

**Kai-Michael Thomsen, Stefanie Hartmann,
Hendrik Reers, Horst Schauer-Weisshahn,
Bruntje Lüdtkke, Heidje Reinhard, Klaus Hochradel,
Robert Brinkmann, Anne Evers, Luis Schmidt,
Jan Sohler, Fränzi Korner-Nievergelt
und Hermann Hötter**

Berücksichtigung von Artenschutz- belangen bei der Errichtung von Kleinwindenergieanlagen



Berücksichtigung von Artenschutz- belangen bei der Errichtung von Kleinwindenergieanlagen

**Kai-Michael Thomsen
Stefanie Hartmann
Hendrik Reers
Horst Schauer-Weisshahn
Bruntje Lüdtké
Heidje Reinhard
Klaus Hochradel
Robert Brinkmann
Anne Evers
Luis Schmidt
Jan Sohler
Fränzi Korner-Nievergelt
Hermann Hötker**

Titelbild: Kleinwindenergieanlage vom Typ EasyWind am Standort Mildstedtfeld (K.-M. Thomsen)

Adressen der Autorinnen und der Autoren:

Kai-Michael Thomsen Dr. Kai-Michael.Thomsen@NABU.de

Hermann Hötter †

Anne Evers

Anne.Evers@NABU.de

Luis Schmidt

Luis.Schmidt@NABU.de

Jan Sohler

Jan.Sohler@NABU.de

Michael-Otto-Institut im NABU

Goosstroot 1, 24861 Bergenhusen

Dr. Stefanie Hartmann

hartmann@frinat.de

Dr. Hendrik Reers

reers@frinat.de

Horst Schauer-Weissshahn

schauer-weissshahn@frinat.de

Heidje Reinhard

reinhard@frinat.de

Bruntje Lüdtkke

luedtke@frinat.de

Dr. Robert Brinkmann

brinkmann@frinat.de

Freiburger Institut für angewandte Tierökologie (FrlnaT)

Dunantstraße 9, 79110 Freiburg

Klaus Hochradel

Institut für Mess- und Sensortechnik an der privaten Universität für Gesundheitswissenschaften, Medizinische Informatik und Technik
Eduard-Wallnöfer-Zentrum 1, 6060 Hall in Tirol, Österreich

Fränzi Korner-Nievergelt

oikostat GmbH

Rothmättli 16, 6218 Ettiswil, Schweiz

Fachbetreuung im BfN:

Asja Weber

Fachgebiet II 4.3 „Naturschutz und erneuerbare Energien“

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (FKZ: 3515 83 0200).

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).

BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter <http://www.bfn.de/skripten.html> heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
URL: www.bfn.de

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.



Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt (<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.de>).

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU).

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-288-4

DOI 10.19217/skr550

Bonn - Bad Godesberg 2020

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	7
Vorwort	9
Nachruf	10
1. Einleitung	11
1.1. Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Vögel und Fledermäuse	11
1.2. Bedeutung von Kleinwindenergieanlagen in Deutschland	12
1.3. Naturschutzfachlicher und rechtlicher Hintergrund	13
1.4. Berücksichtigung des Artenschutzes bei Planung, Bau und Betrieb von KWEA	14
1.5. Kleinwindenergieanlagen und Annahmen zu Auswirkungen auf Vögel und Fledermäuse	14
1.6. Forschungsfragen	16
2. Material und Methoden.....	17
2.1. Projektorganisation	17
2.2. Projektvorstellung	17
2.3. Untersuchungen zu Vögeln	23
2.3.1. Brutvogelkartierungen	23
2.3.2. Untersuchungen zu Verhaltensweisen von Vögeln an KWEA	23
2.3.3. Untersuchungen zum Meideverhalten von Vögeln an KWEA	25
2.4. Untersuchungen zu Fledermäusen	26
2.4.1. Automatische akustische Dauererfassungen	26
2.4.2. Automatisierte stereo-optische Beobachtungen	28
2.4.3. Experimentelle Untersuchung des Meideverhaltens und Kollisionsrisikos von Fledermäusen an KWEA	37
2.4.4. Erfassung von meteorologischen Faktoren sowie Standortparametern	39
2.4.5. Statistische Analyse	40
2.5. Schlagopfer	41
2.5.1. Schlagopfersuche von Vögeln und Fledermäusen	41
2.5.2. Ermittlung der Kollisionsrate von Vögeln und Fledermäusen an KWEA	41
3. Untersuchungsergebnisse	44
3.1. Häufigkeit und Verhalten von Vögeln an KWEA	44
3.1.1. Artenspektrum und Individuenzahl	44
3.1.3. Verhalten an den KWEA-Standorten und Reaktionen	48
3.1.4. Gefährliche Flugbewegungen	52
3.1.5. Meideverhalten von Vögeln gegenüber KWEA	55
3.1.6. Brutvögel	57
3.2. Häufigkeit und Verhalten von Fledermäusen an KWEA	61
3.2.1. Fledermausartenspektrum	61
3.2.2. Phänologie	65
3.2.3. Einfluss von Umweltparametern	78
3.2.4. Verhalten von Fledermäusen an KWEA	79

3.3.	Ermittlung der Schlagopferzahlen (Vögel und Fledermäuse).....	86
3.3.1.	Schlagopferfunde	86
3.3.2.	Ermittlung der täglichen Verbleiberate	88
3.3.3.	Ermittlung der Sucheeffizienz.....	89
3.3.4.	Hochrechnung der Schlagopfer - Vögel	90
3.3.5.	Erklärungsmodelle für Schlagopferzahlen von Vögeln.....	91
3.3.6.	Hochrechnung der Schlagopfer – Fledermäuse.....	94
4.	Diskussion.....	95
4.1.	Auftreten, Verhalten und Mortalität von Vögeln an KWEA.....	95
4.1.1.	Artenspektrum	95
4.1.2.	Meideverhalten.....	95
4.1.3.	Schlagopfer	97
4.2.	Auftreten, Verhalten und Mortalität von Fledermäusen an KWEA.....	98
4.2.1.	Erfassung und Bewertung der Fledermausaktivität mittels Stereo- Infrarot- Kamera	98
4.2.2.	Artenspektrum und Phänologie der lokalen Fledermausfauna an KWEA.....	99
4.2.3.	Einfluss von Umweltparametern auf die Fledermausaktivität.....	100
4.2.4.	Verhalten der Fledermäuse an den KWEA	102
4.2.5.	Kollisionsrisiko für Fledermäuse an KWEA	103
4.3.	Schlussfolgerungen und Ausblick	105
4.3.1.	Einschränkungen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse.....	105
4.3.2.	Anlagenkonfiguration.....	105
4.3.3.	Gefährdungspotential für Vögel und Fledermäuse an KWEA.....	106
4.3.4.	Fazit.....	107
5.	Empfehlungen für die Planung, Genehmigung und den Betrieb von KWEA.....	110
5.1.	Anlagentypen und Standortwahl für KWEA	110
6.	Zusammenfassung	113
7.	Literatur	116

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage der 15 Untersuchungsgebiete im nördlichen Schleswig-Holstein. ...	18
Abbildung 2:	Anabat am Mast einer KWEA.	27
Abbildung 3:	Schematische Darstellung des Aufbaus der Stereo-Infrarot-Kamera mit den wichtigsten Komponenten.....	29
Abbildung 4:	Stereo-Infrarot-Kamera	30
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der Aufnahmesituation an den KWEA.....	31
Abbildung 6:	Schematischer Programmablauf auf beiden Raspberry Pis.	32
Abbildung 7:	Schematische Darstellung von Flugbahnen.....	34
Abbildung 8:	Beispiel einer Fledermausflugbahn mit einer Vielzahl an Insektenflugbahnen in direkter Kameranähe.	35
Abbildung 9:	Die Beobachtung eines Meteoriten, der am 08.08.2017 über Schleswig-Holstein niederging.....	36
Abbildung 10:	Darstellung des experimentellen Designs während des Abschaltexperiments.....	38
Abbildung 11:	Arten- und Individuenzahlen in den 15 Untersuchungsgebieten von Juli 2015 bis Ende Juli 2017 (KWEA Standorte und Vergleichsstandorte).	45
Abbildung 12:	Vergleich der Artenzahl zwischen KWEA-Standorten und Referenzstandorten (Vergleichsstandorten) in den 15 Untersuchungsgebieten von Juli 2015 bis Juli 2017.....	46
Abbildung 13:	Vergleich der Individuenzahl zwischen KWEA-Standorten und Referenzstandorten (Vergleichsstandorten) in den 15 Untersuchungsgebieten von Juli 2015 bis Juli 2017.....	46
Abbildung 14:	Dohlen beim Nestbau in der Gondel einer KWEA vom Typ EasyWind 6.0 (Standort Arlewatt). Foto: J. Sohler.....	52
Abbildung 15:	Durchschnittliche Anzahl der beobachteten Flugbewegungen (pro Std.) im Gefahrenbereich an den 15 untersuchten KWEA-Standorten.	53
Abbildung 16:	Zusammenhang zwischen der Gesamtflugaktivität und den gefährlichen Flugbewegungen an den untersuchten KWEA.	54
Abbildung 17:	Anzahl der Brutvogelarten die in den einzelnen Untersuchungsgebieten festgestellt werden konnten.	58
Abbildung 18:	Anzahl akustische Aufnahmen pro KWEA und Jahr mit Unterscheidung der verschiedenen Arten und Artgruppen.	62
Abbildung 19:	Monatliche Fledermausaktivität, gemessen an der Anzahl der Aufnahmen pro Nacht, gemittelt über alle KWEA-Standorte und Arten sowie korrigiert für den Beprobungsaufwand, während des Jahres 2015.....	65
Abbildung 20:	Aktivitätsverlauf aller Fledermausarten zusammen im Jahr 2015.....	66
Abbildung 21:	Monatliche Fledermausaktivität, gemittelt über alle KWEA-Standorte und Arten sowie korrigiert für den Beprobungsaufwand, während des Jahres 2016,.....	66
Abbildung 22:	Aktivitätsverlauf aller Fledermausarten zusammen im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.	67
Abbildung 23:	Verlauf der Fledermausaktivität über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016.....	68
Abbildung 24:	Aktivitätsverlauf der Artengruppe „Nyctaloide“ im Jahr 2015.....	69
Abbildung 25:	Aktivitätsverlauf der Artengruppe „Nyctaloide“ im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.	69
Abbildung 26:	Verlauf der Aktivität der Artengruppe „Nyctaloide“ über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016. ...	70
Abbildung 27:	Aktivitätsverlauf des Abendseglers im Jahr 2015.	71

Abbildung 28:	Aktivitätsverlauf des Abendseglers im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.....	71
Abbildung 29:	Verlauf der Aktivität des Abendseglers über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016.....	72
Abbildung 30:	Aktivitätsverlauf der Zwergfledermaus im Jahr 2015.....	73
Abbildung 31:	Aktivitätsverlauf der Zwergfledermaus im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.....	73
Abbildung 32:	Verlauf der Aktivität der Zwergfledermaus über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016.....	74
Abbildung 33:	Aktivitätsverlauf der Rauhautfledermaus im Jahr 2015.....	75
Abbildung 34:	Aktivitätsverlauf der Rauhautfledermaus im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.....	75
Abbildung 35:	Verlauf der Aktivität der Rauhautfledermaus über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016.....	76
Abbildung 36:	Aktivitätsverlauf der Artengruppe <i>Myotis</i> im Jahr 2015.....	77
Abbildung 37:	Aktivitätsverlauf der Artengruppe <i>Myotis</i> im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.....	77
Abbildung 38:	Verlauf der Aktivität der Gattung <i>Myotis</i> über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016.....	78
Abbildung 39:	Zusammenhang zwischen stereo-optischen und akustischen Fledermausnachweisen pro Nacht über alle Arten und KWEA-Standorte.....	80
Abbildung 40:	Fledermausflugbahnen an KWEA 9:.....	81
Abbildung 41:	Anzahl der Flugbahnen aufgetragen nach Distanz zur Gondelmitte.....	82
Abbildung 42:	Anzahl der Flugbahnen aufgetragen nach Distanz zur Gondelmitte bei KWEA „außer Betrieb“.....	84
Abbildung 43:	Anzahl der Flugbahnen aufgetragen nach Distanz zur Gondelmitte bei KWEA „in Betrieb“.....	85
Abbildung 44:	Geschätzte mittlere Verbleibezeit von Kadavern an den 15 KWEA-Standorten.....	89
Abbildung 45:	Zusammenhang zwischen der Zahl gefährlicher Flugbewegungen und den tatsächlichen Schlagopfern an den untersuchten KWEA.....	92
Abbildung 46:	Effektgrößen mit 95% Unsicherheitsintervallen für das Modell, das an die 8 sicheren Schlagopferfunde angepasst wurde.....	93

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Untersuchte Kleinwindenergieanlagen.....	19
Tabelle 2:	Prozentuale Flächennutzung im Umkreis von 250 m um die 15 KWEA- bzw. Referenzstandorte.....	21
Tabelle 3:	Wichtige Habitatparameter an den 15 Anlagen- und Referenzstandorten.....	22
Tabelle 4:	Verwendete Kategorien für das Verhalten und die Reaktionen von Vögeln auf KWEA.....	24
Tabelle 5:	Bestimmungskategorien für die Zuordnung der Aufnahmen der akustischen Dauererfassung zu in Schleswig-Holstein vertretenen Arten bzw. Artengruppen.....	28
Tabelle 6:	Mittelwerte und Standartabweichungen der logarithmierten Messvariablen, die für die zTransformation verwendet wurden, sowie die Modellkoeffizienten.....	42
Tabelle 7:	Arten- und Individuenzahlen der beobachteten Vögel von Juli 2015 bis Ende Juli 2017.....	44
Tabelle 8:	Anzahl und prozentualer Anteil der zehn häufigsten Vogelarten an KWEA-Standorten und Referenzstandorten während der Untersuchungen zwischen Juli 2015 und Ende Juli 2017.....	47
Tabelle 9:	Anteil unterschiedlicher Kategorien von Flugverhalten an den 15 KWEA- und Referenzstandorten.....	48
Tabelle 10:	Flughöhen an den KWEA-Standorten. Die grau eingefärbte Zeile stellt den Rotorbereich dar.....	49
Tabelle 11:	Verhalten von Vögeln an den KWEA während des Vorbeifluges.....	49
Tabelle 12:	Verhalten von den 11 Vogelarten, die am häufigsten in einer Entfernung bis zu 10 m und einer Flughöhe von unter 30 m an den KWEA vorbeiflogen.....	50
Tabelle 13:	Interaktionen von 8 Vogelarten mit stationärem Verhalten an den KWEA.....	51
Tabelle 14:	Vogelarten, die am häufigsten im Gefahrenbereich von KWEA beobachtet wurden.....	53
Tabelle 15:	Koeffizienten von linearen Modellen für den Einfluss unterschiedlicher Habitatparameter auf die Häufigkeit von gefährlichen Flugbewegungen verschiedener Vogelarten an KWEA.....	55
Tabelle 16:	Einfluss verschiedener signifikanter Habitatparameter (Vogelschutz=Nistkästen und Fütterung) auf das Vorkommen von Vogelarten auf den Probeflächen aufgrund der Ergebnisse in den statistischen Modellen (+ positiver Einfluss, - negativer Einfluss).....	56
Tabelle 17:	Koeffizienten von Linearen Modellen für den Einfluss unterschiedlicher Habitatparameter auf die Häufigkeit von Brutzeitbeobachtungen verschiedener Vogelarten an Flächen mit KWEA und Vergleichsflächen.....	59
Tabelle 18:	Anzahl der detektierten Rufsequenzen pro Art bzw. Artengruppe an den unterschiedlichen KWEA im Jahr 2015.....	63
Tabelle 19:	Anzahl der detektierten Rufsequenzen pro Art bzw. Artengruppe an den unterschiedlichen KWEA im Jahr 2016.....	64
Tabelle 20:	Statistische Kenngrößen, die den Zusammenhang zwischen der akustischen Aktivität der Fledermäuse (abhängige Variable) und den erklärenden Umweltvariablen im Zeitraum Juli bis September 2015 und 2016 aufdecken.....	79
Tabelle 21:	Anzahl der beprobten Kameranächte und identifizierten Fledermausflugbahnen an den untersuchten KWEA.....	80

Tabelle 22:	Regressionskoeffizient zwischen optischer und akustischer Messung mit 95 % Unsicherheitsintervall.....	81
Tabelle 23:	Anzahl der registrierten 20-Sekunden-Intervalle und identifizierten Fledermausflugbahnen an den untersuchten KWEA in Abhängigkeit des Betriebs der KWEA.	83
Tabelle 24:	Distanz zur Gondel (m) der ermittelten Flugbahnen in Abhängigkeit des Betriebszustands unter der Berücksichtigung von Windgeschwindigkeit und Temperatur.....	84
Tabelle 25:	Akustische Aktivität in Abhängigkeit des Betriebszustands unter Berücksichtigung von Windgeschwindigkeit und Temperatur.....	86
Tabelle 26:	Funde von Kadavern an den 15 untersuchten KWEA-Standorten zwischen Juli 2015 und Juli 2017 nach Vogelarten sortiert und deren Bewertung als Schlagopfer – sichere Schlagopfer sind orange hervorgehoben.....	87
Tabelle 27:	Ermittelte Sucheffizienz für drei verschiedene Kadaverklassen.....	89
Tabelle 28:	Ermittelte Sucheffizienz für drei unterschiedliche Vegetationshöhen.....	90
Tabelle 29:	Berechnung der Fundwahrscheinlichkeit und Anzahl tatsächlicher Schlagopfer je Anlage.....	91
Tabelle 30:	Schätzung der Modellparameter für das Modell, das an die sicheren Schlagopfer (n = 8) angepasst wurde.....	93
Tabelle 31:	Berechnung der Werte für die Umweltvariablen für eine Beispiel-KWEA zur Ermittlung der täglichen Mortalitätsrate. Errechn. Wert = (Werte.log - Mittelwert.log) / Standardabw.log	111

Vorwort

Im Zuge der Energiewende hat sich in Deutschland ein beachtlicher Markt für Kleinwindenergieanlagen etabliert. Eine Vielzahl von Anbietern, unterschiedlichen Systemen sowie technische Weiterentwicklungen der Anlagen versprechen zunehmend höhere Ertragsmöglichkeiten. Gleichzeitig bestehen jedoch noch große Unsicherheiten bei der Genehmigung von Kleinwindenergieanlagen, besonders im Hinblick auf die Betroffenheit von Vögeln und Fledermäusen. Empirische Studien zu den Auswirkungen auf diese Artengruppen existieren bislang in Deutschland nicht. Mit dieser Veröffentlichung werden nun erstmals Ergebnisse einer systematischen Felduntersuchung an 14 Anlagen in Schleswig-Holstein vorgelegt.

Die Verwendung einer Stereo-Infrarotkamera eröffnete die Möglichkeit, das nächtliche Verhalten von Fledermäusen im Nahbereich der Anlagen zu dokumentieren. So konnten die herkömmlichen akustischen Erfassungen mit optischen Aufzeichnungen ergänzt und miteinander verglichen werden. Anhand der nun sichtbaren Flugbahnen ließ sich nicht nur die Flughöhe an den untersuchten Kleinwindenergieanlagen ermitteln, sondern auch ein mögliches Meide- und Ausweichverhalten bei den Tieren feststellen.

Bei der Artengruppe der Vögel zeigte sich ein signifikanter Einfluss von bestimmten Habitatparametern auf die Verhaltensweisen und somit auf das Kollisionsrisiko. Auf dieser Basis wurde eine Formel entwickelt, die es Genehmigungsbehörden und Projektierern ermöglicht, konfliktarme Standorte zu ermitteln.

Somit stellt der Ergebnisbericht einen wichtigen Erkenntnisgewinn dar und kann bei vergleichbaren Rahmenbedingungen der naturverträglichen Planung und Errichtung von Kleinwindenergieanlagen dienen. Ich danke daher allen Mitwirkenden sowie den Betreibenden der Kleinwindenergieanlagen, ohne deren Einverständnis die Untersuchungen nicht hätten stattfinden können.

Gleichzeitig möchten wir mit dieser Veröffentlichung an Herrn Dr. Herman Hötter erinnern, der das Vorhaben als Projektleiter begleitet hat. Er hat die Zusammenarbeit mit seinem Wissen, seinen Erfahrungen und seiner überaus freundlichen Art in besonderer Weise befördert und damit die hier erzielten Ergebnisse erst möglich gemacht.

Prof. Dr. Beate Jessel

Präsidentin des Bundesamtes für Naturschutz

Nachruf

Am 24.07.2019 verstarb Dr. Hermann Hötter nach kurzer, schwerer Krankheit im Alter von 60 Jahren. Er hat das Projekt „Berücksichtigung von Artenschutzbelangen bei der Errichtung von Kleinwindenergieanlagen“, dessen Endbericht hier vorliegt, maßgeblich ins Leben gerufen. Mit seiner umfangreichen Fachkenntnis im Themenfeld Naturschutz und regenerative Energien war er der Motor der ornithologischen Untersuchungen. Seine Expertise und mehr noch seine aufgeschlossene, ausgleichende und konstruktive Art werden uns fehlen.

1. Einleitung

1.1. Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Vögel und Fledermäuse

Das Klima der Erde wandelt sich seit 1950 zunehmend (IPCC 2014a). Die veränderten Umweltbedingungen bergen sowohl für Menschen als auch für die Natur und die Biodiversität verschiedene Risiken. Arten verlagern ihre geographischen Verbreitungsgebiete, jahreszeitliche Aktivitätsphasen und Migrationsmuster verschieben sich, Populationsgrößen und Interaktionen zwischen Arten ändern sich, sogar das Aussterben von Arten angestoßen durch den Klimawandel ist nicht mehr unwahrscheinlich (IPCC 2014a). Das Gefahrenpotential des Klimawandels ist seit Langem erkannt und mögliche Minderungsversuche werden in Angriff genommen. Mit dem Pariser Klimaabkommen wurden verschiedene internationale Klimaschutzziele verabschiedet, die mithilfe internationaler Verpflichtungen umgesetzt werden sollen. Hierbei legt die Bundesregierung einen Schwerpunkt auf den Ausbau und die Förderung erneuerbarer Energien (BMUB 2016). Zum jetzigen Zeitpunkt entfällt der Großteil der erzeugten regenerativen Energie auf die Windkraft an Land (ZSW 2017). In Deutschland waren im Jahr 2016 onshore insgesamt 27.797 Windenergieanlagen (WEA) mit einer Gesamtleistung von 45.886 MW am Netz (Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) 2016).

Um die Klimaschutzziele zu erreichen, ist ein weiterer Ausbau der Windenergie in Deutschland unausweichlich. Für Tierarten, die den offenen Luftraum nutzen, können Windenergieanlagen allerdings eine erhebliche Gefahr darstellen. Diese Erkenntnis entwickelte sich bereits in den 1970er Jahren in den USA und Australien, als dort mit dem gezielten Ausbau von Windparks erste negative Auswirkungen von WEA auf Vögel und Fledermäuse beobachtet wurden (Hall & Richards 1972, Rogers et al. 1976, Neukirch 2010). Die steigende Zahl an Berichten über Totfunde von Vögeln und Fledermäusen an WEA (Orloff & Flannery 1992, Howell 1997, Keeley et al. 2001) forcierte gezielte wissenschaftliche Untersuchungen (zusammengefasst in Wang & Wang 2015 und Arnett et al. 2016).

Grundsätzlich können WEA Vögel auf verschiedene Weise beeinträchtigen. Vögel können mit WEA kollidieren und zu Tode kommen. WEA können ihre Lebensräume verschlechtern oder zerstören bzw. sie verdrängen sie aus ihren angestammten Vorkommensgebieten, weil Vögel die Nähe von WEA meiden (Hötker 2017). Die Verdrängung von Vögeln tritt vor allem bei den im Offenland lebenden Schwänen, Gänsen und Enten (Anseriformes) und Watvögeln (Charadrii) auf (Langston & Pullan 2003, Reichenbach 2003, Stewart et al. 2007). Sie kann in Bereichen von mehreren hundert Metern um die Windenergieanlagen wirksam sein (Pedersen & Poulsen 1991, Kruckenberg et al. 2008, Pearce-Higgins et al. 2009). Wahrscheinlich stört die Vögel die pure Existenz einer hohen vertikalen Struktur in einer sonst offenen Landschaft. Hierbei mögen die Wirkungen auf Offenlandvogelarten ähnlich wie bei Bäumen sein. Außerdem kann der Betrieb der Anlage störend wirken, weil der drehende Rotor Lärm und Schattenwurf produziert (de Lucas et al. 2004).

Greifvögel stören sich dagegen kaum an WEA und geraten daher häufiger in den Gefährdungsbereich. In der bundesdeutschen zentralen Fundkartei über Anflugopfer an WEA, die von der Staatlichen Vogelschutzwarte Brandenburg geführt wird, werden (Stand 1.8.2017) 3.550 Kollisionopfer an WEA aufgeführt. Darunter finden sich 1.309 Greifvögel (Dürr 2017). Bei Untersuchungen mit systematischen Schlagopfersuchen wurden ebenfalls relativ häufig Greifvögel gefunden, daneben aber auch allgemein häufige Vogelarten, wie Ringeltaube, Stockente oder Star (Grünkorn et al. 2016).

Auch Fledermäuse verunglücken an WEA. Zum heutigen Zeitpunkt ist bekannt, dass Interaktionen mit WEA eine der häufigsten Todesursachen weltweit für Fledermäuse darstellen (Barclay et al. 2007, Piorkowski 2010, Rydell, Jens et al. 2010a, Baerwald et al. 2014, O'Shea et al. 2016). Dabei führen sowohl die direkte Kollision mit den Rotoren, als auch indirekte Einwirkungen der WEA auf die Fledermaus zum Tod oder zu letalen Verletzungen (Brinkmann et al. 2006). So können die Druckunterschiede, die hinter sich drehenden Rotorblättern herrschen, zu Lungenschäden oder weiteren inneren Verletzungen führen, wenn eine Fledermaus den kritischen Bereich an der WEA durchfliegt. Die Druckunterschiede können bewirken, dass

Lungenbläschen platzen (Baerwald et al. 2008, Grodsky et al. 2011, Rollins et al. 2012). Diese wohl meist tödlichen Verletzungen werden als sogenanntes Barotrauma zusammengefasst.

Wichtige wissenschaftliche Studien und Naturschutzforschung zur Gefährdung von Fledermäusen an WEA wurden bereits frühzeitig in Deutschland betrieben (Rahmel et al. 1999, Behr et al. 2007, Brinkmann et al. 2011, Reers et al. 2017). Dabei zeigen Erkenntnisse aus den jüngsten wissenschaftlichen Untersuchungen zu Auswirkungen von WEA auf Fledermäuse, wie artenschutzrechtliche Vorgaben bei der Planung und dem Bau von WEA in Deutschland berücksichtigt werden können (Brinkmann et al. 2011, Behr et al. 2016a, Hurst et al. 2016b). So finden etwa an die lokale Fledermausaktivität angepasste Abschaltalgorithmen Anwendung um die Kollisionsgefahr zu minimieren. Nichtsdestotrotz befinden sich die meisten WEA noch ohne angepasste Abschaltung in Betrieb, sodass von hohen jährlichen Zahlen geschlagener Fledermäuse in Deutschland auszugehen ist (Voigt et al. 2015).

1.2. Bedeutung von Kleinwindenergieanlagen in Deutschland

Die Bedeutung von Kleinwindenergieanlagen (KWEA) für die Deckung des Gesamtenergieverbrauchs in Deutschland ist gering. Sie dienen in erster Linie dem Eigenverbrauch von Eigenheimbesitzern, kleinen Gewerbebetrieben und landwirtschaftlichen Betrieben. Überschüssiger Strom wird zwar in das öffentliche Stromnetz eingespeist, aber nicht mit dem Tarif nach dem EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) vergütet, sondern nur mit dem niedrigeren Marktpreis. Ihre Wirtschaftlichkeit hängt insbesondere davon ab, wie hoch der selbst verbrauchte Anteil am produzierten Strom ist. KWEA werden in der Regel in unmittelbarer Nähe zum Verbraucher aufgestellt. In Deutschland waren 2015 schätzungsweise insgesamt 17.000 KWEA mit einer Gesamtleistung von 26.000 kW (26 MW) installiert (World Wind Energy Association 2016), wobei aufgrund der unsystematischen Registrierung von einer zusätzlichen „Dunkelziffer“ auszugehen ist. Aufgrund der wirtschaftlichen Situation konzentriert sich die Windenergienutzung mit Hilfe von Kleinwindenergieanlagen auf die windreichen Standorte in Norddeutschland.

Für Kleinwindenergieanlagen und deren Abgrenzung zu großen Windenergieanlagen gibt es keine einheitliche Definition. Häufig werden WEA mit einer Leistung unter 100 kW als KWEA bezeichnet (www.klein-windkraftanlagen.com). Die technische Norm IEC 61400-2 stellt das Kriterium der Rotorfläche in den Vordergrund. Danach werden Anlagen bis zu einer Rotorfläche von 200 m² als KWEA bezeichnet. Das entspricht einem Rotordurchmesser von etwa 16 m und einer Leistung bis zu 50 kW (Jüttemann 2017). Der Bundesverband Windenergie (BWE) teilt KWEA in drei Leistungsklassen auf:

- Mikrowindanlagen 0 bis 5 kW
- Miniwindanlagen 5 bis 30 kW
- Mittelwindanlagen 30 bis 100 kW

Im Gegensatz zu WEA gibt es bei KWEA zahlreiche verschiedene Bauformen. Neben KWEA mit horizontalen Rotorachsen in verschiedenen Varianten, z. B. mit unterschiedlicher Anzahl von Rotorblättern, gibt es auch vertikal rotierende KWEA. Letztere sind in der Praxis allerdings nicht sehr verbreitet.

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob bzw. inwieweit sich die Erkenntnisse die an großen WEA gewonnen wurden auf die erheblich kleineren KWEA übertragen lassen. Die KWEA stehen in der Regel in der direkten Umgebung von Siedlungen oder landwirtschaftlichen Betrieben. Somit dürfte zumindest das Artenspektrum der betroffenen Arten sich von den Standorten großer WEA wesentlich unterscheiden. Ferner gelangen KWEA durch die geringere Höhe mehr in den Einflussbereich zumindest gewisser Fledermausarten, die sich strukturgebunden auf Höhe von Hecken oder Baumreihen bewegen. Solche Arten könnten möglicherweise durch KWEA stärker gefährdet sein als durch die großen Anlagen. Andererseits ist der Rotor durch die höhere Drehzahl bei kleinen Anlagen möglicherweise für Fledermäuse leichter zu orten, d. h. sie könnten den Gefahrenbereich leichter meiden. Durch diese Unsicherheiten mit teils gegensätzlichen potentiellen Auswirkungen auf die Fledermäuse bestehen

Zweifel, ob die Ergebnisse an WEA auf KWEA zu übertragen sind. Darüber hinaus gibt es nur wenige spezifische Untersuchungen zu Auswirkungen von KWEA auf Vögel und Fledermäuse. In den Studien aus Großbritannien (Minderman et al. 2012, Minderman et al. 2015, Moyle 2016), zeigten geringe Einflüsse auf Vögel und Fledermäuse auf.

Mit diesem Projekt sollten deshalb in größerem Umfang Daten zur Beurteilung der Auswirkungen von Kleinwindenergieanlagen auf Vögel und Fledermäuse erhoben und beurteilt werden. Zusätzlich sollte versucht werden, erste Einschätzungen über die Wirkfaktoren zu gewinnen, die möglichen Beeinträchtigungen beeinflussen (landschaftlicher Kontext, Nutzung des Standorts, Abstand von Wald und Gebäuden etc.). Damit sollen wichtige Hinweise für eine objektive Bewertung von Wirkungen von KWEA im Planungs- und Genehmigungsverfahren erarbeitet werden.

1.3. Naturschutzfachlicher und rechtlicher Hintergrund

Für den Schutz von Vogelarten gilt die EU-Vogelschutzrichtlinie (Richtlinie 79/409/EWG). Danach sind alle natürlich in der EU vorkommenden Vogelarten in ihrem Bestand dauerhaft zu erhalten. Artikel 5 der Richtlinie verbietet unter anderem das Töten, Fangen bzw. die Zerstörung von Nestern und Eiern.

Insbesondere für Fledermäuse ist eine erhöhte Mortalität aufgrund ihrer Biologie und des speziellen Lebenszyklus besonders gravierend. Im Vergleich zu ähnlich großen Wirbeltieren, wie etwa Singvögeln, weisen Fledermäuse eine sehr lange Lebenserwartung und eine niedrige Reproduktionsrate auf (Kunz & Fenton 2003, Bernotat & Dierschke 2016). Dadurch kann sich der Tod von Einzeltieren bereits stark auf den Erhalt einer Population auswirken, da ihr Reproduktionsvermögen sinkt (Dietz et al. 2016). Generell wird daher empfohlen, Fledermauskollisionen an WEA so weit wie möglich zu vermeiden (Hurst et al. 2016b). Diese Einschätzung wird auch durch die aktuellen rechtlichen Grundlagen für den Artenschutz abgedeckt. Alle europäischen Fledermausarten sind im Anhang IV der Richtlinie 92/43/EWG zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen, kurz FFH-Richtlinie, erfasst. Damit haben europäische Fledermäuse auch außerhalb von Schutzgebieten einen besonderen Schutzstatus.

In Deutschland gelten die im Anhang IV der FFH-Richtlinie genannten Arten, sowie die in Anhang I der Vogelschutzrichtlinie genannten Vogelarten als streng geschützt. Für Arten dieser Schutzkategorie gelten nach § 44 Abs. 1 Nr. 1 bis 3 des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) besondere Vorschriften.

Demnach ist es verboten

- wildlebenden Tieren der besonders geschützten Arten nachzustellen, sie zu fangen, zu verletzen oder zu töten oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören (Verletzungs- und Tötungsverbot),
- wildlebende Tiere der streng geschützten Arten während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Überwinterungs- und Wanderungszeiten erheblich zu stören; eine erhebliche Störung liegt vor, wenn sich durch die Störung der Erhaltungszustand der lokalen Population der besonders geschützten Arten verschlechtert (Störungsverbot) und
- Fortpflanzungs- oder Ruhestätten der wild lebenden Tiere der besonders geschützten Arten aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören (Schädigungsverbot).

Werden beim Bau und Betrieb von WEA Vögel oder Fledermäuse verletzt oder getötet, ihre Lebensstätten geschädigt oder werden die lokalen Populationen erheblich gestört, so wird gegen die artenschutzrechtlichen Verbotstatbestände verstoßen. Die genannten Artenschutzgesetze sind auch in einem weiteren, neueren Bereich der Windenergie, dem Bereich der Kleinwindenergieanlagen (KWEA), bindend.

1.4. Berücksichtigung des Artenschutzes bei Planung, Bau und Betrieb von KWEA

Zurzeit bestehen große Unsicherheiten, ob und ggf. wie der Artenschutz für Vögel und Fledermäuse bei der Planung, dem Bau und dem Betrieb von KWEA zu berücksichtigen ist, da aussagekräftige wissenschaftliche Studien bislang weitgehend fehlen. KWEA sind nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) keine genehmigungsbedürftigen Anlagen und bedürfen keiner Umweltverträglichkeitsprüfung (Reinhard & Günther 2013). Für die Genehmigung von KWEA sind lediglich die jeweiligen Landesbauordnungen maßgeblich. Entsprechend unterscheidet sich das Vorgehen je nach Bundesland. Einen spezifischen Leitfaden zur artenschutzfachlichen Beurteilung von KWEA gibt es derzeit nur in wenigen Bundesländern, so etwa in Rheinland-Pfalz (LUWG Rheinland-Pfalz 2015). Dieser bezieht jedoch nur die wenigen bis dato bekannten Untersuchungen aus England mit ein (Minderman et al. 2006). Diese ersten Ergebnisse lassen sich aber nicht verallgemeinern und sollten vorsichtig interpretiert werden.

In einigen Bundesländern hat der Ausbau der erneuerbaren Energien zur Ausarbeitung und Verabschiedung von Windenergieerlassen geführt, die beteiligten Fachstellen, Behörden, Kommunen und Investoren praxisorientierte Leitlinien für das Verfahren mit Windenergieanlagen bieten sollen (UM et al. 2012, MWVLW et al. 2013, MUGV 2014, MKULNV & MBWSV 2015, STMI et al. 2016, TMIL 2016). Das Thema KWEA wird in diesen Dokumenten allerdings gar nicht oder wenig diskutiert. Dennoch hat sich eine Verfahrensfreistellung von KWEA bis zu einer Höhe von zehn Metern in den meisten Bundesländern, ausgenommen sind Berlin, Bremen und Niedersachsen, durchgesetzt (Jüttemann 2017).

Gesondert thematisiert werden KWEA im aktualisierten Leitfaden zum Thema Windenergie und Fledermäuse von EUROBATS (Rodrigues et al. 2015). Hier wird auf das Vorgehen und auf Untersuchungsmethoden hingewiesen, die bei der Planung und beim Bau von KWEA berücksichtigt werden sollten. Außerdem werden die noch offenen Fragen bezüglich der Auswirkungen von KWEA auf Fledermäuse vorgestellt.

Die sehr uneinheitliche Genehmigungspraxis ist darauf zurückzuführen, dass der Markt für KWEA in Deutschland noch sehr jung ist (Jüttemann 2017) und die Vielzahl an Bauformen der KWEA einen einheitlichen Umgang mit den Anlagen sowie die Erstellung von Wirkungsprognosen oder die Anwendung der gesetzlichen Regelung erschwert.

1.5. Kleinwindenergieanlagen und Annahmen zu Auswirkungen auf Vögel und Fledermäuse

In Europa werden die meisten KWEA in Großbritannien betrieben (World Wind Energy Association 2016). Aus diesem Land stammen auch die bislang nur sehr wenigen wissenschaftlichen Studien, die sich mit den Auswirkungen von KWEA auf Vögel und vor allem Fledermäuse beschäftigen. Die Studien zeigen, dass ähnlich wie WEA auch KWEA negative Auswirkungen auf Vögel und Fledermäuse haben können (Minderman et al. 2012, Minderman et al. 2015, Moyle 2016). An erster Stelle ist hier das Kollisionsrisiko für Vögel und Fledermäuse anzuführen. In den genannten Studien war die Zahl der Totfunde und der hochgerechneten Schlagopfer zwar gering, allerdings basierten sie auf einem geringen Stichprobenumfang. Vogelaktivitäten wurden durch die KWEA nicht beeinflusst (Minderman et al. 2012).

Eine visuelle Überprüfung von Schlagereignissen von Fledermäusen an KWEA – die verlässlichste Methode, um Kollisionen nachzuweisen – wurde bisher nur in einem Einzelfall durchgeführt (Alder 2017). Dabei wurde eine im Randbereich eines Industriegebiets gelegene KWEA mit drei nebeneinanderliegenden Rotoren mittels Wärmebildkameras überwacht. Durch diese Methode konnten 203 Ausweichmanöver sowie acht Kollisionen in einem Zeitraum von knapp drei Monaten beobachtet werden. Die Gründe, warum und unter welchen Bedingungen Fledermäuse mit KWEA kollidieren und wie sich die Tiere im Nahbereich der KWEA verhalten, konnten bisher aber nicht hinreichend geklärt werden. Es ist möglich, dass sich ähnlich wie an WEA Insekten an Rotoren und Gondeln akkumulieren (Corten & Veldkamp

2001, Long et al. 2010, Rydell et al. 2010b), die wiederum von Fledermäusen erbeutet werden (Cryan et al. 2014a). Zudem inspizieren Fledermäuse häufig höhere Objekte in ihrem Lebensraum, um diese für eine mögliche Quartiernutzung (Sommer-, Winter- und Paarungsquartiere) zu überprüfen (Moyle 2016). Möglicherweise fallen KWEA in dieses Suchschema und werden gezielt von Fledermäusen angefliegen, wodurch die Tiere mit den Anlagen kollidieren, verletzt oder getötet werden können. Diese Vermutungen konnten aber bisher nicht mit Daten belegt werden.

Neben dem Kollisionsrisiko sind auch indirekte negative Auswirkungen auf Vögel und Fledermäuse denkbar, wie Habitat- und Lebensstättenverluste durch ein Meideverhalten an KWEA. Für Fledermäuse lässt sich etwa aus einer Langzeitstudie zum räumlichen Verhalten von Fledermäusen an einem WEA-Windpark mit 70 WEA (30 m Nabenhöhe, Rotordurchmesser 30 m) in Niedersachsen ableiten (Bach 2001). Vor dem Bau des Windparks nutzten 20 Breitflügelfledermäuse das Gebiet zur Jagd. Nachdem 22 der 70 WEA fertiggestellt waren, sank die Zahl an detektierten Breitflügelfledermäusen langfristig auf neun Individuen. Der Autor geht davon aus, dass ein Meideverhalten der Fledermäuse für die veränderte Raumnutzung mitverantwortlich war (Bach 2001).

Zudem konnte in britischen Studien zu KWEA bestätigt werden, dass eine kleinräumige Meidung an KWEA erfolgt (Minderman et al. 2012) und die Zwergfledermaus KWEA sogar – unter spezifischen meteorologischen Bedingungen – großräumig meidet (Minderman et al. 2017). Sollten Fledermäuse ein generelles Meideverhalten bezüglich KWEA zeigen, könnte das in weiterer Folge zu Lebensstättenverlusten für einzelne Individuen oder gar für lokale Populationen führen. Denn je nach räumlicher Ausprägung des Effekts ist ein Funktionsverlust von sowohl Jagdhabitaten, als auch Quartieren (bspw. Wochenstuben) denkbar.

Experimentelle Untersuchungen zu einem möglichen Meideverhalten, auch unter Berücksichtigung des Betriebszustands der KWEA, sind bisher sehr rar (Minderman et al. 2012, Moyle 2016). Zudem berücksichtigen die Studien das tatsächliche Verhalten der Fledermäuse an den KWEA nicht, sondern ermitteln ein Meideverhalten über die akustisch nachgewiesene An- bzw. Abwesenheit der Tiere. Nur durch eine räumliche Verortung der Fledermäuse an KWEA (z. B. durch optische Verfahren) kann aber ein Meideverhalten tatsächlich erfasst werden.

Die Einschätzung, dass KWEA Fledermäuse schädigen könnten, wird auch durch die Bauweise und Standortwahl von KWEA bedingt. KWEA werden überwiegend an oder in der Nähe der zu versorgenden Gebäude installiert (Jüttemann 2017). Diese Platzierung der KWEA in meist kleinstrukturierten Landschaften oder direkt an Häusern und Scheunen überschneidet sich zu großen Teilen mit Quartier- und Jagdhabitatpräferenzen von Fledermäusen (Reinhard & Günther 2013). Denn über die Hälfte der europäischen Fledermausarten beziehen zumindest im Sommer Quartiere in oder an Gebäuden (Dietz et al. 2007). Zu diesen Arten zählen zum Beispiel die Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*), das Große Mausohr (*Myotis myotis*) sowie Breitflügel- (*Eptesicus serotinus*) und Zweifarbfledermaus (*Vespertilio murinus*). Einige Arten jagen auch gezielt im Siedlungsbereich, da sie an Straßenlaternen, in Kuhställen, auf Viehweiden oder in Streuobstwiesen ein reiches Nahrungsangebot vorfinden. Auf ihren Flugrouten orientieren sich die Fledermäuse häufig an kleinräumigen, linearen Strukturen (Verboom & Huitema 1997, Verboom & Spoelstra 1999, Kelm et al. 2014). Damit ist es wahrscheinlich, dass Fledermäuse bereits auf ihren Wegen zwischen Quartier und Jagdhabitat mit KWEA in Kontakt kommen können (Moyle 2016). Eine Gefährdung für Fledermäuse bezüglich KWEA kann sich daher wahrscheinlich aus der lokalen Habitatausstattung an (potenziellen) KWEA-Standorten ergeben.

Neben biotischen Umweltparametern, wie der Landschaftsausstattung, haben auch abiotische Faktoren einen Einfluss auf das zeitliche und räumliche Auftreten von Fledermäusen. Aus zahlreichen Untersuchungen ist bekannt, dass sowohl die Temperatur als auch die Windgeschwindigkeit die Aktivität von Fledermäusen beeinflussen (Rydell et al. 2010a, Baerwald & Barclay 2011b, Behr et al. 2011, Bach et al. 2012, Cryan et al. 2014a, Reichenbach et al. 2015, Moyle 2016). Damit ist zu bestimmten Jahres- und Nachtzeiten mit einer gesteigerten Gefährdung von Fledermäusen an KWEA zu rechnen. Diese Zeiten dürften sich für die verschiedenen Fledermausarten unterscheiden.

Bisher fehlen empirische wissenschaftliche Studien weitgehend, um das Risikopotential von KWEA für Fledermäuse einzuschätzen und falls erforderlich, Maßnahmen zur Lösung des Problems zu empfehlen (Park et al. 2013, Moyle 2016).

1.6. Forschungsfragen

Aus den bis zum jetzigen Zeitpunkt vorhandenen Untersuchungen und den weiterhin unbeantworteten Fragen bezüglich des Risikopotentials von KWEA für Vögel und Fledermäuse leitet sich der Forschungsinhalt der von uns vorgelegten Studie ab.

Konkret sollen die folgenden Forschungsfragen beantwortet werden:

- Welche Vogel- und Fledermausarten sind an den KWEA anzutreffen?
- Wann sind diese Fledermausarten an den KWEA anzutreffen?
- Welchen Einfluss haben meteorologische Faktoren und Standortparameter auf die Fledermausaktivität an den KWEA?
- Welche Standortparameter beeinflussen das Vorkommen von Vögeln an KWEA?
- Gibt es Anlockeffekte für Fledermäuse und Vögel?
- Zeigen Fledermäuse oder Vögel ein Meideverhalten an KWEA?
- Spielt der Betriebszustand der KWEA eine Rolle für die Meidung von KWEA durch Fledermäuse?
- Gibt es artspezifische Unterschiede im Verhalten von Vögeln an KWEA?
- Wie groß ist die Anzahl von Vögeln und Fledermäusen, die an KWEA verunglücken?
- Welche Arten sind betroffen?
- Besteht ein Zusammenhang von Standortparametern und Schlagopferzahlen?

2. Material und Methoden

2.1. Projektorganisation

Zuwendungsempfänger des BfN-Forschungsvorhabens ist der NABU-Bundesverband, der die Leitung des Projekts übernommen hat. Das Michael-Otto-Institut des NABU ist die ausführende Stelle und arbeitet in enger Kooperation mit dem Freiburger Institut für angewandte Tierökologie (FrlnaT), das durch Werkverträge eingebunden ist.

Das Michael-Otto-Institut im NABU war zuständig für die Entwicklung und Durchführung der avifaunistischen Studienteile, der Schlagopfernachsuche und die Wartung der Erfassungsgeräte vor Ort.

Der Studienteil, der sich mit den Auswirkungen von KWEA auf Fledermäuse befasste, wurde von der FrlnaT GmbH geplant, entwickelt und durchgeführt. Hierzu zählten die Installation der akustischen Dauererfassungsgeräte sowie die stereo-optischen Beobachtungen innerhalb des Abschaltexperiments. Die Auswertung der Bilddaten wurde durch Klaus Hochradel vorgenommen.

Am Michael-Otto-Institut im NABU waren folgende Mitarbeiter/innen am Projekt beteiligt:

- Dr. Hermann Hötter, Projektleitung
- Kai-Michael Thomsen, Projektleitung, Auswertung, Organisation, ornithologische Untersuchungen, Schlagopfersuche
- Anne Evers, ornithologische Untersuchungen, Schlagopfersuche
- Luis Schmidt, ornithologische Untersuchungen, Schlagopfersuche
- Jan Sohler, ornithologische Untersuchungen, Schlagopfersuche

Im Freiburger Institut für angewandte Tierökologie (FrlnaT) waren folgende Mitarbeiter/innen am Projekt beteiligt:

- Dr. Robert Brinkmann, Leitung und Koordination des Forschungsprojekts bezüglich der Fledermäuse
- Dr. Stefanie Hartmann, Projektkoordination, Methodenentwicklung und Durchführung des Abschaltexperiments sowie der stereo-optischen Beobachtungen, statistische Datenauswertung sowie Berichterstellung
- Dr. Hendrik Reers, Methodenentwicklung, Entwicklung des experimentellen Equipments und Durchführung des Abschaltexperiments sowie der stereo-optischen Beobachtungen, statistische Datenauswertung sowie Berichterstellung
- Heidje Reinhard, Organisation und Projektkoordination sowie Berichterstellung
- Bruntje Lüdtke, Projektkoordination, Datenauswertung sowie Berichterstellung
- Horst Schauer-Weisshahn, Anbringen der akustischen Dauererfassungsgeräte sowie Auswertung der Fledermausrufsequenzen
- Klaus Hochradel, Methodenentwicklung und Datenauswertung des Stereo-Infrarot-Kamerasystems (extern)

2.2. Projektvorstellung

Die Freilandstudie wurde zwischen Juli 2015 und Juli 2017 an 15 bereits existierenden KWEA im nördlichen Schleswig-Holstein durchgeführt. Dabei wurden Vögel und Fledermäuse an denselben Standorten erfasst und ausgewertet. Die Untersuchungen beinhalteten intensive Schlagopfersuchen, die Ermittlung des möglichen Meideverhaltens von Fledermäusen an KWEA und möglicher Verdrängung von Vögeln durch KWEA. Für die ornithologische Auswertung wurde deshalb jedem Standort mit KWEA eine Referenzfläche ohne KWEA zugeordnet, mit dem Ziel, durch deren Vergleich den möglichen Einfluss der KWEA auf das Vorkommen von Vögeln feststellen zu können.

Die Untersuchungsgebiete verteilten sich auf die Landkreise Nordfriesland (acht Anlagen), Schleswig-Flensburg (fünf Anlagen) und Dithmarschen (zwei Anlagen) (Abbildung 1). Die Auswahl der Anlagen fand zufällig statt und war im Wesentlichen von der Kooperationsbereitschaft

der Betreiber und der Flächeneigentümer abhängig. Das Untersuchungsgebiet 6 - Satrup konnte nur bis zum Januar 2017 bearbeitet werden. Er wurde durch das Gebiet 15 – Friedrichsfeld II ersetzt. Im Untersuchungsgebiet 5 - Krempel befanden sich zwei Anlagen.

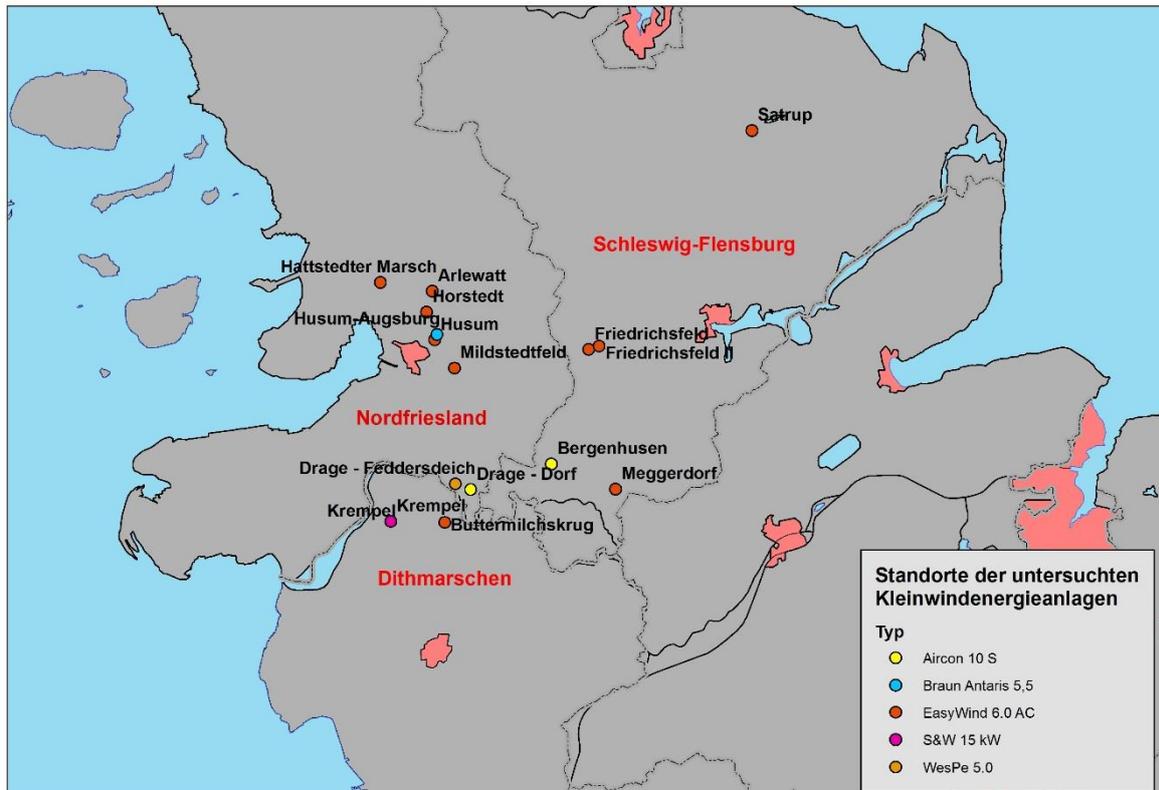


Abbildung 1: Lage der 15 Untersuchungsgebiete im nördlichen Schleswig-Holstein.

Die KWEA hatten eine Leistung zwischen 5,0 und 15,0 kW (Tabelle 1). Somit handelte es sich nach der Einteilung des BWE um Miniwindanlagen. Der häufigste untersuchte KWEA Typ war mit zehn untersuchten Anlagen die Easy Wind 6,0 kW. Dabei handelt es sich um den häufigsten Anlagentyp in der Region. Daneben wurden folgende Anlagentypen untersucht: Lely Airon 10 S (zwei Anlagen), S & W (zwei Anlagen an einem Standort), WesPe 5.0 (eine Anlage) und Braun Antaris 5,5 (eine Anlage). Die Anlagen verfügten über eine Leistung von 5,5 kW bis 15 kW. Die Gesamthöhe der Anlagen lag zwischen 18 m und 30,5 m.

Naturräumlich betrachtet befanden sich fünf Anlagen in der Marsch, fünf Anlagen auf der hohen Geest und vier Anlagen auf der niederen Geest. Lediglich eine Anlage befand sich im östlichen Hügelland Schleswig-Holsteins.

Tabelle 1: Untersuchte Kleinwindenergieanlagen.

Untersuchungsgebiet	Typ	Leistung [kW]	Nabenhöhe [m]	Rotordurchmesser [m]	Gesamthöhe [m]	Masttyp	Abspannung	Fledermausuntersuchungen 2016	Bemerkungen
1. Meggerdorf	EasyWind 6.0 AC	6,0	19,0	6,0	22,0	Stahlrohrturm	ja	ja	
2. Bergenhusen	Aircon 10 S	9,8	19,0	7,1	22,6	Gittermast	nein	ja	
3. Drage Feddersdeich	WesPe 5.0	5,0	15,5	5,0	18,0	Stahlrohrturm	ja	nein	
4. Friedrichsfeld	EasyWind 6.0 AC	6,0	19,0	6,0	22,0	Stahlrohrturm	ja	ja	
5. Krempel	S&W 7,5 kW	7,5	24,0	6,5	27,3	Stahlrohrturm	ja	nein	
6. Satrup	EasyWind 6.0 AC	6,0	19,0	6,0	22,0	Stahlrohrturm	ja	nein	bis 20.01. 2017
7. Hattstedtermarsch	EasyWind 6.0 AC	6,0	19,0	6,0	22,0	Stahlrohrturm	ja	ja	
8. Husum	EasyWind 6.0 AC	6,0	19,0	6,0	22,0	Stahlrohrturm	ja	ja	
9. Horstedt	EasyWind 6.0 AC	6,0	19,0	6,0	22,0	Stahlrohrturm	ja	ja	
10. Husum-Augsburg	Braun Antaris 5,5	5,5	24,0	5,3	26,7	Stahlrohrturm	nein	nein	
11. Arlewatt	EasyWind 6.0 AC	6,0	19,0	6,0	22,0	Stahlrohrturm	ja	ja	
12. Drage - Dorf	Aircon 10 S	9,8	19,0	7,1	22,6	Gittermast	nein	ja	
13. Mildstedtfeld	EasyWind 6.0 AC	6,0	19,0	6,0	22,0	Stahlrohrturm	ja	ja	
14. Buttermilchkrug	EasyWind 6.0 AC	6,0	19,0	6,0	22,0	Stahlrohrturm	ja	ja	
15. Friedrichsfeld II	EasyWind 6.0 AC	6,0	19,0	6,0	22,0	Stahlrohrturm	ja	nein	ab 10.02. 2017
16. Krempel Anlage 2	S&W 15 kW	15,0	26,0	8,9	30,5	Stahlrohrturm	ja	nein	zweite Anlage am Standort

Zur Ermittlung einer möglichen Verdrängung durch KWEA wurden ornithologische Beobachtungen sowie Kartierungen der Brutvögel in allen 15 Untersuchungsgebieten durchgeführt. Dabei wurde jeder Fläche mit KWEA zum Vergleich eine möglichst nahe gelegene Referenzfläche ohne KWEA zugeordnet. Auf jeder Referenzfläche wurde ein Standort einer imaginären Referenz-KWEA festgelegt. Die Referenzflächen wiesen jeweils eine ähnliche Habitatstruktur auf, wie die Fläche der zugeordneten KWEA. Die Mittelpunkte der Referenzflächen befanden sich minimal in 400 m und maximal in 1.470 m Entfernung zum KWEA-Standort.

Der Umkreis von 250 m um jeden Anlagen- und imaginären Referenzstandort wurde als Untersuchungsfläche bestimmt. Auf dieser Fläche wurde die Flächennutzung kartiert und im GIS

(ArcGis 10.4.1) digitalisiert (Tabelle 2). Darüber hinaus wurden dort weitere Habitatparameter erfasst, die das Vorkommen von Vögeln und Fledermäusen beeinflussen können (Tabelle 3).

Neben der Gesamtlänge von Knicks bzw. Hecken sowie der Grabenlänge pro Untersuchungsfläche wurden außerdem die Entfernungen der KWEA bzw. Referenzpunkte (angenommene KWEA-Standorte auf den Referenzflächen ohne KWEA) zum nächstgelegenen Knick, Garten, Gebäude und zur Hoffläche des nächsten landwirtschaftlichen Betriebes mit Viehhaltung ermittelt. Außerdem wurde festgehalten, ob das unmittelbare Umfeld der KWEA bzw. Vergleichspunkte beweidet wurde und ob im nächstgelegenen Garten bzw. auf der Hoffläche Vogelenschutzmaßnahmen (z. B. Nistkästen, Vogelfütterung) durchgeführt wurden.

Tabelle 2: Prozentuale Flächennutzung im Umkreis von 250 m um die 15 KWEA- bzw. Referenzstandorte.

Standort	KWEA	Acker [%]	Garten [%]	Gebäude [%]	Ge­hölz [%]	Gewässer [%]	Grünland [%]	Hoffläche [%]	Hoffläche mit Viehhaltung [%]	ungenutzt [%]	Wege, Straße [%]
1	KWEA	0,0	1,4	7,7	4,3	0,1	64,1	1,8	11,0	0,5	4,5
1	Referenz	0,0	7,5	3,2	0,2	0,0	75,8	0,1	5,8	0,0	3,4
2	KWEA	19,1	0,8	2,6	8,1	0,0	58,3	0,0	4,8	0,0	1,4
2	Referenz	30,9	0,9	1,3	0,0	0,0	55,6	0,0	3,4	0,0	2,7
3	KWEA	32,5	0,7	0,5	0,1	0,0	51,7	0,0	1,3	0,7	4,6
3	Referenz	14,5	1,6	0,2	1,3	0,0	71,6	0,0	0,0	2,5	1,7
4	KWEA	25,1	3,7	2,0	0,2	2,4	50,8	1,0	1,8	0,7	3,7
4	Referenz	31,7	3,0	1,2	3,4	0,2	49,7	0,5	0,3	0,0	4,8
5	KWEA	3,7	15,7	3,7	0,0	0,2	92,0	5,6	0,0	0,0	5,2
5	Referenz	3,7	15,7	3,2	3,7	0,2	92,0	5,6	0,0	0,0	5,2
6	KWEA	36,4	4,5	0,7	13,6	0,0	31,1	0,0	2,2	1,6	5,5
6	Referenz	15,8	13,3	3,8	2,4	0,1	53,9	0,0	0,3	0,0	5,9
7	KWEA	1,2	5,6	2,3	2,2	0,3	72,0	1,1	2,8	0,0	8,6
7	Referenz	0,0	1,1	0,7	2,2	0,5	82,5	2,3	0,0	0,0	4,3
8	KWEA	16,9	4,2	1,5	13,3	0,0	27,3	1,2	1,4	3,2	23,2
8	Referenz	19,8	5,2	2,6	1,7	0,8	48,1	3,8	0,0	3,6	9,1
9	KWEA	32,7	0,5	1,4	0,0	0,4	52,6	2,9	0,0	0,0	3,5
9	Referenz	38,7	0,8	2,0	1,0	0,3	46,7	0,0	3,4	2,6	1,9
10	KWEA	11,2	6,5	4,2	1,1	1,4	55,8	1,7	8,0	0,0	5,5
10	Referenz	24,7	2,2	0,6	7,5	0,0	53,9	0,0	1,8	0,0	5,7
11	KWEA	47,4	3,7	3,8	1,1	0,0	28,2	0,6	9,5	0,0	1,3
11	Referenz	6,4	0,8	2,7	0,0	0,0	79,0	0,0	3,6	0,0	3,3
12	KWEA	0,0	13,6	5,2	0,9	0,2	61,1	3,9	5,7	0,9	5,3
12	Vergleich	0,7	18,5	4,6	1,8	0,1	54,7	4,4	0,0	1,4	8,2
13	KWEA	54,6	0,4	1,1	9,8	0,0	23,1	0,2	3,8	0,0	3,5
13	Referenz	19,0	0,2	0,3	1,5	0,0	71,4	0,7	0,0	0,0	4,3
14	KWEA	22,7	0,8	0,5	2,6	2,2	58,1	0,0	1,2	0,4	5,0
14	Referenz	27,8	0,6	1,6	0,2	0,0	54,8	0,0	8,7	0,0	2,6
15	KWEA	44,4	3,8	2,0	0,0	0,3	37,1	2,2	0,0	1,3	3,3
15	Referenz	11,5	0,4	1,2	0,0	0,6	69,8	2,8	0,0	0,0	4,2

Tabelle 3: Wichtige Habitatparameter an den 15 Anlagen- und Referenzstandorten.

Standort	KWEA	Distanz KWEA - Garten [m]	Distanz KWEA - Gebäude [m]	Distanz KWEA - Hof mit Viehhaltung [m]	Distanz KWEA - Knick [m]	Beweidung	Vogel-schutzmaß-nahmen	Knick-länge [m]	Graben-länge [m]
1	KWEA	100,4	79,5	111,3	45,2	J	N	90,8	87,5
1	Referenz	116,3	71,0	5,6	64,2	J	J	55,6	157,9
2	KWEA	112,6	93,6	90,5	67,7	J	N	100,9	0,0
2	Referenz	122,7	148,1	113,7	1,6	J	J	227,2	0,0
3	KWEA	65,2	55,7	52,8	62,2	J	N	48,5	270,5
3	Referenz	150,4	192,8	2996,7	145,0	J	J	0,0	243,5
4	KWEA	12,4	37,0	153,5	23,4	N	N	286,3	0,0
4	Referenz	158,9	121,9	212,0	24,2	J	J	223,5	45,3
5	KWEA	132,8	37,6	5613,4	5546,7	J	N	0,0	220,9
5	Referenz	121,0	86,4	4727,5	88,6	J	N	0,0	126,3
6	KWEA	89,4	92,9	198,0	39,2	N	N	75,8	70,3
6	Referenz	101,2	103,2	219,2	54,7	J	J	161,8	33,1
7	KWEA	43,5	55,2	87,2	73,3	J	J	42,9	192,7
7	Referenz	112,7	123,4	6446,1	72,2	J	J	112,0	279,9
8	KWEA	28,6	43,5	18,4	17,9	N	N	267,8	0,0
8	Referenz	27,9	49,3	1159,8	31,3	J	J	202,6	24,1
9	KWEA	134,3	29,9	2052,4	1,2	J	J	286,0	0,0
9	Referenz	76,2	72,5	67,2	5,7	J	N	106,1	89,2
10	KWEA	110,1	35,1	19,3	17,3	J	N	217,6	0,0
10	Referenz	82,6	43,9	26,3	86,1	J	N	89,5	12,9
11	KWEA	112,7	16,1	109,3	12,3	J	N	232,5	0,0
11	Referenz	156,2	80,5	78,0	112,0	J	J	86,8	232,7
12	KWEA	8,8	31,8	24,1	19,3	J	N	66,1	58,6
12	Referenz	17,3	0,7	4651,6	7,2	J	N	140,6	135,1
13	KWEA	174,5	131,9	87,3	14,9	J	N	108,3	0,0
13	Referenz	224,7	184,0	4577,2	42,3	J	J	166,1	0,0
14	KWEA	124,9	91,5	85,7	19,9	J	N	63,5	144,9
14	Referenz	164,5	107,9	84,4	91,7	J	J	66,4	150,6
15	KWEA	123,4	90,6	1267,3	8,1	N	N	305,5	0,0
15	Referenz	178,1	76,0	1553,3	26,8	N	N	309,1	0,0

2.3. Untersuchungen zu Vögeln

2.3.1. Brutvogelkartierungen

Um Aussagen zu Verdrängungseffekten beim Vorkommen von Brutvögeln treffen zu können, wurde eine Brutvogelkartierung in einem Umkreis von 250 m um die Anlage sowie der Referenzflächen monatlich von April bis Juni (2016 und 2017) entsprechend der „Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands“ (Südbeck et al. 2005) durchgeführt. Die Erfassungen fanden jeweils bei guten Bedingungen (kein Niederschlag, wenig Wind) in den frühen Morgenstunden statt. Jede Untersuchungsfläche wurde dabei möglichst komplett abgelaufen. Jeder Einzelbeobachtung wurde ein Brutzeitcode der erweiterten Liste aus der Onlineplattform ornitho.de zur späteren Auswertung zugeordnet.

2.3.2. Untersuchungen zu Verhaltensweisen von Vögeln an KWEA

Um die Verhaltensweisen von Vögeln durch KWEA zu untersuchen, wurden systematische Beobachtungen von Vögeln wöchentlich an allen 15 KWEA- und Referenzstandorten durchgeführt. Dabei wurden von einem Punkt mit guten Beobachtungsbedingungen jeweils 45 Minuten lang alle Aktivitäten von Vögeln im Umkreis von 250 m um die KWEA bzw. bei den Vergleichsflächen um einen Referenzpunkt (angenommener Standort einer KWEA) erfasst und in einer Karte festgehalten. Es wurden Flughöhe, Entfernung zur KWEA bzw. zum Referenzpunkt, Habitat und die Reaktion auf die KWEA in eine vorgefertigte Tabelle eingetragen. Bei fliegenden Vögeln wurde jeweils die geringste beobachtete Entfernung zur KWEA notiert.

Die beobachteten Verhaltensweisen und Reaktionen wurden zuvor definierten Verhaltenscodes zugeordnet, um die Beobachtungen zu standardisieren und die spätere Auswertung zu vereinfachen (Tabelle 4).

Es ist zu berücksichtigen, dass bei der Erfassung nicht die absolute Anzahl der Individuen während der Beobachtungsphase erfasst wurde, sondern deren Aktivität. So konnte ein einzelnes Individuum unter Umständen mehrfach erfasst werden, wenn es während der Beobachtungszeit aus dem Sichtfeld verschwand und wieder erschien.

Vor jedem Beobachtungsgang wurden die Bedingungen an den Standorten aufgenommen, wie Daten zur Witterung, zum Betrieb der Anlage und die Uhrzeit. Während der Beobachtungszeit lief ein Windmesser, um die Windgeschwindigkeit zu erfassen. Alle Daten und Beobachtungen wurden in eine Datenbank eingegeben und konnten damit nach verschiedenen Kriterien ausgewertet werden.

Tabelle 4: Verwendete Kategorien für das Verhalten und die Reaktionen von Vögeln auf KWEA.

Code	Verhalten
	Flugverhalten
101	direkter Flug durch das Beobachtungsfeld mit einer Entfernung zur KWEA > 50 m
102	direkter Flug durch das Beobachtungsfeld mit einer Entfernung zur KWEA < 50 m
103	kreisend
104	Flug zur Nahrungssuche (Schwalben, Rohrweihe etc.)
105	abfliegend
106	landend
107	Vertreiben anderer Vögel
108	Überflug, große Höhe, ohne Bezug zur Fläche, auch Zug
109	fliegt mit Futter
110	fliegt mit Nistmaterial
111	Singflug
	Verhalten ohne Flug
301	Nahrungssuche
302	fressend
303	füttert Küken
304	warnend/rufend
305	Balz/Gesang/Paarung
306	Körperpflege
307	rastend/ruhend
308	Revierstreit zwischen 2 Individuen
	Reaktion auf KWEA
200	keine Reaktion
201	horizontales Ausweichen
202	vertikales Ausweichen
203	Trupp-Auflösung
204	Abdrehen vor KWEA
205	zwischen Abspannseilen durchfliegend
206	auf Abspannseilen sitzend
207	auf Anlage sitzend
208	zwischen Abspannseilen aufhaltend (z. B. Nahrungssuche)
209	mit Abspannseilen/Turm kollidierend
210	mit Rotor kollidierend
211	Durchflug durch Rotor (stehend)
212	Durchflug durch Rotor (drehend)
213	Störung durch Rotorturbulenzen

Zwischen Juli 2015 und Ende Juli 2017 wurden insgesamt 1.476 Begehungen an den KWEA- und Vergleichsstandorten durchgeführt, was eine Gesamtbeobachtungsdauer von 2.214 Stunden entspricht. Dabei entstanden 51.790 Einzelbeobachtungen.

2.3.3. Untersuchungen zum Meideverhalten von Vögeln an KWEA

Zur Beantwortung der Frage, ob Vögel KWEA meiden, wurden die Vogelbestände jeder einzelnen häufigen Art zwischen Untersuchungsflächen mit KWEA mit denen der Vergleichsflächen ohne KWEA verglichen. Da sich die Flächenpaare mit und ohne KWEA trotz aller Bemühungen, gleichartige Flächen zu finden, in vielen Faktoren unterschieden, wurden statistische Modelle zur Erklärung der Bestände benutzt, um den Einfluss verschiedener Habitatparameter zu berücksichtigen. Eine Verdrängung aus dem Bereich der KWEA wurde dann angenommen, wenn der Faktor KWEA als negativer Faktor in den besten nach dem Akaike-Kriterium ausgewählten Modellen vorhanden war.

Als Modelle wurden je nach Art und Verteilung der Beobachtungsdaten Lineare oder Generalisierte Lineare Modelle verwendet. Als abhängige Variable konnte nicht die absolute Individuenzahl sondern die Individuendichte verwendet werden, da sich die jeweils einsehbaren Bereiche jeder Probefläche erheblich unterschieden. Die Sicht wurde beispielsweise durch Knicks oder Gebäude beeinträchtigt. Daher wurden die einsehbaren Bereiche (Sichtfelder) ermittelt und die erfassten durchschnittlichen Individuenzahlen jeder Art auf die Sichtflächen bezogen. Da sich die Sichtfelder, in denen die Vögel erfasst werden konnten, auch jahreszeitlich unterschieden, wurden getrennte Modelle für das Winter- und das Sommerhalbjahr aufgestellt. Ebenso wurden getrennte Modelle für stationäre und fliegende Vögel berechnet.

Damit die Verteilungen der durchschnittlichen Individuenzahlen einer Normalverteilung entsprachen, wurden die durchschnittlichen Individuenzahlen logarithmiert (Basis 10). In den Fällen, in denen diese Transformation keine Normalverteilung der Individuendichten ergab (visuelle Inspektion), wurden statt Linearer Generalisierte Lineare Modelle verwendet (binominal, link logit).

Als unabhängige Variable wurden folgende Größen ermittelt:

- KWEA (Kategorie ja/nein)
- Gartenfläche (Flächenanteil in %)
- Gebäudefläche (Flächenanteil in %)
- Sonstige Hofffläche (Flächenanteil in %)
- Gehölzfläche (Flächenanteil in %)
- Grünlandfläche (Flächenanteil in %)
- Brache (Flächenanteil in %)
- Knicklänge (absoluter Wert in m)
- Grabenlänge (absoluter Wert in m)
- Distanz der KWEA/des Referenzpunktes zum nächsten Hof mit Viehhaltung (absoluter Wert in m)
- Weide vorhanden (Kategorie ja/nein)
- Vogelschutzmaßnahmen (Kategorie ja/nein)

Zur Konstruktion der globalen Modelle wurde zunächst überprüft, ob es unter den unabhängigen Variablen Korrelationen gab. Variablen, die untereinander mit einem Korrelationskoeffizienten (Pearson) von mehr als 0,5 korreliert waren, wurde nicht zusammen in einem Modell verwendet. Es wurde zunächst ein Modell mit allen außer den interkorrelierten Faktoren konstruiert. Die jeweils mit der höchsten Fehlerwahrscheinlichkeit p versehenen Faktoren wurden schrittweise eliminiert bis ein Modell vorlag, das nur noch signifikante Faktoren aufwies. Aus der so vorliegenden Modellreihe wurde jenes mit dem niedrigsten Akaike-Wert ausgewählt. Dieses Modell wurde nach den in Zuur et al. (2009) genannten Methoden überprüft.

Mit den Ergebnissen der Brutvogelkartierungen wurde analog verfahren, wobei hier die Flächennutzung im gesamten Puffer von 250 m um die KWEA bzw. den Referenzpunkt zugrunde gelegt wurde. Als Variable für die Brutvögel wurde für jede Art die Anzahl der Beobachtungen von Vögeln mit brutverdächtigem Verhalten (Gesang etc.) während der insgesamt sechs

Kartierungsgänge je Probefläche zugrunde gelegt. Da die einzelnen Probeflächen immer gleich groß waren (250 m Umkreis um KWEA bzw. Referenzpunkt) musste keine Korrektur wegen der Fläche erfolgen. Aus der Anzahl der Brutzeitbeobachtungen wurden dann Mittelwerte pro Durchgang und Probefläche ermittelt und als abhängige Variable in die statistischen Modelle eingegeben.

Zur Abschätzung, welche Faktoren die Anzahl von Flugbewegungen im Gefahrenbereich an KWEA beeinflussen, wurde die Habitatausstattung für den Umkreis von 50 m um die Anlagen zugrunde gelegt. Dann wurden statistische Modelle mit folgenden Variablen konstruiert: %-Anteil Gartenfläche, %-Anteil Grünlandfläche, Distanz [m] der KWEA zum nächsten Hof mit Vieh, Distanz [m] der KWEA zum nächsten Knick, Distanz [m] der KWEA zum nächsten Gebäude, %-Anteil Hoffläche, Vorhandensein von Weiden [ja/nein], Vogelschutzmaßnahmen [ja/nein]. Als abhängige Variable wurde der Logarithmus (Basis 10) der mittleren Individuenzahl pro Beobachtungstag von an den Anlagen im Abstand von weniger als 50 m vorbeifliegenden Vögeln ausgewählt. Für die häufigen Arten Star und Rauchschwalbe wurden einzelne Modelle berechnet (Kap. 3.1.3). Sperlinge und Finken wurden je zu einer Gruppe zusammengefasst, weil der Stichprobenumfang für die Einzelarten zu gering war. Zusätzlich wurden alle Flugbewegungen aller Arten im Gefahrenbereich zusammengefasst.

Alle statistischen Analysen für ornithologische Fragestellungen erfolgten unter Verwendung des Programms R Version 3.2.2 (R Development Core Team 2017).

2.4. Untersuchungen zu Fledermäusen

2.4.1. Automatische akustische Dauererfassungen

Kenntnisse über das lokale Fledermausartenspektrum, die Fledermausphänologie und die Fledermausaktivität an den untersuchten KWEA sind für die Bearbeitung, Beantwortung und Interpretation der oben genannten Forschungsfragen essenziell. So dienten die aufgezeichneten Fledermausrufsequenzen aus der automatischen akustischen Dauererfassung aus dem Jahr 2015 der weiteren methodischen Planung des Projekts, im Detail der Auswahl der KWEA-Standorte und Erfassungszeiträume für die aufwendigen stereo-optischen Beobachtungen im Jahr 2016. Außerdem konnte über die akustisch ermittelte Fledermausaktivität, also die Anzahl der detektierten Fledermausrufsequenzen, die Frage nach einem möglichen Meideverhalten der Tiere an den KWEA beleuchtet werden.

Aus diesen Gründen erfolgten von Anfang Mai bis Ende Oktober 2015 an 14 KWEA-Standorten sowie von Anfang Juli bis Ende Oktober 2016 an den zehn ausgewählten KWEA-Standorten akustische Dauererfassungen mit Fledermausdetektoren (Anabat SD2 CF Bat Detector, Titley Scientific, Australien). Je untersuchter KWEA wurde ein Anabat in etwa zwei Metern Höhe am Mast befestigt. Zur verbesserten Detektion der Fledermausrufe im Umkreis der KWEA wurden die Anabats jeweils mit einer Reflektorplatte aus Plexiglas erweitert (Abbildung 2). Die Anabats erfassten die Rufe der Fledermäuse automatisch und speicherten diese auf einer CF-Speicherkarte. Die Stromversorgung wurde über eine Autobatterie gewährleistet.



Abbildung 2: Anabat am Mast einer KWEA. Zum Schutz vor der Witterung ist das Gerät in eine wasserdichte Box montiert. Unterhalb des Mikrofons befindet sich die Reflektorplatte.

Nach Ende der Erfassungszeiträume wurden die Aufnahmen der CF-Speicherkarten mit dem Programm CFCread ausgelesen und mit der Analysesoftware AnlookW ausgewertet. In diesem Programm kann der Frequenz-/Zeitverlauf der einzelnen Echoortungsrufe dargestellt werden (Tabelle 5). Zur Quantifizierung der Aktivität wurde die Anzahl der Aufnahmen, d.h. Sequenzen mit ein oder mehreren Echoortungsrufen, verwendet. Über mehrere Filtervorgänge wurden die kompletten Aufnahmen art- bzw. artengruppen-spezifisch sortiert. Diese Zuordnung wurde bei allen Aufnahmen visuell überprüft und gegebenenfalls korrigiert. Ausgesondert wurden Dateien, die nur Störgeräusche – erzeugt z. B. durch Wind oder Insekten – enthielten. Für die Filter wurden Rufparameter wie z. B. charakteristische Frequenz, Frequenzverlauf und Ruflänge verwendet (vgl. Gannon et al. 2004, Russ 2012). Dabei erfolgte die Bestimmung in mehreren Entscheidungsstufen, teilweise bis auf Artebene. War eine genaue Artbestimmung auch durch nachträgliche visuelle Prüfung nicht möglich, wurde die Rufsequenz einer Artengruppe bzw. Kategorie zugewiesen. Für die Interpretation der ausgewerteten Daten wurde auch das regionale Vorkommen der Fledermausarten berücksichtigt (Borkenhagen 2011). So sind aus der Gattung *Pipistrellus* nur die Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) und die Rauhaufledermaus (*P. nathusii*) häufige Arten, wobei Letztgenannte in Schleswig-Holstein meist als Einzeltier und zu den Zugzeiten im Frühjahr und Herbst nachgewiesen werden kann. Die Mückenfledermaus (*P. pygmaeus*), die ebenfalls zur Gattung *Pipistrellus* gehört, ist im Untersuchungsgebiet nur sehr spärlich anzutreffen oder fehlt ganz. In der akustisch nicht immer eindeutig zu bestimmenden Artengruppe „Nyctaloide“ ist die Breitflügelfledermaus (*Eptesicus serotinus*) die am häufigsten vorkommende Art im Untersuchungsgebiet. Auch der Abendsegler (*Nyctalus noctula*) kommt häufig vor, vor allem aber während der Zugzeiten im Frühjahr und Herbst. Reproduktionshabitate dieser Art liegen allerdings alle im Osten von Schleswig-Holstein. Der Kleinabendsegler (*N. leisleri*) wurde im Untersuchungsgebiet bisher nicht nachgewiesen. Auch die Zweifarbfledermaus (*Vespertilio murinus*), die der Artengruppe „Nyctaloide“ zugeschrieben wird, kommt nur selten und lokal begrenzt vor. Aus der Gattung *Myotis* ist die Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*) die häufigste Art im Untersuchungsgebiet bzw. in Schleswig-Holstein. Außerdem ist die Fransenfledermaus (*M. nattereri*) in

Schleswig-Holstein weit verbreitet, kommt allerdings nur sporadisch vor. Weitere Arten aus der Gattung *Myotis* wie die Bechsteinfledermaus (*M. bechsteinii*), die Brandtfledermaus (*M. brandtii*), die Bartfledermaus (*M. mystacinus*) sowie die Teichfledermaus (*M. dasycneme*) wurden für das Untersuchungsgebiet bisher nicht nachgewiesen. Das Große Mausohr (*M. myotis*) gilt in Schleswig-Holstein als ausgestorben. Das Braune Langohr (*Plecotus auritus*), der einzige Vertreter der Gattung *Plecotus* in Schleswig-Holstein, ist im Untersuchungsgebiet im Nordwesten des Bundeslandes nur selten anzutreffen (Borkenhagen 2011). Arten wie die Kleine und die Große Hufeisennase (*Rhinolophus hipposideros* und *R. ferrumequinum*), die Nymphenfledermaus (*M. alcaethoe*), die Wimperfledermaus (*M. emarginatus*), die Nordfledermaus (*E. nilssonii*), die Weißbrandfledermaus (*P. kuhlii*), der Riesenabendsegler (*N. lasiopterus*), die Alpenfledermaus (*Hypsugo savii*), die Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) und das Graue Langohr (*Pl. austriacus*) fehlen in Schleswig-Holstein ganz.

Tabelle 5: Bestimmungskategorien für die Zuordnung der Aufnahmen der akustischen Dauererfassung zu in Schleswig-Holstein vertretenen Arten bzw. Artengruppen.

Kategorie	Erläuterung
Art	Auf Artebene wurden nur die Arten bestimmt, bei denen eine eindeutige akustische Bestimmung erfolgen konnte. Eine Bestimmung auf Artebene erfolgte bei Erfüllung folgender Kriterien: Abendsegler: Hauptfrequenz < 20 kHz Rauhautfledermaus: Hauptfrequenz 35-40 kHz Zwergfledermaus: Hauptfrequenz 43-50 kHz Mückenfledermaus: Hauptfrequenz 53-60 kHz Braunes Langohr: Hauptfrequenz 55 (32-64) – 24 (16-31) kHz
„Nyctaloide“	Die Arten der Artengruppe „Nyctaloide“ haben sehr ähnliche Rufe und wurden daher im Regelfall nicht auf Artebene bestimmt. Die Artengruppe „Nyctaloide“ kann Rufsequenzen von Breitflügelfledermaus, Abendsegler und vereinzelt auch Kleinabendsegler und Zweifarbfledermaus enthalten.
Myotis	Die Gruppe <i>Myotis</i> beinhaltet Rufsequenzen von Arten der Gattung <i>Myotis</i> .
„Pipistrelloid“	Die Arten der Artengruppe „Pipistrelloid“ beinhaltet Rufsequenzen aus dem Übergangsbereich von Zwergfledermaus und Mückenfledermaus (Hauptfrequenz 50 – 53 kHz) und von Zwergfledermaus und Rauhautfledermaus (Hauptfrequenz 40 - 43 kHz).

2.4.2. Automatisierte stereo-optische Beobachtungen

Zur Klärung der Forschungsfrage, ob Fledermäuse sich KWEA nähern, sie meiden oder mit ihnen kollidieren, wurde ein neuartiges, optisch arbeitendes System eingesetzt. Mittels einer automatisiert arbeitenden Stereo-Infrarot-Kamera wurde es zum einen ermöglicht die zehn zu untersuchenden KWEA zeitgleich zu beproben und zum anderen Fledermäuse an den KWEA räumlich genau zu verorten. Durch die Anwendung dieses bildgebenden Verfahrens konnte das Verhalten der Fledermäuse an den KWEA und besonders im Gefahrenbereich des Rotors direkt und reproduzierbar beobachtet werden. Die Kamera wurde im Rahmen des BMWi Forschungsvorhabens RENEBAT III von Klaus Hochradel, ehemals wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Sensorik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, entwickelt und auf die Gegebenheiten in diesem Forschungsvorhaben angepasst.

2.4.2.1. Aufbau des Kamerasystems

Der Aufbau des Kamerasystems basiert auf zwei Raspberry Pi Einplatinencomputern (Single Board Computer: SBC), die zwei Infrarotkameras (Modell Pi NoIR) ansteuern (Abbildung 3) Als Zeitgeber fungiert ein GPS Modul an einem der SBC, über das jede Nacht die Zeit aktualisiert wurde. Für die beiden unabhängigen SBC wurde eine Hard- und Softwarelösung zur

zeitlichen Synchronisierung entwickelt. Die anfallenden Daten wurden dann auf externen 2,5“ Festplatten mit 1 Terabyte Speicherkapazität gespeichert. Zur Bedienung des Kamerasystems und der Kontrolle des Blickfeldes des Kamerasystems wurde ein kleiner Bildschirm installiert. Die Stromversorgung wurde durch zwei Solarpaneele gewährleistet, welche über einen Laderegler tagsüber den Strom in einer Autobatterie speicherten. Über den Laderegler und eine zwischengeschaltete Zeitschaltuhr wurden die Raspberry Pi und der Infrarotstrahler mit Strom versorgt.

Um Kosten für lichtstarke Strahler einzusparen und größere Reichweiten zu erzielen, wurde ein umgebautes NoIR Kameramodul der Firma Watterott basierend auf dem 1/4“ CMOS Sensor der Firma OmniVision des originalen Kameramoduls eingebaut. Als Besonderheit bietet dieses Modul die Möglichkeit, andere Objektive mittels eines CS Bajonetts anzuschließen.

Die Kameramodule besitzen keinen Infrarotlichtfilter und können in Kombination mit einem Infrarotstrahler für die nächtliche Aufzeichnung von Fledermäusen genutzt werden. Als Infrarotbeleuchtung kam pro Kamerasystem entweder ein Strahler vom Typ IR06/60 850NM oder zwei Strahler vom Typ IR16/850 von der Firma Indexa zum Einsatz. Im Vorversuch konnten Fledermäuse bis auf mindestens 25 Meter Distanz gut detektiert werden.

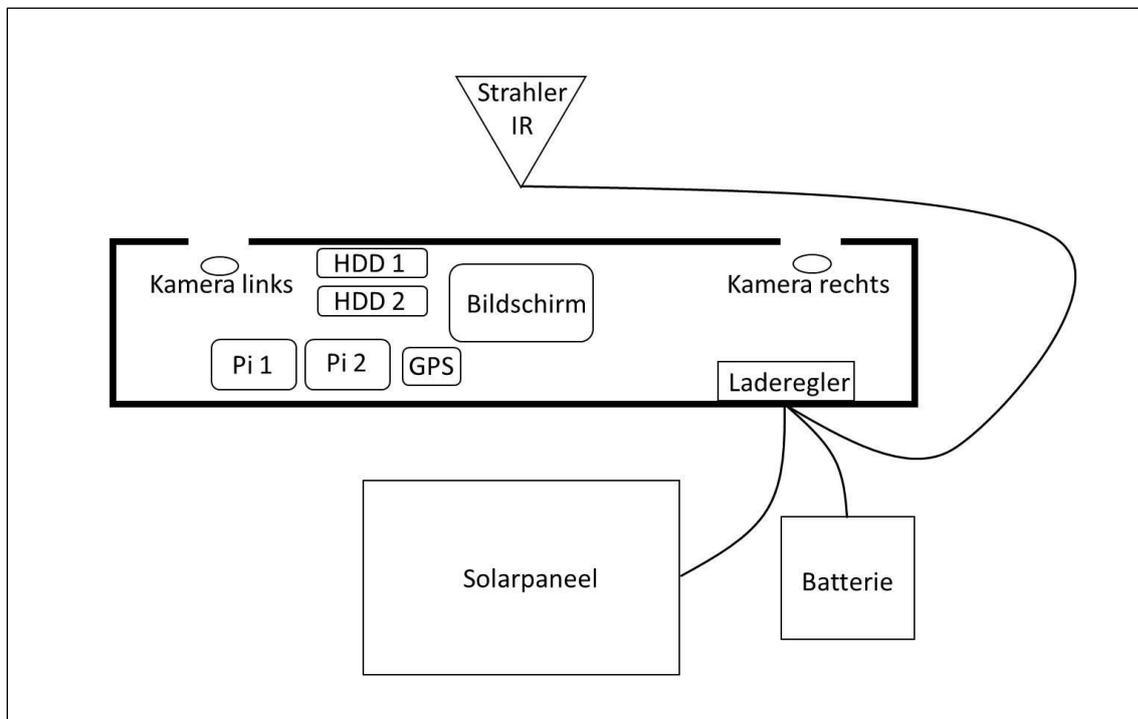


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Aufbaus der Stereo-Infrarot-Kamera mit den wichtigsten Komponenten

2.4.2.2. Bilderfassung mit dem Kamerasystem

Das Kamerasystem nahm mit einer Bilderwiederholffrequenz von 5 Bildern pro Sekunde auf. Dieser Wert wurde als Kompromiss zwischen ausreichender zeitlicher Auflösung der Bildwiederholffrequenz, möglichst langer nächtlicher Aufnahmedauer und verfügbarem Speicherplatz gewählt. Zum Erreichen hoher Bildfrequenzen wurde der von der Kamera zur Verfügung gestellte Video-Port verwendet. Statt Einzelbilder zu erstellen, werden hierbei einzelne Bilder aus einem Video entnommen. Dieser Modus erlaubt hohe Bildwiederholungsraten, was aber Einbußen in der Bildqualität nach sich zieht. Da nur bewegte Objekte im Bildmaterial ausgewertet werden sollten und keine Arterkennung o. ä. durchgeführt werden sollte, war die Bildqualität hier trotzdem noch ausreichend.

Ein weiterer zentraler Bestandteil der Funktionalität des Kamerasystems war die zeitliche Synchronisierung der Einzelbilder der beiden Kameras. Um am Ende der Auswertung ein über

beide Kameras aufgenommenes Objekt einer 3D-Position zuordnen zu können, ist es nötig, die Bilder der linken und rechten Kamera zu synchronisieren.

Das entwickelte Gesamtsystem ist autark einsetzbar. Es ist somit keine Netzwerkverbindung für das NTP Protokoll und darüber hinaus kein interner Zeitgeber, z. B. eine real time clock, auf dem Raspberry Pi vorhanden. Uhrzeit sowie Datum sind dem System somit nicht bekannt. Um dieses Problem zu lösen und die Dateien mit einem Zeitstempel aufzuzeichnen, wurde einer der beiden SBC mit einem GPS Modul ausgestattet (Abbildung 3). Dieser SBC stellt mit der korrekten Uhrzeit einen NTP Server zur Verfügung, womit der zweite Computer auch die Uhrzeit des GPS-Satelliten erhält.

Um die nachträgliche Zuordnung der linken und rechten Bilder zu vereinfachen, wurden beide SBC mit Hilfe von digitalen I/O Pins verbunden. So war es möglich nach einer gewissen Anzahl an aufgenommenen Bildern zu kontrollieren, ob das jeweils andere System diese Aufnahmen ebenso abgeschlossen hatte, um anschließend wieder zeitgleich die Aufnahme einer bestimmten Anzahl an Bildern zu starten. Diese Abfragen nehmen eine kurze Zeit in Anspruch und verursachen somit ‚Blindzeiten‘ in denen keine Bilder aufgezeichnet werden. Um diese Zeiten zu minimieren, wählten wir ein Prüfintervall von 100 Bildern. Bei dieser Intervallgröße liegen die ‚Blindzeiten‘ unter 0,5 Sekunden.

2.4.2.3. Technische Umsetzung, Konstruktion sowie autonome Erfassung im Feld

Abbildung 4 zeigt, wie der schematische Aufbau aus Abbildung 3 in der Praxis umgesetzt wurde. Von zentraler Bedeutung bei der Umsetzung waren die Wetterbeständigkeit (v. a. gegen eindringendes Wasser/Regen) und die Zuverlässigkeit. Daneben stellte die autonome Stromversorgung einen weiteren zentralen Baustein dar.



Abbildung 4: Stereo-Infrarot-Kamera

Um das Aufnahmesystem im Feld aufstellen zu können, wurde es in eine speziell angefertigte Holzkonstruktion installiert, die einen variabel einstellbaren vertikalen Aufnahmewinkel zuließ. Zudem wurde der Deckel mit einer Plastikabdeckung versehen und die Öffnungen für die Kameras mit einer abgedichteten Plexiglasscheibe verschlossen, womit die

Wetterbeständigkeit des Kamerasystems erhöht werden konnte. Bei den ersten Erfassungsnächten im Feld ergab sich direkt nach Einbruch der Dunkelheit ein Problem mit Taubildung auf den Plexiglasscheiben der Kameras. Die Bilder der ersten Nächte des Experiments waren dadurch nicht auswertbar, bis das Problem mit dem Anbringen von Taukappen, hergestellt aus Schaumstoff, behoben werden konnte.

Die Stromversorgung wurde über zwei 20 W Solarpanel (Firma Offgridtec) realisiert, welche über einen Solarladeregler eine Autobatterie speisten. Über diesen Solarladeregler wurde die Stromversorgung aus der Batterie an eine Zeitschaltuhr weitergegeben, welche die SBCs und die IR-Strahler steuerte. Die 12 V Spannung, welche vom Solarsystem und der Batterie zur Verfügung gestellt wurde, musste für die SBCs auf eine Betriebsspannung von 5 V transformiert werden, was durch den Einsatz eines USB-Ladeadapter mit 12 V KFZ-Stecker erreicht werden konnte.

Die Kamerasysteme wurden, je nach örtlichen Gegebenheiten in einer Entfernung von ca. 7 bis 12 m zum Mast der KWEA aufgestellt (Abbildung 4). Die Strahler wurden, wenn möglich in einer Entfernung von zwei Metern zwischen der Kamera und der KWEA positioniert, um die Aufzeichnung von Insekten in direkter Nähe zur Kamera zu vermeiden. Teilweise war jedoch eine flexible Positionierung der Kamera durch die Anwesenheit von Weidetieren nicht möglich. In diesen Fällen musste der IR-Strahler direkt an der Kamera angebracht werden (siehe Abbildung 5).

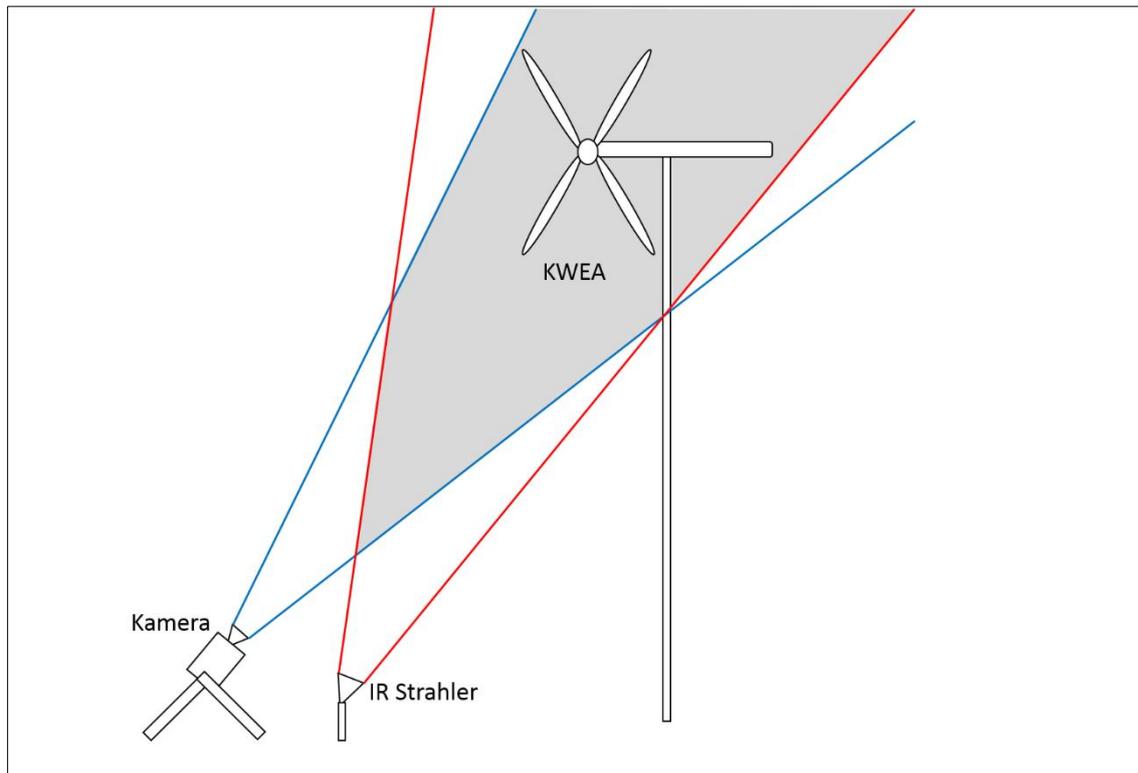


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Aufnahmesituation an den KWEA. Die blauen und roten Linien markieren den jeweiligen Blickwinkel der Kamera bzw. des IR-Strahlers. Der graue Bereich markiert den tatsächlichen Aufnahmebereich.

2.4.2.4. Softwaresteuerung des Kamerasystems

Die Programmierung der Messautomatisierung sowie die Überwachung des Systems wurden in der interpretierbasierten Programmiersprache *python*TM sowie Linux Shell realisiert. Unterschiedliche Programme steuerten jeweils die Kameraaufnahme, die Sensordatenerfassung und die Überwachung des Systems. Einrichtung, Bildkontrolle und Ausrichtung des Systems erfolgten über den installierten kleinen Bildschirm.

Die Automatisierung wurde durch verschiedene Programme umgesetzt. Da verschiedene Aufgaben vorhanden waren und diese auch überwacht werden mussten, wurde jede Aufgabe in

einem separaten Programm abgearbeitet. Abbildung 6 zeigt eine grobe Übersicht des Programmablaufs: Nach Abschluss des Bootvorgangs startete der eine SBC das GPS Modul und wartete auf den Empfang und damit auf eine korrekte Uhrzeit, welche von den Satelliten geliefert wurde. Daraufhin starteten beide SBCs einen Zeitserver, wodurch eine Zeitsynchronisierung erreicht werden konnte. Ein erster Watchdog überwachte diesen Vorgang. Bei erfolgreichem Ausführen wurde der Start der Aufzeichnungsprogramme eingeleitet. Auf einem der beiden SBCs wurde parallel das Programm zum Aufzeichnen der Sensorwerte geladen. Diese Hauptprogramme prüften jeweils die aktuelle Uhrzeit und verglichen diese mit den eingestellten Erfassungszeiten. Zudem prüften sie den Status des jeweils anderen SBCs und leiteten zum richtigen Zeitpunkt die Aufnahme der Bilder ein. Dieser Hauptprozess wurde ebenfalls von einem Watchdog überwacht. Wurde ein Fehler im Ablauf festgestellt, leiteten die Watchdogs einen Neustart beider SBC ein.

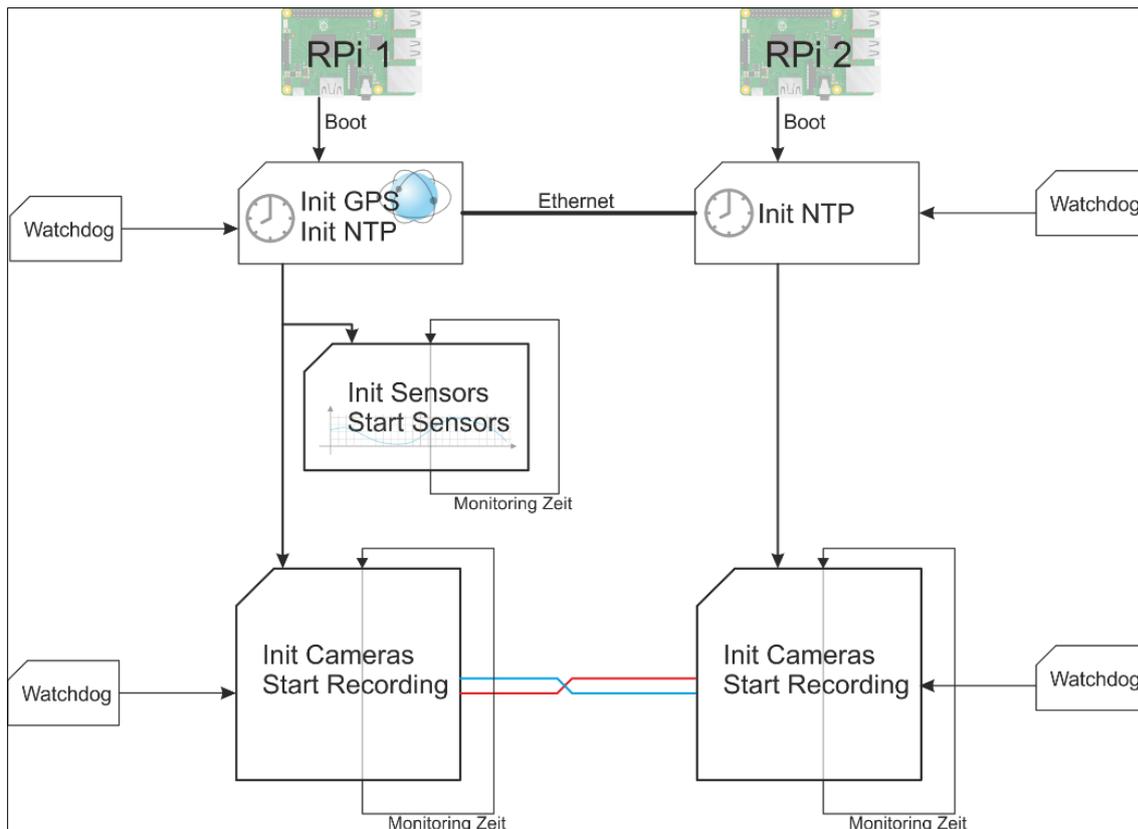


Abbildung 6: Schematischer Programmablauf auf beiden Raspberry Pis.

2.4.2.5. Vorauswahl der Bilddaten

Ziel des stereo-optischen Verfahrens war es, Fledermausflugbahnen räumlich genau verorten zu können. Eine Fledermausflugbahn wird definiert, als die räumlich genau abgrenzbare Strecke, die eine Fledermaus im Luftraum zurücklegt. Für eine effiziente Berechnung der tatsächlichen Flugbahnen, musste aufgrund der sehr großen Datenmengen, eine optische Vorauswahl von Ereignissen stattfinden. Dazu wurden jeweils die 100 Bilder, die von der Kamerasteuerung in einzelnen Datei-Ordner abgelegt wurden und nach denen die Kameras erneut parallel gestartet wurden, zu einem Bild verrechnet. Dieses Vorgehen ermöglichte zudem Veränderungen innerhalb der 100 Bilder leicht sichtbar zu machen. Dazu wurde das erste Bild einer Serie als Grundlage für ein Flugbahnbild verwendet und mit dem zweiten Bild abgeglichen. Alle Pixel, die im zweiten Bild heller waren als im ersten Bild, wurden in das Flugbahnbild übernommen. Dieser Prozess wurde für alle 100 Bilder eines Datei-Ordners durchgeführt. Die so angewendete Technik erlaubte bei der späteren Sichtung der verrechneten Flugbahnbilder eine schnelle Einschätzung, ob in den 20 Sekunden (abgedeckt von 100 Bildern), eine Fledermausflugbahn aufgezeichnet wurde. Neben Fledermäusen wurden jedoch auch andere Objekte wie Insekten, Flugzeuge oder sogar Meteoriten aufgezeichnet (Abbildung 8 bis Abbildung

9). Die auswertende Person musste daher eine qualifizierte Einschätzung treffen, ob es sich bei einer Flugbahn sehr wahrscheinlich um eine Fledermaus handelte oder nicht. Im Folgenden wird die Aufnahmesituation schematisch erklärt und an Beispielen erläutert.

Durch den Abstand der Kameras von 80 cm zueinander wird erst in einer Entfernung von ca. 1,5 m von beiden Kameras ein Bereich erfasst (Abbildung 7). Bewegt sich ein Objekt nahe der Kameras (Flugbahn 1 in Abbildung 7), so werden nur Teile der Flugbahn aufgezeichnet. Im Beispiel in Abbildung 7 ist die Flugbahn 1 bei der linken Kamera nur im rechten Bildausschnitt sichtbar, da nur dieser ausgeleuchtet wird. Die Flugbahnen erscheinen auf den Aufnahmen der linken bzw. rechten Kamera zudem unterschiedlich, da jede Kamera nur einen Teil der Flugbahn erfasst und kein Teil der Flugbahn gleichzeitig erfasst wird. Befindet sich ein aufgenommenes Flugobjekt in einiger Entfernung zu den Kameras, aber noch weit entfernt von der KWEA (Flugbahn 2 in Abbildung 7), so wird die Bahn von beiden Kameras erfasst, erscheint in Relation zur KWEA auf der linken Kamera jedoch rechts von der KWEA und auf der rechten Kamera links von der KWEA. Eine Flugbahn in der Nähe der KWEA (Flugbahn 3 in Abbildung 7) ist in Relation zur KWEA bei beiden Kameras an einer ähnlichen Position. Gleiches gilt für weit entfernte selbst leuchtende Objekte wie Flugzeuge oder Meteoriten (Abbildung 9).

Kleine Insekten, die im Nahbereich des Strahlers umherfliegen, erscheinen als vergleichsweise große und helle Objekte. Sie sind jedoch, wie oben beschrieben, entweder durch die geringe Entfernung zur Kamera, nur durch eine der Kameras erfasst, oder sie sind durch die relative Position ihrer Flugbahn zur KWEA als Insekten zu erkennen. Nachtfalter, die in der Nähe der Kamera aufgenommen werden, zeigen ein Flügelschlagmuster, welches dem einer Fledermaus ähnelt (vgl. Abbildung 8) Die Entfernung zur KWEA und die relative Größe erlauben aber eine Zuordnung als Fledermaus auszuschließen. Fliegen Insekten weiter von der Kamera entfernt, sind sie entweder nicht mehr zu erkennen, weil sie zu klein sind, oder das Flügelschlagmuster ist durch die geringe Größe der Insekten nicht mehr deutlich auszumachen und es zeigt sich lediglich eine Leuchtspur. Fledermäuse die in der Nähe der Kamera fliegen, sind deutlich größer als Insekten und aufgrund der Geschwindigkeit oft nur als verwischene Spur zu erkennen. Fledermäuse, die von beiden Kameras erfasst wurden und daher auswertbare Flugbahnen erzeugen, lassen sich durch die relative Position zur KWEA, ihre relative Größe und das Flügelschlagmuster mit hoher Wahrscheinlichkeit als Fledermäuse ansprechen.

Aufgrund zeitlicher Asynchronität sowie durch eine äußerst große Anzahl an aufgenommenen Insekten, war die in diesem Kapitel beschriebene Auswertung der Aufnahmen von Stereo-Infrarot-Kamera an KWEA 11 nicht realisierbar. Daher liegen zu KWEA 11 keine räumlichen Daten über vermessene Fledermausflugbahnen vor.

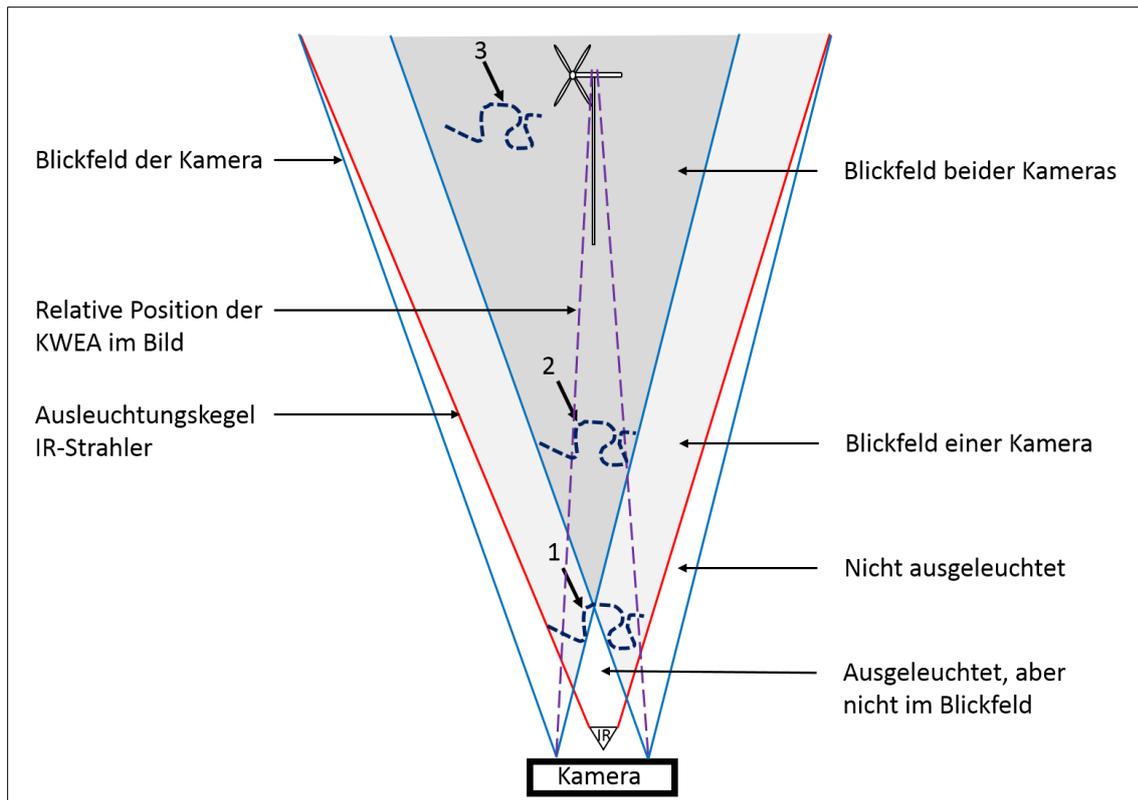


Abbildung 7: Schematische Darstellung von Flugbahnen (1, 2 und 3) in unterschiedlicher Entfernung zur Kamera und unter Berücksichtigung der erfassten Bereiche.

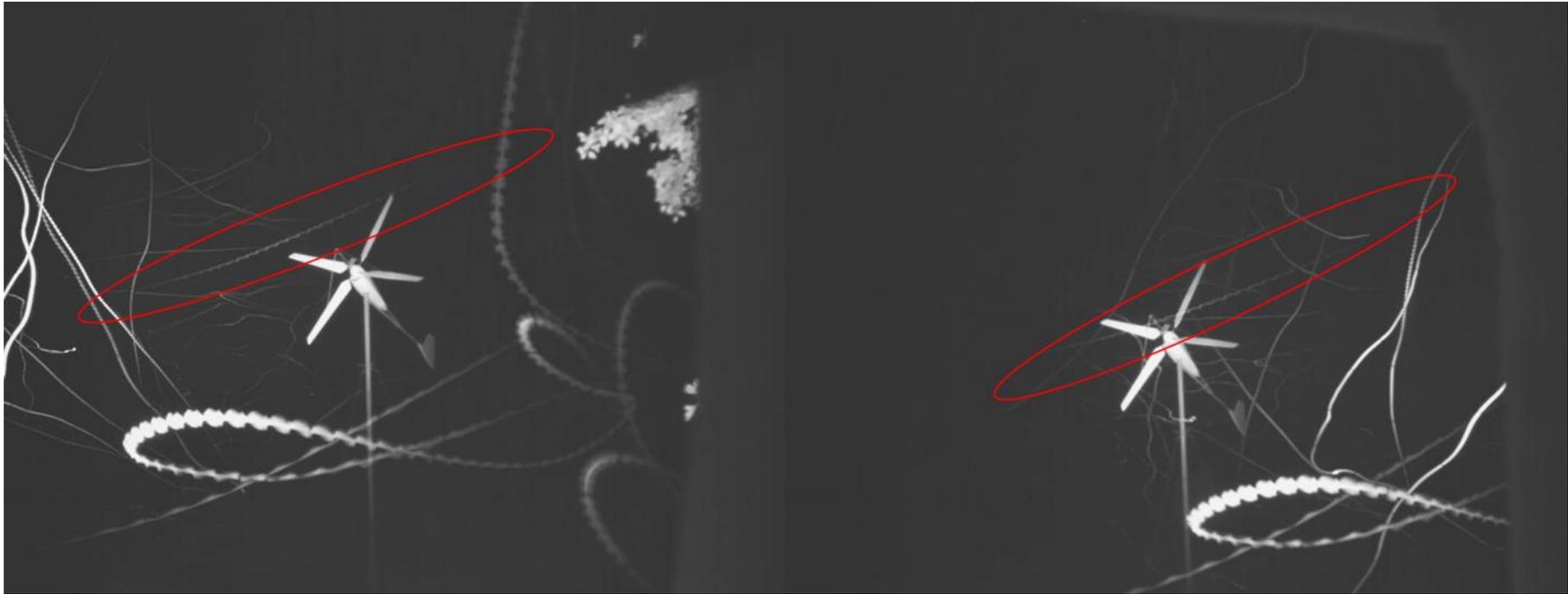


Abbildung 8: Beispiel einer Fledermausflugbahn mit einer Vielzahl an Insektenflugbahnen in direkter Kameranähe. Nur die Position der Fledermausflugbahn ist in der linken und rechten Kamerasicht annähernd gleich. Am rechten Rand der Bilder ist die Taukappe als grauer Schatten zu erkennen.



Abbildung 9: Die Beobachtung eines Meteoriten, der am 08.08.2017 über Schleswig-Holstein niederging. Durch die große Entfernung zur Kamera ist die Position des Meteoriten in der linken und rechten Kamerasicht annähernd gleich.

2.4.2.6. Bildverarbeitung, Objekterkennung und Triangulation

Die Einzelbilder aus den manuell ausgewählten Zeiträumen, in denen Fledermausflugbahnen identifiziert werden konnten, wurden in einem weiteren Schritt verwendet um die dreidimensionale Position der Fledermaus zu berechnen. Die Verarbeitung der aufgenommenen Bilder sowie die automatisierte Erkennung von Fledermäusen auf den Aufnahmen gestalteten sich aus mehreren Gründen komplex. Eine Herausforderung war die große Datenmenge der vielen Einzeldateien. Dies verursachte einen großen Overhead bei der Auswertung, zum Beispiel aufgrund der nötigen Speicheradressierung jedes Einzelbilds. Auch die Objekterkennung gestaltete sich herausfordernd. So wurde auf einem Einzelbild eine Fledermaus aufgrund ihrer Körpermaße meist nur durch eine geringe Anzahl an Pixeln repräsentiert (abhängig von der Distanz, minimal 5 Pixel). Zudem handelte es sich um Graustufenbilder, was in einem schwachen Kontrast zwischen Fledermaus und Umgebung resultierte. Weiterhin beinhalteten die Einzelbilder natürlich auch Bildrauschen sowie die sich bewegende Umgebung (etwa Büsche oder Bäume). Die entwickelte Objekterkennung umfasst mehrere Schritte, um Fledermäuse zuverlässig automatisch zu erkennen. Diese Auswertung ist rechenintensiv und wurde auf einem Server mit 100 GB Arbeitsspeicher sowie einer CUDA-fähigen Grafikkarte ausgeführt. Durch die eingesetzte Grafikkarte war es möglich, die Rechenzeit um etwa 75 % – verglichen mit der Berechnung einer CPU – zu reduzieren. Die Extrahierung der Fledermauspositionen auf beiden Kameras lief nach folgendem Schema:

1. Analyse vorausgewählter relevanter Zeiträume durch gleitende Varianz: Bewegungsdetektion. Konstante Veränderungen in den Bildern (z. B. durch Windbewegung von Umgebung oder Bildrauschen) werden herausgefiltert. Varianz jedes Pixels über 20 Bilder und anschließende Differenz mit dem Varianzbild der darauffolgenden 20 Bilder
2. Validierung der Ergebnisse durch logische Überprüfung der Erkennungen.
3. Vergleich der Ergebnisse beider Kameras (gleicher Zeitraum in beiden Kameras und ähnliche X-Koordinaten), um übereinstimmende Objekte für die Triangulation zu erkennen.

Für in beiden Bildern übereinstimmende Punkte, wurden die 3D-Koordinaten bestimmt. Wir verwendeten hierfür eine homogene DLT Methode („*Direct Linear Transformation*“): Zuerst wird der Aufbau mit Hilfe eines Schachbrettmusters kalibriert. Bei der Kalibrierung wird aus den bekannten Maßen und denselben Punkten eines Schachbrettmusters auf beiden Kameras die Fundamentalmatrix des Stereosystems berechnet. Details zur verwendeten Triangulations- und Kalibriermethode finden sich in Hartley & Zisserman (2003).

2.4.3. Experimentelle Untersuchung des Meideverhaltens und Kollisionsrisikos von Fledermäusen an KWEA

Für die Beantwortung der Frage nach einem betriebsbedingten Meideverhalten und möglichen Kollisionen von Fledermäusen mit KWEA wurde 2016 ein Abschaltexperiment an zehn KWEA durchgeführt. Es wurden die zehn KWEA und derjenige Zeitraum ausgewählt, an denen im Jahr 2015 die höchste akustische Fledermausaktivität festgestellt werden konnte. Außerdem wurden wenig repräsentative Anlagentypen vom Experiment ausgeschlossen. Acht dieser KWEA gehörten zum Typ 6 AC von EasyWind, zwei weitere gehörten zum Typ 10 S von Lely Aircon. Folglich wurden die KWEA 1, 2, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13 und 14 (vgl. Tabelle 1) für den Zeitraum vom 30.07. bis 22.08.2016 optisch beprobt. Für das Abschaltexperiment wurde ein balanciertes Design in zwei Gruppen, Gruppe A und Gruppe B, gewählt, um klimatische und ortsbedingte Effekte kontrollieren zu können.

Beginnend am 30.07.2016 wurden die fünf KWEA der Gruppe A während der vier folgenden Nächte außer Betrieb genommen, während die fünf KWEA der Gruppe B weiter betrieben wurden. Anschließend wurde Gruppe A wieder in Betrieb genommen und Gruppe B für die folgenden vier Tage abgeschaltet (Abbildung 10). Insgesamt wurden so sechs viertägige Abschaltzyklen durchlaufen. Bei KWEA „außer Betrieb“ drehte sich der Rotor zu keiner Zeit.

Waren die KWEA in Betrieb, war das Drehen der Rotoren abhängig von der lokalen Windgeschwindigkeit, das heißt die Rotoren drehten sich bei ausreichenden Windgeschwindigkeiten, standen aber still, wenn der Wind die Anlaufgeschwindigkeiten der KWEA nicht erreichte. Der tatsächliche Betriebszustand während der Experimentphasen „in Betrieb“ konnte für die optischen Daten über die Aufzeichnungen der Stereo-Infrarot-Kameras festgestellt werden. Für die Zeiten, für die keine optischen Daten vorlagen, wurde der Betriebszustand über die Windgeschwindigkeit bestimmt (siehe unten).

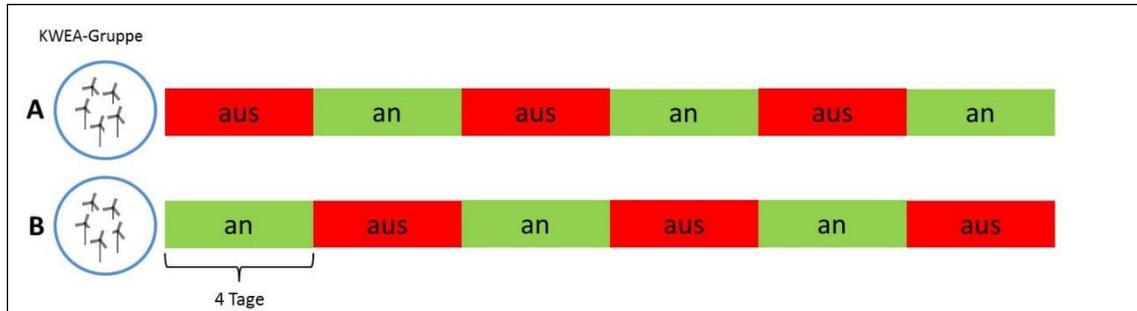


Abbildung 10: Darstellung des experimentellen Designs während des Abschaltexperiments.

Während des Abschaltexperiments wurde an jeder der zehn KWEA eine Stereo-Infrarot-Kamera installiert. Die Kameras wurden in südwestlicher Richtung ca. 7 - 12 m vom Anlagenfuß der jeweiligen KWEA entfernt positioniert, um einen möglichst dunklen Nachthimmel als Hintergrund zu haben und eine ideale Ausleuchtung des Rotorbereichs zu erreichen. Wenn die Grünlandfläche um die KWEA während des Experimentzeitraums von Tieren beweidet wurde, wurde die Kamera durch einen Elektrozaun gegen etwaige Beschädigung durch die Weidetiere geschützt. Während des Experiments fiel die Kamera an KWEA 7 wegen technischer Probleme aus, sodass optische Daten mit Flugbahnen lediglich für neun KWEA erzielt werden konnten. Von diesen neun KWEA waren die optischen Daten von KWEA 11 durch eine sehr große Anzahl an Insekten auf den erstellten Bildern nicht für eine dreidimensionale Vermessung auswertbar. Daher liegen nur für acht KWEA dreidimensional vermessene Flugbahnen vor. Außerdem beschlugen zu Beginn des Experimentzeitraums die Kameras aufgrund von Taubildung und verursachten einen Datenverlust, der ab dem 08.08.2016 durch längere nächtliche Kameralaufzeiten kompensiert wurde.

Ein mögliches Meideverhalten der Fledermäuse an KWEA in Abhängigkeit des Betriebszustands kann auch über die gemessene akustische Aktivität nachgewiesen werden. Daher wurden zusätzlich für den Experimentzeitraum Änderungen in der akustisch ermittelten Fledermausaktivität untersucht. Für eine derartige Auswertung muss allerdings der Betriebszustand der KWEA zu jedem Zeitpunkt bekannt sein. Bei der Auswertung der stereo-optisch ermittelten Flugbahnen konnte der Betriebszustand der KWEA für jede einzelne Flugbahn aus den Aufnahmen abgelesen werden (Rotor drehend versus Rotor stehend). Jedoch waren nicht alle Kameras an allen KWEA immer aktiv, weshalb nicht für den gesamten Experimentzeitraum eine optische Überprüfung möglich war. Um eine vergleichbar sichere Zuordnung des Betriebszustands für jede akustisch aufgezeichnete Rufsequenz zu erhalten, musste eine Eingrenzung des Betriebszustandes mithilfe von Winddaten erfolgen. Da die eigenen Windmessungen als nicht belastbar eingestuft wurden (siehe nächster Abschnitt), wurde auf Winddaten einer nahegelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes zurückgegriffen. Über die stereo-optischen Aufnahmen und den daraus ablesbaren Betriebszustand konnte extrahiert werden, dass die KWEA sicher liefen, wenn an der Wetterstation Winde von mindestens 4 m/s gemessen wurden. Für die Auswertung des Meideverhaltens über die akustische Aktivität wurden daher nur diejenigen Rufsequenzen herangezogen, welche bei über 4 m/s Windgeschwindigkeit aufgenommen wurden. Denn hier kann davon ausgegangen werden, dass die Rotoren sich drehten, wenn das Abschaltexperiment es so vorsah.

2.4.4. Erfassung von meteorologischen Faktoren sowie Standortparametern

Aus zahlreichen Studien ist bereits bekannt, dass sowohl meteorologische Faktoren als auch standortspezifische Parameter Auswirkungen auf die Fledermausaktivität haben (Verboom & Huitema 1997, Verboom & Spoelstra 1999, Rydell, Jens et al. 2010a, Baerwald, Erin F & Barclay 2011b, Bach et al. 2012, Cryan, Paul M et al. 2014a, Kelm et al. 2014, Reichenbach, M. et al. 2015, Moyle 2016). Um die Einflusswirkung von Windgeschwindigkeit, Temperatur und verschiedenen Landschaftsparametern auf die Aktivität von Fledermäusen an den KWEA-Standorten bei den statistischen Auswertungen zu berücksichtigen und für diese kontrollieren zu können, wurden verschiedenen Parameter an den KWEA-Standorten aufgenommen. Die Anemometer (PCE-WL 1, PCE Instruments, Deutschland) zur Messung der Windgeschwindigkeit wurden oberhalb der akustischen Aufnahmegeräte in einer Höhe von etwa zwei Metern installiert. In der späteren Auswertung zeigte sich jedoch, dass die Rotoren der KWEA sich drehten, obwohl in Bodennähe kein Wind gemessen wurde. Die Winddaten der installierten Anemometer wurden daher als nicht plausibel für den Betrieb der KWEA eingestuft. Daher wurde für die folgenden Analysen auf Winddaten des Deutschen Wetterdienstes zurückgegriffen, die als stündliche Mittelwerte frei zugänglich sind. Die Daten stammten von der dem Untersuchungsgebiet nächstgelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (Stationsnummer 04919 „Strucklahnungshörn“ auf Nordstrand), welche zwischen 14 und 41 km von den KWEA-Standorten entfernt ist. Die verwendeten Windgeschwindigkeiten werden daher sehr wahrscheinlich höher sein als an den KWEA selbst, sie sollte daher nur als relatives Maß für die Windgeschwindigkeit an den KWEA angesehen werden.

Des Weiteren wurde mit einem Temperaturlogger (EL USB 2, Lascar Electronics, Großbritannien) alle 30 Minuten die Temperatur an den KWEA erfasst. Auch diese Geräte wurden am Mast der einzelnen KWEA auf einer Höhe von zwei Metern angebracht. Für diesen Parameter konnte in beiden Jahren und für alle Anlagen Daten aufgezeichnet werden.

Die landschaftliche Ausstattung in der näheren Umgebung der KWEA-Standorte von ca. 1 km war insgesamt sehr homogen (vgl. 2.2 Untersuchungsgebiete). Dies ist einerseits auf die stark landwirtschaftlich geprägte Region zurückzuführen, vor allem aber auf die Platzwahl für KWEA im Allgemeinen. Diese werden meist zur direkten Stromversorgung in unmittelbarer Nähe von landwirtschaftlichen Betrieben errichtet. Daher ist die Habitatausstattung der KWEA-Standorte für alle untersuchten KWEA mit Gehöften, angrenzenden Weideflächen und Gartenstrukturen im Nahbereich der KWEA sehr ähnlich gestaltet und damit eine gute Vergleichbarkeit der verschiedenen KWEA-Standorte gegeben.

Um dennoch mögliche Unterschiede der Fledermausaktivität an einzelnen KWEA-Standorten im Zusammenhang mit anderen Parametern interpretieren zu können, wurden Landschaftsparameter in die Auswertung miteinbezogen, die auf das großräumige Quartierangebot der Fledermäuse ausgelegt waren. Viele Fledermäuse beziehen Sommer- und Paarungsquartiere sowie Wochenstuben in Höhlungen und Spalten von Bäumen und Gebäuden. Daher sind Strukturen, wie Wälder und Siedlungsbereiche, die ein solches Quartierpotential bieten, für das Vorkommen von Fledermäusen von großer Bedeutung. Aus diesem Grund wurden der Anteil an Wald sowie Bebauung in einem Umkreis von zwei Kilometern um die KWEA-Standorte, als Maß für das potenzielle Quartierangebot ermittelt. Diese Parameter wurden anhand des open-source Kartenmaterials von OpenStreetMap (OpenStreetMap Foundation) extrahiert. Allerdings muss das Einbinden von Landschaftsparametern als erklärenden Variablen in die Untersuchung der Aktivitätsverteilung der Fledermäuse aufgrund der kleinen Stichprobengröße von nur 14 bzw. zehn KWEA-Standorten kritisch betrachtet werden. Mögliche Effekte der umgebenden Landschaft können bei dem hier gewählten Studiendesign, dessen primäre Fragestellung die Klärung des Verhaltens von Fledermäusen an KWEA ist, nur begrenzt aufgedeckt werden.

2.4.5. Statistische Analyse

Die statistische Auswertung sowie die grafische Darstellung der Daten erfolgte in R 3.3.1 (The R Foundation for Statistical Computing). Um den Einfluss von Variablen auf die Fledermausaktivität zu berechnen, wurden lineare gemischte Modelle (mixed effect models) mit der Funktion *lmer* aus dem R-package *lme4* (Bates et al. 2015) gerechnet.

Die Güte der Modellanpassung wurde für alle Modelle durch eine visuelle Überprüfung der Residuen der errechneten Modelle verifiziert. Für alle Modelle wurden die Residuen gegen die Anpassungswerte aufgetragen, um die Annahmen des linearen Zusammenhangs sowie der Homogenität der Varianzen zu überprüfen. Zudem wurden die Quantile der Residuen gegen die Quantile der Normalverteilung aufgetragen, um die Normalverteilung der Residuen zu überprüfen.

Alle numerischen erklärenden Variablen wurden vor der Modellanpassung standardisiert (Subtraktion des Mittelwerts und Division durch die Standardabweichung), sodass ihr Mittelwert 0 und die Standardabweichung 1 betragen. Somit sind alle gemessenen Effektgrößen in Einheiten der Standardabweichung.

Der Einfluss von Umweltparametern auf die akustische Fledermausaktivität wurde für die Monate Juli bis September über die Jahre 2015 und 2016 für alle Arten gesamthaft und für ausgewählte Arten und Artengruppen betrachtet. Hierzu wurde die Anzahl Fledermausaufnahmen pro Nacht (um eins erhöht und logarithmiert) in Beziehung zur Fläche der Bebauung, der Waldfläche im 2 km Umkreis sowie der Windgeschwindigkeit, der Temperatur und dem Untersuchungsjahr gesetzt. Als Zufallsfaktoren wurden die KWEA-Identität sowie die Nacht und der Monat im Model verwendet, um die Varianz in der Fledermausaktivität zwischen Monaten, einzelnen Nächten und den Standorten zu berücksichtigen.

Der Zusammenhang zwischen der akustisch ermittelten Aktivität und der optisch aufgezeichneten Flugbahnen wurde pro KWEA und Nacht in Beziehung gesetzt, wobei die individuelle KWEA und die Nacht als Zufallsfaktoren berücksichtigt werden, um für Nicht-Unabhängigkeit der Messungen an derselben Anlage bzw. in derselben Nacht zu korrigieren.

Der Einfluss des Betriebszustandes der KWEA im Experiment auf die akustische Fledermausaktivität für alle Arten gesamthaft und für die Arten/Artengruppen Zwergfledermaus, Raufhautfledermaus und Nyctaloiden für jede Nachtstunde mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von über 4 m/s berechnet. Hierbei wurde die Anzahl an Aufnahmen in einer Stunde in Beziehung zum Betriebszustand der KWEA, der Windgeschwindigkeit und der Temperatur gesetzt. Die Anzahl akustischer Aufnahmen wurde wieder um eins erhöht und logarithmiert. Als Zufallsfaktoren wurden die KWEA-Identität und die Nacht berücksichtigt.

Der Einfluss des Betriebszustandes auf die Annäherung aller Fledermäuse an die Gondel wurde für den Zeitraum des Experiments berechnet für die gültigen optischen Erfassungen vorlagen. Hierbei wurde die minimale Distanz zur Gondel in Beziehung zum Betriebszustand, der Windgeschwindigkeit und der Temperatur gesetzt. Hierbei wurden als Zufallsfaktoren die KWEA-Identität und die Nacht berücksichtigt.

Der Einfluss des Betriebszustandes auf die Anzahl der registrierten Flugbahnen für die einzelnen Fledermausarten, korrigiert für den Erfassungsaufwand, wurde durch einen gepaarten Wilcoxon-Rangsummentest überprüft.

2.5. Schlagopfer

2.5.1. Schlagopfersuche von Vögeln und Fledermäusen

Während jeder wöchentlichen Begehung wurde jeweils nach den ornithologischen Beobachtungen eine Schlagopfersuche nach etwaigen verunglückten Vögeln und Fledermäusen durchgeführt. Die Schlagopfersuche erfolgte in einem Bereich von 20 - 30 m (abhängig von der Höhe der KWEA) um die KWEA nach den Vorgaben von Korner-Nievergelt et al. (2013). Die Fläche wurde systematisch langsam in einem Abstand von ca. 2 m abgelaufen und nach möglichen Schlagopfern abgesucht. Hohe und unübersichtliche Vegetation wurde nicht abgesucht, sofern sie sich nicht unmittelbar an der Anlage befand. In einigen Fällen wurde der Bereich um die Anlage gemäht, um die Schlagopfersuche zu erleichtern.

Gefundene Kadaver wurden zunächst markiert und die Suche fortgesetzt. Nach der Suche wurde der Kadaver registriert, mit dem GPS-Gerät eingemessen und fotografiert. In die Bewertung, ob es sich um ein Schlagopfer handelte wurden verschiedene Faktoren, wie die Fundumstände, die Entfernung zur KWEA und die Art der Verletzung einbezogen. Nicht bei allen gefundenen Kadavern handelte es sich tatsächlich um Schlagopfer. Durch die Bewertung der Fundumstände konnten einigen Kadavern andere Todesursachen, wie z. B. Glasanflug oder Drahtanflug zugeordnet werden. Bei Kadaverresten war eine eindeutige Todesursache nicht zu ermitteln. Sie könnten auch durch Prädatoren in das Suchfeld eingetragen worden sein. In die Auswertung wurden nur eindeutige Schlagopfer einbezogen.

2.5.2. Ermittlung der Kollisionsrate von Vögeln und Fledermäusen an KWEA

Für die Hochrechnung der tatsächlichen Kollisionsrate wurde das R-Paket „carcass“ verwendet (Korner-Nievergelt et al. 2015). Es wurde in folgenden Schritten vorgegangen:

- Ermittlung der Abtrage rate durch Prädatoren über einen Zeitraum von max. 14 Tagen. Schätzung der täglichen Verbleiberate mit der Funktion „persistence.prob“ des R-Pakets „carcass“.
- Ermittlung der Suche ffizienz der beteiligten Mitarbeiter/innen mit der Funktion „search. efficiency“ des R-Pakets „carcass“.
- Berücksichtigung der Vegetationshöhe und –struktur bei der Berechnung einer durchschnittlichen Suche ffizienz.
- Hochrechnung der tatsächlichen Schlagopferzahlen mit Hilfe der Funktion „estimateN“ des R-Pakets „carcass“.

Bei der Ermittlung von Abtrage rate und Suche ffizienz wurden möglichst realitätsnahe Versuchs umstände gewählt. Bei der Ermittlung der Abtrage rate wurden Vogelkadaver (Straßenverkehrso pfer) ausgelegt, um auszuschließen, dass (leichter zu beschaffene) Farbmäuse möglicherweise von Prädatoren leichter gefunden werden könnten, als reale tote Vögel. Über einen Zeitraum von max. 14 Tagen wurden die ausgelegten Kadaver an den KWEA täglich aufgesucht um deren Verbleib bzw. Verschwinden zu dokumentieren. Die Abtrage rate wurde in folgenden Zeiträumen ermittelt: 2015 im Oktober und Dezember, 2016 im April, August und Dezember/Januar, 2017 im Mai und im Juni/Juli. Es wurden zwischen zwei und drei Kadaver pro Anlage ausgelegt - insgesamt 203 Kadaver.

Die Ermittlung der Suche ffizienz wurde in den normalen Ablauf der Schlagopfersuche eingegliedert, sodass der Sucher nicht im Vorhinein wusste, ob ausgelegte Kadaver vorhanden waren. Auch hierfür wurden Vogelkadaver genutzt. Lediglich bei der letzten Ermittlung der Suche ffizienz im Juni 2017 wurden Farbmäuse verwendet, um die Suchumstände für Fledermäuse zu simulieren. Auch für die Ermittlung der Suche ffizienz wurden pro Anlage 2 bis 3 Kadaver ausgelegt - insgesamt 219 Kadaver, darunter 62 Farbmäuse.

Die Schlagopfersuche konnte in der Regel nicht auf dem gesamten Bereich vorgenommen werden, auf denen Schlagopfer zu erwarten wären, weil Bereiche nicht zugänglich waren oder für die Suche ungeeignete Vegetationsstrukturen vorhanden waren. Hohe Vegetation am

Turmfuß wurde allerdings zur Erleichterung der Suche an den meisten KWEA gemäht. Für jeden KWEA Standort wurde eine Abschätzung der durchschnittlich absuchbaren Fläche (Vegetation niedriger als 10 cm) vorgenommen. Im Durchschnitt aller Standorte konnten 70 % der Fläche abgesucht werden.

Für die Ermittlung der Schlagopferferrate wurde zusätzlich mögliche Beziehungen zwischen Standortfaktoren und den hochgerechneten Schlagopferzahlen pro Anlage mit einem statistischen Modell untersucht. Die hochgerechnete Zahl der Schlagopfer je Anlage wurde als abhängige Variable angenommen, während die Standortparameter, im Umkreis von 250 m um die jeweilige KWEA, als unabhängige Variablen dienten. Das wichtigste Ziel der Untersuchungen war in diesem Fall, ein Modell mit möglichst hoher Erklärungskraft (erklärte Devianz) zu konstruieren, mit dem es möglich ist, einen Standort vor der Genehmigung einer Anlage hinsichtlich des Risikos von Schlagopfern zu bewerten. Die Frage, ob einzelne Habitatfaktoren einen signifikanten Einfluss haben, trat demgegenüber in den Hintergrund. Aus sachlogischen Gründen und aufgrund bestehender Interkorrelationen einzelner Faktoren wurden folgende Parameter für das Modell ausgewählt:

- Gartenfläche: %-Flächenanteil von Gärten im Umkreis von 250 m
- Grünlandfläche: %-Flächenanteil von Grünland im Umkreis von 250 m
- Distanz der KWEA zur nächsten Hecke bzw. Knick (absoluter Wert in m)
- Distanz der KWEA zum nächsten Hof mit Viehhaltung (absoluter Wert in m)
- Distanz der KWEA zum nächsten Gebäude (absoluter Wert in m)
- Weide im Umkreis von 250 m vorhanden (Kategorie ja/nein)
- Vogelschutzmaßnahmen im Umkreis von 250 m vorhanden (Kategorie ja/nein)

Die ermittelten Umweltvariablen wurden logarithmiert, um eine gleichmäßigere Verteilung der Gewichtung auf die verschiedenen Anlagen im Modell zu erhalten (Tabelle 6). Nach dem Logarithmieren wurde eine z-Transformation durchgeführt, so dass jede Variable einen Mittelwert von Null und eine Standardabweichung von 1 aufwies. Da die Gartenfläche Nullwerte enthielt, musste vor der Logarithmierung eine 1 hinzuaddiert werden. In keiner anderen Variablen gab es Nullwerte.

Tabelle 6. Mittelwerte und Standardabweichungen der logarithmierten Messvariablen, die für die z-Transformation verwendet wurden, sowie die Modellkoeffizienten.

Variable	Mittelwert.log	Standardabweichung.log	Modellkoeffizient
Gartenfläche +1	0,59159	1,0849	-0,07
Grünlandfläche	4,19298	0,2904	0,09
Distanz Hof mit Vieh	4,32540	0,7852	-0,96
Distanz Hecke	3,21547	1,2580	-1,56
Distanz Gebäude	3,97284	0,5783	0,51

Um Korrelationen zwischen der Kollisionsrate und Umweltvariablen zu schätzen, musste berücksichtigt werden, dass die tatsächliche Mortalität nicht direkt beobachtet wurde. Dies geschah, indem die Mortalität M_i an der Anlage i als latente (= unbeobachtete) Variable in einem hierarchischen Modell behandelt wurde (Korner-Nievergelt et al. 2013). Die beobachtete Schlagopferzahl c_i wurde über ein spezifisches Beobachtungsmodell mit der latenten Variable verknüpft. Konkret wurde ein Poissonmodell für die Mortalität formuliert.

$M_i \sim \text{Poisson}(\lambda_i)$ Die beobachtete Schlagopferzahl ergab sich aus der Binomialverteilung: Die M_i tatsächlich gestorbenen Tiere wurden mit der Wahrscheinlichkeit p_i gefunden. $c_i \sim \text{Binomial}(p_i, M_i)$ Für die Wahrscheinlichkeit p_i wurden für jede Anlage die geschätzte Entdeckungswahrscheinlichkeit eingesetzt. Um die Unsicherheit in der geschätzten Entdeckungswahrscheinlichkeit zu berücksichtigen, wurde eine beta-Verteilung anstelle von fixen Werten verwendet.

Dabei handelte es sich um jene beta-Verteilung, deren 95% Intervall dem 95% Vertrauensintervall der geschätzten Entdeckungswahrscheinlichkeiten entsprach. $p_i \sim \text{beta}(a_i, b_i)$ Der Erwartungswert der Mortalität pro Anlage λ_i wurde linear abhängig von sechs Umweltparametern modelliert, die wie oben beschrieben, vorgängig logarithmiert und z-transformiert wurden, so dass deren Mittelwert Null und deren Standardabweichung eins betrug. Als Link-Funktion fand der natürliche Logarithmus Verwendung. Der unterschiedlich langen Beprobungsdauer pro Anlage wurde Rechnung getragen, indem die Untersuchungsdauer als sog. Offset im Modell berücksichtigt wurde. Konkret wurde der Logarithmus der Untersuchungsdauer (in Tagen) zum linearen Prädiktor addiert. Dies entsprach einer Multiplikation der täglichen Schlagrate mit der Untersuchungsdauer, um den Erwartungswert der Mortalität zu erhalten.

$$\log(\lambda_i) = \beta_{0,\text{birdprotect}[i]} + \beta_{1\text{pasture } i} + \beta_{2\text{garden } i} + \beta_{3\text{grassland } i} + \beta_{4\text{distfarm } i} + \beta_{5\text{disthedge } i} + \beta_{6\text{distbuild } i} + \log(\text{period}_i)$$

Als A-priori Verteilung für den Exponenten des Achsenabschnittes e^{β_0} wurde eine Uniformverteilung zwischen 0 und 100 verwendet. Dies entsprach einer flachen (annähernd nicht informativen) A-priori Verteilung für den Mittelwert der täglichen Schlagrate. Für die Modellkoeffizienten β_1 bis β_6 wurde jeweils eine Normalverteilung mit Mittelwert Null und Standardabweichung 5 verwendet (Tabelle 6).

Das Modell wurde mittels Markov chain Monte Carlo Simulation an die Daten der sicheren Schlagopferfunde ($n = 8$) angepasst. Dazu fand die Software Jags (mcmc-jags.sourceforge.net) Verwendung, die über das R-Paket R2jags angesteuert wurde (Su & Yajima 2012). Zwei Ketten mit jeweils 500000 Iterationen wurden simuliert, von denen die ersten 20000 als Burn-in entfernt wurden und vom Rest jede 20. Simulation gespeichert wurde. Anschließend wurde die Konvergenz der Ketten grafisch und anhand des Rhat-Wertes überprüft (Brooks & Gelman 1998).

3. Untersuchungsergebnisse

3.1. Häufigkeit und Verhalten von Vögeln an KWEA

3.1.1. Artenspektrum und Individuenzahl

Im Untersuchungszeitraum entstanden 51.790 Einzelbeobachtungen, wobei 26.756 auf die KWEA-Standorte und 25.034 auf die Vergleichsstandorte entfielen. Dabei konnten in allen Untersuchungsgebieten zusammen insgesamt 160 verschiedene Vogelarten mit insgesamt 339.856 Individuen gezählt werden (Tabelle 7).

Tabelle 7: Arten- und Individuenzahlen der beobachteten Vögel von Juli 2015 bis Ende Juli 2017.

Untersuchungsgebiet	Arten			Einzelbeobachtungen			Individuen		
	Gesamt	KWEA	Vergleich	Gesamt	KWEA	Vergleich	Gesamt	KWEA	Vergleich
Alle	160	145	151	51790	26756	25034	339856	152666	187190
01 Meggerdorf	90	78	76	5109	2450	2659	38434	17110	21324
02 Brunsholm	91	70	77	3411	1638	1773	16415	5916	10499
03 Feddersdeich	92	72	82	3929	1985	1944	62784	23456	39328
04 Friedrichsfeld	79	71	62	4250	2675	1575	14123	8257	5866
05 Krempel	76	64	67	3417	1796	1621	19699	7488	12211
06 Satrup	68	54	61	3019	1572	1447	10363	4960	5403
07 Hattstedtermarsch	103	80	92	3196	1660	1536	20374	9605	10769
08 Husum	82	68	69	3590	1901	1689	13223	8024	5199
09 Horstedt	102	84	84	3401	1708	1693	20606	10422	10184
10 Augsburg	95	80	85	3227	1827	1400	14056	8909	5147
11 Arlewatt	112	92	94	3557	2042	1515	34224	14511	19713
12 Drage	87	71	78	5278	2401	2877	33928	14155	19773
13 Mildstedtfeld	88	67	73	2409	1148	1261	15326	9041	6285
14 Buttermilchkrug	84	68	71	2966	1375	1591	23652	9662	13990
15 Friedrichsfeld 2	49	42	36	1031	578	453	2694	1150	1499

Die Anzahl der Arten je Untersuchungsgebiet lag zwischen 76 (Gebiet 5 – Krempel) und 112 (Gebiet 11 – Arlewatt). Die Anzahl der Einzelbeobachtungen reichte von 2.409 (Gebiet 13 – Mildstedtfeld) bis 5.278 (Gebiet 12 – Drage). Die wenigsten Individuen (13.223) wurden im Gebiet 8 – Husum festgestellt, die meisten (62.784) im Gebiet 3 – Feddersdeich (Abbildung 11).

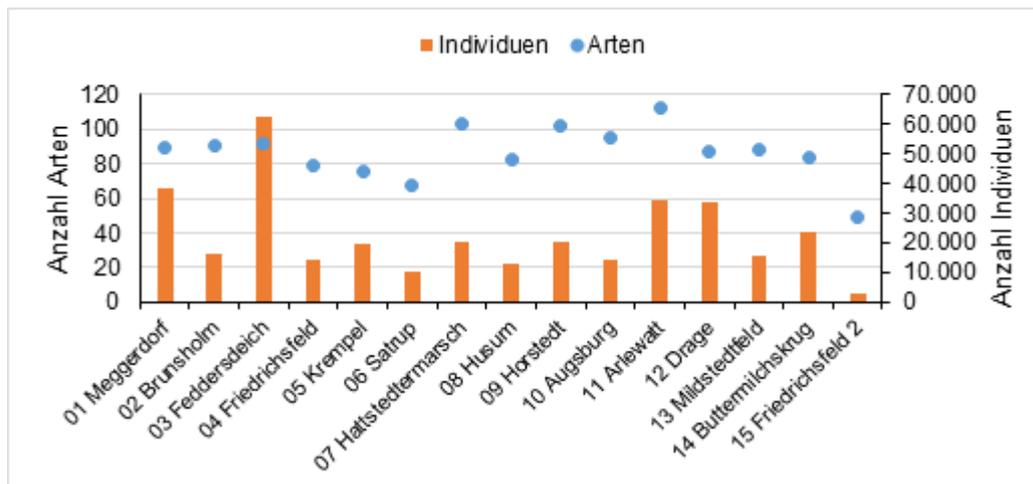


Abbildung 11: Arten- und Individuenzahlen in den 15 Untersuchungsgebieten von Juli 2015 bis Ende Juli 2017 (KWEA Standorte und Vergleichsstandorte).

Die folgende Auswertung der Ergebnisse bezieht sich zunächst auf die reine Individuenzahl ohne Berücksichtigung des Anteiles einzelner Arten sowie deren Gefährdungsstatus. Durchschnittlich wurden auf den Referenzflächen mehr Individuen beobachtet als auf den Flächen mit KWEA. Es zeigte sich, dass die Individuenzahlen aller beobachteten Arten zwischen den einzelnen Untersuchungsgebieten stärker variierten, als zwischen den KWEA-Standorten und den jeweils zugehörigen Referenzstandorten (Abbildung 13), das heißt, die Individuenzahlen hingen eher vom Gebiet und weniger von der Tatsache ab, ob eine KWEA vorhanden war oder nicht. Eine MANOVA zur Erklärung der durchschnittlichen Individuenzahlen pro Durchgang der 14 langfristig untersuchten KWEA- und Referenzgebiete bestätigte dies. Der Faktor „Untersuchungsgebiet“ war hochsignifikant während der Faktor „KWEA-Referenz“ nicht signifikant war. Dies zeigt, dass die Auswahl der Referenzgebiete hinsichtlich der Vogel-Individuenzahlen sinnvoll war.

Hinsichtlich der Artenzahl war die entsprechenden Unterschiede weniger deutlich (Abbildung 12). Eine MANOVA zur Erklärung der durchschnittlichen Artenzahlen pro Durchgang der 14 langfristig untersuchten KWEA- und Referenzgebiete zeigte zwar eine hohe Signifikanz des Faktors „Untersuchungsgebiet“ aber auch eine Signifikanz des Faktors „KWEA-Referenz“.

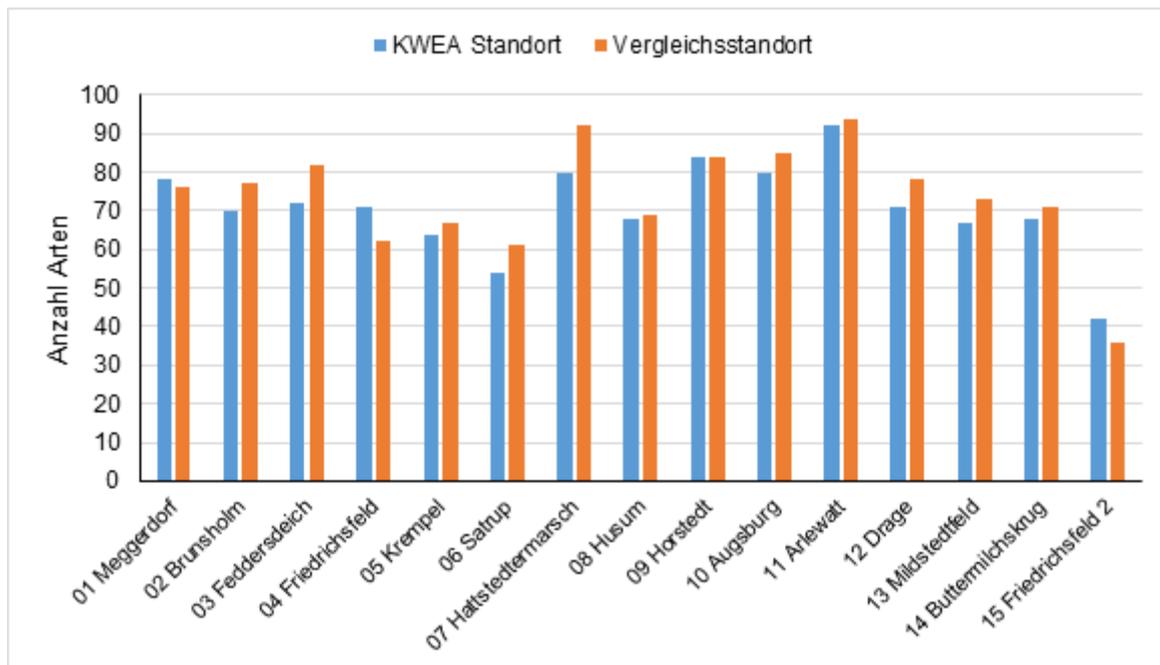


Abbildung 12: Vergleich der Artenzahl zwischen KWEA-Standorten und Referenzstandorten (Vergleichsstandorten) in den 15 Untersuchungsgebieten von Juli 2015 bis Juli 2017.

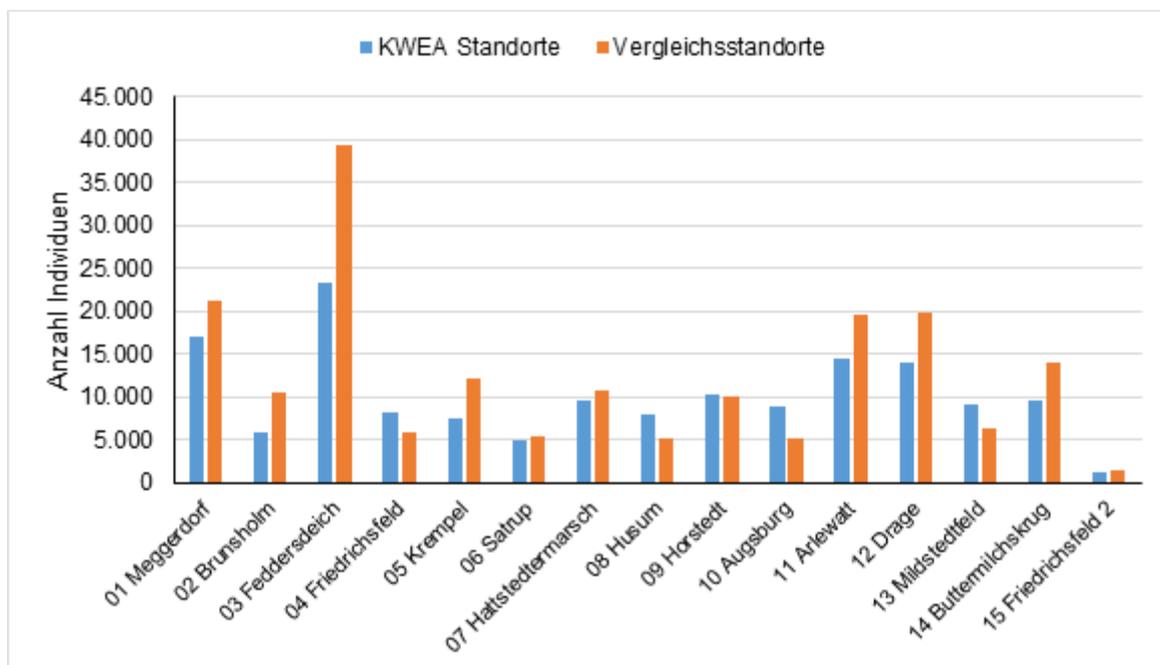


Abbildung 13: Vergleich der Individuenzahl zwischen KWEA-Standorten und Referenzstandorten (Vergleichsstandorten) in den 15 Untersuchungsgebieten von Juli 2015 bis Juli 2017.

Das Artenspektrum setzte sich vor allem aus Arten des Siedlungsbereiches und der umgebenden offenen Kulturlandschaft zusammen. Die sowohl an den KWEA-Standorten als auch an den Vergleichsstandorten am häufigsten beobachteten Arten (größte Individuenzahl) waren Star (*Sturnus vulgaris*), Weißwangengans (*Branta leucopsis*) und Rauchschwalbe (*Hirundo rustica*) (Tabelle 8). Mit mehr als einem Drittel aller Individuen war der Star die bei weitem häufigste Art. Die hohe Zahl an Weißwangengänsen überrascht, stellt jedoch einen Einzelfall dar. Weißwangengänse rasteten in großer Zahl vor allem in der Umgebung des Untersuchungsgebietes 3 – Feddersdeich. Aufgrund von Störungen flogen die oftmals tausende

Individuen umfassenden Schwärme umher und durchquerten dabei auch die Untersuchungsflächen.

Tabelle 8: Anzahl und prozentualer Anteil der zehn häufigsten Vogelarten an KWEA-Standorten und Referenzstandorten während der Untersuchungen zwischen Juli 2015 und Ende Juli 2017.

Art	Gesamt Individuen	%	KWEA Individuen	%	Referenz Individuen	%
Star (Sturnus vulgaris)	117583	34,6	48586	31,8	68997	36,9
Weißwangengans (Branta leucopsis)	49950	14,7	19181	12,6	30769	16,4
Rauchschwalbe (Hirundo rustica)	25557	7,5	13157	8,6	12400	6,6
Ringeltaube (Columba palumbus)	13464	4,0	6269	4,1	7195	3,8
Saatkrähe (Corvus frugilegus)	11476	3,4	4672	3,1	6804	3,6
Dohle (Coloeus monedula)	10235	3,0	4768	3,1	5467	2,9
Wacholderdrossel (Turdus pilaris)	9832	2,9	5368	3,5	4464	2,4
Sturmmöwe (Larus canus)	7156	2,1	3319	2,2	3837	2,0
Rabenkrähe (Corvus corone)	7115	2,1	2816	1,8	4299	2,3
Graugans (Anser anser)	6151	1,8	3629	2,4	2522	1,3
Rest	81337	23,9	40901	26,8	40436	21,6

3.1.2. Verhalten an den KWEA-Standorten und Reaktionen

Das Verhalten der Vögel kann grob in zwei Kategorien eingeteilt werden: „Flugverhalten“ und „Verhalten ohne Flug“. Flugverhalten wurde bei 79,9 % aller beobachteten Individuen festgestellt. Am häufigsten konnten dabei direkte Durchflüge durch das Sichtfeld beobachtet werden (48,5 % aller Flugbewegungen, Tabelle 9).

Tabelle 9: Anteil unterschiedlicher Kategorien von Flugverhalten an den 15 KWEA- und Referenzstandorten.

Code		Gesamt Individuen	%	KWEA Individuen	%	Referenz Individuen	%
1**	Flugbewegungen gesamt	271551		121595		149956	
101	Direkter Durchflug (> 50 m zu KWEA / Vergleichspunkt)	72298	26,62	32747	26,93	39551	26,38
102	direkter Durchflug (< 50 m zu KWEA / Vergleichspunkt)	59579	21,94	28896	23,76	30683	20,46
103	kreisend	3326	1,22	1629	1,34	1697	1,13
104	Flug zur Nahrungssuche	24927	9,18	12559	10,33	12368	8,25
105	abfliegend	26460	9,74	9608	7,90	16852	11,24
106	landend	39787	14,65	15821	13,01	23966	15,98
107	Vertreiben anderer Vögel	567	0,21	301	0,25	266	0,18
108	Überflug in > 40 m Höhe	44142	16,26	19794	16,28	24348	16,24
109	fliegt mit Futter	265	0,10	153	0,13	112	0,07
110	fliegt mit Nistmaterial	84	0,03	51	0,04	33	0,02
111	Singflug	116	0,04	36	0,03	80	0,05

Für jede Flugbewegung wurde jeweils die geringste beobachtete Entfernung des Vogels zur KWEA notiert. Bei fast einem Drittel (28,1 %) aller beobachteten Flugbewegungen wurden Entfernungen von 20 m oder weniger zur Anlage festgestellt. Hierbei ist das teilweise eingeschränkte Sichtfeld zu berücksichtigen, dass dazu führte, dass nur bis zu einer Entfernung von 20 m nahezu alle Vögel registriert werden konnten.

Die geschätzte Flughöhe wurde in 8 Klassen unterteilt. Es zeigt sich, dass 21,9 % aller fliegenden Individuen an den KWEA-Standorten im Höhenbereich des Rotors festgestellt wurden (Tabelle 10).

Das Verhalten fliegender Vögel auf die KWEA stellt einen wichtigen Faktor zur Beurteilung von Einflüssen von KWEA auf Vögel dar. Es wurden 12 verschiedene Verhaltensweisen festgestellt, die eine Reaktion auf die KWEA bzw. eine Interaktion mit der KWEA aufzeigten (Tabelle 11). 94,7 % der beobachteten Individuen zeigten dabei keinerlei (sichtbare) Reaktion auf die Anlagen. Bei 4,3 % der beobachteten Individuen war eine plötzliche Änderung der Flugrichtung und somit eine wahrscheinliche Ausweichbewegung festzustellen. Zusätzlich konnte bei 1 % aller Individuen eine Interaktion mit der KWEA beobachtet werden, indem die Individuen beispielsweise auf der Anlage bzw. den Abspannseilen landeten. Äußerst selten wurden Rotordurchflüge bzw. Störungen durch Rotorturbulenzen festgestellt.

Tabelle 10: Flughöhen an den KWEA-Standorten. Die grau eingefärbte Zeile stellt den Rotorbereich dar.

Höhe [m]	Individuen	%
0 bis 1	4049	3,5
1 bis 2	4633	4,0
3 bis 5	13719	11,9
6 bis 10	19216	16,7
11 bis 15	10580	9,2
16 bis 25	25157	21,9
26 bis 40	19114	16,6
über 40	18534	16,1

Tabelle 11: Verhalten von Vögeln an den KWEA während des Vorbeifluges.

Verhalten	Arten Anzahl	Individuen Anzahl	%	Beobachtungen Anzahl	%
keine Reaktion		144516	94,7	26407	98,70
horizontales Ausweichen	39	2480	1,6	103	0,38
vertikales Ausweichen	20	1013	0,7	29	0,11
Trupp-Auflösung	8	2828	1,9	30	0,11
Abdrehen vor KWEA	17	234	0,2	27	0,10
zwischen Abspannseilen durchfliegend	20	455	0,3	43	0,16
auf Abspannseilen sitzend	19	233	0,2	37	0,14
auf Anlage sitzend	10	785	0,5	47	0,18
zwischen Abspannseilen aufhaltend (z. B. Nahrungssuche)	10	74	0,05	19	0,07
mit Abspannseilen/Turm kollidierend	0	0	0	0	0
mit Rotor kollidierend	0	0	0	0	0
Durchflug durch Rotor (stehend)	4	34	0,02	10	0,04
Durchflug durch Rotor (drehend)	1	1	0,001	1	0,004
Störung durch Rotorturbulenzen	3	13	0,01	3	0,01

Das Verhalten auf die KWEA kann sich von Art zu Art unterscheiden. Es wurde das Verhalten der Vogelarten auf die KWEA genauer analysiert, die in einer Entfernung bis zu 10 m und einer Flughöhe von unter 30 m an der Anlage vorbeiflogen. Die häufigsten Arten in diesem Bereich und ihr Verhalten sind der Tabelle 12 zu entnehmen.

Tabelle 12: Verhalten von den 11 Vogelarten, die am häufigsten in einer Entfernung bis zu 10 m und einer Flughöhe von unter 30 m an den KWEA vorbeiflogen.

	Sturmmöwe <i>Larus canus</i>	Ringeltaube <i>Columba palumbus</i>	Rauchschwalbe <i>Hirundo rustica</i>	Mehlschwalbe <i>Delichon urbicum</i>	Wacholderdrossel <i>Turdus pilaris</i>	Amsel <i>Turdus merula</i>	Dohle <i>Coloeus mnedula</i>	Rabenkrähe <i>Corvus corone</i>	Star <i>Sturnus vulgaris</i>	Hausperling <i>Passer domesticus</i>	Feldsperling <i>Passer montanus</i>
Individuen ges.	583	319	1,561	124	1,037	114	623	205	6,543	208	418
Fälle ges.	25	89	387	49	11	84	128	88	336	80	86
keine Reaktion [%]	98.6	84.6	95.2	97.6	19.4	77.2	46.5	64.4	49.6	87.5	38.5
horizontales Ausweichen [%]	1.4	12.2	0.6	0.0	78.7	0.9	15.1	21.5	6.3	9.6	2.6
vertikales Ausweichen [%]	0.0	0.3	0.1	1.6	1.9	0.0	0.0	2.0	13.7	0.0	0.0
Trupp Auflösung [%]	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	0.0	26.3	0.0	0.0
Abdrehen vor KWEA [%]	0.0	0.3	0.4	0.8	0.0	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	0.0
zwischen Abspannseilen durchfliegend [%]	0.0	0.6	3.4	0.0	0.0	11.4	0.5	1.0	1.0	1.0	57.7
auf Abspannseilen startend/landend [%]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.2	0.0	0.3	1.0	1.0
auf Anlage startend/landend [%]	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.9	25.7	6.3	2.1	0.0	0.0
zwischen Abspannseilen startend/landend [%]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.3	0.0	0.0	1.0	0.2
Durchflug durch stehenden Rotor [%]	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.4	0.0	0.0
Störung durch Rotorturbulenzen [%]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0

Es fallen artspezifische Unterschiede hinsichtlich der Reaktion auf die Anlagen auf. Während die Sturmmöwe und die beiden Schwalbenarten kaum auf die Anlagen reagierten, konnten bei Star und Dohle häufige Reaktionen beobachtet werden. Stare zeigten vorwiegend Ausweichverhalten. Dohlen wichen einerseits der Anlage aus, andererseits landeten sie sogar auf der Anlage. Insgesamt 34 Individuen von vier Arten (Star, Dohle, Rauchschwalbe und Mäusebusard) flogen durch den stehenden Rotor, eine Silbermöwe durch den sich drehenden Rotor.

Die Arten zeigten auch hinsichtlich der Abspannseile eine unterschiedliche Reaktion. Während Rauchschwalben nur ausnahmsweise zwischen den Abspannseilen hindurchflogen, zeigten sich Amseln weniger scheu und Feldsperlinge flogen sogar sehr häufig zwischen den Abspannseilen hindurch.

Vögel hielten sich auch in der Anlagenumgebung z. B. zur Nahrungssuche oder ruhend auf (stationäres Verhalten). Dabei konnten auch Interaktionen mit der Anlage festgestellt werden, das heißt die Vogelarten nutzten die Anlagen bzw. Abspannseile als Sitzwarte oder hielten sich während der Nahrungssuche zwischen den Abspannseilen auf.

Tabelle 13 zeigt Ergebnisse für acht Vogelarten, die sich besonders häufig im Bereich der KWEA aufhielten.

Tabelle 13: Interaktionen von 8 Vogelarten mit stationärem Verhalten an den KWEA.

Interaktion	Amsel	Star	Feldsperling	Hausperling	Rauchschwalbe	Dohle	Bachstelze	Ringeltaube
Individuen ges.	125	418	117	119	45	102	27	75
Fälle ges.	56	54	34	33	7	28	16	5
keine stationäre Reaktion [%]	80,8	44,3	81,2	72,3	33,3	18,6	92,6	100,0
auf Abspannseilen sitzend [%]	2,4	17,9	12,0	26,1	66,7	0,0	0,0	0,0
auf Anlage sitzend [%]	0,0	34,9	0,0	0,0	0,0	78,4	0,0	0,0
zwischen Abspannseilen aufhaltend [%]	16,8	2,9	6,8	1,7	0,0	2,9	7,4	0,0

Auch hier variierten die Reaktionen von Art zu Art sehr stark. Ringeltauben zeigten keinerlei Reaktion auf die Anlagen. Die Abspannseile wurden vor allem von Rauchschwalben, Haus- und Feldsperlingen, Staren und Amseln als Sitzwarte genutzt. Amseln, Bachstelzen (*Motacilla alba*) und Feldsperlinge hielten sich häufiger zwischen den Abspannseilen auf, um beispielsweise in unmittelbarer Nähe des Mastfußes nach Nahrung zu suchen.

Stare und vor allem Dohlen nutzen die Anlage (Gondel und Windfahne) als Sitzwarte und begaben sich damit häufig in Gefahrensituationen. Vor allem Dohlen zeigten keinerlei Scheu vor den KWEA. Sie konnten an den Standorten, an denen sie häufig vorkamen, immer wieder dabei beobachtet werden, wie sie die Anlage anflogen und vor allem auf der Windfahne landeten, egal ob die Anlage lief oder stillstand. An den Standorten Arlewatt und Horstedt versuchten Dohlen sogar in der Gondel ein Nest zu bauen (Abbildung 14). Am hinteren Ende der Gondel (Anlagentyp Easy Wind 6.0) befand sich baubedingt ein Hohlraum, an den sich die Windfahne anschloss.



Abbildung 14: Dohlen beim Nestbau in der Gondel einer KWEA vom Typ EasyWind 6.0 (Standort Arle-watt). Foto: J. Sohler

3.1.3. Gefährliche Flugbewegungen

Führen Flugbewegungen Vögel in die unmittelbare Umgebung des Rotors, dürfte sich das Kollisionsrisiko erhöhen. Um solche, potenziell gefährliche, Flugbewegungen quantifizieren zu können, wurde eine Gefahrensituation definiert. Als Gefahrensituation wurde angesehen, wenn ein Vogel in einen Gefahrenbereich hineinflog, der einen seitlichen Abstand von 10 m und einen horizontalen Abstand von 5 m zur Nabe besaß.

Während der gesamten Beobachtungszeit an den KWEA wurden insgesamt 512 Fälle mit Gefahrensituationen beobachtet. Dabei handelte es sich um 5.202 Individuen aus 38 Arten. Durchschnittlich waren es 10,2 Individuen pro Beobachtungsfall. Bezogen auf alle Beobachtungsdurchgänge kam es durchschnittlich zu 3,5 gefährlichen Flugbewegungen von Individuen pro Begehung (45 Min.) bzw. 4,7 Individuen pro Stunde.

Die Arten, die am häufigsten im Gefahrenbereich beobachtet wurden, waren Stare, Wacholderdrosseln, Sturmmöwen, Rauchschwalben und Dohlen (Tabelle 14). Bezüglich der Wacholderdrosseln und auch der Kiebitze (*Vanellus vanellus*) ist allerdings zu berücksichtigen, dass es sich nur um wenige beobachtete Vorfälle mit einer jeweils großen Individuenzahl handelte.

Tabelle 14: Vogelarten, die am häufigsten im Gefahrenbereich von KWEA beobachtet wurden.

Art	Individuen	beobachtete Fälle	Individuen/Fall	Individuen/Std.
Star	2317	137	16,9	2,1
Wacholderdrossel	910	2	455,0	0,8
Sturmmöwe	390	8	48,8	0,4
Rauchschwalbe	339	85	4,0	0,3
Dohle	336	84	4,0	0,3
Saatkrähe	184	7	26,3	0,2
Ringeltaube	176	19	9,3	0,2
Rabenkrähe	84	29	2,9	0,1
Kiebitz	64	1	64,0	0,1
Mehlschwalbe	61	23	2,7	0,1

Die Anzahl der Flugbewegungen im Gefahrenbereich pro Begehung schwankte zwischen den Anlagenstandorten beträchtlich von 0,17 Individuen/Std. (2- Brunsholm) bis 12,61 Individuen/Std. (12 – Drage – Dorf) (Abbildung 15).

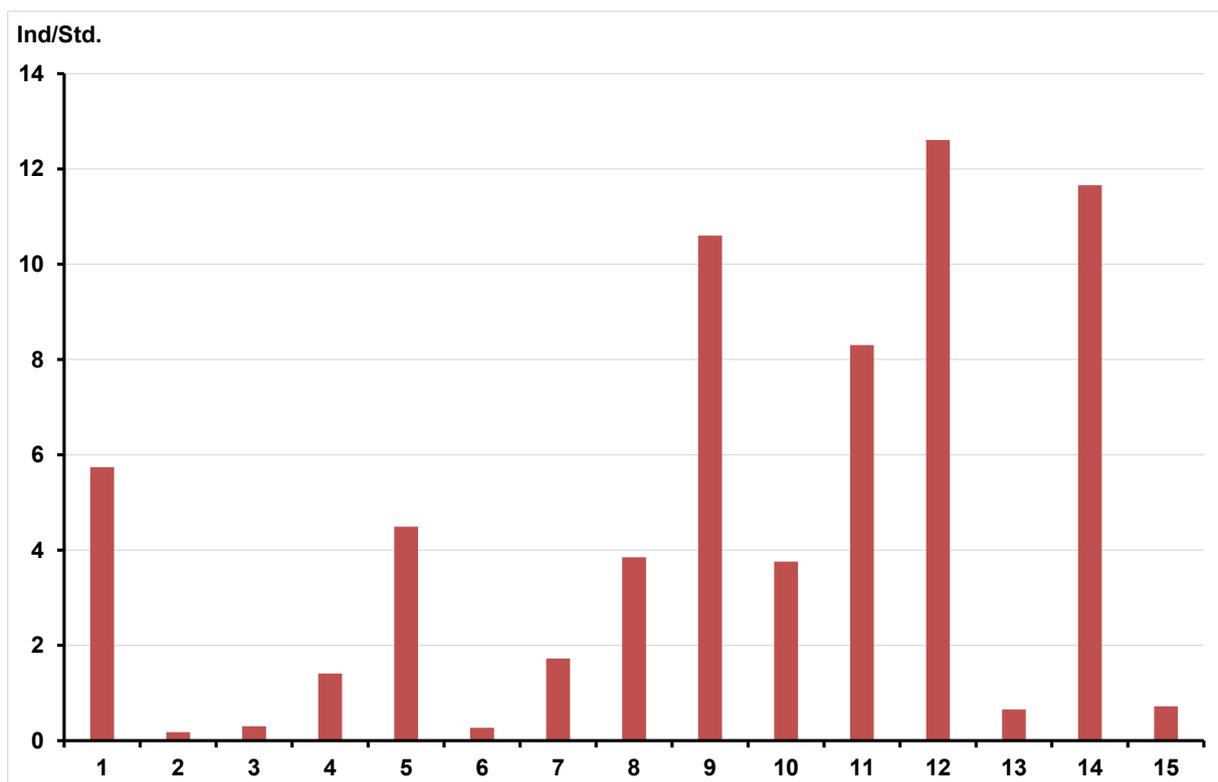


Abbildung 15: Durchschnittliche Anzahl der beobachteten Flugbewegungen (pro Std.) im Gefahrenbereich an den 15 untersuchten KWEA-Standorten.

Abbildung 16 zeigt den Zusammenhang zwischen der Gesamtzahl der Flugbewegungen und der Zahl der gefährlichen Flugbewegungen. Auffällig ist ein Ausreißerwert (KWEA 8 - Husum). Deshalb wurde eine Spearman Rangkorrelation angewendet. Der Spearman Rangkoeffizient beträgt $r_s = 0,482$ ($p=0,071$). Damit ist der Zusammenhang statistisch nicht signifikant.

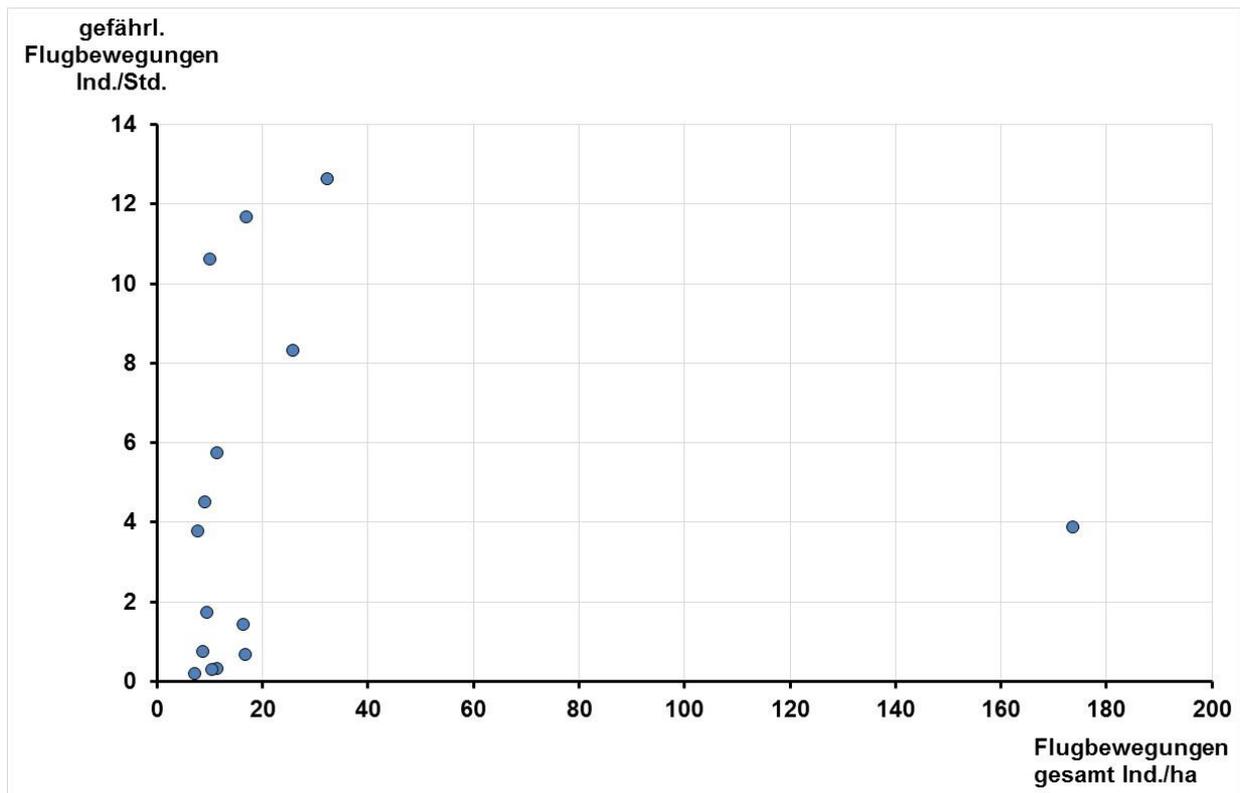


Abbildung 16: Zusammenhang zwischen der Gesamtflugaktivität und den gefährlichen Flugbewegungen an den untersuchten KWEA.

Die linearen Modelle, die die Anzahl von Flugbewegungen im Gefahrenbereich von KWEA durch Habitat- bzw. Standortfaktoren zu erklären versuchen, sind Tabelle 15 zu entnehmen. Die statistischen Modelle wurden mit folgenden Variablen konstruiert: %-Anteil Gartenfläche, %-Anteil Grünlandfläche, Distanz [m] der KWEA zum nächsten Hof mit Vieh, Distanz [m] der KWEA zum nächsten Knick, Distanz [m] der KWEA zum nächsten Gebäude, %-Anteil Hofffläche, Vorhandensein von Weiden [ja/nein], Vogelschutzmaßnahmen (Nistkästen, Futterstellen) [ja/nein]. Als abhängige Variable wurde der Logarithmus der mittleren Individuenzahl pro Beobachtungstag von an den Anlagen im Abstand von weniger als 50 m vorbeifliegenden Vögeln ausgewählt. Die Modelle für alle Vogelarten zusammengefasst und die Gruppe der Finken ergaben keine signifikanten Erklärungsfaktoren. Bei Sperlingen konnte ein signifikant positiver Zusammenhang der Flugaktivität im Gefahrenbereich mit dem Vorhandensein von Weiden und Vogelschutzmaßnahmen festgestellt werden. Allerdings war das Gesamtmodell nicht signifikant. Die Entfernung der KWEA zum nächsten Gebäude war für die Flugbewegungen von Staren ein signifikanter Einflussfaktor. Für Rauchschwalben waren es die Entfernung der KWEA zum nächsten Knick und der Anteil der Gartenflächen.

Tabelle 15: Koeffizienten von linearen Modellen für den Einfluss unterschiedlicher Habitatparameter auf die Häufigkeit von gefährlichen Flugbewegungen verschiedener Vogelarten an KWEA. Die Signifikanzniveaus sind farbig dargestellt: weiß: nicht signifikant, gelb: <0,05, orange: p<0,01, rot: p<0,001.

	Achsenabschnitt	Garten	Grünland	Distanz-Hof mit Vieh	Hoffläche ohne Vieh	Weide (Nein)	Vogelschutz (Nein)	Distanz Knick	Distanz Gebäude	Signifikanz Gesamtmod.	Korrigiertes R ²
alle Vögel	2,733	-0,0621			0,231			-0,007	-0,0145	0,102	0,311
Rauchschwalbe	-0,170	0,0532		0,00308			0,416	-0,0034	0,0051	0,0334	0,521
Sperlinge	0,975		-0,0186	0,00334		-1,220	-1,059		-0,0073	0,0572	0,451
Star	0,653								-0,0193	0,0093	0,372
Finken	-1,701							-0,0036		0,171	0,073

3.1.4. Meideverhalten von Vögeln gegenüber KWEA

Das Meideverhalten von Vögeln gegenüber KWEA wurde für einzelne Arten getrennt untersucht, um das artspezifische Verhalten berücksichtigen zu können. Es wurden für insgesamt 11 Vogelarten (siehe unten) jeweils für Sommer und Winter, sowie jeweils für das Flugverhalten bzw. für das stationäre Verhalten Modell entwickelt. Dies ergab bis zu vier Modelle pro Art. Graugans und Weißwangengans wurden nicht berücksichtigt, da sie jeweils nur an einem KWEA-Standort häufig vorkamen.

Die Vogelarten:

- Sturmmöwe
- Ringeltaube
- Dohle
- Rabenkrähe
- Rauchschwalbe
- Star
- Amsel
- Wacholderdrossel
- Haussperling
- Feldsperling
- Buchfink

In Tabelle 16 sind für diese Arten die Habitatparameter genannt, die einen signifikanten Einfluss auf ihr Vorkommen hatten. In keinem Modell tauchte der Faktor „KWEA“ als signifikant negative Einflussgröße für die Vogeldichte auf. Bei einigen Arten, wie beim Haussperling und Feldsperling sowie bei der Amsel im Sommer, war der Faktor „KWEA“ sogar eine statistisch signifikant positive Einflussgröße. Dieses wird wahrscheinlich nicht mit den KWEA an sich in Verbindung zu bringen sein, sondern mit weiteren Habitatparametern, die in Verbindung mit der KWEA auftreten, oder sogar durch ihren Standort verursacht werden, aber in den Untersuchungen nicht erfasst werden konnten. So fiel beispielsweise bei den Beobachtungen auf, dass zwischen den Abspannseilen von KWEA nicht gemäht werden konnte und Gräser und Kräuter Samen bildeten. Die Samen könnten Sperlinge angelockt haben.

Tabelle 16: Einfluss verschiedener signifikanter Habitatparameter (Vogelschutz=Nistkästen und Fütterung) auf das Vorkommen von Vogelarten auf den Probeflächen aufgrund der Ergebnisse in den statistischen Modellen (+ positiver Einfluss, - negativer Einfluss).

Art	KWEA	Garten	Gebäude	Gehölz	Grünland	Distanz-Hof mit Vieh	Hoffläche ohne Vieh	ungenutzt	Weide	Vogelschutz	Knicklänge	Grabenlänge
Star stationär Winter									+			
Star fliegend Winter									+			
Star stationär Sommer				-					+		+	
Star fliegend Sommer				-					+		+	
Haussperling stationär Winter	+		+				-		+			
Haussperling fliegend Winter												
Haussperling stationär Sommer	+				+							-
Haussperling fliegend Sommer	+				+						+	
Amsel stationär Winter		+										-
Amsel fliegend Winter		+						+		+		
Amsel stationär Sommer	+	+							+			-
Amsel fliegend Sommer	+	+			+				+		+	-
Feldsperling stationär Winter	+							+				
Feldsperling fliegend Winter						-	+		+		+	
Feldsperling stationär Sommer							+			+	+	
Feldsperling fliegend Sommer	+	+						+			+	
Ringeltaube stationär Winter												+
Ringeltaube fliegend Winter												-
Ringeltaube stationär Sommer							+					-
Ringeltaube fliegend Sommer											+	
Dohle stationär Winter									+			
Dohle stationär Sommer												
Dohle fliegend Sommer												
Rabenkrähe stationär Winter				-				+			+	
Rabenkrähe fliegend Winter		+					+				+	
Rabenkrähe stationär Sommer												
Rabenkrähe fliegend Sommer		+					+					
Buchfink stationär Winter			+						-	+		-
Buchfink fliegend Winter									+		+	
Buchfink stationär Sommer			+						+	+		-

Art	KWEA	Garten	Gebäude	Gehölz	Grünland	Distanz-Hof mit Vieh	Hoffläche ohne Vieh	ungenutzt	Weide	Vogelschutz	Knicklänge	Grabenlänge
Buchfink fliegend Sommer							-			+		-
Wacholderdrossel stationär Winter							-					
Wacholderdrossel fliegend Winter								-				
Rauchschwalbe fliegend Sommer				+							+	
Sturmmöwe fliegend Winter						+	-	+	+			
Sturmmöwe fliegend Sommer	-		+	-						+		-

Dagegen beeinflussten andere Habitatparameter das Vorkommen von Vögeln in den Untersuchungsgebieten weitaus stärker. In jeweils 12 von 38 Fällen hatte das Vorhandensein von Viehweiden bzw. Knicks eine signifikant positive Auswirkung auf das Vorkommen einzelner Vogelarten, wie z. B. beim Star. Dabei wurden auch artspezifische Unterschiede deutlich. So reagierte beispielsweise die Amsel positiv auf die Größe der Gartenfläche, während Stare keine Reaktion auf Gärten zeigten, sie reagierten dagegen positiv auf das Vorhandensein von Viehweiden.

3.1.5. Brutvögel

Insgesamt konnten in beiden Untersuchungsjahren 74 Vogelarten auf den Referenzflächen nachgewiesen werden. Ihre Zahl schwankte zwischen 26 Arten (Standort 15 Friedrichsfeld II) und 49 Arten (Standort 11 – Arlewatt) (Abbildung 17). Das Artenspektrum umfasst vor allem Vögel der Siedlungsräume und Gärten. Offenlandarten, wie zum Beispiel die Feldlerche, wurden dagegen seltener festgestellt.

Zur Beantwortung der Frage, ob das Vorhandensein einer KWEA einen negativen Einfluss auf das Vorkommen von Brutvogelarten hat, wurden statistische Modelle mit acht landschaftsbestimmenden Variablen und dem Faktor KWEA erstellt. Dabei wurde die Habitatausstattung für die gesamte Untersuchungsfläche und nicht nur für den sichtbaren Bereich zugrunde gelegt. Wenn KWEA einen Einfluss hätten, wären (signifikante) negative Koeffizienten zu erwarten. Für die statistischen Modelle wurden die folgenden häufigen Brutvogelarten berücksichtigt:

- Ringeltaube
- Blaumeise
- Kohlmeise
- Rauchschwalbe
- Fitis
- Zilpzalp
- Gelbspötter
- Mönchsgrasmücke
- Klappergrasmücke
- Dorngrasmücke
- Zaunkönig
- Star
- Amsel
- Singdrossel
- Rotkehlchen
- Heckenbraunelle
- Haussperling
- Feldsperling
- Bachstelze
- Buchfink
- Grünfink
- Bluthänfling

Es wurden folgende Variablen ausgewählt:

- KWEA-Standort (Faktor ja/nein)
- Gartenfläche (Anteil % an der Gesamtfläche)
- Gebäudefläche (Anteil % an der Gesamtfläche)
- Gehölzfläche (Anteil % an der Gesamtfläche)
- Grünlandfläche (Anteil % an der Gesamtfläche)
- Ungenutzte Fläche (Anteil % an der Gesamtfläche)
- Weide vorhanden (Faktor ja/nein)
- Vogelschutzmaßnahmen (Faktor ja/nein)
- Knicklänge (Absoluter Wert in m)

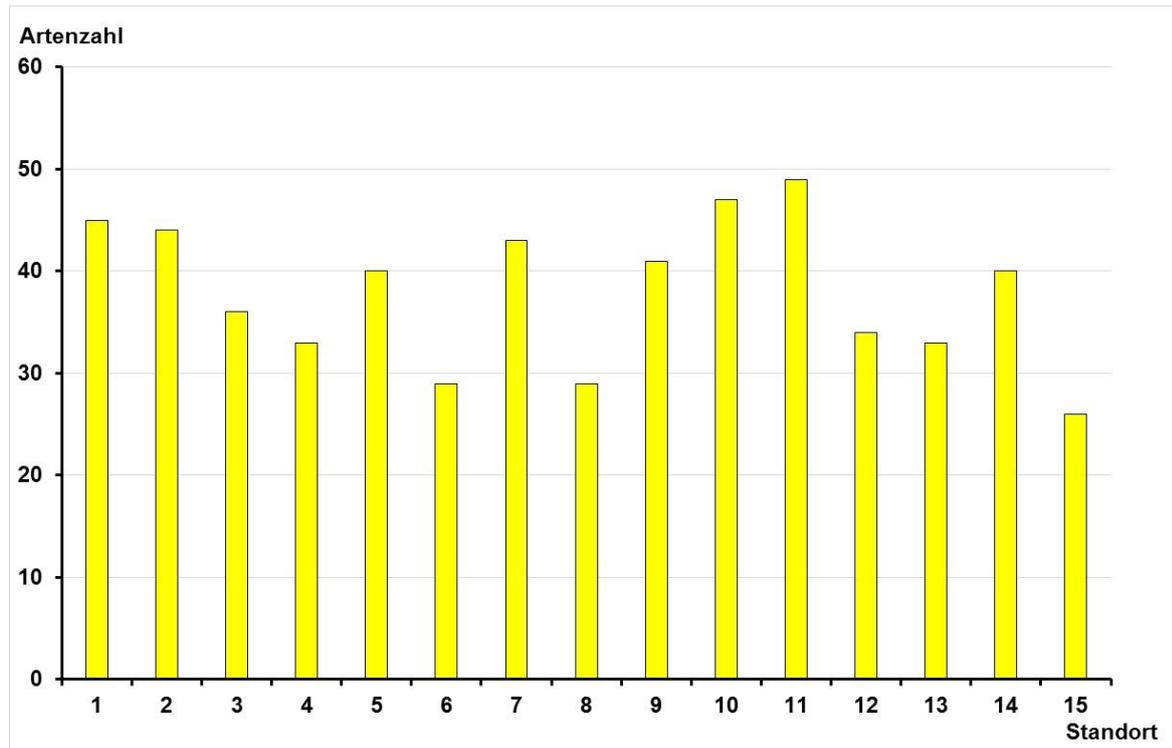


Abbildung 17: Anzahl der Brutvogelarten die in den einzelnen Untersuchungsgebieten festgestellt werden konnten.

Mit Hilfe der linearen Modelle konnte in keinem Fall nachgewiesen werden, dass durch das Vorhandensein von KWEA das Vorkommen von Brutvogelarten signifikant negativ beeinflusst wurde (Tabelle 17). Bei Rauchschwalbe und Feldsperling konnte hingegen ein signifikant positiver Einfluss der KWEA in den Modellen festgestellt werden. Auf den Probeflächen mit KWEA konnten mehr Rauchschwalben und Feldsperlinge kartiert werden.

Wie zu erwarten war, hatte die Knicklänge und die Gebüschfläche einen positiven Effekt auf die Anzahl typischer Gebüschbrüter. Die Bachstelze dagegen reagierte signifikant negativ auf die Knicklänge. Darüber hinaus waren Viehweiden für verschiedene Arten, wie Rauchschwalbe, Heckenbraunelle, Fitis und Dorngrasmücke positiv. Weiden sind für diese Arten offenbar bevorzugte Nahrungshabitate.

Tabelle 17: Koeffizienten von Linearen Modellen für den Einfluss unterschiedlicher Habitatparameter auf die Häufigkeit von Brutzeitbeobachtungen verschiedener Vogelarten an Flächen mit KWEA und Vergleichsflächen. Die Signifikanzniveaus sind farbig dargestellt: weiß: nicht signifikant, gelb: $p < 0,05$, orange: $p < 0,01$, rot: $p < 0,001$.

	Achsenabschnitt	KWEA		Gebäude	Gehölz	Grünland	unge- nutzt	Weide N	Vogel- schutz N	Knick- länge	Signifikanz Gesamtm.	Korr. R ²	erklärte Devianz
Rauchschwalbe	-0,10856	1,04345	-0,06320					-1,09494			0,004595	0,318	
Rotkehlchen	-0,89781				0,07242						0,03596	0,117	
Klappergrasmücke	-1,36369	0,40294						-0,88597		0,00400	0,09196	0,126	
Heckenbraunelle	-4,32647	0,57661		-0,16570	0,08925	0,04025		-1,18082		0,00834	0,00705	0,382	
Star	-0,38546			0,19324							0,0256	0,136	
Mönchsgrasmücke	-1,56380			0,16507	0,71057					0,00445	0,000462	0,433	
Singdrossel	-1,37472		0,03989		0,07852					0,00438	0,009124	0,279	
Fitis	-2,57804	0,40802	-0,05472			0,02307	0,25293	-0,85290	0,37353	0,00500	0,03608	0,289	
Dorngrasmücke	0,30552		0,03958	-0,16074			-0,21722	-0,69830		0,00298	0,01645	0,300	
Zaunkönig	-0,49316			0,12604	0,07191						0,03087	0,170	
Ringeltaube	-0,06784			0,12959			-0,07509				0,0001845	0,444	
Zilpzalp	0,10420								0,28170		0,1509	0,039	
Kohlmeise	-1,06347			0,10076	0,06527	0,01049				0,00209	0,09132	0,148	
Grünfink	-0,31704	-0,23776		0,14128	0,06236						0,01514	0,248	
Hausperling	0,29197			0,24521	0,03820		-0,27150				0,0004256	0,437	
Blaumeise	-0,10230								0,23270		0,2431	0,014	
Bachstelze	-0,02649	0,24584	-0,02949	0,11031						-0,00181	0,04971	0,196	
Amsel	-0,08238			0,14672	0,03964					0,00202	7,473E-07	0,658	
Buchfink	0,08625		-0,02428	0,09743	0,02174					0,00163	0,00269	0,380	
Feldsperling	0,65920	0,77580											0,265

	Achsen- abschnitt	KWEA		Gebäude	Gehölz	Grünland	unge- nutzt	Weide N	Vogel- schutz N	Knick- länge	Signifikanz Gesamtm.	Korr. R ²	erklärte Devianz
Bluthänfling	1,15270							-1,55810					0,065
Gelbspötter	-4,86970					0,87420							0,156

3.2. Häufigkeit und Verhalten von Fledermäusen an KWEA

3.2.1. Fledermausartenspektrum

Zur Beantwortung der Forschungsfragen ist es nötig, grundlegende Daten, wie das vorkommende und gegebenenfalls betroffene Artenspektrum, zu kennen. Das lokale Fledermausartenspektrum an den KWEA-Standorten konnte anhand der automatischen akustischen Dauererfassungen für die Erfassungszeiträume in den Jahren 2015 und 2016 bestimmt werden. Zu den akustisch sicher identifizierten Fledermausarten im Untersuchungsgebiet zählen der Abendsegler, die Rohhaut-, Zwerg- und Mückenfledermaus sowie das Braune Langohr. Andere Arten, die durch ihre ähnlichen Rufmuster nicht auf Artebene bestimmt werden konnten, werden in die Artengruppen „Nyctaloide“ und „Pipistrelloid“ sowie in die Gattung *Myotis* eingeteilt. Aufgrund der Fledermausfauna Schleswig-Holsteins in der atlantischen biogeografischen Region können sich in der Artengruppe „Nyctaloide“ die Arten Breitflügelfledermaus (*Eptesicus serotinus*), Abendsegler (*Nyctalus noctula*), Kleinabendsegler (*Nyctalus leisleri*) und Zweifarbfledermaus (*Vespertilio murinus*) verbergen, wobei die beiden letztgenannten Arten im Untersuchungsgebiet aufgrund ihrer Verbreitung eher selten anzutreffen sind (Borkenhagen 2011). Innerhalb der Gattung *Myotis* sind Fledermausarten wie die Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*) und Fransenfledermaus (*Myotis nattereri*) zu finden. Auch Rufe der Arten Brandtfledermaus (*Myotis brandtii*) sowie Teichfledermaus (*Myotis dasycneme*) können in dieser Artengruppe enthalten sein, allerdings sind diese Arten im Untersuchungsgebiet wenig verbreitet. Die Artengruppe „Pipistrelloid“ berücksichtigt jeweils den akustischen Überschneidungsbereich zwischen Zwergfledermaus und Mückenfledermaus bzw. zwischen Zwergfledermaus und Rohhautfledermaus.

Im direkten Vergleich der KWEA-Standorte zeigten sich in beiden Erfassungsjahren erhebliche Unterschiede in der lokalen Fledermausaktivität sowie im registrierten Artenspektrum (Tabelle 17, Tabelle 18 und Abbildung 18). Im Jahr 2015 variierte die Aktivität zwischen 5.432 Rufsequenzen an KWEA 1 und 997 Rufsequenzen an KWEA 6. Im Jahr 2016 wurde die höchste Aktivität an KWEA 2 mit 5.515 Rufsequenzen und die niedrigste an KWEA 8 mit 737 Rufsequenzen registriert. Die Gesamtanzahl an Aufnahmen pro KWEA ist bei den meisten KWEA zwischen beiden Erfassungsjahren in der gleichen Größenordnung geblieben, wobei sich einzelne KWEA, z. B. KWEA 1 und 2, deutlicher zwischen den Erfassungsjahren unterschieden (Abbildung 18). Die Aktivitätslevels an den KWEA zwischen den Jahren scheinen daher vergleichsweise stabil zu sein. Da es zu einigen Ausfällen an verschiedenen KWEA kam und sich der Erfassungszeitraum zwischen den Jahren unterschied, sollten für Vergleiche zwischen den Anlagen und Jahren nur die relativen Werte (Zahl Rufsequenzen pro Aufnahmenacht, Tabelle 18 und Tabelle 19) herangezogen werden.

Die Artengruppe der „Nyctaloide“ wurde an den meisten KWEA-Standorten am häufigsten aufgezeichnet, gefolgt von Zwergfledermaus und Rohhautfledermaus (Abbildung 18). An einigen KWEA dominierte jedoch in einem oder beiden Erfassungsjahren die Zwergfledermaus (Abbildung 18). Ein Großteil der detektierten Tiere innerhalb der Artengruppe „Nyctaloide“ dürfte auf die Breitflügelfledermaus zurückgehen, die in dem untersuchten Landschaftsraum die häufigste der in Frage kommenden Arten ist (Borkenhagen 2011). Arten der Gattung *Myotis* und das Braune Langohr, die besonders in Wäldern oder über Gewässern ihre Nahrungshabitate finden, wurden an den KWEA im strukturreichen Offenland nur vereinzelt aufgezeichnet. Nur an einzelnen KWEA-Standorten, wie KWEA 1 und 4, wurden in einzelnen Jahren höhere Anteile an Aufnahmen der Gruppe *Myotis* zugeordnet.

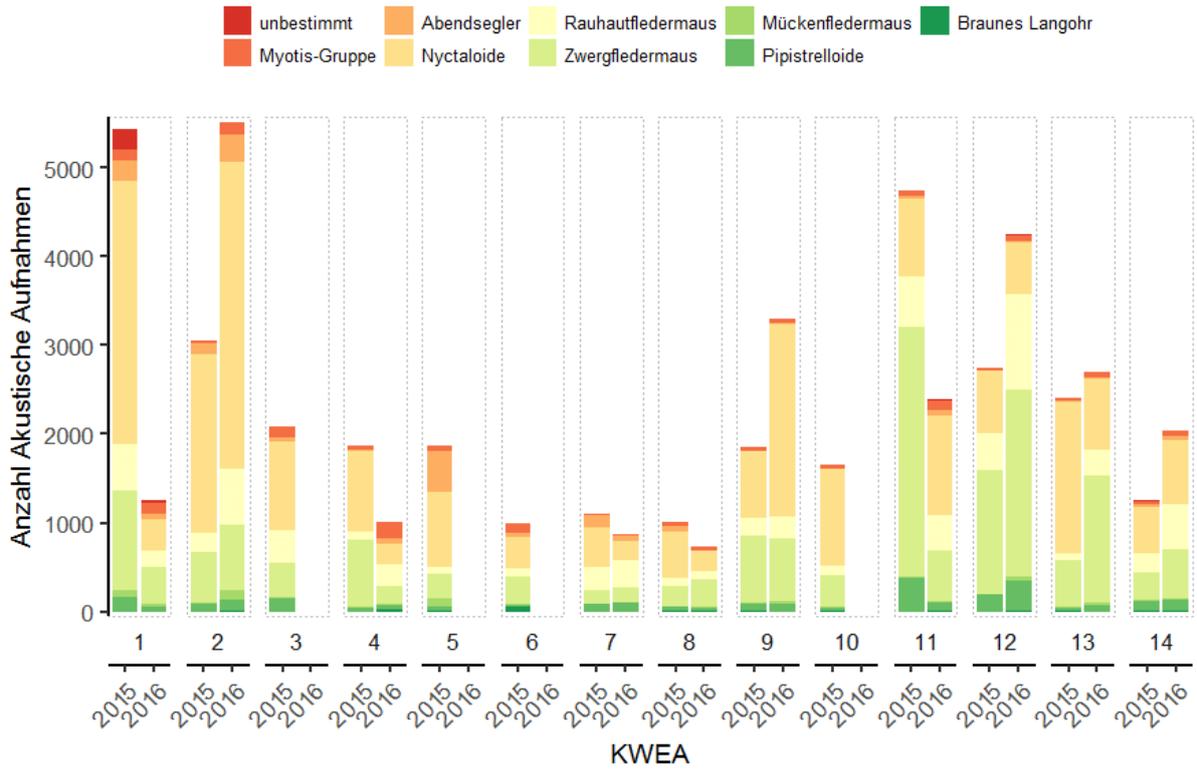


Abbildung 18: Anzahl akustische Aufnahmen pro KWEA und Jahr mit Unterscheidung der verschiedenen Arten und Artgruppen.

Tabelle 18: Anzahl der detektierten Rufsequenzen pro Art bzw. Artengruppe an den unterschiedlichen KWEA im Jahr 2015.

KWEA	Fledermaus, unbestimmt	Artengruppe „Nyctaloide	Myotis	Artengruppe „Pipistrelloid“	Abendsegler	Zwergfledermaus	Rauhautfledermaus	Mückenfledermaus	Braunes Langohr	Gesamt	Zahl Rufsequenzen/Nacht
1	236	2.961	122	159	224	1.130	520	78	2	5.432	32
2	4	2.012	25	86	125	562	222	8	2	3.046	17
3	0	1.004	130	147	34	383	371	13	2	2.084	12
4	0	918	38	39	12	758	85	14	1	1.865	11
5	0	838	59	52	458	278	82	86	9	1.862	12
6	1	341	115	22	48	306	103	9	52	997	6
7	1	459	21	88	130	143	262	0	2	1.106	8
8	1	515	43	45	69	235	92	4	5	1.009	7
9	1	754	42	75	5	759	196	14	7	1.853	15
10	0	1.093	43	38	1	345	105	10	7	1.642	11
11	0	875	68	378	30	2.810	562	14	1	4.738	35
12	0	702	27	195	7	1.388	425	5	0	2.749	23
13	0	1.701	30	40	8	521	87	8	3	2.398	19
14	1	521	32	115	33	314	219	4	8	1.247	10
Gesamt	245	14.694	795	1.479	1.184	9.932	3.331	267	101	32.028	-
Prozent	0,8	45,9	2,5	4,6	3,7	31	10,4	0,8	0,3	-	-

Tabelle 19: Anzahl der detektierten Rufsequenzen pro Art bzw. Artengruppe an den unterschiedlichen KWEA im Jahr 2016.

KWEA	Fledermaus unbestimmt	Artengruppe „Nyctaloide“	Myotis	Artengruppe „Pipistrel- foid“	Abendsegler	Zwergfleder- maus	Rauhautfle- dermaus	Mückenfle- dermaus	Braunes Langohr	Gesamt	Zahl Rufse- quen- zen/Nacht
1	29	355	123	52	58	399	193	39	0	1.248	16
2	2	3.456	138	118	316	736	617	111	17	5.511	53
4	6	230	171	40	65	200	235	20	29	996	9
7	0	210	24	95	58	170	311	7	0	875	10
8	0	232	53	27	0	320	81	14	10	737	15
9	1	2.155	48	88	17	702	249	26	2	3.288	32
11	3	1.124	120	97	52	570	396	19	4	2.385	36
12	5	587	71	349	11	2.102	1.068	38	3	4.234	38
13	0	794	70	74	7	1.431	298	26	1	2.701	37
14	0	724	68	130	40	546	515	11	9	2.043	32
Gesamt	46	9.867	886	1.070	624	7.176	3.963	311	75	24.018	-
Prozent	0,2	41,1	3,7	4,5	2,6	30	16,5	1,3	0,3	-	-

3.2.2. Phänologie

Der jahreszeitliche Verlauf der akustisch gemessenen Fledermausaktivität zeigte für das Jahr 2015 ein auffälliges Muster (Abbildung 19 und Abbildung 20). Betrachtet man die Anzahl an Fledermausaufnahmen pro Nacht, korrigiert für den Beprobungsaufwand unter Berücksichtigung von Ausfällen, so stieg mit fortschreitender Zeit ab Mai die Anzahl der Aufnahmen pro Nacht bis auf ein Maximum im August (Abbildung 19). Ab September nahmen die Aufnahmen pro Nacht wieder ab, bis sie Ende Oktober auf ein Minimum abfielen. Da der August 2015 der Monat mit der höchsten Fledermausaktivität war (Abbildung 19), wurde dieser als Zeitraum für die stereo-optischen Aufnahmen im Jahr 2016 ausgewählt. Im Jahr 2016 zeigte sich für die betrachteten Monate Juli bis Oktober das gleiche Muster mit einem Aktivitätsmaximum im August (Abbildung 21 und Abbildung 22).

Unabhängig von der Jahreszeit zeigt sich in beiden Jahren, dass mit einem Ansteigen der Nachttemperaturen eine gesteigerte Fledermausaktivität in Form von detektierten Aufnahmen pro Nacht auftrat (vgl. Abbildung 20 und Abbildung 22). Dieser Effekt ist besonders im Frühjahr und Herbst ausgeprägt, in den Monaten Juli bis September fallen besonders kalte Nächte mit verringerter Aktivität auf.

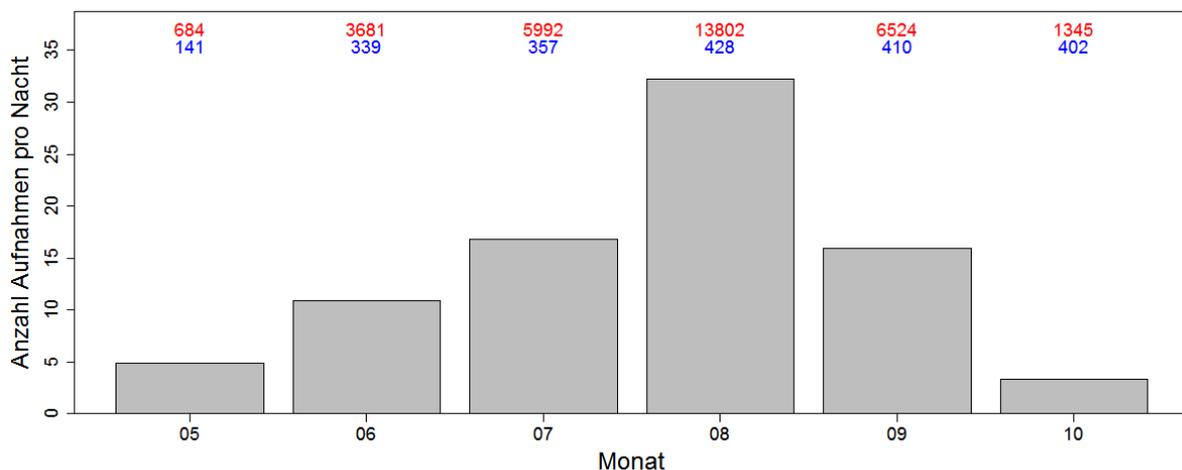


Abbildung 19: Monatliche Fledermausaktivität, gemessen an der Anzahl der Aufnahmen pro Nacht, gemittelt über alle KWEA-Standorte und Arten sowie korrigiert für den Beprobungsaufwand, während des Jahres 2015. Zahlen in Rot geben Auskunft über die Anzahl der aufgezeichneten Rufe pro Monat, Zahlen in blau über die Anzahl beprobter Nächte pro Monat.

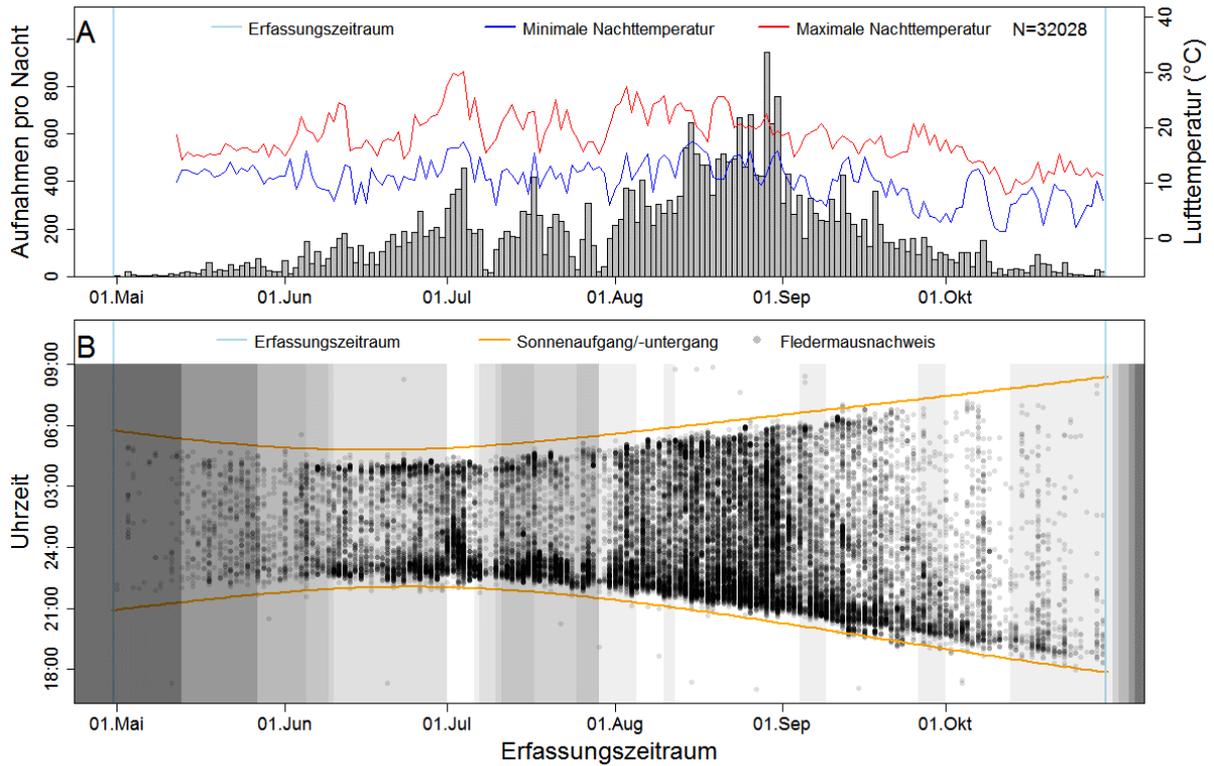


Abbildung 20. Aktivitätsverlauf aller Fledermausarten zusammen im Jahr 2015. In A ist die Anzahl der Aufnahmen pro Nacht über den gesamten Erfassungszeitraum aufgetragen. Die minimale Nachttemperatur ist durch eine blaue Linie gekennzeichnet, die maximale Nachttemperatur durch eine rote Linie. In B ist die nächtliche Aktivität über den Erfassungszeitraum aufgetragen. Die gelben Linien kennzeichnen Sonnenaufgang bzw. Sonnenuntergang. Beginn und Ende des Erfassungszeitraums sind jeweils durch hellblaue Linien gekennzeichnet.

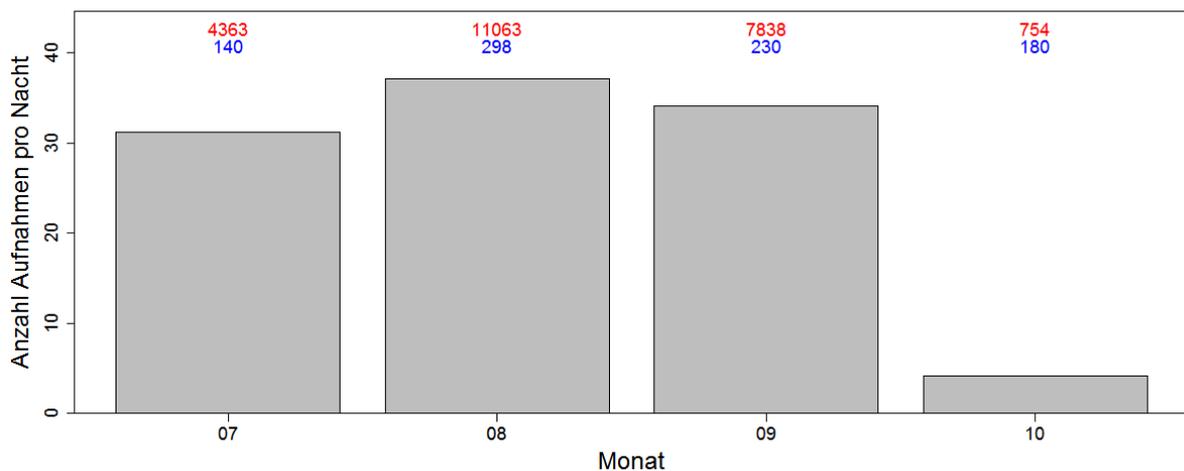


Abbildung 21: Monatliche Fledermausaktivität, gemittelt über alle KWEA-Standorte und Arten sowie korrigiert für den Beprobungsaufwand, während des Jahres 2016, Zahlen in Rot geben Auskunft über die Anzahl der aufgezeichneten Rufe pro Monat, Zahlen in blau über die

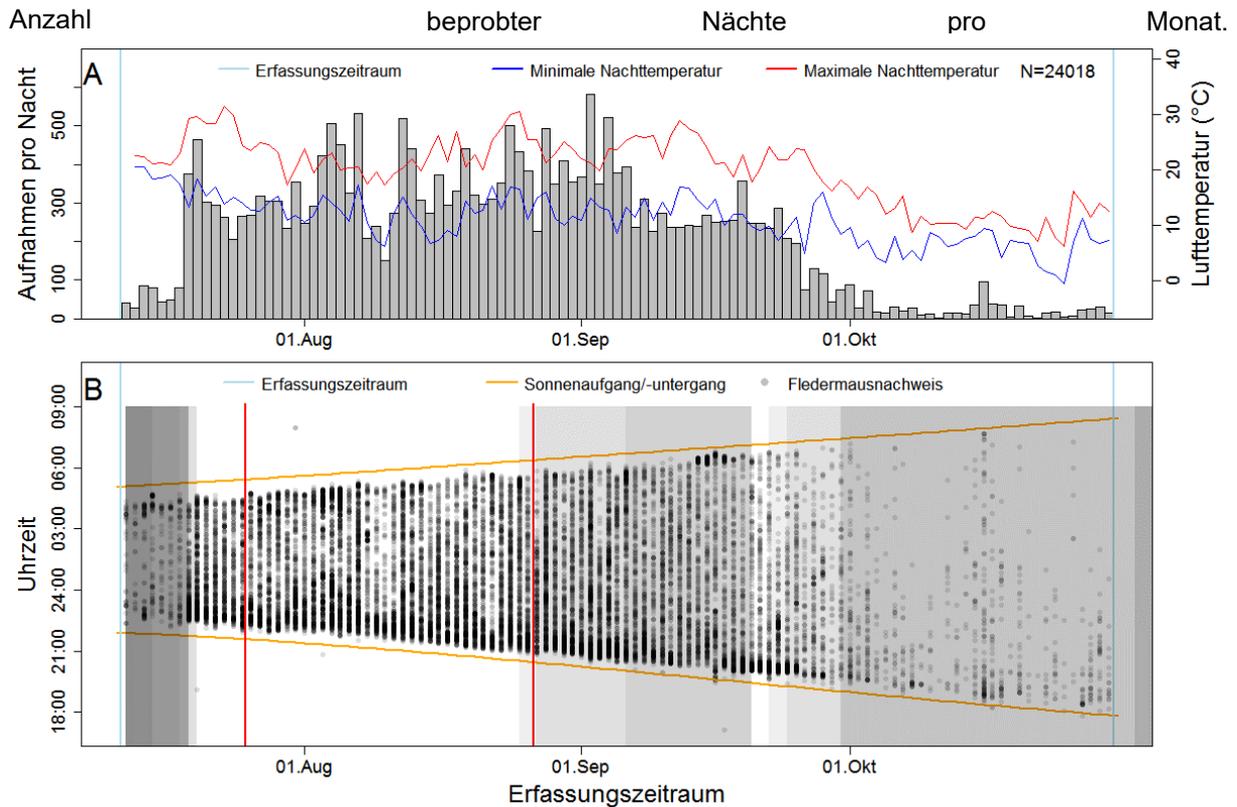


Abbildung 22: Aktivitätsverlauf aller Fledermausarten zusammen im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.

Der nächtliche Aktivitätsverlauf war in beiden Jahren sehr ähnlich und wies ein für Fledermäuse typisches Muster im Sinne einer zweigipfligen Verteilung auf (Abbildung 23). Der erste Aktivitätsgipfel in den Abendstunden war hierbei deutlich stärker ausgeprägt, als der in den Morgenstunden. Die stereo-optischen Erfassungen fallen damit in die Phase mit der höchsten Fledermausaktivität.

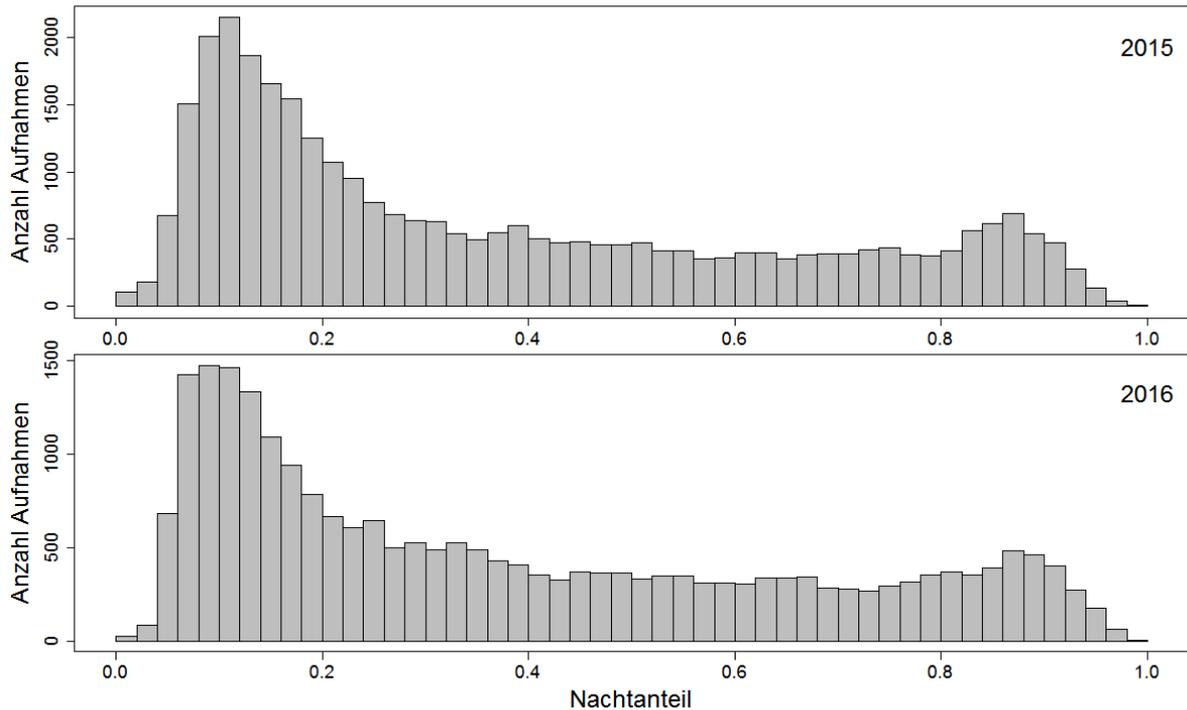


Abbildung 23: Verlauf der Fledermausaktivität über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016.

Im Folgenden wird die Phänologie der am häufigsten detektierten Arten bzw. Artengruppen separat betrachtet. Dies sind die Artengruppen „Nyctaloide“ sowie die Gattung *Myotis* und die Arten Abendsegler, Zwergfledermaus und Rauhaufledermaus.

„Nyctaloide“

Die Artengruppe „Nyctaloide“ stellte in beiden Jahren der automatischen akustischen Erfassung den größten Anteil an Rufsequenzen. Im Jahr 2015 waren es 14.694 Rufe (Abbildung 24), im darauffolgenden Jahr 2016 insgesamt 9.867 Rufsequenzen (Abbildung 25). Über das Jahr verteilt war die Aktivität insbesondere im August hoch, wobei Anfang Juli 2015 während einer sehr warmen Phase von einigen Tagen eine sehr hohe Aktivität gemessen wurde. Interessanterweise war in diesen Nächten die Aktivität bis nach Mitternacht hoch. Gemittelt über das gesamte Jahr war das Auftreten von Fledermäusen aus der Artengruppe der „Nyctaloide“ im Nachtverlauf für beide Erfassungsjahre sehr ähnlich: die Fledermäuse fliegen nach Sonnenuntergang aus und sind für einige wenige Stunden aktiv (Abbildung 25 und Abbildung 26). Bereits deutlich vor Mitternacht nimmt die Aktivität ab.

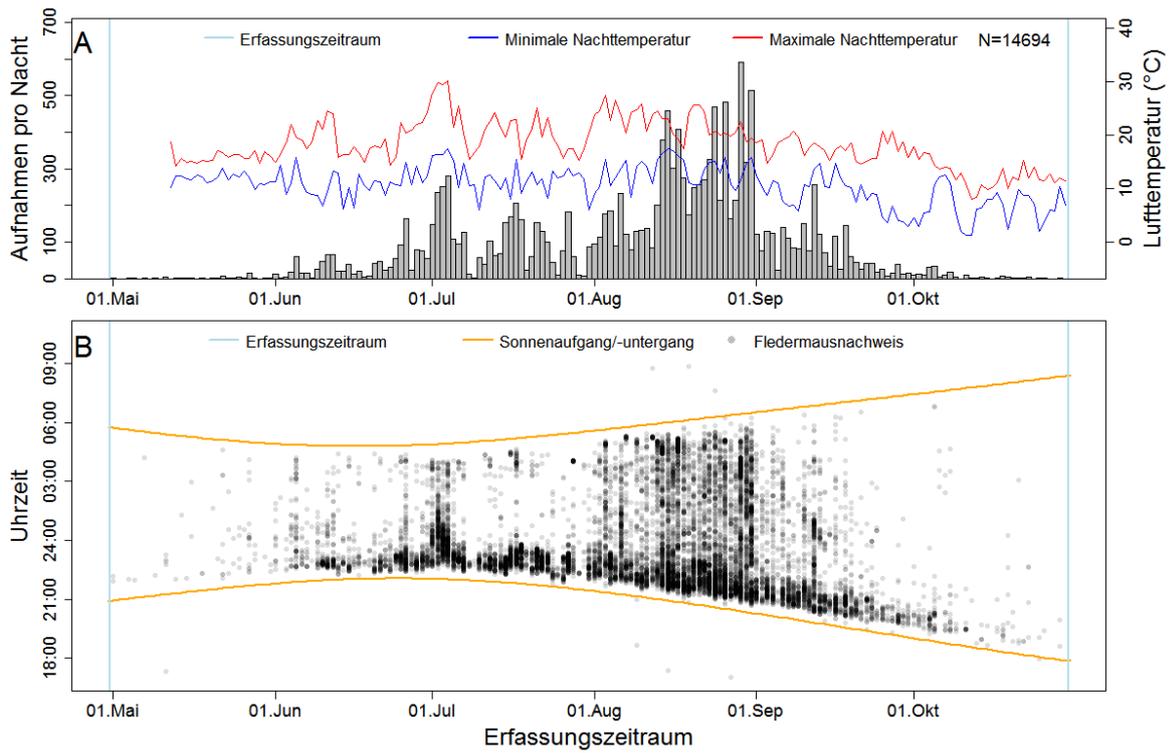


Abbildung 24: Aktivitätsverlauf der Artengruppe „Nyctaloide“ im Jahr 2015.

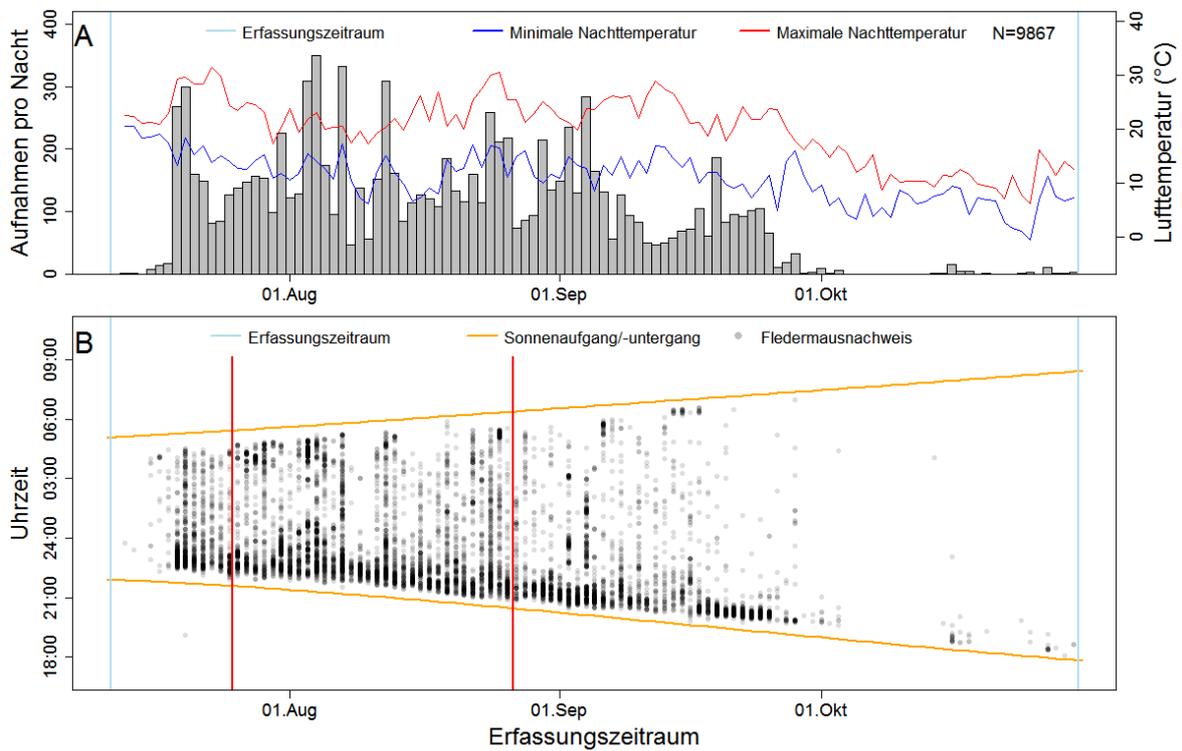


Abbildung 25: Aktivitätsverlauf der Artengruppe „Nyctaloide“ im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.

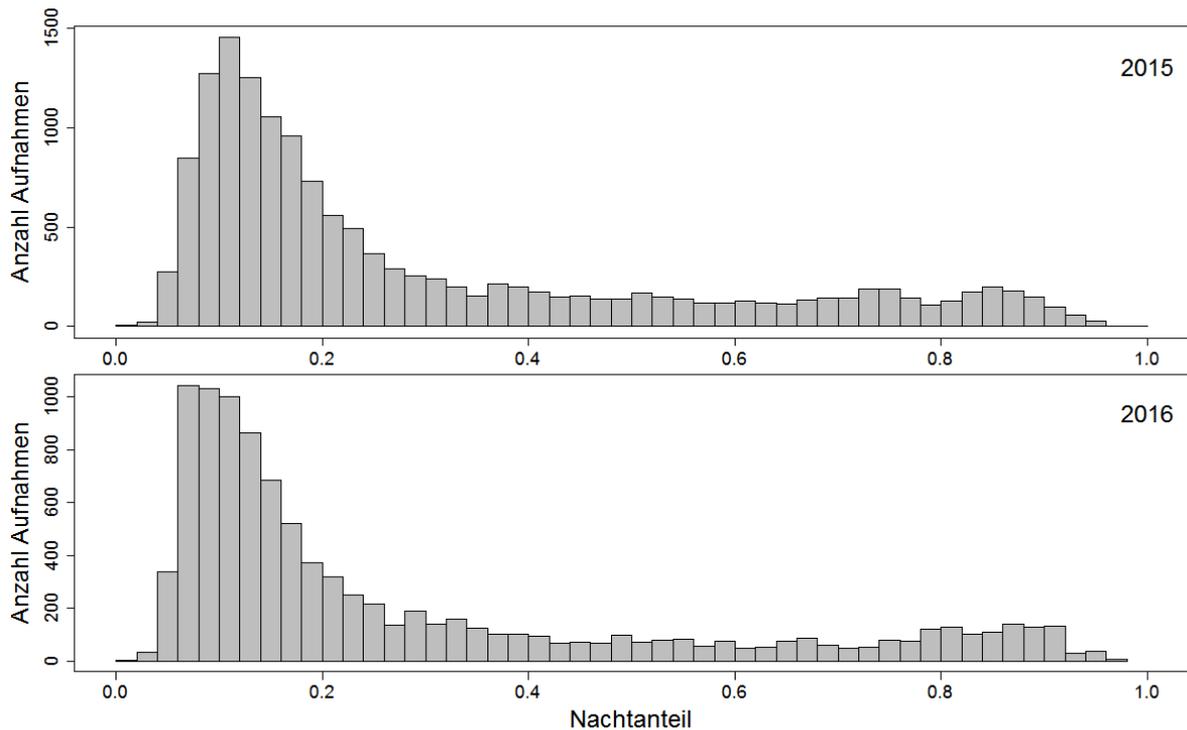


Abbildung 26: Verlauf der Aktivität der Artengruppe „Nyctaloide“ über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016.

Abendsegler

Im Untersuchungszeitraum 2015 wurde der Abendsegler mit 1.184 Rufsequenzen erfasst (Abbildung 27). Im darauffolgenden Jahr wurden dieser Art 624 Rufe zugewiesen (Abbildung 28). Es ist möglich, dass sich Rufe des Abendseglers in der Artengruppe „Nyctaloide“ verbergen, da eine eindeutige Identifikation der Arten dieser Artengruppe nicht immer erfolgen kann. Die vereinzelt Aktivitätsmaxima, die Anfang Juli 2015 oder im August 2016 registriert wurden, korrelieren mit der zu diesen Zeitpunkten gemessenen hohen Nachttemperatur. Die nächtliche Aktivität der Abendsegler im Jahr 2015 spiegelte den Aktivitätsverlauf der Artengruppe „Nyctaloide“ wider (Abbildung 29). Die Tiere wurden vor allem zu Beginn der Nacht detektiert. Im Jahr 2016 zeigte sich ein etwas anderes Verhaltensmuster mit besonders hoher Aktivität vor Sonnenaufgang (Abbildung 29). Dieses Muster geht allerdings auf nur wenige, gebündelt auftretende Nachweise Mitte September zurück.

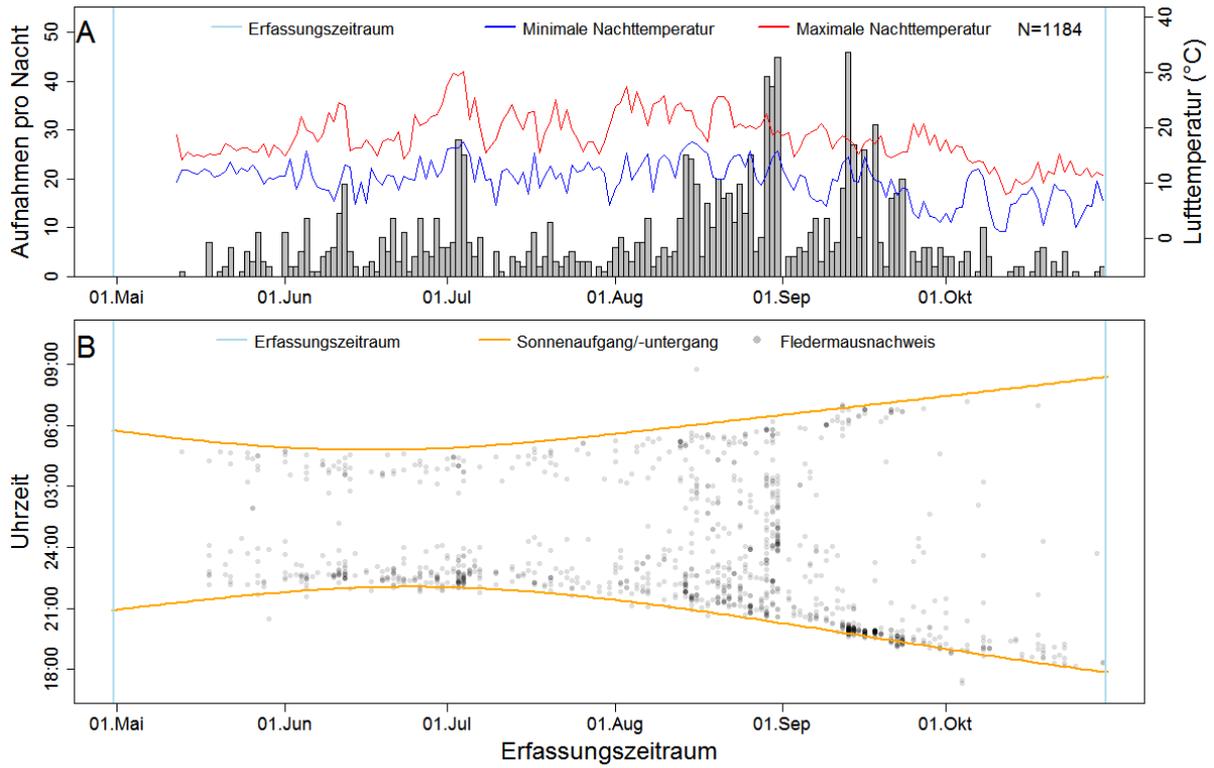


Abbildung 27: Aktivitätsverlauf des Abendseglers im Jahr 2015.

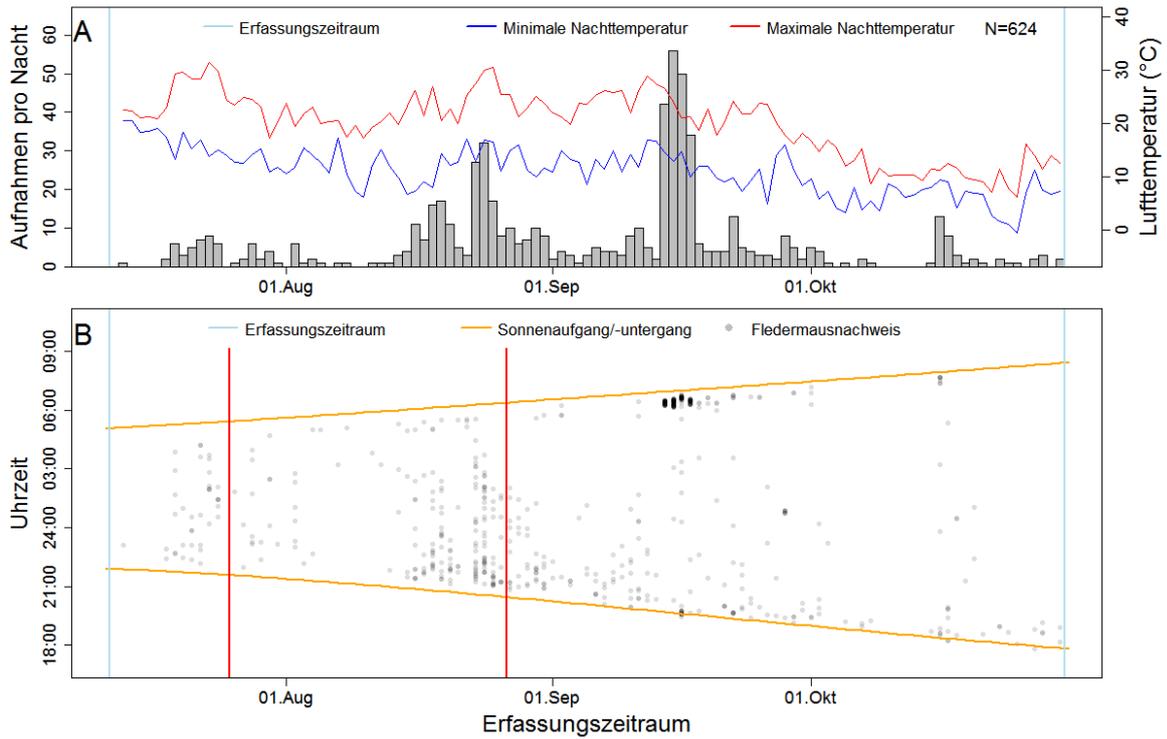


Abbildung 28: Aktivitätsverlauf des Abendseglers im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.

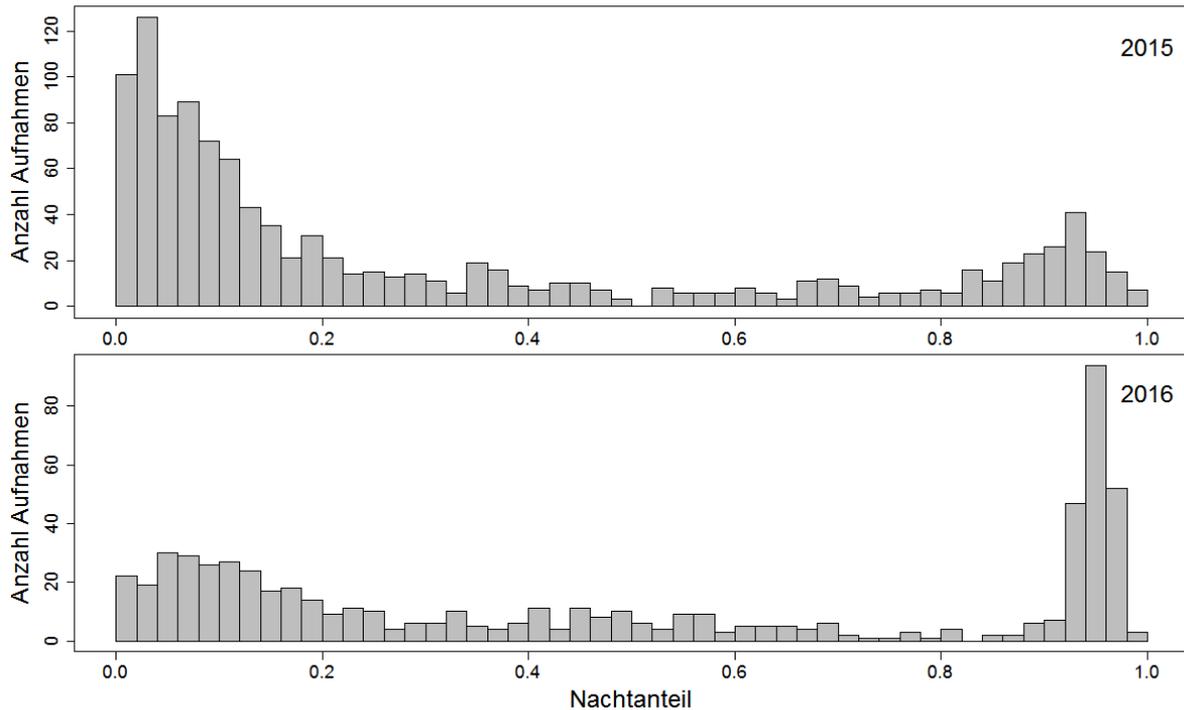


Abbildung 29: Verlauf der Aktivität des Abendseglers über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016.

Zwergfledermaus

Die Zwergfledermaus wurde als zweithäufigste Fledermausart an den KWEA-Standorten detektiert, im Jahr 2015 mit 9.932 Rufsequenzen und 2016 mit 7.176 Rufen (Abbildung 30 und Abbildung 31). Die Nachweise für diese Art stiegen ebenfalls von Mai bis Ende August an, um im September wieder abzufallen. Dies gilt sowohl für 2015 als auch für den verkürzten Erfassungszeitraum 2016, hier bildete sich dieser Aktivitätsverlauf allerdings nicht so stark ab. Anfang und Ende Juli 2015 sind wetterbedingte Aktivitätseinbrüche deutlich zu erkennen. Die Nachttemperatur war in diesen Nächten auffallend niedriger als in den vorangegangenen bzw. nachfolgenden Nächten (Abbildung 30). Über den Nachtverlauf zeigte die Zwergfledermaus in beiden Jahren ein sehr ähnliches, zweigipfeliges Aktivitätsmuster (Abbildung 32). Zu Beginn und zum Ende der Nacht waren besonders viele Zwergfledermäuse aktiv und auch in der Nachtmittag sank die Aktivität weniger stark ab als bei der Artengruppe „Nyctaloide“ sowie dem Abendsegler.

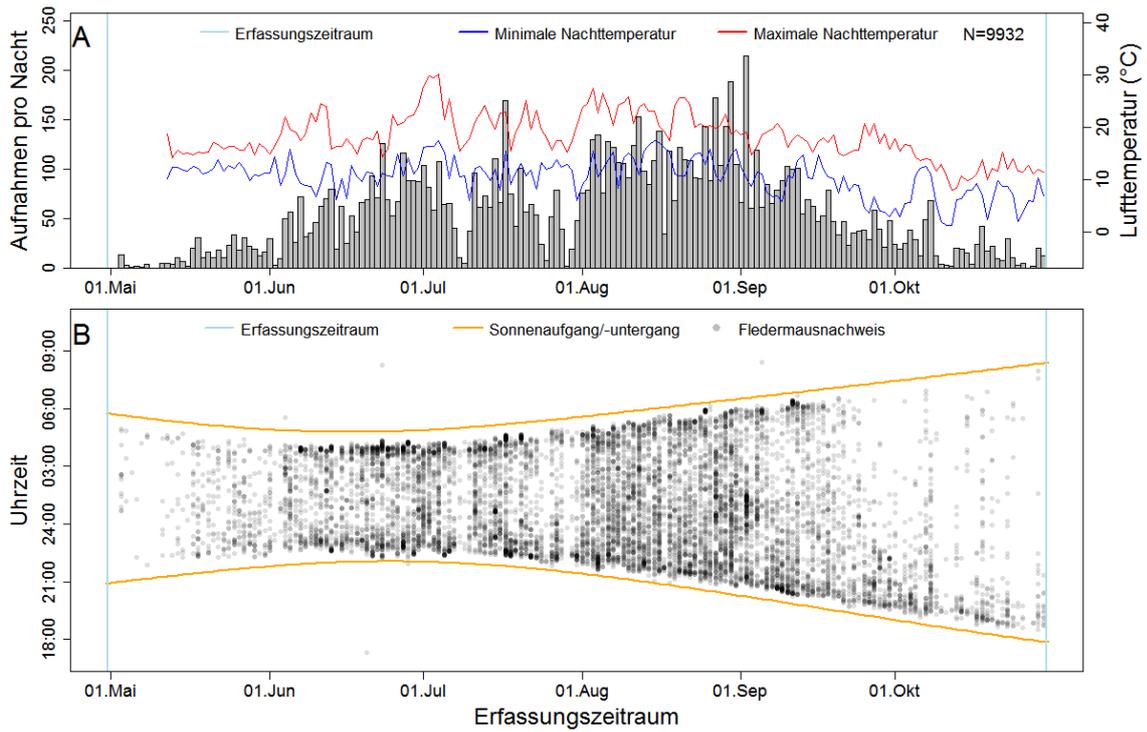


Abbildung 30: Aktivitätsverlauf der Zwergfledermaus im Jahr 2015.

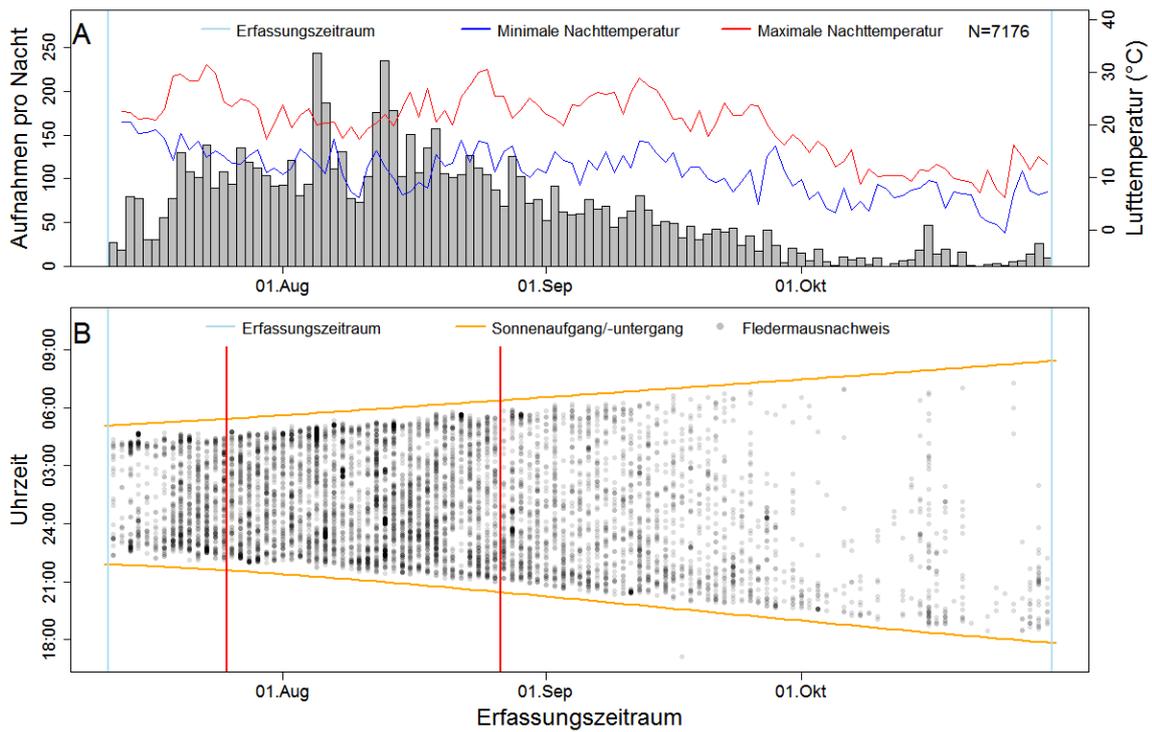


Abbildung 31: Aktivitätsverlauf der Zwergfledermaus im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.

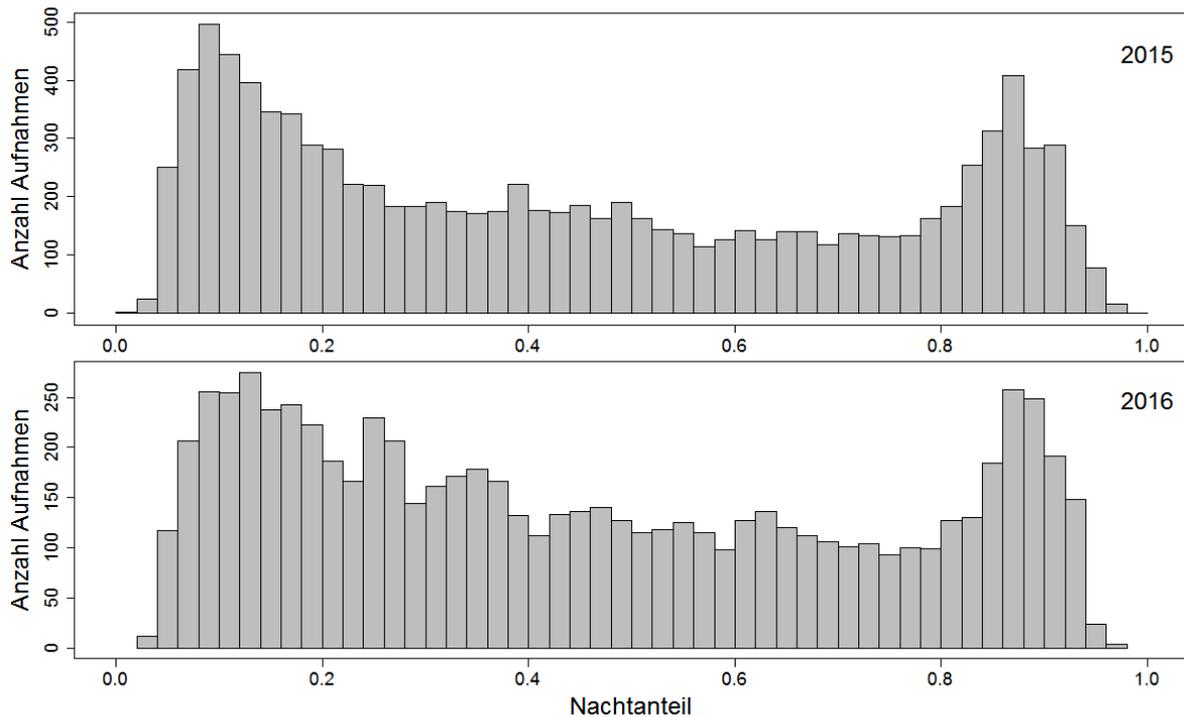


Abbildung 32: Verlauf der Aktivität der Zwergfledermaus über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016.

Rauhautfledermaus

Die Rauhautfledermaus wurde 2015 mit 3.331 Rufsequenzen und 2016 mit 3.963 Rufsequenzen am dritthäufigsten aufgezeichnet (Abbildung 33 und Abbildung 34). Die Nachweise dieser Art traten von Mai bis Mitte August 2015 bzw. von Juli bis Ende August 2016 regelmäßig, aber in geringer Anzahl, auf. Ab Mitte August 2015 bzw. Ende August 2016 stieg die Aktivität der Rauhautfledermaus stark an, wobei es sich in dieser Zeit um ziehende Tiere handeln könnte. Über die Nacht hinweg wurden in beiden Jahren relativ konstant Rauhautfledermäuse detektiert (Abbildung 35). Ein ausgeprägtes zweigipfeliges Aktivitätsmuster, wie zum Beispiel das der Zwergfledermaus, lässt sich bei der Rauhautfledermaus nicht feststellen, jedoch findet sich eine höhere Aktivität in der ersten Nachthälfte.

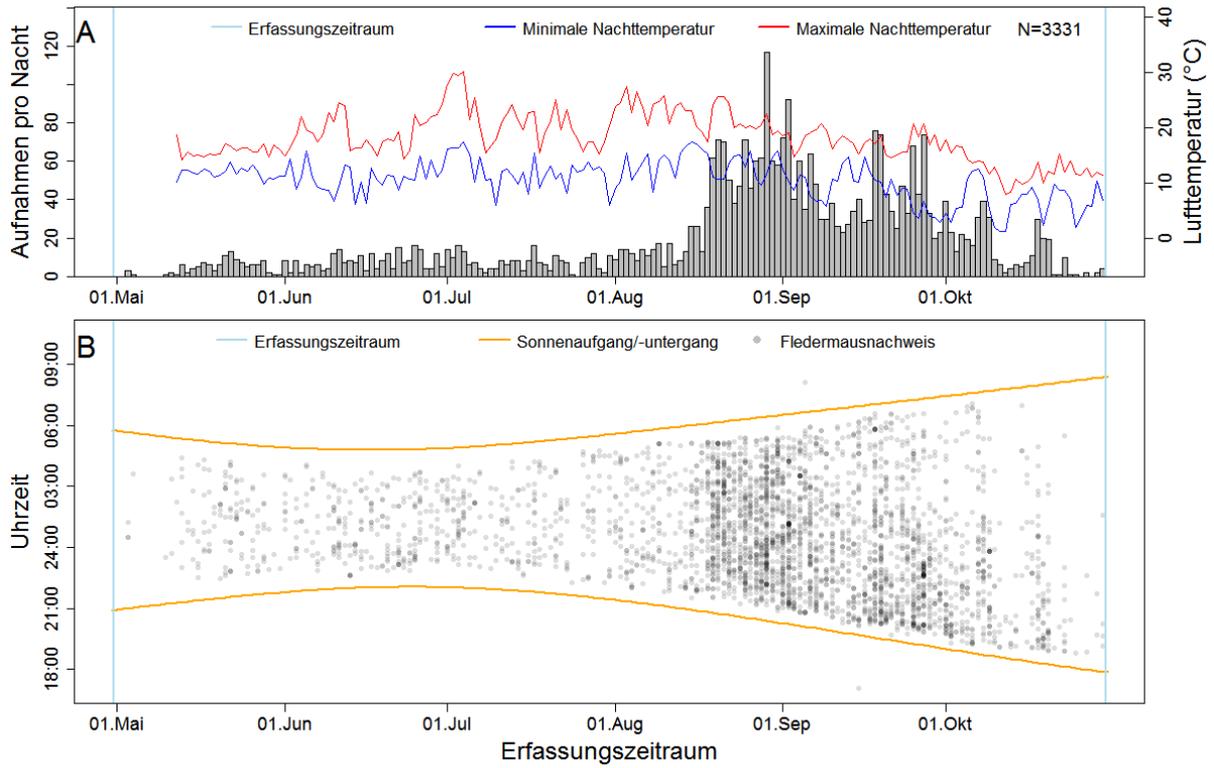


Abbildung 33: Aktivitätsverlauf der Rauhautfledermaus im Jahr 2015.

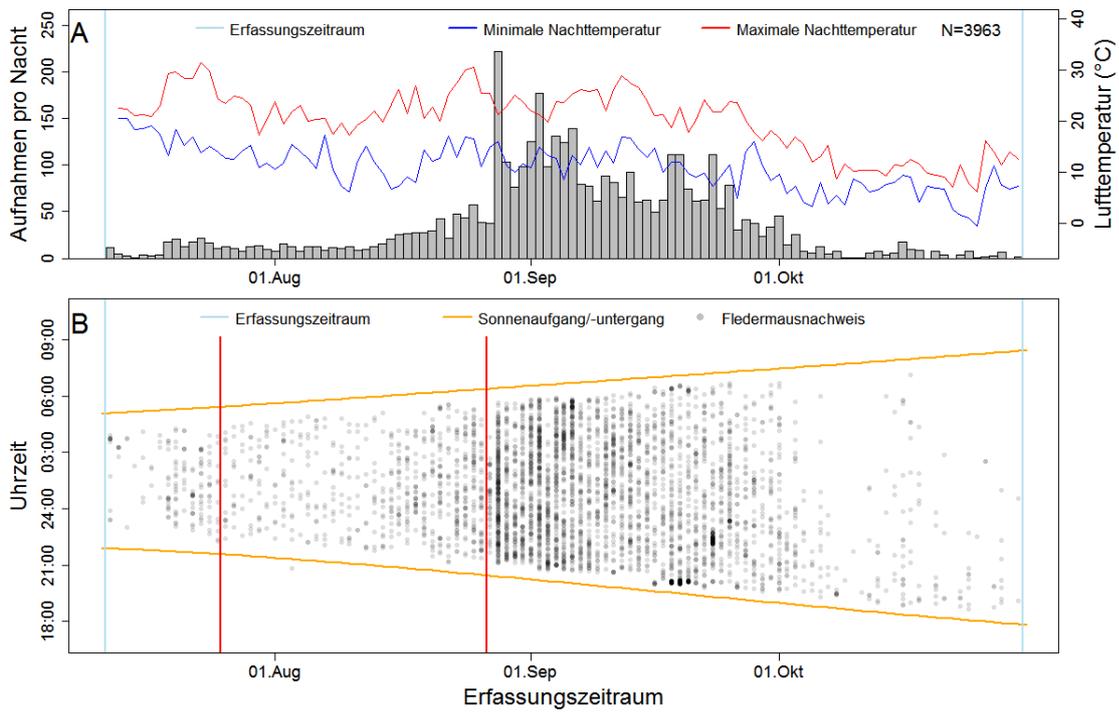


Abbildung 34: Aktivitätsverlauf der Rauhautfledermaus im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.

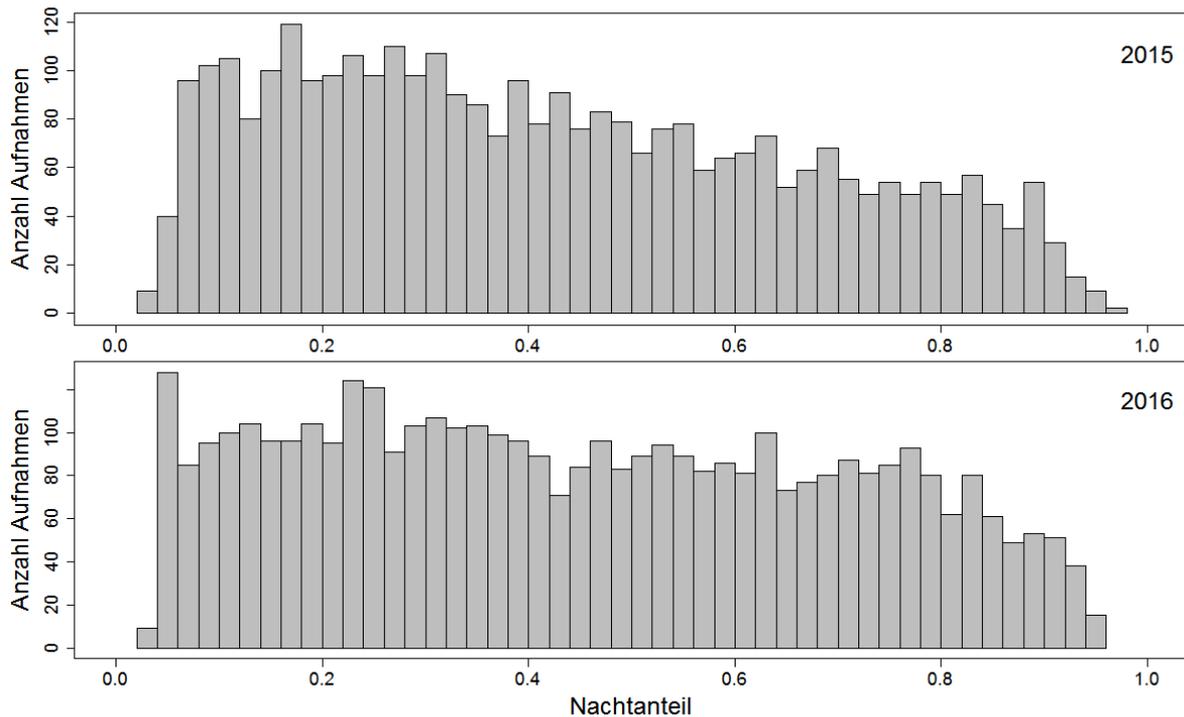


Abbildung 35: Verlauf der Aktivität der Rauhautfledermaus über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016.

Gattung *Myotis*

Die Gattung *Myotis* wurde 2015 mit 795 Rufsequenzen und 2016 mit 888 Rufsequenzen aufgezeichnet (Abbildung 36 und Abbildung 37). Das Auftreten der in dieser Artengruppe möglichen enthaltenen Arten Wasser-, Fransen-, Brandt- und Teichfledermaus (siehe Kapitel 2.4.1) zeigte für beide Jahre einen eher unregelmäßigen Verlauf, der von einigen Aktivitätsmaxima gekennzeichnet war. Insgesamt zeigt die Gattung *Myotis* die geringsten jahreszeitlichen Akkumulationen. Allerdings ist die gesamte Aktivität auch deutlich geringer, als die der häufiger nachgewiesenen Artengruppen, was eine weniger starke Ausprägung von Aktivitätsspitzen bewirken könnte. Das nächtliche Auftreten der Tiere zeigt für beide Jahre ein unklares Muster, das sich aufgrund der verhältnismäßig wenigen Aufnahmen in zwei diffusen Aktivitätsmaxima widerspiegelt (Abbildung 38). Das erste Maximum trat etwa eine Stunde nach Sonnenuntergang auf, das zweite dann etwas weniger ausgeprägt vor Sonnenaufgang. Dabei ist insgesamt eine vergleichsweise gleichmäßigere Verteilung über die Nacht zu beobachten, als bei den anderen betrachteten Arten.

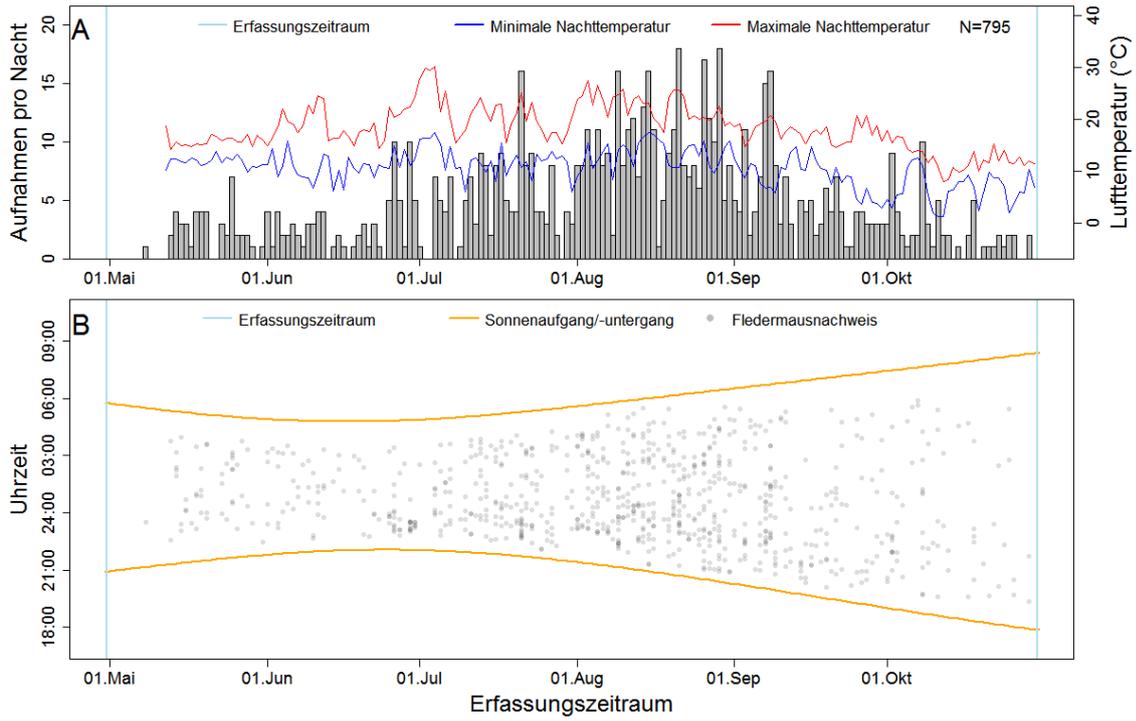


Abbildung 36: Aktivitätsverlauf der Artengruppe *Myotis* im Jahr 2015.

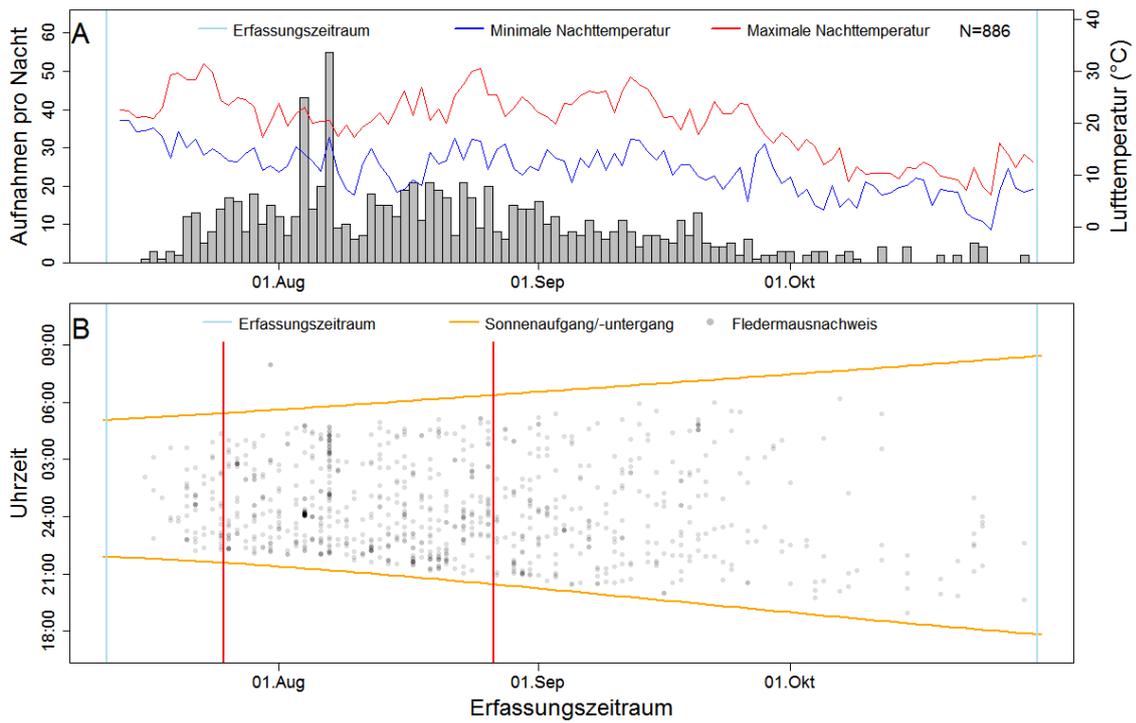


Abbildung 37: Aktivitätsverlauf der Artengruppe *Myotis* im Jahr 2016. Rote Linien grenzen den Zeitraum des Abschaltexperiments ein.

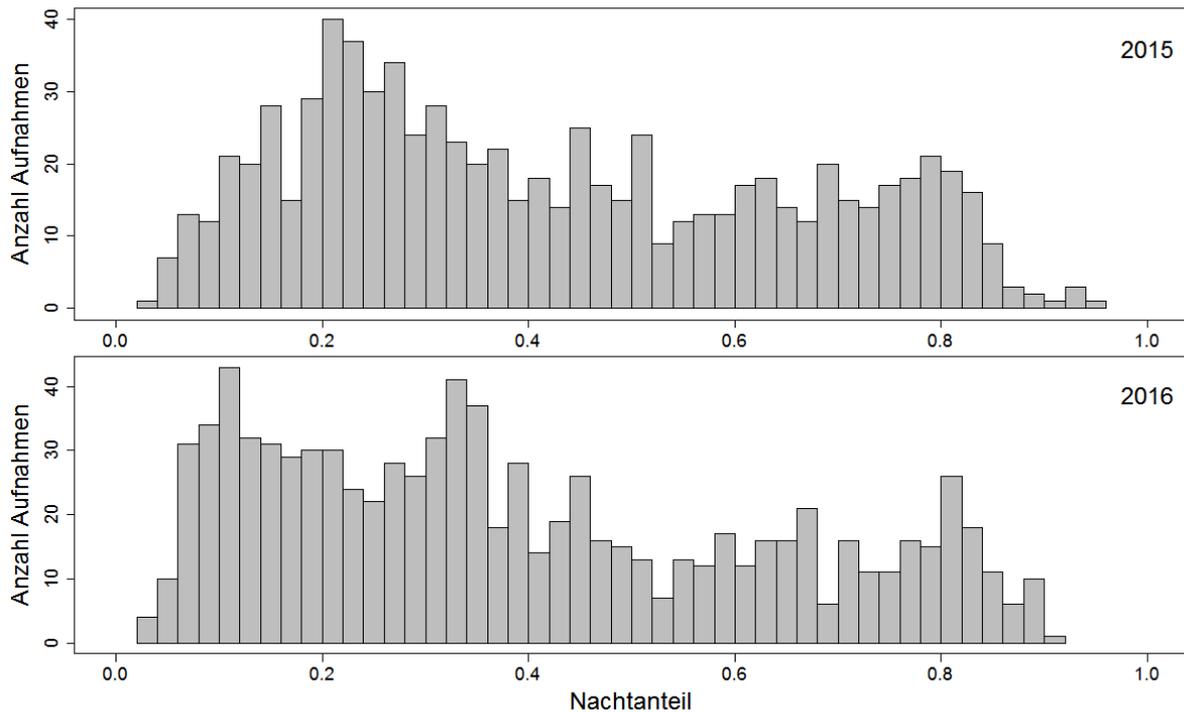


Abbildung 38: Verlauf der Aktivität der Gattung *Myotis* über die Nacht, gemittelt über alle Nächte und Anlagen in den Jahren 2015 und 2016.

3.2.3. Einfluss von Umweltparametern

Umweltparameter wie meteorologische Faktoren und Landschaftsparameter können das Verhalten und damit die Aktivität von Fledermäusen beeinflussen. Als Maß für die Aktivität wurde die Anzahl Fledermausaufnahmen pro Nacht herangezogen. Die meteorologischen Faktoren setzten sich aus den nächtlichen Mittelwerten der Lufttemperatur an der KWEA sowie aus der Windgeschwindigkeit, gemessen an einer Station des Deutschen Wetterdienstes auf Nordstrand, zusammen. Als Landschaftsparameter wurden der Anteil Wald und der Anteil Bebauung im 2 km Radius um die KWEA als Maß für potentielles Quartierhabitat verwendet. Um die unterschiedlich lange Erfassungsdauer in den Jahren 2015 und 2016 zu berücksichtigen, wurden nur die Monate Juli bis September in die Auswertung miteinbezogen.

Die Windgeschwindigkeit hatte für alle Arten und Artengruppen einen hochsignifikant negativen Effekt auf die Fledermausaktivität. Die Temperatur zeigte nur für die Artengruppe „Nyctaloide“ einen signifikant positiven Effekt auf die akustische Aktivität (Tabelle 20). Der Anteil an bebauter Fläche und Wald im 2 km Radius, die als Maß für ein potenzielles Quartierangebot in die Auswertung eingingen, zeigten keinen nachweisbaren Einfluss auf die gemessene Fledermausaktivität an den KWEA-Standorten (vgl. hierzu Kapitel 3.2.3).

Tabelle 20: Statistische Kenngrößen, die den Zusammenhang zwischen der akustischen Aktivität der Fledermäuse (abhängige Variable) und den erklärenden Umweltvariablen im Zeitraum Juli bis September 2015 und 2016 aufdecken.

Abhängige Variable	Erklärende Variable	Regressionskoeffizient	95% Unsicherheitsintervall	Freiheitsgrade	P-Wert
Alle Arten	Wind	-0,26	-0,37 - -0,15	167,3	< 0,001
	Temperatur	0,07	-0,02 - 0,15	585,4	0,112
	Bebauung	-0,13	-0,37 - 0,11	11,1	0,291
	Wald	-0,06	-0,30 - 0,19	11,0	0,668
Zwergfledermaus	Wind	-0,15	-0,22 - -0,08	162,6	< 0,001
	Temperatur	-0,01	-0,08 - 0,05	405,0	0,692
	Bebauung	-0,14	-0,44 - 0,17	11,0	0,380
	Wald	-0,08	-0,39 - 0,24	11,0	0,643
Rauhautfledermaus	Wind	-0,11	-0,19 - -0,03	164,6	0,008
	Temperatur	0,02	-0,04 - 0,08	821,1	0,542
	Bebauung	-0,14	-0,31 - 0,02	11,2	0,113
	Wald	-0,07	-0,25 - 0,09	11,1	0,394
Artengruppe „Nyctaloide“	Wind	-0,24	-0,34 - -0,15	162,0	< 0,001
	Temperatur	0,22	0,13 - 0,30	384,9	< 0,001
	Bebauung	-0,08	-0,30 - 0,13	11,1	0,482
	Wald	0,07	-0,16 - 0,30	10,9	0,580

3.2.4. Verhalten von Fledermäusen an KWEA

Insgesamt lagen aus 83 Kameranächten von neun KWEA optische Aufnahmen für eine detaillierte Auswertung des Verhaltens von Fledermäusen an den KWEA vor, ein Kamerasystem war wegen technischer Probleme ausgefallen. In der Summe ergaben sich so 347 Stunden Videomaterial die in die Auswertung einfließen und in 58.846 Summationsbildern aus jeweils 20-Sekunden-Intervallen verrechnet wurden. Bei der manuellen Sichtung dieser Summationsbilder konnten 946 Aufnahmen identifiziert werden, die Fledermausflugbahnen enthielten. Von diesen Flugbahnen konnte aufgrund von teilweise asynchron laufenden Kamera paaren jedoch nur für acht KWEA eine automatische Auswertung erfolgen. Insgesamt konnten für 499 Flugbahnen dreidimensionale Flugbahndaten vermessen werden. Eine Übersicht über die Anzahl der identifizierten und vermessenen Fledermausflugbahnen an den beprobten KWEA ist in Tabelle 21 dargestellt. Als Anhaltspunkt für die relative Anzahl an Flugbahnen pro KWEA wurde der Anteil an Flugbahnen pro 1.000 20-Sekunden-Intervallen angegeben. Die mit dieser Methode optisch nachgewiesene Fledermausaktivität korrelierte signifikant mit der akustisch detektierten Aktivität (Abbildung 39). Mit steigender Anzahl an akustischen Nachweisen pro Nacht wurden auch optisch mehr Flugbahnen pro Nacht registriert (Tabelle 22). Dieses Ergebnis zeigt, dass mit dem stereo-optisch arbeitenden Kamerasystem Fledermäuse verlässlich detektiert wurden.

Tabelle 21: Anzahl der beprobten Kameranächte und identifizierten Fledermausflugbahnen an den untersuchten KWEA.

	1	2	4	8	9	11	12	13	14	Gesamt
20-s-Intervalle	6.548	2.833	4.318	6.324	8.828	7.096	9.227	6.060	7.612	58.846
20-s-Intervalle mit Flugbahnen	93	68	229	18	76	81	205	76	100	946
davon vermessene Flugbahnen	33	43	105	10	59	0	132	54	63	499
Gesamte Flugbahnen pro 1000 20-s-Intervallen	14,2	24,0	53,0	2,9	8,6	11,4	22,2	12,5	13,1	16,1

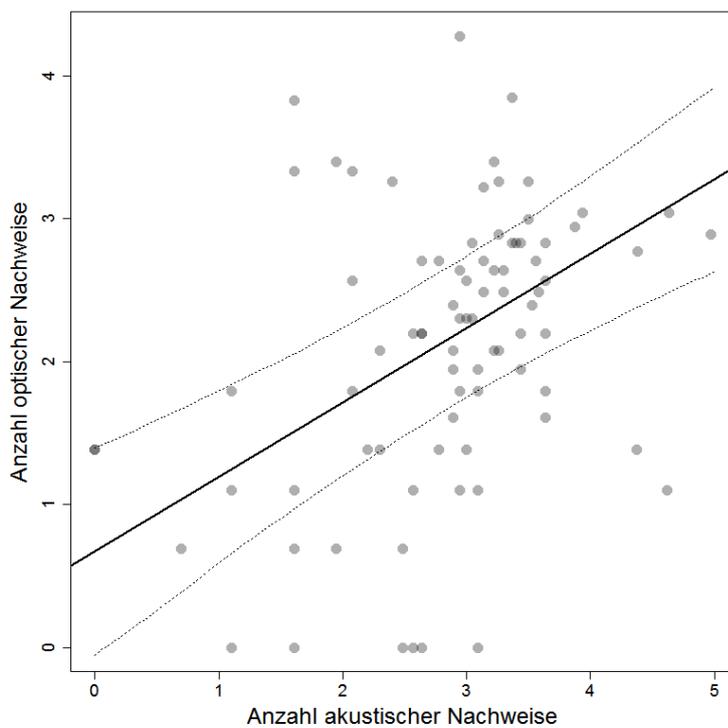


Abbildung 39: Zusammenhang zwischen stereo-optischen und akustischen Fledermausnachweisen pro Nacht über alle Arten und KWEA-Standorte.

Tabelle 22: Regressionskoeffizient zwischen optischer und akustischer Messung mit 95 % Unsicherheitsintervall.

Verteilung A	Verteilung B	Regressionskoeffizient	95 % Unsicherheitsintervall	Freiheitsgrade	P-Wert
Optisch ermittelte Aktivität	Akustische Aktivität	0,52	0,33– 0,68	17,9	< 0,001

Die ermittelten dreidimensionalen Daten der Fledermausflugbahnen wurden in ein räumliches Verhältnis zu den jeweiligen KWEA gesetzt, sodass sowohl das Verhalten der Fledermäuse nachvollzogen, als auch die maximale Annäherung jeder Flugbahn an den Rotorbereich berechnet werden konnte (beispielhaft Abbildung 40).

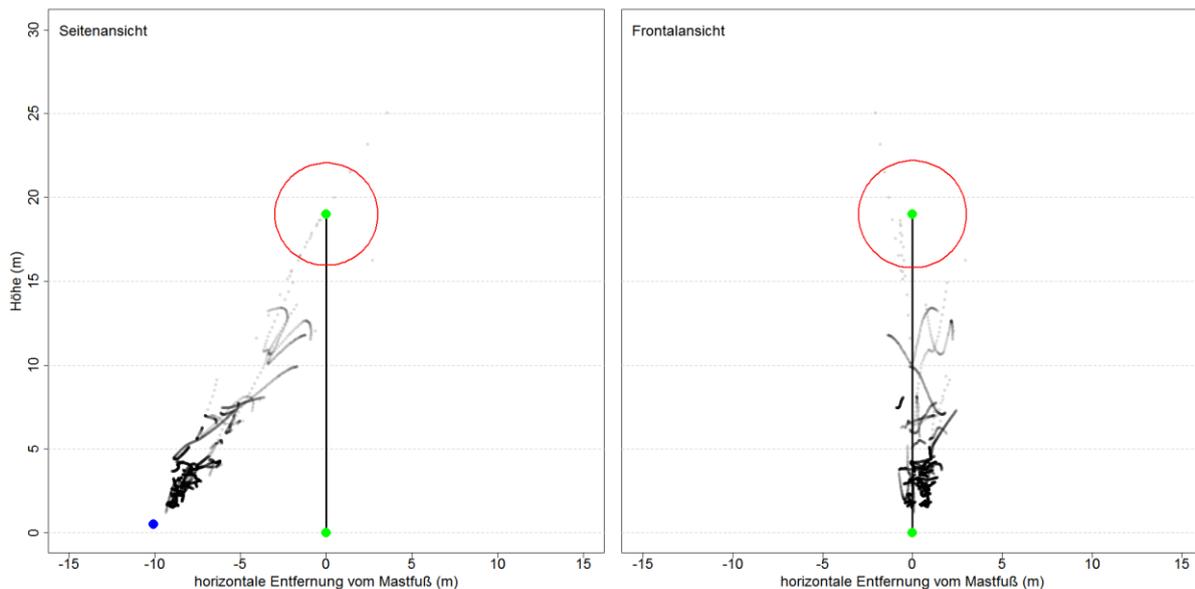


Abbildung 40: Fledermausflugbahnen an KWEA 9: Links sind die Flugbahnen in Seitenansicht dargestellt, rechts in Frontalansicht. Graue Punkte symbolisieren Fledermausereignisse bzw. Fledermausflugbahnen. Die kegelartige Verteilung der Bahnen spiegelt den kegelartig ausgeleuchteten Bereich wieder (vgl. Abbildung 5), und nicht etwa eine kegelartige Verteilung der Fledermäuse. Grüne Punkte stellen Mastfuß und Mastspitze dar, der blaue Punkt die Position der Stereo-Infrarot-Kamera. Der Rotorbereich ist mit einem roten Kreis gekennzeichnet.

Der Großteil der stereo-optisch erfassten Fledermausflugbahnen wurde in einem Bereich aufgenommen, der sich zwischen zehn und 20 Metern entfernt zur Gondel befindet (Abbildung 41). Bei Gondelhöhen der beprobten KWEA von rund 20 m bedeutet dies, dass sich die meisten Fledermäuse bodennah bis in Höhen von zehn Metern aufhielten. Bei der manuellen Sichtung der Flugbahnen zeigte sich, dass die Fledermäuse, die sich dem Rotor bis auf mindestens zehn Meter näherten, die KWEA meist im zielgerichteten Streckenflug passierten. Für keine der Flugbahnen konnte ein Explorationsverhalten an den KWEA festgestellt werden. Nur in einem Fall bewegte sich eine Flugbahn durch den Radius von drei Metern zur Gondelmitte, welches der direkt vom Rotor überstrichene Bereich ist. Zu diesem Zeitpunkt war die KWEA außer Betrieb (Abbildung 42).

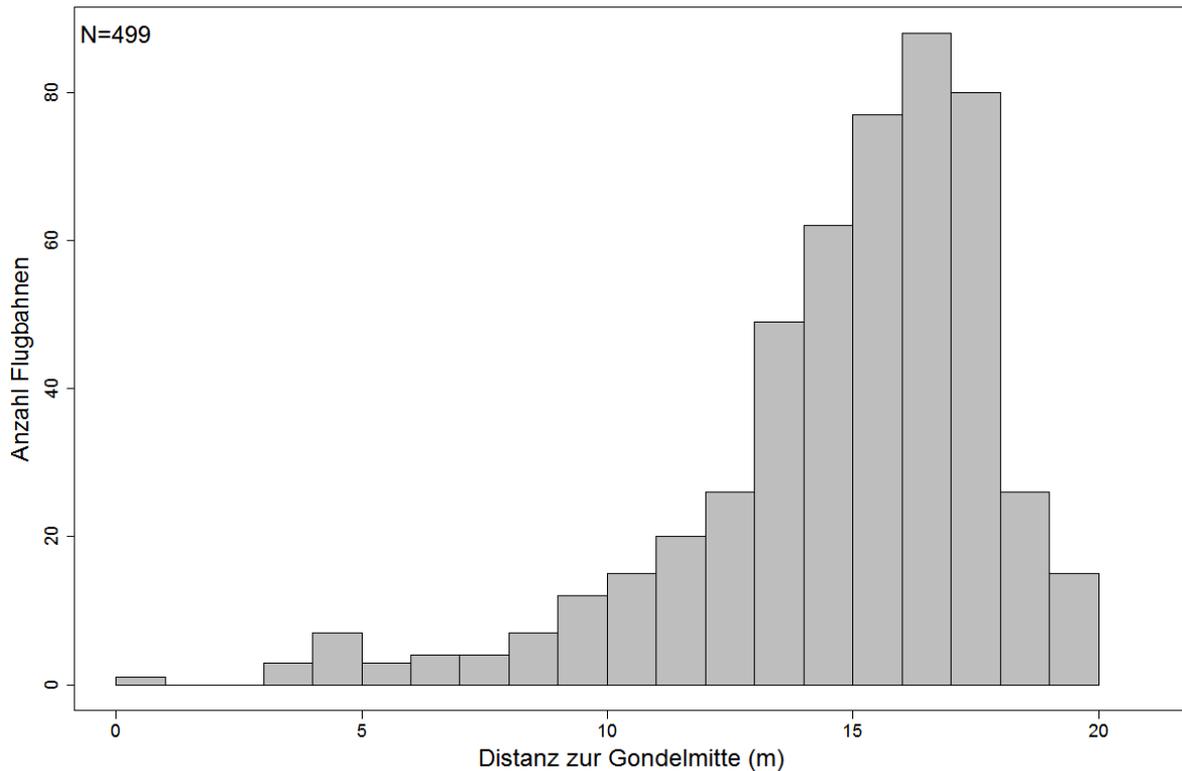


Abbildung 41: Anzahl der Flugbahnen aufgetragen nach Distanz zur Gondelmitte.

Ein mögliches betriebsbedingtes Meideverhalten wurde anhand eines Abschaltexperiments im Jahr 2016 an acht ausgewählten KWEA untersucht. In der Summe sind die Aktivitätsdaten zwischen den Anlagen bei laufendem oder stehendem Motor ähnlich (Tabelle 23). Hierbei gilt zu beachten, dass aufgrund windstillen Nächten die Rotoren sich nicht immer drehen, wenn die Anlage in Betrieb war, sondern nur während 31 % statt 50 % der gesamten Aufnahmedauer. Es dürfen daher nur die Werte für die Zahl an Flugbahnen pro 20-s-Intervall vergleichend betrachtet werden, nicht die Rohdaten für die Zahl an Flugbahnen vor der Korrektur für windstille Nächte mit stillstehendem Rotor trotz offiziellem Betrieb. Hierbei ergeben sich nur für KWEA 4, an der die meiste Aktivität festgestellt wurde, und KWEA 11, deutlich höhere Fledermausaktivitäten bei stehendem statt drehendem Rotor. Allerdings ergibt sich über alle Anlagen summiert betrachtet kein signifikanter Unterschied in der gesamten Fledermausaktivität zwischen den Betriebszuständen, dies gilt auch, wenn die häufigsten Arten (Zwergfledermaus, Rauhaufledermaus) und Artengruppen („Nyctaloide“) getrennt betrachtet werden (Wilcoxon-Rangsummentest, alle p-Werte >0,05).

Tabelle 23: Anzahl der registrierten 20-Sekunden-Intervalle und identifizierten Fledermausflugbahnen an den untersuchten KWEA in Abhängigkeit des Betriebs der KWEA.

	Betrieb	1	2	4	8	9	11	12	13	14	Gesamt
20-s-Intervalle	an	2.104	933	1.163	24	4.200	2.664	4.396	2.874	79	18.437
	aus	4.440	1.897	3.150	6.295	4.628	3.936	4.830	3.184	7.530	39.890
20-s-Intervalle mit Flugbahnen	an	24	20	31	0	37	20	85	35	1	253
	aus	69	48	198	18	39	61	120	41	99	693
Davon vermessen	an	10	8	16	0	26		49	21	1	131
	aus	23	35	89	10	33		83	33	62	368
Gesamte Flugbahnen pro 1000 20-s-Intervallen	an	11,4	21,4	26,7	0	8,8	7,5	19,3	12,2	12,7	13,7
	aus	15,5	25,8	63,2	2,9	8,9	15,5	24,8	12,9	13,1	17,4

Um festzustellen, ob Fledermäuse ein räumlich differenziertes Meideverhalten zeigen, wurde die maximale Annäherung der ermittelten Flugbahnen in Abhängigkeit des Betriebszustands unter der Berücksichtigung von Windgeschwindigkeit und Temperatur analysiert (Tabelle 24). Auch hier hat der Betriebszustand der KWEA keinen signifikant nachweisbaren Einfluss auf das räumliche Flugverhalten der Fledermäuse, die sich sowohl bei stillstehendem als auch drehendem Rotor hauptsächlich in 13 bis 18 m Abstand zur Gondelmitte aufhielten (Abbildung 41 und Abbildung 42). Neben dem Betriebszustand der KWEA zeigten auch die Temperatur und die Windgeschwindigkeit keinen Einfluss auf die maximale Annäherung an die Gondelmitte, welche durch den engen betrachteten Winkel stark mit der Flughöhe der Fledermäuse korreliert.

Um zu untersuchen, ob sich das Flugverhalten von Fledermäusen im Nahbereich des Rotors unterschied, wurden die Aufnahmen von 41 Fledermausflugbahnen im Nahbereich um den Rotor (bis Distanz 10 m) manuell gesichtet und das Verhalten der Tiere an den sich drehenden bzw. stehenden Rotoren beurteilt. Von 41 Flugbahnen im Gondelbereich wurden lediglich fünf bei drehenden Rotoren verzeichnet. In 36 Fällen näherten sich Fledermäuse der Gondel bei still stehenden Rotoren, jedoch muss beachtet werden, dass es deutlich mehr Zeiten gab, zu denen der Rotor während der optischen Erfassungen still stand (69 % vs. 31 % des Aufnahmezeitraums). Explorationsverhalten an der KWEA durch Fledermäuse oder ein gezieltes Anfliegen der KWEA wurde nicht beobachtet. Bei allen Flugbahnen handelte es sich um gerichtete Flugbewegungen ohne auffällige Reaktionen auf die KWEA.

Tabelle 24: Distanz zur Gondel (m) der ermittelten Flugbahnen in Abhängigkeit des Betriebszustands unter der Berücksichtigung von Windgeschwindigkeit und Temperatur.

Abhängige Variable	Erklärende Variable	Regressionskoeffizient	95 % Unsicherheitsintervall	Freiheitsgrade	P-Wert
Alle Arten	Wind	-0,16	-0,59 - 0,27	15,1	0,487
	Temperatur	0,24	-0,16 - 0,63	28,6	0,245
	Betrieb aus	0,25	-0,46 - 0,95	133,2	0,503

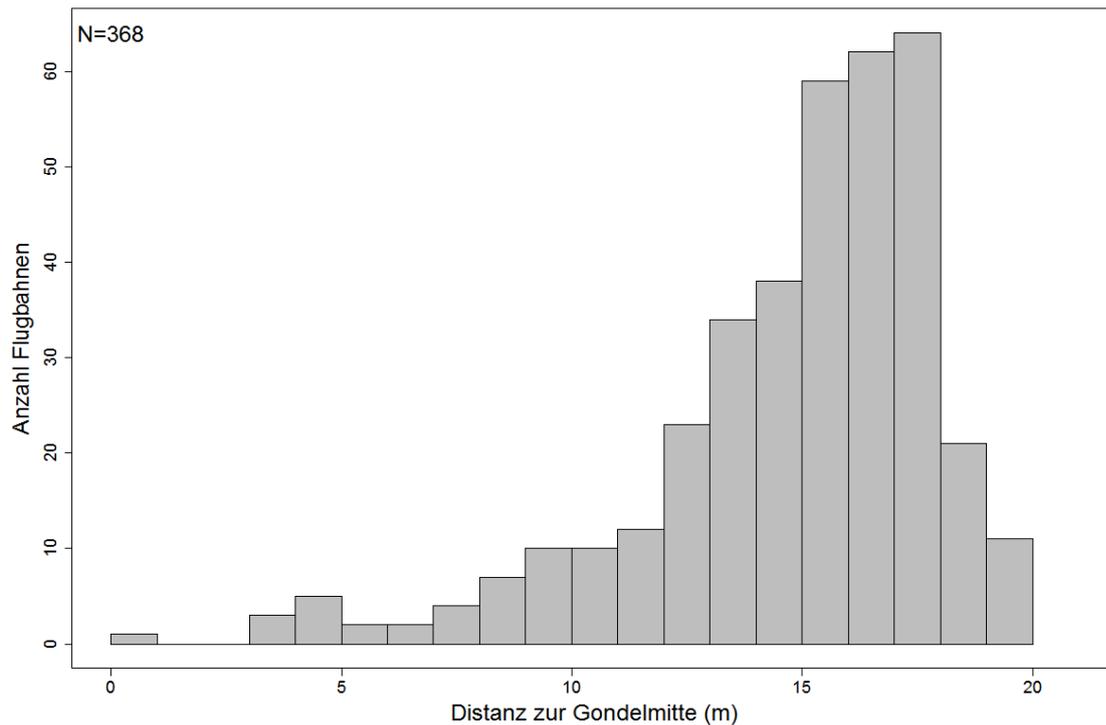


Abbildung 42: Anzahl der Flugbahnen aufgetragen nach Distanz zur Gondelmitte bei KWEA „außer Betrieb“.

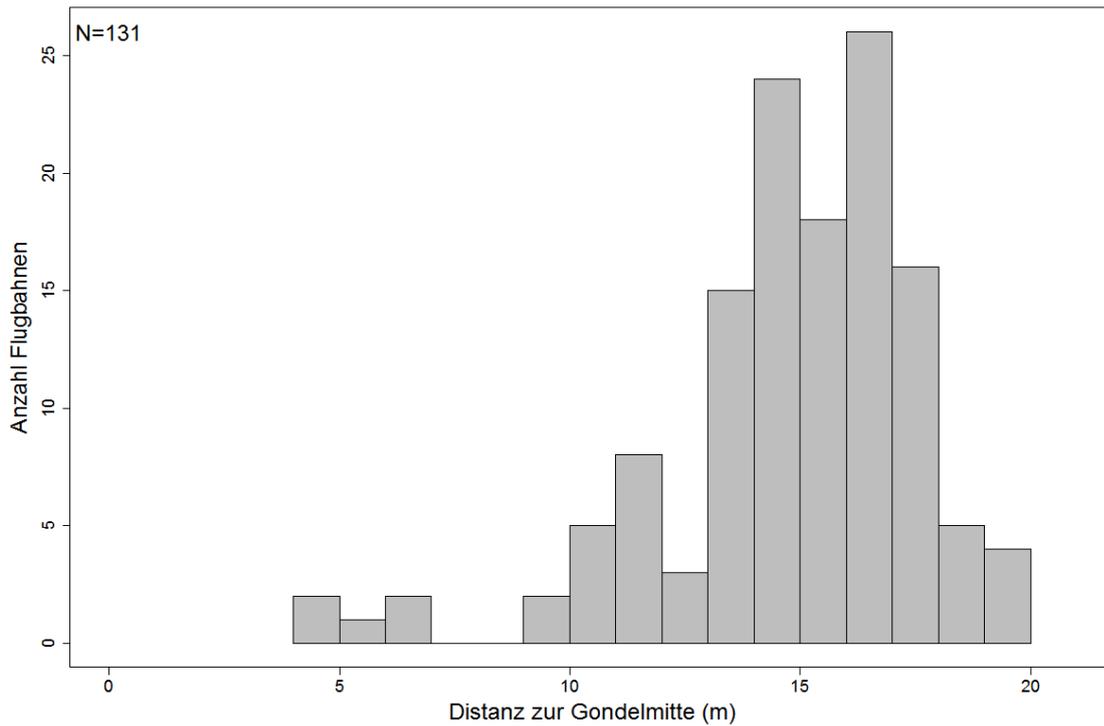


Abbildung 43: Anzahl der Flugbahnen aufgetragen nach Distanz zur Gondelmitte bei KWEA „in Betrieb“.

Die Auswertung der akustischen Rufaufnahmen in Abhängigkeit zum Betrieb der KWEA bestätigte das Bild, das sich durch das stereo-optische Verfahren ergab (Tabelle 25). Die akustische Fledermausaktivität unterschied sich statistisch nicht zwischen KWEA, deren Rotoren sich drehten zu KWEA, deren Rotoren still standen. Der Zusammenhang zwischen der akustischen Aktivität und den meteorologischen Bedingungen Windgeschwindigkeit und Temperatur konnte bestätigt werden. Über alle Arten betrachtet steigt die Fledermausaktivität mit zunehmenden Temperaturen und abnehmenden Windgeschwindigkeiten.

Tabelle 25. Akustische Aktivität in Abhängigkeit des Betriebszustands unter Berücksichtigung von Windgeschwindigkeit und Temperatur.

Abhängige Variable	Erklärende Variable	Regressionskoeffizient	95 % Unsicherheitsintervall	Freiheitsgrade	P-Wert
Alle Arten	Wind	-0,12	-0,18 - -0,07	79,6	< 0,001
	Temperatur	0,26	0,21 - 0,31	88,9	< 0,001
	Betrieb aus	0,05	-0,04 - 0,13	1481,1	0,299
Zwergfledermaus	Wind	-0,02	-0,04 - 0,00	80,2	0,046
	Temperatur	-0,01	-0,03 - 0,01	90,4	0,355
	Betrieb aus	0,01	-0,02 - 0,04	1483,1	0,418
Rauhautfledermaus	Wind	-0,09	-0,13 - -0,05	80,0	< 0,001
	Temperatur	0,02	-0,02 - 0,06	88,2	0,258
	Betrieb aus	-0,01	-0,07 - 0,06	1482,2	0,916
Artengruppe „Nyctaloide“	Wind	-0,04	-0,09 - 0,02	127,7	0,186
	Temperatur	0,34	0,29 - 0,40	154,2	< 0,001
	Betrieb aus	0,03	-0,04 - 0,10	1477,9	0,485

3.3. Ermittlung der Schlagopferraten (Vögel und Fledermäuse)

3.3.1. Schlagopferfunde

Die gleichzeitig durchgeführte systematische Schlagopfersuche von Vögeln und Fledermäusen in einem Umkreis von 20 m um die KWEA ergab eine Auffindung von insgesamt 22 Vogelkadavern bzw. Überresten von Vögeln (Tabelle 26). Fledermäuse wurden dagegen während der gesamten Untersuchungszeit nicht gefunden.

Nicht bei jedem gefundenen Kadaver im Umfeld einer KWEA handelte es sich sicher um ein Schlagopfer. Bei mehreren Kadavern erschien eine andere Todesursache wahrscheinlicher, wie die Kollision mit Drähten oder Glasflächen. Darüber hinaus dürften einige Kadaver auch durch Prädatoren in die Umgebung der KWEA eingetragen worden sein. So wurden in vier Fällen lediglich einige Federreste gefunden, sodass eine Todesursache nicht eindeutig zugeordnet werden konnte. In vier anderen Fällen handelte es sich eindeutig um Überreste gerupfter Vögel, die wahrscheinlich in das Suchfeld getragen worden waren.

Tabelle 26: Funde von Kadavern an den 15 untersuchten KWEA-Standorten zwischen Juli 2015 und Juli 2017 nach Vogelarten sortiert und deren Bewertung als Schlagopfer – sichere Schlagopfer sind orange hervorgehoben.

Datum	KWEA	Art	Alter	Zustand	Todeszeitpunkt	Bemerkungen	Schlagopfer
27.03.2017	13	Turmfalke	undefiniert	versehrt	unbekannt	Zerfallener Kadaver mit Schwedischem Ring	ja
25.05.2017	10	Ringeltaube	undefiniert	versehrt	unbekannt	nur Flügel und Brustbein, Steuerfedern auf Fläche verteilt	unsicher
14.08.2016	1	Straßentaube	juvenil	teilweise versehrt	2 - 3 Tage	Rupfung	nein
02.10.2015	10	Bachstelze	adult	teilweise versehrt	letzter Tag	vom Vortag, Genickbruch und offene Wunde im Brustbereich	ja
23.06.2016	12	Amsel	juvenil	frisch	letzter Tag	offenbar Scheibenanflug an abgestellten Traktor	nein
24.03.2017	4	Amsel	undefiniert	versehrt	2 - 3 Tage	Rupfung durch Greifvogel, kein Schlagopfer	nein
03.04.2017	9	Amsel	adult	versehrt	unbekannt	Für Ermittlung der Abtrag-rate ausgelegt, verschleppt	nein
30.10.2015	11	Dohle	undefiniert	frisch	letzter Tag	Augen eingetrocknet, Blut aus Schnabel	ja
16.03.2016	9	Dohle				Rupfung	unsicher
04.04.2016	11	Dohle	adult	teilweise versehrt	4 - 7 Tage	Kopf abgetrennt (liegt 2,60 m / N von Anlage entfernt).	ja
10.05.2017	11	Dohle	adult	teilweise versehrt	4 - 7 Tage		ja
09.08.2016	8	Rabenkrähe	undefiniert	teilweise versehrt	4 - 7 Tage	Genick gebrochen? Kopf lag am Boden um 180° gedreht.	ja
10.07.2015	4	Star	juvenil	frisch	letzter Tag	Genick gebrochen, Schafdraht in 4m Entfernung	nein
25.09.2015	8	Star	adult	frisch	letzter Tag	Vogel noch nicht steif	ja
08.03.2017	8	Star	undefiniert	versehrt	unbekannt		unsicher
13.01.2017	4	Stieglitz	adult	teilweise versehrt	2 - 3 Tage		ja
18.08.2016	5	Fink unbest.	undefiniert	versehrt	unbekannt	Federkiele an den Schwingen, wahrsch. flügger Juv., Rupfung	nein
18.08.2015	13	unbekannt	undefiniert	versehrt	unbekannt	zwei Flügelreste ohne Körper	unsicher

Datum	KWEA	Art	Alter	Zustand	Todeszeitpunkt	Bemerkungen	Schlagopfer
15.07.2016	8	unbekannt	undefiniert	versehrt	unbekannt	zwei Flügelreste ohne Körper	unsicher
17.10.2016	5	unbekannt	undefiniert	versehrt	unbekannt	zwei Flügelreste ohne Körper	unsicher
31.10.2016	12	unbekannt	undefiniert	versehrt	2 - 3 Tage	Rupfung, Säuger, Daunenfedern	unsicher
19.01.2017	5	unbekannt	undefiniert	versehrt	unbekannt	Federreste	nein

Es konnten insgesamt sieben Kadaver mit Sicherheit als Schlagopfer ausgeschlossen werden. Bei sieben weiteren Funden war eine sichere Zuordnung nicht möglich. Es liegen somit acht sichere Schlagopferfunde vor, die für die Hochrechnung der tatsächlichen Opferzahl maßgeblich waren.

Die acht Schlagopfer setzten sich aus sechs Arten zusammen, jeweils einmal Bachstelze, Rabenkrähe, Star, Stieglitz und Turmfalke, sowie dreimal Dohle.

Der Star gilt deutschlandweit als gefährdet (Grüneberg et al. 2015). Die Dohle wird in Schleswig-Holstein in der Roten Liste auf der Vorwarnliste geführt wird (Knief et al. 2010). Alle anderen Arten gelten landes- und bundesweit als ungefährdet.

3.3.2. Ermittlung der täglichen Verbleiberate

Die geschätzte durchschnittliche tägliche Verbleiberate an allen Standorten betrug 0,906. Das bedeutet, dass ein Kadaver mit einer Wahrscheinlichkeit von 90,6 % auch am nächsten Tag noch vorhanden sein würde. Die ausgelegten Kadaver verblieben durchschnittlich 10,2 Tage an den Standorten. Dabei variierte die geschätzte mittlere Verbleibezeit zwischen 5,5 Tagen am Standort 15 – Friedrichsfeld II und 36,3 Tagen am Standort 6 – Satrup (Abbildung 44).

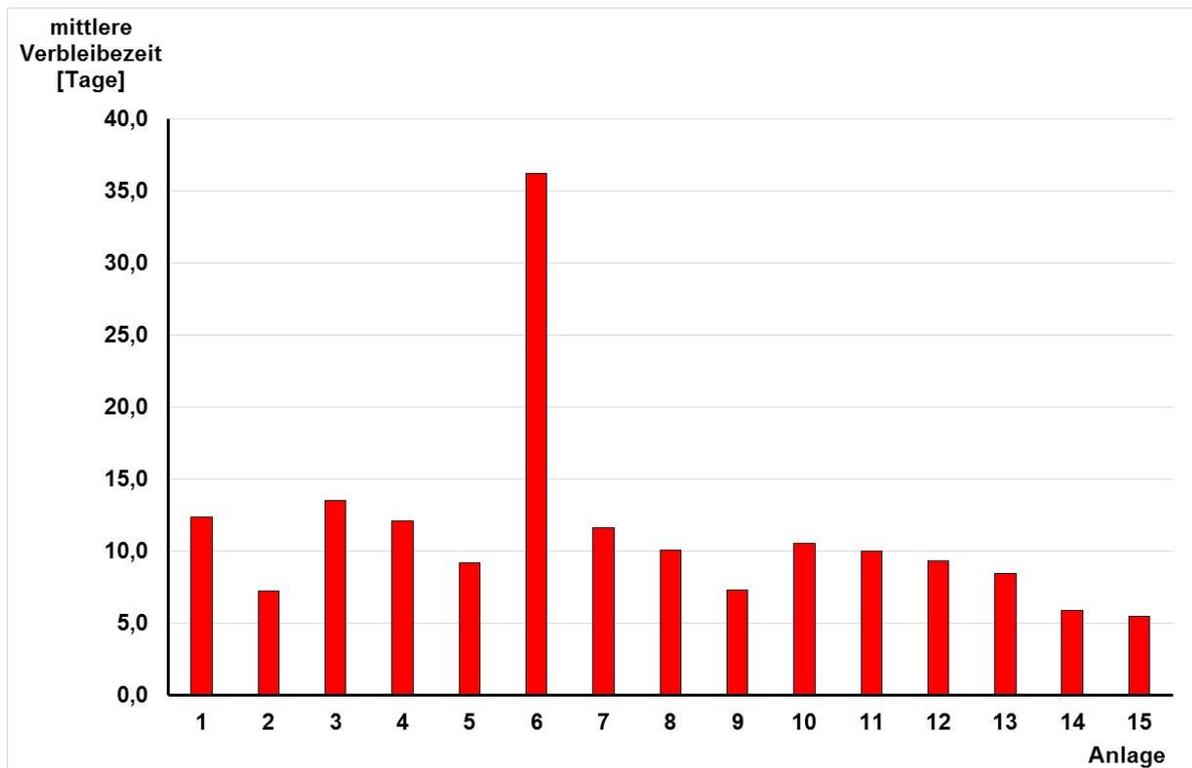


Abbildung 44: Geschätzte mittlere Verbleibezeit von Kadavern an den 15 KWEA-Standorten. Es wurden jeweils zwei bis drei Kadaver pro Anlage und Durchgang ausgelegt (n = 203).

3.3.3. Ermittlung der Sucheﬃzienz

Die mittlere Sucheﬃzienz (geschätzte Wahrscheinlichkeit, dass ein ausgelegter Kadaver gefunden wird) bezogen auf alle suchenden Personen und Vegetationsklassen betrug 0,55. Damit wurde etwas mehr als die Hälfte der ausgelegten Kadaver gefunden. Dieser Wert wurde für die weiteren Berechnungen zugrunde gelegt.

Die Sucheﬃzienz unterschied sich je nach Größe der ausgelegten Kadaver (Tabelle 27). Dazu wurden die ausgelegten Kadaver in Kategorien eingeteilt: Vögel bis zur Sperlingsgröße wurden in die Kategorie „Kleine Vögel“ eingeteilt - größere Vögel, wie z. B. Drosseln oder Stare in die Kategorie „Mittlere Vögel“. Große Vögel, wie Tauben oder Rabenvögel wurden für die Ermittlung der Sucheﬃzienz nicht ausgebracht. Die ausgelegten Farbmäuse erhielten die Kategorie „Maus“. Die Sucheﬃzienz für kleine Vögel war durchschnittlich, für Farbmäuse lag sie dagegen unter dem Durchschnitt. Somit dürfte auch die Sucheﬃzienz für Fledermäuse geringer gewesen sein, als für kleine Vögel.

Tabelle 27: Ermittelte Sucheﬃzienz für drei verschiedene Kadaverklassen.

	Sucheﬃzienz f	Konfidenzintervall 95%
Maus	0,4464077	0,3315945 – 0,5627806
Kleiner Vogel	0,5518860	0,4579661 – 0,6474389
Mittlerer Vogel	0,6914623	0,5548115 – 0,8078705

Die Vegetationshöhe hatte ebenfalls einen großen Einfluss auf die Sucheﬃzienz (Tabelle 28). Während auf offenen Böden und in kurzer Vegetation mehr als 60 % aller Kadaver gefunden wurden, sank die Wiederfundwahrscheinlichkeit in hoher Vegetation auf unter 50 %.

Tabelle 28: Ermittelte Sucheﬃzienz für drei unterschiedliche Vegetationshöhen.

	Sucheﬃzienz f	Konfidenzintervall 95 %
oﬀen	0,6951412	0,4956818 – 0,8647956
bewachsen	0,6050375	0,5009059 – 0,7020524
Stark überwachsen	0,4810867	0,3850485 – 0,5797454

Aus Sucheﬃzienz und Verbleiberate errechnet sich mit der Funktion „pkorner“ des R-Paketes „carcass“ die Entdeckungswahrscheinlichkeit für ein Schlagopfer. Dieser Wert beträgt durchschnittlich für alle Anlagen 0,36, das bedeutet, dass etwas mehr als ein Drittel der Schlagopfer auch tatsächlich gefunden wurde.

3.3.4. Hochrechnung der Schlagopfer - Vögel

In die Hochrechnung der tatsächlichen Schlagopferzahl ﬂießen neben der Verbleiberate (s) und der Sucheﬃzienz (f) noch die Anzahl der Schlagopfersuchen (n = 1476), das Suchintervall (alle 7 Tage, d = 7) und der Anteil der absuchbaren Fläche (a) in die Berechnung ein. Durchschnittlich konnte nur etwa 70 % des Suchradius tatsächlich nach Schlagopfern abgesucht werden (a = 0,7).

Die Hochrechnung mittels der Funktion „estimateN“ auf Basis der acht sicheren Schlagopferfunde ergab eine mittlere Schlagopferzahl von 24 (Konfidenzintervall 95 % 13 - 43) während des Untersuchungszeitraumes von Juli 2015 bis Ende Juli 2017. Bezieht man die Schlagopferzahl auf den Untersuchungszeitraum von 25 Monaten, ergibt dies eine jährliche Schlagopferzahl für Vögel von 0,82 pro KWEA. Es kann also davon ausgegangen werden, dass jährlich etwa ein Vogel pro KWEA verunglückte.

Werden die unsicheren Schlagopfer hinzugezogen, ergibt die Hochrechnung für 15 gefundene Schlagopfer eine tatsächliche Schlagopferzahl von 43 (Konfidenzintervall 95 % 27 - 70), also fast eine Verdoppelung.

Da nicht an allen Anlagenstandorten Schlagopfer gefunden wurden, wurde für jede Anlage, unter Einbeziehung der spezifischen Verbleiberate, der individuellen Sucheﬃzienz des Bearbeiters und des jeweiligen Anteils der absuchbaren Fläche, eine Schlagopferzahl hochgerechnet (Tabelle 29).

Tabelle 29: Berechnung der Fundwahrscheinlichkeit und Anzahl tatsächlicher Schlagopfer je Anlage. Grau unterlegt die hochgerechnete Anzahl von Schlagopfern. Berechnungsgrundlage ist die Zahl der sicheren Schlagopfer.

Standort	Anzahl Schlagopfersuchen	Anteil absuchbare Fläche (a)	Entdeckungswahrscheinlichkeit	geschätzte Schlagopferzahl	Konfidenzintervall 95 %	tatsächliche Funde
1	105	0,8	0,45	1	0 – 6	0
2	105	0,7	0,30	2	0 – 15	0
3	105	0,9	0,53	0	0 – 6	0
4	106	0,6	0,26	6	1 – 28	1
5	106	0,7	0,28	2	0 – 16	0
6	79	0,8	0,55	0	0 – 5	0
7	106	0,7	0,45	1	0 – 7	0
8	106	0,5	0,21	12	3 – 47	2
9	106	0,6	0,31	1	0 – 12	0
10	105	0,6	0,37	4	1 – 15	1
11	106	0,8	0,48	7	3 – 19	3
12	105	0,4	0,20	3	0 – 20	0
13	106	0,7	0,26	6	1 – 32	1
14	106	0,5	0,14	4	0 – 41	0
15	24	0,7	0,17	4	0 – 54	0

Die anlagenspezifische Berechnung der Schlagopferzahlen ergibt eine andere Verteilung der Schlagopfer als die tatsächlichen Funde. Aufgrund der geringen Sucheffizienz, der kleinen absuchbaren Fläche sowie der geringen Verbleiberate liegt die hochgerechnete Schlagopferzahl am Standort 8 - Husum mit 12 Opfern am höchsten. Dagegen liegt der Standort 11 – Arlewatt mit hochgerechneten 7 Opfern an zweiter Stelle, trotz der drei gefundenen Opfer.

3.3.5. Erklärungsmodelle für Schlagopferzahlen von Vögeln

Zunächst wurde der Zusammenhang zwischen den hochgerechneten Schlagopferzahlen pro Anlage und den Anzahlen der gefährlichen Flugbewegungen (Flüge mit einem seitlichen Abstand von 10 m und einem horizontalen Abstand von 5 m zur Nabe; Kap. 3.1.3) ermittelt. Zwischen diesen beiden Werten gab es keinen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,98$) (Abbildung 45). Daraus kann gefolgert werden, dass die Anzahl gefährlich naher Vorbeiflüge von Vögeln allein nicht für eine hohe Schlagopferzahl verantwortlich sind, sondern weitere Faktoren berücksichtigt werden müssen, wie z. B. die Habitatausstattung in der unmittelbaren Umgebung der KWEA.

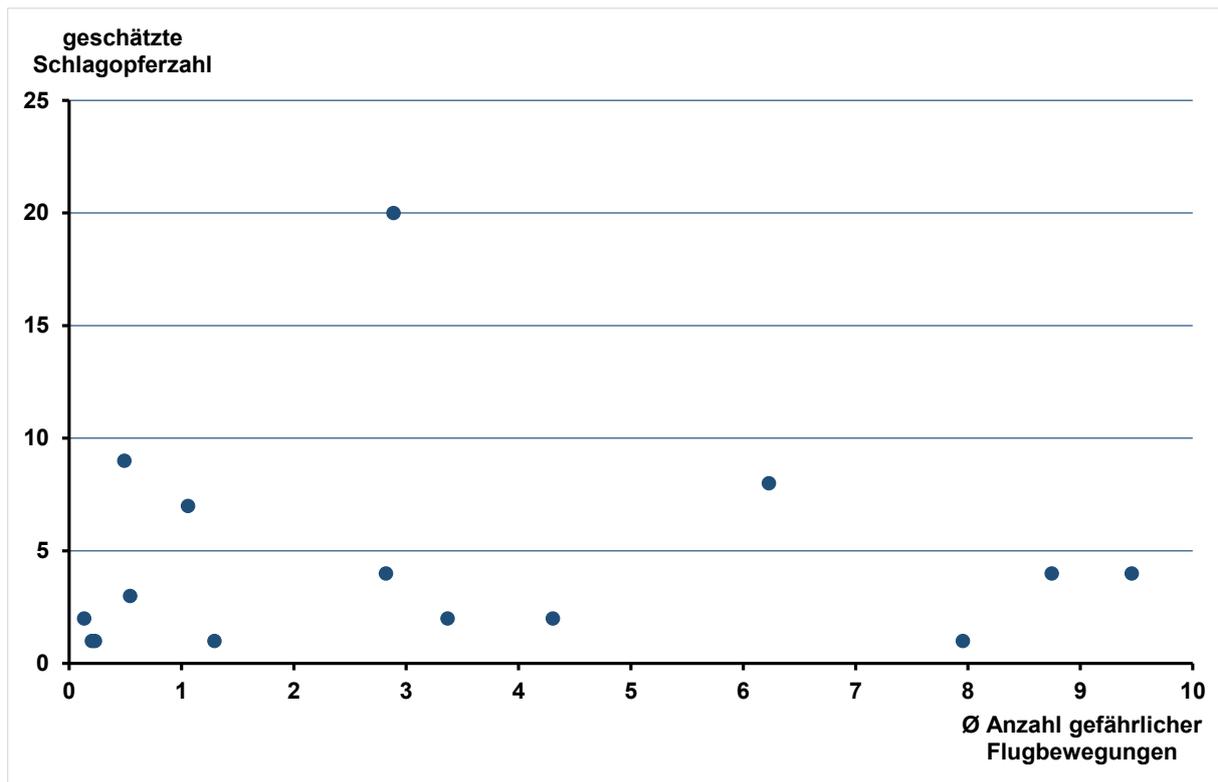


Abbildung 45: Zusammenhang zwischen der Zahl gefährlicher Flugbewegungen und den tatsächlichen Schlagopfern an den untersuchten KWEA.

Zwischen der hochgerechneten Schlagopferzahl und der Habitatausstattung im Umkreis um die jeweilige KWEA bestand dagegen ein Zusammenhang. Der Achsenabschnitt β_0 misst die mittlere logarithmierte tägliche Mortalitätsrate für eine (hypothetische) Anlage, die nicht in der Weide steht (Weide = 0) und in allen anderen Umweltparametern einen mittleren Wert besitzt, je einmal für Anlagen mit und ohne Vogelschutz (Tabelle 30). Umgerechnet misst das Modell für die erwähnte hypothetische Anlage mit Vogelschutz eine tägliche mittlere Schlagrate von 0,00519. Das macht in einem Monat (30 Tage) im Durchschnitt 0,15563 Kollisionen pro Anlage. Ohne Vogelschutz beträgt die mittlere tägliche Schlagrate $3,4 \times 10^{-4}$, bzw. 0,01011 pro Monat. Anlagen ohne Vogelschutz haben eine deutlich niedrigere Schlagrate als Anlagen mit Vogelschutz. An Anlagen ohne Vogelschutz betrug die Schlagrate im Durchschnitt nur 7,2 % (95 % Unsicherheitsintervall: 0,3 – 94,1 %) der Schlagrate an Anlagen mit Vogelschutz.

Anlagen mit Weiden (Weide = 1) haben durchschnittlich nur 28,4 % der Mortalität im Vergleich zu Anlagen ohne Weide. Allerdings ist die Unsicherheit hier sehr groß, denn das 95 % Unsicherheitsintervall reicht von 1,7 % bis 414,6 %. Garten- und Grünlandflächen zeigten dagegen keinen Zusammenhang mit der Mortalitätsrate (Abbildung 46). Hingegen zeigt sich, dass die Mortalitätsrate sinkt, je weiter die Anlage von Gebäude, Hecken oder vom Hof entfernt steht (Abbildung 46).

Tabelle 30: Schätzung der Modellparameter für das Modell, das an die sicheren Schlagopfer (n = 8) angepasst wurde. Angegeben sind der Mittelwert, die Standardabweichung und fünf verschiedene Quantile der A-posteriori Verteilung. Die Standardabweichung der A-posteriori Verteilung ist der Standardfehler der Parameterschätzung. Der Rhat-Wert vergleicht die Zwischen-Ketten mit der Inner-Ketten Varianz der Markov-Ketten. Rhat-Werte größer als 1,1 zeigen Nicht-Konvergieren der Ketten an. n.eff ist die Anzahl unabhängiger Simulationenwerte, die zur Beschreibung der A-posteriori Verteilung zur Verfügung stehen. n.eff Werte von weniger als 1000 bedeuten, dass die A-posteriori Verteilung ungenau beschrieben ist. $\beta_{0[1]}$ = Achsenabschnitt für Anlagen mit Vogelschutz, $\beta_{0[2]}$ = Achsenabschnitt für Anlagen ohne Vogelschutz, β_1 = Weide, β_2 = Gartenfläche, β_3 = Grünland, β_4 = Distanz zum viehhaltenden Hof, β_5 = Distanz zu Hecke/Knick, β_6 = Distanz zu Gebäuden

	mean	sd	2,5%	25%	50%	75%	97,5%	Rhat	n.eff
$\beta_{0[1]}$	-5,26	1,20	-7,76	-6,03	-5,23	-4,45	-2,99	1	5100
$\beta_{0[2]}$	-8,00	1,22	-10,66	-8,75	-7,90	-7,14	-5,86	1	9700
β_1	-1,26	1,39	-4,10	-2,15	-1,23	-0,35	1,42	1	7700
β_2	-0,07	0,57	-1,35	-0,42	-0,02	0,33	0,91	1	5200
β_3	0,09	0,97	-1,64	-0,58	0,02	0,69	2,20	1	6100
β_4	-0,96	0,59	-2,23	-1,33	-0,93	-0,55	0,11	1	48000
β_5	-1,56	1,06	-3,83	-2,23	-1,49	-0,82	0,32	1	20000
β_6	-0,51	0,52	-1,66	-0,81	-0,46	-0,15	0,38	1	9300

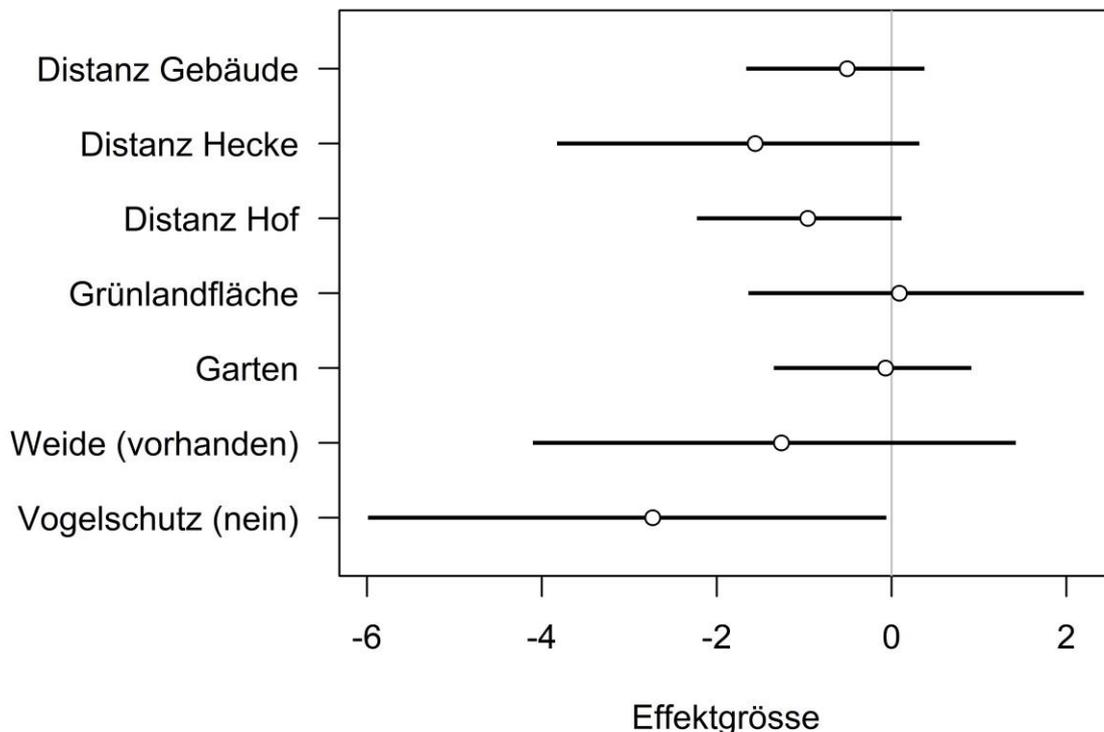


Abbildung 46: Effektgrößen mit 95% Unsicherheitsintervallen für das Modell, das an die 8 sicheren Schlagopferfunde angepasst wurde.

Damit für eine neue Anlage, aufgrund der Umweltvariablen und dem in dieser Arbeit entwickelten Modell die Mortalitätsrate vorhergesagt werden kann, müssen die Umweltvariablen wie in dieser Arbeit transformiert werden. Das beinhaltet folgende Schritte:

1. Addiere zur Gartenfläche eine 1
2. logarithmiere alle gemessenen Variablen (Gartenfläche+1, Grünlandfläche, Distanz zum Hof, Distanz zur Hecke, Distanz zum Gebäude).
3. Ziehe von jeder logarithmierten Variable den in Tabelle 6 angegebenen Mittelwert ab.
4. Teile jede Variable durch die in Tabelle 6 angegebene Standardabweichung.
5. Die resultierenden Werte für die Umweltvariablen werden mit den Modellkoeffizienten multipliziert und in die lineare Gleichung (Kap.2.5.2) für den Logarithmus der täglichen Mortalitätsrate eingesetzt und berechnet. Der Achsenabschnitt wird entsprechend dem Vorhandensein von Vogelschutz ausgewählt und β_1 wird hinzugefügt, wenn Weide vorhanden ist (Tabelle 30). Wenn keine Weide vorhanden ist, wird β_1 in der Gleichung weggelassen. Ein Berechnungsbeispiel findet sich in Kap. 5.
6. Das Resultat entspricht der logarithmierten täglichen Mortalitätsrate. Es wird exponiert, um die tägliche Mortalitätsrate (Einheit „Individuen“) zu erhalten.

Das in dieser Arbeit entwickelte Modell wurde in einer Excel Kalkulationstabelle zusammengefasst und kann in der Praxis verwendet werden. Die Datei ist beim Michael-Otto-Institut im NABU (michael-otto-institut@nabu.de) erhältlich.

3.3.6. Hochrechnung der Schlagopfer – Fledermäuse

Es wurden keine Fledermäuse als Schlagopfer gefunden. Bei Berücksichtigung von Verbleiberate und Sucheffizienz bedeutet dies jedoch nicht, dass es nicht zu Schlagopfern an den Anlagen gekommen sein kann.

Die Grundlagen für die Hochrechnung bilden hier die Verbleiberate und die Sucheffizienz für die ausgelegten Farbmäuse. Die tägliche Verbleiberate betrug 0,8273945 (Konfidenzintervall 95 % 0,7810703 – 0,8641697). Die Farbmäuse verblieben durchschnittlich 5,3 Tage an den Anlagen. Die durchschnittliche Sucheffizienz betrug 0,5815841 (Konfidenzintervall 95 % 0,4913816 – 0,6652777). Daraus errechnet sich eine Fundwahrscheinlichkeit für ein Schlagopfer von 0,3290514. Bei der Anzahl von Schlagopfersuchen ($n = 738$), dem Suchintervall (alle 7 Tage, $d = 7$) und dem Anteil der absuchbaren Fläche ($a = 0,7$) ergibt sich eine hochgerechnete Fledermaus-Schlagopferzahl für den gesamten Untersuchungszeitraum von 2 (Konfidenzintervall 95 % 0 – 14). Bezogen auf den Untersuchungszeitraum von 17 Monaten (Aktivitätszeitraum der Fledermäuse), ergibt dies eine hochgerechnete Schlagopferzahl für Fledermäuse von jährlich 1,06 für alle untersuchten KWEA. Für jede einzelne KWEA wären dies 0,08 Schlagopfer pro Jahr.

4. Diskussion

4.1. Auftreten, Verhalten und Mortalität von Vögeln an KWEA

4.1.1. Artenspektrum

Die Standorte von KWEA befinden sich an den Rändern von Dörfern und in der Nähe einzelner liegender Gehöfte. Deshalb entspricht das vorgefundene Artenspektrum etwa dem typischen Artenspektrum, das in ländlichen Dörfern und Gärten in Norddeutschland zu erwarten wäre (Flade 1994). Daneben finden sich noch Arten der halboffenen Feldlandschaft mit Knicks und Feldgehölzen. Insgesamt dürfte das Artenspektrum für KWEA Standorte in weiten Teilen Deutschlands repräsentativ sein.

Arten, die im allgemeinen Fokus der Problematik Windkraft und Vögel stehen, wie Greifvögel, Limikolen und Gänse, wurden dagegen seltener beobachtet. Nur 0,6 % der beobachteten Individuen waren Greifvögel. Nichtsingvögel machten einen Anteil von 31,1 % am Gesamtartenspektrum aus. Eine Ausnahme bildete lediglich die Weißwangengans, mit der zweithöchsten Individuenzahl. Diese Art trat fast nur am Standort 3 (Drage-Feddersdeich) auf, wo große Gänsetrupps rasteten, die bei Störungen auch in der Umgebung der KWEA umherflogen. Es handelte sich hier um ein einzeln stehendes Gehöft an einem traditionellen Rastgebiet für Gänse im strukturarmen Marschengrünland in unmittelbarer Umgebung zum Fluss Eider.

Insgesamt scheint das Artenspektrum unserer Untersuchungen mit den Ergebnissen anderer Studien aus Norddeutschland übereinzustimmen (Grünkorn et al. 2016), wo auch Stare eine der am häufigsten beobachteten Vogelarten waren.

4.1.2. Meideverhalten

Das Meideverhalten von Vögeln in Folge von Störungen durch WEA kann sich in verschiedener Weise äußern. Vögel halten einen größeren Abstand zu den WEA ein und nutzen die Umgebung nicht mehr zur Rast, Nahrungssuche oder zur Brut. WEA können auch als Barrieren wirken, die Vögel zum Ausweichen während ihres Fluges veranlassen. Dabei ist die Reaktion von Art zu Art unterschiedlich. Vor allem Entenvögel, Watvögel und Möwen weichen WEA aus (Hötker 2017) (im Folgenden als negative Reaktion bezeichnet). Auch Singvogelarten der offenen Kulturlandschaft, wie das Braunkehlchen, reagieren negativ auf das Vorhandensein von WEA. Daneben gibt es aber auch scheinbar positiv reagierende Arten, wie Schilfrohrsänger oder Rohrhammern (Hötker et al. 2005). Hierbei handelt es sich jedoch um indirekte Effekte, die dadurch entstanden, dass beim Bau von Zuwegungen Gräben ausgehoben wurden, die verschifften und so den genannten Arten Lebensräume boten.

Aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Höhe kann angenommen werden, dass KWEA weniger Verdrängungseffekte aufweisen als große WEA. So überragen KWEA umgebende Gebäude bzw. Bäume kaum. Trotzdem wäre es denkbar, dass beispielweise der unmittelbare KWEA-Standort als Nahrungshabitat verloren geht oder die direkte Umgebung als Bruthabitat ausfällt. Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen anhand von 11 Vogelarten (vgl. Kapitel 3.1.4) wurde insgesamt keine Meidung durch die KWEA ermittelt. Lediglich bei fliegenden Sturmmöwen wurde ein Verdrängungseffekt der KWEA signifikant bestätigt. Bei den anderen untersuchten Arten hatten KWEA keinen bzw. sogar einen signifikant positiven Effekt auf das Vorkommen der Arten. Das heißt, dass diese scheinbar von KWEA angezogen wurden. Diese Ergebnisse decken sich mit der einzigen bisher vorhandenen Studie an KWEA (Minderman et al. 2012), in der insgesamt ebenfalls kein Meidungseffekt an KWEA festgestellt wurde.

Für die Arten, die von KWEA offensichtlich angezogen wurden (Haussperling, Feldsperling und Amsel im Sommer), ist es aber eher wahrscheinlich, dass die mit dem Standort verbundene Habitatausstattung auslösender Effekt ist. So handelte es sich bei den KWEA Flächen häufig um vergleichsweise extensiv genutzte Wiesen und Weiden in der Nähe von Gebäuden. Außerdem war die landwirtschaftliche Bearbeitung unmittelbar unter und in einem Bereich von

etwa 10 – 20 m um die Anlage kaum, oder nur eingeschränkt möglich, sodass sich hier Altgrasbestände oder Ruderalfluren entwickelten, die Vögel Nahrung bieten konnten.

Das Vorkommen von Brutvögeln wurde durch die KWEA ebenfalls nicht signifikant negativ beeinflusst. Ein negativer Einfluss von WEA auf die Verteilung von Brutvögeln wurde zuvor bei typischen Offenlandvogelarten nachgewiesen (siehe zum Beispiel Pearce-Higgins et al. 2009). Da die untersuchten KWEA Standorte dieser Untersuchungen am Rande von Siedlungen und in strukturierter Kulturlandschaft lagen, war ein größeres Vorkommen von Offenlandarten auch eher nicht zu erwarten. Vielmehr war das Vorhandensein von Knicks und Gehölzen für Gebüschbrüter und Gebäude für Siedlungsvögel ausschlaggebend.

Grundsätzlich steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Vogel an einer KWEA verunglückt, mit einer starken Annäherung an den Rotor der Anlage. Insgesamt 4,3 % aller beobachteten Flugbewegungen an KWEA führten durch einen Bereich mit einem seitlichen Abstand von 10 m und einen horizontalen Abstand von 5 m zur Nabe. Zu diesem Bereich durchfliegenden Arten gehörten auch Greifvögel, wie Turmfalke, Mäusebussard und Sperber. Turmfalke und Sperber nutzten wahrscheinlich das Vorkommen von Kleinvögeln in Siedlungsnähe, wobei ein Turmfalke tatsächlich als Schlagopfer nachgewiesen werden konnte. Die häufigsten Arten, welche sich den Anlagen gefährlich näherten, ließen sich grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen. Zum einen handelte es sich um in Siedlungsgebieten häufige Arten wie Star, Schwalben und Dohlen, mit zahlreichen Einzelbeobachtungen und hohen Individuenzahlen. Star und Dohle verunglückten an den KWEA. Zum anderen waren es Vögel der offenen Landschaft, die sich den Anlagen in wenigen Einzelfällen mit vielen Individuen (Trupps) näherten, wie z. B. Kiebitz, Sturmmöwe und Wacholderdrossel. Hierbei handelt es sich eher um zufällige Ereignisse. Rechnet man die Beobachtungen hoch, so flogen stündlich 4,7 Vogelindividuen gefährlich nahe an einer KWEA vorbei, darunter fast zur Hälfte Stare.

Aus der Anzahl der beobachteten gefährlichen Flugbewegungen lassen sich keine Schlagopferzahlen ermitteln. Der Befund, dass sich die Opferzahlen nicht ohne weiteres aus den Zahlen beobachteter potenziell gefährlicher Annäherungen an KWEA prognostizieren ließen, spiegelt ähnliche Ergebnisse an WEA wider (Ferrer et al. 2012).

Kleinwindanlagen und deren Abspannseile wurden von verschiedenen Vogelarten als Sitzwarte angenommen. Wir fanden keine Schlagopfer in unmittelbarer Nähe der Abspannseile, sodass keine erhebliche Gefährdung nachgewiesen werden konnte. Sie dienten vielmehr als Ruheplatz oder auch als Ansitz für die Nahrungssuche, wie z. B. für Grauschnäpper. Die Hinweise für die artenschutzfachliche Beurteilung von Kleinwindenergieanlagen in Rheinland-Pfalz (LUWG Rheinland-Pfalz 2015) empfehlen den Verzicht auf Abspannseile, weil sie eine Unfallquelle für Vögel und Fledermäuse darstellen können.

Vögel nutzten auch die Gondel, die Windfahne und stillstehende Rotorblätter als Sitzwarte. Dieses Verhalten führte potentiell zu Gefährdungen. KWEA mit Windfahnen stellten für Vögel eine attraktive Sitzwarte dar. KWEA ohne Windfahne wurden dagegen kaum als Sitzwarte genutzt. Darüber hinaus versuchten Dohlen in der Gondel der KWEA vom Typ EasyWind 6.0 ein Nest zu bauen. Dies fand jedoch nur am Standort Arlewatt statt, nicht an anderen Standorten mit Vorkommen der Dohle. In Arlewatt waren alle drei Kollisionsoffer Dohlen. Von Dohlen ist bekannt, dass sie sehr lern- und anpassungsfähig sind. Sie können auch ungewöhnliche Nistplätze, wie Kamine und Schornsteine, nutzen (Dwenger 1989). Die Bruten in Schornsteinen in Nordfriesland und Dithmarschen werden beispielsweise mit einem Mangel an Baumhöhlen und Gebäudenischen in Verbindung gebracht. Es ist möglich, dass die Nestbauversuche an der KWEA in Arlewatt ebenfalls durch mangelnde Nistalternativen bei sonst guter Lebensraumausstattung bedingt waren. Grundsätzlich sind KWEA mit Windfahnen aus Sicht des Vogelschutzes als ungünstig zu bewerten, weil sie als Sitzwarte attraktiv sind.

Aus der Tatsache heraus, dass die meisten Vögel KWEA nicht meiden, ist potentiell von einem erhöhten Kollisionsrisiko auszugehen.

4.1.3. Schlagopfer

Während dieser Untersuchungen wurde erstmals systematisch und über einen langen Zeitraum eine Schlagopfersuche an KWEA Standorten vorgenommen. Die reinen Zahlen von Schlagopferfunden sagen wenig über die tatsächliche Gefährdung von Vögeln und Fledermäusen an WEA aus. Die Zahl der gefundenen Schlagopfer wird durch den Abtrag durch Prädatoren und die individuelle Sucheffizienz beeinflusst. So bedeutet das Fehlen gefundener Schlagopfer nicht, dass keine Kollisionen stattgefunden haben. Somit müssen Sucheffizienz und Abtragsrate bei der Berechnung der tatsächlichen Schlagopferzahl berücksichtigt werden.

Die Sucheffizienz variiert sehr stark und wird durch eine große Anzahl von Faktoren beeinflusst, wie z. B. Eigenschaft des Kadavers, Beschaffenheit des Untergrundes, die Witterung während der Suche und die Aufmerksamkeit des Suchers (Morrison 2002, Grünkorn et al. 2005). Außerdem hat auch die Entfernung des ausgelegten Kadavers zur abgelaufenen Suchlinie erhebliche Auswirkungen auf den Sucherfolg. Dieser Faktor dürfte bei unseren Untersuchungen jedoch zu vernachlässigen gewesen sein, da vergleichsweise dichte Suchlinien mit 2 m Entfernung gewählt wurden und die Umgebung der KWEA auf diese Weise nahezu flächendeckend abgesucht wurde. Die Sucheffizienz dieser Untersuchungen ist im Vergleich zu Untersuchungen an großen WEA mit 44 % bis 69 % relativ hoch. So wurden beispielsweise an der Westküste Schleswig-Holsteins zwischen 8 % und 86 % der ausgelegten Kadaver gefunden (Grünkorn et al. 2005). Bei Untersuchungen auf Fehmarn wurden Werte zwischen 7 % und 90 % ermittelt (BioConsult SH & ARSU 2010).

Die Verbleiberate ist ebenfalls sehr variabel und wird durch die Größe der Kadaver und die Jahreszeit beeinflusst (Morrison 2002). Während dieser Untersuchung lag sie je nach Standort zwischen 4,5 und 11,8 Tagen. Ähnliche Werte bewerten andere Untersuchungen als relativ hoch (BioConsult SH & ARSU 2010). Daher ist das von uns gewählte einwöchige Suchintervall für die Schlagopfersuchen als ausreichend anzusehen.

Die Jahreszeit dürfte die Verbleiberate in zweierlei Hinsicht beeinflussen: Einerseits ist die Aktivität von Prädatoren jahreszeitlich unterschiedlich und andererseits verwesen ausgelegte Kleinvögel im Sommerhalbjahr rascher als im Winter, sodass sie nach einigen Tagen nicht auffindbar sind (Grünkorn et al. 2005). Die Ermittlung der Verbleiberate in unterschiedlichen Jahreszeiten und über die gesamte Untersuchungszeit hinweg war daher die richtige Methode, um den Einfluss des Abtrags in der Berechnung der Kollisionsrate ausreichend zu berücksichtigen. Auch dürften standortspezifische Unterschiede, wie Dichte und Aktivitäten von potentiellen Prädatoren einen Einfluss haben, was die unterschiedlichen Verbleiberate an den hier untersuchten Standorten zeigen. Deshalb war es sinnvoll, die Verbleiberaten an allen Standorten in den gleichen Zeiträumen parallel zu ermitteln. Die unterschiedlichen Verbleiberaten hatten einen erheblichen Einfluss bei der Berechnung der spezifischen Kollisionsrate an den einzelnen KWEA Standorten.

Bei den Untersuchungen an KWEA in Großbritannien von Minderman et al. (2015) wurden während der systematischen Suche keine Schlagopfer gefunden (171 Suchen an 21 KWEA vom 30. April 2010 bis 9. September 2010). Lediglich bei der Befragung von Eigentümern von KWEA wurde von gefundenen Schlagopfern berichtet. Dieser nun vorliegenden Studie liegen insgesamt 1.476 Schlagopfersuchen an 15 Anlagen zu Grunde. Die Suche wurde über zwei Jahre durchgeführt und deckte alle Jahreszeiten ab. Beim Artenspektrum der gefundenen Schlagopfer (insgesamt sechs Arten) handelt es sich um kleine und mittelgroße Arten, die am Rande von Dörfern und Siedlungen vorkommen. Das Artenspektrum entspricht somit grob dem der ornithologischen Beobachtungen. Bei der Auswertung der Befragung von KWEA-Eigentümern aus Großbritannien wird von einem ähnlichen Artenspektrum (insgesamt 12 Artengruppen) von Schlagopfern an KWEA berichtet (Minderman et al. 2015). Es wurden insgesamt 55 Schlagopfer von den KWEA Eigentümern gefunden. Bei den meisten Funden handelte es sich um Tauben (29,1 %) und Möwen (10,9 %), daneben auch Stare (9,1 %) und Rabenvögel (5,5 %). Schwalben wurden mit nur 5,4 % der Funde registriert. In der vorliegenden

Untersuchung wurden dagegen keine Schwalben aufgefunden, obwohl sie häufig in gefährlicher Nähe zum Rotor der KWEA umherflogen.

4.2. Auftreten, Verhalten und Mortalität von Fledermäusen an KWEA

4.2.1. Erfassung und Bewertung der Fledermausaktivität mittels Stereo-Infrarot-Kamera

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass Fledermäuse an KWEA aktiv sind, sich ihre Aktivität jedoch auf geringe Höhen konzentrierte und nur selten im Rotorbereich der KWEA auftrat. Ob der Rotor sich drehte oder nicht, hatte keine Auswirkungen auf das Verhalten der Fledermäuse. Insgesamt konzentrierte sich die Fledermausaktivität auf die erste Nachthälfte der Sommermonate.

Die Verwendung der Stereo-Infrarot-Kamera hat neue Möglichkeiten eröffnet, das Verhalten von Fledermäusen an KWEA automatisiert und kosteneffizient über einen längeren Zeitraum zu beobachten. Die ermittelten Flugbahnen liefern nicht nur quantitative Daten über die Fledermausaktivität, sondern darüber hinaus qualitative Informationen, wie den Verlauf der Flugbahnen und Annäherungen an die KWEA. In dieser Form war dies bisher nicht oder nur mit großem technischen und finanziellen Aufwand möglich (Adomeit et al. 2011).

Da es sich um die erstmalige Verwendung eines solchen Systems handelte, traten verschiedene Probleme beim Einsatz der Kamera und auch bei der späteren Auswertung der Flugbahnen auf. Zu den technischen Schwierigkeiten zählte die zeitliche Synchronisation der zwei Kameramodule, was dazu führte, dass nur etwa die Hälfte aller Flugbahnen erfolgreich dreidimensional vermessen werden konnten. Hier besteht noch deutliches Verbesserungspotential. Ein weiteres Problem stellen die in der Nähe der Kamera aufgenommenen Insekten dar, die das Erkennen und Auswerten von Fledermausflugbahnen erschweren oder, bei sehr großer Anzahl an Insektenaufnahmen, nahezu unmöglich machen. Um dieses Problem zu reduzieren, ist eine Platzierung der Infrarot-Strahler etwas weiter entfernt von der Kamera die einfachste Lösung. Allerdings muss darauf geachtet werden, dass eine passende Ausleuchtung der relevanten Bereiche sichergestellt wird.

Bedenken, dass die Infrarot-Strahler des eingesetzten Kamerasystems nachtaktive Insekten anlocken, die wiederum Fledermäuse auf Nahrungssuche zu der Lichtquelle ziehen und damit die festgestellten Aktivitätsdaten künstlich erhöhen, können über zwei Wege ausgeräumt werden. Erstens gibt es in der Literatur keine eindeutigen Hinweise dafür, dass Insekten von Infrarotlicht angezogen werden (Long et al. 2010). Es ist bekannt, dass Insekten Licht in diesem Wellenlängenbereich wahrnehmen können (Briscoe & Chittka 2001), allerdings ist nur die Attraktionswirkung von Licht im UV- und mittelwelligen Bereich auf Insekten nachgewiesen (Long et al. 2010). Zweitens wurden in beiden Jahren der automatisierten akustischen Dauererfassung ähnliche relative Fledermausaktivitäten an den KWEA festgestellt. Die Stereo-Infrarot-Kamerasysteme kamen nur im zweiten Jahr zum Einsatz. Eine Attraktionswirkung auf Insekten und damit Fledermäuse hätte sich in höheren Zahlen der detektierten Rufsequenzen im zweiten Erfassungsjahr niederschlagen müssen. Dies war nicht der Fall. Die Anzahl von Aufnahmen pro Nacht war für die Monate Juli bis September im Jahr 2016 insgesamt leicht höher als 2015, jedoch wurden für die Erfassungen im Jahr 2016 die KWEA mit der höchsten Fledermausaktivität beprobt. Eine Lockwirkung von Fledermäusen in das Sichtfeld der Kameras kann damit sehr wahrscheinlich ausgeschlossen werden. Auch die gute Korrelation von akustischen und optischen Nachweisen spricht gegen eine Anlockwirkung des Infrarotlichts auf Insekten, da diese ja nur die optischen, nicht aber die akustischen Nachweise erhöhen würden.

Eine Arterkennung ist mit dieser Kamera nicht direkt möglich, da die Bilder nicht die dafür notwendige Qualität aufweisen. Auch die Verschneidung der akustischen Detektordaten mit den optisch festgestellten Flugbahnen war nur in wenigen Fällen möglich. Gründe dafür waren zeitliche Synchronisationsprobleme sowie die unterschiedliche Ausrichtung der Kamera und

des akustischen Erfassungsgeräts. Eine mögliche Verbesserung des Kamerasystems wäre daher die Einbindung von Ultraschallmikrofonen, die durch die zeitlich genaue Synchronisation mit der Kamera eine Artbestimmung über die Akustik ermöglichen können.

Die Verwendung des Kamerasystems ist nicht auf den Einsatz an KWEA beschränkt, sondern könnte auch wertvolle Erkenntnisse in anderen Situationen liefern. Zum Beispiel ließe sich das Verhalten von Fledermäusen an Flugstraßen oder Querungen von Straßen sowie die Aktivität in Jagdgebieten oder an Quartieren mit diesem oder einem ähnlichen Kamerasystem räumlich und automatisiert erfassen.

4.2.2. Artenspektrum und Phänologie der lokalen Fledermausfauna an KWEA

Das gemessene Artenspektrum entspricht der zu erwartenden Fledermausfauna im Umfeld der untersuchten KWEA (Dietz et al. 2007, Borkenhagen 2011). Insgesamt wurden fünf Fledermausarten auf Artniveau identifiziert, die Zwergfledermaus, die Rauhautfledermaus, die Mückenfledermaus, der Abendsegler und das Braune Langohr. Viele akustische Aufnahmen konnten jedoch nur auf Artgruppenniveau bestimmt werden, wobei es sich um die Gruppe „Nyctaloide“ (Gattungen *Nyctalus*, *Eptesicus* und *Vespertilio*) und Arten der Gattung *Myotis* handelte. In der Artengruppe „Nyctaloide“ sind im betrachteten Umfeld die Arten Breitflügelfledermaus, Kleinabendsegler und Zweifarbfliegenfledermaus zu erwarten. Bei den *Myotis*-Arten könnte es sich um die Wasserfledermaus, die Fransenfledermaus, die Brandtfledermaus, die Bartfledermaus sowie die Teichfledermaus handeln.

Das Artenspektrum, das akustisch an den KWEA gemessen wurde, zeigt, dass sich alle vorkommenden Fledermausarten zumindest zeitweise im Bereich der KWEA aufhalten. Die Verteilung auf die Arten/Artengruppen zeigt darüber hinaus, dass hauptsächlich die Gruppe der „Nyctaloide“ und die Zwergfledermaus im Bereich der KWEA aktiv sind. Aber auch die Rauhautfledermaus und die Arten der Gattung *Myotis* halten sich im Bereich der KWEA auf. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die unterschiedlichen Fledermausarten verschiedene Ruf lautstärken aufweisen, und sich daher auch in ihrer Aufnahmewahrscheinlichkeit unterscheiden. Laut rufende Arten, wie beispielsweise der Abendsegler, werden auch dann aufgenommen, wenn sie in einiger Entfernung zum Detektor fliegen, wohingegen beispielsweise das Braune Langohr, das sehr leise ruft, sich relativ nahe beim Mikrofon aufhalten muss, um erfasst zu werden. Leise rufende Arten sind daher in akustischen Erfassungen regelmäßig unterrepräsentiert. Die absolute Anzahl an Aufnahmen repräsentiert daher nicht direkt die Häufigkeit, mit der sich verschiedene Fledermausarten im Bereich der KWEA aufhalten.

Bei der Artengruppe „Nyctaloide“ ist die Breitflügelfledermaus, die in Schleswig-Holstein die häufigste Vertreterin dieser Gruppe ist (Borkenhagen 2011), mit großer Wahrscheinlichkeit für den größten Teil der akustischen Aufnahmen verantwortlich. Während abendlicher Arbeiten an den Kamerasystemen wurden mehrfach Breitflügelfledermäuse bei der Jagd beobachtet. Der Anstieg der Aktivität zwischen Ende Juli und Anfang September könnte auch auf den Abendsegler zurückgeführt werden, da diese Arten im Untersuchungsgebiet bzw. dessen Umgebung Wochenstuben bilden (Borkenhagen 2011). Flügge Jungtiere könnten so zu einer erhöhten akustischen Aktivität ab Ende Juli geführt haben. Andererseits sind vermutlich auch Abendsegler an dem Anstieg der Aktivität beteiligt, da diese das Gebiet während der Zugzeit ab August zusätzlich nutzten.

Auch für die Zwergfledermaus sind Wochenstuben im Untersuchungsgebiet bzw. der näheren Umgebung bekannt, was zu einer erhöhten Aktivität ab Ende Juli führen könnte (Borkenhagen 2011). Die Rauhautfledermaus weist eine jahreszeitlich andere Verteilung auf und trat im Sommer nur sporadisch, im Herbst ab Ende August dafür verstärkt bei den akustischen Erfassungen auf. Aus ihren Wochenstubengebieten im Norden und Nordosten von Europa zieht die Rauhautfledermaus zum Überwintern in Richtung Süden und Südwesten (Rydell et al. 2014). Die vermehrten Nachweise der Rauhautfledermaus zu dieser Zeit können daher durch ziehende Tiere erklärt werden. Bis Ende September hielten sich so vermehrt

Rauhautfledermäuse im Untersuchungsgebiet auf, wobei nicht bekannt ist, ob sich die gleichen Tiere über einen längeren Zeitraum im Gebiet aufhalten oder es sich stets um andere ziehende Individuen handelt. Für die Arten der Gattung *Myotis* sind Wochenstuben in der untersuchten Region nur von Wasser- und Fransenfledermaus bekannt (Borkenhagen 2011). Die gesteigerte Aktivität im August, sowohl für das Jahr 2015 als auch 2016, kann auf die Präsenz der flüggen Jungtiere dieser Arten zurückzuführen sein.

Die nächtliche Verteilung der Fledermausaktivität wies insgesamt und für die häufigen Arten bzw. Artengruppen über die beiden betrachteten Erfassungsjahre eine sehr ähnliche Verteilung auf, obwohl die Erfassungszeiträume im Jahr 2015 deutlich länger waren. Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass die nächtliche Verteilung der Fledermausaktivität ein sehr konstantes und artspezifisches Muster aufweist, das sich auch in anderen Studien schon gezeigt hat (Reichenbach et al. 2015, Hurst et al. 2016c). Zwischen den Arten und Artengruppen bestehen jedoch große Unterschiede. Insbesondere die erste Nachthälfte weist bei allen Arten eine erhöhte Aktivität auf, die bei der Artengruppe der „Nyctaloide“ und der Zwergfledermaus eine besonders starke Konzentration auf den Anfang der Nacht bzw. auf den Anfang und das Ende der Nacht zeigt. Dies könnte auf die höheren Temperaturen am Anfang der Nacht und damit ein höheres Beutetierangebot zurückzuführen sein, oder auch auf eine Notwendigkeit der Futeraufnahme direkt zum Beginn und wieder zum Ende der Nacht hindeuten. Alternativ könnte die Aktivitätsphase der Beutetiere ausschlaggebend für die artspezifische Fledermausaktivität sein. Die Rauhautfledermaus und die Gattung *Myotis* weisen hingegen eine über die Nacht gleichmäßiger verteilte Aktivität auf (vgl. Brinkmann et al. 2011).

Die jahres- und nachtzeitliche Verteilung der Fledermausaktivität an den KWEA verdeutlicht, dass das Gefährdungspotential durch KWEA für die einzelnen Arten stark über das Jahr und über die Nacht schwankt. Besonders in den Monaten Juli bis August ist die Gefährdungssituation durch die hohe Fledermausaktivität potenziell am größten. Für migrierende Arten wie z. B. die Rauhautfledermaus wären hingegen die Randmonate wie September/Oktober oder das frühe Frühjahr von größerer Relevanz. Nachtzeitlich birgt die erste Nachthälfte, und durch die hohe Aktivität der Artengruppe „Nyctaloide“ und der Zwergfledermaus besonders die ersten Stunden nach Sonnenuntergang, den Zeitraum mit dem größten Gefährdungspotential. Damit entspricht das jahres- und nachtzeitliche Gefährdungspotenzial durch KWEA ziemlich gut der Situation an großen WEA (Behr et al. 2011, Reichenbach et al. 2015).

4.3. Einfluss von Umweltparametern auf die Fledermausaktivität

Meteorologische Einflüsse

Wie aus vielen Studien bekannt ist, haben meteorologische Parameter einen starken Einfluss auf die Aktivität von Fledermäusen (Rydell et al. 2010a, Baerwald & Barclay 2011a, Behr et al. 2011, Bach et al. 2012, Cryan et al. 2014b, Reichenbach et al. 2015, Moyle 2016). Die Windgeschwindigkeit hatte für die ausgewerteten Monate Juli bis September über beide Erfassungsjahre einen stark negativen Effekt auf die Fledermausaktivität. Je höher die Windgeschwindigkeit war, desto niedriger war die Anzahl Aufnahmen pro Nacht. Es gilt bei diesem Zusammenhang jedoch zu beachten, dass die verwendete Windgeschwindigkeit nicht direkt von den KWEA-Standorten stammte. Aufgrund von nicht verlässlichen Windmessungen an den KWEA-Masten in zwei Metern Höhe, bei denen festgestellt wurde, dass bei drehendem Rotor mehrfach eine Windgeschwindigkeit von 0,0 m/s gemessen wurde, musste auf Daten einer Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes auf Nordstrand zurückgegriffen werden. Da sich die Station direkt an der Küste befindet, ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Windgeschwindigkeit an den KWEA niedriger lag. Denn in der Regel verhält es sich so, dass die Windgeschwindigkeit mit der Entfernung zur Küste abnimmt, da in Bodennähe Reibung, Bebauung sowie Vegetation für ein Abbremsen sorgen (Tennekes 1973). Für den Zusammenhang zwischen Fledermausaktivität und Windgeschwindigkeit lassen sich daher keine absoluten Werte ableiten, ab denen sich die Aktivität von Fledermäusen an den KWEA verringert.

Wir gehen jedoch davon aus, dass die Windgeschwindigkeit an der Küste als relatives Maß für die generelle Windgeschwindigkeit im Untersuchungsgebiet gut geeignet ist.

Auch die Temperatur beeinflusst die Aktivität von Fledermäusen, wobei Fledermäuse bei hohen Temperaturen deutlich häufiger aktiv sind (Reichenbach et al. 2015, Moyle 2016). Im vorliegenden Fall konnte ein signifikanter positiver Einfluss der Temperatur auf die akustische Aktivität nur bei der Artengruppe „Nyctaloide“ festgestellt werden. Es ist aber anzunehmen, dass auch die übrigen Artengruppen eine Temperaturabhängigkeit aufweisen, die allerdings bei geringeren Stichprobenzahlen in den Sommermonaten schwieriger nachzuweisen ist, weil die Temperaturen dann grundsätzlich viel höher liegen und es weniger Varianz in der Temperatur gibt als im Frühjahr und Herbst (Reichenbach et al. 2015). Wie sich die Temperatur genau auf die Aktivität auswirkt, ist jedoch nicht geklärt. Eine mögliche Erklärung ist, dass bei niedrigeren Temperaturen weniger Beutetiere aktiv sind und dadurch auch die Aktivität der Fledermäuse verringert ist. Andererseits korreliert die Temperatur oft auch mit schlechterem Wetter, wie hohen Windgeschwindigkeiten oder Niederschlag. Es ist daher nicht sicher, ob die Temperatur im vorliegenden Fall einen direkten Einfluss hat, oder Teil einer multikausalen Wirkungskette ist. Niederschlagsdaten wurden in der vorliegenden Studie nicht erhoben und sind aufgrund der Lokalität von Regenfällen schwieriger von einem Ort auf einen anderen zu übertragen als die Windgeschwindigkeit.

Einflüsse von Landschaftsparametern

Neben meteorologischen Faktoren können auch Landschaftsparameter die Fledermausaktivität und das Flugverhalten der Tiere beeinflussen (Verboom & Huitema 1997, Borkenhagen 2011, Niermann et al. 2011, Kelm et al. 2014, Hurst et al. 2016a, Moyle 2016, Minderman et al. 2017). In unserer Studie ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Aktivität der Fledermäuse und den Parametern Bewaldung und Bebauung innerhalb eines 2 km-Radius. Durch die geringe Stichprobe von insgesamt 14 KWEA müssten die Effekte jedoch auch vergleichsweise groß sein, um statistisch nachweisbar zu werden. Es ist daher möglich, dass solche Effekte auch in unserem Untersuchungsgebiet wirken, jedoch aufgrund der kleinen Stichprobe nicht nachweisbar wurden. Andere wissenschaftliche Untersuchungen konnten, trotz größerem Stichprobenumfang und angepasstem Studiendesign ebenfalls keine Landschaftsparameter ausmachen, die die Fledermausaktivität an Wald- und Offenlandstandorten beeinflussten (Niermann et al. 2011, Reichenbach et al. 2015, Hurst et al. 2016a), aber immerhin konnte der Einfluss von Wald und Bebauung in anderen Einzelfall-Studien gezeigt werden. Für die Aktivität der Mückenfledermaus wurde ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen dem Anteil an Waldfläche in einem Umkreis von 500 Metern um die KWEA aufgezeigt (Minderman et al. 2017). Einen signifikant negativen Zusammenhang zwischen der gemessenen akustischen Fledermausaktivität und dem Anteil an Bebauung in einem Umkreis von fünf Kilometern um untersuchte KWEA wiesen Niermann et al. (2011) und Moyle (2016) nach.

Dass die großen Unterschiede im Aktivitätslevel zwischen den hier untersuchten KWEA tatsächlich auf kleinräumige statt großräumige Unterschiede in der Landschaft zurückzuführen sind, ist im vorliegenden Fall eher unwahrscheinlich. Über eine probate Auswahl der zu untersuchenden KWEA-Standorte konnten Unterschiede in der kleinräumigen Habitatausstattung gering gehalten werden (siehe Kap. 2.2 Untersuchungsgebiete). Nichtsdestotrotz können kleinräumige Habitatstrukturen grundsätzlich einen hohen Einfluss auf die Fledermausaktivität, und damit auf das Gefährdungspotential durch KWEA, haben. Zum Beispiel werden Bereiche um Straßenlaternen von manchen Arten, wie der Zwergfledermaus oder dem Kleinabendsegler, besonders stark frequentiert (Dietz et al. 2007). Andere Arten, wie die Wasserfledermaus, bevorzugen Gewässer. Auch Hecken oder Waldränder werden gerne als Leitstruktur oder Jagdhabitat genutzt und können eine hohe Fledermausaktivität aufweisen. Da die KWEA in dieser Studie durch ihre Platzierung auf offenen Flächen in der Regel weiter als die Aufnahmedistanz der Detektoren (ca. 25 m) von für Fledermäuse interessanten Strukturen

entfernt waren, besteht die Möglichkeit, dass weiter als 25 m entfernte Habitatstrukturen durchaus einen Einfluss auf Fledermäuse hatten, diese aber im vorliegenden Fall nicht messbar war.

Wird eine KWEA in direkter Nähe zu Strukturen errichtet, die für Fledermäuse zum Beispiel als Jagdhabitat oder Quartier interessant sind, ist davon auszugehen, dass eine erhöhte Fledermausaktivität und damit auch ein erhöhtes Gefährdungspotenzial für Fledermäuse besteht (Kelm et al. 2014, Hurst et al. 2016a). Es gilt zu bedenken, dass in der hier vorliegenden Studie keine Daten über die tatsächliche Quartiernutzung von Fledermäusen vorliegen, sondern die Parameter lediglich das potentielle Quartierangebot abbilden. Es ist möglich, dass sich im von uns untersuchten Umfeld keine Fledermausquartiere befanden, dass sich im Falle einer solchen Nutzung aber Auswirkungen auf die gemessene Fledermausaktivität an den KWEA Standorten gezeigt hätten. Ein aktuelles Fallbeispiel aus der Schweiz, in dem eine KWEA eines anderen Typs in einem Industriegebiet in direkter Nähe zu Straßenlaternen und Gebäuden platziert wurde, zeigte eine hohe Aktivität und damit eine hohe Gefährdung für Fledermäuse (Alder 2017).

4.3.1. Verhalten der Fledermäuse an den KWEA

Im Rahmen des Abschaltexperiments wurde kein Meideverhalten der hier untersuchten Fledermausarten an den beprobten KWEA in Schleswig-Holstein dokumentiert. Die akustisch ermittelte Fledermausaktivität während des Abschaltexperiments war an KWEA mit sich drehenden Rotoren nicht geringer als an KWEA mit stillstehenden Rotoren. Dieses Ergebnis wird durch die optischen Erfassungen bestätigt, die ebenfalls keine Unterschiede in der Aktivität an KWEA in Abhängigkeit ihres Betriebszustands zeigten. In einem vergleichenden Test konnte gezeigt werden, dass die je System verzeichneten Aktivitäten, also die Anzahl an Rufsequenzen pro Nacht und die Anzahl an Flugbahnen pro Nacht, miteinander korrelierten. Das zeigt, dass beide Verfahren geeignet sind, um die Fledermausaktivität an einer KWEA zuverlässig zu erfassen.

Bisher veröffentlichte Untersuchungen zum Thema Meideverhalten von Fledermäusen an KWEA stammen sämtlich aus Großbritannien (Minderman et al. 2012, Minderman et al. 2015, Moyle 2016, Minderman et al. 2017) und verfolgten im Gegensatz zu der hier vorgelegten Studie meist einen rein korrelativen Ansatz (Minderman et al. 2015, Moyle 2016, Minderman et al. 2017). Als Maß für ein mögliches Meideverhalten wird dort ausschließlich die akustische Aktivität der Fledermäuse entlang eines Distanzgradienten betrachtet. So entsteht in diesen Studien ein zweidimensionales Abbild der horizontal verteilten Fledermausaktivität. Diese ist bei Minderman et al. (2012) und Minderman et al. (2017) in Entfernungen unter 20 bzw. 100 Metern von der KWEA niedriger als in größeren Distanzen. Allerdings bestätigte sich dieses Meideverhalten teilweise nur bei höheren Windgeschwindigkeiten (Minderman et al. 2012). Die Fledermausaktivität sank mit steigender Windgeschwindigkeit bei KWEA in Betrieb, sowohl in nahen wie auch in fernen Distanzen. Bei KWEA außer Betrieb stieg die Aktivität der Fledermäuse mit höheren Windgeschwindigkeiten sogar an, ebenfalls unabhängig von der Distanz zur KWEA (Minderman et al. 2012). Aufgrund der geringeren Stichprobe von maximal vier Untersuchungs Nächten und der großen Anzahl unterschiedlicher KWEA-Typen innerhalb der 15 untersuchten KWEA dieser Studie, sind die Ergebnisse jedoch mit Vorsicht zu deuten. Dass die Fledermäuse besonders windhöfliche Bereiche, und dazu gehören KWEA-Standorte in der Regel, bei höheren Windgeschwindigkeiten großräumig meiden, ist auch in unserer Studie denkbar. Ein solcher Effekt wäre aufgrund der kleineren Untersuchungsskala mit den gewählten Methoden nicht zu entdecken gewesen. In dem Fall würden Fledermäuse möglicherweise nicht die KWEA-Struktur per se meiden, sondern lediglich die ihr zugrundeliegende, höheren Windgeschwindigkeiten ausgesetzte, lokale Umgebung.

Der im Rahmen dieser Studie entwickelte stereo-optische Untersuchungsansatz lieferte wichtige, detailgenaue dreidimensionale Informationen zum Verhalten von Fledermäusen an KWEA. Der Wissenshorizont wird im Vergleich zu Untersuchungen mit ausschließlich

akustisch ermittelter Aktivität, die in Bodennähe aufgenommen wurde, erweitert. Dies war der bisherige Standard in wissenschaftlichen Studien (Minderman et al. 2012, Minderman et al. 2015, Moyle 2016, Minderman et al. 2017), wodurch jedoch keine exakte Lokalisation der aufgenommenen Fledermäuse möglich war. Es mussten daher Rückschlüsse auf das Verhalten der Tiere im Gondelbereich gezogen werden, die auf Daten zur Fledermausaktivität des gesamten akustisch detektierbaren Bereichs beruhen (Minderman et al. 2012c, Minderman et al. 2015, Moyle 2016, Minderman et al. 2017). Durch das hier eingesetzte stereo-optische Verfahren konnten Rückschlüsse auf genutzte Höhen und genaue Verhaltensmuster gezeigt werden.

Die Breitflügelfledermaus, die im Nordwesten Schleswig-Holsteins und damit im Untersuchungsgebiet eine der häufigsten Fledermausarten ist, weist ein auf koprophage Insekten spezialisiertes Jagdverhalten auf (Dietz et al. 2007, Borkenhagen 2011). Die Tiere fliegen über Weideflächen und sammeln Insekten wie Mistkäfer oder Dungfliegen von den Exkrementen der Weidetiere ab. Dieses Verhalten wurde auch bei nächtlichen Aufenthalten an den KWEA-Standorten beobachtet. Es ist wahrscheinlich, dass die meisten bodennah registrierten Flugbahnen der Breitflügelfledermaus zuzuschreiben sind. Eine zeitliche Verknüpfung der akustischen mit den optischen Daten ergab, dass tatsächlich etwa die Hälfte der registrierten Flugbahnen der Artengruppe „Nyctaloide“, zu der auch die Breitflügelfledermaus gezählt wird, zuzuordnen war. Es ist daher wahrscheinlich, dass die Breitflügelfledermaus für einen großen Teil der bodennahen Aktivität verantwortlich war. Aufgrund der geringen Anzahl an Flugbahnen, bei denen eine Artzuweisung über die akustischen Erfassungen gelang, war eine umfassende artspezifische Betrachtung der Flughöhen nicht möglich. Grundsätzlich ist denkbar, dass auch die übrigen Fledermausarten in diesem windreichen Gebiet mit Hecken und Gehölzen überwiegend unter 15 m in niedrigen Höhen fliegen, um im Windschatten der Gehölze zu bleiben.

Im Rahmen unserer Studie konnte - zumindest im kleinräumigen KWEA-Umfeld von wenigen Metern- weder ein Meideverhalten noch ein Explorationsverhalten festgestellt werden. Innerhalb des Sichtfeldes des Kamerasystems näherten sich Fledermäuse nicht gezielt an die KWEA und den Gondelbereich an, sondern passierten den fraglichen Bereich zielgerichtet. In Zusammenhang mit WEA wurden Gründe für ein Annäherungs- und Explorationsverhalten von Fledermäusen diskutiert, das an großen Anlagen bereits häufig beobachtet werden konnte (Cryan & Barclay 2009, Long et al. 2010, Cryan et al. 2014b). Ein möglicher Grund für dieses Verhalten ist, dass Fledermäuse durch die Anlagen angezogene Insekten von diesen absammeln (Long et al. 2010). Ebenfalls besteht die Möglichkeit, dass Fledermäuse WEA als potenzielle Quartiere inspizieren (Horn et al. 2008, Cryan et al. 2014b). Generell interessieren sich Fledermäuse für neue und unbekannte Objekte, die sich in ihrer gewohnten Umgebung befinden. Dieses bestätigen Beobachtungen bei welchen Fledermäuse Personen bei nächtlichen Detektorkontrollen gezielt anfliegen (eigene Daten). Ein derartiges Anfliegen der KWEA und des Rotorbereiches bzw. der Gondel, welches mit Explorationsverhalten gleichgesetzt werden kann, konnte während des Abschaltexperiments nicht beobachtet werden. Möglicherweise liegt ein mangelndes Interesse darin begründet, dass die KWEA schon längere Zeit im Aktionsraum der Individuen stehen.

4.3.2. Kollisionsrisiko für Fledermäuse an KWEA

Da im Rahmen der Studie kein Meideverhalten an KWEA mit laufendem Rotor gefunden wurde, besteht grundsätzlich die Gefahr, dass die Tiere in den Rotorbereich gelangen und ggf. an den KWEA verunglücken. Jedoch hielten sich an den von uns untersuchten Standorten kaum Tiere im Gefährdungsbereich der Rotoren auf, sodass auch keine Kollisionen während der optischen Erfassungen beobachtet werden konnten. Allerdings zeichneten die Stereo-Infrarot-Kameras nicht über die gesamte Nachtlänge und im Jahresverlauf nur vergleichsweise wenige Nächte auf, sodass mögliche Ereignisse eventuell nicht aufgezeichnet wurden. Dies ist aber maximal für einige sehr wenige Fälle anzunehmen. Dass durch die optische Erfassung

selektiv Zeiten erfasst wurden, in denen die Fledermäuse nicht im Rotorbereich der KWEA fliegen, kann zwar nicht ausgeschlossen werden, ist aber ebenfalls sehr unwahrscheinlich. Plausible Gründe, wieso das Verhalten an den KWEA später in der Nacht oder zu anderen Jahreszeiten unterschiedlich sein sollte, liegen nicht vor. Eine Ausnahme davon könnte möglicherweise das Zugverhalten der Rauhaufledermaus sein, es begann erst nach dem Ende der Beobachtungen 2016.

Bei den Schlagopfersuchen rund um die untersuchten KWEA in den Jahren 2016 und 2017 wurden keine toten Fledermäuse entdeckt. Aufgrund dessen, dass die Phase mit der höchsten Fledermausaktivität durch die stereo-optische Erfassung gut abgedeckt wurde und Flüge im Rotorbereich nur sehr selten auftraten, ist dieses Ergebnis plausibel. Dass keine Fledermaus-schlagopfer gefunden wurden bedeutet allerdings nicht, dass es an den hier untersuchten KWEA tatsächlich keine Schlagopfer gab. Hierfür könnten auch das Suchintervall und eine vegetationsbedingte verringerte Sucheffizienz bei den Schlagopfernachsuchen verantwortlich sein. Es ist denkbar, dass aufgrund des schwierigen Geländes und der Beweidung der KWEA-Standorte mit Rindern oder Pferden, im Einzelfall tote Fledermäuse übersehen wurden, da sie von den Weidetieren in den weichen Boden eingetreten wurden. Bei der Überprüfung der Sucheffizienz kam es mit den ausgelegten Farbmäusen zu solchen Fällen. Einschränkend gilt es ebenfalls zu bedenken, dass die aus dieser Studie abgeleitete geringe Kollisionsgefährdung mit dem spezifischen Verhalten der hier häufigen Breitfüßelfledermaus zusammenhängen könnte, die über den Weiden recht bodennah und damit außerhalb der Reichweite der Rotoren jagt. Andere Fledermausarten mit abweichendem Jagdverhalten könnten daher stärker kollisionsgefährdet sein.

Andere Studien schätzen die Kollisionsgefährdung von Fledermäusen an KWEA ebenfalls gering ein. Die Spanne an Schlagopferzahlen reicht, wie in der hiesigen Untersuchung, von keinen gefundenen Fledermäusen an 21 KWEA über zwei Jahre (Minderman et al. 2015) bis hin zu drei toten Fledermäusen an 31 KWEA über einen Zeitraum von drei Jahren (Moyle 2016). In erstgenannter Studie wurde zusätzlich zu der erfolglosen Schlagopfernachsuche eine Befragung unter 271 KWEA-Betreiber durchgeführt. Hier wurde von drei toten Fledermäusen berichtet, was zu einer theoretischen Schlagopferquote von 0,008 bis 0,169 geschlagenen Fledermäusen pro KWEA und Jahr führte. Allerdings ist dieses Ergebnis kritisch zu betrachten, da die befragten KWEA-Betreiber weder für die Suche von Fledermäusen geschult wurden, noch die investierte Suchzeit bekannt ist (Minderman et al. 2015). Es handelt sich hier also um Zufallsfunde. Die tatsächliche jährliche Zahl an getöteten Fledermäusen pro KWEA ist vermutlich höher. Dies ergibt auch die Studie von Moyle (2016), in der die Schlagopfer mittels eines speziell trainierten Suchhunds aufgespürt wurden. Die berechnete jährliche Schlagrate wurde hier mit 0,81 toten Fledermäusen pro KWEA angegeben (Moyle 2016). Orte mit hoher Fledermausaktivität können zu wesentlich höheren Schlagraten führen. Eine Schweizer Studie an drei KWEA auf Hausdächern in einem Industriegebiet wies innerhalb von drei Monaten acht Kollisionen von Fledermäusen nach, die offensichtlich an den Straßenlaternen jagten (Alder et al. 2017). Diese Einzelstudie macht deutlich, dass die Schlaggefährdung in Regionen hoher Fledermausaktivität, z. B. Süddeutschland, oder an Sonderstandorten mit besonders hoher Jagdaktivität, nahe Flugstraßen oder in Quartiernähe deutlich höher sein kann.

4.4. Schlussfolgerungen und Ausblick

4.4.1. Einschränkungen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse

Vögel

Die direkte Übertragung der Ergebnisse auf andere Anlagentypen mit einer größeren Gesamthöhe sowie auf KWEA in der Stadt ist nicht möglich (vgl. 3.3.2).

Diese Untersuchung konnte keinen statistisch negativen Einfluss von KWEA auf das Vorkommen von Vogelarten und Individuen nachweisen. Die Verdrängung von Vögeln spielt bei der naturschutzfachlichen Beurteilung von KWEA-Standorten vermutlich keine große Rolle. Dies könnte jedoch bei einer Untersuchung mit höherem Stichprobenumfang und einer artspezifischen Betrachtung oder in anderen Regionen anders sein. Insbesondere dort, wo KWEA nicht in der Nähe von Gehöften installiert werden, ist mit Verdrängungseffekten zu rechnen, da besonders Vögel der Offenlandschaft hohe vertikale Strukturen meiden (Hötker 2017). Die in Schleswig-Holstein gewonnenen Erkenntnisse sind also nicht ohne weiteres auf andere Regionen übertragbar. Sie können allenfalls Hinweise für ähnlich strukturierte Landschaften bieten.

Fledermäuse

Auch für die Fledermäuse sind die Ergebnisse dieser Studie nicht direkt auf andere Situationen übertragbar. Eine gewisse Übertragbarkeit gilt nur für:

- 1.) Baulich gleiche oder -ähnliche Anlagentypen mit einer Gesamthöhe von etwa 20 m, jeweils vier Rotorblätter und eine Nenndrehzahl zwischen 83 und 130 Umdrehungen pro Minute.
- 2.) Gebiete mit ähnlichem Artenspektrum und ähnlichen Fledermausaktivitätslevels. Hier nicht untersuchte Fledermausarten verhalten sich an KWEA möglicherweise anders und könnten ein größeres Gefährdungspotenzial aufweisen. Insgesamt ist die Fledermausdichte im küstennahen Norddeutschland niedriger als in anderen Landesteilen Deutschlands (Brinkmann et al. 2011, Hurst et al. 2016). In Gebieten mit höherer Fledermausaktivität kann auch die Kollisionsgefahr erhöht sein.
- 3.) Ähnliche naturräumliche Gegebenheiten wie im Untersuchungsgebiet. In Gebieten mit anderer Vegetationsdeckung (z. B. höherer Waldanteil) oder anderer Vegetationshöhe (z. B. höhere Bäume statt vorwiegend niedrige Knicks und Gehölzstreifen) kann das Verhalten insbesondere von strukturgebundenen Fledermäusen anders sein. Durch eine folglich andere Höhennutzung der Landschaft kann auch die Kollisionsgefahr verändert bzw. erhöht sein.

Innerhalb von Schleswig-Holstein dürften die untersuchten Standorte weitgehend repräsentativ sein, sodass die Ergebnisse mit aller gebotenen Vorsicht übertragbar sein dürften. Ob dies auch für andere Regionen der Fall ist, müsste in weiteren Studien geprüft werden.

Zu beachten gilt natürlich grundsätzlich, dass in der vorliegenden Studie nicht geprüft wurde, ob die umliegenden Gebäude Fledermäusen als Quartier dienen. Falls dem nicht so war, ist es möglich, dass allein durch ein erhöhtes Fledermausaufkommen aufgrund von Quartiernähe das Kollisionsrisiko stark steigt, selbst wenn die übrigen Einflussfaktoren (Abstand zu Gebäuden und Vegetation, Anlagentyp, Artenspektrum) mit den Bedingungen in der vorliegenden Studie übereinstimmen.

4.4.2. Anlagenkonfiguration

Neben den hier untersuchten KWEA-Typen werden viele weitere Anlagentypen vertrieben und genutzt. Zum Teil handelt es sich um wesentlich kleinere Anlagen, die unter anderem auch direkt auf Hausdächern installiert werden und teilweise sich vertikal drehende Rotoren aufweisen. Auch sind wesentlich größere KWEA-Typen am Markt verfügbar, die mit einer Gesamthöhe von bis zu 50 m die hier untersuchten KWEA um das doppelte überragen. Mit dem

KWEA-Typ ändert sich daher auch die Lage des Gefährdungsbereichs für Vögel und Fledermäuse an KWEA. Eine KWEA auf einem Hausdach stellt durch ihre Positionierung für Vögel und Fledermäuse möglicherweise eine hohe Gefährdung dar, insbesondere, wenn gebäudebewohnende Arten in der Nähe Quartier beziehen oder die Jagdaktivität in der Nähe durch interessante Strukturen wie z. B. Straßenlaternen, erhöht ist. Andererseits ist der schnelldrehende Rotor einer solch kleinen KWEA unter Umständen durch Fledermäuse besser zu erkennen und wird daher nicht angefliegen. Größere und langsam drehende Rotoren könnten dagegen schlechter von Fledermäusen wahrgenommen werden (Long et al. 2009).

4.4.3. Gefährdungspotential für Vögel und Fledermäuse an KWEA

Diese Studie sollte Wissensdefizite bezüglich der Gefährdung von Vögeln und Fledermäusen durch KWEA verringern. Die gewonnenen Erkenntnisse können in Kombination mit dem bisherigen Wissensstand für eine Verbesserung der Beurteilung des Gefahrenpotenzials von KWEA für Vögel und Fledermäuse herangezogen werden. Die in Schleswig-Holstein durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass die dort detektierten Fledermausarten unabhängig vom Betriebszustand an den KWEA-Standorten jagten und das Gebiet weiterhin nutzten. Auch wenn in dieser Studie keine Schlagopfer gefunden wurden und nur eine einzige Flugbahn im direkten Rotorbereich registriert werden konnte, ist aus der Literatur doch bekannt, dass Fledermäuse mit KWEA kollidieren können (Minderman et al. 2015, Moyle 2016, Alder 2017). Die in Mindermann et al. (2015) geschätzte Kollisionsgefahr liegt mit 0,03 Schlagopfern pro KWEA und Jahr ähnlich hoch wie die in dieser Studie ermittelte durchschnittliche Kollisionsgefahr. Die erfassten Vögel wurden in den Untersuchungsgebieten von KWEA nicht verdrängt.

Da die Vögel in ihrer Gesamtheit bewertet wurden, trifft dies nicht pauschal auf einzelne Vogelarten zu. Hier können bei einer Einzelfallbetrachtung andere Effekte vorliegen. Im Gegensatz zu Fledermäusen kollidierten sie in größerem Umfang mit KWEA. Die Kollisionsraten hingen mit hoher Wahrscheinlichkeit mit der Habitatausstattung der Umgebung zusammen.

Die geschätzt durchschnittlich 0,82 Vogel-Schlagopfer pro KWEA und Jahr sind geringer als die geschätzten Schlagopferzahlen für große WEA. Auf Fehmarn wurden jährliche Schlagopferzahlen zwischen 4,4 und 28,8 pro Anlage errechnet (BioConsult SH & ARSU 2010), an der Westküste Schleswig-Holsteins zwischen 11,5 und 39,1 Schlagopfer (Grünkorn et al. 2005). Setzt man jedoch die geschätzte Schlagopferzahl mit der jeweiligen Leistung der Anlagen in Relation verunglücken an großen WEA pro KW Leistung weniger Vögel als an KWEA.

Minderman et al. (2015) schätzten auf Basis ihrer Fragebogenauswertung pro KWEA nur 0,143 Vogel-Schlagopfer jährlich (0,079-0,278) - damit eine deutlich geringere Anzahl als bei unseren Untersuchungen. Bei der Interpretation dieser Unterschiede muss aber die unterschiedliche Methodik (systematische Schlagopfersuche gegenüber Fragebogenauswertung) berücksichtigt werden.

Eine hier nicht betrachtete Situation, für die ein unter Umständen hohes Kollisionsrisiko zutrifft, ist der Zeitraum direkt nach der Errichtung einer KWEA. Da Fledermäuse traditionelle Flugrouten nutzen und hier ggf. auch weniger aufmerksam sind, könnte das Kollisionsrisiko direkt nach der Errichtung einer KWEA möglicherweise höher sein als bei einer schon länger in Betrieb befindlichen KWEA (Barchi et al. 2013). Die hier untersuchten KWEA sind jeweils schon einige Jahre in Betrieb, daher ließ sich dieser Aspekt an den untersuchten Standorten nicht überprüfen. Für eine Überprüfung dieser Hypothese wären entweder Untersuchungen an KWEA notwendig, die während der Aktivitätszeit der Fledermäuse, idealerweise in den Sommermonaten, neu errichtet werden, oder ein experimentelles Aufstellen einer KWEA in Bereichen mit hoher Fledermausaktivität. Das tatsächliche Kollisionsrisiko ist aufgrund der vermutlich geringen Schlagrate nur mit großem Aufwand verlässlich abzuschätzen. Tägliche Nachsuchen mit geeigneter Methodik (z. B. Suchhunde) wären notwendig, um verlässliche Abschätzungen der tatsächlichen Schlagopferzahlen zu erreichen. Alternativ könnten Schlagereignisse über eine ganzjährige visuelle Dauererfassung dokumentiert werden (Alder 2017).

Abstandsempfehlungen die bisher in der Literatur getroffen wurden, schlagen einen Mindestabstand von 20 m zwischen KWEA und den nächstgelegenen Strukturen vor (Minderman et al. 2012, Moyle 2016). Auch der Leitfaden aus Rheinland-Pfalz greift auf diese Zahl zurück (LUWG Rheinland-Pfalz 2015). Um eine verlässliche Abstandsempfehlung geben zu können, wären jedoch weitere gezielte wissenschaftliche Untersuchungen zu diesem Thema nötig.

Bezüglich der Vögel konnten im Rahmen der Untersuchung klare Ergebnisse erzielt werden. Eine Verdrängung der im Untersuchungsgebiet vorkommenden Vögel wurde nicht nachgewiesen, sie wurden aber durch KWEA in Abhängigkeit von der Habitatausstattung am Standort einem Kollisionsrisiko ausgesetzt. Dies kann durch einfache Untersuchungen des Habitats prognostiziert werden. Damit diese Ergebnisse für einen Raum außerhalb Schleswig-Holsteins genutzt werden können, ist es erforderlich, vergleichbare Untersuchungen in weiteren, anders strukturierten Regionen durchzuführen. Im Fall möglicher Verdrängung von Vögeln durch KWEA wäre es vor allem wichtig, Standorte zu untersuchen, an denen viele Vögel der Offenlandschaft vorkommen.

4.4.4. Fazit

Im Folgenden werden die Forschungsfragen (sh. 1.6) aufgegriffen und anhand der Ergebnisse beantwortet.

Vögel

Welche Vogelarten sind an den KWEA anzutreffen? Das Artenspektrum setzte sich vor allem aus Arten des Siedlungsbereiches und der umgebenden offenen Kulturlandschaft zusammen. Die sowohl an den KWEA-Standorten als auch an den Vergleichsstandorten am häufigsten beobachteten Arten (größte Individuenzahl) waren Star (*Sturnus vulgaris*), Weißwangengans (*Branta leucopsis*) und Rauchschnalbe (*Hirundo rustica*). Mit mehr als einem Drittel aller Individuen war der Star die bei weitem häufigste Art. Als Brutvögel konnten in beiden Untersuchungsjahren insgesamt 74 Vogelarten nachgewiesen werden. Das Artenspektrum umfasst vor allem Vögel der Siedlungsräume und Gärten. Offenlandarten, wie zum Beispiel die Feldlerche, wurden dagegen selten als Brutvogel festgestellt.

- Welche Standortparameter beeinflussen das Vorkommen von Vögeln an KWEA? Das Vorhandensein verschiedener Habitats beeinflusste das Vorkommen von Vögeln in den Untersuchungsgebieten weitaus stärker als das Vorhandensein von KWEA. In jeweils 12 von 38 Fällen hatte das Vorhandensein von Viehweiden bzw. Knicks eine signifikant positive Auswirkung auf das Vorkommen einzelner Vogelarten, wie z. B. beim Star. Dabei wurden auch artspezifische Unterschiede deutlich. So reagierte beispielsweise die Amsel positiv auf die Größe der Gartenfläche, während Stare keine Reaktion auf Gärten zeigten, dagegen positiv auf das Vorhandensein von Viehweiden reagierten.
- Gibt es Anlockeffekte für Vögel? Haussperling, Feldsperling und Amsel wurden von KWEA offensichtlich angelockt. Dabei ist zu vermuten, dass weniger die KWEA selbst den Effekt auslösten, sondern die mit dem Standort verbundene Habitatausstattung. Bei den Flächen der KWEA Standorte handelte es sich häufig um vergleichsweise extensiv genutzte Wiesen und Weiden in der Nähe von Gebäuden. Außerdem war die landwirtschaftliche Bearbeitung unmittelbar unter der Anlage und in einem Bereich von etwa 10 – 20 m um die Anlage herum kaum, oder nur eingeschränkt möglich, sodass sich hier Altgrasbestände oder Ruderalfluren entwickelten, welche Vögeln Nahrung bieten konnten. Zudem nutzten einige Arten die Abspannseile als Sitzwarte.
- Zeigen Vögel ein Meideverhalten an KWEA? Die Untersuchungen zeigten, dass die Individuenzahlen aller beobachteten Arten zwischen den einzelnen Untersuchungsgebieten stärker variierten, als zwischen den KWEA-Standorten und den jeweils zugehörigen Referenzstandorten, das heißt, die Individuenzahlen hingen eher vom Gebiet und weniger von der Tatsache ab, ob eine KWEA vorhanden war oder nicht. Für insgesamt

11 Vogelarten wurde jeweils für Sommer und Winter, sowie jeweils für das Flugverhalten bzw. für das stationäre Verhalten die Meidung anhand von linearen Modellen untersucht. Lediglich in einem Fall (fliegende Sturmmöwen) konnte ein Meideverhalten statistisch nachgewiesen werden. Die meisten Arten zeigten kein Meideverhalten.

- Gibt es artspezifische Unterschiede im Verhalten von Vögeln an KWEA? Fast 95 % der beobachteten Vogelindividuen zeigten keine Reaktion auf die KWEA. Für den nahen Vorbeiflug zeigten sich gewisse artspezifische Unterschiede. Während die Sturmmöwe und die beiden Schwalbenarten kaum auf die Anlagen reagierten, konnten bei Star und Dohle häufige Reaktionen beobachtet werden. Stare zeigten vorwiegend Ausweichverhalten. Dohlen wichen einerseits der Anlage aus, andererseits landeten sie sogar auf der Anlage. Die Arten zeigten auch hinsichtlich der Abspannseile eine unterschiedliche Reaktion. Während Rauchschwalben nur ausnahmsweise zwischen den Abspannseilen hindurchflogen, zeigten sich Amseln weniger scheu und Feldsperlinge flogen sogar sehr häufig zwischen den Abspannseilen hindurch.
- Wie groß ist die Anzahl von Vögeln die an KWEA verunglücken? Es wurden während der 25-monatigen Untersuchungsperiode acht Schlagopferfunde als sichere Schlagopfer eingestuft, die für eine Hochrechnung der tatsächlichen Opferzahl maßgeblich waren. Das ergibt für die gesamte Untersuchungsperiode eine hochgerechnete Schlagopferzahl von 24 (Konfidenzintervall 95% 13 - 43). Somit verunglücken jährlich 0,82 Vögel pro KWEA.
- Welche Arten sind betroffen? Die acht Schlagopfer setzten sich aus sechs Arten zusammen, jeweils einmal Bachstelze, Rabenkrähe, Star, Stieglitz und Turmfalke, sowie dreimal Dohle. Dabei handelt es sich um kleine und mittelgroße Arten, die am Rande von Dörfern und Siedlungen vorkommen.
- Besteht ein Zusammenhang von Standortparametern und Schlagopferzahlen? Zwischen der hochgerechneten Schlagopferzahl und der Habitatausstattung im Umkreis von 50 m um die jeweilige KWEA bestand ein Zusammenhang. Dabei wirkten sich Heckenlänge, Vogelschutzmaßnahmen (Nistkästen, Vogelfütterung), die Nähe zu viehhaltenden Betrieben und der Flächenanteil von Gebäuden, Hofflächen, Gärten und Gehölzen steigend auf die Schlagopferzahlen aus.

Fledermäuse

- Welche Fledermausarten sind an den KWEA anzutreffen? Akustisch sicher nachgewiesene Arten waren:
 Abendsegler (*Nyctalus noctula*)
 Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*)
 Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*)
 Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*)
 Braunes Langohr (*Plecotus auritus*)
 Zusätzlich wurden folgende Arten aus den akustisch nicht sicher bestimmbar Gruppen vermutet:
 Breitflügelfledermaus (*Eptesicus serotinus*)
 Kleinabendsegler (*Nyctalus leisleri*)
 Zweifarbfledermaus (*Vespertilio murinus*)
 Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*)
 Fransenfledermaus (*Myotis nattereri*)
 Theoretisch möglich aufgrund der akustisch nicht artspezifisch auflösenden Gruppen, aber aufgrund der Verbreitung unwahrscheinlich:
 Brandfledermaus (*Myotis brandtii*)
 Teichfledermaus (*Myotis dasycneme*)

Wann sind diese Fledermausarten an den KWEA anzutreffen? Witterungsabhängig können Fledermäuse jederzeit von Frühjahr bis Herbst aktiv sein, die höchste Aktivität ist jedoch

während und unmittelbar nach der Wochenstubezeit (Juni - September, mit einem Maximum im August) und hier insbesondere im ersten Nachtviertel, zu erwarten. Die Aktivitätsmaxima der ziehenden Arten (Rauhautfledermaus, Abendsegler) sind abweichend davon im Frühjahr und Herbst zu erwarten, diese Arten standen aber nicht im Fokus der Studie.

- Welchen Einfluss haben meteorologische Faktoren und Standortparameter auf die Fledermausaktivität an den KWEA? Grundsätzlich beeinflusst Wind die Fledermausaktivität negativ und Temperatur positiv. Einflüsse vom Anteil an Bebauung oder Wald im zwei Kilometer - Umfeld konnten in der vorliegenden Studie nicht gefunden werden. Die Rückschlüsse auf Landschaftsparameter als erklärende Variable für die Aktivitätsverteilung der Fledermäuse müssen aufgrund der kleinen Stichprobengröße von nur 14 bzw. zehn KWEA-Standorten kritisch betrachtet werden. Mögliche Effekte der umgebenden Landschaft konnten bei dem hier gewählten Studiendesign, dessen primäre Fragestellung die Klärung des Verhaltens von Fledermäusen an KWEA ist, nur eingeschränkt überprüft werden.
- Gibt es Anlockeffekte oder Meideverhalten seitens der Fledermäuse? In der vorliegenden Studie wurden keine Hinweise auf eine kleinräumige Anlockung oder ein kleinräumiges Explorationsverhalten seitens der Fledermäuse gefunden. Unsere Ergebnisse gelten allerdings nur für einen wenige Meter großen Radius um die KWEA, was auf die Reichweite der akustischen Erfassungsgeräte und der Kamera zurückzuführen ist. Außerdem waren -auf derselben räumlichen Skala- keine Hinweise auf ein Meideverhalten von Fledermäusen zu beobachten.
- Spielt der Betriebszustand der KWEA eine Rolle für die Meidung von KWEA durch Fledermäuse? Ob der Rotor sich drehte oder nicht, hatte in der vorliegenden Studie keinen signifikanten Einfluss auf die akustische oder optische Fledermausaktivität oder den Abstand der Fledermausflugbahnen zu den hier untersuchten Anlagen.
- Wie groß ist die Anzahl von Fledermäusen, welche an KWEA verunglücken? Es wurden im Rahmen der vorliegenden Studie keine Fledermaus-Schlagopfer gefunden und keine Kollisionen beobachtet. Das heißt jedoch nicht, dass es nicht theoretisch zu Schlagopfern gekommen sein kann. Aufgrund der Unsicherheiten bezüglich der Abtragsraten und Sucheffizienz sind pro KWEA/Jahr durchschnittlich 0,08 Schlagopfer an den untersuchten Anlagen ermittelt worden.

Obwohl die vorliegende Studie keine Hinweise auf ein erhöhtes Kollisionsrisiko für Fledermäuse an den untersuchten KWEA liefert, ist zu betonen, dass dieses Ergebnis in keiner Weise auf andere Naturräume, andere Anlagentypen oder ein anderes Fledermausartenspektrum übertragen werden darf. Zudem gilt zu berücksichtigen, dass in der vorliegenden Studie nicht untersucht werden konnte, wie sich die Fledermäuse an einer neu aufgebauten Anlage oder an einer KWEA in Quartiernähe verhalten. Rückschlüsse auf solche Situationen sind daher nicht zulässig.

5. Empfehlungen für die Planung, Genehmigung und den Betrieb von KWEA

Die sich aus dieser Untersuchung ergebenden Empfehlungen leiten sich aus den Felduntersuchungen im nördlichen Schleswig-Holstein ab und wurden an Anlagen mit einer Gesamthöhe von etwa 20 m durchgeführt. Eine Übertragung der Empfehlungen auf andere nicht vergleichbare Standorte sowie Anlagentypen und –größen und anderen Artenspektren ist insofern nicht möglich. Für sensible Standorte an Schutzgebieten oder in der Umgebung von Quartieren von Fledermäusen oder windkraftsensibler Arten sind detailliertere Untersuchungen notwendig.

5.1. Anlagentypen und Standortwahl für KWEA

Vögel

Auf Basis der Untersuchungen mit acht Schlagopferfunden kann ein vergleichsweise hohes Kollisionsrisiko konstatiert werden, wenn man die Zahlen ins Verhältnis zur erzeugten Strommenge setzt. Die Anzahl der hochgerechneten Kollisionen hatten klare Bezüge zum Typ der Anlage und zum Standort. Der Typ EasyWind 6.0 verursacht durch die Ansitz- und sogar Nistmöglichkeiten, die er Vögeln bietet, ein klar erhöhtes Kollisionsrisiko und sollte dringend umgerüstet werden.

Das Schlagrisiko ließ sich in dieser Untersuchung relativ klar anhand der Standortparameter der Umgebung abschätzen. Hohe Anteile von Strukturen, die Siedlungs- und Waldvögel anziehen wie Gebäude, Hofanlagen, Gehölze und Hecken sowie Nistkästen und Vogelfütterungen und die Nähe zu viehhaltenden Betrieben erhöhten das Kollisionsrisiko.

Auf Basis der Untersuchungen und deren statistischer Auswertung wurde eine Formel entwickelt, die auf den Parametern Hecken, Viehhaltung, Gebäude und Vogelschutzaktivitäten (Nisthilfen, Vogelfütterung) basiert. Mit dieser Gleichung (vgl. Kap. 3.3.5) lässt sich erstmals eine objektive Prognose für das Schlagopferisiko potenzieller KWEA-Standorte stellen. Die dazu notwendigen Daten können vergleichsweise einfach durch die Auswertung von Luftbildern und einen Geländebesuch ermittelt werden. Ab welchem Prognosewert eine KWEA an einem bestimmten Standort genehmigungsfähig ist, lässt sich anhand der Gleichung selbstverständlich nicht bestimmen, sondern muss im Rahmen verschiedener Abwägungsprozesse geklärt werden.

Beispiel

Die GIS Auswertung für einen 250 m Puffer um einen geplanten KWEA Standort ergab folgende Werte:

- Flächenanteil Garten: 5,5%
- Flächenanteil Grünland: 53%
- Distanz zur nächsten Hecke: 20 m
- Distanz zum nächsten Gebäude: 95 m
- Distanz zum nächsten Betrieb mit Tierhaltung (Milchviehbetrieb): 150 m
- Es werden bei einer Begehung Nistkästen oder Vogelfütterungen festgestellt.
- Es befindet sich eine Weide in der unmittelbaren Umgebung der KWEA

Tabelle 31: Berechnung der Werte für die Umweltvariablen für eine Beispiel-KWEA zur Ermittlung der täglichen Mortalitätsrate. Errechn. Wert = (Werte.log - Mittelwert.log) / Standardabw.log

Variable	ermittelte Werte	Werte. log	Mittelwert.log	Werte. log - Mittelwert.log	Standardabw.log	Errechn. Wert	Modellkoeffizient
Gartenfläche % +1 β_2	5,5	$\log(6.5)=1.871802$	0,59159	1.280212	1,08491	1.1800	-0,07
Grünlandfläche % β_3	53	3.970292	4,19298	-0.2226881	0,29038	-0.7669	0,09
Distanz Hof mit Vieh β_4	150	5.010635	4,32540	0.6852353	0,78522	0.8727	-0,96
Distanz zur Hecke β_5	20	2.995732	3,21547	-0.2197377	1,258	-0.1747	-1,56
Distanz zum Gebäude β_6	95	4.553877	3,97284	0.5810369	0,57833	1.005	-0,51
Weide β_1	1					-1,260	
$\beta_0[1]$ (Vogelschutz)	1					-5,260	

Berechnung: Die errechneten Werte für die Umweltvariablen (Tabelle 31) werden mit den Modellkoeffizienten multipliziert und die Ergebnisse entsprechend der Gleichung addiert.

$$-5,26 -1,26 -0,07*1,1800 + 0,09*(-0,7669) -0,96*(0,8727) -1,56*(-0,1747) -0,51*(1,005) = -7,749$$

Die tägliche Mortalitätsrate entspricht: $\exp(-7,749) = 0,00043$, d. h. im Durchschnitt alle 2300 Tage ein Schlagopfer.

Diese Beispiel-Anlage hat eine geringe Mortalitätsrate, weil sie überdurchschnittlich weit von Höfen und Gebäuden entfernt liegt und in einer Weide steht. Je höher tägliche Mortalitätsrate ist, desto weniger ist der überprüfte Standort geeignet.

Diese Berechnung kann Hinweise auf die Standorteignung aus Sicht des Vogelschutzes für eine KWEA geben. Vor allem lassen sich Alternativstandorte hinsichtlich einer Eignung vergleichen. Ob eine Anlage letztendlich genehmigt wird oder nicht, ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Wie zukünftig bei der Genehmigung von KWEA vorgegangen werden soll, ist von Seiten der zuständigen Behörden zu klären. Diese Studie liefert Hinweise dazu.

Darüber hinaus muss das Brutvorkommen von empfindlichen Großvogelarten wie z. B. Weißstorch, Greifvögel und Eulen berücksichtigt werden. Des Weiteren sollten KWEA Standorte in der Nähe von bekannten Rast- und Sammelpunkten von störempfindlichen Arten so gewählt werden, dass die Rastvögel nicht beeinträchtigt werden (Bsp. Anlage 4 – Weißwangengans, Sturmmöwen).

Fledermäuse

Obwohl die vorliegende Studie keine Hinweise auf ein erhöhtes Kollisionsrisiko bei baugleichen Anlagen innerhalb des untersuchten Naturraums und Artenspektrums liefert, verbleiben Unsicherheiten, was das grundsätzliche Kollisionsrisiko von Fledermäusen an Kleinwindenergieanlagen betrifft. Die vorliegenden Ergebnisse gelten innerhalb der speziellen Untersuchungsbedingungen und können nicht verallgemeinert werden. Berücksichtigt man den relativ großen Aufwand für eine jeweils individuelle gutachterliche Prüfung eines potentiellen Standorts auf z. B. Fledermausquartiere, ist es ratsam, dass vorsorglich betriebsbedingte Vermeidungsmaßnahmen, insbesondere durch ein Abschalten der KWEA, implementiert werden. Dies wird aktuell bei großen WEA bereits umfassend angewendet (Brinkmann et al. 2011, Behr et al. 2016b).

Als Möglichkeit bietet sich die Installation eines sogenannten „Bat Protectors“, eines Fledermaus-Schutz-Geräts für Kleinwindanlagen an, welche speziell für diesen Zweck entwickelt wurde. Diese berücksichtigt meteorologische Parameter, wie Temperatur und Windgeschwindigkeit sowie Tageszeiten und schaltet die Anlage bei kritischen äußeren Bedingungen ab. Als Orientierung können die Abschaltzeiten der großen WEA (zwischen dem 1. April und dem 31. Oktober) gelten, welche Temperatur- und Windbedingungen mit nachweislich hohen Fledermausaktivitäten sowie die Aktivitätsverteilung über den Nacht- und Jahresverlauf berücksichtigen (Brinkmann et al. 2011, Behr et al. 2016b). Der Leitfaden mit Hinweisen zur artenschutzfachlichen Beurteilung von Kleinwindenergieanlagen aus Rheinland-Pfalz dehnt diesen Zeitraum für KWEA auf den 15. März bis zum 15. November aus (LUWG Rheinland-Pfalz 2015).

Obwohl unsere Studie ein geringes Gefährdungspotential von Fledermäusen durch KWEA nahelegt, kann der Einsatz von Abschaltalgorithmen durchaus sinnvoll sein, um Unwägbarkeiten wie geographischen, technischen und artspezifischen Besonderheiten gerecht zu werden und somit sicherzustellen, dass der Betrieb von KWEA keine artenschutzrechtlichen Verbotstatbestände auslöst.

Des Weiteren ist in bestimmten Situationen mit einem erhöhten Kollisionsrisiko aufgrund der Standortwahl zu rechnen. Fledermäuse bewegen sich auf ihren Flugrouten zwischen Quartier und Jagdhabitat bevorzugt an Strukturen wie Hecken (Verboom & Huitema 1997, Verboom & Spoelstra 1999, Kelm et al. 2014). Zudem ist bekannt, dass Fledermäuse weniger häufig Ortrufungen aussenden, wenn sie ihnen bekannte Strecken fliegen (Barchi et al. 2013). Die Errichtung von KWEA in solchen etablierten Flugrouten und häufig genutzten Jagdhabitaten könnte zu signifikanten Schlagereignissen führen (Alder 2017). An KWEA, die nahe an Strukturen wie Hecken, Gebäuden oder Baumreihen errichtet werden, sind daher Beeinträchtigungen der lokalen Fledermauspopulation möglich. Da die von uns untersuchten KWEA allesamt weiter entfernt von Gehölzen im Offenland standen, konnte dieser Sachverhalt in der vorliegenden Studie nicht überprüft werden. Konkrete Abstandsempfehlungen lassen sich aus der vorliegenden Untersuchung also nicht ableiten, da der Forschungsansatz nicht auf diese Fragestellung abzielt. Aus Vorsorgegesichtspunkten empfehlen wir daher, die in Großbritannien und Rheinland-Pfalz angewandte Abstandsregelung von mindestens 20 m zu Gehölz- oder Gebäudestrukturen (LUWG Rheinland-Pfalz 2015, Minderman et. al 2012) auch auf die übrigen Bundesländer auszuweiten.

6. Zusammenfassung

Obwohl bereits über 17.000 Kleinwindenergieanlagen (KWEA) in Deutschland installiert sind, liegen über ihre Auswirkungen auf Vögel und Fledermäuse in Mitteleuropa bisher nur wenige Erkenntnisse vor. An 15 bereits existierenden KWEA im nördlichen Schleswig-Holstein wurde deshalb zwischen Juli 2015 und Juli 2017 untersucht, ob Vögel und Fledermäuse durch KWEA verdrängt werden oder in ihren Rotoren zu Tode kommen. Es handelte sich um fünf Anlagentypen mit einer Leistung zwischen 5,0 und 15,0 kW und einer Gesamthöhe zwischen 18 m und 30,5 m.

Um die mögliche Verdrängung von Vögeln durch KWEA zu untersuchen, wurde jedem KWEA Standort ein in der Umgebung liegender Vergleichsstandort ohne KWEA zugeordnet. Es fanden wöchentlich systematische Beobachtungen von Vögeln an allen 15 KWEA- und Referenzstandorten statt. Dabei wurden von einem Punkt mit guten Beobachtungsbedingungen jeweils 45 Minuten lang alle Aktivitäten von Vögeln im Umkreis von 250 m um die KWEA bzw. bei den Vergleichsflächen um einen Referenzpunkt erfasst. Außerdem erfolgte eine Erfassung von Brutvögeln auf denselben Flächen.

Um Verdrängungseffekte von Vögeln durch KWEA feststellen zu können, wurde die Anzahl einzelner häufiger Arten zwischen Untersuchungsflächen mit KWEA mit denen der Vergleichsflächen ohne KWEA verglichen. Dabei wurden lineare Modelle zur Erklärung der Bestände benutzt, um den Einfluss verschiedener Habitatparameter zu berücksichtigen. Eine Verdrängung aus dem Bereich der KWEA wurde dann angenommen, wenn der Faktor KWEA sich als signifikant negativ erwies. Bei den Brutvögeln wurde analog vorgegangen.

Mit Hilfe von akustischen Dauererfassungen mit Fledermausdetektoren wurden im Jahr 2015 Daten über das lokale Fledermausartspektrum, die Fledermausphänologie und die Fledermausaktivität an den untersuchten KWEA vorgenommen. Die aufgezeichneten Fledermausrufsequenzen aus der automatischen akustischen Dauererfassung dienten außerdem der Auswahl der KWEA-Standorte und Erfassungszeiträume für die aufwendigen stereo-optischen Beobachtungen im Jahr 2016.

Zur Klärung, ob Fledermäuse sich den KWEA nähern, sie meiden oder mit ihnen kollidieren, wurde ein eigens entwickeltes optisch arbeitendes System eingesetzt. Mittels einer automatisiert arbeitenden Stereo-Infrarot-Kamera wurden im August 2016 die zehn zu untersuchenden KWEA zeitgleich beprobt und Fledermäuse an den KWEA räumlich genau verortet. Um den Einfluss des Betriebes von KWEA auf das Meideverhalten von Fledermäusen zu untersuchen, wurde 2016 außerdem ein Abschaltexperiment an zehn KWEA durchgeführt.

Während jeder wöchentlichen Begehung wurde jeweils nach den ornithologischen Beobachtungen eine Schlagopfersuche durchgeführt. Die Schlagopfersuche erfolgte in einem Bereich von 20 - 30 m um die KWEA. Für die Hochrechnung der tatsächlichen Kollisionsrate wurde das R-Paket „carcass“ verwendet. Dazu wurden an jedem Standort die Abtragsrate ausgelegter Kadaver ermittelt sowie die Sucheffizienz der einzelnen Mitarbeiter ermittelt.

Bei den ornithologischen Untersuchungen konnten in allen Untersuchungsgebieten zusammen insgesamt 160 Vogelarten mit insgesamt 339.856 Individuen gezählt werden. Häufig wurden Vogelarten der siedlungsnahen Lebensräume, wie Star, Sperlinge oder Schwalben beobachtet. Während der 25-monatigen Feldarbeit wurden acht Schlagopfer sicher identifiziert. Diese setzten sich aus sechs Arten zusammen, jeweils einmal Bachstelze, Rabenkrähe, Star, Stieglitz und Turmfalke, sowie dreimal Dohle.

Bei der Brutbestandserfassung konnte in den beiden Untersuchungsjahren 74 Vogelarten auf den Referenzflächen nachgewiesen werden.

Das Meideverhalten von Vögeln gegenüber KWEA wurde für insgesamt 11 Vogelarten jeweils für Sommer und Winter, sowie jeweils für fliegende bzw. für stationäre Individuen getrennt untersucht. Der Faktor „KWEA“ konnte mit Hilfe der linearen Modelle nicht als signifikant

negative Einflussgröße für die Vogeldichte bestätigt werden. Bei einigen Arten war der Faktor „KWEA“ sogar eine statistisch signifikant positive Einflussgröße, was wiederum zu Erhöhung des Kollisionsrisikos führen kann. Ein signifikant negativer Einfluss durch das Vorhandensein von KWEA auf das Vorkommen von Brutvogelarten konnte nicht nachgewiesen werden.

Bezogen auf alle Beobachtungsdurchgänge kam es durchschnittlich zu 3,5 gefährlichen Flugbewegungen (seitlicher Abstand von 10 m und horizontaler Abstand von 5m zur Nabe) von Individuen pro Begehung (45 Min.) bzw. 4,7 individuellen gefährlichen Flugbewegungen pro Stunde. Dabei handelte es sich vor allem um folgende Arten: Star, Wachholderdrossel, Sturm-möwe, Rauchschnalbe und Dohle. Die Anzahl der Flugbewegungen im Gefahrenbereich schwankte zwischen den Anlagenstandorten beträchtlich von 0,17 Individuen pro Stunde bis 12,61 Individuen pro Stunden Anhand der Gesamtanzahl der Flugbewegungen lassen sich keine Aussagen zu gefährlichen Flugbewegungen ableiten.

Es konnten folgende Fledermausarten im Untersuchungsgebiet sicher identifiziert werden: Abendsegler, Rauhaut-, Zwerg- und Mückenfledermaus sowie das Braune Langohr. Die Anzahl an Fledermausaufnahmen pro Nacht stieg mit fortschreitender Jahreszeit ab Mai bis auf ein Maximum im August an. Ab September nahmen die Aufnahmen pro Nacht wieder ab, bis sie Ende Oktober auf ein Minimum abfielen. Unabhängig von der Jahreszeit zeigt sich in beiden Jahren, dass mit einem Ansteigen der Nachttemperaturen eine gesteigerte Fledermausaktivität in Form von detektierten Aufnahmen pro Nacht auftrat.

Die Windgeschwindigkeit hatte für alle Fledermausarten und Artengruppen einen hochsignifikant negativen Effekt auf die Aktivität. Die Temperatur zeigte nur für die Artengruppe „Nyctaloide“ einen signifikant positiven Effekt. Die Landschaftsparameter Bebauung und Wald, die als Maß für ein potenzielles Quartierangebot in die Auswertung eingingen, zeigten keinen Effekt.

Ein mögliches betriebsbedingtes Meideverhalten wurde anhand eines Abschaltexperiments untersucht. In der Summe sind die akustischen Aktivitätsdaten zwischen den KWEA bei laufendem oder stehendem Motor ähnlich. Es ergibt sich über alle Anlagen summiert betrachtet kein signifikanter Unterschied in der gesamten Fledermausaktivität zwischen den Betriebszuständen, dies gilt auch, wenn die häufigsten Arten und Artengruppen getrennt betrachtet werden.

Von 41 Flugbahnen im 10 m-Radius um die Nabe wurden lediglich fünf bei drehenden Rotoren verzeichnet. Nur eine Flugbewegung näherte sich der Nabe bis auf weniger als drei Meter an und tangierte damit überhaupt den vom Rotor überstrichenen Bereich - die betreffende Anlage war hierbei außer Betrieb. Die meisten Fledermäuse hielten sich bodennah bis in Höhen von zehn Metern auf. Kleinstäumiges Explorationsverhalten an KWEA durch Fledermäuse oder ein gezieltes Anfliegen von KWEA wurde nicht beobachtet.

Der Betriebszustand der KWEA hatte keinen signifikant nachweisbaren Einfluss auf das räumliche Flugverhalten der Fledermäuse, die sich sowohl bei stillstehendem als auch drehendem Rotor hauptsächlich in 13 -18 m Abstand zur Gondelmitte aufhielten. Auch die Temperatur und die Windgeschwindigkeit zeigten keinen Einfluss auf die maximale Annäherung an die Gondelmitte.

Die Schlagopfersuche ergab acht sichere Schlagopferfunde, die für die Hochrechnung der tatsächlichen Opferzahl maßgeblich waren. Sie setzten sich aus sechs Arten zusammen, jeweils einmal Bachstelze, Rabenkrähe, Star, Stieglitz und Turmfalke, sowie dreimal Dohle. Fledermäuse wurden nicht gefunden.

Die Hochrechnung der tatsächlichen Vogel-Schlagopferzahl unter Verwendung der Verbleibe-rate ($s = 0,906$) und der Sucheffizienz ($f = 0,55$), die Anzahl der Schlagopfersuchen ($n = 1476$), das Suchintervall ($d = 7$) und der Anteil der absuchbaren Fläche ($a = 0,7$) ergab eine mittlere Schlagopferzahl von 24 (95 %-Konfidenzintervall 13 - 43) während des Unter-

suchungszeitraumes von Juli 2015 bis Ende Juli 2017. Daraus ergibt sich eine jährliche Schlagopferzahl für Vögel von 0,82 pro KWEA.

Das Kollisionsrisiko hatte klare Bezüge zum Typ der Anlage und zum Standort. Der Typ Easy-Wind 6.0 verursachte durch die Ansitz- und sogar Nistmöglichkeiten für Vögel, ein erhöhtes Kollisionsrisiko. Das Schlagrisiko ließ sich relativ klar anhand der Standortparameter der Umgebung abschätzen. Hohe Anteile von Strukturen, die Siedlungs- und Waldvögel anziehen, wie Gebäude, Hofanlagen, Gärten, Gehölze und Hecken sowie Nistkästen und Vogelfütterungen und die Nähe zu viehhaltenden Betrieben erhöhten das Kollisionsrisiko. Mit einer aus der Analyse der pro Anlage hochgerechneten Schlagopferzahlen ermittelten Gleichung lässt sich eine Prognose für das Schlagopferisiko potenzieller KWEA-Standorte stellen (sh. Kap 5.1). Die dazu notwendigen Daten können vergleichsweise einfach durch die Auswertung von Luftbildern und einen Geländebesuch ermittelt werden.

7. Literatur

- Adomeit, U. I., Niermann, I., Behr, O. & Brinkmann, R. (2011): Charakterisierung der Fledermausaktivität im Umfeld von Windenergieanlagen mittels IR-Stereoaufnahmen. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (eds): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. 145-176. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Alder, H. (2017). Langzeit-Monitoring an einer Kleinwindanlage mittels Wärmebild-Kameras und Chancen für die Risiko-Einschätzung. Nationale Tagung Fledermausschutz und Fledermausforschung 2017, Bern, Schweiz, Schweizer Koordinationsstelle für Fledermausschutz.
- Arnett, E. B., Baerwald, E. F., Mathews, F., Rodrigues, L., Rodríguez-Durán, A., Rydell, J., Villegas-Patraca, R. & Voigt, C. C. (2016): Impacts of Wind Energy Development on Bats: A Global Perspective. In: Voigt, C. C. & Kingston, T. (eds): Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World. Springer International Publishing, Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London.
- Bach, L. (2001): Fledermäuse und Windenergienutzung - reale Probleme oder Einbildung? Vogelkdl. Ber. Niedersachsen 33: 119-124.
- Bach, L., Bach, P., Tillmann, M. & Zucchi, H. (2012): Fledermausaktivität in verschiedenen Straten eines Buchenwaldes in Nordwestdeutschland und Konsequenzen für Windenergieplanungen. Naturschutz und Biologische Vielfalt 128: 147-158.
- Baerwald, E., Patterson, W. & Barclay, R. (2014): Origins and migratory patterns of bats killed by wind turbines in southern Alberta: evidence from stable isotopes. *Ecosphere* 5: 1-17.
- Baerwald, E. F. & Barclay, R. M. R. (2011a): Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. *The Journal of Wildlife Management* 75: 1103-1114.
- Baerwald, E. F. & Barclay, R. M. (2011b): Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. *The Journal of Wildlife Management* 75: 1103-1114.
- Baerwald, E. F., D'Amours, G. H., Klug, B. J. & Barclay, R. M. R. (2008): Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology* 18:
- Barchi, J. R., Knowles, J. M. & Simmons, J. A. (2013): Spatial memory and stereotypy of flight paths by big brown bats in cluttered surroundings. *The Journal of Experimental Biology* 216: 1053-1063.
- Barclay, R. M. R., Baerwald, E. F. & Gruver, J. C. (2007): Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Canadian Journal of Zoology* 85: 381-387.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015): Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67: 1-48.
- Behr, O., Brinkmann, R., Niermann, I. & Korner-Nievergelt, F. (2011): Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (eds): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. 177-286. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Behr, O., Eder, D., Marckmann, U., Mette-Christ, H., Reisinger, N., Runkel, V. & Helversen, O. v. (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: 115-117.

- Behr, O., Brinkman, R., Korner-Nievergelt, F., Nagy, M., Niermann, I., Reich, M. & Simon, R. (2016a): Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore Windenergieanlagen (RENEBAT II): Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. Repositorium der Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum; 7), Hannover.
- Behr, O., Brinkmann, R., Korner-Nievergelt, F., Nagy, M., Niermann, I., Reich, M. & Simon, R. (2016b): Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore Windenergieanlagen (RENEBAT II): Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. 374. Repositorium der Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum; 7), Hannover.
- Bernotat, D. & Dierschke, V. (2016): Übergeordnete Kriterien zur Bewertung der Mortalität wildlebender Tiere im Rahmen von Projekten und Eingriffen. 3. Fassung, Stand 20.09.2016:
- BioConsult SH & ARSU (2010): Zum Einfluss von Windenergieanlagen auf den Vogelzug auf der Insel Fehmarn. Gutachterliche Stellungnahme auf Basis der Literatur und eigener Untersuchungen im Frühjahr und Herbst 2009. Im Auftrag der Fehmarn Netz GmbH & Co. OHG. Husum, Oldenburg.
- Borkenhagen, P. (2011): Die Säugetiere Schleswig-Holsteins. 664. Husum Verlag, Husum.
- Brinkmann, R., Schauer-Weissshahn, H. & Bontadina, F. (2006): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. 66. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg - Referat 56 Naturschutz und Landschaftspflege, Gundelfingen.
- Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. *Umwelt und Recht* 4: 457. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Brinkmann, R., Bach, L., Dense, C., Limpens, H., Mäscher, G. & Rahmel, U. (1996): Fledermäuse in Naturschutz- und Eingriffsplanungen - Hinweise zur Erfassung, Bewertung und planerischen Integration. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 28: 229-236.
- Briscoe, A. D. & Chittka, L. (2001): The Evolution of Color Vision in Insects. *Annual Review of Entomology* 46: 471-510.
- Brooks, S. & Gelman, A. (1998): General Methods for Monitoring Convergence of Iterative Simulations. *Journal of Computational Graphical Statistics* 7: 434-55.
- Corten, G. P. & Veldkamp, H. F. (2001): Insects can halve wind-turbine power. *Nature* 412: 41-42.
- Cryan, P. M. & Barclay, R. M. R. (2009): Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy* 90: 1330-1340.
- Cryan, P. M., Gorresen, P. M., Hein, C. D., Schirmacher, M. R., Diehl, R. H., Huso, M. M., Hayman, D. T., Fricker, P. D., Bonaccorso, F. J. & Johnson, D. H. (2014a): Behavior of bats at wind turbines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 15126-15131.
- Cryan, P. M., Gorresen, P. M., Hein, C. D., Schirmacher, M. R., Diehl, R. H., Huso, M. M. P., Hayman, D. T. S., Fricker, P. D., Bonaccorso, F. J. & Johnson, D. H. (2014b): Behavior of bats at wind turbines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 15126-15131.
- de Lucas, M., Janss, G. E. & Ferrer, M. (2004): The effects of a wind farm on birds in a migration point: the Strait of Gibraltar. *Biodiversity & Conservation* 13: 395-407.
- Dietz, C., Helversen, O. v. & Nill, D. (2007): Handbuch der Fledermäuse Europas und Nordwestafrikas. 399. Kosmos-Verlag, Stuttgart.

- Dietz, C., Dietz, I., Hartmann, S., Hurst, J., Kohnen, A., Steck, C. & Brinkmann, R. (2016): Identifizierung von Schlüsselparametern für die Entwicklung von Populationsmodellen bei Fledermäusen. In: Hurst, J., Biedermann, M., Dietz, C., Dietz, M., Karst, I., Krannich, E., Petermann, R., Schorcht, W. & Brinkmann, R. (eds): Fledermäuse und Windkraft im Wald. 353-396. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- Ferrer, M., De Lucas, M., Janss, G.F.E., Casado, E., Muñoz, A.R., Bechard, M.J. & Calabuig, C.P. (2012) Weak relationship between risk assessment studies and recorded mortality in wind farms. *Journal of Applied Ecology*, 49, 38-46.
- Flade, M. (1994): Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands. 1-879. IHW-Verlag, Eching.
- Gannon, W. L., O'Farrell, M. J., Corben, C. & Bedrick, E. J. (2004): Call Character Lexicon and Analysis of Field Recorded Bat Echolocation Calls. In: Thomas, J. A., Moss, C. F. & Vater, M. (eds): Echolocation in Bats and Dolphins. 631. The University of Chicago Press, Chicago.
- Grodsky, S. M., Behr, M. J., Gendler, A., Drake, D., Dieterle, B. D., Rudd, R. J. & Walrath, N. L. (2011): Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. *Journal of Mammalogy* 92: 917-925.
- Grüneberg, C., Bauer, H.-G., Haupt, H., Hüppop, O., Ryslavy, T. & Südbeck, P. (2015): Rote Liste der Brutvögel Deutschlands. 5. Fassung, 30. November 2015. *Berichte zum Vogelschutz* 52: 19-67.
- Grünkorn, T., Diederichs, A., Stahl, B., Poszig, D. & Nehls, G. (2005): Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des Kollisionsrisikos von Vögeln an Windenergieanlagen. 109. Bio Consult SH im Auftrag des Landesamts für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein, Hockensbüll.
- Grünkorn, T., Blew, J., Coppack, T., Krüger, O., Nehls, G., Potiek, A., Reichenbach, M., Rönn, J. v., Timmermann, H. & Weitekamp, S. (2016): Ermittlung der Kollisionsraten von (Greif)Vögeln und Schaffung planungsbezogener Grundlagen für die Prognose und Bewertung des Kollisionsrisikos durch Windenergieanlagen (PROGRESS). Schlussbericht zum durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des 6. Energieforschungsprogrammes der Bundesregierung geförderten Verbundvorhaben PROGRESS, FKZ 0325300A-D. 338. Husum.
- Hall, L. S. & Richards, G. C. (1972): Notes on *Tadarida australis* (Chiroptera: Molossidae). *Australian Mammalogy* 1: 46-47.
- Hartley, R. & Zisserman, A. (2003): Multiple View Geometry in Computer Vision. 670. Cambridge University Press,
- Horn, J. W., Arnett, E. B. & Kunz, T. H. (2008): Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. *Journal of Wildlife Management* 72: 123-132.
- Hötter, H. (2017): Chapter 7 Birds: displacement. In: Perrow, M. R. (eds): *Wildlife and Wind Farms, Conflicts and Solutions*. Volume 1 Onshore: Potential Effects. 119-154. Pelagic Publishing, Exeter.
- Hötter, H., Thomsen, K.-M. & Köster, H. (2005): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse. 1-80. Bundesamt für Naturschutz, BfN-Skripten 142, Bad Godesberg.
- Howell, J. A. (1997): Bird mortality at rotor swept area equivalents, Altamont Pass and Montezuma Hills, California. *Transactions of the Western Section of the Wildlife Society*

- Hurst, J., Korner-Nievergelt, P., Schauer-Weissshahn, H. & Brinkmann, R. (2016a): Identifikation von Raum-Zeit-Mustern der Fledermausaktivität. In: Hurst, J., Biedermann, M., Dietz, C., Dietz, M., Karst, I., Krannich, E., Petermann, R., Schorcht, W. & Brinkmann, R. (eds): Fledermäuse und Windkraft im Wald. 121-156. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- Hurst, J., Biedermann, M., Dietz, C., Dietz, M., Karst, I., Krannich, E., Petermann, R., Schorcht, W. & Brinkmann, R. (2016b): Fledermäuse und Windkraft im Wald. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 153: 400. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- Hurst, J., Biedermann, M., Dietz, M., Krannich, E., Karst, I., Korner-Nievergelt, F., Schauer-Weissshahn, H., Schorcht, W. & Brinkmann, R. (2016c): Fledermausaktivität in verschiedenen Höhen über dem Wald. In: Hurst, J., Biedermann, M., Dietz, C., Dietz, M., Karst, I., Krannich, E., Petermann, R., Schorcht, W. & Brinkmann, R. (eds): Fledermäuse und Windkraft im Wald. 157-197. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg.
- Huso, M. M. P., Dalthorp, D. H., Dail, D. A. & Madsen, L. J. (2014): Estimating Wind-Turbine Caused Bird and Bat Fatality When Zero Carcasses Are Observed. *Ecological Applications*. doi:10.1890/14-0764.1.
- IPCC (2014a): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 32*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2014b): *Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Klimaänderung 2014 Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016, IPCC, Genf, Schweiz.*
- Jüttemann, P. (2017): *Kleinwind-Marktreport 2017: Die besten Kleinwindkraftanlagen in Deutschland*. 193.
- Kelm, D. H., Lenski, J., Kelm, V., Toelch, U. & Dziock, F. (2014): Seasonal Bat Activity in Relation to Distance to Hedgerows in an Agricultural Landscape in Central Europe and Implications for Wind Energy Development. *Acta Chiropterologica* 16: 65-73.
- Korner-Nievergelt, F., Brinkmann, R., Niermann, I. & Behr, O. (2013): Estimating Bat and Bird Mortality Occurring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models. *PlosOne* 8 (7): e67997. doi: 10.1371/journal.pone.0067997.
- Knief, W., Berndt, R. K., Hälterlein, B., Jeromin, K., Kiekbusch, J. J. & Koop, B. (2010): Die Brutvögel Schleswig-Holsteins, Rote Liste. 5: 7-102. Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein,
- Kruckenberger, H., Bellebaum, J. & Wille, V. (2008): Escape distances of staging Arctic geese along the flyway. *Vogelwelt* 129: 169-173.
- Kunz, T. H. & Fenton, M. B. (2003): *Bat Ecology*. 779. University of Chicago Press, Chicago.
- Langston, R. W. H. & Pullan, J. D. (2003): *Wind farms and birds: an analysis of the effects of wind farms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues*. Report written by BirdLife International on behalf of the Bern Convention, Sandy.
- Long, C. V., J. A. Flint, P. A. Lepper und S. A. Dible (2009). Wind turbines and bat mortality: interactions of bat echolocation pulses with moving turbine rotor blades. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 31: 183-190.
- Long, C., Flint, J. & Lepper, P. (2010): Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? *European Journal of Wildlife Research* 57: 323-331.

- LUWG Rheinland-Pfalz (2015): Leitfaden - Hinweise zur artenschutzfachlichen Beurteilung von Kleinwindenergieanlagen (KWEA). 12. Mainz.
- Minderman, J., Lind, J. & Cresswell, W. (2006): Behaviourally mediated indirect effects: interference competition increases predation mortality in foraging redshanks. *Journal of Animal Ecology* 75: 713-723.
- Minderman, J., Pendlebury, C. J., Pearce-Higgins, J. W. & Park, K. J. (2012): Experimental Evidence for the Effect of Small Wind Turbine Proximity and Operation on Bird and Bat Activity. *PLoS ONE* 7: e41177.
- Minderman, J., Gillis, M. H., Daly, H. F. & Park, K. J. (2017): Landscape-scale effects of single- and multiple small wind turbines on bat activity. *Animal Conservation* 20: 455–462.
- Minderman, J., Fuentes-Montemayor, E., Pearce-Higgins, J. W., Pendlebury, C. J. & Park, K. J. (2015): Estimates and correlates of bird and bat mortality at small wind turbine sites. *Biodiversity and Conservation* 24: 467-482.
- MKULNV & MBWSV (2015): Erlass für die Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung (Windenergie-Erlass).
- Morrison, M. (2002): Searcher bias and scavenging rates in bird/wind energy studies. NREL/SR-500-30876,
- Moyle, A. (2016): The Impacts of Small and Medium Wind Turbines on Bats. Doctor of Philosophy in Biological Sciences: 341. University of Exeter,
- MUGV (2014): Leitfaden des Landes Brandenburg für Planung, Genehmigung und Betrieb von Windkraftanlagen im Wald.
- MWVLW, FM, MUEEF & MDI (2013): Hinweise für die Beurteilung der Zulässigkeit der Errichtung von Windenergieanlagen in Rheinland-Pfalz (Rundschreiben Windenergie).
- Neukirch, M. (2010): Die internationale Pionierphase der Windenergienutzung. Sozialwissenschaftliche Fakultät Georg-August-Universität Göttingen,
- Niermann, I., Von Felten, S., Korner-Nievergelt, F., Brinkmann, R. & Behr, O. (2011): Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (eds): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. 384-405. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- O'Shea, T. J., Cryan, P. M., Hayman, D. T., Plowright, R. K. & Streicker, D. G. (2016): Multiple mortality events in bats: a global review. *Mammal Review* 46: 175-190.
- Orloff, S. & Flannery, A. (1992): Wind turbine effects on avian activity, habitat use, and mortality in Altamont Pass and Solano County Wind Resource Areas, 1989–1991. Final Report to Alameda, Costra Costa and Solano Counties and the California Energy Commission California Energy Commission, Sacramento, California.
- Park, K., Turner, A. & Minderman, J. (2013): Integrating applied ecology and planning policy: The case of micro-turbines and wildlife conservation. *Journal of Applied Ecology* 50: 199-204.
- Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Langston, R. H. W., Bainbridge, I. P. & Bullman, R. (2009): The distribution of breeding birds around upland wind farms. *Journal of Applied Ecology* 46: 1323-1331.
- Pedersen, M. B. & Poulsen, E. (1991): Impact of a 90m/2 MW wind turbine on birds. Avian responses to the implementation of the Tjaereborg Wind Turbine at the Danish Wadden Sea. *Dansk Vildtundersogelser Kalø* 47: 1-45.

- Piorkowski, M. D. O. C., Timothy J. (2010): Spatial Pattern of Summer Bat Mortality from Collisions with Wind Turbines in Mixed-grass Prairie. *American Midland Naturalist* 164: 260-269.
- R Development Core Team (2017): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>. Wien.
- Rahmel, U., Bach, L., Brinkmann, R., Dense, C., Limpens, H., Mäscher, G., Reichenbach, M. & Rothen, A. (1999): Windkraftplanung und Fledermäuse - Konfliktfelder und Hinweise zur Erfassungsmethodik. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz* 4: 155-160.
- Reers, H., Hartmann, S., Hurst, J. & Brinkmann, R. (2017): Bat activity at nacelle height over forest. In: Köppel, J. (eds): *Wind Energy and Wildlife Interactions - Presentations from the CWW 2015*. 79-98. Springer Verlag, Cham.
- Reichenbach, M. (2003): Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Vögel - Ausmaß und planerische Bewältigung. Technische Universität Berlin, Berlin.
- Reichenbach, M., Brinkmann, R., Kohnen, A., Köppel, J., Menke, K., Ohlenburg, H., Reers, H., Steinborn, H. & Warnke, M. (2015): Bau- und Betriebsmonitoring von Windenergieanlagen im Wald. Abschlussbericht 30.11.2015. 351. Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.
- Reinhard, H. & Günther, A. (2013): Kleinwindenergieanlagen und Fledermäuse - Gefahrenabschätzung und artenschutzrechtliche Aspekte. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 45: 053-059.
- Rodrigues, L., Bach, L., Dubourg-Savage, B., Karapandža, D., Kováč, T., Kervyn, J., Dekker, A., Kepel, P., Bach, J. & Collins, C. (2015): Guidelines for consideration of bats in wind farm projects—Revision 2014. Eurobats Publication Series.
- Rogers, S. E., Duffy, M. A., Jefferis, J. G., Sticksel, P. R. & Tolle, D. A. (1976): Evaluation of the potential environmental effects of wind energy system development. Battelle Columbus Laboratories.
- Rollins, K. E., Meyerholz, D. K., Johnson, G. D., Capparella, A. P. & Loew, S. S. (2012): A forensic investigation into the etiology of bat mortality at a wind farm: barotrauma or traumatic injury? *Veterinary Pathology* 1-10.
- Russ, J. (2012): *British Bat Calls: A Guide to Species Identification*. 192. Pelagic Publishing, Exeter, UK.
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L. & Hedenström, A. (2010a): Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica* 12: 261-274.
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L. & Hedenström, A. (2010b): Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *European Journal of Wildlife Research* 56: 823-827.
- Rydell, J., Bach, L., Bach, P., Diaz, L. G., Furmankiewicz, J., Hagner-Wahlsten, N., Kyheröinen, E.-M., Lilley, T., Masing, M., Meyer, M. M., Petersons, G., Suba, J., Vasko, V., Vintulis, V. & Hedenström, A. (2014): Phenology of migratory bat activity across the Baltic Sea and the south-eastern North Sea. *Acta Chiropterologica* 16: 139-147.
- Stewart, G. B., Pullin, A. S. & Coles, C. F. (2007): Poor evidence-base for assessment of windfarm impacts on birds. *Environmental Conservation* 34: 1-11.
- STMI, KM, STMFLH, STMWI, STMUV, STMELF & STMGP (2016): Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen (WEA) (Windenergie-Erlass – BayWEE).

- Su, Y.-S., & Yajima, M. (2012): R2jags: A Package for Running Jags from R.
- Südbeck, P., Andretzke, H., Fischer, S., Gedeon, K., Schikore, T., Schröder, K. & Sudfeldt, C. (2005): Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands. Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten und Dachverband Deutscher Avifaunisten, Münster.
- Tennekes, H. (1973): The Logarithmic Wind Profile. *Journal of the Atmospheric Sciences* 30: 234-238.
- TMIL (2016): Erlass zur Planung von Vorranggebieten „Windenergie“, die zugleich die Wirkung von Eignungsgebieten haben (Windenergieerlass).
- UM, MLR, VM & MFW (2012): Windenergieerlass Baden-Württemberg.
- Verboom, B. & Huitema, H. (1997): The importance of linear landscape elements for the pipistrelle *Pipistrellus pipistrellus* and the serotine bat *Eptesicus serotinus*. *Landscape Ecology* 12: 117-125.
- Verboom, B. & Spoelstra, K. (1999): Effects of food abundance and wind on the use of tree lines by an insectivorous bat, *Pipistrellus pipistrellus*. *Canadian Journal of Zoology* 77: 1393-1401.
- Voigt, C. C., Lehnert, L. S., Petersons, G., Adorf, F. & Bach, L. (2015): Wildlife and renewable energy: German politics cross migratory bats. *European Journal of Wildlife Research* 61: 213-219.
- Wang, S. & Wang, S. (2015): Impacts of wind energy on environment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 49: 437-443.
- World Wind Energy Association (2016): Small Wind World Report 2016 - summary. 16. Bonn.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A. & Smith, G. M. (2009): *Mixed Effect Models and Extensions in Ecology with R*. Springer, New York.