder Arbeitskreis Fledermausschutz Rheinland-Pfalz (AKF o.J.). Diese Empfehlungen können als Wegbereiter für mittlerweile eingeführte Standards der Bundesländer betrachtet werden und sind inhaltlich zu Teilen in behördliche Handreichungen aufgenommen worden.

³ wöchentliche Begehungen in einem Radius von 1 km um die Anlagen von Mitte Februar bis Mitte Dezember

5.2.4 Einrichtung von Betriebsalgorithmen

Betriebsalgorithmen zur Vermeidung eines signifikant erhöhten Kollisionsrisikos werden in 15 Empfehlungen thematisiert. Das Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz (BFN 2011) gibt den generellen Hinweis, dass durch den Vorhabensträger Abhilfemaßnahmen zu erbringen sind falls erhebliche nachteilige Auswirkungen im Zuge des betriebsbedingten Monitorings festgestellt werden, macht aber keine Angaben zu Umfang oder Methodik. Das LAND BADEN-WÜRTTEMBERG (2012) verweist in seinem Windenergieerlass auf noch folgende Ausarbeitungen der LUBW. In der Veröffentlichung der Staatlichen Naturschutzverwaltung Baden-Württemberg wird von Abschaltungen bei niedrigen Windgeschwindigkeiten zur Nachtzeit zu Zeiten mit hohem Risikopotential gesprochen und ein begleitendes Monitoring gefordert (STAATLICHE NATURSCHUTZVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG 2006). Auch das LANU Schleswig-Holstein nennt bereits 2008 wetterdifferenzierte zeitweise Abschaltungen. Umfangreiche Empfehlungen geben die Erlässe von Brandenburg (MUGV 2011) und Bayern (Freistaat Bayern 2011), der Leitfaden Umsetzung des Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen in Nordrhein-Westfalen (MKULNV/LANUV 2013), der naturschutzfachliche Rahmen zum Ausbau der Windenergienutzung in Rheinland-Pfalz (MULV 2012), der Leitfaden zur Beachtung artenschutzrechtlicher Belange beim Ausbau der Windenergienutzung im Saarland (LAND SAARLAND 2013) sowie Schleswig-Holstein in einem Empfehlungspapier zu Voraussetzungen für eine erforderliche Abschaltung von Windenergieanlagen (LAND SCHLESWIG-HOLSTEIN 2012). Auch Nordrhein-Westfalen (MKULNV 2012) gibt den Hinweis auf das Bundesforschungsvorhaben RENEBA I und verweist auf die Möglichkeit anlagenspezifische Algorithmen zu berechnen, wenngleich diese Hinweise hier informativen Charakter haben.

Schwellenwerte für die tolerierbare Zahl toter Fledermäuse benennen sechs Bundesländer: Schleswig-Holstein (LANU 2008) hält 1 tote Fledermaus pro Jahr und Anlage für vertretbar, der FREISTAAT BAYERN (2011) nennt einen Schwellenwert von 2, Rheinland-Pfalz (MULV 2012) und das Saarland (LAND SAARLAND 2013) benennen in ihren Hinweisen beziehungsweise ihrem Leitfaden einen Schwellenwert von „im Regelfall“ weniger als 2 toten Tieren je Jahr und Anlage. Brandenburg (Anlage 3 zu MUGV 2011) bestimmt artspezifische Schwellenwerte von 0,5 für den Kleinabendsegler und die Zweifarbfledermaus, 1 für den Abendsegler und die Rauhhaufledermaus und 2 für die Zwergfledermaus. Im Saarland werden als Schwellenwerte 1 oder 2 tote Tiere je WEA und Jahr oder ein artbezogenes Tötungsrisiko höher als 5-10 % (gemessen an der Anzahl Aufnahmen in Gondelhöhe) vorgegeben, wobei der niedrigere Wert bei „selteneren Arten mit zusätzlich bekanntem höherem Schlagrisiko (zum Beispiel Großer und Kleiner Abendsegler, Rauhhaufledermaus)“ zur Anwendung kommt (LAND SAARLAND 2013). Der Leitfaden zur Umsetzung des Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und

Genehmigung von Windenergieanlagen in Nordrhein-Westfalen (MKULNV/LANUV 2013) besagt in eher allgemeiner Form, dass die „Festlegung des Abschalt-Algorithmus (...) berücksichtigen [muss], dass betriebsbedingte Tötungen auf unvermeidbare Verluste von Einzelindividuen begrenzt werden“.

Bezüglich der Einrichtung von Betriebsalgorithmen gehen einzelne Positionspapiere nicht-staatlicher Organisationen derzeit über die Handreichungen der Bundesländer hinaus. Die Bundesarbeitsgruppe Fledermausschutz im NABU empfiehlt in ihren Ergebnissen des Expertenworkshops „Windkraft und Fledermäuse“ vom 06. Februar 2012 anlagenspezifische Betriebsalgorithmen als einzige wirksame Maßnahme zur Vermeidung oder Verminderung von Fledermausschlagopfern neben dem Verzicht auf Standorte mit hoher Fledermausaktivität (BAG FLEDERMAUSSCHUTZ 2012). Das Expertengremium lehnt außerdem pauschalierte Betriebsalgorithmen aus Artenschutzgründen ab und besagt, dass sich „alle Experten (...) einig [sind], dass selbst ein fledermausschonender Betrieb von WEA (...) den Fledermausschlag nicht ganz verhindern kann“, und hebt daher die Notwendigkeit von populationsstützenden Maßnahmen hervor (ebd.). Auch werden von nicht-staatlicher Seite Erfolgskontrollen gefordert (zum Beispiel NABU/BUND BaWü 2011, NABU NRW 2010 und AGF 2012).

5.2.5 Untersuchungen nach Bau der WEA

Auf Untersuchungen nach dem Bau der Windenergieanlagen weisen 11 Veröffentlichungen hin. RODRIGUES et al. (2008) halten nachgelagerte Untersuchungen mit Schlagopfernachsue immer für angebracht. Sechs Bundesländer geben konkrete Empfehlungen mit differenzierten Angaben zur Methodik oder verweisen auf das Forschungsvorhaben RENEBAT I (Bayern, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Schleswig-Holstein). Einzelne Vorgaben unterscheiden sich im Detail: Bayern (FREISTAAT BAYERN 2011) fordert zum Beispiel ein zweijähriges Monitoring bereits ab dem 15.03., während andere Empfehlungen von einem Monitoring-Start zum 01.04. ausgehen. Das Bundesamt für Naturschutz fordert im Positionspapier zu Windenergie im Wald (BFN 2011), im Genehmigungsbescheid grundsätzlich ein betriebsbezogenes Monitoring festzulegen. Das LAND BADEN-WÜRTTEMBERG (2012) verweist auf noch folgende Ausführungen der LUBW. Bedingung für nachgelagerte Untersuchungen im Sinne eines Monitorings sind in einzelnen Handreichungen das Vorkommen kollisionsgefährdeter Arten, ein erhöhtes Konfliktpotential, ein im Zuge der Voruntersuchungen festgestelltes erhöhtes Tötungsrisiko oder ein konkret prognostiziertes erhöhtes Kollisionsrisiko schlaggefährdeter Arten (zum Beispiel FREISTAAT BAYERN 2011, HMUELV/HMWVL 2012, MULV 2012). Ergänzend dazu werden Untersuchungen nach Bau der WEA vorgeschlagen, die die bisher erforderlichen Voruntersuchungen ersetzen sollen (zum Beispiel FREISTAAT BAYERN 2011). Der Leitfaden

aus Hessen (HMUELV/HMWVL 2012) empfiehlt ein Gondelmonitoring „ausschließlich zur Zugzeit und im Übrigen lediglich in Bereichen mit bekannten Vorkommen an Langstreckenziehern“. Brandenburg (MUGV 2011) fordert dagegen ein Monitoring (Anlage 3 zu MUGV 2011: akustische Erfassung zwischen 11.07. und 20.10., zusätzlich zweijährige Schlagopfersuchen) an Standorten, die die im Erlass genannten Abstandskriterien nicht erfüllen, und falls nicht bereits im Vorfeld Höhenuntersuchungen durchgeführt wurden. Angaben zur Bewertung der Ergebnisse fehlen meist. Zwei Handreichungen (Anlage 3 zu MUGV 2011, LAND SCHLESWIG-HOLSTEIN 2012) schlagen eine Einstufung der Ergebnisse der Aktivitätsmessungen nach Anzahl der erfassten Rufe vor, ohne dass diese jedoch im Verhältnis zu Wind- und Temperaturdaten auszuwerten sind.

5.2.6 Ausgleichsmaßnahmen für Eingriffe in Lebensstätten

Mit dem Thema Ausgleichsmaßnahmen für Eingriffe in Lebensstätten befassen sich neun der Handreichungen der Länder. Der Windenergieerlass Baden-Württemberg (LAND BADEN-WÜRTTEMBERG 2012) weist auf die Möglichkeit der Durchführung von vorgezogenen Ausgleichsmaßnahmen hin (CEF - continuous ecological functionality-measures / Maßnahmen zur dauerhaften Sicherung der ökologischen Funktion im Sinne von zeitlich vorgezogenen Ausgleichsmaßnahmen in direkter funktionaler Beziehung) sowie darauf, dass artenschutzrechtliche Verbote einer Planung nicht generell entgegen stehen (dies „gilt auch, wenn die Verletzung des Verbotstatbestands vermieden werden kann, zum Beispiel durch Nebenbestimmungen in künftigen Genehmigungsverfahren oder vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen“ (ebd.)). Die fachlichen Erläuterungen zum Windkrafteerlass Bayern (LFU 2013) gehen darauf ein, dass betriebsbedingte Verluste durch Kollisionen durch Maßnahmen im Vorfeld nicht kompensierbar sind (nur Minimierung möglich) und dass für „Quartierverluste am Standort der WEA (...) theoretisch die Sicherung von Altbäumen oder die Anbringung von Fledermauskästen in ausreichender Anzahl als CEF-Maßnahmen in Frage [kommen], wenn diese rechtzeitig vor dem Bau greifen, d. h. von den betroffenen Fledermäusen als alternative Quartiere angenommen worden sind“. Brandenburg (Anlage 3 zu MUGV 2011) empfiehlt, neben der Erhaltung „alter Höhlenbäume, [von] stehendem Totholz und Altholzbeständen durch vertragliche Vereinbarungen (...)“ die Einrichtung von Kastengebieten „einschließlich deren Pflege und Erfolgskontrolle mindestens für die Laufzeit der Anlagen“ sowie die Neuschaffung beziehungsweise die Verbesserung von Winterquartieren und Jagdhabitaten. Hessen verweist auf RUNGE et al. (2009) und auf das landesweite Artgutachten (ITN 2012), mit dem Beispiel der Aufwertung geeigneter Lebensräume zur Verbesserung des Quartierangebotes und der Neuschaffung und Verbesserung von Jagdhabitaten (HMUELV/HMWVL 2012). Der hessische Leitfaden weist außerdem darauf hin, dass die „Wirksamkeit festgesetzter CEF- und FCS-Maßnahmen [FCS - favourable conservation status / Maßnahmen zur Sicherung eines günstigen Erhaltungszustandes von Populationen] (...) im Rahmen

einzelfallbezogener und zeitlich angemessener Erfolgskontrollen vom Vorhabensträger zu dokumentieren“ ist und „bei Prognoseunsicherheiten ein Monitoring und Risikomanagement erforderlich“ sind (ebd.). Niedersachsen geht auf die Größe von Ausgleichsflächen ein und fordert die Einrichtung von Kompensationsflächen von mindestens der Größe der zerstörten Fläche (NLT 2011). Nordrhein-Westfalen verweist im aktuellen Leitfaden zur Umsetzung des Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen (MKULNV/LANUV 2013) auf eine separate Handreichung (die „Empfehlungen für artspezifische vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen sowie Angaben zum erforderlichen Risikomanagement für WEA-empfindliche Arten in Nordrhein-Westfalen“). Rheinland-Pfalz (MULV 2012) empfiehlt in seinem naturschutzfachlichen Rahmen zum Ausbau der Windenergienutzung die Vermeidung von Quartierverlust durch geeignete Standortwahl sowie die Erweiterung des Quartierangebots in alten Wäldern und die Neuschaffung von Jagdhabitaten nach RUNGE et al. (2009), zum Beispiel durch Auflichtung, und weist ebenfalls darauf hin, dass „bei begründeten Zweifeln an der Maßnahmenwirkung ein begleitendes Monitoring angebracht sein kann“. Das Rundschreiben Windenergie aus Rheinland-Pfalz (LAND RHEINLAND-PFALZ 2013) weist zwar nicht auf Ausgleichsmaßnahmen hin, aber auf die Möglichkeit der Minimierung des Tötungsrisikos, indem „von einer während der Bauphase bestehenden Tötungsgefahr betroffene Arten umgesiedelt und von der Baufläche ferngehalten werden“. Ähnlich äußert sich der Leitfaden zur Beachtung artenschutzrechtlicher Belange beim Ausbau der Windenergienutzung im Saarland (LAND SAARLAND 2013) zu möglichen Maßnahmen. Nach einer Auswahl geeigneter und konfliktarmer Standorte, gegebenenfalls einer Verschiebung der Anlage oder einem Verzicht auf konfliktreiche Anlagenstandorte wird bezüglich möglicher Ausgleichsmaßnahmen ebenfalls auf RUNGE et al. (2009) verwiesen (ebd.) und Lebensraumaufwertung und Verbesserung des Quartierangebotes in Waldflächen und Verbesserung der funktionalen Qualität von Jagdhabitaten empfohlen. Zusätzlich ist vermerkt, dass die Neuanlage oder Optimierung von Jagdhabitaten wegen ihrer langen Entwicklungsdauer als CEF-Maßnahmen nicht geeignet sind (ebd.).

5.3 Workshop mit Vertreterinnen und Vertretern der Landesbehörden

Zum Auftakt des Workshops am 11. und 12. März 2013 zu einem fachlichen Austausch mit Ländervertreterinnen und Ländervertretern über aktuelle Regelungen zum Fledermausartenschutz in Planungs- und Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen wurden von den Teilnehmenden der aktuelle Stand und Tendenzen in den einzelnen Bundesländern skizziert. Einige Bundesländer konnten zur Zeit der Durchführung des Workshops auf detailreiche und etablierte Vorgaben blicken. In verschiedenen Bundesländern war hingegen ganz aktuell eine Neuregelungs-Dynamik zu erkennen: Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Nordrhein-Westfalen, Thüringen und Schleswig-Holstein

befanden sich in Prozessen zur Neufassung, Ergänzung oder Aktualisierung von Regelungen, Hinweisen und Empfehlungen. So erwartete das Saarland die Veröffentlichung des Leitfadens zur Beachtung artenschutzrechtlicher Belange beim Ausbau der Windenergienutzung (erschieden Juni 2013), Nordrhein-Westfalen erarbeitete den Leitfaden Umsetzung des Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen in Nordrhein-Westfalen (erschieden November 2013), Baden-Württemberg entwickelte Untersuchungshinweise für die Artengruppe Fledermäuse bei Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen (erschieden April 2014) und in Mecklenburg-Vorpommern wurden Regelungen zum Themenbereich Fledermaus-Artenschutz und Windenergie in Kürze erwartet. Auch in Niedersachsen war von einer Fortschreibung des NLT-Papiers oder dem Entwurf einer neuen ministeriellen Regelung auszugehen.

Im Verlauf des Workshops wurde die derzeit große Vielfalt an Länderregelungen auf allen Ebenen der Planung und Realisierung von Windenergie-Vorhaben deutlich, die sich bereits in der Auswertung zeigte. So wurde zum Beispiel in einigen Bundesländern die Notwendigkeit von Voruntersuchungen zur Ermittlung des Kollisionsrisikos generell in Frage gestellt (zum Beispiel Baden-Württemberg), während andere Bundesländer gerade die Empfehlungen für Voruntersuchungen stark ausdifferenziert hatten (zum Beispiel Hessen, Rheinland-Pfalz) oder dies ganz aktuell anstrebten (zum Beispiel Saarland). Auch waren einerseits eine große Diversifizierung und Detailschärfe der Regelungen aus Sicht der einzelnen Bundesländer fachlich begründet und erforderlich (zum Beispiel Rheinland-Pfalz, Bayern), andererseits war das Anliegen erkennbar, den Prüfaufwand zu reduzieren und durch Standardisierung insgesamt zu mehr Entscheidungssicherheit zu gelangen.

In den Bundesländern Berlin, Bremen und Sachsen-Anhalt existieren derzeit keine behördlich veröffentlichten Abhandlungen (Erlasse, Leitfäden). In Sachsen-Anhalt erfolgt eine Einzelfallbeurteilung durch die Referenzstelle Fledermausschutz Sachsen-Anhalt im Geschäftsbereich des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt. Die Stadtstaaten orientieren sich an Maßgaben der umgebenden Flächenländer und planen auch in Zukunft keine eigenen Empfehlungen herauszugeben, sondern Planungen mit internen Handreichungen zu begegnen.

Insgesamt war offensichtlich, dass die Entwicklung von Erlassen und Leitfäden ein fort-dauernder Prozess ist, um neuen Situationen gerecht zu werden. Anpassungen an aktuelle gesellschaftliche Anforderungen und politische Vorgaben sind ebenso erforderlich wie Anpassungen an technische Neuerungen (zum Beispiel Entwicklung von Windenergie an Waldstandorten, WEA mit größerer Nabenhöhe und größerem Rotorradius). Die

Ergebnisse und Vorschläge des Forschungsvorhabens RENEBAT I fanden erkennbar in neue Leitfäden Eingang.

Am Ende des Workshops wurde neben einer persönlichen Bilanz der Workshopteilnehmerinnen und Workshopteilnehmer auch eine Einschätzung zum weiteren Bedarf von Absprachen und Austausch zwischen den Bundesländern zum Thema Länderregelungen zum Fledermausartenschutz in Planungs- und Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen erfragt. Es wurde deutlich, dass in den verschiedenen Planungsebenen jeweils unterschiedliche Fragestellungen zu bearbeiten sind, teilweise müssen sehr gezielt detaillierte Fragen beantwortet werden. Eine Richtlinie für Behörden, auf welcher Planungsebene welche Fragen zu beantworten sind, wurde als wünschenswert erachtet. Des Weiteren bestand der Wunsch für die Zukunft, dass eine bundesweite Verständigung auf einige Leitlinien stattfindet (beispielsweise zu Schwellenwerten für die zu tolerierende Anzahl toter Fledermäuse), sodass bestimmte Standards einheitlich zur Anwendung kommen können, wenngleich bundesweit einheitliche Regelungen – auch wegen der unterschiedlichen naturräumlichen Ausstattung – derzeit als unrealistisch oder als nicht erstrebenswert angesehen werden. Insgesamt wird der Bedarf für eine enge Abstimmung der Bundesländer gesehen damit Empfehlungen nicht zu weit auseinanderdriften. Eine Wiederholung einer Zusammenkunft von Vertreterinnen und Vertretern der Bundesländer alle zwei bis drei Jahre wurde als wünschenswert erachtet.

6 Diskussion

6.1 Vergleichende Auswertung

Die vorliegende Zusammenstellung hat den Aktualitätsstand Januar 2014. Baden-Württemberg hat mittlerweile eine eigene Handreichung zur Untersuchung der Artengruppe Fledermäuse bei Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen herausgegeben (LUBW 2014). Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der aktuellen Entwicklung in einigen Bundesländern in Kürze weitere oder überarbeitete schriftliche Planungsvorgaben veröffentlicht werden. Eine Vorreiterrolle kann hierbei dem ehrenamtlichen Fledermausschutz zuerkannt werden. Schon in der Vergangenheit fanden sich Vorgehensweisen, die sich heute über behördliche Handreichungen als Mindeststandards etablieren oder etabliert haben, zunächst in Positionspapieren von Fachgruppen der nicht-staatlichen Organisationen (zum Beispiel aus Rheinland-Pfalz die Stellungnahme „Notwendiger Untersuchungsumfang Fledermausfauna bei der Planung von WEA“ (AKF 2007) oder das 2010 herausgegebene Papier „Windenergieanlagen im Wald – Forderungen des Arbeitskreises Fledermausschutz Rheinland-Pfalz zum Untersuchungsumfang“

– AKF o.J.). Auch aktuell zeigen fachlich fundierte Vorschläge nicht-staatlicher Organisationen mögliche zukünftige Wege in der Bewältigung noch offener Fragen auf (zum Beispiel die „Ergebnisse des Expertenworkshops „Windkraft und Fledermäuse“ “ – BAG FLEDERMAUSSCHUTZ 2012). Durch die nach wie vor große Dynamik von behördlichen Planungsvorgaben bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und Betrieb von Windenergieanlagen durch Fortschreibung und weitere Detaillierung (beispielsweis in Fachkonzepten), bestehen Anlass und Notwendigkeit einer regelmäßigen Aktualisierung.

In einigen Bundesländern existieren nach wie vor lediglich Vorgaben bezüglich der Standortplanung. Gerade in älteren Beschlüssen werden Fledermäuse dabei nicht thematisiert, sondern Windkraftnutzung nur allgemein in Naturschutzgebieten und sonstigen schützenswerten Landschaftsbestandteilen verneint (zum Beispiel SMUL 2001). Aber auch neuere Vorgaben einiger Bundesländer bleiben bezüglich der Ausschlussflächen sehr allgemein, das Thema Fledermäuse wird oftmals überhaupt nicht erwähnt (zum Beispiel LAND NORDRHEIN-WESTFALEN 2011). Insgesamt gesehen sind die Vorgaben der einzelnen Länder sehr uneinheitlich. Naturschutzgebiete, Nationalparks, die Kernzonen von Biosphärenreservaten, Naturdenkmäler und geschützte Biotope werden in allen Abhandlungen in irgendeiner Form genannt. Bezüglich der FFH-Gebiete herrscht dagegen Uneinigkeit. Auch relativ aktuelle Beschlüsse wie der NRW-Erlass von 2011 schließen FFH-Gebiete völlig aus, obwohl nach einem europäischen Leitfaden Windkraftnutzung in diesen Gebieten möglich ist wenn keine erheblichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind (EC 2010).

Das Thema Windkraftstandorte im Wald wird in einigen der Vorgaben explizit aufgegriffen. Dazu bestehen unterschiedliche Auffassungen, die die derzeitige Diskussion in Deutschland widerspiegeln. Das Bundesamt für Naturschutz (BFN 2011) sieht „intensiv forstwirtschaftlich genutzte Fichten- und Kiefernforste“ als eventuell geeignet an, obschon Nadelbäume von verschiedenen Fledermausarten durchaus als Quartiere genutzt werden (zum Beispiel selten vom Abendsegler *Nyctalus noctula* aber auch regional häufig die Kiefer oder die Fichte von der Mopsfledermaus *Barbastella barbastellus*). Lange Zeit wurden Wälder als Windkraftstandorte von Seiten des Naturschutzes völlig ausgeschlossen (zum Beispiel HÖTKER et al. 2005). Ein großer Anteil der Windenergie-Entwicklung vollzog sich damals in den windstarken norddeutschen Bundesländern im Offenland. Auch in der Veröffentlichung von EUROBATS (RODRIGUES et al. 2008) werden Wälder noch generell nicht in Erwägung gezogen, obschon in dieser Zeit in den weniger windstarken Bundesländern der Mittelgebirgslagen bereits WEA-Standorte auf Kuppenlagen im Wald entwickelt wurden. Auffällig ist, dass die Bundesländer Schleswig Holstein und Mecklenburg-Vorpommern sowie die Freie und Hansestadt Hamburg (wenig Waldanteil) und auch Niedersachsen (stark windhöffige Offenland-Bereiche) Wald nach wie vor generell

von der Windkraftnutzung ausschließen. Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen dagegen schonen lediglich bestimmte Wälder oder Waldtypen wie zum Beispiel größere zusammenhängende alte Laubwaldbestände, Naturwaldreservate oder Bann- und Schonwälder. Vor allem im Süden der Bundesrepublik liegen die windhöffigsten Standorte im Bereich der bewaldeten Höhenlagen. Dort wird offenbar von einem generellen Ausschluss von Waldstandorten abgesehen, um die jeweiligen landespolitisch gesetzten Ziele bei der Entwicklung der Windenergie erreichen zu können.

Spezielle Ausschlussgebiete für Fledermäuse sind ebenfalls in einem Teil der Vorgaben vorgesehen. Sehr umfassend sind diese Gebiete in Brandenburg und Schleswig-Holstein definiert, wo sie in Zusammenhang mit den Untersuchungsempfehlungen veröffentlicht wurden. Die Vorgaben können hier auch zur Bewertung der Untersuchungsergebnisse herangezogen werden, da die Definitionen sehr präzise sind (zum Beispiel Quartiere kollisionsgefährdeter Arten mit mehr als 50 Individuen). Zum Teil sind die Ausschlussgebiete sehr weitreichend: So wird in Brandenburg auch ein Abstand von regelmäßig genutzten Jagdgebieten empfohlen. In vielen Bundesländern werden nicht explizit dem Fledermausartenschutz gewidmete Ausschlussgebiete empfohlen, in denen Fledermäuse jedoch ebenfalls vermehrt vorkommen können, beispielsweise um Gewässer und Bereiche mit landschaftsprägenden Kuppen und Hangkanten.

Auch Abstandsregelungen sind in fast allen Abhandlungen beinhaltet. Im Normalfall beziehen sie sich auf die Ausschlussgebiete, von denen ein bestimmter Abstand gehalten werden muss. Streng bezüglich der Lebensräume von Fledermäusen sind die Abstandsregelungen vor allem in Brandenburg, wo 2003 erstmals die sogenannten tierökologischen Abstandskriterien definiert wurden (vgl. MUGV 2012), und in Schleswig-Holstein. Insgesamt stellen sich die Abstandsregelungen relativ uneinheitlich und unüberschaubar dar. Es gibt keine bundesweit einheitliche Auffassung, welche Flächen tatsächlich als Ausschlussflächen zu definieren sind, beziehungsweise ob und welche Abstandsregelungen durchzusetzen sind.

Bezüglich der Voruntersuchungen im Rahmen der konkreten Standortplanungen gibt es mittlerweile in mehreren Bundesländern klare Vorgaben. Die Untersuchungskonzepte bestehen im Wesentlichen aus bereits seit langem angewandten Methoden wie Detektorkontrollen und Quartiersuchen. In Brandenburg wird zusätzlich auf die Möglichkeit benachbarte Anlagen zu untersuchen verwiesen, wie es auch im Forschungsvorhaben RENEBAT I empfohlen wird (BRINKMANN et al. 2011b und 2011c). Im Detail unterscheiden sich die Vorgaben in der Regel. In mehreren Abhandlungen wird darauf hingewiesen, dass weitere Vorgaben für Voruntersuchungen notwendig sind beziehungsweise noch folgen werden (zum Beispiel LAND BADEN-WÜRTTEMBERG 2012, mittlerweile veröffentlicht: LUBW 2014).

Einen anderen Weg geht der Freistaat Bayern, wo die Notwendigkeit von Voruntersuchungen einerseits in Frage gestellt wird: Untersuchungen sind hier nur durchzuführen, wenn konkrete Hinweise auf Fledermausvorkommen gegeben sind. Selbst dann kann unter Umständen auf Voruntersuchungen verzichtet werden, sofern sich kein bekanntes Quartier im 1 km-Umkreis befindet und ein Gondelmonitoring durchgeführt wird. Andererseits benennt das Bayerische Landesamt für Umwelt in seinen fachlichen Erläuterungen zum Windkrafteerlass Bayern (LFU 2013) ein differenziertes Konzept der Berücksichtigung von Belangen des Fledermausartenschutzes bei Windkraft-Planungen. Hier werden im Teil „Fragen und Antworten“ unter Punkt 10 („Welche Untersuchungstiefe ist bei Vorkommen von Quartieren der relevanten Arten im 1 km – Radius um den Anlagenstandort erforderlich?“) neben dem Einsatz automatischer Lautaufzeichnungsgeräte „an geeigneten Jagdhabitaten (Lichtungen, Waldränder, Gewässer u.Ä.) und Flugkorridoren (Waldwege, lineare Gehölze, Gewässer u.Ä.)“ auch „regelmäßige Begehungen mit dem Fledermaus-Detektor (...) ergänzt durch Netzfänge, Quartierkontrollen usw.“ genannt (LFU 2013).

Da sich der fachgutachterliche Rat an den Vorhabensträger auch auf Ablehnungsgründe einer Planung erstreckt, muss untersucht werden, ob solche Ablehnungsmerkmale im Untersuchungsraum vorhanden sind, und die Konzeption von Untersuchungen muss im Umkehrschluss sicherstellen, dass solche Ablehnungsmerkmale im Planungsgebiet erkannt oder ausgeschlossen werden können. Hier ist in der Zukunft zu erwarten, dass durch den unterschiedlichen Fokus – zum Beispiel der Ausschlussgebiete⁴ – auch die Blickrichtung der Voruntersuchungen auf eben diese Merkmale⁵ ausgerichtet werden wird.

Auch bei den Empfehlungen zu Betriebsalgorithmen ist eine zeitliche Entwicklung zu beobachten und weiterhin zu erwarten. In den älteren Empfehlungen, die sich mit diesem Thema beschäftigen, ist die Möglichkeit der Einrichtung von Betriebsalgorithmen entweder noch gar nicht genannt oder es sind die Abschaltzeiten nicht genau definiert, wohingegen die neueren Erlasse an Windgeschwindigkeiten und Temperaturen orientierte pauschale Abschaltzeiten sowie die Entwicklung von spezifischen Betriebsalgorithmen vorgeben. Diese Entwicklung ist durch die Forschungsergebnisse unter anderem auch des Forschungsvorhabens RENEBA I zu erklären, in denen der Zusammenhang zwischen Fledermausaktivität in Gondelhöhe und bestimmten Witterungsverhältnissen deutlich geworden ist. Die Entwicklung anlagenspezifischer Betriebsalgorithmen nach BEHR et al. (2011) auf Grundlage der Aktivitätsmessungen an der WEA-Gondel wird in einigen Papieren gefordert. In diesem Zusammenhang werden auch Schwellenwerte für die akzeptierte Anzahl toter Fledermäuse benannt. Einige Bundesländer weisen mit Vorbehalt darauf hin, dass die bisher angewendeten Abschaltalgorithmen für WEA an Offenland-/Halboffenlandstandorten entwickelt wurden und dass diese nicht direkt auf

4 zum Beispiel Windenergieerlass Baden-Württemberg (LAND BADEN-WÜRTTEMBERG 2012): „Zugkonzentrationskorridore von (...) Fledermäusen, bei denen Windenergieanlagen zu einer „signifikanten Erhöhung des Tötungs- oder Verletzungsrisikos“ (...) führen können“

5 zum Beispiel die Erfassung des Zugeschehens der Fledermäuse oder von Populationsgrößen

WEA im Wald übertragbar sind beziehungsweise dass die Auswirkungen von WEA im Wald auf Fledermäuse noch lückenhaft untersucht sind (MULV 2012, LAND SAARLAND 2013, MKULNV/LANUV 2013). In einigen Bundesländern werden keinerlei Vorgaben für Betriebsalgorithmen gemacht oder es wird eine Einstufung der Ergebnisse der Aktivitätsmessungen nach Anzahl der erfassten Rufe (auch in Gondelhöhe) vorgeschlagen, ohne dass diese im Verhältnis zu Wind- und Temperaturdaten auszuwerten sind. Auch hier kann von zukünftigen Überarbeitungen oder Modifikationen der Handreichungen ausgegangen werden, da die Forschungsvorhaben RENEBA I und RENEBA II deutlich belegen, dass sich das Kollisionsrisiko durch die Wechselbeziehung von Aktivität und Witterung definiert.

Ein nachgelagertes Monitoring wird ausschließlich in ab dem Jahr 2011 veröffentlichten Planungsempfehlungen gefordert. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die technischen Möglichkeiten des Gondelmonitorings erst in den letzten Jahren so weiterentwickelt wurden, dass eine Messung der Fledermausaktivität in Gondelhöhe regelmäßig durchgeführt werden kann. So wird beispielsweise in den sehr ausführlichen Empfehlungen des Landesamtes für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein (LANU 2008) das Gondelmonitoring nur im Rahmen von Repowering-Maßnahmen erwähnt. Die relativ neuen Handreichungen der Länder Bayern, Brandenburg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Schleswig-Holstein orientieren sich dagegen an den Ergebnissen des vorhergehenden Forschungsvorhabens RENEBA I (BRINKMANN et al. 2011a), in dem das Gondelmonitoring als Erfassungsmethode inhaltlich ausgestaltet wurde. Dementsprechend wird hier auch die im Forschungsvorhaben RENEBA I für das Gondelmonitoring entwickelte Methodik beschrieben. Nicht immer wird deutlich, ob der Begriff Monitoring synonym für Messungen in Gondelhöhe nach Bau der WEA verwendet wird oder ob das Monitoring standardmäßig auch Nachsuchen beinhalten soll. Grundsätzlich denkbar sind auch weitreichendere Untersuchungen im Rahmen eines Monitorings im Sinne wiederholt durchzuführender, systematischer Erhebungen⁶.

In nur neun Abhandlungen aus immerhin sieben Bundesländern wird das Thema Ausgleichsmaßnahmen für Lebensstättenverlust thematisiert. Oftmals wird jedoch kein differenzierter Neuregelungsbedarf gesehen, da Windenergieanlagen zunächst behandelt werden können wie alle übrigen Eingriffe, für die es bereits etablierte (wenn auch aus fachlicher Sicht nicht immer als unkritisch zu beurteilende) Verfahren gibt. So empfehlen beispielsweise die Länder Brandenburg (MUGV 2011) und Rheinland-Pfalz (MULV 2012) auch die in sonstigen Eingriffsverfahren ebenfalls üblichen Vermeidungs- und Ausgleichsmaßnahmen wie die Schaffung neuer Quartiere und Jagdhabitats. Allerdings zieht die in einigen Bundesländern progressiv praktizierte WEA-Entwicklung vor allem im Wald Eingriffe durch Rodungen nach sich, die vom Umfang her derzeit durch keinen anderen Vorhabens-Typ verursacht werden. Zwar wird selbstredend auch im Rahmen der

6 zum Beispiel zur Bestandsüberwachung einer Fledermausteilpopulation

ordnungsgemäßen Forstwirtschaft gerodet, gleichwohl findet durch WEA-Entwicklung im Wald eine Summierung von Rodungen statt, da Eingriffe in die Wandbestände durch den Bau von WEA die forstwirtschaftlich vorgesehenen Maßnahmen in der Regel nicht ersetzen, sondern ergänzen. Darüber hinaus werden WEA-Rodungsflächen – im Gegensatz zu forstlichen Rodungsflächen – nur zum Teil unmittelbar wiederbewaldet. Eingriffe in Waldbestände werden in der Planungspraxis zwar gemindert oder ausgeglichen, die Maßgabe, dass die Wirksamkeit von Kompensationsmaßnahmen bei Lebensstättenverlust gewährleistet werden soll, wird allerdings oftmals nicht in ganzer Konsequenz beherzigt⁷.

6.2 Workshop mit Vertreterinnen und Vertretern der Landesbehörden

Die Diskussion während des Workshops mit Vertreterinnen und Vertretern der Landesbehörden über aktuelle Regelungen zum Fledermausartenschutz in Planungs- und Genehmigungsverfahren von Windenergieanlagen im Jahr 2013 wurde in großer Tiefe mit einer Vielfalt gut begründeter Auffassungen geführt. Die benannten Punkte machen deutlich, dass durch die große Bandbreite unterschiedlicher Fragestellungen, die im Vorfeld und während des Genehmigungsprozesses zu definieren und zu beantworten sind, die Anforderungen insgesamt und bezüglich Einzelfallprüfungen stetig steigen.

6.2.1 Fachliche Themen der Umsetzung und Anwendung

Es wurde eine große Bandbreite von fachlichen Themen der Umsetzung und Anwendung diskutiert. Ein wichtiger Diskussionspunkt war hier die Frage, ob ein Verzicht auf Voruntersuchungen fachlich sinnvoll und rechtlich möglich ist. Da das Kollisionsrisiko von Fledermäusen auf Grundlage von am Boden stattfindenden Voruntersuchungen nicht abschließend und nuanciert vorhergesagt werden kann und differenzierte Abschaltalgorithmen erst auf Grundlage von Messungen im ersten Betriebsjahr von WEA gezielt entwickelt werden, werden Voruntersuchungen mitunter generell in Frage gestellt. Konsens bestand während des Workshops darüber, dass das Konfliktpotential in Voruntersuchungen generell zu überprüfen ist, um sowohl stark risikoreiche Standorte

⁷ Die fachlichen Erläuterungen zum Windkrafteerlass Bayern (LFU 2013) gehen beispielsweise darauf ein, dass betriebsbedingte Verluste durch Kollisionen durch Maßnahmen im Vorfeld nicht kompensierbar sind (nur Minimierung möglich) und dass für „Quartierverluste am Standort der WEA (...) theoretisch die Sicherung von Altbäumen oder die Anbringung von Fledermauskästen in ausreichender Anzahl als CEF-Maßnahmen in Frage [kommen], wenn diese rechtzeitig vor dem Bau greifen, d. h. von den betroffenen Fledermäusen als alternative Quartiere angenommen worden sind“. Auch der Leitfaden für Hessen (HMUELV/HMWVL 2012) weist darauf hin, dass die „Wirksamkeit festgesetzter CEF- und FCS-Maßnahmen (...) im Rahmen einzelfallbezogener und zeitlich angemessener Erfolgskontrollen vom Vorhabensträger zu dokumentieren“ und „bei Prognoseunsicherheiten ein Monitoring und Risikomanagement erforderlich“ sind. In der derzeitigen Planungspraxis werden gerade diese Vorgaben in der Regel nicht umgesetzt. Waldverlust wird tatsächlich oftmals mit Aufforstung, Waldumbau oder dem Ausbringen von Fledermauskästen begegnet, ohne dass abgewartet wird, ob diese „von den betroffenen Fledermäusen als alternative Quartiere angenommen“ (ebd.) werden, oder mit der Sicherung von alternativen Waldflächen für den Fledermausschutz, ohne zu überprüfen, ob diese für die betroffene Fledermaus-Teilpopulation zu sichernden Bestände bereits als Lebensstätten besetzt sind oder eine Verschiebung der Aktivität tatsächlich stattfindet.

(zum Beispiel aufgrund bedeutender Funktionsräume und Funktionszusammenhänge) als auch das Risikopotential ubiquitärer Standorte (zum Beispiel aufgrund von nachgewiesenen Vorkommen windkraftsensibler Arten) im Vorfeld auszumachen. Es wurde als sinnvoll erachtet, sehr konfliktträchtige Standorte im Vorfeld benennen zu können, um Vorhabensträger umfassend beratend zu informieren. Tenor der Diskussion war, dass Voruntersuchungen sinnvoll und deutlich im Sinne von Investoren sind, da ansonsten möglicherweise unerwartet hohe pauschale Abschaltungen eingehalten werden müssen.

In Voruntersuchungen ist derzeit die Höhenmessung auf Gondelhöhe im Regelfall nur bei bereits bestehenden Anlagen am konkreten Standort (Repowering) oder bei Anlagen im Nahbereich von Neuplanungen umsetzbar. Die Messungen an extra eingerichteten oder mobilen Messmasten sind derzeit kein Standard, werden jedoch aktuell immer häufiger durchgeführt, da sie mit der Erwartung verbunden sind, gute Prognosen zur Fledermausaktivität im Gefährdungsbereich der geplanten Anlagen zu ermöglichen. An bereits für Windmessungen errichteten Messmasten können akustische Erfassungen der Fledermausaktivität mit relativ geringem Aufwand parallel erfolgen. Messmasten allein zum Zweck einer Fledermausuntersuchung werden derzeit aufgrund der hohen Kosten in der Regel nicht errichtet. Hinzu kommt, dass auch anhand von Aktivitätsmessungen an Messmasten derzeit die zu erwartende Fledermausaktivität nach Realisierung der geplanten WEA in Gondelhöhe nur eingeschränkt vorhergesagt werden kann. Daher kann auch an Standorten, an denen in den Voruntersuchungen nur eine geringe Fledermausaktivität festgestellt wurde und demnach ein geringes Kollisionsrisiko prognostiziert wurde, die Erforderlichkeit umfangreicher Abschaltzeiten nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden. Auf Aktivitätsmessungen in Gondelhöhe nach Bau der WEA kann daher auch bei umfassenden Voruntersuchungen derzeit nicht verzichtet werden. In diesem Zusammenhang wurden auch die Schwellenwerte einer pauschalen Abschaltung diskutiert. In vielen Bundesländern werden pauschale Abschaltungen (ggf. im ersten Betriebsjahr) bei Windgeschwindigkeiten von bis zu 6 m/s gefordert. Die Ergebnisse von RENEBAT I zeigten, dass nur 6 % der Aktivität von Fledermäusen im Gondelbereich von WEA bei Windgeschwindigkeiten ≥ 6 m/s stattfand (vgl. BEHR et al. 2011) und dass das Kollisionsrisiko von Fledermäusen bereits bei pauschalen Abschaltungen unter 6 m/s wirksam gemindert werden kann. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die einzelnen Arten gegenüber dem Faktor Windgeschwindigkeit unterschiedlich reagieren. So lässt die Aktivität von Zwergfledermäusen schon bei mittleren Windgeschwindigkeiten stark nach während Rauhhautfledermäuse auch noch bei höheren Windgeschwindigkeiten Aktivität zeigen. In Mecklenburg-Vorpommern wird diskutiert, Voruntersuchungen zu empfehlen und, falls keine Voruntersuchungen stattfinden, eine pauschale Abschaltung bis 6,5 m/s generell festzulegen. Im Saarland werden bei Vorkommen von Abendsegler-Arten und/oder der Rauhhautfledermaus 7 m/s als minderungswirksame Schwelle angenommen (mittlerweile veröffentlicht: LAND SAARLAND 2013).

Ausführlich erörtert wurde auch, wie eventuellen zeitlichen Veränderungen der Fledermausaktivität während der Gesamtbetriebsdauer von WEA begegnet werden kann. Hier stand die Möglichkeit einer Nachregelung von Auflagen über eine turnushafte Validierung von Betriebsalgorithmen auf Rechtsgrundlage des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) im Fokus der Diskussion. In diesem Zusammenhang wurde auch die Entwicklung einer „TA Wind“ angesprochen, die unter Experten bereits im Gespräch ist (vgl. BAG FLEDERMAUSSCHUTZ 2012 – Appell der Entwicklung einer „TA Wind“ (Technische Anleitung zum Betrieb von WEA) mit Regelungen zu Art und Umfang auch der fledermauskundlichen Untersuchungen, die die entscheidungsrelevanten Informationen für die Genehmigung erbringen).

Des Weiteren wurden fachliche Fragen, wie zum Beispiel das unterschiedliche Verhalten von Fledermäusen bezüglich der Flughöhe in den verschiedenen Jahreszeiten in Verbindung mit der Insektenverfügbarkeit, der Umgang mit der ermittelten Anzahl der Rufe in Verbindung mit Temperatur und Windgeschwindigkeit als Maß für eine Risikoschwelle, die Entwicklung naturraumspezifischer Mindestabschaltzeiten oder das bisher nur in Ansätzen realisierte Artenmonitoring in den Bundesländern und die in weiten Teilen der Bundesrepublik fehlenden Bewertungsgrundlagen diskutiert.

Bei vielen Fragen konnte auf aktuelle Ergebnisse des laufenden Forschungsvorhabens RENEBAAT II oder auf Länderempfehlungen hingewiesen werden, die ganz aktuell die Ergebnisse des Forschungsvorhabens RENEBAAT I und zum Teil auch bereits von RENEBAAT II für die Praxis aufbereiten (zum Beispiel Fachliche Erläuterungen zum Windkrafteerlass Bayern, Leitfäden der Bundesländer Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland).

Einige Punkte aus den fachlich und an der Umsetzung orientierten Diskussionen wurden aufgenommen, um relevante Fragestellungen in eine weitere Phase des Forschungsvorhabens (RENEBAAT III) zu übertragen, zum Beispiel die Überprüfung der Variabilität der Fledermausaktivität zwischen verschiedenen Jahren oder in verschiedenen Naturräumen und die wiederholte Beprobung von Anlagen nach einem zeitlich größeren Abstand sowie die Bereitstellung einer Software zur Berechnung der spezifischen Abschaltalgorithmen.

6.2.2 Strategische Themen der Anwendung

Bei den strategischen Themen der Anwendung war in der Diskussion ein Spannungsbogen zwischen dem Wunsch nach fachlich untermauerten, verbindlichen Vorgaben und Bewertungsgrundlagen auf der einen Seite und zu Möglichkeiten zur Regelung naturraum- und länderspezifischer Besonderheiten auf der anderen Seite deutlich erkennbar.

Viele fachlich begründete Anforderungen sind in den Bundesländern in empfehlende Leitfäden gefasst. Gleichwohl sind die politischen Vorgaben zur Regelung der Flächeninteressen und zur damit verbundenen Abschichtung von planerischen Fragestellungen in den einzelnen Bundesländern durchaus unterschiedlich. So bestehen ähnliche Empfehlungen für die drei Länder Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland, aber in Hessen liegt ein Schwerpunkt der räumlichen Entwicklung auf der Regionalplanung, während in Rheinland-Pfalz die Verlagerung der Entscheidung zur Windkraftentwicklung auf die kommunale Ebene stattgefunden hat. Auch in Baden-Württemberg wurde die Frage der Standortvorklärung mit Neuregelung der Regionalplanung zu Beginn des Jahres 2013 auf die kommunale Bauleitplanung, insbesondere auf die Flächennutzungsplanung, verlagert. Für ein stimmiges Konzept auf Landesebene muss jedoch eine Abschichtung über die Gesamtdauer des Planungsprozesses standhalten. So muss in Nordrhein-Westfalen schon auf Ebene der Ausweisung von Vorrangzonen der Regionalplanung sichergestellt werden, dass dort tatsächlich wirtschaftlich zu betreibende Anlagen errichtet werden können. Daraus resultiert eine Anpassung der Einschätzung von Risikopotentialen auf die verschiedenen Planungsebenen. Dafür müssen die verfügbaren Datengrundlagen aber auch bereits für die Raumordnung und selbst für die Ebene der Flächennutzungsplanung von solcher Qualität sein, dass eine im Verfahren haltbare Abschichtung gelingt. In diesem Zusammenhang wurde auch diskutiert, ob bundeseinheitliche Ausschlussgebiete und Abstandsflächen die Planung vereinfachen können.

In einigen Bundesländern ist der Artenschutz in den einzelnen Genehmigungsverfahren sehr in den Vordergrund gerückt, da raumordnerische Vorgaben zur Standortvorklärung fehlen. Unklar ist, wie mit den empfohlenen oder festgesetzten Abständen von bestimmten Fledermausquartieren, die bisher den Ausgangspunkt der Abstandsradien bilden, umgegangen werden wird, wenn beispielsweise Raumnutzungsanalysen zeigen, dass eine Fledermaus-Kolonie einige Bereiche innerhalb des Abstandsradius nicht in dem Maße nutzt, dass ihnen eine essentielle Bedeutung zugesprochen werden kann. Gegebenenfalls werden zukünftig einzuhaltende Abstände stärker fachlich gefestigt und an Habitatelementen und tatsächlich genutzten Funktionsräumen festgemacht werden. Dieses Vorgehen wurde bereits in frühen, fachlich geprägten Veröffentlichungen gefordert (zum Beispiel BACH et al 1999), wurde dann allerdings zunächst durch in der behördlichen Genehmigungspraxis pragmatisch handhabbare pauschale Abstandsmaße überlagert, da fachliche Abstände nur durch umfangreiche Untersuchungen zur Betroffenheit und Raumnutzung einzelner Arten ermittelt werden können. Derzeit kommt die umfangreiche Ermittlung der Raumnutzung einzelner Arten wieder neu zum Tragen, falls artenbezogene Abstandsmaße nicht pauschal akzeptiert werden (zum Beispiel 5 km-Radius um Quartiere der Mopsfledermaus in Hessen, Rheinland-Pfalz und im Saarland).

Es stellt sich derzeit die Frage, ob die Unterschiede zwischen der faunistischen und naturräumlichen Ausstattung und den Flächenzielen in den einzelnen Bundesländern einheitliche Regelungen erfordern oder zu groß für einheitliche Empfehlungen sind. Zum Zeitpunkt des Workshops lagen beispielsweise in Nordrhein-Westfalen aus vielen Landkreisen separate Empfehlungspapiere zu Methoden vor, was notgedrungen diffizile Zustände in der Antrags- und Genehmigungspraxis nach sich zieht. Diesen wurde mit den zur Zeit des Workshops angestrebten und mittlerweile veröffentlichten empfehlenden Regelungen für Nordrhein-Westfalen entgegengewirkt (MKULNV/LANUV 2013). Auf Ebene der verschiedenen Bundesländer sind derzeit ebenfalls zum Teil große Unterschiede vorhanden.

Mehrheitlich wurden im Rahmen des Workshops Wege zur Vereinheitlichung, die auch dem Charakter des BImSchG gerecht werden, begrüßt. Hier wurde die oben genannte „TA Wind“ ebenso aufgegriffen, wie die Möglichkeit, dass unter Regie eines Bundesamtes (zum Beispiel des Bundesamtes für Naturschutz) Konventionsvorschläge erarbeitet werden. Insgesamt wurde von den Teilnehmenden des Workshops bekräftigt, dass vor allem klare Regelungen Verfahren verkürzen und die Akzeptanz derselben steigern können.

6.2.3 Qualitätssicherung

Die Fragen der Qualitätssicherung bezogen sich in der Diskussion vor allem darauf, dass sich in der derzeit angestrebten Praxis eines komplexen Gefüges aus Voruntersuchungen und nachgelagerten Erhebungen sowie in der Anwendung von spezifischen algorithmischen Abschaltungen hohe fachliche Anforderungen manifestieren, die ein umfangreiches Expertenwissen und ein etabliertes Expertenwesen erfordern. Eine enge Abstimmung zwischen Behörden und Gutachtern wurde als sehr wichtig erachtet. Sowohl für Vollzugsbehörden als auch für Gutachter wurde die spezifische Weiterbildung und das Auffüllen von Wissensdefiziten anhand der neuesten Ergebnisse der Forschungsvorhaben RENEBAT I und RENEBAT II als zielführend für eine der Komplexität des Themas angemessene und dennoch pragmatische Planungs- und Genehmigungspraxis angesehen. Gerade auch die unteren Behörden müssen in den Bundesländern, in denen der Artenschutz und die Standortprüfung auf die Ebene der Landkreise und teilweise auch Kommunen verlagert wurden, ihre hausinternen Kompetenzen stärken. Derzeit wird auf der einen Seite gerade bei den Unteren Naturschutzbehörden zu wenig fachliches Wissen und vor allem zu wenig Personal gesehen, um entsprechend komplexe Anträge vertieft genug bearbeiten und beurteilen zu können, behördliche Entscheidungen gegebenenfalls auch vor Gericht durchzusetzen oder die Einhaltung von Auflagen zu überprüfen. Fachbüros müssen auf der anderen Seite in der Lage sein, fachlich untermauerte Ergebnisse von Voruntersuchungen und betriebsbegleitenden Erhebungen zu liefern. Eine Zertifizierung von Gutachtern wurde als Möglichkeit benannt, die Qualität und Unabhängigkeit

der fachgutachterlichen Beurteilungen zu sichern. Als weitere Möglichkeit wurde diskutiert, dass die Abschaltzeiten sowie die gemessene Aktivität von behördlich anerkannten Sachverständigen dokumentiert werden, da das Sachverständigenwesen im BImSchG bereits verankert ist. Auch das überregionale Sammeln der Daten von Monitorings und die länderübergreifende Auswertung dieser Daten wurde angeregt, sodass Instrumente zur Prüfung der Auflagen auf Grundlage der derzeit durchführbaren technischen Kontrollmöglichkeiten, zum Beispiel über ein Internet-Tool, nicht in jedem Bundesland neu erdacht und entwickelt werden müssen. Die Bundesarbeitsgruppe Fledermausschutz im NABU (BAG FLEDERMAUSSCHUTZ 2012) fordert bereits von fachlicher Seite, dass alle erhobenen Daten zu Totfunden und akustischem Monitoring in eine bundesweite Datenbank eingepflegt werden, um so den Erkenntnisstand auf Dauer verbessern zu können.

6.3 Ausblick

Insgesamt kommt der Kommunikation der Ergebnisse der Forschungsvorhaben RENE-BAT I und RENE-BAT II auch weiterhin eine wichtige Rolle zu.

Neben der Möglichkeit, einen regelmäßigen, fachlich geprägten Austausch von Vertreterinnen und Vertretern der einzelnen Bundesländer zum Themenbereich Fledermausartenschutz und Windenergie-Entwicklung zu etablieren, können auch regelmäßig angebotene themenbezogene Workshops mit offenem Teilnehmerkreis den Knowhow-Transfer fördern. Denkbar sind auch Fortbildungen, die über Architekten- und Ingenieurskammern oder über verwaltungsnahen Einrichtungen wie beispielsweise das Deutsche Institut für Urbanistik (Difu) oder Einrichtungen der Deutschen Akademie für Städtebau und Landesplanung e.V. (DASL) angeboten werden.

Der länderübergreifenden Zusammenführung von Monitoring-Daten als Grundlage für die Bewertung von akustisch gewonnenen Aktivitätswerten wird in der Zukunft eine wichtige Rolle zukommen. Ob dies über eine federführende Bundesbehörde oder durch eine andere Einrichtung oder Institution wahrgenommen wird, wird sich vor allem an der Frage der Akzeptanz sowohl von Fachkreisen als auch von Seiten der Vorhabensträger entscheiden.

Eine bundesweite Verständigung auf einzelne Leitlinien oder zumindest eine enge Abstimmung der Bundesländer wird als dringend erforderlich gesehen. Gänzlich fehlt derzeit beispielsweise eine einheitliche Regelung zur grundlegenden Frage, in welcher Höhe Verluste von Fledermaus-Individuen fledermausfachlich und artenschutzrechtlich

akzeptiert werden können⁸. Mit Hilfe von differenzierten Betriebsalgorithmen sind Minderungen auf eine sehr niedrige Schwelle von Kollisionsopfern möglich.

Die unterschiedliche Handhabung der Schwellenwerte in den einzelnen Bundesländern ziehen unmittelbar wirksame Wettbewerbs-Vor- oder -Nachteile für Windkraftentwickler nach sich. Durch die im Rahmen der Forschungsvorhaben RENEBA I und RENEBA II geschaffene Möglichkeit der Justierung von zu erwartenden Fledermaus-Schlagopfern ist es zumindest möglich, sich bundesweit darauf zu verständigen welche Schwellenwerte für die Anzahl toter Fledermäuse je Anlage und Jahr den Grundgedanken und die Zielrichtung der Artenschutzgesetzgebung angemessen umsetzen.

7 Literatur

- ARBEITSGEMEINSCHAFT FLEDERMAUSSCHUTZ (AGF) Baden-Württemberg: Ausbau der Windkraft in Baden-Württemberg. Positionspapier der Arbeitsgemeinschaft Fledermausschutz Baden-Württemberg, beschlossen am 31.03.2012. 5 S. <http://www.agf-bw.de/download/Positionspapier%20der%20AGF%20BW%20zum%20Ausbau2012.pdf> (abgerufen 10.02.2014)
- ARBEITSKREIS FLEDERMAUSSCHUTZ (AKF) Rheinland-Pfalz (ohne Jahr): Windenergieanlagen im Wald. Forderungen des Arbeitskreises Fledermausschutz Rheinland-Pfalz zum Untersuchungsumfang. 11 S. http://www.fledermausschutz-rlp.de/Stellungnahme_AKF_RLP_WEA_im_Wald_neu.pdf (abgerufen 11.01.2013)
- ARBEITSKREIS FLEDERMAUSSCHUTZ (AKF) Rheinland-Pfalz (2007): Notwendiger Untersuchungsumfang Fledermausfauna bei der Planung von WEA. Stellungnahme des Arbeitskreises Fledermausschutz Rheinland-Pfalz. 2 S. <http://home.rhein-zeitung.de/~rreifenr/Downloadfiles/AnforderungenWEAUntersuchung.pdf> (abgerufen 10.02.2014)
- BACH, L., BRINKMANN, R., LIMPES, H., RAHEL, 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.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (LFU) (2013): Fachliche Erläuterungen zum Windkrafteerlass Bayern - Verringerung des Kollisionsrisikos durch fledermausfreundlichen Betrieb der Anlagen, Februar 2013, 30 S. In Verbindung mit: Fachliche Erläuterungen zum Windkrafteerlass Bayern; Fledermäuse – Fragen und Antworten, April 2013, 20 S. http://www.naturschutzplanung.de/docs/Leitfaden_Fledermaeuse_Windkrafteerlass_By_2013_Lauris.pdf (abgerufen 20.01.2014) und http://www.naturschutzplanung.de/docs/FAQ_Fledermaeuse_Windkrafteerlass_Bayern_2013_Lauris.pdf (abgerufen 20.01.2014).

⁸ Am aktuellsten greift der Leitfaden zur Umsetzung des Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen in Nordrhein-Westfalen (MKULNV/LANUV 2013) das Thema nach derzeitigem Stand auf, denn er besagt, dass die „Festlegung des Abschalt-Algorithmus (...) berücksichtigen [muss], dass betriebsbedingte Tötungen auf unvermeidbare Verluste von Einzelindividuen begrenzt werden“.

- BEHR, O., BRINKMANN, R., NIERMANN, I., KORNER-NIEVERGELT, F. (2011): Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 177-286.
- BRINKMANN, R., BEHR, O., NIERMANN, I., REICH, M. (Hrsg.) (2011a): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. - Umwelt und Raum Bd. 4, Cuvillier Verlag, Göttingen.
- BRINKMANN, R., BEHR, O., KORNER-NIEVERGELT, F., MAGES, J., NIERMANN, I., REICH, M. (2011b): Zusammenfassung der praxisrelevanten Ergebnisse und offenen Fragen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 425-457.
- BRINKMANN, R., F. KORNER-NIEVERGELT, O. BEHR UND I. NIERMANN (2011c): Darf bezüglich des Kollisionsrisikos von einer Windenergieanlage auf bestehende oder geplante Anlagen in der Umgebung geschlossen werden? - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 406-424.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BfN) (2011): Windkraft über Wald - Positionspapier des Bundesamtes für Naturschutz, Juli 2011. 8 S. http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/bfn_position_wea_ueber_wald.pdf (abgerufen 20.01.2014)
- BUNDESARBEITSGRUPPE FLEDERMAUSSCHUTZ IM NABU (BAG Fledermausschutz) (2012): Ergebnisse des Expertenworkshops „Windkraft und Fledermäuse“, 6. Feb. 2012. 6 S. http://www.agf-bw.de/download/Expertenpapier-WEA_im_Wald.pdf (abgerufen 10.02.2014)
- BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (2011): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. 28. September 2010. 32 S. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energiekonzept_bundesregierung.pdf (abgerufen 27.01.2014)
- BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (2014): Eckpunkte für die Reform des EEG. 21. Januar 2014 (Kabinettsbeschluss vom 22. Januar 2014). 13 S. <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/eeg-reform-eckpunkte,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (abgerufen 27.01.2014)
- EUROPEAN COMMISSION (EC) (2010): EU Guidance on wind energy development in accordance with the EU nature legislation. 116 S. http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/Wind_farms.pdf (abgerufen 20.01.2014)

- deutsche Fassung als Leitfaden (Kurzfassung) unter: http://ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/Windfarm_leaflet_de.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- FREIE UND HANSESTADT HAMBURG (2010): Ausschlussgebiete für Windkraftanlagen in Hamburg. 1 S. <http://www.hamburg.de/contentblob/2642064/data/f-xx-xx-wind-energieanlagen-ausschlussgebiete.pdf> (abgerufen 20.01.2014)
- FREISTAAT BAYERN (2011): Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA). Gemeinsame Bekanntmachung der Bayerischen Staatsministerien des Innern, für Wissenschaft, Forschung und Kunst, der Finanzen, für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, für Umwelt und Gesundheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten vom 20. Dezember 2011. 65 S. <http://www.gesetze-bayern.de/jportal/docs/anlage/vvby/pdf/2129.1-UG-448-A001.pdf> (abgerufen 20.01.2014).
- FREISTAAT SACHSEN - STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT (SMUL) (2001): Windleitfaden - Leitfaden zur Genehmigung von Windkraftanlagen im Freistaat Sachsen. 34 S. http://www.iwr.de/wind/raum/ro_prog/sachs2001.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- FREISTAAT THÜRINGEN (1995): Handlungsempfehlung für die Fortschreibung der Regionalpläne zur Ausweisung von Vorranggebieten „Windenergie“, die zugleich die Wirkung von Eignungsgebieten haben. 21 S. http://www.naturschutzstandards-erneuerbarer-energien.de/images/literatur/thueringen_handlungsempfehlung-ausweisung%5B1%5D.pdf (abgerufen 11.01.2013).
- HÖTKER, H., THOMSEN, K. M., KÖSTER, H. (2005): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und Fledermäuse – Fakten, Wissenslücken, Anforderungen an die Forschung, ornithologische Kriterien zum Ausbau von regenerativen Energiegewinnungsformen. BfN-Skripten, Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), 142 S.
- INSTITUT FÜR TIERÖKOLOGIE UND NATURBILDUNG (ITN) (2012): Gutachten zur landesweiten Bewertung des hessischen Planungsraumes im Hinblick auf gegenüber Windenergienutzung empfindliche Fledermausarten. Gutachten im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung.
- LAND BADEN-WÜRTTEMBERG (2012): Windenergieerlass Baden-Württemberg. Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, des Ministeriums für Verkehr und Infrastruktur und des Ministeriums für Finanzen und Wirtschaft vom 09. Mai 2012. 51 S. <http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/94185/Windenergieerlass.pdf?command=downloadContent&filename=Windenergieerlass.pdf> (abgerufen 20.01.2014).
- LAND HESSEN (2010): Handlungsempfehlungen des Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung und des

- Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz zu Abständen von raumbedeutsamen Windenergieanlagen zu schutzwürdigen Räumen und Einrichtungen. 4 S. http://www.landesplanung-hessen.de/wp-content/uploads/2011/01/Handlungsempfehlung_Windenergieanlagen_Staatsanzeiger_Nr_22_2010.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- LAND HESSEN - HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ MIT DEM HESSISCHEN MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, VERKEHR UND LANDESENTWICKLUNG (HMUELV/HMWVL) (2012): Leitfaden - Berücksichtigung der Naturschutzbelange bei der Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA) in Hessen vom 29. November 2012, 76 S. http://verwaltung.hessen.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp_CMReader/HMULV_15/HMULV_Internet/med/22d/22d50f77-9a60-6b31-f012-f312b417c0cf,22222222-2222-2222-2222-222222222222 (abgerufen 20.01.2014)
- LAND NORDRHEIN-WESTFALEN (2011): Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung (Windenergie-Erlass) vom 11.07.2011. Gemeinsamer Runderlass des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Az. VIII2 - Winderlass) und des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen (Az. X A 1 – 901.3/202) und der Staatskanzlei des Landes Nordrhein-Westfalen (Az. III B 4 – 30.55.03.01). 46 S. http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/windenergie_erlass.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- LAND RHEINLAND-PFALZ (2013): Hinweise für die Beurteilung der Zulässigkeit der Errichtung von Windenergieanlagen in Rheinland-Pfalz (Rundschreiben Windenergie); Gemeinsames Rundschreiben des Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung, des Ministeriums der Finanzen, des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten und des Ministeriums des Innern, für Sport und Infrastruktur Rheinland-Pfalz vom 28. Mai 2013. 51 S. <http://www.mwkel.rlp.de/icc/c/File/Rundschreiben-28-05-2013-pdf/> (abgerufen 20.01.2014).
- LAND SAARLAND (ohne Jahr): Pufferabstände um Ausschlussflächen der Windpotenzialstudie. 4 S. http://geoportal.lkvk.saarland.de/abgabe_gdz/Web_Dokumente/Windpotenzial/Anlage_I_Ausschlussflaechen.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- LAND SAARLAND (2013): Leitfaden zur Beachtung artenschutzrechtlicher Belange beim Ausbau der Windenergienutzung im Saarland - betreffend die besonders relevanten Artengruppen der Vögel und Fledermäuse. 112 S. http://www.saarland.de/dokumente/thema_naturschutz/Leitfaden_Artenschutz_Windenergie_Schlussfassung_19Juni2013.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- LAND SCHLESWIG-HOLSTEIN (2012): Grundsätze zur Planung von und zur Anwendung der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung bei Windkraftanlagen. Gemeinsamer

Runderlass der Staatskanzlei, des Innenministeriums, des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume und des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit, Verkehr und Technologie vom 26. November 2012. Amtsbl. Schl.-H. 2012 S. 1352. <http://www.gesetze-rechtsprechung.sh.juris.de/jportal/?quelle=jlink&query=VVSH-2320.7-StK-20121226-SF&psml=bssshoprod.psml&max=true> (abgerufen 20.01.2014).

LANDESAMT FÜR NATUR UND UMWELT DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (LANU) (2012): Empfehlungspapier ohne Titel zu Voraussetzungen für eine erforderliche Abschaltung von Windenergieanlagen vom 15. Dezember 2012. Papier zur Verfügung gestellt durch das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (14.01.2013).

LANDESAMT FÜR NATUR UND UMWELT DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (LANU) (2008): Empfehlung zur Berücksichtigung tierökologischer Belange bei Windenergieplanungen in Schleswig-Holstein. 93 S. <http://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/windenergie/windenergie.pdf> (abgerufen 20.01.2014).

LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT (LUGW) Rheinland-Pfalz (2010): Naturschutzfachliche Aspekte, Hinweise und Empfehlungen zur Berücksichtigung von avifaunistischen und fledermausrelevanten Schwerpunkträumen im Zuge der Standortkonzeption für die Windenergienutzung im Bereich Rheinhessen-Nahe. Fachgutachten, 14.10.2010. 61 S. <http://www.luwg.rlp.de/Service/Downloads/Naturschutz/binarywriterservlet?imgUid=c5e13189-8f54-e217-e079-7d5defa5a20a&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111&isDownload=true> (abgerufen 11.01.2013)

LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (LUBW) (2014): Hinweise zur Untersuchung von Fledermausarten bei Bauleitplanung und Genehmigung für Windenergieanlagen. 39 S.

LANDESARBEITSGRUPPE FLEDERMAUSSCHUTZ IM NABU HESSEN (AGFH) (2012): Anforderungen bei Planung, Standort und Betrieb von Windkraftanlagen zum Schutz der Fledermäuse, Stand: 23.10.2012. Veröffentlicht in den AGFH News Ausgabe 5 - Oktober 2012. http://www.yearofthebat.org/webedit/uploaded-files/All%20Files/AGFHNewsletter_Ausgabe5_Okt2012.pdf (abgerufen 10.02.2014)

MINISTERIUM FÜR ARBEIT, BAU UND LANDESENTWICKLUNG (MABL) Mecklenburg-Vorpommern (2006): Richtlinie zum Zwecke der Neuaufstellung, Änderung oder Ergänzung regionaler Raumentwicklungsprogramme. Anlage 3: Hinweise zur Ausweisung von Eignungsgebieten für Windenergieanlagen. <http://www.trm.dk/~media/files/publication/2011/vindmoellers-afstand-til-overordnede-veje-og-jernbaner/anlage-3-der-rl-11-07-06.pdf> (abgerufen 10.04.2012).

MINISTERIUM FÜR ENERGIE, INFRASTRUKTUR UND LANDESENTWICKLUNG (MEIL) Mecklenburg-Vorpommern (2012): Anlage 3 der Richtlinie zum Zwecke der Neuaufstellung, Änderung und Ergänzung Regionaler Raumentwicklungsprogramme

- in Mecklenburg-Vorpommern vom 22.05.2012 - Hinweise zur Festlegung von Eignungsgebieten für Windenergieanlagen. http://www.regierung-mv.de/cms2/Regierungsportal_prod/Regierungsportal/de/vm/Themen/Landes- und Regionalentwicklung/Windenergie/index.jsp (abgerufen 20.01.2014): http://service.mvnet.de/_php/download.php?datei_id=56723 (abgerufen 20.01.2014).
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ (MKULNV) des Landes Nordrhein-Westfalen (2012): Leitfaden: Rahmenbedingungen für Windenergieanlagen auf Waldflächen in Nordrhein-Westfalen. 65 S. http://www.umwelt.nrw.de/klima/pdf/leitfaden_wind_im_wald.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES UND LANDESAMT FÜR NATUR, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ NORDRHEIN-WESTFALEN (MKULNV/LANUV) (2013): Leitfaden Umsetzung des Arten- und Habitatschutzes bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen in Nordrhein-Westfalen vom 12. November 2013, 53 S. http://www.naturschutzinformationen-nrw.de/artenschutz/web/babel/media /20131112_nrw_leitfaden_windenergie_artenschutz.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE UND VERKEHR (MUEV) Saarland (2012): Leitfaden zur Windenergienutzung im Saarland, 16. Januar 2012, 32 S. http://www.saarland.de/dokumente/thema_energie/Leitfaden_Windenergie_Saarland_17012012_end.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (MUGV) Brandenburg (2011): Beachtung naturschutzfachlicher Belange bei der Ausweisung von Windeignungsgebieten und bei der Genehmigung von Windenergieanlagen. Erlass des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. 5 S. http://www.mugv.brandenburg.de /sixcms/media.php/4055/erl_windkraft.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (MUGV) Brandenburg (2012): Tierökologische Abstandskriterien für die Errichtung von Windenergieanlagen in Brandenburg, Stand: 15.10.2012, 13 S. http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/tak_anl1.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, VERBRAUCHERSCHUTZ, WEINBAU UND FORSTEN (MULV) Rheinland-Pfalz (2012): Naturschutzfachlicher Rahmen zum Ausbau der Windenergienutzung in Rheinland-Pfalz – Artenschutz (Vögel, Fledermäuse) und NATURA 2000-Gebiete. 145 S. http://www.mulewf.rlp.de/fileadmin/mufv/img/inhalte/natur/Gutachten-Windenergienutzung_in_RLP_13.09.12.pdf (abgerufen 20.01.2014).

- NATURSCHUTZBUND BADEN-WÜRTTEMBERG E.V. UND BUND FÜR UMWELT UND NATURSCHUTZ DEUTSCHLAND BADEN-WÜRTTEMBERG E.V. (NABU/BUND BaWü) (2011): Hintergrund von BUND und NABU: Ausbau der Windkraft in Baden-Württemberg. 8 S. http://baden-wuerttemberg.nabu.de/imperia/md/content/baden-wuerttemberg/positionspapiere/2011-11-24_stlgn_nabu-bund_lplang_windkraft_hp.pdf (abgerufen 10.02.2014)
- NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND (NABU) e.V. (2011): Naturverträglicher Ausbau der Windenergie – Handlungsbedarf und Leitlinien für die weitere Entwicklung in Deutschland. Hintergrundpapier des NABU-Bundesverbands. 18 S. http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/wind/110317_nabu-hintergrund-windenergie.pdf (abgerufen 10.02.2014)
- NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND LANDESVERBAND NORDRHEIN-WESTFALEN E.V. (NABU NRW) (2010): Position des NABU-Nordrhein-Westfalen zum Ausbau der Energiegewinnung aus Wind und Biomasse. 5 S. http://nrw.nabu.de/imperia/md/content/nrw/stellungnahmen/nabu_position_zum_ausbau_der_erneuerbaren_energien.pdf (abgerufen 10.02.2014)
- NIEDERSÄCHSISCHER LANDKREISTAG E.V. (NLT) (2011): Arbeitshilfe Naturschutz und Windenergie Hinweise zur Berücksichtigung des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie zur Durchführung der Umweltprüfung und Umweltverträglichkeitsprüfung bei Standortplanung und Zulassung von Windenergieanlagen (Stand: Oktober 2011). 35 S. http://www.nlt.de/pics/medien/1_1320062111/Arbeitshilfe.pdf (abgerufen 20.01.2014).
- RODRIGUES, L., BACH, L., DUBOURG-SAVAGE, M.-J., GOODWIN, J., HARBUSCH, C. (2008): Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Windenergieprojekten. EUROBATS; Publication Series No. 3 (deutsche Fassung). UNEP/EUROBATS Sekretariat, Bonn, Deutschland, 57 S. http://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/publications/publication_series/pubseries_no3_german.pdf (abgerufen 10.02.2014).
- RUNGE, H., SIMON, M., WIDDIG, T. (2009): Rahmenbedingungen für die Wirksamkeit von Maßnahmen des Artenschutzes bei Infrastrukturvorhaben, FuE-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz - FKZ 3507 82 080, (unter Mitarb. von: Louis, H. W., Reich, M., Bernotat, D., Mayer, F., Dohm, P., Köstermeyer, H., Smit-Viergutz, J., Szeder, K.). 97 S. + Anhänge. Hannover, Marburg.
- STAATLICHE NATURSCHUTZVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (2006): Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse: Ergebnisse aus dem Regierungsbezirk Freiburg mit einer Handlungsempfehlung für die Praxis. 20 S. http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/bfn_position_waueber_wald.pdf (abgerufen 20.01.2014).

TRAPP, H., FABIAN, D., FÖRSTER, F., ZINKE, O. (2002): Fledermausverluste in einem Windpark der Oberlausitz. Naturschutzarbeit in Sachsen 44: 53-56.

Leitfaden zur Durchführung einer akustischen Aktivitätserfassung an Windenergieanlagen und zur Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen

OLIVER BEHR, RALPH SIMON, MARTINA NAGY

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Sensorik, Erlangen

Inhalt

1	Einleitung	318
2	Vorbereitende Arbeiten für die akustische Aktivitätserfassung im Gondelbereich einer WEA.	319
2.1	Rechtliche Voraussetzungen für die Arbeit in Gondeln von WEA	319
2.2	Auswahl und Instandsetzung der Detektortechnik	320
3	Durchführung der Aktivitätserfassung.	324
4	Rufanalyse und Datenvoraussetzungen	326
4.1	Automatische Rufanalyse	326
4.2	Manuelle Prüfung der automatischen Rufanalyse	329
4.3	Notwendige Plausibilitätsprüfungen	330
5	Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen	337
5.1	Vorgehensweise	337
5.2	Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen.	339
6	Danksagung	362
7	Literatur.	363
8	Anhang	364

1 Einleitung

Im Rahmen von zwei bundesweiten Forschungsvorhaben (BRINKMANN et al. 2011; BEHR et al. 2015 – im Folgenden als „RENEBAT I“ und „RENEBAT II“ bezeichnet) wurde ein Modell entwickelt, mit dem sich die Zahl der zu erwartenden Fledermaus-Schlagopfer an einer Windenergieanlage (WEA) in einer Nacht aus der Zahl der akustischen Aufnahmen von Fledermausrufen in Gondelhöhe und der Windgeschwindigkeit schätzen lässt (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011; KORNER-NIEVERGELT et al. 2013). Mit diesem Modell kann, basierend auf den Daten einer akustischen Aktivitätserfassung, geprüft werden, ob der Schwellenwert für die durchschnittliche Zahl jährlich getöteter Fledermäuse an einer Anlage überschritten wird. In mehreren Ländererlassen wurde dieser Schwellenwert z. B. bei zwei Tieren festgelegt (z. B. Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland). Eine Übersicht über die Handlungsempfehlungen der einzelnen Länder findet sich bei MAYER et al. 2015.

Nach dem momentanen Forschungsstand sind zeitweise Abschaltungen die einzige wirksame Methode zur Verringerung des Kollisionsrisikos¹ von Fledermäusen mit WEA (ARNETT et al. 2013). Abschaltzeiten orientieren sich gewöhnlich an der Jahres- und Nachtzeit, Windgeschwindigkeit und Temperatur. BEHR et al. (2011b) haben eine Methode zur Berechnung anlagenspezifischer Betriebsalgorithmen entwickelt. Basierend auf den Daten einer akustischen Aktivitätserfassung während eines Jahres an der Gondel einer Windenergieanlage kann ein dem spezifischen Aktivitätsniveau an dieser Anlage angepasster fledermausfreundlicher Betrieb umgesetzt werden. Gegenüber einer pauschalen Abschaltung, wie sie in Genehmigungen der letzten Jahre häufig vorsorglich festgesetzt wurde, können dadurch bei gleichem positiven Effekt für Fledermäuse die Abschaltzeiten und -kosten in nahezu allen Fällen verringert werden. Auch wenn die Möglichkeit besteht, durch fledermausfreundlichen Betrieb das Kollisionsrisiko zu senken, kommt einer geschickten Standortwahl auf Basis umfassender Voruntersuchungen eine hohe Bedeutung zu: An Standorten mit geringer Fledermausaktivität sind auch nur geringe Abschaltzeiten notwendig.

Im Folgenden möchten wir die notwendigen Voraussetzungen und Arbeiten für die Durchführung einer akustischen Fledermausaktivitätserfassung im Gondelbereich von WEA beschreiben, sowie eine Anleitung bieten zur Analyse der gewonnenen Aktivitätsdaten. Diese detaillierte Beschreibung soll Gutachtern als Hilfestellung zur Planung und Durchführung einer solchen akustischen Aktivitätserfassung sowie der anschließenden Berechnung von Betriebsalgorithmen dienen.

Die notwendigen Arbeiten lassen sich in vier Teilaufgaben unterteilen:

¹ Unter Kollisionsrisiko verstehen wir hier alle Umstände, unter denen sich Fledermäuse an WEA verletzen oder zu Tode kommen können.

1. Vorbereitende Arbeiten zur Installation der Detektortechnik (i.e. Instandsetzung der Detektoren und die notwendigen Schulungen, die Gutachtern die Arbeit in der Gondel von WEA erlauben)
2. Durchführung der akustischen Erfassung mit Aufbau der Detektoren und Wartung der Detektortechnik in den Gondeln
3. Rufanalyse und verschiedene Prüfungen zu Datenvoraussetzungen
4. Berechnung anlagenspezifischer Abschaltalgorithmen.

Seit Mai 2014 steht das Software-Tool ProBat auf der Website <http://windbat.techfak.fau.de> der durch das BMU finanzierten Forschungsvorhabens zur Verfügung. ProBat vereinfacht die Ermittlung des Aktivitätsniveaus aus den Felddaten und die darauf aufbauende Erstellung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen stark. Die von ProBat durchgeführten Berechnungen entsprechen den in diesem Leitfaden dargestellten Schritten zur Erstellung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen.

2 Vorbereitende Arbeiten für die akustische Aktivitätserfassung im Gondelbereich einer WEA

2.1 Rechtliche Voraussetzungen für die Arbeit in Gondeln von WEA

Üblicherweise sind Gutachter beim Einbau, Abbau sowie bei Wartungsarbeiten bzw. beim Speicherkartentausch der Detektoren in den Gondeln der WEA anwesend und führen Teile der Arbeiten selbst durch. Um Arbeiten in den Gondeln der WEA durchführen zu können, sind im Vorhinein eine Reihe von Untersuchungen und Schulungen notwendig. Wir geben hier beispielhaft einige der häufigen Anforderungen wieder. Die im konkreten Fall notwendigen Schritte sind jeweils mit dem Betreiber und dem Hersteller der WEA abzuklären. Für Arbeiten mit Absturzgefahr ist z. B. die Tauglichkeit der Person durch eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung (G 41) festzustellen. Abhängig vom Alter der Person müssen alle 12 bis 36 Monate Nachuntersuchungen durchgeführt werden. Weiterhin sind in der Regel eine Schulung im Einsatz von Persönlicher Schutzausrüstung (PSA-Schulung) zum Schutz gegen Absturz sowie ein Höhenrettungskurs notwendig. Auch muss für Arbeiten in den Gondeln ein Erste Hilfe Kurs nachgewiesen und eine anlagenspezifische Einweisung durchgeführt werden. Zu empfehlen ist auch der Besitz einer Berufs- oder Betriebshaftpflichtversicherung, da es bei Arbeiten in den Gondeln zu Schäden an den Anlagen kommen kann.

2.2 Auswahl und Instandsetzung der Detektortechnik

Um unsere Methode zur vereinfachten Berechnung anlagenspezifischer Abschaltalgorithmen (ohne eigene Modellierung der Fledermausaktivität und des Kollisionsrisikos) basierend auf den im RENEBAT I und II erhobenen Datensatz anwenden zu können, ist es notwendig, einen der folgenden Detektoren zu verwenden: Batcorder (ecoObs – wir verwenden im Folgenden „Batcorder“ für die Modelle Batcorder 1, 2 und 3, die in ihren relevanten akustischen Eigenschaften, Aufnahmeempfindlichkeit und Ruferkennung, identisch sind – Angabe des Herstellers) oder Anabat SD1 bzw. SD2 (Titley Scientific – wir verwenden im Folgenden „Anabat SD1“ stellvertretend für die beiden genannten Detektoren SD1 und SD2). Die Nutzung der in RENEBAT I entwickelten Methode wird bis Ende 2015 auch mit Fledermausaktivitätsdaten möglich sein, die mit dem Ultrasound Gate (USG, Avisoft Bioacoustics) erhoben wurden. Die Entwicklung der dafür notwendigen statistischen Modelle ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Technische Details zu den in RENEBAT II verwendeten Detektoren können im Kapitel „Methoden akustischer Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen“ in diesem Bericht nachgelesen werden (SIMON et al. 2015).

Die Kalibrierung der akustischen Empfindlichkeit der Detektoren ist eine wichtige Voraussetzung, um Ergebnisse unterschiedlicher Geräte und Standorte miteinander vergleichen zu können. Aufgrund der Tatsache, dass die Mikrofone der Detektoren in den Gondeln der WEA extremen Witterungsbedingungen ausgesetzt sind, kommt es oft zu kurzfristigen oder auch langfristigen Verlusten derer Empfindlichkeit. Diesem Problem sollte im besten Fall dadurch entgegengewirkt werden, dass einerseits eine regelmäßige Rekalibrierung der Geräte vorgenommen wird (im Regelfall einmal jährlich vor dem Einbau in die WEA) und dass andererseits ein System verwendet wird, welches basierend auf einem Referenzsignal eine tägliche Einschätzung der Empfindlichkeit des Mikrofons in der WEA-Gondel zulässt.

2.2.1 Anabat SD1

Für den SD1 von Anabat führt der Hersteller selbst keine Kalibrierung durch. Viele Anwender beschränken sich daher darauf, die ihnen zur Verfügung stehenden Geräte auf ein vergleichbares Empfindlichkeitsniveau zu bringen. In den Forschungsvorhaben RENEBAT I und II verwenden wir das von LARSON et al. (2000) beschriebene Verfahren. Um ein zum Forschungsvorhaben vergleichbares Empfindlichkeitsniveau gewährleisten zu können, müssen Anabat Detektoren derzeit noch von Ivo Niermann (<http://www.buero-niermann.de>) in ihrer Empfindlichkeit an die Geräte angepasst werden, die im Forschungsvorhaben benutzt wurden.

Die Einstellung bzw. Überprüfung der Empfindlichkeit sollte so kurz wie möglich vor Beginn und mindestens ein zweites Mal so bald wie möglich nach dem Ende einer Erfassung erfolgen. Die Überprüfung der Empfindlichkeit nach Abschluss der Erfassung ist notwendig, da der Anabat SD1 derzeit nicht die Möglichkeit einer Überprüfung der Empfindlichkeit im laufenden Betrieb bietet. Dies birgt für die Benutzer das Risiko eines Datenausfalls: Wird nach Ende der Erfassung festgestellt, dass die Empfindlichkeit des Gerätes um mehr als 6 dB unter (oder, was selten der Fall ist, über) dem Soll liegt, so sind die gesamten Daten nicht mehr vergleichbar zu anderen Erfassungen – der Zeitpunkt der Änderung der Empfindlichkeit ist in der Regel nicht mehr nachvollziehbar und der Datensatz ist daher nicht mehr im Sinne der hier dargestellten Methode verwendbar.

2.2.2 ecoObs Batcorder

Batcorder sind bei ihrer Auslieferung laut Herstellerangabe auf eine Maximalamplitude von 96 dB SPL kalibriert. Zur Überprüfung der Mikrofonempfindlichkeit sollten Batcorder regelmäßig, in jedem Fall vor und nach einer Saison in der WEA-Gondel, durch ecoObs überprüft und gegebenenfalls rekali­briert werden.

Die Firma ecoObs vertreibt seit einiger Zeit eine WKA-Erweiterung zur Verwendung mit dem Batcorder 2.0 und 3.0. Diese WKA-Erweiterung beinhaltet alle Komponenten, die notwendig sind, um den Batcorder in der Gondel einer WEA zu betreiben. Diese umfassen eine spezielle Mikrofonscheibe sowie die nötigen Komponenten, um den Batcorder an das Stromnetz der WEA anzuschließen, und Komponenten für tägliche Statusmeldungen über SMS. Ein in der Mikrofonscheibe eingelassener Testsignalgeber spielt täglich ein Testsignal ab. Der Signalpegel des aufgenommenen Testsignals wird daraufhin mit einem Referenzwert verglichen und erlaubt dadurch eine tägliche Einschätzung der Mikrofonempfindlichkeit. Neben dem Mikrofon-Signal-Pegel beinhaltet die täglich versendete Status-SMS auch Informationen zum noch vorhandenen freien Speicherplatz auf der eingebauten SD-Karte, sowie über die Anzahl an Aufnahmen auf der SD-Karte und darüber, wie viele Aufnahmen in der vorangegangenen Nacht getätigt wurden. Auf der Webseite der Firma ecoObs finden sich weitere wichtige Details zum Einsatz der WKA-Erweiterung: <http://www.ecoobs.de/cnt-WKA.html>. Im Forschungsvorhaben RENE­BAT I wurde mit dem Batcorder 1.0 gearbeitet, der bezüglich der akustischen Eigenschaften identische Ergebnisse wie die neueren Versionen liefert.

Die Empfindlichkeit des Mikrofons sollte nicht mehr als 6 dB (Dezibel) unter (oder, was selten der Fall ist, über) der ursprünglichen Kalibrierung des Herstellers liegen. Dezibel ist eine logarithmische Größe. Der Wert ± 6 dB entspricht daher einem Wert von etwa 50 % bis 200 % der Referenzamplitude (lineare Skalierung), wie er z. B. bei der Fernüberwachung des Batcorder WEA-Sets per SMS ausgegeben wird (in der SMS werden nur

Werte bis 100 % angezeigt, d. h. eine Zunahme in der Mikrofonempfindlichkeit wird hier nicht erkannt – eine differenziertere Analyse, die auch eine Zunahme der Mikrofonempfindlichkeit kenntlich macht, ist im „Sessions“-Menü unter „TSL-Evaluation“ möglich).

Fällt z. B. die Empfindlichkeit für mehr als fünf Tage in Folge um mehr als 6 dB ab (Witterungseinflüsse können zu einer kurzzeitigen Empfindlichkeitseinbuße führen, von der sich das Mikrofon wieder erholt), so muss der Batcorder meist vom Hersteller gewartet und das Mikrofon ausgetauscht werden, da andernfalls die erhobenen Daten nicht mehr mit denen anderer Bearbeiter (zum Beispiel aus den BMU-finanzierten Vorhaben RENEBAT I und II) vergleichbar sind. Es genügt in diesem Fall nicht, eine erneute „Kalibrierung“ des Mikrofons am Einbauort vorzunehmen, wie sie der Batcorder für noch unbenutzte und vom Hersteller kalibrierte Mikrofone bietet, da sich diese erneute „Kalibrierung“ dann auf einen zu niedrigen Referenzwert bezieht.

Die Schwelle, ab der eine Aufnahme aufgezeichnet wird, kann in dB unter der Maximalamplitude eingestellt werden. Hier wurde im RENEBAT I nicht die Standardeinstellung -27 dB, sondern die empfindlichere Einstellung -36 dB verwendet, um die Zahl der aufgenommenen Fledermausrufe zu erhöhen. Die Einstellung -36 dB sollte bevorzugt verwendet werden, da die erfassten Daten dann eine genauere Einschätzung des Schlagrisikos ermöglichen.

Nur in Sonderfällen kann die Empfindlichkeit auch auf -27 dB reduziert werden. Eine Reduzierung der Empfindlichkeit auf -27 dB führt zu einer Verringerung der Anzahl aufgenommener Rufe (weshalb auch ein anderer Formelsatz für die Berechnungen verwendet werden muss – s. u.), was zu einer höheren Unsicherheit der auf dem Datensatz basierenden Berechnungen führt. Die Einstellung -27 dB kann jedoch z. B. als Option gewählt werden, wenn die Menge der aufgenommenen Störungen andernfalls einen sinnvollen Betrieb des Detektors in der entsprechenden WEA unmöglich macht. Zuvor sollte aber geprüft werden, ob die Anzahl der aufgenommenen Störungen durch andere Maßnahmen reduziert werden kann, z. B. durch eine andere Anordnung der Teile des Messaufbaus in der Gondel oder ggf. durch einen Tausch des Detektors.

Eine Reduktion der Empfindlichkeit auch während der Erfassung ist möglich – der Datensatz kann dann mit der von ecoObs zur Verfügung gestellten Software insgesamt mit der geringeren Empfindlichkeit -27 dB ausgewertet werden. Ein mit -27 dB aufgenommener Datensatz kann jedoch natürlich nicht als ein mit -36 dB aufgenommener „simuliert“ werden.

Auch für die Empfindlichkeitseinstellung -27 dB des Batcorders wurde im Forschungsvorhaben ein Referenzdatensatz erhoben, der jedoch kleiner als für die Einstellung -36 dB

und damit mit einer großen Unsicherheit behaftet ist. Wir empfehlen die Verwendung der aus diesem Datensatz in (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011) abgeleiteten Formel daher nicht. Derzeit wird aus dem Datensatz der Einstellung -36 dB ein Datensatz für die Einstellung -27 dB simuliert. Eine aus dem simulierten Datensatz abgeleitete Formel werden wir bis Ende des Jahres 2015 publizieren und auch in ein Update des von der Universität Erlangen bereit gestellten Software Tools ProBat integrieren.

Auch für den Posttrigger (Länge der Aufnahmezeit nach Auslösung einer Aufnahme) wurde nicht die Standardeinstellung verwendet, sondern der minimale Wert von 200 ms, um die Länge der aufgenommenen Dateien zu reduzieren und damit die Laufzeit der Detektoren ohne Kartenwechsel zu verlängern. Auch hier sollte der im Forschungsvorhaben RENEBAAT I verwendete Wert von 200 ms verwendet werden. Inzwischen bietet die Firma ecoObs eine Software-Lösung an, mit der man Aufnahmen, die mit einem längeren Posttrigger als 200 ms aufgenommen wurden, so umwandeln (aufsplitten) kann, als wären sie mit einem Posttrigger von 200 ms aufgezeichnet worden. Besagte Software-Lösung wird als Virtual Splitter bezeichnet und ist im Programm bcAdmin 3.0 integriert. Somit ist eine Vergleichbarkeit zum Datensatz des RENEBAAT I und II auch bei von 200 ms abweichenden Einstellungen des Posttriggers gewährleistet.

Folgende Einstellungen müssen aus den oben genannten Gründen für die Aktivitätserfassung mit dem Batcorder gewählt werden:

- QUALITY: 20
- THRESHOLD: -36 dB (oder in Sonderfällen -27 dB). Wichtig: Unbedingt kontrollieren, da -36 dB nicht die Standard-Einstellung des Gerätes ist!
- POSTTRIGGER: 200 ms (in Sonderfällen auch höhere Werte möglich – dann müssen bei der Auswertung jedoch 200 ms simuliert werden). Wichtig: Unbedingt kontrollieren, da dies nicht die Standard-Einstellung des Gerätes ist!
- CRITICAL FREQUENCY: 16 kHz

2.2.3 Avisoft UltraSoundGate

Die Firma Avisoft Bioacoustics bietet eine spezielle Mikrofonscheibe für die akustische Aktivitätserfassung im Gondelbereich zusammen mit dem Avisoft UltraSoundGate 116Hnbm an. Auch die Avisoft-Recorder-Software bietet mittlerweile einige Einstellungen (*Options>Configuration management>Presets>Bat Calls>WEA Monitoring (USG 116Hnbm, BMU-Projekt)*), die den Einsatz des UltraSoundGate im Sinne der Vorhaben RENEBAAT I und RENEBAAT II ermöglichen. Bis Ende des Jahres 2015 wird auch ein komplettes WEA-Set (inklusive z. B. eines Industrie-PCs zur Installation in der WEA-Gondel und einer Fernabfragemöglichkeit) von der Firma Bio Acoustic Technology

(BAT) angeboten werden, das in Zusammenarbeit mit den BMU-Zuwendungsnehmern entwickelt wurde.

Mit dem Avisoft-System wurde im Jahr 2012 an einer großen Stichprobe von Anlagen des Herstellers Enercon eine Referenzdatenerfassung durchgeführt. Hierbei hat sich das Avisoft-System als im Vergleich zu anderen Detektoren sehr störungsunempfindlich und zuverlässig erwiesen (das System bietet wie der Batcorder die Möglichkeit einer Überprüfung der Kalibrierung im laufenden Betrieb und verfügt darüber hinaus über eine Mikrofonheizung, die Witterungseinflüsse auf das Mikrofon reduziert). Beide Faktoren sind entscheidend, um Datensicherheit zu gewährleisten und um die Kosten zu reduzieren, die durch die Wartung der Geräte in der Gondel der Anlage und durch die Auswertung der Daten entstehen.

3 Durchführung der Aktivitätserfassung

Die akustische Aktivitätserfassung sollte einen Großteil des für Fledermausschlag an WEA relevanten Zeitraums einschließen, also mindestens vom 01.04. bis zum 31.10. eines Jahres durchgeführt werden. Die Frage nach der Anzahl an Untersuchungsjahren, die notwendig sind, um eine über den Erfassungszeitraum hinaus gültige Aussage zur Fledermausaktivität und damit zum Schlagrisiko treffen zu können, wird gegenwärtig in einem vom BMWi geförderten Folgevorhaben untersucht. Zurzeit empfehlen wir (basierend auf allgemeinen qualitativen Kenntnissen zur Variabilität der Fledermausaktivität) die Fledermausaktivität an einer WEA über zwei Jahre zu untersuchen. Diese Empfehlung könnte sich allerdings je nach den Erkenntnissen des Folgeprojektes zur zeitlichen Variabilität von Fledermausaktivität noch ändern.

Für die Installation der Detektoren in Gondeln von WEA empfehlen wir das sorgfältige Studium der zur Verfügung stehenden Installationsanweisungen. Für den Anabat SD1 gilt die aus RENEBAT I zur Verfügung gestellte Installationsanweisung weiterhin unverändert, ebenso für die erste Generation des Batcorders (BEHR et al. 2008, abrufbar auf <http://windbat.techfak.fau.de>). Seit der zweiten Batcorder Version bietet die Firma ecoObs zusätzlich eine WKA-Erweiterung an. Details zu dessen Funktionsweise und zur Installation können auf der Internetseite von ecoObs nachgelesen werden: <http://www.ecoobs.de/cnt-WKA.html>.

Wir möchten darauf hinweisen, dass für die Installation der Geräte und für die notwendigen Veränderungen an der WEA-Gondel (Bohren von Löchern) unbedingt ein Einverständnis des Windparkbetreibers und ggf. des Anlagenherstellers nötig sind. Die oben genannten von RENEBAT I zur Verfügung gestellten Installationsanweisungen sind

auf GFK-Gondeln für Windkraftanlagen der so genannten „2 MW-Klasse“ des Herstellers ENERCON abgestimmt. Über Produkte anderer Hersteller können wir keine Angaben machen. Die Installation sollte in Begleitung und unterstützt durch ein ENERCON Service-Team durchgeführt werden. Der Aufbau sollte schon alleine aus Sicherheitsgründen von einem geschulten Service-Team der Firma ENERCON durchgeführt werden (das Bohren kann nur durch ENERCON-Techniker erfolgen – beim Bohren der Löcher sollten Staubschutzmasken getragen werden). Da der Gondelaufbau eine ständige Weiterentwicklung erfährt, kann der ENERCON-Service angemessen und unter Wahrung der Sicherheitsaspekte auf Veränderungen im Gondeldesign reagieren! **Von Bohrungen am Turm (Stahl- sowie Betonturm) ist unbedingt abzusehen!** Wichtig ist beim Aufbau in ENERCON-Anlagen die in der Aufbauanleitung genannten Hinweise zu beachten.

Im Anschluss an den erfolgreichen Einbau der Detektoren in einer WEA-Gondel sind im Verlauf der Aktivitätserfassung regelmäßige Wartungsarbeiten der eingebauten Geräte notwendig. Auch Wartungsarbeiten müssen in der Regel in Begleitung eines Service-Teams durchgeführt werden. Die Wartungsarbeiten der Detektortechnik betreffen vor allem den regelmäßigen Tausch von Speicherkarten, wenn diese im Verlauf der Aktivitätserfassung ihren maximalen Füllstand erreichen (beim Anabat SD1 ist eine Fernübertragung der kompletten aufgenommenen Daten mit einer entsprechenden Zusatztechnik möglich). Es kann im Verlauf der Aktivitätserfassung allerdings auch zu Ausfällen von Teilen der Detektortechnik kommen (z. B. Tiefentladung von Akkus, dauerhafter Empfindlichkeitsverlust von Mikrofonen um mehr als 6 dB, Komplettausfall von Detektoren), die zum Abbruch der Aufnahmetätigkeit der Detektoren führen oder dazu, dass die Daten längerer Zeiträume für ungültig erklärt werden müssen. Wir empfehlen daher, derzeit die Speicherkarten der Detektoren monatlich vor Ort auszutauschen. Bei dieser Gelegenheit kann auch die Funktionstüchtigkeit aller Komponenten der Detektortechnik und die Uhrzeitangabe der Detektoren und der internen Uhr der WEA überprüft werden.

Wird die akustische Aktivitätserfassung mit einem System durchgeführt (z. B. WKA-Erweiterung von ecoObs, Avisoft System), das eine tägliche Fernabfrage der Mikrofonempfindlichkeit, des Kartenfüllstands und des allgemeinen Status des Detektors erlaubt, so kann der Wartungszeitraum flexibler gestaltet werden. So kann z. B. bei Meldung über einen Funktionsausfall der Detektortechnik oder bei dauerhaftem Empfindlichkeitsverlust des Mikrofons eine zeitnahe Wartung erfolgen, wodurch der Datenverlust begrenzt wird. Der Wartungszeitraum könnte aber auch, wenn die Detektortechnik einwandfrei funktioniert und der Speicherkartenfüllstand noch gering ist, verlängert werden. Ein Detektorsystem mit Statusfernabfragemöglichkeit kann also das Risiko von Datenverlust minimieren und gleichzeitig zu einer beträchtlichen Zeit- und Kostenersparnis beitragen.

Es kann an einzelnen WEA zu extrem hohen Aufnahmezahlen durch Störsignale kommen. Dies macht einerseits die spätere Auswertung der Daten aufwändig und kann andererseits im Extremfall dazu führen, dass Speicherkarten innerhalb weniger Tage vollgeschrieben werden. In solchen Problemfällen ist es sinnvoll, die Konfiguration der Installation zu verändern (Kabel anders verlegen, Position des Detektors und eventuell des Mikrofons verändern oder Detektor austauschen). Wenn dies keine Verbesserung bringt, kann beim Batcorder die Empfindlichkeit von -36 dB auf -27 dB reduziert werden, wie bereits in Abschnitt 2.2 erwähnt (die Nachteile der weniger empfindlichen Einstellung -27 dB werden dort diskutiert).

4 Rufanalyse und Datenvoraussetzungen

4.1 Automatische Rufanalyse

Eine Automatisierung der Rufanalyse ist in zweifacher Hinsicht von Bedeutung. Zum einen kann durch eine zumindest teilweise Automatisierung der Rufanalyse eine je nach Datenumfang beträchtliche Zahl von Arbeitsstunden eingespart werden (insbesondere wenn durch die Geräte sehr viele Störsignale aufgezeichnet wurden). Zum anderen kann hierdurch das Problem umgangen werden, die Ergebnisse einer manuellen und damit notwendigerweise subjektiven Artbestimmung durch verschiedene Bearbeiter_innen miteinander vergleichen zu müssen.

4.1.1 Automatische Rufanalyse Batcorder

Für den Batcorder bietet der Hersteller eine Software an, die zu standardisierten und reproduzierbaren Ergebnissen hinsichtlich der Artbestimmung führt. Wir verwendeten in RENEBAT I und II folgende Versionen der automatischen Klassifizierungssoftware: bcAdmin 1.13 und bcDiscriminator 1.13. Neuere Softwareversionen der Firma ecoObs führen zum derzeitigen Kenntnisstand und für die im Rotorbereich von WEA in Mitteleuropa relevanten Arten zu nur geringfügig abweichenden Ergebnissen. Bei der Rufanalyse können daher auch aktuelle Software Versionen (bcAdmin und batIdent) eingesetzt werden.

Um die Vergleichbarkeit erhobener Batcorder-Daten mit dem Datensatz der Vorhaben RENEBAT I und II zu gewährleisten, muss bei der automatisierten Analyse in der Software bcAdmin eine Schwelle von 2 % für die Ruferkennung eingestellt werden, was etwa -34 dB entspricht. Die Firma EcoObs bietet in neueren Programmversionen diese Möglichkeit. Die Schwelle muss per Hand für jede Session aktiviert werden (Einstellung

Threshold: „-34 dB (BMU)“, da sie sonst der Einstellung am Gerät (-36 dB) entspricht (Session-Einstellungen öffnen und die Schwelle neu setzen). Im Folgeprojekt RENE-BAT III ist geplant, auch einen Formelsatz für die Einstellung -36 dB zu veröffentlichen. Wurde bei der Datenerfassung ein von -36 dB abweichender Threshold eingestellt, so muss für -27 dB die entsprechende Software-Einstellung -27 dB im Programm bcAdmin verwendet werden. Auch für die Einstellung -30 dB am Batcorder muss aktuell der Wert -27 dB in der Software (manuell) eingestellt werden, da für -30 dB kein Referenzdatensatz existiert (die Verwendung der Einstellung -30 dB wird jedoch durch eine Aktualisierung der publizierten Formeln bis Ende 2015 möglich sein). Daten aus Erfassungen mit Threshold-Einstellungen mit einer geringeren Empfindlichkeit als -27 dB (derzeit sind beim Batcorder -18 dB und -24 dB möglich) sind nicht mit den Daten aus RENE-BAT I und II vergleichbar.

4.1.2 Automatische Rufanalyse UltraSoundGate

Aufnahmen, die mit dem UltraSoundGate (USG) getätigt wurden, werden mit dem Programm RECORDER (Avisoft) ausgewertet. Zur Rufklassifizierung müssen in der RECORDER Software die BMU-Einstellungen verwendet werden (*Menü>Options>Configuration management>Presets>Bat Calls>WEA Offline Analysis (BMU-Projekt)*). Sind die Dateien geladen, können ganze Ordner mit WAVE-Dateien per „drag and drop“ in das Programmfenster geschoben werden, woraufhin die Auswertung automatisch startet. Prinzipiell können in dem Programm viele verschiedene Einstellungen zum Auswerten der Rufe gewählt werden, wir empfehlen aber die Verwendung der BMU presets (siehe oben). Sind diese Einstellungen gewählt, werden die Dateien danach ausgewertet ob Fledermausrufe vorhanden sind oder nicht. Werden Rufe erkannt, werden diese in einem nächsten Schritt als Nyctaloid bzw. Pipistrelloid klassifiziert und jeweils angegeben wie viele Rufe pro Datei erkannt wurden. Sollten Rufe beider Artgruppen vorkommen, wird das in einer weiteren Spalte angezeigt. Das Programm vermisst die Rufe auf Basis der Spektrogramme und verwendet einen Batcall-Filter zum Erkennen der Rufe. Die Rufe werden dann aufgrund von Dauer und Endfrequenz in die entsprechenden Artgruppen eingeteilt: Nyctaloid (Dauer 3 bis 30 ms und Endfrequenz 15 - 33 kHz), Pipistrelloid (Dauer 2 - 10 ms und 34 - 60 kHz). Die Datei, in der die Ergebnisse der automatischen Rufanalyse festgehalten sind, heißt *calls_ch1_files.txt*. Diese wird im gleichen Ordner, in dem sich auch die WAVE-Dateien befinden, abgespeichert.

4.1.3 Automatische Rufanalyse Anabat SD1

Die Differenzierung von Aufnahmen mit Fledermausrufen und von Störungsaufnahmen der Anabat SD1 Detektoren erfolgte in RENE-BAT I und II grundsätzlich manuell. Eine

Vorbestimmung der Aufnahmen, vor allem hinsichtlich Störungsaufnahmen erfolgte jedoch mit Hilfe programmierter Filter auf Art(gruppen)niveau.

Alle Dateien, die mit den SD1 Detektoren aufgezeichnet wurden, wurden also einzeln angesehen und nach der automatisierten Artbestimmung manuell nachbestimmt. Die Zeit, die die manuelle Nachbestimmung in Anspruch nahm, konnte jedoch erheblich reduziert werden, da die Dateien zuvor automatisch mit einer Beschriftung versehen worden waren (mit selbst formulierten Anabat-Filtern, sogenannten abf-Dateien, siehe Tabelle 1). Die anschließende manuelle Überprüfung konnte so auf die Korrektur etwaig falscher Zuordnungen beschränkt werden. Alle Filterdurchgänge, Zuordnungen und Überprüfungen wurden mit Hilfe der frei verfügbaren Software AnalookW durchgeführt. Durch die zum Teil manuelle Rufbestimmung unterliegen die Ergebnisse für diesen Detektortyp gewissen Einschränkungen bei der Vergleichbarkeit der Ergebnisse unterschiedlicher Bearbeiter_innen, die sich jedoch bei den gewählten Klassifizierungen (einfach bestimmbare Arten / Zusammenfassung zu Artgruppen) in Grenzen halten.

Tabelle 1 Durchgeführte Arbeitsschritte zur Klassifizierung der Aufnahmen mit dem Anabat SD1.

Schritt	Filter und wichtigste Parameter	Arbeitsschritte
1	Fledermäuse: Calls: Smoothness: 20, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 16 Times: Dur (ms) Min: 1, Max: 20	Laufen lassen, Auswahl umkehren, alle Dateien, die die Kriterien nicht erfüllen, mit „Stoerung“ beschriften
2	Marderschreck: Body: Fc (kHz) Min: 20; Max: 23 Calls: Smoothness: 60 Times: Dur (ms) Min: 20	Laufen lassen, Dateien mit „Mardersc“ beschriften
3	„Nyctaloide“: Body: Fc (kHz) Min: 23; Max: 38 Calls: Smoothness: 60, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 20, Max: 35 Times: Dur (ms) Min: 5, Max: 15	mit „Nyc_Ept“ beschriften
4	Zwergfledermaus: Body: Fc (kHz) Min: 40; Max: 49 Calls: Smoothness: 20, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 16 Frequencies: Sweep (kHz) Min: 1.5 Times: Dur (ms) Min: 2, Max: 15	mit „Pip_pipi“ beschriften
5	Rauhhaufledermaus: Body: Fc (kHz) Min: 35; Max: 40 Calls: Smoothness: 20, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 35, Max: 40 Frequencies: Sweep (kHz) Min: 1.5, Max: 50 Frequencies: Fmean (kHz) Min: 35, Max: 40 Times: Dur (ms) Min: 2, Max: 15	mit „Pip_nath“ beschriften

Schritt	Filter und wichtigste Parameter	Arbeitsschritte
6	Mückenfledermaus: Body: Fc (kHz) Min: 50; Max: 60 Calls: Smoothness: 20, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 16 Frequencies: Sweep (kHz) Min: 1.5 Times: Dur (ms) Min: 2, Max: 15	mit „Pip_pygm“ beschriften
7	Abendsegler: Body: Fc (kHz) Min: 17; Max: 20 Calls: Smoothness: 20, Highstart Frequencies: Fmin (kHz) Min: 17, Max: 20 Times: Dur (ms) Min: 5	mit „Nyc_noct“ beschriften

4.2 Manuelle Prüfung der automatischen Rufanalyse

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit den Daten aus RENEBAT I und II zu gewährleisten, gilt für den Batcorder: Aufnahmen, die von der Software (bcAdmin und batIdent oder bcDiscriminator) nicht als Fledermaus erkannt wurden („no calls“), müssen aus dem Datensatz entfernt werden, auch wenn hier bei manueller Prüfung Fledermausrufe zu erkennen sind. Hier werden also bei der Zahl erkannter Rufsequenzen Abstriche gemacht zugunsten einer Vergleichbarkeit der Datensätze verschiedener Bearbeiter durch die automatisierte Analyse. Dies bedeutet, dass keine manuelle Nachkontrolle der Daten erfolgen darf, da sonst mehr Aufnahmen gefunden würden als dies nach der Methode des Forschungsvorhabens der Fall wäre. Damit wären die Ergebnisse nicht mehr miteinander vergleichbar.

Ein vergleichbares Maß für die Aktivität wird für die darauf aufbauenden Berechnungen benötigt, d. h. zehn Aufnahmen in RENEBAT I und II müssen zehn Aufnahmen bei der jeweiligen Untersuchung entsprechen. Wird dagegen beispielsweise ein Detektor mit höherer Empfindlichkeit als in RENEBAT I und II verwendet oder werden zusätzliche Aufnahmen händisch als Fledermausaufnahmen kategorisiert, so wird das Kollisionsrisiko überschätzt.

Sämtliche von der Batcorder-Software als Fledermausruf klassifizierte Aufnahmen (unabhängig von der durch die Software zugewiesenen Art oder Artgruppe – auch unbestimmte Aufnahmen, die als „Spec.“ kategorisiert werden) müssen manuell geprüft und verwendet werden, sofern es sich tatsächlich um Fledermausrufe handelte. Störungen müssen dabei manuell aus dem Datensatz entfernt werden (Zeilen für solche Aufnahmen werden im Datensatz gelöscht).

Auch die automatisierte Bestimmung in Artgruppen oder Arten für korrekt als Fledermaus klassifizierte Aufnahmen sollte, wie die Klassifizierung als Störung, auch bei offensichtlichen Fehlbestimmungen nicht verändert werden, um die Vergleichbarkeit mit den Datensätzen anderer Bearbeiter zu gewährleisten (BEHR et al. 2011, Seite 139). Auf die Erstellung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen hat die Artbestimmung derzeit kaum einen Effekt, da unser Modell alle Fledermausarten in Summe betrachtet.

Die automatischen Bestimmungen der Software dürfen jedoch keinesfalls ohne manuelle Nachbestimmung zur Erstellung eines Artinventars verwendet werden! Dies gilt für den Batcorder und in noch höherem Maß für das Avisoft System. Im Avisoft System ist die Bestimmung der meisten Arten gar nicht auf Artniveau vorgesehen und für den Batcorder kommt es bei einem bestimmten Prozentsatz der Aufnahmen unweigerlich zu Fehlbestimmungen (wobei natürlich einige Fehlbestimmungen wesentlich häufiger auftreten als andere).

4.3 Notwendige Plausibilitätsprüfungen

4.3.1 Prüfung der Detektordaten

4.3.1.1 Verteilung der Aufnahmezeit

Geprüft werden muss auch die Plausibilität der Verteilung der Aufnahmezeit (z. B. als Gesamtaufnahmezeit in Stunden). Die Aufnahmezeit entspricht den Nachtstunden von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang plus 15 % der Nachtzeit vor Sonnenuntergang (Dämmerungsintervall), in denen die Detektoren aktiv waren. Die Aufnahmezeit soll in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Monat und Nachtzeit dargestellt werden und mit den Daten des Forschungsberichts (BEHR et al. 2011a) verglichen werden (siehe Abbildung 1 in diesem Dokument bzw. Abbildung 4, 5 und 6 auf den Seiten 250 bis 252 des Forschungsberichts – jeweils das untere Feld der Abbildung mit der Aufnahmedauer). Einige typische Fehler im Datensatz sind so gut zu erkennen. Ist zum Beispiel keine annähernde Gleichverteilung der Aufnahmezeit über Nachtintervalle (Abbildung 1 B, E) vorhanden, so kann dies ein Hinweis darauf sein, dass die Uhrzeit einen systematischen Fehler aufweist oder die Beprobung systematisch nicht die gesamte Nacht umfasste. Die Windgeschwindigkeit sollte an den meisten Standorten annähernd normalverteilt sein mit einem Maximum bei mittleren Windgeschwindigkeiten (abhängig vom Standort oft zwischen 5 und 6 m/s), da diese Windgeschwindigkeiten am häufigsten sind (Abbildung 1 A, D). Über die Monate Mai bis Oktober sollte die Aufnahmezeit ansteigen, da die Nächte länger werden (Abbildung 1 C, F).

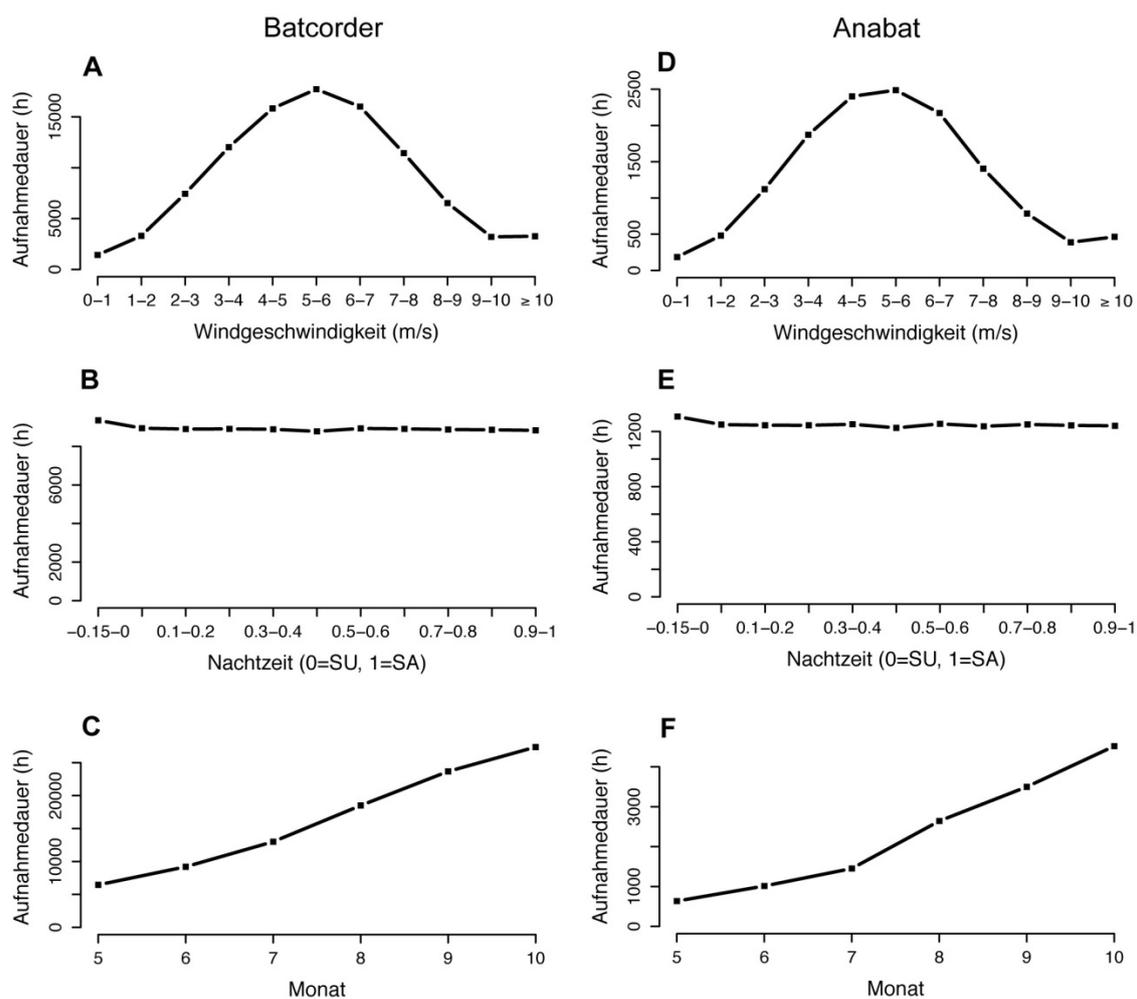


Abbildung 1 Beispielhafte Verteilung der Aufnahmezeit (als Gesamtaufnahmezeit in Stunden) aus dem RENEBA I für die Geräte Batcorder (links, Graphen A, B und C) und Anabat SD1 (rechts, Graphen D, E und F) in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (A, D), der Nachtzeit (B, E) und des Monats (C, F). Nachtzeit 0 ist der Sonnenuntergang (SU) und Nachtzeit 1 ist der Sonnenaufgang (SA).

4.3.1.2 Mittlere akustische Aktivität und Aktivitätsmuster

Die mittlere akustische Aktivität (als Anzahl Aufnahmen pro Stunde) muss in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Monat und Nachtzeit dargestellt und mit der im Forschungsvorhaben ermittelten Verteilung verglichen werden (siehe Abbildung 2 in diesem Dokument bzw. Abbildung 6 auf den Seiten 199 und 200 für den Batcorder bzw. Abbildung 8 für den Anabat SD1 auf den Seiten 203 und 204 im Forschungsbericht zu RENEBA I (BEHR et al. 2011a)).

Auch hier sollte die Prüfung anhand entsprechender Grafiken erfolgen. Nimmt zum Beispiel die Aktivität (als Aufnahmen pro Stunde) mit hohen Windgeschwindigkeiten (über

6 m/s; Abbildung 2 A, D) nicht oder nur zum Teil ab, so kann dies ein Hinweis darauf sein, dass die zeitliche Zuordnung der Fledermausaktivität zu der Windgeschwindigkeit zumindest teilweise nicht korrekt ist, was wiederum auf nicht übereinstimmende Uhrzeiten hinweisen kann (z. B. Detektordaten in Sommerzeit, Winddaten in Winterzeit).

Typische Aktivitätsmuster in Abhängigkeit verschiedener Einflussfaktoren:

Windgeschwindigkeit: Im Forschungsvorhaben hatte die Windgeschwindigkeit bei allen Art(gruppen) einen starken Einfluss auf die Aktivität (Batcorder: nur 15 % der Aktivität bei Windgeschwindigkeiten ≥ 5 m/s, 6 % bei ≥ 6 m/s). Die Abnahme der Aktivität mit höheren Windgeschwindigkeiten zeigte einen annähernd logarithmischen Verlauf (Abbildung 2 A, D).

Nachtzeit: Die Aktivität zeigte im Forschungsvorhaben ein Maximum in der ersten Nachthälfte. *P. nathusii* zeigte jedoch ein leicht von den anderen Arten und Artgruppen abweichendes Muster. Das Maximum der Aktivität der Rauhhautfledermaus lag in der Mitte der Nacht und fiel breit zu Sonnenunter- bzw. Sonnenaufgang ab (Abbildung 2 B, E).

Monat: Für den Zusammenhang von Aktivität und Monat zeigten sich im Forschungsvorhaben deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Art(gruppen). Allen gemeinsam waren eine leichte Abnahme der Aktivität von Mai (Beginn der Untersuchung) auf Juni und ein erneuter Anstieg der Aktivität auf das Maximum im Spätsommer bzw. Herbst (Abbildung 2 C, F).

Bei einer **starken Abweichung im Aktivitätsmuster**, die sich nicht durch Fehler im Datensatz erklären lässt und die vermutlich nicht auf einem einmaligen Ausreißer beruht (also z. B. in zwei Erfassungsjahren in ähnlicher Weise auftritt oder sich aus Besonderheiten am untersuchten Standort erklären lässt), kann das hier dargestellte vereinfachte Verfahren zur Berechnung des fledermausfreundlichen Betriebs nicht angewendet werden. Es muss dann ein eigenes Modell zur Aktivitätsvorhersage berechnet werden. Solche Abweichungen sind zum Beispiel: Hauptaktivität im Frühjahr statt im Spätsommer, stark abweichendes Aktivitätsmuster über die Nacht in der Nähe von Quartieren oder deutlich höhere Aktivität bei hohen Windgeschwindigkeiten als im Forschungsvorhaben. Abweichungen im Aktivitätsmuster sind nicht gleich zu bewerten, da die Einflussfaktoren unterschiedlich gewichtet werden. Am kritischsten sind Abweichungen bezüglich der Windgeschwindigkeit, weniger relevant sind Abweichungen für die Monate, und am wenigsten relevant sind Abweichungen für die Nachtzeit.

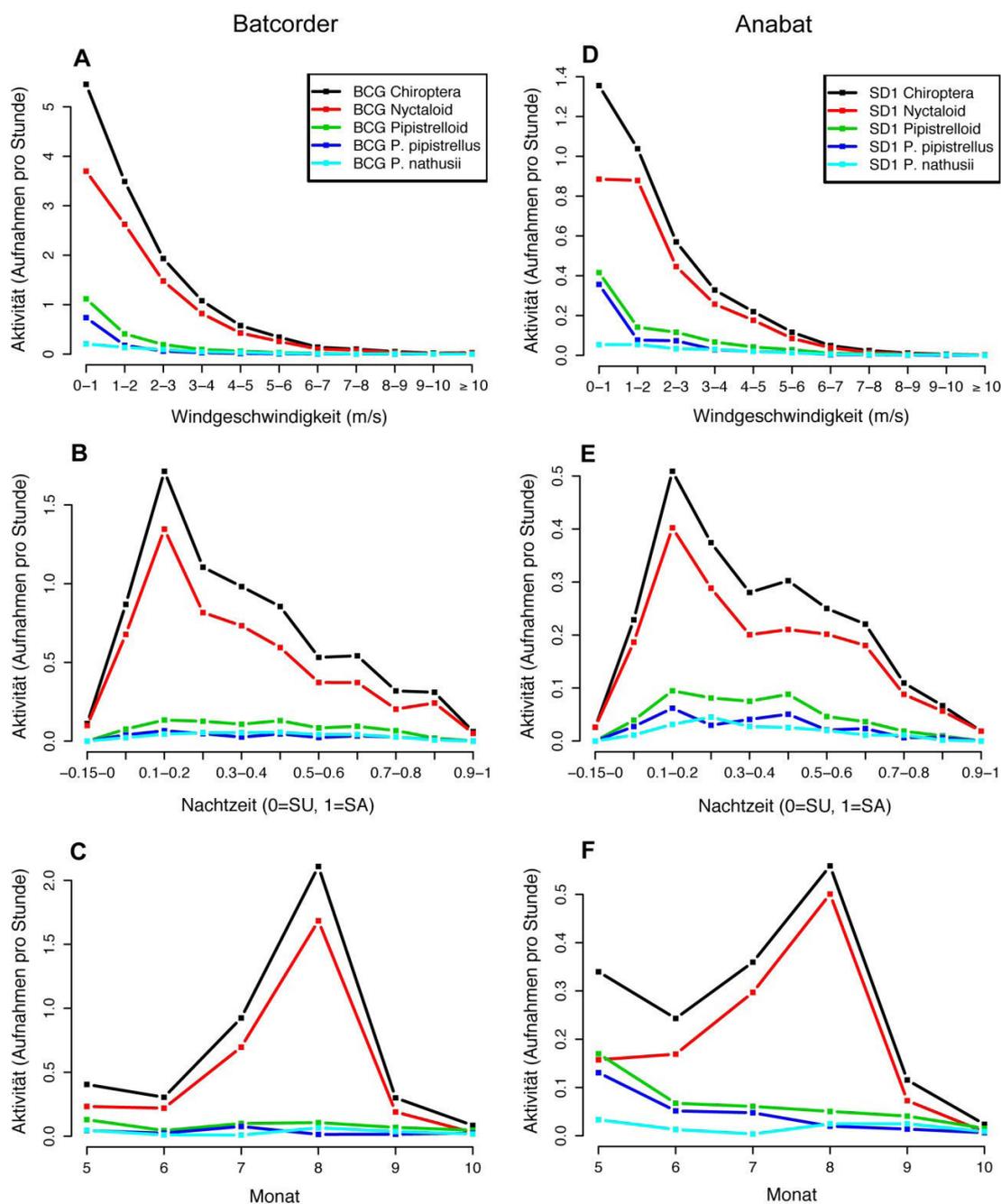


Abbildung 2 Mittlere akustische Aktivität, als Aufnahmen pro Stunde, für die Geräte Batcorder (links, Graphen A, B und C) und Anabat SD1 (rechts, Graphen D, E und F) in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (A, D), von der Nachtzeit (B, E) und des Monats (C, F). Nachtzeit 0 ist der Sonnenuntergang (SU) und Nachtzeit 1 ist der Sonnenaufgang (SA). Datensatz des RENEBA I.

4.3.1.3 Fledermausaktivität unterhalb der Anlaufwindgeschwindigkeit (*cut-in wind speed*) der WEA

Die erfasste Aktivität unterhalb der Anlaufwindgeschwindigkeiten (typischerweise 1 bis 4 m/s) ist unbedingt zu berücksichtigen und darf keinesfalls aus dem Datensatz entfernt werden. Die Windgeschwindigkeit (und damit auch die Anlauf-Windgeschwindigkeit) gingen bereits als Parameter in die Berechnung des Modells zur Vorhersage des Schlagrisikos im Forschungsvorhaben RENEBAAT I ein. In dem Modell wird also berücksichtigt, dass bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten keine Tiere getötet werden.

Im Übrigen ist es so, dass moderne Anlagen nicht nur der Firma ENERCON, sondern z. B. auch der Firma Vestas meist auch deutlich unterhalb der vom Hersteller angegebenen *cut-in* Windgeschwindigkeit (Vestas V90 z. B. 4 m/s laut Herstellerangaben) rotieren (Vestas V90 z. B. häufig schon bei 2 m/s), auch wenn sie erst bei höheren Windgeschwindigkeiten Strom produzieren.

4.3.1.4 Fledermausaktivität in den Monaten März, April und November

Da die Datengrundlage im Forschungsvorhaben RENEBAAT I für die genannten Monate März, April und November deutlich kleiner war als für den Zeitraum Mai bis Oktober, konnten für das zeitige Frühjahr und den Spätherbst keine Modellparameter des Aktivitätsmodells berechnet werden. Für die Monate März, April und November wurden daher aus den im Forschungsvorhaben und aus anderen Arbeiten vorliegenden Informationen Modellparameter für die Aktivitätsvorhersage für diese Monate extrapoliert (siehe Anhang 1 im Leitfaden zur Berechnung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen), für die entsprechend keine statistischen Vertrauensintervalle angegeben werden können und die demnach einer größeren Unsicherheit unterliegen.

Da jedoch der Monat nur einer der Einflussfaktoren bei der Vorhersage der Fledermausaktivität und sein Effekt deutlich geringer als z. B. der der Windgeschwindigkeit ist, ist davon auszugehen, dass dies die Gesamtunsicherheit der Aktivitätsvorhersage in nur geringem Maße vergrößert. Um Aussagen über die gesamte Aktivitätsperiode von Fledermäusen für eine Anlage treffen zu können, ist es zum derzeitigen Kenntnisstand wichtig, diesen Zeitraum auch in der akustischen Aktivitätserfassung abzubilden.

Ist die in Gondelhöhe gemessene Aktivität in den Monaten März und/oder April sehr gering bis gering (unter 20 Aufnahmen pro ganzer Monat für den Batcorder bzw. unter 15 Aufnahmen für den Anabat SD1), so müssen diese Monate bei der weiteren Auswertung jedoch nicht berücksichtigt werden (d. h. die entsprechenden Daten können aus dem Datensatz entfernt, die Zeiträume müssen bei der Erstellung der Algorithmen nicht

berücksichtigt und die WEA muss im März und/oder April nicht mit fledermausfreundlichem Algorithmus betrieben werden – auch bei der Verwendung des Software Tools ProBat können diese Zeiträume ausgeschlossen werden). In Zeiträumen mit sehr geringer Fledermausaktivität kann andernfalls das Schlagrisiko überschätzt werden.

In der Praxis wird in vielen Fällen zusätzlich zur Windgeschwindigkeit auch eine Maximaltemperatur (z. B. 10°C) angegeben, bis zu der die WEA im uneingeschränkten Normalbetrieb laufen darf. Dies betrifft hauptsächlich die genannten Monate März oder April und auch den Oktober und November. Es wird hierbei davon ausgegangen, dass die Fledermausaktivität unterhalb dieser Temperatur so gering ist, dass kein nennenswertes zusätzliches Schlagrisiko entsteht. Diese Annahme ist im Einzelfall mehr oder weniger gut durch akustische Datenerfassung bei gleichzeitiger Temperaturmessung belegt. Die hier dargestellte Berechnung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen berücksichtigt die Temperatur jedoch nicht. Eine Verkürzung der durch den fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus vorgegebenen Abschaltzeiten (z. B. durch die Definition einer Maximaltemperatur) führt daher immer zu einer Erhöhung des Schlagrisikos. Der Umfang dieser Erhöhung kann dann nur aus entsprechenden zusätzlich erhobenen Daten abgeschätzt werden.

4.3.2 Winddaten

Winddaten werden beim Betrieb von WEA kontinuierlich registriert und können dementsprechend in der Regel vom Betreiber zur Verfügung gestellt werden. Für die Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen sind Winddaten gemittelt über Zehn-Minuten-Intervalle (im Folgenden 10-min-Intervalle) notwendig, wie sie in der Regel von der WEA-Software gespeichert werden. Es ist von entscheidender Bedeutung, die vom Betreiber zur Verfügung gestellten **Werte zur Windgeschwindigkeit auf ihre Plausibilität hin zu prüfen**. In diesen Daten finden sich häufig Fehler, Lücken oder Doppelungen. Darüber hinaus ist es sehr wichtig, die den Windgeschwindigkeitsdaten zugeordneten Uhrzeiten zu prüfen. Am sichersten und einfachsten sollte dies mehrfach bereits während der Datenerfassung geschehen. An den meisten WEA kann vor Ort die interne Uhrzeit der Anlage abgelesen werden, die dann meist auf den Datenausgängen erscheint. Diese Uhrzeit entspricht häufig nicht der tatsächlichen Ortszeit (möglich sind z. B. Sommer-Winterzeit Fehler).

4.3.3 Mindestbeprobung von Nächten pro Jahr

Eine aussagekräftige Berechnung des Anlagenfaktors und letztlich der *cut-in* Windgeschwindigkeiten erfordert eine Mindestanzahl von Nächten mit gültigen Detektor- und Winddaten. Insgesamt gilt natürlich, dass je kürzer die Beprobung ist, desto unsicherer die

darauf aufbauenden Aussagen sind. Da das Auftreten von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA typischerweise sehr „geklumpt“ ist, nimmt bei abnehmender Beprobungszeit die Gefahr zu, relevante Anteile der Fledermausaktivität zu verpassen. Bei Unterschreiten der im Folgenden angegebenen „Sollte-Beprobung“ von 75 % des jeweils relevanten Zeitraums ist bereits mit einer erheblichen Unsicherheit der Ergebnisse zu rechnen.

Der für Fledermausschlag an WEA relevante Zeitraum wird regional (in Bundesländern oder sogar Landkreisen) unterschiedlich angesetzt, im bayerischen Windkrafteerlass z. B. vom 15.3. bis zum 31.10. (BEHR et al. 2012), in anderen Bundesländern häufig vom 01.04. bis zum 31.10. Wir definieren darüber hinaus einen Hauptaktivitätszeitraum für Fledermäuse an WEA in Mitteleuropa vom 1.7. bis 30.9. Für beide Zeiträume gibt es eine Mindestprozentzahl von Nächten, für die jeweils Messdaten vorliegen sollten (75 % – entsprechend dem bayerischen Windkrafteerlass also 173 Nächte im Zeitraum 01.04. bis 31.10. und 68 Nächte vom 01.07. bis 30.09.) bzw. müssen (66 % – entsprechend dem bayerischen Erlass also 154 und 61 Nächte), um eine sinnvolle Berechnung durchführen zu können.

Die hier angegebenen Mindestzeiträume beruhen bislang auf einer Experteneinschätzung, da bislang keine Datengrundlage für entsprechende statistische Abschätzungen vorliegt. Wissenschaftliche Untersuchungen können daher in Zukunft zu einer Modifizierung der Vorgaben führen.

4.3.4 Gültigkeit einzelner Nächte

Grundsätzlich gilt, dass Nächte dann als gültig gewertet werden, wenn das Aufnahmegerät aktiv ist (d. h. keine Ausfälle) und die Empfindlichkeit (und damit die Aufnahmeschwelle) des Mikrofons maximal 6 dB von der ursprünglichen Kalibrierung (z. B. des Herstellers) abweicht (s. u.). Darüber hinaus müssen für mindestens **80 % aller relevanten 10-min-Intervalle einer Nacht** gültige Winddaten vorliegen. Relevante 10-min-Intervalle liegen im Zeitraum von Sonnenuntergang bis -aufgang, gegebenenfalls zuzüglich der 10-min-Intervalle im Dämmerungsintervall (15 % der Nachtlänge vor Sonnenuntergang bis Sonnenuntergang). Auch für die Detektordaten gilt, dass für mindestens 80 % aller relevanten 10-min-Intervalle gültige Detektordaten vorliegen müssen.

Einige der Schritte bei der Berechnung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen **können auch für Zeiträume durchgeführt werden, für die keine Detektordaten aber Winddaten vorliegen**. Es ist daher sinnvoll, bei der Anforderung der Winddaten den gesamten relevanten Zeitraum (z. B. 01.04. bis 31.10.) abzudecken.

5 Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen

5.1 Vorgehensweise

Um die im Forschungsvorhaben RENEBAT I entwickelten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen den Gegebenheiten an der jeweiligen Windenergieanlage anzupassen, sind verschiedene Berechnungen notwendig, die auf zwei im Forschungsvorhaben erstellten Modellen basieren. Es handelt sich hierbei im ersten Schritt um ein Modell, das aus der aktuellen Windgeschwindigkeit, dem Monat und der Nachtzeit die Fledermausaktivität im Gondelbereich vorhersagt. Basierend auf diesem Ergebnis wird in einem zweiten Schritt mit diesem Modell das aktuelle Schlagrisiko berechnet.

Das Modell zur Aktivitätsvorhersage ist dabei an das Aktivitätsniveau (Zahl der im Gondelbereich aufgenommenen Fledermausrufsequenzen) und ggf. an das Aktivitätsmuster (Verteilung der Fledermausaktivität über das Jahr und über die Nacht) anzupassen, wie wir im Folgenden darstellen. Um das spezifische Aktivitätsmuster (jahreszeitliche und tageszeitliche Phänologie, Abhängigkeit der Aktivität von der Windgeschwindigkeit) an einer WEA zu berücksichtigen, ist die Berechnung eines eigenen anlagenspezifischen Modells und damit der Einsatz einer Statistik-Software und entsprechende Kenntnisse unumgänglich (BEHR et al. 2011c). Soll jedoch, wie hier für die meisten Standorte empfohlen wird, nur das Aktivitätsniveau der WEA (also der sog. Anlagenfaktor) aus dem Datensatz geschätzt und die anderen Parameter aus dem Datensatz des Forschungsvorhabens RENEBAT I übernommen werden, so vereinfachen sich die notwendigen Berechnungen stark (näheres zu den jeweiligen Voraussetzungen und zum Vorgehen weiter unten). Das Aktivitätsniveau ist dabei als relatives Maß anzusehen, das die Unterschiede zwischen verschiedenen WEA in der Gesamtaktivität (d. h. der Anzahl von Aufnahmen pro Beobachtungszeit) quantifiziert.

Liegen nach dem ersten Betriebsjahr akustische Aktivitätsmessungen von der Gondel der WEA vor, kann das Kollisionsrisiko am jeweiligen Standort differenziert eingeschätzt werden. Nach dem zweiten Betriebsjahr mit akustischen Aktivitätsmessungen auf Gondelhöhe erfolgt eine Überprüfung und ggf. Konkretisierung der aus dem ersten Betriebsjahr abgeleiteten Vorgaben (siehe weiter unten).

Auf Grundlage der akustischen Messungen und der Windgeschwindigkeitsdaten an der Gondel der Anlage können nun anlagenspezifische Betriebsalgorithmen für den relevanten Zeitraum (z. B. 01. April bis 31. Oktober) entwickelt werden. Dabei soll nach der im Bundesforschungsvorhaben durch BEHR et al. (2011b) entwickelten und im Folgenden erläuterten Methodik vorgegangen werden.

Seit Mai 2014 steht das Software Tool ProBat auf der Website <http://windbat.techfak.fau.de> des durch das BMU finanzierten Forschungsvorhabens zur Verfügung. ProBat vereinfacht die Ermittlung des Aktivitätsniveaus aus den Felddaten und die darauf aufbauende Erstellung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen stark. Die von ProBat durchgeführten Berechnungen entsprechen den im Folgenden dargestellten Schritten zur Erstellung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen.

Die Berechnung der Abschaltalgorithmen erfolgt in mehreren Schritten:

- Schritt 1:** Formatierung des Datensatzes
- Schritt 2:** Anwendung (oder in seltenen Fällen Entwicklung) eines Modells zur Schätzung der Fledermausaktivität aus der Windgeschwindigkeit, dem Monat, der Nachtzeit und dem anlagenspezifischen Aktivitätsniveau
- Schritt 3:** Extrapolation der Aktivität in 10-min-Intervallen auf ganze Nächte, da die Aktivität für 10-min-Intervalle vorhergesagt wird. Hierbei werden unterschiedliche Aktivitätsverteilungen in den Monaten und während der Nacht durch Gewichtungsfaktoren berücksichtigt
- Schritt 4:** Schätzung der Schlagopferzahl (Schlagrisiko)
- Schritt 5:** Verteilung des Schlagrisikos von ganzen Nächten auf 10-min-Intervalle. Auch hierbei werden unterschiedliche Aktivitätsverteilungen in den Monaten und während der Nacht durch Gewichtungsfaktoren berücksichtigt
- Schritt 6:** Korrektur für unterschiedliche Rotorradien
- Schritt 7:** Entwicklung des optimalen Betriebsalgorithmus basierend auf dem Quotienten aus Energieertrag und erwarteter Schlagopferzahl.

Die Schritte ab Punkt 2 können z. B. in einem einfachen Tabellenkalkulationsprogramm berechnet werden, sofern für die Aktivitätsvorhersage Parameter aus dem Modell des Forschungsvorhabens RENEBAT I verwendet werden (was, von wenigen Ausnahmen abgesehen, empfohlen wird – siehe weiter unten). Bei erstmaliger Durchführung der Berechnungen sollte der hierfür notwendige Aufwand jedoch nicht unterschätzt werden! Das genannte Software Tool wird die notwendigen Berechnungen stark vereinfachen.

5.2 Berechnung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen

5.2.1 Schritt 1: Formatierung des Datensatzes.

Für die Berechnung der Abschaltalgorithmen müssen die Daten zunächst in die passende Form gebracht werden. Grundlage für die Abschaltalgorithmen sind 10-min-Intervalle, beginnend bei der vollen Stunde. Als Maß für die Fledermausaktivität muss für jedes 10-min-Intervall im Aufnahmezeitraum die gemessene Anzahl der akustischen Aufnahmen von Fledermausrufen bestimmt werden. Die Anzahl der Rufe pro Aufnahme sowie die aufgenommenen Arten werden dabei derzeit nicht berücksichtigt.

Die Modelle zur Berechnung der Abschaltalgorithmen beruhen auf den Variablen Windgeschwindigkeit, Jahreszeit und Tageszeit. Jedem 10-min-Intervall müssen daher in der Folge Werte für diese Variablen zugeteilt werden (zusätzlich geht ein anlagenspezifischer Faktor ein, der das Aktivitätsniveau der jeweiligen Anlage beschreibt – siehe unten).

Die **Windgeschwindigkeit** geht als numerische Variable in die Modelle ein. Sie wird im Normalfall von den anlageninternen Systemen bereits für 10-min-Intervalle gemessen (Messwerte des an der WEA-Gondel installierten Anemometers) und wird vom Betreiber zur Verfügung gestellt (siehe Tabelle 2). Für die Erstellung der Modelle wird die durchschnittliche Windgeschwindigkeit pro 10-min-Intervall in Metern pro Sekunde (m/s) verwendet, die in der Regel in den Datenausgängen der WEA angegeben ist.

Die Bearbeiter sollten im Interesse einer einfachen Bearbeitung darauf achten, die Daten in einem gängigen Datenformat (z. B. *.xls oder *.csv) zu erhalten und nicht z. B. als *.pdf. Es ist sinnvoll, hier auch die Ertragswerte (z. B. in kW pro 10-min-Intervall) abzufragen, da dann eine Kostenabschätzung für den fledermausfreundlichen Betrieb möglich ist.

Für die **Jahreszeit** wird der jeweilige Monat als kategorisierte Variable verwendet (also Werte von 3 für den März bis 10 für den Oktober oder 11 für den November).

Die **Nachtzeit** geht ebenfalls als kategorisierte Variable in die Modelle ein. Um Nächte unterschiedlicher Länge miteinander vergleichen zu können, werden alle Nächte in zehn gleich lange Intervalle von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang aufgeteilt. Zusätzlich wird ein Intervall der anderthalbfachen Länge vor Sonnenuntergang berücksichtigt (Dämmerungsintervall), da gerade Abendsegler häufig auch bereits vor Sonnenuntergang aktiv sind. Sofern dieses Dämmerungsintervall mehr als 2 % der insgesamt gemessenen Aktivität (Anzahl Aufnahmen) beinhaltet, sollte es in die Berechnung der Algorithmen eingeschlossen werden. Zur Berechnung der Nachtzeit müssen zunächst die ortsgenauen Sonnenauf- und -untergangszeiten ermittelt werden. Dem Sonnenuntergang wird der

Wert 0 zugeteilt, dem Sonnenaufgang der Wert 1. Als Bezugspunkt für die Einteilung in Intervalle wird jeweils die Uhrzeit zu Beginn der 10-min-Intervalle verwendet. Die seit dem Sonnenuntergang bis zum jeweiligen 10-min-Intervall vergangene Zeit wird durch die gesamte Nachtlänge geteilt. Die Zuteilung zu den Nachtintervallen erfolgt dann in Schritten von 0,1 (siehe Tabelle 4).

Berechnung der Nachtzeit

Formel Nr. 1a:

Nachtzeit = (Uhrzeit zum Start des 10-min Intervalls – Uhrzeit Sonnenuntergang [min]) / Sonnenaufgang – Sonnenuntergang [min]

Rechenbeispiel:

Uhrzeit zum Start des 10-min Intervalls – Uhrzeit Sonnenuntergang:

21:50 Uhr – 21:16 Uhr = 34 Minuten

Sonnenaufgang – Sonnenuntergang:

23.05.2010 06:12 – 22.05.2010 21:16 = 536 Minuten

Nachtzeit = 34 min / 536min = 0,0634

Berechnung der Anzahl 10-min-Intervalle (nZI) pro Nacht

Für die Berechnungen der geschätzten Fledermausaktivität und der Schlagopfer wird die Anzahl der 10-min-Intervalle (nZI) in der jeweiligen Nacht benötigt. Abhängig davon, ob das Dämmerungsintervall in die weiteren Berechnungen eingehen soll oder nicht, wird die Anzahl an 10-min-Intervallen pro Nacht wie folgt berechnet:

Formel Nr. 1b (Anzahl 10-min-Intervalle pro Nacht **ohne Dämmerungsintervall** [DI])

$nZI_{(\text{ohne DI})} = (\text{Ende des letzten 10-min-Intervalls nach Sonnenaufgang} - \text{Anfang des ersten 10-min Intervalls vor Sonnenuntergang [min]}) / 10 \text{ min}$

Rechenbeispiel:

Sonnenuntergang: 22.05.2010 21:16; Sonnenaufgang: 23.05.2010 06:12

$nZI_{(\text{ohne DI})} = (23.05.2010 06:20 - 22.05.2010 21:10) / 10 = 550 \text{ min} / 10 \text{ min} = 55$

Formel Nr. 1c (Anzahl 10-min-Intervalle pro Nacht **mit Dämmerungsintervall**)

$nZI_{(\text{mit DI})} = nZI_{(\text{ohne DI})} + [(\text{Sonnenaufgang} - \text{Sonnenuntergang}) * 15 \% \text{ [min]}] / 10 \text{ min}$

Rechenbeispiel:

Sonnenuntergang: 22.05.2010 21:16; Sonnenaufgang: 23.05.2010 06:12

$$nZI_{(\text{mit DI})} = 55 + [536 \text{ min} / 100 * 15] / 10\text{min} = 55 + 8,04 = 63,04$$

Mit Dämmerungsintervall ergibt sich also gerundet $nZI = 63$.

Tabelle 2 Windgeschwindigkeit pro 10-min-Intervall. Gezeigt sind Winddaten in 10-min-Intervallen wie im Text beschrieben für einen Zeitraum am 22.05.2010 zwischen 19:40 Uhr und 22:50 Uhr. Die Daten wurden vom Betreiber der WEA zur Verfügung gestellt.

Datum/Uhrzeit	Wind (m/s)
22.5.10 19:40	2,7
22.5.10 19:50	2,5
22.5.10 20:00	2,7
22.5.10 20:10	3,2
22.5.10 20:20	3,6
22.5.10 20:30	3,8
22.5.10 20:40	3,5
22.5.10 20:50	4,8
22.5.10 21:00	4,9
22.5.10 21:10	5
22.5.10 21:20	4,3
22.5.10 21:30	5,4
22.5.10 21:40	5,6
22.5.10 21:50	5,4
22.5.10 22:00	4,6
22.5.10 22:10	4
22.5.10 22:20	4,7
22.5.10 22:30	4,9
22.5.10 22:40	4,6
22.5.10 22:50	4,8

Daten zur gemessenen Fledermausaktivität im gleichen Zeitraum liegen typischerweise in folgender Form vor:

Tabelle 3 Aufnahmen des akustischen Detektors an der Gondel. Hier als Beispiel Daten eines Batcorders. Beim Batcorder sind pro Zeile / Aufnahme bis zu drei verschiedene Artbestimmungen möglich.

Datum/Uhrzeit der Aufnahme	Art1	Art2	Art3
22.5.10 22:11	Ptief		
22.5.10 22:11	Ppip		
22.5.10 22:11	Ptief		
22.5.10 23:11	Pipistrelloid	Ppip	
22.5.10 23:11	Pipistrelloid	Ppip	
22.5.10 23:11	Pipistrelloid		
22.5.10 23:21	Nyctaloid		
22.5.10 23:21	Nycmi		
22.5.10 23:21	Nycnoc		
22.5.10 23:21	Nyctaloid		

Die Zuordnung der Aufnahmen zu den 10-min-Intervallen im hier betrachteten Zeitraum ist in folgender Tabelle 4 dargestellt. Angegeben sind hier auch die jeweilige Nachtzeit und das entsprechende Nachtzeitintervall:

Tabelle 4 Kombination von Wind- und Detektordaten, ergänzt um die Nachtzeit und das entsprechende Nachtzeitintervall. Der Zeitraum der ersten beiden Zeilen liegt außerhalb des für die Berechnungen relevanten Nachtzeitraumes von -0,15 bis 1. Es ist daher kein Nachtzeitintervall zugeordnet. In die Berechnung der Nachtzeitintervalle gehen die Uhrzeit des Sonnenaufgangs und Sonnenuntergangs ein. Letztere hängen wiederum von der geographischen Lage der Windenergieanlage ab (Längengrad/Breitengrad). Alle Zeiten als mitteleuropäische Sommerzeit. Die Tabelle zeigt lediglich einen sehr kleinen Ausschnitt des zur Berechnung herangezogenen Zeitraums.

Start des 10-min-Intervalls	Sonnenuntergang	Sonnenaufgang	Nachtzeit	Nachtzeit-Intervall	Wind (m/s)	Anzahl gemessener Aufnahmen
22.05.2010 19:40	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	-0,18		2,7	0
22.05.2010 19:50	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	-0,16		2,5	0
22.05.2010 20:00	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	-0,14	-0,15-0	2,7	0
22.05.2010 20:10	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	-0,12	-0,15-0	3,2	0
22.05.2010 20:20	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	-0,10	-0,15-0	3,6	0
22.05.2010 20:30	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	-0,09	-0,15-0	3,8	0

Start des 10-min-Intervalls	Sonnenuntergang	Sonnenaufgang	Nachtzeit	Nachtzeit-Intervall	Wind (m/s)	Anzahl gemessener Aufnahmen
22.05.2010 20:40	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	-0,07	-0,15-0	3,5	0
22.05.2010 20:50	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	-0,05	-0,15-0	4,8	0
22.05.2010 21:00	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	-0,03	-0,15-0	4,9	0
22.05.2010 21:10	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	-0,01	-0,15-0	5	2
22.05.2010 21:20	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	0,01	0-0,1	4,3	0
22.05.2010 21:30	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	0,03	0-0,1	5,4	0
22.05.2010 21:40	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	0,04	0-0,1	5,6	3
22.05.2010 21:50	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	0,06	0-0,1	5,4	0
22.05.2010 22:00	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	0,08	0-0,1	4,6	6
22.05.2010 22:10	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	0,10	0,1-0,2	4	0
22.05.2010 22:20	22.05.2010 21:16	23.05.2010 06:12	0,12	0,1-0,2	4,7	0

5.2.2 Schritt 2: Anwendung (oder – in seltenen Fällen – Entwicklung) eines Modells zur Schätzung der Fledermausaktivität

Zunächst wird ein Modell angewendet, das die Vorhersage der Fledermausaktivität als Anzahl Aufnahmen pro 10-min-Intervall aus den Einflussvariablen Windgeschwindigkeit, Nachtzeit und Jahreszeit für Zeiträume ermöglicht, in denen keine Erfassung der Fledermausaktivität stattfindet (BEHR et al. 2011c). Als weitere Einflussvariable wird zudem die Fledermausaktivität an der konkreten Anlage in das Modell mit aufgenommen. So können Unterschiede im allgemeinen Aktivitätsniveau zwischen den Anlagestandorten berücksichtigt werden. Vereinfacht und auf Einfluss- und Zielgrößen reduziert dargestellt lautet das Modell:

Formel Nr. 2 (Modell zur Schätzung der Fledermausaktivität):

Anzahl Aufnahmen = $\exp(a * \text{Windgeschwindigkeit} + b * \text{Windgeschwindigkeit}^2 + \text{Monatsfaktor} + \text{Nachtzeitfaktor} + \text{Anlagenfaktor} + \text{Intercept})$

„exp“ ist als „e hoch“ zu lesen; „a“ entspricht dem Koeffizienten für die Windgeschwindigkeit und „b“ entspricht dem Koeffizienten des Quadrates der Windgeschwindigkeit. Alle Konstanten sind dem Anhang 1 zu entnehmen.

Oder *Formel Nr. 2* entsprechend in mathematischer Notation:

Anzahl Aufnahmen

$$= e^{a * \text{Windgeschwindigkeit} + b * \text{Windgeschwindigkeit}^2 + \text{Monatsfaktor} + \text{Nachtzeitfaktor} + \text{Anlagenfaktor} + \text{Intercept}}$$

Alle ins Modell eingehenden Einflussfaktoren (Windgeschwindigkeit, Windgeschwindigkeit², Monat, Nachtzeit und Aktivitätsniveau der jeweiligen Anlage) werden vor dem Summieren durch entsprechende Modellparameter (siehe Anhang 1) gewichtet. Windgeschwindigkeit und Windgeschwindigkeit² werden dabei mit dem entsprechenden Konstanten (a und b) multipliziert, für Monat und Nachtzeit ist der jeweilige Faktor aus der Liste der Modellparameter auszuwählen, und für den Effekt der Anlage ist ein konstanter Faktor einzusetzen (Anlagenfaktor bzw. das Aktivitätsniveau der jeweiligen Anlage – zur Berechnung dieses Faktors aus den Daten siehe weiter unten). Zusätzlich wird eine vom verwendeten Detektor abhängige Konstante (Intercept) innerhalb des exp() Ausdruckes hinzu addiert (siehe Anhang 1).

Rechenbeispiel zur Berechnung der geschätzten Anzahl Aufnahmen pro 10-min-Intervall:

Zum Beispiel ergibt sich für ein mit dem Batcorder gemessenes 10-min-Intervall bei 5,4 m/s Windgeschwindigkeit im Mai (siehe Anhang 1, Spalte „Batcorder“, Zeile „Monat 5“) zur Nachtzeit 0-0,1 (siehe Anhang 1, Spalte „Batcorder“, Zeile „Nachtzeit 0-0,1“) für eine Anlage mit Aktivitätsniveau 5,0113 (dieser Wert quantifiziert das allgemeine Aktivitätsniveau einer Anlage – also die Anzahl von Aufnahmen pro Erfassungszeit im Vergleich zu anderen WEA – wir verwenden hier einen sehr hohen Wert, der für WEA in Mitteleuropa kaum übertroffen werden sollte – zur Berechnung dieses anlagenspezifischen Aktivitätsniveaus siehe weiter unten) folgende Berechnung der vorhergesagten Anzahl von Aufnahmen pro 10-min-Intervall:

Geschätzte Anzahl Aufnahmen pro 10-min-Intervall =

$$e^{-0.71349484 * 5,4 + 0.00822059 * 5,4^2 + 0,0 + 2,067976 + 5,0113 - 5,02545202} = 0,2103$$

Berechnung des Anlagenfaktors

Der Anlagenfaktor beschreibt das Fledermausaktivitätsniveau an der bearbeiteten WEA. Ein hoher Anlagenfaktor entspricht einer hohen Fledermausaktivität. Hierbei werden jedoch die Effekte der Windgeschwindigkeit, des Monats und der Nachtzeit herausgerechnet. Dies führt dazu, dass Anlagenfaktoren vergleichbar sind, auch wenn die zugrunde liegenden Datensätze unterschiedliche Zeiträume im Jahr abdecken. Ein weiterer Effekt ist, dass für den Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Aktivität korrigiert wird. D. h., dass streng genommen nur dann von den Anlagenfaktoren auf das relative Schlagrisiko

verschiedener WEA geschlossen werden kann, wenn die Windgeschwindigkeitsverteilungen der Anlagen vergleichbar sind. So kann eine WEA an einem Standort mit hohen Windgeschwindigkeiten (niedrige Aktivität erwartet) und 500 Aufnahmen im Jahr einen höheren Anlagenfaktor besitzen als eine Anlage an einem Standort mit niedrigen Windgeschwindigkeiten (hohe Aktivität erwartet) und 2000 Aufnahmen. In Abbildung 3 findet sich ein Überblick über die in RENEBAT I an den untersuchten WEA ermittelten Anlagenfaktoren.

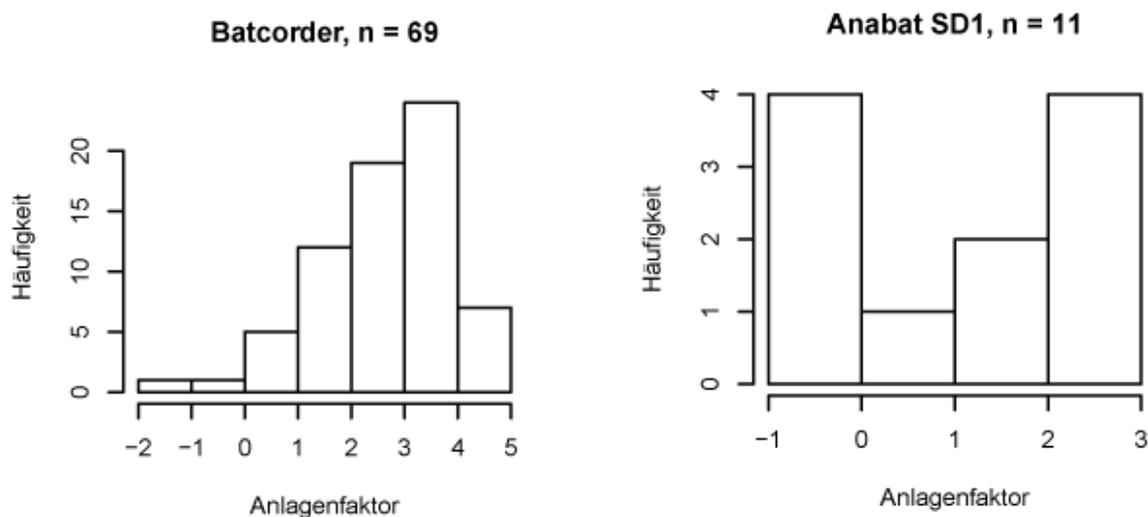


Abbildung 3 Häufigkeit der in RENEBAT I für die untersuchten WEA ermittelten Anlagenfaktoren. In unserer Stichprobe von 69 mit dem Batcorder untersuchten WEA waren Anlagen mit Aktivitätsniveaus von ca. -2 bis 5 vertreten. Die meisten Anlagen besaßen ein Aktivitätsniveau zwischen 2 und 4 für den Batcorder. An 11 mit dem Anabat SD1 untersuchten WEA lag der Anlagenfaktor zwischen -1 und 3.

Die Modellparameter für die Parameter der Einflussvariablen Windgeschwindigkeit, Monat und Nachtzeit wurden bereits anhand umfassender Datensätze für zwei Detektortypen (Anabat SD1 und Batcorder) im Bundesforschungsvorhaben geschätzt (BEHR et al. 2011c und Anhang 1). In der Regel sollten für einen anderen Datensatz diese Modellparameter aus dem Forschungsvorhaben verwendet und nur der Anlagenfaktor neu berechnet werden. Da die Parameter im Forschungsvorhaben anhand eines sehr großen Datensatzes ermittelt wurden, sollten diese generell einem eigenen Modell vorgezogen werden (BEHR et al. 2011b). Ein eigenes Modell ist nur zu empfehlen, wenn der Datensatz ausreichend groß ist (Erfassung über mindestens zwei vollständige Saisons) und wenn sich die im Feld gemessene Aktivität und die mittels der Parameter aus dem Forschungsvorhaben geschätzte Aktivität in ihrer Summe (Gesamtzahl der geschätzten und gemessenen Aufnahmen im Untersuchungszeitraum) oder in ihrer Verteilung bezüglich Windgeschwindigkeit, Nachtzeit oder Monat stark unterscheiden. Bei einem kleinen Datensatz besteht die Gefahr, dass bei der Erstellung eines neuen Modells Zufallseffekte eine zu große Rolle spielen (Wetterlage im Erfassungsjahr etc.).

Für die Berechnung eines eigenen anlagenspezifischen Modells sind der Einsatz einer Statistik-Software und entsprechende Kenntnisse unumgänglich (BEHR et al. 2011c). Soll jedoch, wie dies in der Regel der Fall ist, nur der Anlagenfaktor (d. h. das spezifische Aktivitätsniveau der WEA) aus dem Datensatz geschätzt und die anderen Parameter aus dem Datensatz des Forschungsvorhabens übernommen werden, so vereinfachen sich die notwendigen Berechnungen stark. Die oben stehende Formel lässt sich dann nach dem Anlagenfaktor auflösen, da alle weiteren Variablen der Gleichung bekannt sind:

Formel Nr. 3

Anlagenfaktor = $\ln(\text{Mittelwert von Gemessene Anzahl Aufnahmen} / \text{Mittelwert von } \exp(a * \text{Windgeschwindigkeit} + b * \text{Windgeschwindigkeit}^2 + \text{Monatsfaktor} + \text{Nachtzeitfaktor} + \text{Intercept}))$

Oder *Formel Nr. 3* entsprechend in mathematischer Notation:

$$\text{Anlagenfaktor} = \ln \left(\frac{\frac{\sum \text{Gemessene Anzahl Aufnahmen}}{n}}{\frac{\sum e^{a * \text{Windgeschwindigkeit} + b * \text{Windgeschwindigkeit}^2 + \text{Monatsfaktor} + \text{Nachtzeitfaktor} + \text{Intercept}}}{n}} \right)$$

„n“ entspricht der Anzahl aller beprobter 10-min-Intervalle

Der Zähler in Formel Nr. 3 zur Berechnung des Anlagenfaktors entspricht dem Mittelwert der gemessenen Anzahl Aufnahmen für alle beprobten 10-min-Intervalle. Um den Nenner der Formel Nr. 3 zu berechnen, muss zunächst für jedes der beprobten 10-min-Intervalle die Potenz von e gebildet werden und anschließend ein Mittelwert dieser Werte berechnet werden. Diese Berechnung lässt sich z. B. in einem Tabellenkalkulationsprogramm durchführen.

Steht das anlagenspezifische Modell, so werden im Anschluss für jedes 10-min-Intervall des Untersuchungszeitraums anhand dieses Modells die Anzahl der Aufnahmen (und damit das Kollisionsrisiko) geschätzt. Es wird also das Modell zur Vorhersage der Aktivität verwendet, so wie es im späteren Betrieb der WEA der Fall sein wird, wenn keine Messwerte zur aktuellen akustischen Aktivität vorliegen. Diese Schätzwerte werden im folgenden Schritt 3 benötigt. Zunächst beschreiben wir jedoch im folgenden Abschnitt den Umgang mit den Ergebnissen aus mehreren Jahren.

Mittelung der Ergebnisse aus mehreren Untersuchungsjahren

Liegen Messwerte aus zwei Erfassungsjahren derselben WEA vor, so sind zwei verschiedene Vorgehensweisen zur Mittelung der Daten möglich, die im Folgenden dargestellt werden.

1. Mittelung der Anlagenfaktoren

Bei diesem Vorgehen ist zunächst für beide Jahre unabhängig voneinander der entsprechende Anlagenfaktor zu berechnen. Weichen die Werte stark (Differenz > 1) voneinander ab, so ist zunächst nach plausiblen Erklärungen für diese Abweichung zu suchen. Dies können z. B. ungewöhnlich kalte und regnerische Witterung in einem der beiden Erfassungsjahre oder z. B. ein nur in einem Jahr aufgetretenes Schwärmereignis von Zwergfledermäusen an der WEA sein. Lassen diese Erklärungen es als wesentlich wahrscheinlicher erscheinen, dass einer der beiden Werte dem langjährigen Mittel der Aktivität entspricht, so ist dieser Wert im weiteren Betrieb zu verwenden.

Lassen sich keine sehr deutlichen Hinweise finden, die zur Bevorzugung eines der beiden Werte führen, so ist im weiteren Betrieb (und entsprechend bei der Berechnung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen) der Mittelwert der beiden Werte zu verwenden.

Da der Anlagenfaktor exponentiell in die Berechnung der Aktivität eingeht, ist die Mittelung wie folgt vorzunehmen:

Formel Nr. 4

Mittlerer Anlagenfaktor = $\ln((\exp(\text{Anlagenfaktor}_1) + \exp(\text{Anlagenfaktor}_2)) / 2)$

Oder *Formel Nr. 4* entsprechend in mathematischer Notation:

$$\text{Mittlerer Anlagenfaktor} = \ln\left(\frac{e^{\text{Anlagenfaktor 1. Jahr}} + e^{\text{Anlagenfaktor 2. Jahr}}}{2}\right)$$

2. Gemeinsame Bearbeitung der Datensätze aus mehreren Jahren

Alternativ können die Datensätze aus mehreren Jahren in einem einzigen Datensatz zusammengefasst werden. Für einzelne 10-min-Intervalle liegen dann Werte aus zwei oder mehr Jahren vor. Die Schwelle der zugelassenen Anzahl Schlagopfer ist dann bei

der Berechnung der Algorithmen entsprechend zu erhöhen (z. B. zu verdoppeln bei zwei probierten Jahren). Bei diesem Vorgehen ist es wichtig, sorgfältig für die Ausfallzeiten aus den verschiedenen Jahren zu korrigieren.

Vorteilhaft bei der Zusammenfassung der Datensätze ist, dass auch die Windgeschwindigkeitswerte aus beiden Jahren berücksichtigt werden. Nachteilig gegenüber der Bearbeitung einzelner Jahre ist, dass eventuelle Ausreißerjahre nicht so leicht sichtbar werden und ausgeschlossen werden können.

5.2.3 Schritt 3: Extrapolation der Aktivität in 10-min-Intervallen auf ganze Nächte

Die Formel zur Schätzung der Zahl der Schlagopfer aus der akustischen Aktivität bezieht sich auf ganze Nächte. Daher muss vor der Schätzung des Schlagrisikos zunächst die geschätzte Anzahl der Rufe in einem 10-min-Intervall auf die ganze Nacht hochgerechnet werden (so wie es im späteren Betrieb der WEA der Fall sein wird, wenn keine Messwerte zur aktuellen akustischen Aktivität vorliegen). Dazu wurden im Forschungsvorhaben Gewichtungsfaktoren G verwendet, die berücksichtigen, dass die Fledermausaktivität sich im Laufe der Nacht ändert (BEHR et al. 2011b und Anhang 2) und die daher für Nachtintervalle spezifiziert sind. Die geschätzte Aktivität im 10-min-Intervall wird zunächst mit der Anzahl der 10-min-Intervalle (n_{ZI}) der jeweiligen Nacht (Anzahl der 10-min-Intervalle von Sonnenuntergang bis -aufgang zuzüglich 15 % der Nachtlänge vor Sonnenuntergang in Minuten geteilt durch zehn) multipliziert und dann durch den Gewichtungsfaktor G dividiert (Anzahl Aufnahmen bezeichnet hier die vorhergesagte/geschätzte Anzahl pro 10-min-Intervall):

Formel Nr. 5

Geschätzte Anzahl Aufnahmen pro Nacht = Geschätzte Anzahl Aufnahmen pro 10min * n_{ZI} / G

Fortführung des Beispiels von weiter oben:

Nachdem der Anlagenfaktor berechnet wurde, lässt sich Tabelle 4 unter Anwendung der Formel Nr. 2 zur Schätzung der Fledermausaktivität pro 10 Minuten und obiger Formel Nr. 5 um die Fledermausaktivität pro Nacht erweitern (Tabelle 5):

Tabelle 5 Auf die gesamte Nacht hochgerechnete Fledermausaktivität für jedes 10-min-Intervall. Sonnenuntergang, Sonnenaufgang und Nachtzeit sind hier nicht mehr dargestellt, um die Tabelle übersichtlicher zu gestalten. Die Gewichtungsfaktoren G wurden für den Batcorder entsprechend Anhang 2 eingesetzt. nZI hängt von Sonnenuntergang und Sonnenaufgang ab und wird daher abhängig von der geographischen Lage der WEA berechnet. Im dargestellten Beispiel wurde das Dämmerungsintervall einbezogen. $nZI = 63$, $G(-0,15-0) = 0,16747887$, $G(0-0,1) = 1,14007392$ und $G(0,1-0,2) = 2,0657284$ für den unten stehenden Ausschnitt des Datensatzes.

Start des 10-min-Intervalls	Nachtzeit Intervall	Wind (m/s)	Gemessene Anzahl Aufnahmen	Vorhergesagte Anzahl Aufnahmen pro 10-min-Intervall	Vorhergesagte Anzahl Aufnahmen pro Nacht
...
22.05.2010 20:00	-0,15-0	2,7	0	0,1525	57,3634
22.05.2010 20:10	-0,15-0	3,2	0	0,1094	41,1371
22.05.2010 20:20	-0,15-0	3,6	0	0,0841	31,6226
22.05.2010 20:30	-0,15-0	3,8	0	0,0738	27,7529
22.05.2010 20:40	-0,15-0	3,5	0	0,0898	33,7637
22.05.2010 20:50	-0,15-0	4,8	0	0,0388	14,5930
22.05.2010 21:00	-0,15-0	4,9	0	0,0364	13,6969
22.05.2010 21:10	-0,15-0	5	0	0,0342	12,8579
22.05.2010 21:20	0-0,1	4,3	0	0,4222	23,3331
22.05.2010 21:30	0-0,1	5,4	0	0,2103	11,6201
22.05.2010 21:40	0-0,1	5,6	0	0,1856	10,2587
22.05.2010 21:50	0-0,1	5,4	0	0,2103	11,6201
22.05.2010 22:00	0-0,1	4,6	0	0,3484	19,2550
22.05.2010 22:10	0,1-0,2	4	3	1,0539	32,1427
22.05.2010 22:20	0,1-0,2	4,7	0	0,6724	20,5077
22.05.2010 22:30	0,1-0,2	4,9	0	0,5923	18,0634
...

Tabelle 5 zeigt viele 10-min-Intervalle ohne erfasste Fledermausrufe. Das Modell sagt jedoch auch für diese 10-min-Intervalle Fledermausaktivität vorher. Dies stellt nur einen vermeintlichen Widerspruch dar: Das Modell der Aktivitätsvorhersage leistet eine im Mittel richtige Risikovorhersage, kann aber das Auftreten von Fledermäusen im Einzelfall nicht vollständig wiedergeben. In diesem Zusammenhang ist auch zu berücksichtigen, dass die Daten der akustischen Erfassung nur ein relatives Maß sind – es werden nicht

alle im Rotorbereich aktiven Fledermäuse aufgenommen. Deshalb kann ein Schlagrisiko bestehen, auch wenn der Detektor keine Aufnahmen aufzeichnet.

5.2.4 Schritt 4: Schätzung der Schlagopferzahl

Nun wird das Schlagrisiko für die gesamte Nacht aus der geschätzten Anzahl Aufnahmen pro Nacht und der Windgeschwindigkeit ermittelt. Für die Schätzung der Schlagopfer wird eine im Forschungsvorhaben entwickelte Formel benutzt (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011; KORNER-NIEVERGELT et al. 2013)²:

Die *Formel Nr. 6*, um die erwartete Zahl verunglückter Fledermäuse in einer Nacht zu schätzen, lautet:

$$\text{Anzahl Schlagopfer pro Nacht} = \exp(a_0 + a_1 * \text{scAkt} + a_2 * \text{scWind} + a_3 * \text{scWind}^2)$$

Oder Formel Nr. 6 entsprechend in mathematischer Notation:

$$\text{Anzahl Schlagopfer pro Nacht} = e^{a_0 + a_1 * \text{scAkt} + a_2 * \text{scWind} + a_3 * \text{scWind}^2}$$

a_0 , a_1 , a_2 und a_3 sind Modellparameter, die aus dem Datensatz des Forschungsvorhabens geschätzt wurden (KORNER-NIEVERGELT et al. 2011); scAkt ist die logarithmierte und skalierte Aktivität der jeweiligen gesamten Nacht (s. Schritt 3) und scWind die skalierte Windgeschwindigkeit der jeweiligen gesamten Nacht. Sowohl scAkt, scWind (Formeln Nr. 7 und 8) und darauf folgend die Anzahl Schlagopfer pro Nacht (Formeln Nr. 9 und 10) müssen für jedes beprobte 10-min-Intervall individuell berechnet werden. Die in den Formeln 7a und 8a als „Akt“ bezeichnete Variable entspricht hier der in Schritt 3 mit Formel Nr. 5 berechneten vorhergesagten Anzahl an Aufnahmen pro Nacht (siehe auch Tabelle 5). Die in den Formeln 7b und 8b als „Wind“ bezeichnete Variable entspricht der Windgeschwindigkeit des betreffenden 10-min-Intervalls.

Die Skalierungen werden nach den Angaben im Bundesforschungsvorhaben wie folgt vorgenommen:

Für den Anabat SD1 (*Formeln Nr. 7a und 7b*)

$$\text{scAkt} = (\log(\text{Akt} + 1) - 0,79538) / 1,088398$$

$$\text{scWind} = (\text{Wind} - 5,211521) / 1,892224$$

² Wir geben hier die Formeln für den Anabat SD1 und den Batcorder mit der Empfindlichkeits-einstellung -36 dB an. Formeln für den Batcorder mit der Einstellung -27 dB und für das Avisoft System werden wir bis Ende des Jahres 2015 auf unserer Website <http://windbat.techfak.fau.de> veröffentlichen. Auch für den Anabat SD1 werden wir ein Update der Formel zur Verfügung stellen.

Für den Batcorder (*Formeln Nr. 8a und 8b*)

$$\text{scAkt} = (\log(\text{Akt} + 1) - 1,098) / 1,51947$$

$$\text{scWind} = (\text{Wind} - 5,543) / 1,801978$$

Die Modellparameter werden ebenfalls aus dem Forschungsvorhaben übernommen. Demnach ergeben sich folgende Formeln zur Berechnung der Anzahl Schlagopfer pro Nacht:

Für den Anabat SD1 (*Formel Nr. 9*):

$$\text{Anzahl Schlagopfer pro Nacht} = \exp(-2,811 + 0,662 * \text{scAkt} - 0,277 * \text{scWind} - 0,231 * \text{scWind}^2)$$

Für den Batcorder (*Formel Nr. 10*):

$$\text{Anzahl Schlagopfer pro Nacht} = \exp(-3,492 + 0,402 * \text{scAkt} - 1,776 * \text{scWind} - 0,802 * \text{scWind}^2)$$

Fortführung des Beispiels von weiter oben:

Aus der Fledermausaktivität pro Nacht in Tabelle 5 wird das Schlagrisiko pro Nacht anhand der obigen Formel Nr. 10 für den Batcorder errechnet.

Tabelle 6 Errechnetes Schlagrisiko pro Nacht. „Akt“ in der Formel entspricht „Vorhergesagte Anzahl Aufnahmen pro Nacht“ in der Tabelle. Die Modellparameter wurden gemäß den obigen Formeln für den Batcorder verwendet.

Start des 10-min-Intervalls	Nachtzeit Intervall	Wind (m/s)	Vorhergesagte Anzahl Aufnahmen pro 10-min-Intervall	Vorhergesagte Anzahl Aufnahmen pro Nacht	Vorhergesagte Anzahl Schlagopfer pro Nacht
...
22.05.2010 20:00	-0,15-0	2,7	0,1525	57,3634	0,1494
22.05.2010 20:10	-0,15-0	3,2	0,1094	41,1371	0,1589
22.05.2010 20:20	-0,15-0	3,6	0,0841	31,6226	0,1529
22.05.2010 20:30	-0,15-0	3,8	0,0738	27,7529	0,1457
22.05.2010 20:40	-0,15-0	3,5	0,0898	33,7637	0,1555
22.05.2010 20:50	-0,15-0	4,8	0,0388	14,5930	0,0854
22.05.2010 21:00	-0,15-0	4,9	0,0364	13,6969	0,0789
22.05.2010 21:10	-0,15-0	5	0,0342	12,8579	0,0725

Start des 10-min-Intervalls	Nachtzeit Intervall	Wind (m/s)	Vorhergesagte Anzahl Aufnahmen pro 10-min-Intervall	Vorhergesagte Anzahl Aufnahmen pro Nacht	Vorhergesagte Anzahl Schlagopfer pro Nacht
22.05.2010 21:20	0-0,1	4,3	0,4222	23,3331	0,1231
22.05.2010 21:30	0-0,1	5,4	0,2103	11,6201	0,0510
22.05.2010 21:40	0-0,1	5,6	0,1856	10,2587	0,0408
22.05.2010 21:50	0-0,1	5,4	0,2103	11,6201	0,0510
22.05.2010 22:00	0-0,1	4,6	0,3484	19,2550	0,1026
22.05.2010 22:10	0,1-0,2	4	1,0539	32,1427	0,1461
22.05.2010 22:20	0,1-0,2	4,7	0,6724	20,5077	0,0987
22.05.2010 22:30	0,1-0,2	4,9	0,5923	18,0634	0,0845
...

5.2.5 Schritt 5: Extrapolation des Schlagrisikos von ganzen Nächten auf 10-min-Intervalle

Entsprechend der bereits in Schritt 3 verwendeten Gewichtungsfaktoren wird das Schlagrisiko dann von der ganzen Nacht auf das jeweilige 10-min-Intervall zurückgerechnet:

Formel Nr. 11

Anzahl Schlagopfer pro 10min = Anzahl Schlagopfer pro Nacht / nZI * G

Fortführung des Beispiels von weiter oben:

Tabelle 6 wird unter Anwendung der Formel Nr. 11 um das Schlagrisiko pro 10-min-Intervall in Tabelle 7 ergänzt.

Tabelle 7 Errechnetes Schlagrisiko pro 10-min-Intervall. nZI = 63, G(-0,15-0) = 0,16747887, G(0-0,1) = 1,14007392 und G(0,1-0,2) = 2,0657284 für den unten stehenden Ausschnitt des Datensatzes.

Start des 10-min-Intervalls	Nachtzeit Intervall	Wind (m/s)	Vorhergesagte Anzahl Aufnahmen pro 10-min-Intervall	Vorhergesagte Anzahl Aufnahmen pro Nacht	Vorhergesagte Anzahl Schlagopfer pro Nacht	Vorhergesagte Anzahl Schlagopfer pro 10-min-Intervall
...
22.05.2010 20:00	-0,15-0	2,7	0,1525	57,3634	0,1494	0,00040
22.05.2010 20:10	-0,15-0	3,2	0,1094	41,1371	0,1589	0,00042
22.05.2010 20:20	-0,15-0	3,6	0,0841	31,6226	0,1529	0,00041
22.05.2010 20:30	-0,15-0	3,8	0,0738	27,7529	0,1457	0,00039

Start des 10-min-Intervalls	Nachtzeit Intervall	Wind (m/s)	Vorhergesagte Anzahl Aufnahmen pro 10-min-Intervall	Vorhergesagte Anzahl Aufnahmen pro Nacht	Vorhergesagte Anzahl Schlagopfer pro Nacht	Vorhergesagte Anzahl Schlagopfer pro 10-min-Intervall
22.05.2010 20:40	-0,15-0	3,5	0,0898	33,7637	0,1555	0,00041
22.05.2010 20:50	-0,15-0	4,8	0,0388	14,5930	0,0854	0,00023
22.05.2010 21:00	-0,15-0	4,9	0,0364	13,6969	0,0789	0,00021
22.05.2010 21:10	-0,15-0	5	0,0342	12,8579	0,0725	0,00019
22.05.2010 21:20	0-0,1	4,3	0,4222	23,3331	0,1231	0,00223
22.05.2010 21:30	0-0,1	5,4	0,2103	11,6201	0,0510	0,00092
22.05.2010 21:40	0-0,1	5,6	0,1856	10,2587	0,0408	0,00074
22.05.2010 21:50	0-0,1	5,4	0,2103	11,6201	0,0510	0,00092
22.05.2010 22:00	0-0,1	4,6	0,3484	19,2550	0,1026	0,00186
22.05.2010 22:10	0,1-0,2	4	1,0539	32,1427	0,1461	0,00479
22.05.2010 22:20	0,1-0,2	4,7	0,6724	20,5077	0,0987	0,00324
22.05.2010 22:30	0,1-0,2	4,9	0,5923	18,0634	0,0845	0,00277
...

5.2.6 Schritt 6: Korrektur für unterschiedliche Rotorradien

Das Modell für die Schätzung der Schlagopferzahl aus der Anzahl der Aufnahmen wurde anhand von Daten erstellt, die an Anlagen der Firma ENERCON mit Rotordurchmessern von im Mittel 70 m erfasst wurden. Es ist davon auszugehen, dass bei Anlagen mit einem größeren Rotordurchmesser auch höhere Schlagopferzahlen zu erwarten sind beziehungsweise bei kleineren Rotordurchmessern geringere Zahlen.

Momentan liegen keine vergleichbaren Daten für größere oder kleinere Anlagen vor. Man kann aber von der einfachen Hypothese ausgehen, dass das Schlagrisiko im Prinzip proportional zur vom Rotor überstrichenen Fläche ansteigt, dass also die Wahrscheinlichkeit für Fledermausschlag unabhängig von der Entfernung von der Gondel ist.

Darüber hinaus werden die Gondel selbst und ein gondelnaher Bereich (20 % des Rotordurchmessers) als für Fledermäuse weniger gefährlich ausgeschlossen, da sich hier der Rotor deutlich langsamer bewegt (mit maximal einem Fünftel der Rotorspitzen-geschwindigkeit – bei den meisten Anlagentypen also mit unter 40 km/h bei 6 m/s Windgeschwindigkeit).

Für Anlagen mit von 70 m abweichenden Rotordurchmessern ist ein Korrekturfaktor anzuwenden. Der Korrekturfaktor entspricht dem Flächenverhältnis der vom Rotor überstrichenen Fläche der jeweiligen Anlage und der im Forschungsvorhaben beprobten Anlagen (der Durchmesser geht daher als quadratischer Wert in die Formel ein). Vom Rotordurchmesser wird jeweils eine innere Kreisfläche mit einem Durchmesser von 20 % des gesamten Rotor- und Gondeldurchmessers abgezogen, da das Kollisionsrisiko hier als gering angenommen wird. Der Korrekturfaktor K für eine Anlage mit Rotordurchmesser d lautet somit:

Formel Nr. 12a

$$K = (d^2 * \pi - (0,2 * d)^2 * \pi) / (70^2 * \pi - 14^2 * \pi)$$

was sich vereinfachen lässt zu

$$K = 0,000204 * d^2$$

Wärmeoptische Stereobildbeobachtungen aus RENEBAAT II haben nun gezeigt, dass die Konzentration von Fledermäusen im Rotorbereich einer WEA mit dem Abstand zur Gondel exponentiell abnimmt. Die obige Formel wird daher um eine genäherte lineare Korrektur ergänzt. Die Näherung erklärt den an sich komplexen Zusammenhang sehr exakt (über 99 % der Varianz werden beim Vergleich der Ergebnisse der komplexen und der genäherten Formel erklärt – $r^2 = 0,9997$):

Formel Nr. 12b

$$K = 0,000204 * (0,4348 * d + 39,468)^2$$

Die Anzahl Schlagopfer (pro 10-min-Intervall oder Nacht) muss jeweils mit diesem K multipliziert werden.

5.2.7 Schritt 7: Entwicklung des Betriebsalgorithmus

Die fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen werden so errechnet, dass die durch die Abschaltzeiten entstehenden Ertragsverluste möglichst gering sind. Dazu wird zunächst für jedes 10-min-Intervall der Quotient aus der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit („Windgeschwindigkeit hoch drei“), die bei den hier relevanten Windgeschwindigkeiten annähernd proportional zum Ertrag ist, und der geschätzten Schlagopferzahl pro 10min gebildet. Die dritte Potenz der Windgeschwindigkeit ist also ein relatives Maß für den Ertrag:

Formel Nr. 13

$$Q = \text{Windgeschwindigkeit}^3 / \text{Anzahl Schlagopfer pro 10min}$$

Es ergeben sich hohe Werte für Intervalle, in denen der Ertrag groß und die Gefährdung für Fledermäuse gering ist, und entsprechend niedrige Werte bei hoher Gefährdung und geringem Ertrag. Die 10-min-Intervalle, in denen die Anlage aus dem Betrieb genommen werden sollte, sind diejenigen mit geringem Ertrag und hoher Gefährdung für Fledermäuse, also mit geringen Werten für Q. Der Schwellenwert für Q kann nun so gewählt werden, dass die Zahl toter Fledermäuse in den übrig gebliebenen Intervallen, in denen die Anlage normal betrieben wird, den vorgegebenen Schwellenwert tolerierbarer Fledermausverluste (in Bayern: unter 2 pro Jahr und Anlage) nicht mehr überschreitet. Um den Schwellenwert für Q zu berechnen, wird die vorhergesagte Zahl toter Fledermäuse pro 10min aufsummiert, beginnend beim Intervall mit dem höchsten Wert für Q, bis die noch tolerierte Anzahl Kollisionsopfer erreicht ist.

Falls vorhanden, können hier auch die Ertragswerte (meist in mittlere Leistung je 10-min-Intervall in kW und als bisherige Gesamtsumme des Energieertrags der WEA angegeben) aufsummiert werden, womit eine Kostenschätzung für den fledermausfreundlichen Betrieb möglich wird. Es sind in diesem Fall die Ertragswerte beginnend mit dem niedrigsten Wert für Q aufzusummieren, bis der Schwellenwert für Q überschritten wird (also die 10-Minuten-Intervalle, in denen die Anlage still zu stellen ist).

Im letzten Schritt wird für jede mögliche Kombination aus Nachtzeit und Monat anhand der genannten Formeln die Windgeschwindigkeit errechnet, ab der der Schwellenwert für Q nicht mehr überschritten wird. Diese Windgeschwindigkeit entspricht der Anlaufgeschwindigkeit für den jeweiligen Monat und die konkrete Nachtzeit. Um diese Windgeschwindigkeit zu ermitteln, kann man z. B. eine Tabelle mit allen möglichen Kombinationen aus Nachtzeit, Monat und Windgeschwindigkeit (jeweils innerhalb des sinnvollen Bereichs) erstellen und für alle diese Kombinationen den Wert von Q entsprechend der hier dargestellten Vorgehensweise berechnen (als nZI der Schritte 3 und 5 kann dabei ein mittlerer Wert für den jeweiligen Monat verwendet werden – der Unterschied im Ergebnis im Vergleich zu tagesspezifischen Werten für nZI ist vernachlässigbar. Tabelle 10 zeigt beispielhaft die Ermittlung der Anlaufwindgeschwindigkeit für die Kombination aus Monat Mai und Nachtzeit 0-0,1).

Eine Ergebnistabelle zur WEA-Steuerung entsprechend dem errechneten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus findet sich beispielhaft in Tabelle 11.

Fortführung des Beispiels von weiter oben:

Zunächst wird Q für jedes der gemessenen 10-min-Intervalle anhand der dritten Potenz der gemessenen Windgeschwindigkeit und des errechneten Schlagrisikos, wie in Formel Nr. 13 dargestellt, ermittelt. Tabelle 8 zeigt die entsprechende Erweiterung der Tabelle 7.

Tabelle 8 Erweiterung von Tabelle 7 um Q, dem Quotienten aus der dritten Potenz der gemessenen Windgeschwindigkeit und dem errechneten Schlagrisiko

Start des 10-min-Intervalls	Nachtzeit Intervall	Wind (m/s)	Vorhergesagte Anzahl Schlagopfer pro 10-min-Intervall	Q
...
22.05.2010 20:00	-0,15-0	2,7	0,0003972599	49547
22.05.2010 20:10	-0,15-0	3,2	0,0004224423	77568
22.05.2010 20:20	-0,15-0	3,6	0,0004064849	114779
22.05.2010 20:30	-0,15-0	3,8	0,0003872628	141692
22.05.2010 20:40	-0,15-0	3,5	0,0004134239	103707
22.05.2010 20:50	-0,15-0	4,8	0,0002271565	486854
22.05.2010 21:00	-0,15-0	4,9	0,0002096950	561048
22.05.2010 21:10	-0,15-0	5	0,0001926427	648870
22.05.2010 21:20	0-0,1	4,3	0,0022280873	35684
...

Zur Bestimmung des Schwellenwertes für Q wird Tabelle 8 nach Q absteigend sortiert. Der Schwellenwert für Q ist nun derjenige Wert, für den die laufende Summe des Schlagrisikos einen bestimmten tolerierten Schwellenwert toter Fledermäuse pro Jahr gerade nicht überschreitet. Tabelle 9 zeigt dies für den Ausschnitt um den Wert für maximale Anzahl Schlagopfer = 1 pro Jahr. Der Schwellenwert für Q ergibt sich aus der blau markierten Zeile zu $Q = 352841$.

Zur Berechnung der laufenden Summe ist zu beachten, dass alle 10-min-Intervalle des Betrachtungszeitraums berücksichtigt werden müssen. Wurde nicht der gesamte relevante Zeitraum beprobt, d. h. sind Datenlücken vorhanden, so ist an dieser Stelle eine lineare Extrapolation der laufenden Summe der vorhergesagten Zahl der Schlagopfer vorzunehmen: Jeder Wert für die summierte vorhergesagte Anzahl der Schlagopfer pro 10-min-Intervall ist mit einem Korrekturfaktor Z zu multiplizieren. Der Wert für den Korrekturfaktor Z ergibt sich dabei als die Anzahl der eigentlich zu beprobenden

10-min-Intervalle geteilt durch die Anzahl tatsächlich beprobter 10-min-Intervalle. Sowohl die Zahl der tatsächlich beprobten als auch die Zahl eigentlich zu beprobender Intervalle bezieht sich dabei auf den für die Erfassung relevanten Zeitraum (z. B. Nachtzeit -0.15 bis 1 und Start- und Enddatum der Erfassung laut bayerischem Windkraftherlass).

Das heißt, wenn z. B. für 80 % der 10-min-Intervalle des Messzeitraums gültige Messdaten vorliegen, so ist die laufende Summe mit dem Wert 1,25 zu multiplizieren (d. h. die Anzahl der Schlagopfer wird linear auf den Gesamtzeitraum extrapoliert).

Der Korrekturfaktor Z berechnet sich mit *Formel Nr. 14* als:

$$Z = \text{Anzahl zu beprobender 10-min-Intervalle} / \text{Anzahl tatsächlich beprobter 10-min-Intervalle}$$

Die summierte vorhergesagte Anzahl der Schlagopfer pro 10-min-Intervall muss jeweils mit diesem Z multipliziert werden.

Tabelle 9 Bestimmung des Q-Schwellenwertes aus der laufenden Summe des Schlagrisikos

Start des 10-min-Intervalls	Wind (m/s)	Laufende Summe der Anzahl vorhergesagter Schlagopfer pro 10-min-Intervall	Q absteigend sortiert
...
26.06.2010 01:50:00	5,9	0,98227	374629
02.07.2010 00:50:00	6,1	0,98464	374450
21.07.2010 22:20:00	6,4	0,98742	369800
21.07.2010 02:10:00	5,8	0,98952	364126
20.07.2010 01:20:00	6,0	0,99190	355946
13.07.2010 02:40:00	5,8	0,99405	355476
27.05.2010 23:10:00	6,0	0,99643	355421
01.08.2010 21:30:00	6,1	0,99895	352841
05.06.2010 05:10:00	5,2	1,00052	351570
06.06.2010 04:50:00	5,2	1,00208	351570
06.06.2010 05:00:00	5,2	1,00365	351570
29.06.2010 23:10:00	6,2	1,00633	348265
...

Wie oben beschrieben kann nun für alle Monate und Nachtzeiten diejenige Windgeschwindigkeit ermittelt werden, ab der die WEA anlaufen darf bzw. abgeschaltet werden muss, um oberhalb des ermittelten Q-Schwellenwertes von 352841 zu bleiben. Dies geschieht durch sukzessive Annäherung über Windgeschwindigkeitswerte im Bereich von 0 bis 10 m/s in Schritten von 0,1 m/s. Das Verfahren veranschaulicht Tabelle 10: Sie zeigt die Ermittlung der Anlaufwindgeschwindigkeit für den Monat Mai und die Nachtzeit 0-0,1.

Tabelle 10 Bestimmung der Anlauf-Windgeschwindigkeiten durch Approximation. Dargestellt ist die Bestimmung der Anlaufwindgeschwindigkeit für den Monat Mai und die Nachtzeit 0-0,1 für Windgeschwindigkeiten von 4,0-7,0 m/s. Als Anzahl an 10-min-Intervallen wurde die mittlere Anzahl an 10-min-Intervallen für den Monat Mai verwendet von $n_{ZI} = 64$. Die Berechnung der Anzahl Schlagopfer pro 10-min-Intervall erfolgte unter Verwendung der Formeln Nr. 2, 5, 8a, 8b, 10 und 11. Der Anlagenfaktor im dargestellten Beispiel betrug 5,0113 (wir verwenden hier einen sehr hohen Wert, der für WEA in Mitteleuropa kaum übertroffen werden sollte). Die zu wählende Anlaufwindgeschwindigkeit für dieses Beispiel liegt bei 5,9 m/s. Letztere entspricht der höchsten Windgeschwindigkeit, bei der der Q-Schwellenwert (352841) nicht unterschritten wird.

Wind (m/s)	Vorhergesagte Anzahl Schlagopfer pro 10-min-Intervall	Q
...
4,0	0,0025293346	25303
4,1	0,0024269292	28398
4,2	0,0023173807	31971
4,3	0,0022020542	36106
4,4	0,0020823316	40908
4,5	0,0019595845	46502
4,6	0,0018351491	53040
4,7	0,0017103028	60704
4,8	0,0015862442	69719
4,9	0,0014640761	80357
5,0	0,0013447916	92951
5,1	0,0012292644	107911
5,2	0,0011182422	125740
5,3	0,0010123438	147062
5,4	0,0009120595	172647
5,5	0,0008177541	203454

Wind (m/s)	Vorhergesagte Anzahl Schlagopfer pro 10-min-Intervall	Q
5,6	0,0007296727	240678
5,7	0,0006479491	285814
5,8	0,0005726149	340739
5,9	0,0005036106	407813
6,0	0,0004407977	490021
6,1	0,0003839702	591142
6,2	0,0003328675	715985
6,3	0,0002871855	870681
6,4	0,0002465884	1063083
6,5	0,0002107190	1303276
6,6	0,0001792081	1604258
6,7	0,0001516826	1982844
6,8	0,0001277734	2460857
6,9	0,0001071206	3066720
7,0	0,0000893791	3837586
...

Der fledermausfreundliche Betrieb kann ggf. mit einer Hysterese definiert werden, um die Zahl der Ab- und Anschaltvorgänge und somit einen möglichen Verschleiß von Anlagenkomponenten zu reduzieren. Wenn als z. B. für den fledermausfreundlichen Betrieb eine *cut-in* Windgeschwindigkeit von $5,0 \text{ ms}^{-1}$ definiert wird, wird der Rotor gestoppt, sobald die Windgeschwindigkeit unter $5,0 \text{ ms}^{-1}$ sinkt. Der Rotor läuft jedoch bei einer Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$ erst dann wieder an, wenn die gemessene Windgeschwindigkeit $5,5 \text{ ms}^{-1}$ übersteigt. Die empfehlenswerte Höhe der Hysterese und die zusätzlichen resultierenden Ertragsausfälle sind von verschiedenen technischen Aspekten des jeweiligen Anlagentyps und von der Verteilung der Windgeschwindigkeiten am Standort abhängig. Hierfür liegen bislang nur wenige Erfahrungen vor. In RENEBAT II verwendeten wir eine Hysterese von $0,5 \text{ ms}^{-1}$.

Die gefundenen Anlauf-Windgeschwindigkeiten können schließlich in einer Ergebnistabelle verfügbar gemacht werden. Tabelle 11 zeigt diese komplett für das betrachtete Beispiel und den Zeitraum von April bis Oktober.

Tabelle 11 Anlauf-Windgeschwindigkeiten: Beispieltabelle zur Steuerung einer Windenergieanlage entsprechend dem errechneten fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmus. Für eine spezifische Anlage ist für jede Monat-Nachtzeit-Kombination die Windgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde angegeben, ab der der Rotor beginnen darf sich zu drehen – also die Anlaufwindgeschwindigkeit. Die Nachtzeit ist in relativen 10 %-Intervallen von 0 (Sonnenuntergang) bis 1 (Sonnenaufgang) angegeben (siehe oben, Schritt 1). Gezeigt ist eine Steuerungstabelle für die Monate April bis Oktober. Die entsprechend dem bayerischen Windkrafterlass zu erstellende Tabelle muss den gesamten Zeitraum von Mitte März bis Ende Oktober umfassen. Der jeweils zugehörige, über dem Schwellenwert liegende Wert für Q ist hier lediglich zur Information gezeigt.

Monat	Nachtzeit Intervall	Anlauf-Windgeschwindigkeit (m/s)	Q
04	-0,15-0	4,0	370236
04	0-0,1	5,5	387568
04	0,1-0,2	5,9	409709
04	0,2-0,3	5,7	406231
04	0,3-0,4	5,6	371969
04	0,4-0,5	5,6	353738
04	0,5-0,6	5,4	390369
04	0,6-0,7	5,4	366001
04	0,7-0,8	5,0	363885
04	0,8-0,9	4,9	364817
04	0,9-1	3,5	364077
05	-0,15-0	4,6	374893
05	0-0,1	5,9	407813
05	0,1-0,2	6,2	383603
05	0,2-0,3	6,0	368691
05	0,3-0,4	6,0	397554
05	0,4-0,5	6,0	389309
05	0,5-0,6	5,8	410750
05	0,6-0,7	5,8	388531
05	0,7-0,8	5,5	412118
05	0,8-0,9	5,4	397924
05	0,9-1	4,2	369769
06	-0,15-0	4,5	382159
06	0-0,1	5,9	394586

Monat	Nachtzeit Intervall	Anlauf-Windgeschwindigkeit (m/s)	Q
06	0,1-0,2	6,3	423030
06	0,2-0,3	6,0	376873
06	0,3-0,4	6,0	390314
06	0,4-0,5	5,9	374629
06	0,5-0,6	5,7	402011
06	0,6-0,7	5,7	392673
06	0,7-0,8	5,4	404613
06	0,8-0,9	5,3	410981
06	0,9-1	4,0	379017
07	-0,15-0	4,9	384296
07	0-0,1	6,1	396916
07	0,1-0,2	6,4	369800
07	0,2-0,3	6,2	406492
07	0,3-0,4	6,1	383569
07	0,4-0,5	6,0	355946
07	0,5-0,6	5,8	364126
07	0,6-0,7	5,9	411304
07	0,7-0,8	5,6	384703
07	0,8-0,9	5,6	391352
07	0,9-1	4,4	353389
08	-0,15-0	4,8	355303
08	0-0,1	6,1	372483
08	0,1-0,2	6,5	408123
08	0,2-0,3	6,3	414479
08	0,3-0,4	6,2	383303
08	0,4-0,5	6,1	378084
08	0,5-0,6	5,8	356706
08	0,6-0,7	5,8	354991
08	0,7-0,8	5,5	363160
08	0,8-0,9	5,5	377808
08	0,9-1	4,4	381406

Monat	Nachtzeit Intervall	Anlauf-Windgeschwindigkeit (m/s)	Q
09	-0,15-0	4,3	352937
09	0-0,1	5,7	381093
09	0,1-0,2	6,1	396008
09	0,2-0,3	5,9	384109
09	0,3-0,4	5,9	392242
09	0,4-0,5	5,8	357575
09	0,5-0,6	5,6	396452
09	0,6-0,7	5,6	405491
09	0,7-0,8	5,2	379613
09	0,8-0,9	5,2	363177
09	0,9-1	4,0	367993
10	-0,15-0	4,2	365841
10	0-0,1	5,6	366193
10	0,1-0,2	6,0	409354
10	0,2-0,3	5,7	369659
10	0,3-0,4	5,6	368363
10	0,4-0,5	5,6	414508
10	0,5-0,6	5,3	396372
10	0,6-0,7	5,3	368392
10	0,7-0,8	5,0	385150
10	0,8-0,9	5,0	374028
10	0,9-1	3,7	362054

6 Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit für die Förderung des Forschungsvorhabens und insbesondere Frau Radecke und Herrn Lüdecke, die uns fachlich betreut haben.

Wir danken dem Projektträger Jülich für die gute fachliche und organisatorische Betreuung des Forschungsvorhabens, insbesondere Frau Klein und Herrn Verfuß.

Darüber hinaus bedanken wir uns bei den Personen, die zahlreiche wertvolle Hinweise zur Erstellung des Leitfadens gegeben haben: Lothar Baumbauer, Robert Brinkmann, Johanna Hurst, Julia Metsio Sienna, Ivo Niermann, Hendrik Reers, Bernd-Ulrich Rudolph, Horst Schauer-Weißhahn und Ralph Simon.

7 Literatur

- ARNETT, E. B., G. D. JOHNSON, W. P. ERICKSON UND C. D. HEIN (2013): A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Austin, Texas, USA, Bat Conservation International.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, F. KORNER-NIEVERGELT, M. NAGY, I. NIERMANN, M. REICH, R. SIMON (2015): Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). - Umwelt und Raum Bd. 7, 368 S., Institut für Umweltplanung, Hannover.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011a): Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 177-286.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011b): Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 354-383.
- BEHR, O., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND F. KORNER-NIEVERGELT (2011c): Vorhersage der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 287-322.
- BEHR, O. UND B.-U. RUDOLPH (2012): Erläuterungen zum Windkrafteffekt Bayern – Teil I FAQ Fledermäuse, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg.
- BRINKMANN, R., O. BEHR, F. KORNER-NIEVERGELT, J. MAGES, I. NIERMANN UND M. REICH (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Göttingen, Cuvillier Verlag.
- KORNER-NIEVERGELT, F., O. BEHR, I. NIERMANN UND R. BRINKMANN (2011): Schätzung der Zahl verunglückter Fledermäuse an Windenergieanlagen mittels akustischer Aktivitätsmessungen und modifizierter N-mixture Modelle. - In: Entwicklung

von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann und M. Reich. Göttingen, Cuvillier Verlag: Umwelt und Raum Bd. 4, 323-353.

KORNER-NIEVERGELT, F., R. BRINKMANN, I. NIERMANN UND O. BEHR (2013): Estimating bat and bird mortality occurring at wind energy turbines from covariates and carcass searches using mixture models. PLoS ONE 8: e67997.

LARSON, D. J. UND J. P. HAYES (2000): Variability in sensitivity of Anabat II bat detectors and a method of calibration. Acta Chiropterologica 2: 209-213.

MAYER, K., J. HURST, I. NIERMANN, M. REICH UND R. BRINKMANN (2015): Planungsvorgaben bezüglich der Beachtung des Fledermausschutzes bei Planung und Betrieb von Windenergieanlagen - eine Recherche bei Behörden und nicht-staatlichen Organisationen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 271-315.

SIMON, R., K. HOCHRADEL, J. MAGES, M. NAGY, A. NAUCKE, I. NIERMANN, N. WEBER UND O. BEHR (2015): Methoden der akustischen Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. - In: Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). O. Behr, R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich, R. Simon (Hrsg.). Hannover, Institut für Umweltplanung: Umwelt und Raum Bd. 7, 39-80.

8 Anhang

Anhang 1 Modellparameter für die Vorhersage der Fledermausaktivität aus BEHR et al. (2011c). Zusätzlich zu den im Forschungsvorhaben beprobten Monaten Mai bis Oktober sind hier Werte für April und November angegeben, die aus einer kleinen Stichprobe des Forschungsvorhabens und aus Untersuchungen anderer Bearbeiter extrapoliert wurden. Für den März liegen derzeit keine Informationen vor, weshalb hier die Werte für den folgenden Monat April übernommen wurden.

Effekt	Koeffizient	
	Anabat SD1	Batcorder
(Intercept)	-4,68073388	-5,02545202
Windgeschwindigkeit	-0,53621608	-0,71349484
Windgeschwindigkeit ²	-0,00948506	0,00822059
Monat 3	-3,73018264	-2,73546727
Monat 4	-3,73018264	-2,73546727
Monat 5	0	0

Monat 6	-0,56840205	-0,41252796
Monat 7	0,22239053	1,06121241
Monat 8	0,89802724	1,73730991
Monat 9	-0,6986055	-0,31263601
Monat 10	-2,09566584	-1,35923434
Monat 11	-3,86165258	-2,83187856
Nachtzeit -0,15-0	0	0
Nachtzeit 0-0,1	2,2041148	2,06797641
Nachtzeit 0,1-0,2	3,09224942	2,7891016
Nachtzeit 0,2-0,3	2,87092966	2,39731079
Nachtzeit 0,3-0,4	2,67845904	2,32699306
Nachtzeit 0,4-0,5	2,71636459	2,16340943
Nachtzeit 0,5-0,6	2,5221675	1,73251191
Nachtzeit 0,6-0,7	2,40349565	1,7331581
Nachtzeit 0,7-0,8	1,73371857	1,20753397
Nachtzeit 0,8-0,9	1,26312535	1,16304089
Nachtzeit 0,9-1	-0,03548228	-0,48150431

Anhang 2 Gewichtungsfaktoren für die Umrechnung der Anzahl Aufnahmen im 10-min-Intervall auf die gesamte Nacht (vgl. BEHR et al. 2011b). Für die im Forschungsvorhaben nicht beprobten Monate März, April und November sind hier jeweils die Werte der angrenzenden Monate Mai bzw. Oktober angegeben.

Monat	Nachtzeit	relative Aktivität	Batcorder
3	-0.15-0	0,11911782	0,16747887
3	0-0.1	0,98083295	1,14007392
3	0.1-0.2	1,9897065	2,0657284
3	0.2-0.3	1,62232736	1,49436472
3	0.3-0.4	1,1079144	1,38369452
3	0.4-0.5	1,65131459	1,49499438
3	0.5-0.6	1,30443553	0,99023661
3	0.6-0.7	1,33474629	1,06446376
3	0.7-0.8	0,52253823	0,59106468
3	0.8-0.9	0,28928748	0,50586878

Monat	Nachtzeit	relative Aktivität	Batcorder
3	0.9-1	0,07777886	0,10203137
4	-0.15-0	0,11911782	0,16747887
4	0-0.1	0,98083295	1,14007392
4	0.1-0.2	1,9897065	2,0657284
4	0.2-0.3	1,62232736	1,49436472
4	0.3-0.4	1,1079144	1,38369452
4	0.4-0.5	1,65131459	1,49499438
4	0.5-0.6	1,30443553	0,99023661
4	0.6-0.7	1,33474629	1,06446376
4	0.7-0.8	0,52253823	0,59106468
4	0.8-0.9	0,28928748	0,50586878
4	0.9-1	0,07777886	0,10203137
5	-0.15-0	0,11911782	0,16747887
5	0-0.1	0,98083295	1,14007392
5	0.1-0.2	1,9897065	2,0657284
5	0.2-0.3	1,62232736	1,49436472
5	0.3-0.4	1,1079144	1,38369452
5	0.4-0.5	1,65131459	1,49499438
5	0.5-0.6	1,30443553	0,99023661
5	0.6-0.7	1,33474629	1,06446376
5	0.7-0.8	0,52253823	0,59106468
5	0.8-0.9	0,28928748	0,50586878
5	0.9-1	0,07777886	0,10203137
6	-0.15-0	0,08828033	0,14724443
6	0-0.1	0,87430925	1,2608325
6	0.1-0.2	2,24931211	2,47442475
6	0.2-0.3	1,7039196	1,54010743
6	0.3-0.4	1,36295047	1,50203046
6	0.4-0.5	1,45673016	1,31175342
6	0.5-0.6	1,23077725	0,85999816
6	0.6-0.7	1,13494549	0,88631009

Monat	Nachtzeit	relative Aktivität	Batcorder
6	0.7-0.8	0,54796819	0,52010105
6	0.8-0.9	0,27659371	0,41936083
6	0.9-1	0,07421345	0,07783689
7	-0.15-0	0,12930221	0,19413999
7	0-0.1	0,89583691	1,35030241
7	0.1-0.2	2,13190944	2,56350263
7	0.2-0.3	1,58012373	1,51471744
7	0.3-0.4	1,26391957	1,2950043
7	0.4-0.5	1,4283495	1,17508097
7	0.5-0.6	1,2922652	0,80873492
7	0.6-0.7	1,17994645	0,87496624
7	0.7-0.8	0,61841479	0,56240359
7	0.8-0.9	0,37706604	0,55803108
7	0.9-1	0,10286617	0,10311644
8	-0.15-0	0,12484749	0,15821485
8	0-0.1	1,18138442	1,31469073
8	0.1-0.2	2,57636597	2,64885756
8	0.2-0.3	1,85135107	1,71810816
8	0.3-0.4	1,3050236	1,49955504
8	0.4-0.5	1,31622299	1,24625191
8	0.5-0.6	1,03123945	0,74068711
8	0.6-0.7	0,84142028	0,7453582
8	0.7-0.8	0,43721789	0,43088692
8	0.8-0.9	0,26190044	0,41490604
8	0.9-1	0,07302641	0,08248348
9	-0.15-0	0,10812025	0,1546251
9	0-0.1	0,91135371	1,10416234
9	0.1-0.2	2,11800927	2,17525605
9	0.2-0.3	1,56061867	1,57174188
9	0.3-0.4	1,31677138	1,56265513
9	0.4-0.5	1,52760418	1,46648048

Monat	Nachtzeit	relative Aktivität	Batcorder
9	0.5-0.6	1,26847999	0,92930802
9	0.6-0.7	1,1543559	0,90206123
9	0.7-0.8	0,53504839	0,49467833
9	0.8-0.9	0,38893228	0,53204502
9	0.9-1	0,110706	0,10698642
10	-0.15-0	0,13147452	0,19953194
10	0-0.1	1,10646439	1,42716146
10	0.1-0.2	2,18279366	2,49112718
10	0.2-0.3	1,61398439	1,60411369
10	0.3-0.4	1,19531989	1,32348982
10	0.4-0.5	1,3427605	1,19082098
10	0.5-0.6	1,15413232	0,76218264
10	0.6-0.7	1,14622447	0,83691288
10	0.7-0.8	0,60601112	0,5124595
10	0.8-0.9	0,40357392	0,53886704
10	0.9-1	0,11726083	0,11333288
11	-0.15-0	0,13147452	0,19953194
11	0-0.1	1,10646439	1,42716146
11	0.1-0.2	2,18279366	2,49112718
11	0.2-0.3	1,61398439	1,60411369
11	0.3-0.4	1,19531989	1,32348982
11	0.4-0.5	1,3427605	1,19082098
11	0.5-0.6	1,15413232	0,76218264
11	0.6-0.7	1,14622447	0,83691288
11	0.7-0.8	0,60601112	0,5124595
11	0.8-0.9	0,40357392	0,53886704
11	0.9-1	0,11726083	0,11333288

Umwelt und Raum

Schriftenreihe Institut für Umweltplanung

Leibniz Universität Hannover

Bislang in der Schriftenreihe erschienen:

- Band 1: Reich, M. & S. Rüter (Hrsg.)
Energiepflanzenanbau und Naturschutz
Cuvillier, 2010, 165 Seiten
ISBN 978-3-86955-473-0
- Band 2: Reich, M. & S. Rüter (Hrsg.)
Auswirkungen des großflächigen Anbaus von Energiepflanzen auf die Tierwelt der Agrarlandschaft
Cuvillier, 2011, 244 Seiten
ISBN 978-3-86955-606-2
- Band 3: Urban, B., C. v. Haaren, H. Kanning, J. Krahl & A. Munack
Methode zur Bewertung der Biodiversität in Ökobilanzen am Beispiel biogener Kraftstoffe
Cuvillier, 2011, 210 Seiten
ISBN 978-3-86955-697-0
- Band 4: Brinkmann, R., O. Behr, I. Niermann & M. Reich (Hrsg.)
Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen
Cuvillier, 2011, 457 Seiten
ISBN 978-3-86955-753-3
- Band 5: Stowasser, A.
Potenziale und Optimierungsmöglichkeiten bei der Auswahl und Anwendung ingenieurbiologischer Bauweisen im Wasserbau
Cuvillier, 2011, 404 Seiten
ISBN 978-3-86955-795-3
- Band 6: Werpup, A.
Biotoptypenbasierte Gehölzansaatn – Eine Begrünungsmethode zur ingenieurbiologischen Sicherung von oberbodenlosen Verkehrswegeböschungen
Cuvillier, 2013, 253 Seiten
ISBN 978-3-95404-409-2

