

Akustisches Monitoring im Rotorbereich von Windenergieanlagen und methodische Probleme beim Nachweis von Fledermaus-Schlagopfern - Ergebnisse aus Untersuchungen im mittleren und südlichen Schwarzwald

Von OLIVER BEHR, DANIELA EDER, ULRICH MARCKMANN, HOLGER METTE-CHRIST, NADINE REISINGER, VOLKER RUNKEL und OTTO VON HELVERSEN, Erlangen

Mit 4 Abbildungen

1 Einleitung

Obwohl Auswirkungen von WEA auf Fledermäuse bereits seit einigen Jahren auch in der BRD diskutiert und nachgewiesen wurden (Übersicht in BRINKMANN 2004, DÜRR & BACH 2004, HÖTKER et al. 2004), ist die diesbezügliche Informationslage nach wie vor als unbefriedigend anzusehen. Dies gilt sowohl aus naturschutzfachlicher Sicht als auch für die Betreiber von WEA, denen an Planungssicherheit gelegen ist. Insbesondere zu möglichen Lösungsstrategien an potenziell konfliktträchtigen WEA-Standorten wurden bislang kaum Ergebnisse aus Feldstudien publiziert.

Wir stellen hier drei Fallstudien an WEA-Standorten im mittleren und südlichen Schwarzwald vor. Im Rahmen der Untersuchungen wurde erstmals ein akustisches Monitoring der Aktivität von Fledermäusen im Rotorbereich der WEA durchgeführt. Damit konnte der in früheren Publikationen (z. B. HENSEN 2004) vermutete Zusammenhang der Fledermausaktivität mit meteorologischen Parametern überprüft werden. Hieraus ergaben sich Ansätze zur Konfliktentschärfung an den untersuchten Standorten.

Die potenzielle Beeinträchtigung von Fledermäusen durch Windenergieanlagen (WEA) gliedert sich vorwiegend in zwei Konfliktfelder (Übersicht in BACH & RAHMEL 2004):

1. Abwertung des Lebensraums im Einflussgebiet der WEA durch bauliche Veränderungen und optische bzw. akustische Beeinträchtigungen.

2. Fledermausschlag durch physische Einwirkung der Rotoren auf die Tiere.

Der zweitgenannte Punkt scheint zum derzeitigen Kenntnisstand der bei weitem problematischere und für Planungs- und Naturschutzbelange relevantere zu sein (siehe hierzu auch BACH & RAHMEL 2004, BRINKMANN 2006) und stand im Zentrum der hier dargestellten Untersuchungen.

Das Gefährdungspotenzial durch Rotor Schlag an WEA wird für einzelne Fledermausarten häufig hinsichtlich des Jagd- bzw. Zugverhaltens differenziert (RAHMEL et al. 1999, BACH 2001, DÜRR 2002). Als besonders gefährdet werden hoch und schnell fliegende Arten eingestuft, die bevorzugt im freien Luftraum jagen oder ziehen (Großer Abendsegler, *Nyctalus noctula*, Kleiner Abendsegler, *N. leisleri*, Nordfledermaus, *Eptesicus nilssonii*, Zweifarbfledermaus, *Vespertilio murinus*). Die Periode des Herbstzuges von August bis Oktober wird häufig als besonders problematisch angesehen. Darüber hinaus gehende Hinweise zur Gefährdungslage der einzelnen Arten ergeben sich aus der Anzahl von Kadavern, die bei Nachsuchen unter WEA gefunden werden (z. B. DÜRR & BACH 2004).

Totfundnachsuchen sind jedoch mit methodischen Problemen hinsichtlich der Nachweisbarkeit von Schlagopfern behaftet. So können Nachsuchen unter WEA bei Fledermäusen zu einer völlig unrealistischen Einschätzung der Zahl tatsächlich vorhandener Kadaver führen (z. B. KERNS 2004, KERNS et al. 2005, BRINKMANN et al. 2006 b). Hierfür sind hauptsächlich

drei Faktoren verantwortlich: Der Schwund von Kadavern von den Flächen, das Übersehen von Kadavern bei der Nachsuche und die Tatsache, dass häufig nicht die gesamte in Betracht kommende Fläche unter den Anlagen absuchbar ist. Im Extremfall können die genannten Faktoren dazu führen, dass aussagekräftige Daten aus Totfunden auch mit sehr hohem Aufwand kaum zu erzielen sind (s. NIERMANN et al., SEICHE et al. i. ds. Heft).

Als weiterer Nachteil von Totfundnachsuchen ist zu sehen, dass sie bestenfalls täglich und in der Regel in größerem zeitlichen Abstand durchgeführt werden. Sie ermöglichen daher keine differenzierten Aussagen zum Aktivitätsmuster von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA. Fragen zu Aktivitätsschwerpunkten im Nachtverlauf, zum Verhalten im Rotorbereich oder zum Einfluss meteorologischer Parameter auf die Aktivität können mit diesem methodischen Ansatz daher kaum beantwortet werden.

Demgegenüber ermöglicht ein akustisches Monitoring die zeitlich genaue Erfassung der Echoortungsaktivität von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA. Dies gestattet eine differenzierte Beschreibung des Gefährdungspotenzials auf Artniveau, Rückschlüsse auf das Verhalten von Fledermäusen im Rotorbereich und die Korrelation der Aktivität mit Wind- und anderen Witterungsparametern. Solche Informationen können dazu beitragen, die Standortauswahl und den Betrieb von WEA „fledermausverträglich“ zu gestalten (KUNZ et al. 2007). Bestehende Interessenkonflikte zwischen Artenschutzbelangen und dem notwendigen Ausbau regenerativer Energien können damit entschärft werden.

Problematisch für ein akustisches Monitoring könnte sich die in der Literatur (z. B. BACH 2001) diskutierte Möglichkeit erweisen, dass Fledermäuse auf Transferflügen die Echoortung eventuell ganz oder zum Teil einstellen. Ob und in welchem Umfang ein solches Phänomen auftritt, wurde jedoch bislang nicht untersucht.

Die Möglichkeit eines akustischen Monitorings wurde in jüngerer Zeit auch von einer anderen Arbeitsgruppe in Deutschland untersucht (ADORF et al. 2006). Darüber hinaus gibt

es Untersuchungen in Europa und den USA, die die Aktivität von Fledermäusen an der WEA-Gondel durch wärmeoptische Erfassungsmethoden quantifiziert haben (DESHOLM 2003, HORN & ARNETT 2005, BRINKMANN et al. 2006 a, BRINKMANN et al. 2006 b).

Wir stellen hier die Ergebnisse aus fledermauskundlichen Untersuchungen an drei Windenergiestandorten im mittleren und südlichen Schwarzwald vor. Die Studien waren gutachterlicher Bestandteil des behördlichen Genehmigungsprozesses für die Standorte und wurden vom Betreiber der Anlagen (regiowind GmbH, Freiburg) in Auftrag gegeben. Über ein beziehungsweise zwei Jahre wurden die Auswirkungen der bereits bestehenden Anlagen auf die residente und migratorische Fledermauspopulation untersucht.

Der vom Auftraggeber der Untersuchungen zur Veröffentlichung freigegebene und hier dargestellte Teil der Untersuchungen umfasst das akustische Monitoring der Fledermausaktivität, nicht jedoch die Ergebnisse der zeitgleich durchgeführten Totfundnachsuchen unter den Anlagen.

Im Rahmen der Untersuchungen konnten wir erstmals eine akustische Aktivitätserfassung von Fledermäusen im Rotorbereich von WEA durchführen. Im Folgenden werden schwerpunktmäßig das dabei registrierte Artenspektrum, akustisch nachgewiesene Verhaltensaspekte und die Korrelation der Fledermausaktivität mit der Windgeschwindigkeit dargestellt. Diese Aspekte sind für die artenschutzfachliche Beurteilung geplanter WEA-Standorte einerseits und für den „fledermausverträglichen“ Betrieb bestehender Anlagen andererseits von Bedeutung.

2 Methoden und Untersuchungsgebiet

2.1 Windenergieanlagen-Standorte

Die drei Studien wurden an den WEA-Standorten Kempfenbühl/Schlossbühl südöstlich von Lahr im mittleren Schwarzwald (7° 54' 2" O, 48° 17' 58" N), Rosskopf bei Freiburg i. Br. im südlichen Schwarzwald (7° 54' 10" O, 48° 00' 39" N) und Ittenschwander

Tabelle 1. Zeiträume der Datenerfassung und WEA-Spezifikationen für die drei Untersuchungsstandorte im mittleren und südlichen Schwarzwald (in Klammern Untersuchungszeiträume ohne akustisches Monitoring).

Standort	Höhe ü. NN am Mastfuß	Untersuchungszeitraum	n	Windenergieanlagen				
				Typ	Nabenhöhe	Rotordurchmesser	Gesamthöhe	Nennleistung
Lahr	430 m	Sept. - Okt. 2004 ¹ (Juli) Aug. - Okt. 2005	3	Nordex S 77	90 m	77 m	128 m	1,5 MW
Freiburg	737 m	Aug. - Okt. 2004 (Mai - Okt. 2005)	4	Enercon E-66	98 m	70 m	133 m	1,8 MW
Fröhnd	1000 m	Sept. - Okt. 2005	2	Enercon E-66	85 m	70 m	121 m	2,0 MW

¹ Voruntersuchung vor dem Bau der WEA

Horn bei Fröhnd ebenfalls im südlichen Schwarzwald (7° 51' 24" O, 47° 45' 51" N) jeweils ab dem ersten Betriebsjahr (in Lahr bereits ein Jahr vor dem Bau der Anlagen) durchgeführt.

Die Kuppen des Kempfenbühl und Schlossbühl bei Lahr und der Roskopf bei Freiburg gehören zur ersten Kette des Schwarzwaldaufschwungs östlich der Rheinebene. Beide Untersuchungsgebiete waren bis vor etwa sechs Jahren fast vollständig von Wald mit einem hohen Fichtenanteil bedeckt. Vor allem durch den Sturm „Lothar“ entstanden jedoch große Windwurfflächen, die sich jetzt in Waldsukzession befinden und überwiegend mit Brombeeren bewachsen sind. Der dritte Standort Itenschwander Horn bei Fröhnd befindet sich im südlichen Hochschwarzwald und ist überwiegend mit Tannen-Buchenwald bewachsen.

2.2 Akustische Aktivitätserfassung

Zur akustischen Registrierung der Fledermausaktivität verwendeten wir „Batcorder“, die am Institut für Zoologie der Universität Erlangen entwickelt wurden. Bei diesen digitalen „Horchkisten“ werden Fledermausrufe automatisiert und in hoher Qualität aufgezeichnet (500 kSamples/s, 16bit Amplitudenauflösung). Echoortungsrufe oder ähnliche Signale werden durch einen Trigger-Algorithmus in Echtzeit erkannt und mit Informationen zu Aufnahmeort und -zeit gespeichert. Durch den Einsatz mehrerer Batcorder konnte die Fledermausaktivität an verschiedenen Standorten simultan gemessen werden.

Je Untersuchungsmonat und Standort wurden (zwei bis) vier Batcorder in vier aufeinander

folgenden Nächten eingesetzt. Dabei wurden Untersuchungszeiträume mit Wetterlagen gewählt, die durch ausreichend hohe Temperatur und wenig bis keinen Niederschlag Fledermausaktivität erwarten ließen.

Die Batcorder wurden gleichzeitig auf der Gondel (dem Gehäuse, das die Rotornabe umschließt) der in Betrieb befindlichen WEA und an wechselnden Standorten am Boden im Bereich der WEA eingesetzt. Die Batcorder auf den WEA wurden im Inneren der Gondel installiert, das Mikrofon und der Vorverstärker durch eine Luke nach außen geführt und über (Freiburg und Fröhnd) oder unter (Lahr) der Gondel fixiert. Beim Betrieb am Boden befand sich das Mikrofon am Ende einer Stange in etwa zwei Metern Höhe. Am Standort Freiburg bestand zusätzlich die Möglichkeit, die Fledermausaktivität auf der Plattform eines Aussichtsturms in 34 m Höhe (etwa 8 m Höhe über den umgebenden Baumkronen) im Abstand von 90 m zur nächstgelegenen WEA zu erfassen.

Die Erfassungreichweite für Ortungsrufe wird neben klimatischen Faktoren in erster Linie vom Schalldruckpegel und der Frequenz des ausgesandten Fledermausrufes bestimmt. Beide Rufcharakteristika sind in erster Linie von der Fledermausart, aber auch von der Rufsituation und -richtung abhängig. In Abb. 1 sind rechnerisch ermittelte typische Detektionsreichweiten für Großen und Kleinen Abendsegler, *N. noctula* und *N. leisleri* (18 kHz), Zwergfledermaus und Rauhaufledermaus, *P. pipistrellus* und *P. nathusii* (42 kHz), und Mückenfledermaus, *P. pygmaeus* (55 kHz), dargestellt (im freien Luftraum um die WEA-Gondel liegt die Ruffre-

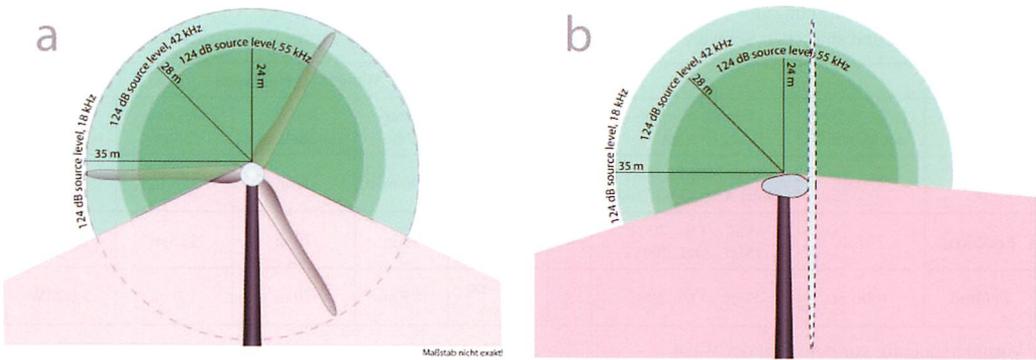


Abb. 1. Erfassungsbereich der Batcorder auf den WEA und Auswirkung des Schallschattens der Gondel auf den akustisch überwachten Bereich von frontal (a) und lateral (b). In den Abbildungen sind außerdem die Detektionsreichweiten für verschiedene Fledermausarten eingetragen (70 % Luftfeuchte, 10° C, Erfassungsschwelle 5 % der Maximalamplitude). Die angenommene Rufflautstärke von 124 dB SPL in 10 cm Abstand liegt etwas unter dem bekannten Maximum für die einzelnen Arten (HOLDERIED & VON HELVERSEN 2003).

quenz in der Regel an der unteren Grenze der arttypischen Variationsbreite). Im Falle des Abendseglers kann theoretisch der gesamte Rotorradius durch das akustische Monitoring abgedeckt werden. Bei den kleineren Arten mit entsprechend höheren Ruffrequenzen und leiseren Rufen reduziert sich der Erfassungsbereich entsprechend. Zusätzlich wird der Erfassungsbereich durch den Schallschatten der WEA-Gondel eingeschränkt (rötlich markierter Bereich in Abb. 1).

Die Batcorder konnten teilweise nicht über die gesamte Nacht betrieben werden, da in einigen Fällen die Spannung der verwendeten Stromquelle nach ca. 7 bis 11 Stunden Laufzeit einbrach. Des Weiteren führten in seltenen Fällen elektromagnetische Störungen bei Starkwind (über 15 ms^{-1}) zu einem Ausfall der Aufnahmegeräte auf den WEA. Bei der Auswertung der Daten wurde für die Laufzeiten entsprechend korrigiert.

Beim Betrieb der Batcorder in der Gondel der WEA wurden sowohl akustische (kurz und geräuschhaft – „Knacksen“) als auch elektromagnetische (engbandig und konstantfrequent – „multiharmonisch“) Störsignale aufgezeichnet. Bei Windgeschwindigkeiten unter 12 ms^{-1} erwiesen sich jedoch beide Arten von Störungen hinsichtlich der Aufnahmeeigenschaften als unproblematisch. Die höchste Windgeschwindigkeit, bei der Fledermausaktivität verzeichnet wurde, lag mit $6,5 \text{ ms}^{-1}$ weit unter diesem Wert. Es ist daher sehr unwahrscheinlich, dass Fledermausaktivität bei Windge-

schwindigkeiten über 12 ms^{-1} auftrat und aufgrund von Störungen nicht von den Batcordern registriert wurde.

Die aufgezeichneten Rufsequenzen wurden automatisiert auf Gattungs- bzw. Artniveau analysiert (Programm bcAdmin). Detaillierte Analysen auf Artniveau erfolgten dann bei fraglichen Rufen gesondert und teilweise manuell (Programm bcAnalyse).

Die Ergebnisse aus der automatisierten akustischen Aktivitätserfassung am Boden wurden durch standardisierte Erfassungen mit einem Dehnungsdetektor und einer entsprechenden digitalen Aufnahmespeichertechnik überprüft und ergänzt. Zusätzlich wurde vor Sonnenuntergang und in der Dämmerung der Himmel optisch nach Fledermäusen, insbesondere Großen Abendseglern, *N. noctula*, abgesehen. Diese manuell gewonnenen Daten lieferten bezüglich des Artenspektrums keine weitergehenden Erkenntnisse, ergaben jedoch zum Teil zusätzliche Informationen zur funktionalen Raumnutzung des Untersuchungsgebiets durch Fledermäuse. Da im Rahmen dieses Artikels vor allem Ergebnisse der Aktivitätserfassung im Gondelbereich von Interesse sind, verzichten wir auf eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse der optischen Beobachtungen und der Dehnungsdetektorerfassung.

Als Maß für die Nutzung des Luftraumes durch Fledermäuse verwenden wir die Aktivität als Quotient der Zahl registrierter Ortungsrufsequenzen und der Beobachtungsdauer.

3 Ergebnisse

3.1 Akustisches Monitoring - Datenumfang

Der Umfang der durch die automatisierte akustische Aktivitätserfassung mit Batcordern erfassten Datenmenge ist in Tab. 2 dargestellt. An allen Standorten konnten über 90 %, an zwei Standorten über 95 % der Sequenzen ein-

deutig einer Art zugeordnet werden. Teilweise war eine Bestimmung auf Gattungsniveau (v. a. *Myotis* und *Plecotus*), in seltenen Fällen nur als Fledermaus möglich. Für die Standorte Lahr und Freiburg liegen wesentlich mehr Da-

Tabelle 2. Ergebnisse der automatisierten akustischen Aktivitätserfassung mit Batcordern für die drei Untersuchungsstandorte (keine Unterscheidung innerhalb der Gattung *Plecotus* und zwischen den beiden Bartfledermaus-Arten, *Myotis brandtii* und *M. mystacinus*. Für die anderen Arten sind nur auf Artniveau bestimmbare Rufsequenzen berücksichtigt).

Standort	Aufnahmestunden		Registrierte Rufsequenzen		Anzahl Arten/Gattungen	
	Gondel	Gesamt	Gondel	Gesamt	Gondel	Gesamt
Lahr	133	1022	340	2088	3	12
Freiburg	125	618	228	2612	4	10
Fröhnd	120	240	68	392	3	5
Gesamt	378	1880	636	5092	4	13

ten, insbesondere zur Aktivität an der WEA-Gondel, als für den Standort Fröhnd vor. Daher beschränken sich einige der folgenden Analysen auf die beiden erstgenannten Standorte.

Eine jahreszeitliche oder monatsweise Analyse der Fledermausaktivität war nur in sehr begrenztem Umfang möglich, da eventuell vorhandene jahreszeitliche Effekte durch Witterungseinflüsse stark überlagert wurden. Die erhobene Stichprobe von maximal vier Nächten pro Monat erlaubte es nicht, die Witterungseffekte zu korrigieren. Die vorliegenden Daten für die am häufigsten nachgewiesenen Arten Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, und Kleinabendsegler, *N. leisleri*, zeigen jedoch, dass Phasen hoher Aktivität am Boden und auch an der WEA-Gondel in allen Untersuchungsmonaten (Juli bis Oktober) auftraten.

Neben der Artbestimmung erlaubt das akustische Monitoring von Fledermäusen auch bis zu einem gewissen Grad Aussagen über das Verhalten der aufgenommenen Tiere. Nahrungssuche kann über *feeding-buzzes* nachgewiesen werden. *Feeding-buzzes* wurden in den hier dargestellten Untersuchungen am Boden und an der WEA-Gondel registriert. Zumin-

dest einige der Tiere scheinen also im Rotorbereich Insekten gejagt zu haben. Neben Echoortungsrufen wurden bei Standorten am Boden auch Sozialrufe aufgezeichnet (z. B. „Triller“ balzender Zwergfledermausmännchen, *P. pipistrellus*). Dieser Ruftyp trat an der WEA-Gondel nicht auf. Zum vermutlichen Schwärmverhalten an der WEA-Gondel siehe Abschnitt 3.1.3.

3.2 Artenspektrum

Alle Untersuchungsstandorte zeigen hinsichtlich des Artenspektrums und der relativen Häufigkeit der Arten große Ähnlichkeiten (Abb. 2). Dies galt insbesondere für die Aktivitätsnachweise an der WEA-Gondel, die sich an allen Standorten auf die drei Arten Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, Kleiner Abendsegler, *N. leisleri*, und Flughautfledermaus, *P. nathusii*, in ähnlichen relativen Aktivitäten beschränkten. Ausnahme hiervon ist der Einzelnachweis einer Mückenfledermaus, *P. pygmaeus*, am Standort Freiburg.

Bei den absoluten Aktivitätswerten zeigen sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen

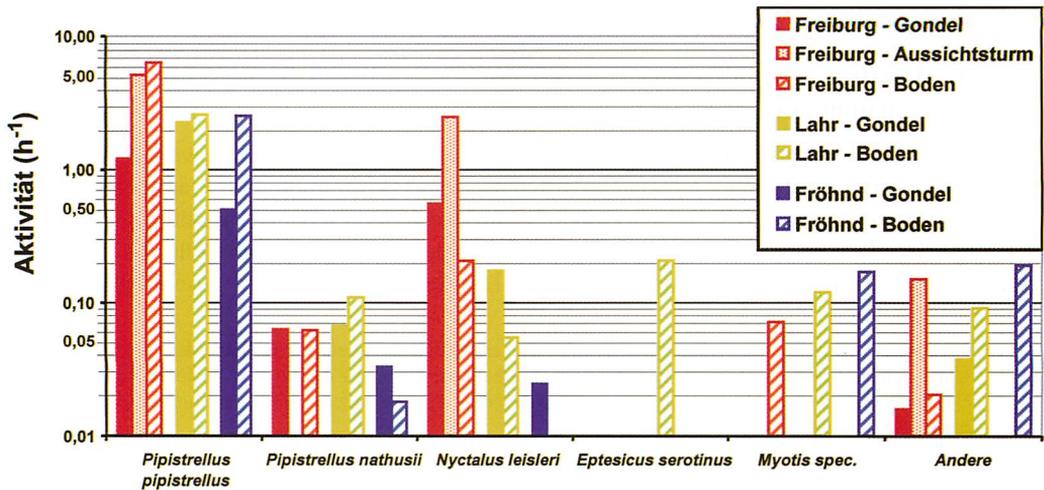


Abb. 2. Aktivität der mit Batcordern nachgewiesenen Fledermausarten an den drei Untersuchungsstandorten Freiburg (rot), Lahr (grün) und Fröhnd (blau) am Boden (gefüllt) und an der WEA-Gondel (schraffiert) - Ordinate logarithmusskaliert. 158 ± 86 Aufnahmestunden (min 97, max 309) für jeden der sieben unterschiedenen Standorttypen.

den Untersuchungsstandorten. In Freiburg lag die Aktivität insgesamt am höchsten, gefolgt von Lahr (Abb. 2). Die niedrigste Artenzahl und Aktivität ergab sich am Standort Fröhnd (siehe auch Tab. 2). Wegen der hieraus resultierenden geringen Stichprobe ist dieser Standort bei einigen der folgenden Analysen nicht weiter berücksichtigt.

Die Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, war die am häufigsten registrierte Art (Abb. 2). Die zweite Art, die in größerer Zahl nachgewiesen wurde, war der Kleine Abendsegler, *N. leisleri*. Dies galt für alle Untersuchungsstandorte. Regelmäßig, jedoch wesentlich seltener registriert wurde die Rauhaufledermaus, *P. nathusii*. *P. pipistrellus* und *P. nathusii* wurden am Boden häufiger nachgewiesen als auf dem Aussichtsturm oder an der WEA-Gondel. Für *N. leisleri* zeigte sich umgekehrt eine höhere Aktivität an der WEA-Gondel als am Boden und damit eine Bevorzugung höherer Luftschichten.

Arten der Gattungen *Myotis* (*M. nattereri*, *M. brandtii* / *mystacinus*, *M. myotis*, *M. bechsteinii*, *M. daubentonii*) und *Plecotus* (Arten nicht unterschieden) traten regelmäßig und an allen Standorten, jedoch nur am Boden und meist in unmittelbarer Nachbarschaft zum Wald auf. Die Breitflügelfledermaus, *E. serotinus*, wurde nur in Lahr in wenigen Nächten

an einem Standort am Boden nachgewiesen. Zu dieser Zeit fand kein akustisches Monitoring auf Gondelhöhe statt.

Die restlichen Arten sind mehr oder weniger als Einzelnachweise anzusehen. Interessant ist das seltene Auftreten des Großen Abendseglers, *N. noctula* (in Freiburg nur am Aussichtsturm mit $0,14 \text{ h}^{-1}$; in Lahr Einzelnachweise mit Batcorder und mit Dehnungsdetektor; in Fröhnd keine Registrierung).

3.3 Verteilung der Aktivität während der Nacht

Abb. 3 zeigt die Fledermausaktivität (nicht differenziert nach Arten) am Boden und an der Gondel für die Standorte Lahr und Freiburg. Alle Standorte zeigten einen insgesamt typischen Verlauf der Aktivität mit einem Maximum zu Beginn der Nacht, einer folgenden Abnahme und einem mehr oder weniger deutlichen erneuten Anstieg der Aktivität vor Sonnenaufgang.

Die Aktivität an der WEA-Gondel lag im ersten Intervall verhältnismäßig niedrig und setzte damit später ein als am Boden. Die Tiere scheinen also die höheren Luftschichten bevorzugt, später, eventuell erst bei völliger Dunkelheit, genutzt zu haben.

Insgesamt war die Aktivität an der Gondel

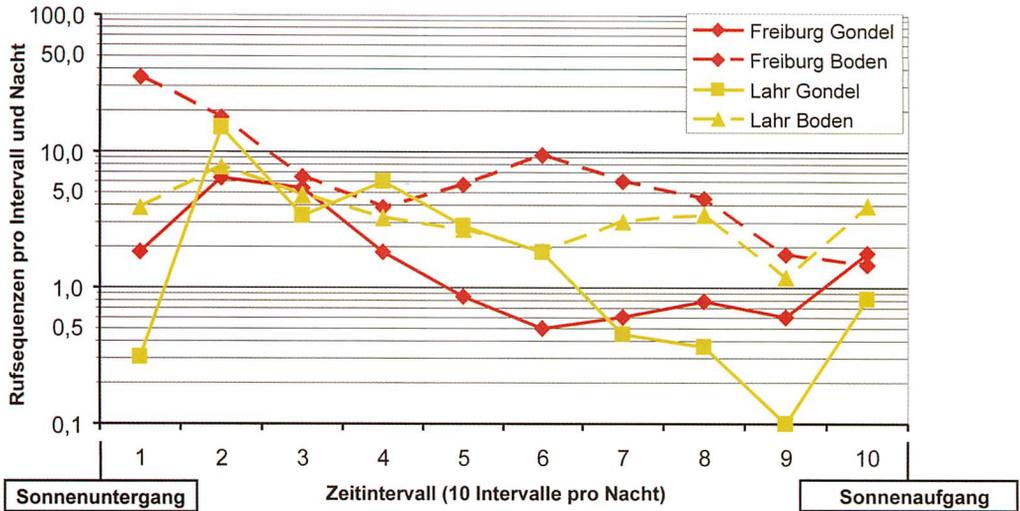


Abb. 3. Anzahl aller an der WEA-Gondel und am Boden registrierter Ortungsrufsequenzen je Nachtintervall und Nacht (Standort Freiburg 2004 und Lahr 2005 – Ordinate logarithmuskaliert). Ein Zeitintervall entspricht jeweils einem Zehntel der Untersuchungsnacht. Intervalllänge zwischen 50 und 84 min. Daten gemittelt pro Intervall für Freiburg Gondel und Boden: 10 bis 12 Nächte, Lahr Gondel: 10 bis 11 Nächte, Lahr Boden: 22 bis 29 Nächte.

deutlich niedriger als die am Boden registrierte. Eine bedeutsame Ausnahme hiervon bildet die hohe Aktivität an der WEA-Gondel am Standort Lahr während der Intervalle 2 bis 4. Dieses Maximum resultierte überwiegend aus einer extrem hohen Fledermausaktivität in den ersten Stunden einer einzigen Nacht (220 Registrierungen von 21.00 bis 23.00 Uhr). Es handelte sich hierbei vermutlich um „Schwärmverhalten“ einer Gruppe von Zwergfledermäusen, *Pipistrellus pipistrellus*, während einer Schwachwindnacht (meist mehrere Tiere gleichzeitig auf einer Aufnahme verzeichnet). Gleichzeitig wurden einige Ortungsrufsequenzen der Raufhautfledermaus, *Pipistrellus nathusii*, und des Kleinen Abendseglers, *Nyctalus leisleri*, registriert.

3.4 Aktivität an der WEA-Gondel und Windgeschwindigkeit

Dank der hohen zeitlichen Auflösung der Batcorder-Daten war es möglich, den Fledermausaufnahmen an der WEA-Gondel die im Moment der Registrierung herrschende Windgeschwindigkeit zuzuordnen. Die über 10-min-Intervalle gemittelten Windgeschwindigkeitsdaten wurden freundlicherweise vom Betreiber zur Verfügung gestellt. Abb. 4 zeigt

die Windgeschwindigkeitsverteilung von 10-min-Intervallen mit und ohne Fledermausbeobachtung für den Standort Freiburg (Jahr 2004). In Freiburg wurden an der WEA-Gondel 27 Sequenzen mit Zwergfledermäusen, *P. pipistrellus*, 17 mit Kleinabendseglern, *N. leisleri*, und eine Sequenz mit einer Mückenfledermaus, *P. pygmaeus*, aufgezeichnet. Wegen des geringen Stichprobenumfangs sind die Ergebnisse im Folgenden nicht für einzelne Arten aufgeschlüsselt.

Es wurden signifikant mehr Fledermäuse bei niedrigen als bei hohen Windgeschwindigkeiten registriert (der Median der Windgeschwindigkeit lag signifikant niedriger für 10-min-Intervalle mit Fledermausregistrierung als für solche ohne Fledermausregistrierung - Mann-Whitney-U Test; $U = 4300$; $n = 771$; $p < 0,0001$). 93 % der Intervalle mit Fledermausregistrierung lagen unter 5 ms^{-1} mittlerer Windgeschwindigkeit (drei Registrierungen über 5 ms^{-1} , alle *N. leisleri*), während nur 58 % der Intervalle ohne Fledermausregistrierung in diesen Bereich fielen. Die höchste Windgeschwindigkeit, bei der eine Fledermaus registriert wurde, betrug $6,5 \text{ ms}^{-1}$.

Im Falle einer Konzentrierung der Fledermausaktivität auf niedrige Windgeschwindigkeiten eröffnet sich die Möglichkeit, das Kol-

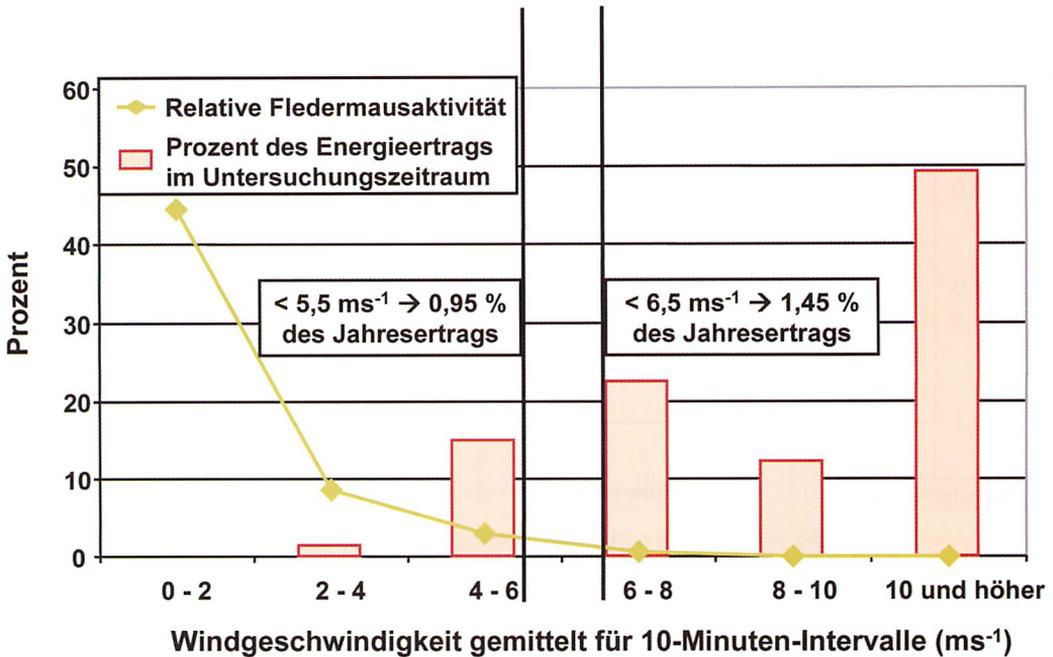


Abb. 4. Fledermausaktivität an der WEA-Gondel und Ertrag in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Gezeigt ist der Energieertrag und die Fledermausaktivität während der Untersuchungszeiten in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (gemittelt für 10-min-Intervalle). Die relative Aktivität ist angegeben als prozentualer Anteil von 10-min-Intervallen mit Fledermausaktivität von insgesamt untersuchten 10-min-Intervallen pro Windgeschwindigkeitsklasse ($n = 770$ insgesamt mit Batcordern untersuchte 10-min-Intervalle, davon 46 Intervalle mit Fledermausregistrierung). Senkrechte Striche markieren mögliche „fledermausverträgliche“ Anlaufgeschwindigkeiten der WEA von $5,5$ oder $6,5$ ms^{-1} . Die Boxen geben jeweils die auf den Gesamt-Jahresertrag bezogenen Einbußen für die vorgeschlagenen Anlaufgeschwindigkeiten (höhere Anlaufgeschwindigkeiten von Anfang Juli bis Ende September, nur nachts - Standort Freiburg im Jahr 2004) an.

lisionsrisiko von Fledermäusen mit dem Rotor zu minimieren, indem dieser bei niedrigen Windgeschwindigkeiten still gestellt wird. Abb. 4 zeigt dies am Beispiel der Anlagen in Freiburg. Angegeben ist die aus der höheren Anlaufgeschwindigkeit resultierende Ertrags-einbuße.

Auch die wenigen vom Standort Fröhd aus dem Jahr 2005 vorliegenden Daten (18 Registrierungen auf Gondelhöhe der Arten *P. pipistrellus*, *P. nathusii* und *N. leisleri* – letzterer nur an der WEA-Gondel, nicht am Boden nachgewiesen) wurden hinsichtlich eines möglichen Zusammenhangs von Windgeschwindigkeit und Fledermausaktivität auf Gondelhöhe analysiert. Die Aktivität konzentrierte sich auch hier auf niedrige (0 bis $5,5$ ms^{-1}) Windgeschwindigkeiten. Sämtliche Ortungsrufsequenzen wurden bei Windgeschwindigkeiten unter 6 ms^{-1} registriert.

Dieses Ergebnis ist allerdings nur wenig aussagekräftig, da im Untersuchungszeitraum fast keine höheren Windgeschwindigkeiten auftraten.

Auch am Standort Lahr (Jahr 2005) konzentrierte sich die registrierte Fledermausaktivität auf 10-min-Intervalle mit niedrigen Windgeschwindigkeiten (319 Registrierungen auf Gondelhöhe der Arten *P. pipistrellus*, *P. nathusii* und *N. leisleri*). Abgesehen von vier Registrierungen bei 6 bzw. $6,2$ ms^{-1} (*Pipistrellus pipistrellus* und *P. nathusii*) lag die gesamte Fledermausaktivität bei Windgeschwindigkeiten von maximal 3 ms^{-1} . Hierbei ist jedoch anzumerken, dass sich der größte Teil der nachgewiesenen Aktivität auf nur eine Schwachwind-Nacht mit einem vermutlichen Schwärmereignis der Zwergfledermaus an einer Anlage konzentrierte.

4 Diskussion

Für das akustische Monitoring der Fledermausaktivität erwiesen sich die Batcorder als geeignete Aufnahmetechnik. Sie waren dem manuellen Monitoring vor allem bei der Artansprache und hinsichtlich der resultierenden Datenmenge überlegen. Besonders der Einsatz von Batcordern an der WEA-Gondel war nützlich zur Beantwortung zentraler Fragestellungen. Das manuelle Detektormonitoring zeigte dagegen Vorteile bei der Erfassung der funktionalen Raumnutzung des Untersuchungsgebiets durch Fledermäuse.

4.1 Artenspektrum, Höhenstratifizierung und Kollisionsrisiko

Die vier Arten Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, Kleinabendsegler, *N. leisleri*, Raufhautfledermaus, *P. nathusii*, und Mückenfledermaus, *P. pygmaeus*, wurden akustisch an der WEA-Gondel nachgewiesen und sind damit an den von uns untersuchten Standorten als potenziell gefährdet durch Kollisionen mit WEA-Rotoren anzusehen.

P. pipistrellus war insgesamt die am häufigsten nachgewiesene Art und trat öfter am Boden auf als am Aussichtsturm oder an der WEA-Gondel. Für die zweithäufigste Art, *N. leisleri*, zeigte sich umgekehrt eine Bevorzugung höherer Luftschichten. Dieses Ergebnis deckt sich gut mit dem, was über die Nahrungsökologie dieser beiden Arten bekannt ist: *N. leisleri* gilt als Jäger im freien Luftraum, während für *P. pipistrellus* eine stärkere Strukturgebundenheit angenommen wird (GEBHARD 1997).

Bedeutsam ist, dass *P. pipistrellus* auch in 100 m Höhe an der WEA-Gondel in größerer Zahl nachgewiesen wurde. Teilweise war hier auch Jagdverhalten (*feeding-buzzes*) festzustellen. Auch das Absuchen der WEA durch diese Art nach geeigneten Quartieren, z. B. als Schwärmverhalten, wurde am Standort Lahr nachgewiesen. Entgegen früherer Annahmen (BRINKMANN 2004), scheint also die Zwergfledermaus den von den Rotoren überstrichenen Raum nicht nur auf längeren Transferflügen zu

durchqueren. Dies wurde auch durch eine weitere in Südwestdeutschland durchgeführte Untersuchung bestätigt (BRINKMANN et al. 2006 b). Auch *N. leisleri* war auf Gondelhöhe regelmäßig anzutreffen.

Arten der Gattungen *Plecotus* und *Myotis* (unter anderem Großes Mausohr, *M. myotis*, und Bechsteinfledermaus, *M. bechsteinii* - Anhang II der FFH-Richtlinie) wurden ausschließlich am Boden nachgewiesen und traten überwiegend in der Nähe größerer geschlossener Waldflächen auf. Dies steht ebenfalls in Übereinstimmung mit der strukturgebundenen oder bodennahen Nahrungssuche dieser Artengruppe (GEBHARD 1997, ARLETTAZ 1999, MARCKMANN pers. Mittlg.). Für die Arten dieser Gattung ergab sich also in unseren Untersuchungen keine Gefährdung durch Kollisionen mit den WEA-Rotoren (siehe hierzu auch RAHMEL et al. 1999, BRINKMANN 2004).

Bemerkenswert war das seltene Auftreten des Großen Abendseglers, *N. noctula*, im Untersuchungsgebiet. Diese Art gilt, wo sie vorkommt, als stark gefährdet durch WEA. Außergewöhnlich auch der Nachweis einer Mückenfledermaus, *P. pygmaeus*, am Freiburger Standort (737 m NN) an der WEA-Gondel.

4.2 Aktivitätsunterschiede zwischen Standorten

Innerhalb der einzelnen Untersuchungsstandorte zeigten sich relativ geringe Unterschiede bei der an verschiedenen Standorten am Boden registrierten Aktivität einerseits und der Aktivität an den Gondeln verschiedener WEA andererseits. Deutliche Unterschiede resultierten dagegen beim Vergleich der Aktivitäten am Boden und an der WEA-Gondel (s. Pkt. 4.1.1) und zwischen verschiedenen Untersuchungsstandorten.

Die hohe Aktivität von Zwergfledermäusen, *P. pipistrellus*, am Standort Roskopf bei Freiburg steht wahrscheinlich in Zusammenhang mit der geringen Distanz (4,1 km Luftlinie) zur Stadt Freiburg und zum Freiburger Münster. Das Münster ist ein wenigstens seit der Mitte des 19. Jahrhunderts bekanntes traditionelles Massenüberwinterungsquartier der

Zwergfledermaus, *P. pipistrellus*, dessen Einzugsgebiet im südlichen Schwarzwald vermutet wird (VON HELVERSEN et al. 1987). Der Standort Rosskopf ist für die in Freiburg angesiedelte Population von Zwergfledermäusen als potenzielles Jagdhabitat anzusehen.

Für den Kleinabendsegler, *N. leisleri*, sind vom Rosskopf und anderen Bereichen der Schwarzwald-Vorbergzone Paarungsquartiere in Nistkästen bekannt (BRINKMANN, pers. Mitteilung). Die Art wurde entsprechend regelmäßig akustisch nachgewiesen, wobei sich für die Standorte Lahr und Freiburg vergleichbare Aktivitäten ergaben.

Die Rauhauffledermaus, *P. nathusii*, wurde fast ausschließlich am Standort Lahr nachgewiesen. Dies könnte in der größeren Höhe der beiden anderen Standorte begründet sein, da angenommen wird, dass sich diese Art bevorzugt in den tieferen und klimatisch begünstigten Lagen, wie z. B. den Rheinauen aufhält (VON HELVERSEN et al. 1987, BRINKMANN 2004).

Am Standort Fröhnd wurden nur fünf Arten mit relativ niedrigen Aktivitäten nachgewiesen. Dies könnte jedoch in erster Linie auf die sehr beschränkte Datengrundlage zurückzuführen sein, insbesondere auf den spät im Jahr liegenden Untersuchungszeitraum.

4.3 Windgeschwindigkeit und Aktivität an der WEA-Gondel

Sowohl aus Sicht des Artenschutzes als auch aus Sicht der Betreiber von Windenergieanlagen kann es nur wünschenswert sein, Faktoren herauszufiltern, die es ermöglichen, die Gefährdung von Fledermäusen an WEA zeitlich und räumlich vorherzusagen. Basierend auf solchen Faktoren können dann Maßnahmen getroffen werden, die einerseits ein Maximum der Belange des Artenschutzes abdecken, und andererseits zu einer minimalen ökonomischen Beeinträchtigung beim Betrieb von WEA führen. Die Daten der vorliegenden Untersuchung bieten Informationen zu zwei Faktoren, die eine zeitliche Eingrenzung der Gefährdung von Fledermäusen an den WEA erlauben.

Der erste Faktor ist der Jahreszyklus, der

sich sowohl über das vorhandene Insektenangebot als auch über das Reproduktions- und Winterschlafverhalten von Fledermäusen auf deren Gefährdung durch WEA auswirken kann. Unsere Ergebnisse zeigen hier, dass sich entgegen früherer Annahmen (z. B. TRAPP et al. 2002, BRINKMANN 2004) die problematischste Periode im Jahreszyklus nicht notwendigerweise auf den Herbstzug beschränkt, sondern bereits im Zeitraum nach Verlassen der Wochenstuben im Sommer beginnen kann (siehe hierzu auch RAHMELE et al. 2004). Dies legt auch eine andere Untersuchung nahe, die im Jahr 2004 in Südwestdeutschland durchgeführt wurde (BRINKMANN et al. 2006 b).

Der zweite Faktor ist der nachgewiesene Zusammenhang von Windgeschwindigkeit und Fledermausaktivität auf Höhe der WEA-Gondeln. Sämtliche Rufsequenzen an den Gondeln wurden bei Windgeschwindigkeiten unter $6,5 \text{ ms}^{-1}$ aufgezeichnet. Aus diesem Ergebnis wurde für die untersuchten Standorte der Vorschlag abgeleitet, das Kollisionsrisiko von Fledermäusen an WEA durch einen Abschaltalgorithmus zu minimieren, der die Rotoren bei niedrigen Windgeschwindigkeiten (z. B. unter $5,5 \text{ ms}^{-1}$) zum Stillstand bringt (normale Anlaufwindgeschwindigkeit der Anlagen $2,5$ bzw. 3 ms^{-1}). Ergebnisse aus dem Jahr 2005 scheinen eine Wirksamkeit eines solchen Algorithmus für den Standort Freiburg zu belegen. In einer in den USA durchgeführten Studie wurde ebenfalls eine Abnahme der Zahl registrierter Totfunde bei höheren Windgeschwindigkeiten über 6 ms^{-1} nachgewiesen (KERNS et al. 2005). Wärmeoptische Beobachtungen scheinen jedoch zu zeigen, dass Fledermäuse auch bei höheren Windgeschwindigkeiten im Rotorbereich von WEA aktiv sein können (BRINKMANN et al. 2006 b).

Die höhere Anlaufgeschwindigkeit zieht Ertragseinbußen für den Betreiber der WEA nach sich. Von Vorteil ist hier jedoch, dass die Monate Juli und August häufig die windärmsten Monate des Jahres sind (HENSEN 2004) und dass in diesen Monaten die Nächte relativ kurz und die Nachtstunden ertragsärmer als die Tagstunden sind. Positiv ist weiterhin, dass der Ertrag einer WEA mit der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit steigt und daher niedri-

gere Windgeschwindigkeiten einen verhältnismäßig geringen Anteil am Gesamtertrag haben (unter 1 % der Jahresleistung für Windgeschwindigkeiten unter $5,5 \text{ ms}^{-1}$ in Freiburg im Jahr 2004).

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

Abschließend ist zu sagen, dass es sich bei den hier dargestellten Ergebnissen um Fallbeispiele von nur drei und darüber hinaus naturräumlich ähnlichen Untersuchungsstandorten handelt, die auf einem mehr oder weniger geringen Datensatz beruhen. Die Ergebnisse eignen sich daher nicht zur direkten Übertragung auf andere WEA-Standorte, an denen in der Regel andere Voraussetzungen, z. B. hinsichtlich des Artenspektrums, bestehen. Zum gegenwärtigen Kenntnisstand ist daher zur Einschätzung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen mit WEA in jedem Fall eine Einzeluntersuchung ratsam.

Danksagung

Wir möchten uns bei ANNE KATHRIN FEHRENBACH, DIETMAR GLAUBITZ, MATTHIAS HAMMER, KATJA MOCH und NILS OHLENDORF bedanken, die an der Lösung technischer Fragen oder der Durchführung der Totfundnachsuchen und der zugehörigen Tests zur Schwundrate und Nachsucheffizienz beteiligt waren.

Unser Dank gilt auch Herrn ANDREAS MARKOWSKY von der regiowind GmbH, der Auftraggeberin der Untersuchungen. Herr MARTIN STROHMAIER, ebenfalls von der regiowind GmbH, machte uns die Winddaten verfügbar und half uns bei Fragen der Anlagentechnik – vielen Dank! Dank auch an Frau KIRSTEN SIMONSEN von Simonsen Lill Consult für die gute Zusammenarbeit.

Zusammenfassung

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass auch in Mitteleuropa erhebliche Zahlen von Fledermäusen an WEA zu Tode kommen können. Die Analyse möglicher Auswirkungen auf die Fledermaus-Fauna ist daher inzwischen Bestandteil des Genehmigungsprozesses für die meisten WEA-Standorte. Häufig werden an bestehenden Anlagen Totfundnachsuchen durchgeführt, um die Zahl von Schlagopfern durch Windenergie-Rotoren zu quantifizieren. Mehrere Untersuchungen (s. NIEMANN et al., SEICHE et al. i. ds. Heft) haben jedoch gezeigt, dass die tatsächliche Zahl von Schlagopfern extrem unterschätzt werden kann, wenn bei den Totfundnachsuchen standortspezifische Korrekturfaktoren für absuchbare Fläche, Schwundrate und Nachsucheffizienz nicht berücksichtigt werden. Darüber hinaus sind Totfundnachsuchen an Standorten mit sehr hoher Schwundrate nur mit extrem großem Aufwand sinnvoll durchführbar. Alternative Methoden zur Erfassung des Kollisionsrisikos sollten daher etabliert werden.

Wir konnten an drei Windenergie-Standorten im mittleren und südlichen Schwarzwald erstmals ein akustisches Monitoring der Fledermaus-Aktivität im Rotorbereich der Anlagen durchführen. Hieraus konnte das artspezifische Gefährdungspotenzial abgeleitet werden. Im Rotorbereich traten nahezu ausschließlich Zwergfledermaus, Kleinabendsegler und Flughörnchen auf. Entgegen früherer Annahmen konnten wir also zeigen, dass auch strukturgebunden jagende und nicht fernziehende Arten wie die Zwergfledermaus zu den potenziell besonders gefährdeten Arten zu rechnen sind. Der Hauptgefährdungszeitraum erstreckte sich in unseren Untersuchungen nicht (nur) auf den Herbstzug, sondern bereits auch auf die Zeit nach dem Verlassen der Wochenstuben (Juli und August). Im Rotorbereich wurde sowohl Schwärmverhalten der Zwergfledermaus als auch Nahrungssuchverhalten (*feeding-buzzes*) aller drei nachgewiesenen Arten registriert. Fledermausaktivität im Rotorbereich trat während der ganzen Nacht auf und zeigte ein Maximum im ersten Drittel und ein deutlich niedrigeres Maximum am Ende der Nacht und ähnelte damit der am Boden nachgewiesenen Aktivität.

Sämtliche Fledermausaktivitäten im Rotorbereich beschränkten sich auf Windgeschwindigkeiten unter $6,5 \text{ ms}^{-1}$. Hieraus wurde für die untersuchten Standorte der Vorschlag abgeleitet, die Rotoren erst bei Windgeschwindigkeiten anlaufen zu lassen, in denen keine oder nur wenig Fledermausaktivität auftritt, um damit die „Fledermausverträglichkeit“ der Anlagen zu erhöhen.

Summary

Acoustic monitoring in the rotor-swept area of wind turbines and methodologic problems in casualty search – results of studies in the middle and southern Black Forest

Acoustic monitoring in the rotor-swept area of wind turbines and methodologic problems in casualty search - results of studies in the middle and southern Black Forest Several recent studies have shown that relevant numbers of bat fatalities can occur at wind-energy facilities in cen-

tral Europe as well as other parts of the world. Accordingly, the analysis of possible impacts on the local bat-fauna is now a prerequisite for administrative decisions regarding the construction of most wind-energy facilities in Germany. Often, fatality searches have been performed to quantify the number of bats killed at power plants after their construction. However, several studies have shown that fatality searches can drastically underestimate the actual number of bats killed when data are not corrected for the site-specific area searched, scavenger rate and searcher efficiency (s. NIERMANN et al., SEICHE et al. i. ds. Heft). Moreover, at sites with high scavenger rates, fatality searches may hardly produce meaningful results even when a lot of time and effort is invested. Therefore, alternative methods should be developed to estimate the risk of collision for bats at wind energy facilities.

At three wind energy sites in the black forest in southwestern Germany we could perform the first acoustic monitoring of bat activity in the rotor-swept area. This activity pattern reflects the species-specific risk of collision. The species detected in the rotor-swept area were the Common Pipistrelle, *P. pipistrellus*, Leisler's bat, *N. leisleri*, and Nathusius' Pipistrelle, *P. nathusii*. Contrary to previous assumptions we could show that also species like *P. pipistrellus* that are neither regarded as open-space foragers nor as long-distance migrators may be affected by wind-energy facilities. Also, our data show that the months of high risk do not just include the autumn migration, but already the time after bats leave their summer-colonies (July and August). Bats showed swarming (*P. pipistrellus*) as well as foraging behaviour (all species) in the rotor-swept area. Activity was generally lower at the nacelle than at the ground with a high maximum during the first third of the night and a lower maximum in the morning at both locations.

All bat activity registered in the rotor-swept area was restricted to wind-speeds below 6.5 ms⁻¹. We thus proposed a correspondingly higher site-specific cut-in wind-speed for the wind power plants and thus recommended a restriction of rotor movement to higher wind speeds to reduce the risk of bat collision.

Schriftum

- ADORF, F., GRUNWALD, T., VON LAAR, B., & SCHÄFER, F. (2006): Neue bioakustische Methoden zur Erfassung der Höhenaktivität von Fledermäusen an geplanten und bestehenden WEA-Standorten. Poster auf der 8. Fachtagung der BAG Fledermaus-schutz im NABU in Dresden.
- ARLETTAZ, R. (1999): Habitat selection as a major resource partitioning mechanism between the two sympatric sibling bat species *Myotis myotis* and *Myotis blythii*. *J. Anim. Ecol.* **68**, 460-471.
- BACH, L. (2001): Fledermäuse und Windenergienutzung – reale Probleme oder Einbildung? *Vogelkdl. Ber. Niedersachs.* **33**, 119-124.
- , & RAHMEL, U. (2004): Überblick zu Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse – eine Konfliktabschätzung. *Bremer Beitr. Naturkd. Natur-sch.* **7**, 245-252.
- BRINKMANN, R. (2004): Welchen Einfluss haben Windkraftanlagen auf jagende und wandernde Fledermäuse in Baden-Württemberg? *Tagungsführer d. Akad. f. Natur- u. Umweltschutz Bad.-Württ.* **15**, 38-63.
- , (2006): Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse. *Fachdienst Naturschutz – Naturschutz-Info* **2/2006-3/2006**. M. THEIS u. C. BISSDORF. Karlsruhe. LUBW Landesanstalt f. Umwelt, Mes-sungen u. Naturschutz Baden-Württemberg.
- , MAYER, K., KRETZSCHMAR, F., & VON WITZLEBEN, J. (2006a): Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse. Ergebnisse aus dem Regierungsbezirk Freiburg mit einer Handlungsempfehlung für die Praxis. *Regierungspräsidium Freiburg, Ref. Naturschutz u. Landschaftspflege*. Freiburg.
- , SCHAUER-WEISSHAHN, H., & BONTADINA, F. (2006b): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. *Unveröff. Gutachten i. A. Regierungspräsidium Freiburg, gefördert durch die Stiftung Naturschutzfonds Baden-Württemberg*.
- CORTEN, G. P., & VELDKAMP, H. F. (2001): Insects can halve wind-turbine power. *Nature* **412**, 42-43.
- DESHOLM, M. (2003): Thermal Animal Detection system (TADS) – Development of a method for estimating collision frequency of migration birds at offshore wind turbines. *National Environmental Research Institute, Denmark* (27 pp.).
- DÜRR, T. (2002): Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen in Deutschland. *Nyctalus (N.F.)* **8**, 115-118.
- , & BACH, L. (2004): Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergie-Anlagen – Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei. *Bremer Beitr. Naturkd. Natursch.* **7**, 253-263.
- GEBHARD, J. (1997): Fledermäuse. Birkhäuser Verlag. Basel – Boston – Berlin.
- HENSEN, F. (2004): Gedanken und Arbeitshypothesen zur Fledermausverträglichkeit von Windenergieanlagen. *Nyctalus (N.F.)* **9**, 427-435.
- HOLDERIED, M., & VON HELVERSEN, O. (2003): Echolocation range and wingbeat period match in aerial-hawking bats. *Proc. R. Soc. Lond.* **B 270**, 2293-2299.
- HORN, J., & ARNETT, E. B. (2005): Timing of nightly bat activity and interaction with wind turbine blades. In: *Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: An assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioural interactions with wind turbines*. E. B. ARNETT: A final report prepared for the bats and wind energy cooperative. Austin, Texas, USA, 96-116.
- HÖTKER, H., THOMSEN, K. M., & KÖSTER, H. (2004): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse – Fakten, Wissenslücken, Anforderungen an die Forschung, ornithologische Kriterien zum Ausbau von regenerativen Energiegewinnungsformen. Hrsg.: Bundesamt f. Naturschutz. *BfN-Skripten* **142**. Bonn-Bad Godesberg.

- KERNS, J. (2004): Preliminary fatality results – mountaineer wind energy center, WW. Retrieved 20.01.2005, from [http://www.nationalwind.org/events/wildlife/2004-2/presentations/Kerns Bats.pdf](http://www.nationalwind.org/events/wildlife/2004-2/presentations/Kerns%20Bats.pdf).
- , ERICKSON, W. P., & ARNETT, E. B. (2005): Bats and bird fatality at wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia: An assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioural interactions with wind turbines. E. B. Arnett: A final report prepared for the bats and wind energy cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA, 24-95.
- KUNZ, T. H., ARNETT, E. B., EDEN, U., ERICKSON, W. P., HOAR, A. R., JOHNSON, G. D., LARKIN, R. P., STRICKLAND, M. D., THRESHER, R. W., & TUTTLE, M. D. (2007) : Ecological impacts of wind energy development on bats : questions, research needs, and hypothesis. *J. Wildl. Manage* in press.
- RAHMEL, U., BACH, L., BRINKMANN, R., DENSE, C., LIMPENS, H., MÄSCHER, G., REICHENBACH, M., & ROSCHEN, A. (1999): Windkraftplanung und Fledermäuse. Konfliktfelder und Hinweise zur Erfassungsmethodik. *Bremer Beitr. f. Naturkd. u. Natursch.* **4**, 155-161.
- , -, -, LIMPENS, H., & ROSCHEN, R. (2004): Windenergieanlagen und Fledermäuse – Hinweise zur Erfassungsmethodik und zu planerischen Aspekten. *Ibid.* **7**, 265-271.
- TRAPP, H., FABIAN, D., FÖRSTER, F., & ZINKE, O. (2002): Fledermausverluste in einem Windpark der Oberlausitz. *Naturschutzarb. in Sachsen* **44**, 53-56.
- VON HELVERSEN, O., ESCHÉ, M., KRETZSCHMAR, F., & BOSCHERT, M. (1987): Die Fledermäuse Südbadens. *Mitt. bad. Landesver. Naturkd. u. Natursch.* **14**(2), 409-475.