
Anhang 1

Abschaltplan Fledermäuse

Calandawind, Haldenstein



STADTÖKOLOGIE
WILDTIERFORSCHUNG
KOMMUNIKATION

Anhang

20. Februar 2022

Auftraggeber:

Calandawind AG
Feldstrasse 17
7023 Haldenstein

Auftragnehmerin:

SWILD
Stadtökologie,
Wildtierforschung,
Kommunikation
Wuhrstrasse 12
8003 Zürich

Auftraggeber:

Calandawind AG
Feldstrasse 17
7023 Haldenstein

Kontaktperson:

Jürg Michel & Josias Gasser
—
Juerg.michel@sunrise.ch

Anhang

20. Februar 2022

© SWILD. Verwendung auch von Auszügen nur nach schriftlicher Abmachung

Auftragnehmerin:

SWILD
Stadtökologie,
Wildtierforschung,
Kommunikation

Wuhrstrasse 12
8003 Zürich

+41 44 450 68 10
inbox@swild.ch
swild.ch

Projektleitung:

Dr. Fabio Bontadina

+41 44 450 68 05
fabio.bontadina@swild.ch

Kooperationen:

Mitarbeit:

Mirco Lauper

mirco.lauper@swild.ch

Zitat:

SWILD. 2022. Abschaltplan Fledermäuse. Calandawind, Haldenstein. Anhang 1 zum Umweltverträglichkeitsbericht, Kapitel Fledermäuse. Februar 2022, SWILD, Zürich, 9 Seiten und Berechnungsgrundlagen.

Anhang 1

Abschaltplan Fledermäuse

Calandawind, Haldenstein

Beim Betrieb von WEA werden Fledermäuse gefährdet durch Kollisionen mit den drehenden Rotoren oder wenn sie aufgrund von grossen Druckunterschieden entlang der Rotoren innere Verletzungen (Barotrauma) erleiden und dadurch umkommen. Da bei Stillstand der Rotoren kein Kollisionsrisiko für Fledermäuse besteht, erlauben Einschränkungen beim Betrieb einer WEA während Zeiten mit grosser Fledermausaktivität eine Reduktion der Mortalität der Fledermäuse.

1.1 Varianten Abschaltplan

Es bestehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Berechnung eines Abschaltplans:

1.1.1 Fixer / pauschaler Abschaltplan:

Einfacher Abschaltalgorithmus, bei dem während der ganzen Fledermaussaison unter denselben, fixen meteorologischen Bedingungen, basierend auf den Fledermausaktivitätsmessungen am Windmessmasten, abgestellt wird.

1.1.2 Optimierter Abschaltplan:

Komplexer Abschaltplan in 10min Auflösung berechnet aus mehreren multivariaten Modellen, die auf der gemessenen (lokalen und migrierenden) Fledermausaktivität sowie den Meteodaten basieren. Die Modellierung des Zusammenhangs zwischen Fledermausaktivität und Mortalität basiert dabei wie beim partiell optimierten Abschaltplan auf den Grundlagen von Renebat I-III. Beim optimierten Abschaltplan werden jedoch die Modellberechnungen vollständig auf die standortspezifische Fledermausaktivität angepasst und neu berechnet. Dieser aufwendige Prozess wird mit Vorteil mit den präzisen Daten aus der Gondel einer WEA im Rahmen des Monitorings durchgeführt.

1.2 Vorgehen zur Konfliktlösung

Um den Schutz der Fledermäuse zu gewährleisten und einen wirtschaftlichen Betrieb des Windparks zu ermöglichen, wurde folgendermassen vorgegangen:

- 1) Einerseits wurde ein Modell der spezifischen Fledermausaktivität für Haldenstein aufgrund der Daten der Erfolgskontrolle entwickelt. Dieses spezifische Modell dient als Grundlage, damit die abweichende Fledermausaktivität des Standortes ausreichend berücksichtigt wird. Zudem wurde es als Basis für die Abschätzung der Produktionseinbussen verwendet.
- 2) Andererseits wurden für die beiden WEA Oldis I und Oldis II je ein optimierter Abschaltplan berechnet. Die Modellierung erfolgte auf Basis der aktuellsten Version der ProBat-Software (Probat 7.1, Version 2022, <https://oekofoor.shinyapps.io/probat7/>).

1.3 Zielsetzung eines Abschaltplans

Das grundsätzliche Ziel eines Abschaltplans ist der fledermausfreundlichen Anlagebetrieb, der bezüglich Kosten-Nutzens optimiert ist und es erlaubt, bei möglichst kurzem Umfang der Abschaltungen die festgesetzte Schwelle an jährlichen Fledermauskollisionen nicht zu überschreiten. Ein solcher Algorithmus wird in die Steuerung der WEA implementiert. In einem anschliessenden Monitoring kann aufgrund der Produktionsdaten der WEA und von gleichzeitigen Messungen der Fledermausaktivität von der Gondel aus, dann präzise überprüft werden, ob durch den reduzierten Betrieb der WEAs die notwendige Reduktion der Mortalität der Fledermäuse erreicht wird und zu welchen Produktionseinbussen dies führt.

2 Grundlagen Berechnungen Abschaltplan

2.1 Bioakustische Fledermausaufnahmen

Im Rahmen der Erfolgskontrolle für Oldis I wurden während den Jahren 2013, 2014 und 2015 in den Monaten März bis Oktober, Ultraschall-Aufnahmen in der Gondel durchgeführt. Diese Aufnahmen bilden die Datengrundlage für die Aktivitätsverteilung der Fledermäuse im Rotorbereich der WEA. Für die Aufnahmen wurden Breitband-Ultraschalldetektoren mit höchster Empfindlichkeit (-36dB) und einem Posttrigger von 800ms verwendet. Die Daten wurden nachträglich mit der Software (bcAdmin, EcoObs) mit einem Posttrigger von 200ms so aufbereitet, dass sie die Datenvoraussetzungen der Probat-Software erfüllen.

Jahr	Fledermaus-Sequenzen nach Posttrigger 200ms Aufbereitung
2013	20'947
2014	4099
2015	7456

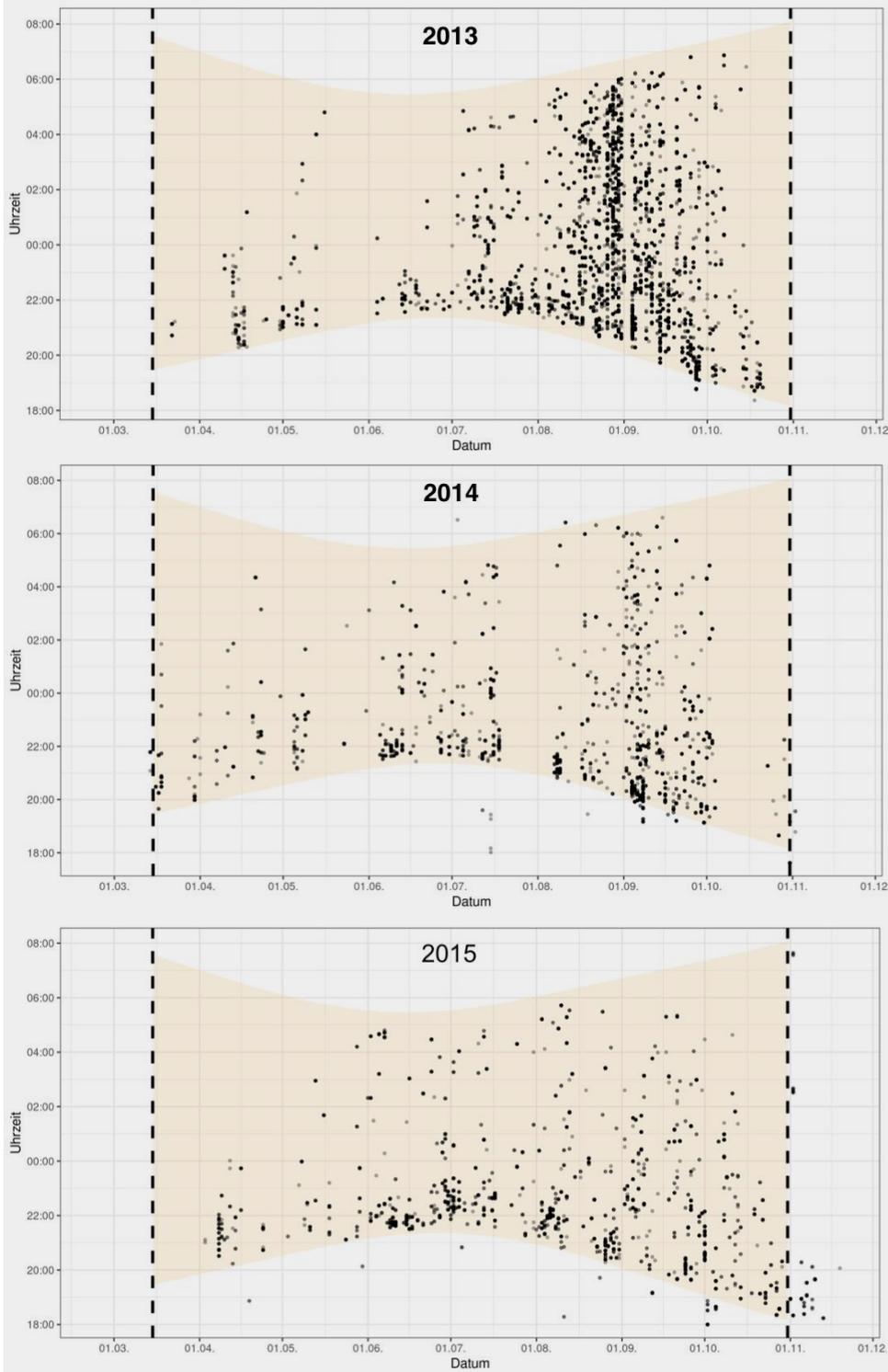


Abb. 1 Nachtaktivitätsplot aufgrund von Fledermausaufnahmen, Oldis I

Der gelb unterlegte Bereich repräsentiert die Zeit zwischen Sonnenunter- und Sonnenaufgang. Fledermausaufzeichnungen werden als transparente schwarze Punkte dargestellt. Dementsprechend werden die Punkte dunkler, wenn mehrere Aufnahmen im gleichen Zeitfenster stattfanden. Die senkrechten gestrichelten Linien stellen den Anfang bzw. das Ende der akustischen Erfassung dar.

2.2 Meteorologische Daten

Die Fledermausaktivität ist abhängig von Windgeschwindigkeit, Temperatur, Nachtzeit und Jahresverlauf.

SWILD – 20. Februar 2022

Calandawind, Haldenstein

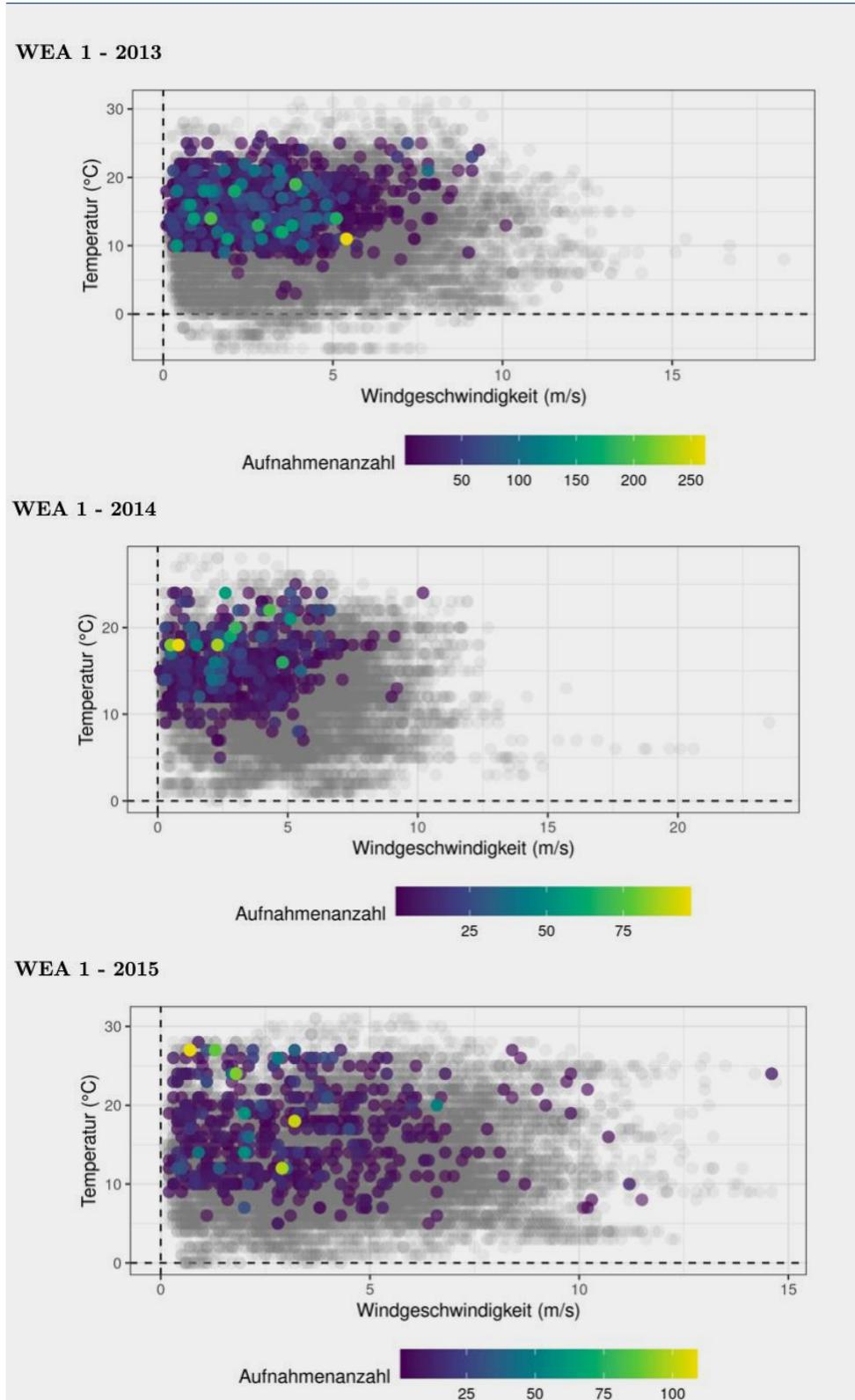


Abb. 2 Fledermausaktivitätsverteilung über Wind und Temperatur

Die X-Achse bildet für alle 10-Minuten Intervalle des gemeinsam Erfassungszeitraums die Windgeschwindigkeit in m/s ab. Auf der Y-Achse ist die Temperatur desselben Intervalls in °C aufgetragen. Alle 10-Minuten-Intervalle des Erfassungszeitraums sind als transparente Punkte dargestellt. Transparente graue Punkte zeigen Intervalle ohne Fledermausaktivität. Je mehr graue Punkte sich überlagern, desto dunkler ist ihr Grauton. Farbige Punkte zeigen Intervalle mit Fledermausaktivität (die Höhe der Aktivität ist farbkodiert).

3.1 Einbezug des Dämmerungsintervalls

Ob das Dämmerungsintervall (15% der Nachtlänge, vor Sonnenuntergang) in den Zeitraum des fledermausfreundlichen Betriebs eingeschlossen werden muss, wurde automatisch pro Windenergieanlage geprüft (Probat 7.1). Die Entscheidung ist zum einen abhängig von einem Rekorder- und Rotordurchmesser spezifischen absoluten Schwellenwert an Aufnahmen, die während des Gondelmonitorings im Dämmerungsintervall aufgezeichnet wurden. Zum anderen wird auch geprüft ob die Aufnahmenanzahl im Dämmerungsintervall mehr als 1% der nächtlichen Aufnahmenanzahl überschreitet. Diese Überprüfung wird sowohl für den Zeitraum der Hauptaktivität vor Sonnenuntergang im September und Oktober, als auch für den Rest des Jahres durchgeführt. Wird an einer Windenergieanlage nur im Hauptaktivitätszeitraum die Schwelle überschritten, muss nur im Hauptaktivität vor Sonnenuntergang im September und Oktober das Dämmerungsintervall in den fledermausfreundlichen Betrieb eingeschlossen werden.

3.2 Einbezug eines Temperaturgrenzwertes

Anhand der Fledermaus-Akustikaufzeichnungen wurden Temperaturgrenzwerte berechnet, die zusätzlich zu den Cut-In Windgeschwindigkeiten festgelegt werden können. Dies führt dazu, dass eine geringe, absolut und relativ limitierte Anzahl von Fledermauskontakten zusätzlich stattfindet, während die WEA betrieben wird.

Die Windenergieanlage muss abgeschaltet werden, wenn die Windgeschwindigkeit gleichzeitig kleiner ($<$) als die Cut-In-Windgeschwindigkeit und die Gondel-Außentemperatur gleich oder größer (\geq) als 5°Celsius. Der Abschaltplan gilt jeweils während der Periode vom 15.03 bis zum 31.10 von Sonnenuntergange (siehe Dämmerungsintervall) bis Sonnenaufgang.

3.3 Grenzwert der Schlagopferzahl

Für die Berechnungen wurden die Grundlagen verwendet, die im Kompensationskonzept (Anhang 2) entwickelt wurden. Als Grenze für die maximal tolerierbare Mortalität wurde für Oldis I und II gemeinsam eine Grenze von 10.4 Individuen pro Jahr festgelegt.

Für die vorliegenden Berechnungen wurde für die Ausgangslage im ersten Jahr zusätzlich eine Sicherheitsmarge von 15% einbezogen. Diese wurde so in die Berechnungen einbezogen, dass sich bei der Eingabe die tolerierbare Mortalität um 15% reduzierte. Entsprechend sind für die beiden WEA die folgenden Werte als Grenzwerte für die Mortalität bei den Berechnungen verwendet worden:

Oldis I: 3.6 Schlagopfer
Oldis II: 5.4 Schlagopfer
Total Oldis I + II: 9 Schlagopfer

(ohne Sicherheitsmarge von 15%: Anzahl Schlagopfer entspricht mit 10.4 der im Kompensationskonzept festgelegten Restmortalität für beide WEA).

Cut-In Windgeschwindigkeiten (m/s)
Oldis 1 - 2013; 2014; 2015
 Kombinierte Beprobungsdauer = 4 Jahr(e)
 Geschätzte jährl. Schlagopferzahl ohne Abschaltung im Zeitraum 15.03 - 31.10 = 26.8
Pauschale Cut-In-Windgeschwindigkeit = 4.9 m/s

Nachtzehntel	Monat							
	3	4	5	6	7	8	9	10
-0.15-0							3.6	2.7
0-0.1	1.7	3.8	4.5	5.0	5.3	5.4	5.1	4.5
0.1-0.2	2.9	4.2	5.0	5.6	5.8	5.9	5.6	5.0
0.2-0.3	2.3	4.0	4.8	5.2	5.4	5.6	5.4	4.6
0.3-0.4	2.2	3.9	4.7	5.2	5.3	5.5	5.4	4.4
0.4-0.5	2.3	4.0	4.8	5.1	5.2	5.4	5.3	4.4
0.5-0.6	1.6	3.7	4.4	4.7	4.9	4.9	5.0	4.1
0.6-0.7	1.6	3.7	4.5	4.7	5.0	4.9	4.9	4.1
0.7-0.8	1.3	3.1	4.1	4.3	4.6	4.5	4.4	3.8
0.8-0.9	1.2	2.9	4.0	4.2	4.6	4.4	4.5	3.8
0.9-1	0.7	1.1	1.8	2.4	3.2	3.1	3.2	1.6

Cut-In Windgeschwindigkeiten (m/s)
Oldis 2 - 2013; 2014; 2015
 Kombinierte Beprobungsdauer = 4 Jahr(e)
 Geschätzte jährl. Schlagopferzahl ohne Abschaltung im Zeitraum 15.03 - 31.10 = 26.8
Pauschale Cut-In-Windgeschwindigkeit = 4.5 m/s

Nachtzehntel	Monat							
	3	4	5	6	7	8	9	10
-0.15-0							2.9	1.6
0-0.1	1.3	3.2	4.1	4.5	4.8	4.9	4.6	4.1
0.1-0.2	1.7	3.8	4.5	5.1	5.3	5.5	5.2	4.5
0.2-0.3	1.5	3.5	4.3	4.7	4.9	5.1	4.9	4.1
0.3-0.4	1.4	3.4	4.2	4.7	4.8	5.0	4.9	4.0
0.4-0.5	1.5	3.5	4.3	4.6	4.7	4.9	4.8	4.0
0.5-0.6	1.3	3.0	4.0	4.2	4.4	4.4	4.5	3.6
0.6-0.7	1.3	3.1	4.1	4.3	4.5	4.4	4.4	3.7
0.7-0.8	1.0	2.0	3.6	3.9	4.1	4.1	4.0	3.2
0.8-0.9	1.0	1.7	3.5	3.8	4.1	4.0	4.1	3.2
0.9-1	0.5	0.9	1.4	1.5	2.3	2.0	2.2	1.3

Abb. 3 Berechnete cut-in Windgeschwindigkeiten für Oldis 1 und Oldis 2

Die Windenergieanlage muss abgeschaltet werden, wenn die Windgeschwindigkeit gleichzeitig kleiner (<) als die Cut-In-Windgeschwindigkeit und die Gondel-Außentemperatur gleich oder größer (≥) als 5°Celsius.

4 Massnahmen und Erfolgskontrolle

4.1 Erfolgskontrolle

Die vorliegende Beschreibung des Abschaltplans dient als Grundlage für die Umsetzung und als Dokumentation für die Bewilligungsbehörde. Der Abschaltplan ist so eingestellt, dass er den Zielwert, die absolute Anzahl der maximal tolerierbaren Mortalität pro Jahr, einzuhalten vermag. Die Erfolgskontrolle umfasst zwei Massnahmen:

1) Massnahmenkontrolle

Während der ganzen Betriebszeit der WEA müssen die Protokolle der tatsächlichen Betriebsdauer vorliegen und die Einhaltung der Abschaltbedingungen in einer Auswertung nachgewiesen werden. Die tatsächliche Umsetzung der festgelegten Betriebseinschränkungen kann üblicherweise aufgrund der Leistungsdaten der WEA, zusammen mit den durch die WEA erfassten Meteodaten, im Rahmen einer Erfolgskontrolle überprüft und in einer Grafik dargestellt werden. Dazu wird die tatsächliche Fledermaus-Aktivität auf Nabenhöhe bei einem Teil der WEA des Windparks in der Betriebsphase gemessen und bezüglich der Zielsetzungen der Schadensminderungsmassnahmen analysiert.

2) Wirkungskontrolle

Gemäss den Empfehlungen der KVV (KVV 2021) soll nach Betriebsaufnahme während einer Dauer von mind. drei Jahren im Rahmen einer Erfolgskontrolle die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen aufgrund eines bioakustischen Monitorings aufgezeigt werden. Aufgrund der erfassten Daten zur Fledermausaktivität in der Gondel ist jeweils eine Anpassung / Optimierung des Abschaltplans möglich, solange die Ziele der Schadensminderung weiterhin eingehalten werden.

Fledermausaktivitätsmodell und Entwicklung eines datenbasierten Abschaltalgorithmus für die Windenergieanlage bei Chur (Haldenstein)

Bericht Datenanalyse, 22. Juli 2017

Auftraggeber Fabio Bontadina
SWILD
Wuhrstrasse 12
8003 Zürich

Auftragnehmer oikostat GmbH
Ausserdorf 43
CH-6218 Ettiswil
www.oikostat.ch

Bearbeiter Fränzi Korner-Nievergelt
fraenzi.korner@oikostat.ch
Urs Kormann
urs.kormann@oikostat.ch

oikostat.ch

1 Hintergrund und Aufgabe

SWILD hat an der Windenergieanlage (WEA) bei Chur während drei Jahren (2013, 2014 und 2015) jeweils im Sommerhalbjahr akustische Fledermausaktivität gemessen. Diese Daten sollen benutzt werden, um

1. ein Modell für die Vorhersage der Fledermausaktivität aus meteorologischen Daten sowie Datum und Nachtzeit zu erstellen.
2. einen bezüglich Kosten-Nutzen optimierten Abschaltalgorithmus für einen fledermausfreundlichen Anlagenbetrieb zu entwickeln, der die Anlage so steuert, dass im langjährigen Durchschnitt eine festgesetzte Schwelle an jährlichen Fledermauskollisionen nicht überschritten wird.

Der Abschaltalgorithmus steuert die WEA so, dass die Zahl während Betriebszeiten registrierten Fledermausdurchflügen (akustische Aufnahmen) im langjährigen Durchschnitt pro Jahr gesamthaft maximal 262 beträgt (Vorgabe aus dem Bewilligungsverfahren), wobei davon maximal 63 lokalen Fledermausarten und 199 migrierenden Arten angehören sollen. Die Vorgaben im Bewilligungsverfahren können in folgende Kollisionszahlen umgerechnet werden: 3.8 lokale und 2 migrierende Arten. Der Abschaltalgorithmus hat also zum Ziel, die WEA so zu steuern, dass im Durchschnitt 5.8 Fledermauskollisionen pro Jahr auftreten können.

Die Windenergieanlage ist vom Typ Vestas V-112-3.0 MW.

2 Daten

Wir verwenden das Datenfile, das wir von Lucretia Deplazes am 10. 5. 2017 erhielten (wea_gr_BC_per_MeteoBin_20170509.xls). Die Daten enthielten je für 10-min Intervalle die Anzahl registrierter Fledermausrufe (*bats*) und die Anzahl Registrierungen lokaler (*lok*) und migrierenden (*mig*) Arten. Zudem enthielt das Datenfile die Temperatur (in °C), die Windgeschwindigkeit (in m/s) und die Windrichtung (in °; 0° bedeutet Norden).

Zusätzlich erhielten wir Sonnenauf- und -untergangszeiten für die Untersuchungsperiode und eine auf den halben Meter/Sekunde genaue Leistungskurve für die Vestas V-112-3.0 MW.

3 Aktivitätsmodell

3.1 Datenexploration

Fledermausrufe wurden mit drei verschiedenen Typen von Ultraschalldetektoren aufgenommen (**Batcorder**, Batlogger und Anabat). Für die Analyse verwendeten wir die **Batcorder** Messungen. Während 4830 10-min Intervallen sind alle drei Detektoren ausgefallen. Diese 10-min Intervalle strichen wir aus dem Datenfile. Während 882 10-min Intervallen konnten die **Batcorder** Messungen durch Messungen mittels Batlogger ersetzt werden und während 2856 wurden die Messungen durch Messungen des Anabat ersetzt. Für die vorliegenden Analysen entschieden wir, dass allfällige systematische Unterschiede zwischen den Detektortypen ignoriert werden, weil die Stichprobe etwas zu gering ist und zudem nicht balanciert, um systematische Unterschiede zwischen den Detektortypen zuverlässig zu schätzen (Diskussion am 8. Mai 2017 in Zürich und e-mail Lucretia Deplazes vom 10.5.2017).

```
table(dat$Ausfall12)

##
##      0      1      2      3
## 50820  4830   882  2856

sum(dat$bats[dat$Ausfall12==1]) # Keine Aufnahmen, wenn keine Messungen
## [1] 0

dat <- dat[dat$Ausfall12!=1,] # werfe 10min Intervalle ohne Messung weg
```

Bei den Fledermausrufsequenzen wurde zwischen lokalen und migrierenden Arten unterschieden (*lok* und *mig*). 99% bzw. 97% der Messungen enthielten den Wert Null (Tabelle 1).

Tabelle 1: Einige Kennzahlen zur Übersicht über die gemessenen Aktivitätswerte.

Kennzeichen	lok	mig
Anzahl Nullwerte	53974	52668
Anzahl 1	331	805
Anzahl 2	119	359
Anzahl über 2	134	726
Median	0	0
Maximalwert	135	48
Anteil Nullwerte	0.989	0.965

Im Jahr 2015 wurde zwei Wochen früher (am 1. März) mit den Messungen begonnen als in den beiden Jahren davor (wo jeweils am 15. März begonnen wurde). In allen Jahren wurde bis am 31. Oktober gemessen. Es wurde täglich zwischen 17 Uhr und 7 Uhr gemessen.

3.1.1 Jahr, Datum und Zeit

Im Jahr 2013 wurden mit durchschnittlich 0.239 Rufsequenzen pro 10min Intervall mehr migrierende Arten aufgenommen als in den anderen beiden Jahren, wo dieser Durchschnitt 0.066 respektive 0.06 betrug. Von den lokalen Arten wurde im Jahr 2014 mit 0.013 Rufe pro 10min Intervall weniger Rufe aufgenommen als in den anderen beiden Jahren (2013: 0.045; 2015: 0.059). Migrierende Fledermäuse traten 2015 gehäuft zwischen Mitte August und Ende September auf, während eine solche Häufung in den anderen beiden Jahren nicht so deutlich zu erkennen ist (Abbildung 1). Die lokalen Arten waren im 2013 und 2015 relativ spät im Jahr noch aktiv.

Die Fledermäuse waren in der ersten Nachthälfte aktiver als in der zweiten (Abb. 2).

Die Fledermausaktivität passte sich den Sonnenauf- und -untergangszeiten an, deshalb ist es sinnvoll, anstelle der absoluten Zeit als erklärende Variable im Modell die Zeit in % der Nacht zu messen. Wir erstellten die Variable *propnacht*, welche 0 für Sonnenuntergang und 1 für Sonnenaufgang enthielt und die Werte dazwischen den verstrichenen Anteil der Nacht angaben.

3.1.2 Windgeschwindigkeit und Windrichtung

Bei hohen Windgeschwindigkeiten waren die Fledermäuse nicht aktiv (Abbildung 3). Es fehlten gesamthaft 102 Windgeschwindigkeitsmessungen. Diese 10min-Intervalle wurden für die Modellentwicklung weggelassen.

Für das Jahr 2013 fehlte die Windrichtung. In den anderen beiden Jahren zeigte die Windrichtung zwei verschiedene vorherrschende Richtungen an, um 40° und um 220°. Die Verteilung der Windrichtung war zwischen den beiden Jahren 2014 und 2015 sehr ähnlich (nicht dargestellt). Der Effekt der Windrichtung auf die Fledermausaktivität haben wir im Bericht vom 11. Juli 2017 anhand der Daten 2014 und 2015 analysiert. Dort haben wir für die Berechnung des Abschaltalgorithmus die Windrichtung einmal berücksichtigt und einmal liessen wir sie unberücksichtigt. Der Produktionsverlust hat sich nur unmerklich zwischen den beiden Modellvarianten unterschieden. Aus diesem Grunde entschieden wir, die Windrichtung für die Entwicklung des Abschaltalgorithmus hier wegzulassen. Als Folge konnten wir für die Entwicklung des Abschaltalgorithmus die Daten aus allen drei Jahren berücksichtigen. Das erschien uns als vorteilhaft, da die Zwischen-Jahresvarianz in der Fledermausaktivität gross ist und entsprechend jedes zusätzliche Jahr, aus dem Daten zur Verfügung stehen, stark zur Zuverlässigkeit des Algorithmus beiträgt.

3.1.3 Temperatur

Fledermausaktivität trat ab Temperaturen von 5°C auf. Bei Temperaturen von über 30°C (gemessen während total 202 10-min Intervalle) sinkt die Aktivität wieder auf Null (Abbildung 4). Bei Werten

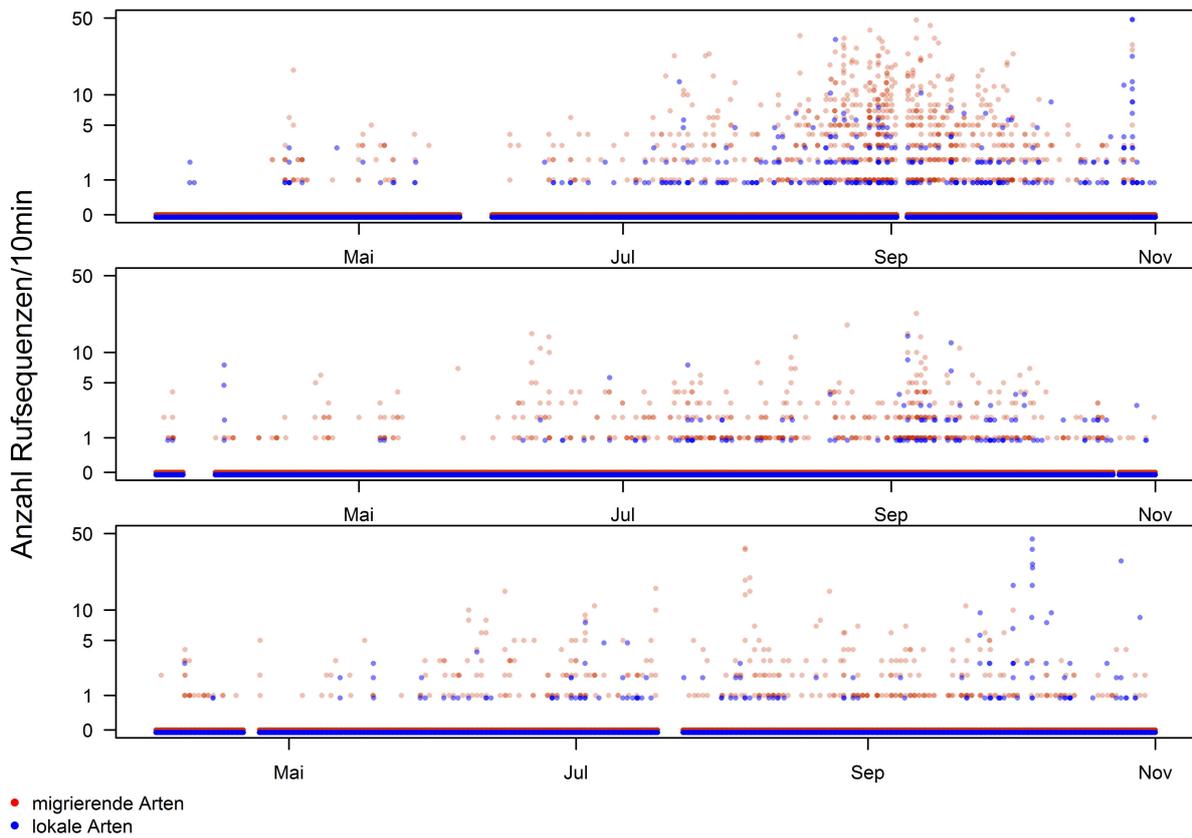


Abbildung 1: Anzahl aufgenommener Rufsequenzen pro 10min Intervall für migrierende Arten (rot) und lokale Arten (blau) pro Datum in den 3 Jahren. x-Achse: Der Monat ist jeweils am 1. des Monats angegeben.

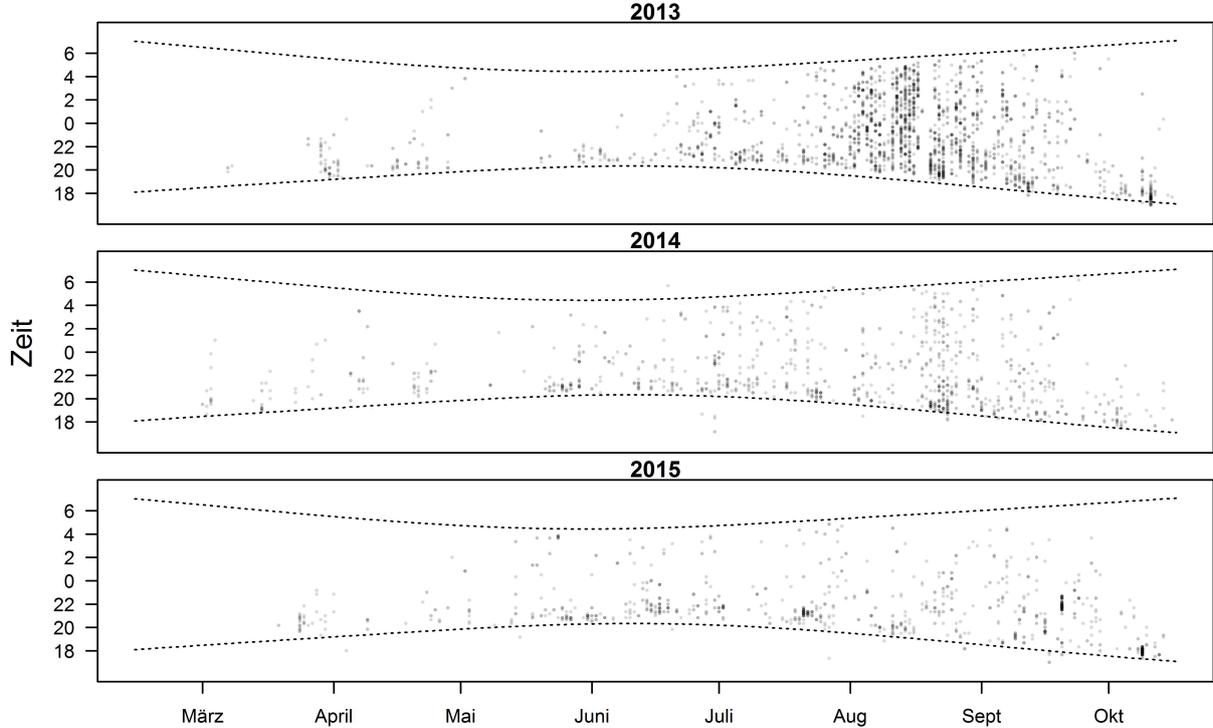


Abbildung 2: Verteilung der Fledermausaktivität (migrierende und lokale Arten) über die Nachtzeit (UTC+1) und die Saison. Die Monatsnamen sind jeweils am 15. des Monats angegeben. Die gestrichelten Linien zeigen den Sonnenunter- bzw. -aufgang an.

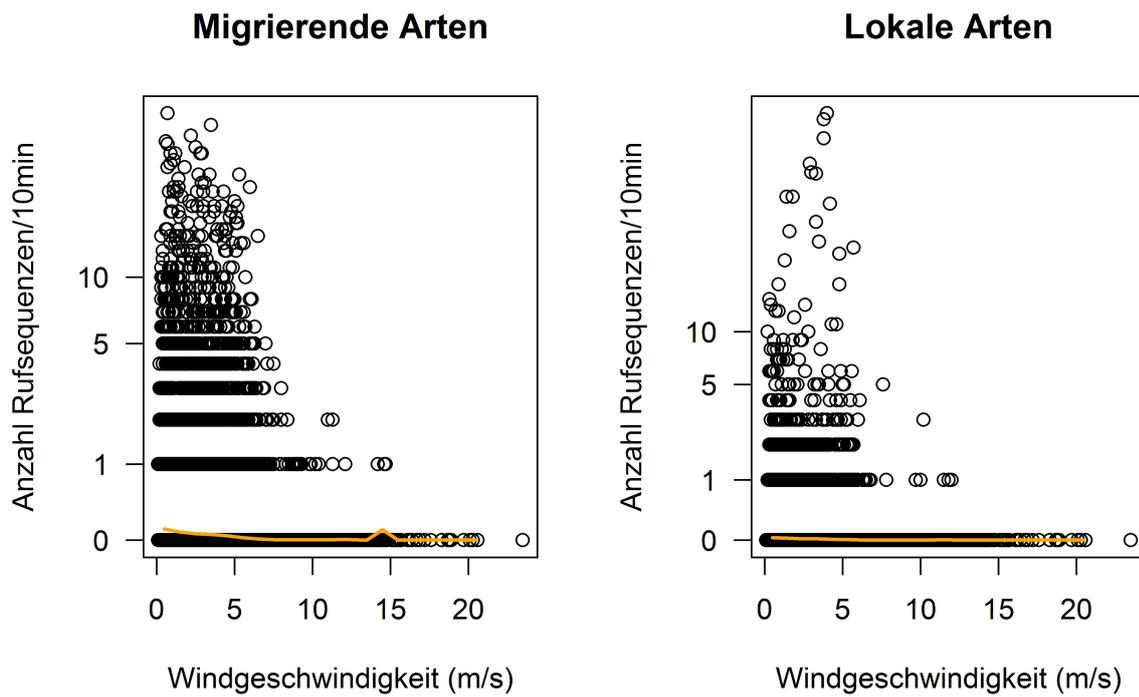


Abbildung 3: Aktivität in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit. Die orange Linie verbindet Mittelwerte der Windgeschwindigkeitsklassen von 1m/s Breite.

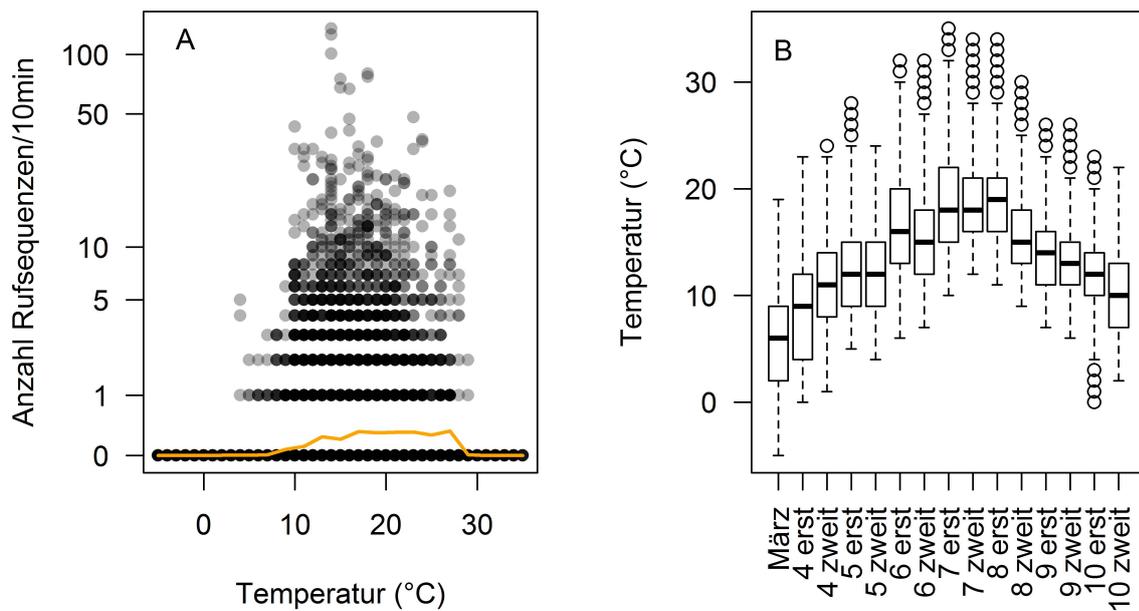


Abbildung 4: A) Aktivität in Abhängigkeit der Temperatur. Orange Linie ist der gleitende Mittelwert. B) Temperaturverteilung pro Halbmonat.

um 15°C sind die höchsten Aktivitäten gemessen worden. Von den Temperaturmessungen fehlten dieselben 102 Messungen wie von der Windgeschwindigkeit. Datum und Zeit dieser fehlenden Wind- und Temperaturmessungen sind im nächsten R-Code Junk ausgedruckt.

```
dat$DT.UTC[is.na(dat$Temp)]

## [1] 31.03.2013 03:00 31.03.2013 03:10 31.03.2013 03:20 31.03.2013 03:30
## [5] 31.03.2013 03:40 31.03.2013 03:50 31.03.2013 04:00 31.03.2013 04:10
## [9] 31.03.2013 04:20 31.03.2013 04:30 31.03.2013 04:40 31.03.2013 04:50
## [13] 13.04.2013 06:50 17.04.2013 22:20 17.04.2013 22:30 17.04.2013 22:40
## [17] 17.04.2013 22:50 17.04.2013 23:00 17.04.2013 23:10 17.04.2013 23:20
## [21] 18.04.2013 22:10 18.04.2013 22:20 18.04.2013 22:30 18.04.2013 22:40
## [25] 18.04.2013 22:50 18.04.2013 23:00 18.04.2013 23:10 18.04.2013 23:20
## [29] 18.04.2013 23:30 18.04.2013 23:40 18.04.2013 23:50 19.04.2013 00:00
## [33] 19.04.2013 00:10 19.04.2013 00:20 19.04.2013 00:30 19.04.2013 00:40
## [37] 19.04.2013 00:50 27.10.2013 03:00 27.10.2013 03:10 27.10.2013 03:20
## [41] 27.10.2013 03:30 27.10.2013 03:40 27.10.2013 03:50 31.03.2014 03:00
## [45] 31.03.2014 03:10 31.03.2014 03:20 31.03.2014 03:30 31.03.2014 03:40
## [49] 31.03.2014 03:50 31.03.2014 04:00 31.03.2014 04:10 31.03.2014 04:20
## [53] 31.03.2014 04:30 31.03.2014 04:40 31.03.2014 04:50 06.09.2014 18:00
## [57] 13.10.2014 01:30 13.10.2014 01:40 13.10.2014 01:50 13.10.2014 02:00
## [61] 13.10.2014 02:10 13.10.2014 02:20 13.10.2014 02:30 13.10.2014 02:40
## [65] 13.10.2014 02:50 13.10.2014 03:00 13.10.2014 03:10 13.10.2014 03:20
## [69] 13.10.2014 03:30 13.10.2014 03:40 13.10.2014 03:50 13.10.2014 04:00
## [73] 13.10.2014 04:10 13.10.2014 04:20 13.10.2014 04:30 13.10.2014 04:40
## [77] 13.10.2014 04:50 13.10.2014 05:00 13.10.2014 05:10 13.10.2014 05:20
## [81] 13.10.2014 05:30 13.10.2014 05:40 13.10.2014 05:50 13.10.2014 06:00
## [85] 13.10.2014 06:10 13.10.2014 06:20 13.10.2014 06:30 13.10.2014 06:40
## [89] 13.10.2014 06:50 27.10.2014 03:00 27.10.2014 03:10 27.10.2014 03:20
## [93] 27.10.2014 03:30 27.10.2014 03:40 27.10.2014 03:50 22.06.2015 02:00
## [97] 22.06.2015 02:10 22.06.2015 02:20 24.08.2015 06:20 24.08.2015 06:30
## [101] 24.08.2015 06:40 28.08.2015 21:20
## 59388 Levels: 01.03.2015 00:00 01.03.2015 00:10 ... 31.10.2015 23:50
```

3.2 Modell

Wir rechneten für die lokalen und migrierenden Fledermausarten je ein eigenes Modell. Es war schwierig, passende Modelle zu finden, da der Anteil Nullwerte in den Daten über 97% betrug, die Nicht-Nullwerte stark streuten und die Datenmenge gross war.

Um numerische Probleme beim Anpassen der Modelle zu vermeiden, haben wir alle 10min Intervalle mit Temperaturen unter 3°C und über 30°C weggelassen. Bei solchen Temperaturen wurde nie Fledermausaktivität registriert. Die Vorhersage der Fledermausaktivität bei Temperaturen unter 3°C wird für den Algorithmus auf Null gesetzt, jene für über 30°C wird auf jene Aktivität gesetzt, welche für 30°C geschätzt wurde.

Wir verwendeten sogenannte zeroinflated Negativ-Binomialmodelle (ZINB), um die Fledermausaktivität pro 10 min Intervall zu modellieren (Lambert, 1992; Zeileis et al., 2008). Diese Modelle sind zweiteilig. Sie kombinieren ein Binomialmodell, welches vorhersagt, ob überhaupt mit Fledermausaktivität zu rechnen ist, mit einem Negativ-Binomialmodell, das für die 10 min Intervalle mit Fledermausaktivität beschreibt, wie viele Fledermausrufe zu erwarten sind. Das erste Modell nennen wir das Aktivitätsrisikomodell (Risikomodell), das zweite das Aktivitätsratenmodell (Ratenmodell). Nullwerte können sowohl beim ersten wie auch beim zweiten Modell entstehen. Im Modell werden also zwei verschiedene Gründe für eine Messung von Null Aktivität zugelassen: 1) Es sind gar keine Fledermäuse aktiv, 2) Die Aktivität ist so gering, dass keine Rufe aufgenommen wurden.

Als Prädiktoren im Risikomodell verwendeten wir den Monat und die Temperatur. Von der Temperatur verwendeten wir den linearen und quadratischen Term, da wir einen nicht-linearen Zusammenhang mit der Aktivität erwarteten. Da auch das Ratenmodell eine Datumsvariable als Prädiktor enthielt, war es fraglich, ob Monat als Prädiktor im Risikomodell wirklich benötigt wurde. Wir verwendeten das Akaike Informationskriterium AIC (Akaike, 1974), um zu entscheiden, ob neben Temperatur auch Monat als Prädiktor im Risikomodell verwendet werden soll.

Als Prädiktoren im Ratenmodell verwendeten wir das Jahr, den Halbmonat, die Windgeschwindigkeit und die Nachtzeit. Von der Nachtzeit fügten wir Polynome bis maximal zum 11. Grad in das Modell ein. Der schlussendlich verwendete Grad der Polynome bestimmten wir mittels dem AIC. Dabei erhöhten wir sukzessive den Polynomgrad. Wir wählten das letzte Modell in der Folge von jenen Modellen, die in der Reihenfolge der Polynome monoton sinkende AIC-Werte aufweisen. Als letztes bezeichneten wir jenes Modell nachdem der AIC-Wert, nicht mehr um mindestens 2 Werte sank, wenn ein weiteres Polynom hinzugefügt wurde. Mit diesem Auswahlverfahren erhielten wir für die migrierenden Arten 8 und für die lokalen Arten 6 Polynome.

Aus rechnerischen Gründen (Konvergenz) wurden alle numerischen erklärenden Variablen z-transformiert (Subtraktion des Mittelwerts und Division durch die Standardabweichung, so dass die resultierende Variablen Mittelwerte von Null und Standardabweichungen von 1 aufwiesen), bevor sie im Modell verwendet wurden. Für das Modell der migrierenden Arten wurden die beiden Halbmonate im März zu einer Stufe zusammengefasst. Im Modell der lokalen Arten wurden die beiden Halbmonate im März und im April je zu einer Stufe zusammengefasst. Dies war nötig, weil jeweils in einem der beiden Halbmonate nie Aktivität gemessen wurde.

Wir verzichten auf die Berechnung von Unsicherheitsintervalle (Standardfehler oder Vertrauensintervalle) für die Anpassungswerte, da es sehr aufwändig ist, diese korrekt zu berechnen. Um die Unsicherheiten korrekt zu berechnen, müsste zuerst geprüft werden, ob die zeitliche Autokorrelation berücksichtigt werden muss. Eine solche Berechnung wäre sehr aufwändig und lohnt sich nur, wenn der Abschaltalgorithmus die Unsicherheit auch berücksichtigen würde. Das bedeutet, dass die Abschaltkriterien strenger eingestellt werden, je unsicherer die Schätzwerte der aktuellen Kollisionsrate sind. Im Moment tun die gängigen Abschaltalgorithmen das aber nicht. Sie basieren nur auf den Mittelwerten.

Alle Analysen wurden mit R 3.2.3 gerechnet (R Core Team, 2016). Die ZINB wurden mit der Funktion `zeroinfl` aus dem Paket `pscl` angepasst (Zeileis et al., 2008).

Tabelle 2: Mittelwerte, Standardabweichungen und Einheiten der numerischen erklärenden Variablen. Für Windrichtung macht ein Mittelwert keinen Sinn, weil die Messungen bimodal verteilt sind.

Variable	Mittelwert	Standardabweichung	Einheiten
Nachtanteil	0.456	0.413	Anteil
Windgeschwindigkeit	4.454	2.567	m/s
Windrichtung	n.a.	n.a.	°
Temperatur	13.879	5.564	°C

```
#-----
# Modelle für migrierende Arten
#-----
modmig1 <- zeroinfl(mig~Jahr.fac + halbmonat + wind.z + propnacht.z +
  I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)+
  I(propnacht.z^5)+ I(propnacht.z^6) + I(propnacht.z^7)+
  I(propnacht.z^8)|Monat.fac+Temp.z + I(Temp.z^2),
  data=datcompl, dist="negbin")
modmig1a <- zeroinfl(mig~Jahr.fac + halbmonat + wind.z + propnacht.z +
  I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)+
  I(propnacht.z^5)+ I(propnacht.z^6)+ I(propnacht.z^7)+
  I(propnacht.z^8)|Temp.z + I(Temp.z^2),
```

```

                                data=datcompl, dist="negbin")
AIC(modmig1, modmig1a) # -> Monat ist wichtig auch im zero-Modell

modmig0b <- zeroinfl(mig~Jahr.fac + halbmonat + wind.z + propnacht.z +
                    I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)+
                    I(propnacht.z^5)+ I(propnacht.z^6) + I(propnacht.z^7)+
                    I(propnacht.z^8)+ I(propnacht.z^9)+ I(propnacht.z^10)+
                    I(propnacht.z^11)|Monat.fac+Temp.z + I(Temp.z^2),
                    data=datcompl, dist="negbin")

modmig0a <- zeroinfl(mig~Jahr.fac + halbmonat + wind.z + propnacht.z +
                    I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)+
                    I(propnacht.z^5)+ I(propnacht.z^6) + I(propnacht.z^7)+
                    I(propnacht.z^8)+ I(propnacht.z^9)+ I(propnacht.z^10)|
modmig0 <- zeroinfl(mig~Jahr.fac + halbmonat + wind.z + propnacht.z +
                    I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)+
                    I(propnacht.z^5)+ I(propnacht.z^6) + I(propnacht.z^7)+
                    I(propnacht.z^8)+ I(propnacht.z^9)|Monat.fac+Temp.z +
                    I(Temp.z^2), data=datcompl, dist="negbin")
                    Monat.fac+Temp.z + I(Temp.z^2), data=datcompl, dist="negbin")

modmig2 <- zeroinfl(mig~Jahr.fac + halbmonat + wind.z + propnacht.z +
                    I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4) +
                    I(propnacht.z^5)+ I(propnacht.z^6)+ I(propnacht.z^7)|
                    Monat.fac+Temp.z + I(Temp.z^2), data=datcompl, dist="negbin")

modmig3 <- zeroinfl(mig~Jahr.fac + halbmonat + wind.z + propnacht.z +
                    I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)+
                    I(propnacht.z^5)+ I(propnacht.z^6)|Monat.fac+Temp.z +
                    I(Temp.z^2), data=datcompl, dist="negbin")

modmig4 <- zeroinfl(mig~Jahr.fac + halbmonat + wind.z + propnacht.z +
                    I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)+
                    I(propnacht.z^5)|Monat.fac+Temp.z + I(Temp.z^2),
                    data=datcompl, dist="negbin")

modmig5 <- zeroinfl(mig~Jahr.fac + halbmonat + wind.z + propnacht.z +
                    I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)|
                    Monat.fac+Temp.z + I(Temp.z^2), data=datcompl, dist="negbin")

modmig6 <- zeroinfl(mig~Jahr.fac + halbmonat + wind.z + propnacht.z +
                    I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3)|Monat.fac+Temp.z +
                    I(Temp.z^2), data=datcompl, dist="negbin")

save.image(file="models170718.rda")

```

```

load("models170718.rda") # lade alle 11 Modelle
# Vergleiche AIC, um zu entscheiden, welche Polynome für Zeit verwendet
# werden sollen
AIC(modmig0b, modmig0a, modmig0, modmig1, modmig2, modmig3, modmig4,
    modmig5, modmig6) # 8 Polynome sind am besten gemäss AIC

```

```
##          df      AIC
## modmig0b 40 28585.95
## modmig0a 39 20025.89
## modmig0  38 25900.78
## modmig1  37 20120.79
## modmig2  36 20127.82
## modmig3  35 20168.22
## modmig4  34 20223.27
## modmig5  33 20233.76
## modmig6  32 20606.58
```

```
#-----
# Modell für lokale Arten,

modlok1 <- zeroinfl(lok~Jahr.fac + halbmonat1 + wind.z + propnacht.z +
  I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)+
  I(propnacht.z^5)+ I(propnacht.z^6)|
  Monat.fac+Temp.z + I(Temp.z^2), data=datcompl, dist="negbin")

## Warning: glm.fit: fitted rates numerically 0 occurred

modlok1a <- zeroinfl(lok~Jahr.fac + halbmonat1 + wind.z + propnacht.z +
  I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)+
  I(propnacht.z^5)+ I(propnacht.z^6)|
  Temp.z + I(Temp.z^2), data=datcompl, dist="negbin")

## Warning: glm.fit: fitted rates numerically 0 occurred

AIC(modlok1, modlok1a) # -> Monat ist wichtig auch im zero-Modell

##          df      AIC
## modlok1  34 6966.323
## modlok1a 27 6986.310

# Modell mit 11 Polynomen konvergierte nicht
# Modell mit 10 Polynomen konvergierte nicht
# Modell mit 9 Polynomen konvergierte nicht
# Modell mit 8 Polynomen konvergierte nicht
# Modell mit 7 Polynomen konvergierte nicht

modlok3 <- zeroinfl(lok~Jahr.fac + halbmonat1 + wind.z + propnacht.z +
  I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)+
  I(propnacht.z^5)+ I(propnacht.z^6)|Monat.fac+Temp.z +
  I(Temp.z^2), data=datcompl, dist="negbin")

## Warning: glm.fit: fitted rates numerically 0 occurred

modlok4 <- zeroinfl(lok~Jahr.fac + halbmonat1 + wind.z + propnacht.z +
  I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4)+
  I(propnacht.z^5)|Monat.fac+Temp.z + I(Temp.z^2),
  data=datcompl, dist="negbin")

## Warning: glm.fit: fitted rates numerically 0 occurred
```

```

modlok5 <- zeroinfl(lok~Jahr.fac + halbmonat1 + wind.z + propnacht.z +
  I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) + I(propnacht.z^4) |
  Monat.fac+Temp.z + I(Temp.z^2), data=datcompl, dist="negbin")

modlok6 <- zeroinfl(lok~Jahr.fac + halbmonat1 + wind.z + propnacht.z +
  I(propnacht.z^2) + I(propnacht.z^3) | Monat.fac+Temp.z +
  I(Temp.z^2), data=datcompl, dist="negbin")

save.image(file="modelslok170718.rda")

```

```

load("modelslok170718.rda") # lade alle Modelle für lokale Arten
# Vergleiche AIC, um zu entscheiden, welche Polynome für Zeit verwendet
# werden sollen
AIC(modlok3, modlok4, modlok5, modlok6) #-> 6 Polynome

##          df          AIC
## modlok3 34 6966.323
## modlok4 33 7002.867
## modlok5 32 7000.996
## modlok6 31 7149.620

```

Die Warnungen "fitted rates numerically 0 occurred" bedeuten, dass für einige 10-min-Intervalle im Modell Null Aktivität vorhergesagt wird. Für solche Vorhersagen können mit den klassischen (frequentistischen) Analyseverfahren keine zuverlässigen Vertrauensintervalle gerechnet werden. Manchmal sind sogar die Schätzwerte der Modellparameter unzuverlässig. Deshalb müssen der Modellfit und das Resultat sorgfältig auf Plausibilität überprüft werden.

Um die Anpassungsgüte der Modelle zu überprüfen, trugen wir einerseits die aus dem Modell vorhergesagten Aktivitätswerte gegen die beobachteten Aktivitätswerte auf (Abbildung 5). Andererseits berechneten wir die Summe der vorhergesagten Aktivitätswerte über alle 3 Jahre und verglichen diese Summe mit der Summe der effektiv gemessenen Aktivitätswerte. Da der Algorithmus auf Summen von Aktivitätswerten beruht, sind diese Summen wichtiger als die Vorhersage der einzelnen Aktivitätswerte pro 10 min. Letztere Messwerte streuen so stark, dass eine Vorhersage der Aktivität für ein einzelnes 10 min Intervall nicht möglich ist, hingegen sollte es einigermaßen gut möglich sein, die Summe (oder der Mittelwert, orange Punkte in Abbildung 5) über viele 10 min Intervalle vorherzusagen. Die Summe der Aktivität über alle 8 Monate wurde für migrierende Arten um 102% und für lokale Arten um 110% überschätzt (Tabelle 3). Die Aktivitätssummen für einzelne Monate können bis zu 29% über- bzw. unterschätzt werden. Diese starken Abweichungen zwischen den Daten und der Modellvorhersagen kommen daher zustande, dass die Daten eine grosse nicht durch das Modell erklärte Varianz aufweisen. Ob im Durchschnitt eine Über- oder Unterschätzung vorhanden ist, müsste anhand von langjährigen Daten überprüft werden.

Die grossen Abweichungen zwischen Vorhersage und Daten für kurze Zeitabschnitte wie z.B. einzelne Monate zeigen ein grundsätzliches Problem der modellbasierten Abschaltalgorithmen. Dazu gehören auch die pauschalen Abschaltalgorithmen, denen nämlich ein stark vereinfachtes Modell zugrunde liegt. Die Summe der Aktivität über einen bestimmten Zeitabschnitt ist durch die grosse Varianz in der Aktivität stark durch einzelne (seltene) Ereignisse mit hoher Aktivität bestimmt. Diese Einzelereignisse können durch Modelle nicht genau vorausgesagt werden. Gelman et al. (2014) nennen solche Fragestellungen, wie z.B. jene nach der Summe von Vorhersagewerten, "nicht-robust". Sie empfehlen dabei, die Unsicherheiten, die mit der Vorhersage verbunden sind, darzustellen. Gemäss unserer Einschätzung können die hier verwendeten Modelle 10min Intervalle mit hoher erwarteter Aktivität von jenen mit tiefer erwarteter Aktivität gut unterscheiden, wenn die in den Modellen geschätzten Effekte der Prädiktoren biologisch sinnvoll erscheinen. In der Schätzung der absoluten Aktivität besteht u.E. die grösste Unsicherheit. Deshalb wäre es wünschenswert, den Algorithmus

anhand von Schätzung der effektiven Mortalität (z.B. mittels Schlagopfernachsuchen) oder anhand von zusätzlichen Aktivitätsmessungen zu überprüfen und, wenn nötig, anzupassen.

Tabelle 3: Summe der beobachteten und vorhergesagten Aktivitätswerte pro Monat und über alle 8 Monate.

Art	Monat	Beobachtet	Modellvorhersage	Ueberschaetzung
migrierend	3	19	22	1.132
migrierend	4	163	149	0.914
migrierend	5	115	103	0.895
migrierend	6	415	524	1.264
migrierend	7	671	762	1.135
migrierend	8	2595	2428	0.936
migrierend	9	2345	2459	1.048
migrierend	10	380	415	1.091
lokal	3	22	29	1.298
lokal	4	20	15	0.737
lokal	5	24	21	0.896
lokal	6	46	46	0.991
lokal	7	163	168	1.032
lokal	8	319	373	1.168
lokal	9	335	429	1.282
lokal	10	1186	1254	1.057
migrierend	total	6703	6861	1.024
lokal	total	2115	2334	1.104

4 Resultate der Aktivitätsmodelle

Bei konstanten Temperatur- und Windverhältnissen hatten die migrierenden Arten zwei Aktivitätsgipfel, einen im Juni und ein zweiter im September (Abbildung 6). Die lokalen Arten hatten sehr früh (März) und sehr spät (Oktober) im Jahr Aktivitätsmaxima.

Sowohl migrierende wie auch lokale Arten zeigten einen hohen Aktivitätsgipfel kurz nach Sonnenuntergang und einen zweiten kleinen Aktivitätsgipfel vor Sonnenaufgang (Abbildung 7). Bei den migrierenden Arten sank die Aktivität in der Nachtmittag weniger stark ab als bei den lokalen Arten.

Die Aktivität stieg bei Temperaturen über 10°C stark an und blieb dann bis 30°C hoch (Abbildung 8). Bei Temperaturen über 30°C wurden nie Fledermausaktivität beobachtet (n = 202 10min Intervalle).

Die Aktivität nimmt sowohl bei den migrierenden wie auch bei den lokalen Fledermausarten mit zunehmender Windgeschwindigkeit ab (Abbildung 9). Bei den migrierenden Fledermäusen scheint diese Abnahme etwas flacher als bei den lokalen Fledermäusen zu verlaufen, d.h. migrierende Fledermäuse scheinen noch bei etwas höheren Windgeschwindigkeiten aktiv zu sein als lokale Fledermäuse.

5 Abschaltalgorithmus für den fledermausfreundlichen Betrieb

Das Prinzip des Abschaltalgorithmus ist, während jenen 10 min Intervallen abzuschalten, während denen das Verhältnis zwischen Fledermausaktivität und Energieproduktion hoch ist. Dabei soll genau während so vielen 10 min Intervallen abgeschaltet werden, so dass die während den verbleibenden 10 min Intervallen registrierte Anzahl Fledermausrufsequenzen im Durchschnitt 262 (63 lokale Fledermausarten und 199 migrierende Fledermausarten) pro Jahr nicht überschreitet (für die Umrechnung in Anzahl Kollisionen siehe Einleitung).

Die Anwendung des Abschaltalgorithmus beinhaltet folgende Schritte:

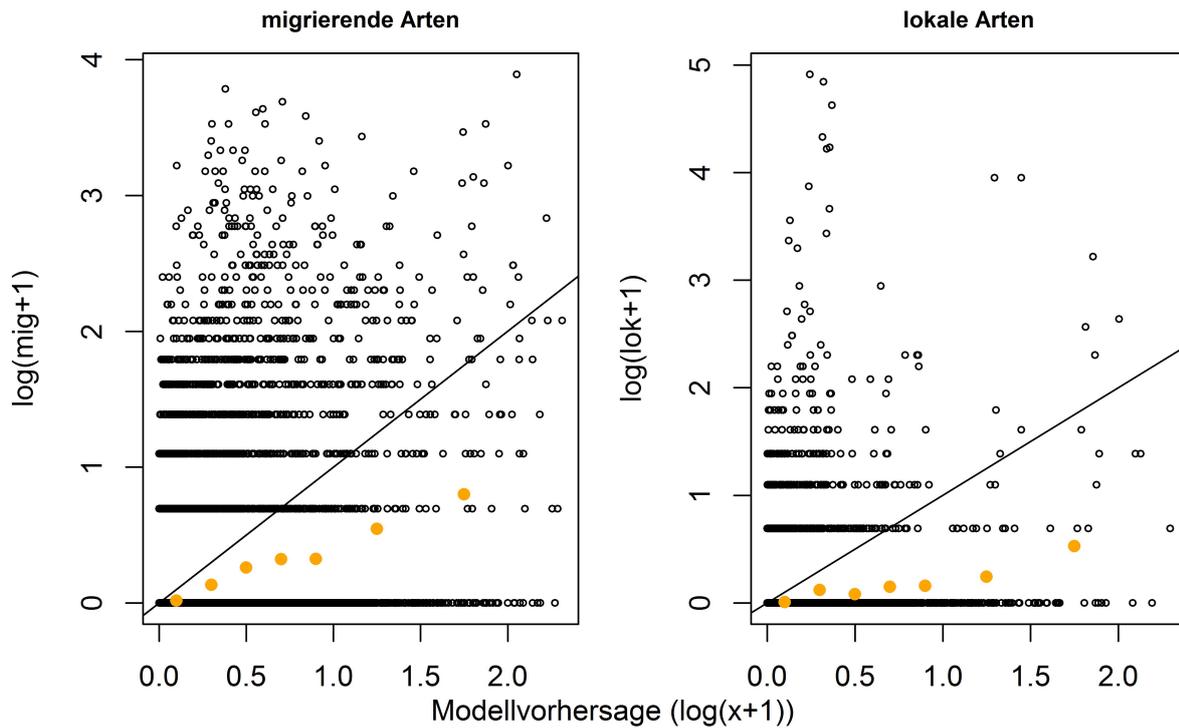


Abbildung 5: Beobachtete Aktivitätswerte (y-Achse, logarithmiert) vs. durch die Modelle vorhergesagte Werte (x-Achse, logarithmiert). Die schwarze Linie zeigt die $y=x$ -Gerade an. Die orangen Punkte sind Mittelwerte der Daten. Liegen die orangen Punkte auf der schwarzen Gerade, dann sagt das Modell genau den Mittelwert der Daten vorher. Liegen die orangen Punkte darunter, dann liegt die Modellvorhersage höher als der Mittelwert der Daten.

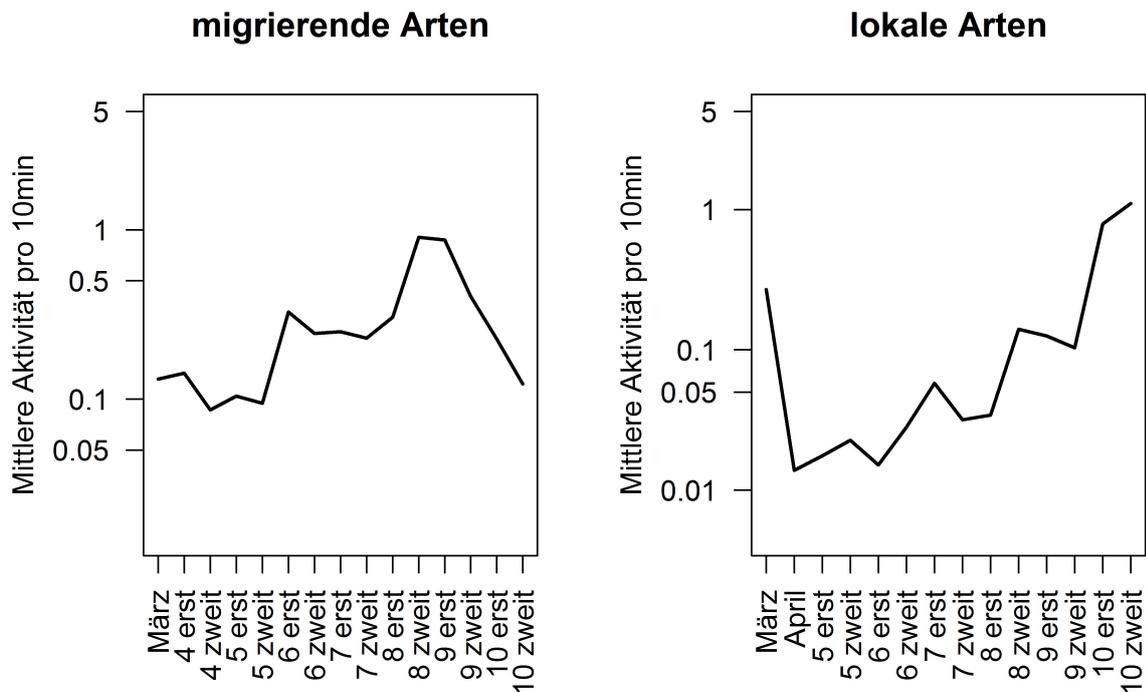


Abbildung 6: Unterschiede in der Aktivität zwischen den Halbmonaten bei konstanter Temperatur von 20°C, 4m/s Windgeschwindigkeit, bei 20% Nachtzeit

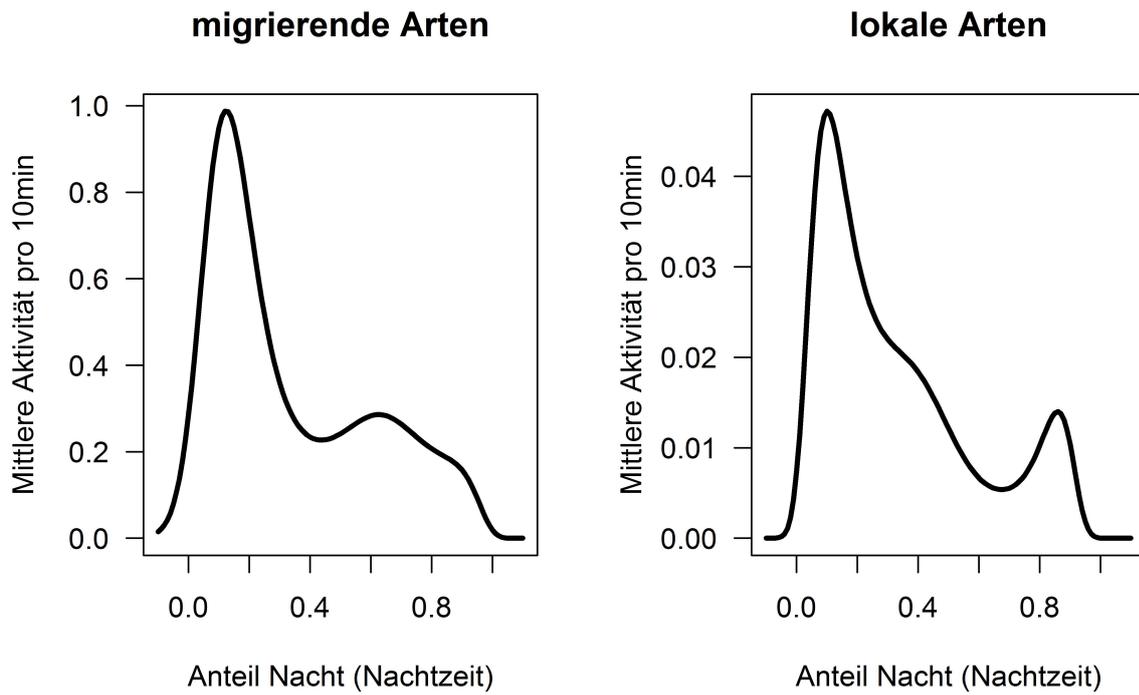


Abbildung 7: Verteilung der Aktivität über die Nacht bei konstanter Temperatur von 20°C, 4m/s Windgeschwindigkeit, erste Hälfte Juni.

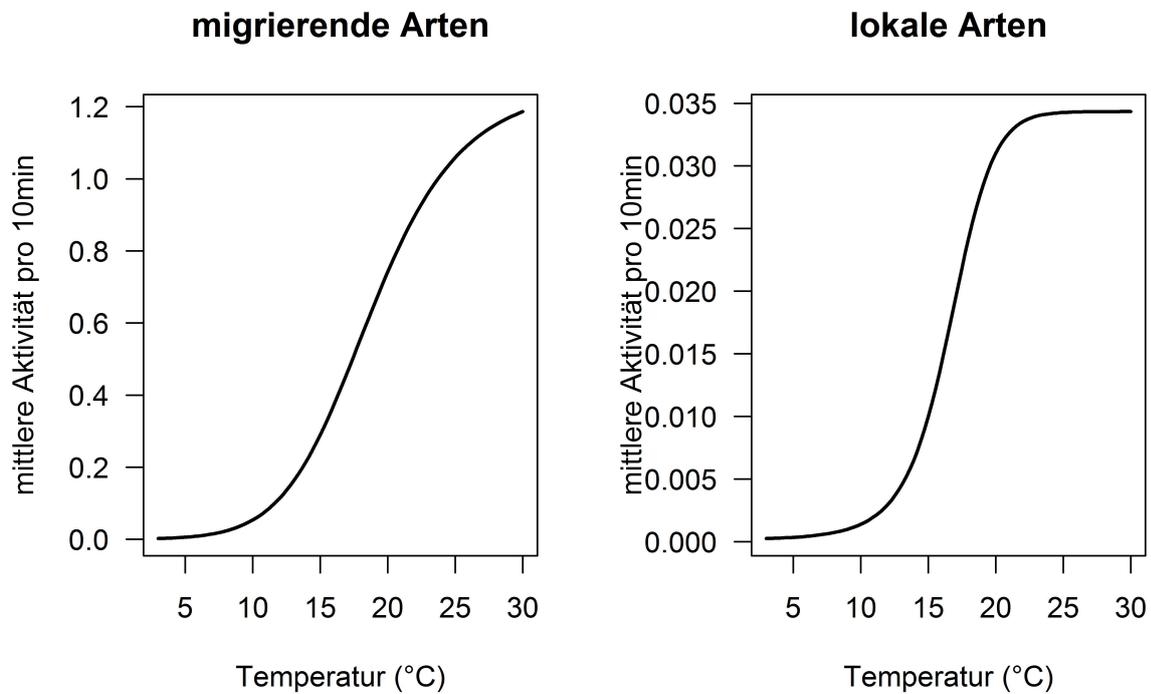


Abbildung 8: Effekt der Temperatur auf die Aktivität bei 20% der Nachtlänge nach Sonnenuntergang bei 4m/s Windgeschwindigkeit und in der ersten Hälfte des Juni.

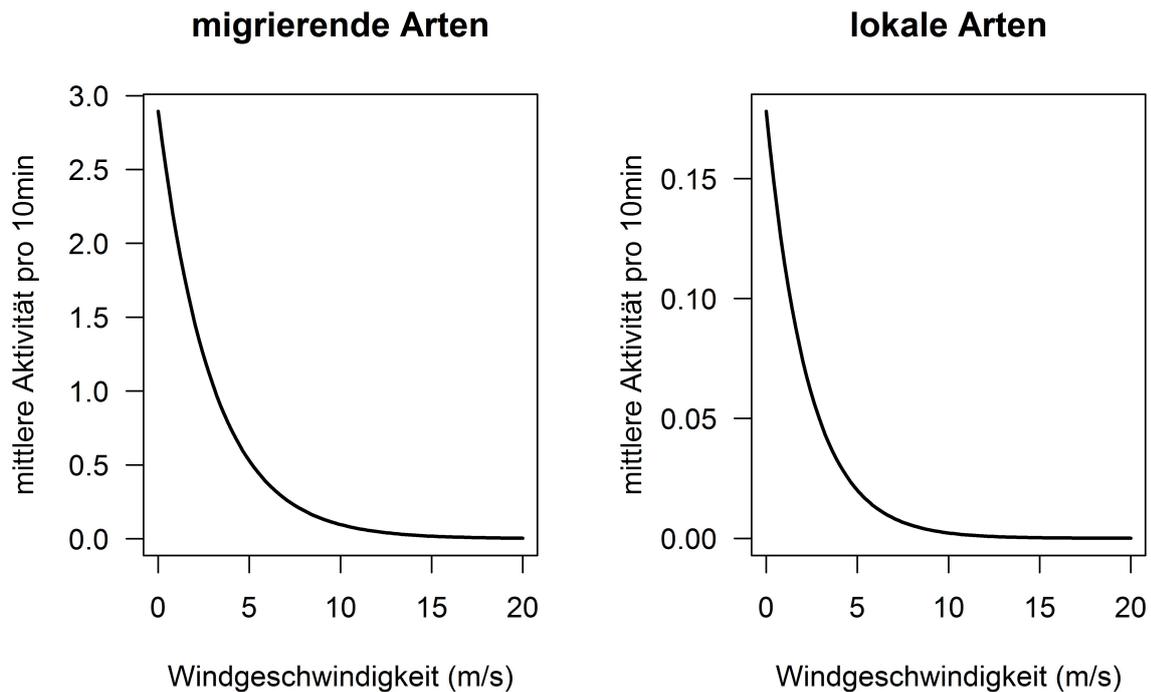


Abbildung 9: Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Aktivität bei 20% der Nachtlänge nach Sonnenuntergang bei 20°C Temperatur in der ersten Hälfte des Juni und bei Windrichtung NE.

Tabelle 4: Monats-Koeffizienten des Aktivitätsrisikomodells, M_{mig} und M_{lok} .

Monat	Mig	Lok
3	0.000	0.000
4	-0.417	0.040
5	0.857	0.448
6	1.578	0.903
7	1.422	0.856
8	-0.713	-0.088
9	-1.271	-0.886
10	-0.090	0.674

1. Vorhersage der Fledermausaktivität für das nächste 10 min Intervall basierend auf dem obigen vorgestellten Modell (Kapitel 5.1) und basierend auf den aktuellen Wind- und Temperaturmesswerten sowie der Zeit und des Datums.
2. Berechnen des Verhältnisses zwischen produzierter Energie und Fledermausaktivität ($Power/Aktivität$)
3. Vergleich des Verhältnisses $Power/Aktivität$ mit dem kritischen Wert (siehe Kapitel 5.2). Liegt $Power/Aktivität$ unter dem kritischen Wert, wird die WEA abgestellt, liegt er darüber, darf sie weiterlaufen.

5.1 Vorhersagewerte der Fledermausaktivität

Die erwartete mittlere Fledermausaktivität wird wie folgt berechnet:

1. Ist die Temperatur unter 3°C, ist die erwartete Aktivität auf Null (Berechnung fertig).
2. Ist die Temperatur über 30°C, setze die Temperatur auf 30°C und folge den Schritten 3 bis 11

Tabelle 5: Halbmonats-Koeffizienten des Modells für die bedingten Aktivitätsraten.

Halbmonat	H_mig	H_lok
März	0.000	0.000
April erst	0.033	-2.968
April zweit	-0.466	-2.968
Mai erst	-0.055	-2.707
Mai zweit	-0.152	-2.450
Juni erst	1.345	-2.821
Juni zweit	1.053	-2.202
Juli erst	1.010	-1.485
Juli zweit	0.925	-2.083
Aug erst	0.771	-2.066
Aug zweit	1.857	-0.654
Sept erst	1.787	-0.784
Sept zweit	1.022	-0.981
Okt erst	0.536	1.117
Okt zweit	-0.078	1.452

- Transformiere die gemessene Temperatur T ($^{\circ}\text{C}$) mit folgender Formel: $T.z = (T - 13.879) / 5.564$.
- Transformiere die gemessene Windgeschwindigkeit W (m/s) mit folgender Formel: $W.z = (W - 4.454) / 2.567$.
- Transformiere den Nachtanteil N (Proportion) mit folgender Formel: $N.z = (N - 0.456) / 0.413$.
- Lese aus Tabelle 4 die Monats-Koeffizienten für das Aktivitätsrisikomodell für die migrierenden M_{mig} und lokalen Arten M_{lok} heraus.
- Berechne die linearen Prädiktoren für das Aktivitätsrisiko der migrierenden und lokalen Arten: $\eta_{mig} = -0.036 + M_{mig} - 1.741 * T.z + 0.185 * T.z^2$ und $\eta_{lok} = 0.393 + M_{lok} - 2.539 * T.z - 0.422 * T.z^2$
- Berechne das Aktivitätsrisiko für die migrierenden Arten: $R_{mig} = 1 - \exp(\eta_{mig}) / (1 + \exp(\eta_{mig}))$ und für die lokalen Arten: $R_{lok} = 1 - \exp(\eta_{lok}) / (1 + \exp(\eta_{lok}))$
- Lese aus Tabelle 5 die Koeffizienten für die Halbmontate H_{mig} und H_{lok} heraus.
- Berechne die linearen Prädiktoren für die bedingte Aktivitätsrate für die migrierenden Arten:

$$\begin{aligned} \gamma_{mig} = & -3.216 + H_{mig} - 0.874 * W.z + 0.267 * N.z + 2.893 * N.z^2 - 4.929 * N.z^3 \\ & - 3.627 * N.z^4 + 5.869 * N.z^5 + 1.641 * N.z^6 - 1.8 * N.z^7 - 0.561 * N.z^8 \end{aligned} \quad (1)$$

und für die lokalen Arten:

$$\begin{aligned} \gamma_{lok} = & -2.176 + H_{lok} - 1.122 * W.z - 1.784 * N.z - 2.983 * N.z^2 + 0.839 * N.z^3 \\ & + 9.092 * N.z^4 + 0.585 * N.z^5 - 5.848 * N.z^6 \end{aligned} \quad (2)$$

- Berechne die erwarteten Aktivitätsmittelwerte $A_{mig} = R_{mig} * \exp(\gamma_{mig})$ und $A_{lok} = R_{lok} * \exp(\gamma_{lok})$.

5.2 Berechnung des Abschaltkriteriums

Für die Festlegung der Abschaltzeiten soll das Verhältnis zwischen produzierter Energie und der Anzahl der kollisionsgefährdeten Fledermäuse optimiert werden. Das bedeutet, dass die Anlage vor allem dann abgeschaltet werden soll, wenn sie wenig Energie produziert und viele Fledermäuse aktiv sind. Das Abschaltkriterium basiert deshalb auf dem Verhältnis Leistung (P , kW) zu Fledermausaktivität.

Der Schwellenwert des Verhältnisses Leistung zu Aktivität, wird so festgelegt, dass die während laufenden Rotoren verbleibende Aktivität im Durchschnitt 63 Registrierungen lokaler bzw. 199 Registrierungen migrierender Arten nicht überschreitet. Um diesen Schwellenwert zu bestimmen, berechneten wir das Verhältnis Leistung zu Aktivität für alle 10-min Intervalle sowohl für die migrierenden, wie auch für die lokalen Arten: $V_{mig} = P/A_{mig}$ und $V_{lok} = P/A_{lok}$. Die Leistung entnehmen wir der Leistungskurve für eine V112-3.0MW. Die Kurve zeigt die Leistung in kW für unterschiedliche Windgeschwindigkeiten an. Zum Beispiel bedeutet ein Wert von 290 kW bei 5.5 m/s Wind, dass die Turbine 290 kWh Energie produziert, wenn der Wind während einer Stunde mit 5.5 m/s bläst. Die während 10 min produzierte Energie ist ein Sechstel dieses Werts. Wir teilen deshalb der Tabellenwert der Leistungskurve für die Windgeschwindigkeit pro 10 min Intervall durch 6, um die während 10 min produzierte Energie (kWh) zu berechnen. Wir nehmen zudem an, dass in den Monaten November - Februar keine Fledermäuse aktiv sind.

Wir legen für die migrierenden und lokalen Fledermäuse je unterschiedliche Abschaltkriterien fest. Dazu tragen wir für jede Artengruppe die 10 min Intervalle sortiert nach aufsteigendem Verhältnis Energieproduktion/Aktivität auf (x -Achse in Abbildung 10). Links in der Abbildung befinden sich die 10-min Intervalle die eine geringe Energieproduktion und hohe Fledermausaktivitäten aufwiesen, rechts befinden sich jene mit hoher Energieproduktion und geringer Fledermausaktivität. Die produzierte Energie (kWh) wurde kumuliert (und durch die Anzahl Jahre geteilt) von links nach rechts darübergerlegt (schwarze Kurve). Diese Kurve zeigt für ein bestimmtes Verhältnis Energie/Fledermausaktivität (x -Achse) wie viel Energie im Durchschnitt über die Jahre 2013 bis 2015 während jenen 10 min Intervalle produziert worden ist, die ein tieferes oder gleich hohes Energie/Aktivitäts-Verhältnis aufwiesen. Darüber zeichneten wir von rechts nach links die kumulierte (und durch Anzahl Jahre geteilte) Anzahl Fledermausregistrierungen auf (rot und blau in Abbildung 10). Der Wert dieser Kurve zeigt an, wie viele Fledermausrufsequenzen im Durchschnitt während jenen 10 min Intervallen aufgezeichnet worden waren, die ein höheres Energie/Aktivitäts-Verhältnis aufwiesen als der Wert auf der x -Achse.

Unter der Annahme, dass die Daten der drei Jahre repräsentativ für die Fledermausaktivität und die Wind- und Temperaturverhältnisse sind, können wir den Schwellenwert basierend auf Abbildung 10 festlegen: Er liegt dort wo der kumulierte Aktivitätswert 199 bzw 63 Rufe pro Jahr für migrierende bzw. lokale Arten erreicht (senkrechter Balken in Abbildung 10). Wenn während den 10 min Intervallen, die links des Schwellenwerts liegen, abgeschaltet wird, dann erwarten wir, dass die Gesamtzahl der Rufe, welche während laufenden Anlagen erfolgen im Durchschnitt bei 199 bzw. 63 pro Jahr für migrierende bzw. lokale Fledermausarten liegt.

Für migrierende Arten muss deshalb die Anlage abgeschaltet werden, sobald das Verhältnis V_{mig} unter 2168.95 fällt. Für lokale Arten muss abgeschaltet werden, sobald das Verhältnis V_{lok} unter 4383.5 fällt. Wir können den Algorithmus für beide Artengruppen kombinieren, wenn abgeschaltet wird, sobald das Verhältnis Leistung zu Aktivität für eine der beiden Artengruppen unter ihren kritischen Wert fällt.

In den Jahren 2013 bis 2015 hätte man durch diese Abschaltregel einen Verlust von gesamthaft 1.5890917×10^5 kWh, also 1.5890917×10^5 kWh pro Jahr, in Kauf nehmen müssen. Dies entspricht 4% der Energie, welche während den beprobten Nächten (Sommernächten) produziert worden wäre. Auf das ganze Jahr bezogen, liegt der prozentuale Verlust tiefer. Die Jahresproduktion ist uns aber nicht bekannt, deshalb können wir diesen Verlust nicht berechnen. In Tabelle 6 stellen wir die Verluste in kWh pro Monat zusammen.

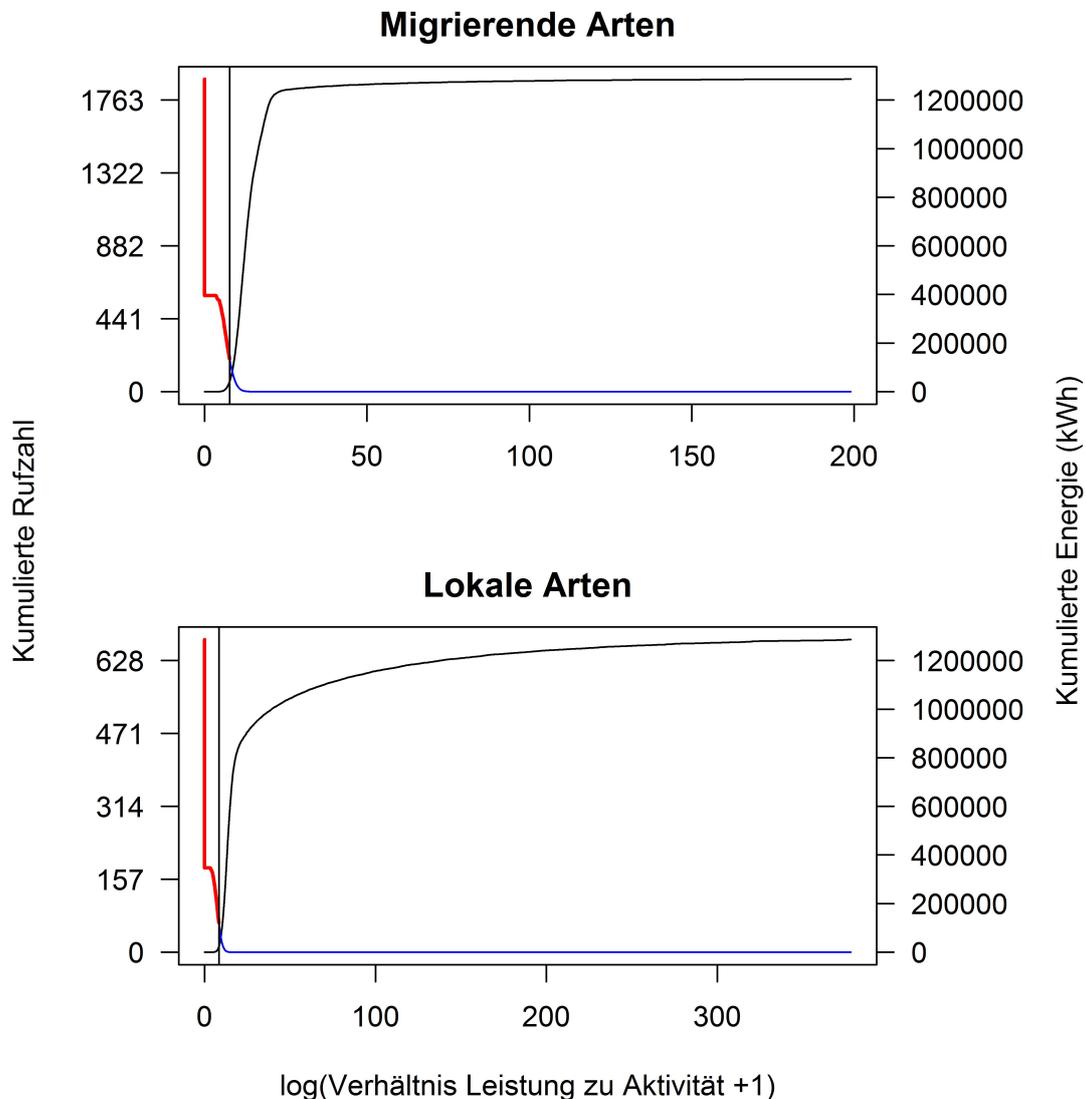


Abbildung 10: Kumulierte Energieproduktion (schwarz, kWh) und umgekehrt kumulierte Aktivität (blau, rot) aufgetragen gegen das Verhältnis zwischen Leistung (kW) und Aktivität (logarithmus-transformiert) für alle beprobten 10min Intervalle. Rot gekennzeichnet sind die kumulierten Aktivitätswerte über 199 bzw 63 Rufe pro Jahr. Die vertikale Linie zeigt die Grenze an, wo die kumulierten Rufzahlen 199 bzw. 63 pro Jahr überschreiten. Diese Grenze wird als Abschaltkriterium im Abschaltalgorithmus verwendet. Für diese Abbildung wurde die Energieproduktion sowie die Fledermausaktivität über die 3 Jahre gemittelt.

Tabelle 6: Energieproduktion (P in kWh) während den Nächten in den verschiedenen Monaten und Jahren mit und ohne Algorithmus sowie der durch den Algorithmus verursachte Verlust in kWh sowie in %. Die letzten beiden Spalten (Risiko mig und Risiko lok) geben an, wie viel Aktivität von migrierenden und lokalen Arten während den durch den Algorithmus festgelegten Zeiten mit laufendem Rotor registriert worden wäre.

Monat	Jahr	P ohne Algor.	P mit Algor.	Verlust	Verlust (\%)	Risiko mig	Risiko lok
3	2013	78623	78513	110	0	0	0
3	2014	111613	110357	1257	1	1	0
4	2013	158864	158155	709	0	29	3
4	2014	212063	211239	823	0	11	0
4	2015	146573	145922	652	0	7	0
5	2013	173974	173836	138	0	10	2
5	2014	244282	243938	344	0	5	0
5	2015	212999	212550	449	0	5	2
6	2013	186368	183048	3320	2	10	1
6	2014	158879	155364	3515	2	20	3
6	2015	173118	168641	4477	3	40	1
7	2013	158033	152280	5753	4	14	8
7	2014	180813	176863	3950	2	36	1
7	2015	190875	185950	4925	3	22	6
8	2013	152749	136840	15909	10	38	10
8	2014	154370	142475	11895	8	27	0
8	2015	183545	167965	15580	8	30	1
9	2013	114303	98738	15565	14	151	16
9	2014	121810	105345	16465	14	23	5
9	2015	207785	193247	14538	7	18	1
10	2013	218926	204967	13959	6	27	4
10	2014	156243	140830	15412	10	12	4
10	2015	161837	152674	9162	6	11	11

6 Diskussion

6.1 Aktivitätsmodell

Die Varianz in der Fledermausaktivität zwischen den verschiedenen Jahren war gross. Aus diesem Grunde muss eine Anwendung des Aktivitätsmodell für neue Jahre mit Vorsicht geschehen. Es wäre wünschenswert, das Modell mit Daten aus weiteren Jahren zu validieren und gegebenenfalls aufzudatieren.

6.2 Abschaltalgorithmus

Die Berechnung der Energieproduktion basiert lediglich auf der windabhängigen Leistungskurve. Wir haben nicht berücksichtigt, dass die Anlage auch wegen anderen Gründen stehen kann und dass die Leistung auch durch andere Faktoren (z.B. Temperatur?) beeinflusst werden kann. Die hier berechneten prozentualen Produktionseinbussen beziehen sich auf die durch die Untersuchung beprobte Zeit (Mitte März - Ende Oktober, jeweils zwischen 17 und 7 Uhr). Wir gehen davon aus, dass während den nicht-beprobten Tages- und Jahreszeiten kein Fledermauskollisionsrisiko vorhanden ist. Von diesen Zeiten fehlen uns Angaben zur Energieproduktion. Aus diesen Gründen liegt die Produktionseinbussen prozentual zum Jahresertrag tiefer als die in Tabelle 6 angegebenen Werten.

Der hier entwickelte Abschaltalgorithmus basiert auf der mittleren modellierten Fledermausaktivität. Wir liessen dabei zwei Varianzquellen unberücksichtigt.

Erstens besitzen die modellierten mittleren Aktivitätswerte eine stichprobenbedingte Unsicherheit. In den vorliegenden Daten wird diese Unsicherheit hauptsächlich durch die Zwischen-Jahresvarianz

sowie der geringen Anzahl Jahre (3) in der Stichprobe bedingt. Falls diese drei Jahre nicht repräsentativ für zukünftige Jahre sind, dann könnte es sein, dass der Algorithmus die vorgegebenen im Durchschnitt tolerierten 2 bzw. 3.8 Kollisionen pro Jahr überschreitet oder aber dass die Anlage unnötig lange abgeschaltet wird. Eine Überprüfung der Modelle mit zusätzlichen Daten und gegebenenfalls Aufdatierung der Modelle wäre deshalb wünschenswert. Alternativ könnte die Unsicherheit der Modellvorhersagen im Algorithmus berücksichtigt werden und ihn so eingestellt werden, dass der langjährige Mittelwert der Summe der Aktivität bei laufendem Rotor den Wert 63 bzw. 199 für lokale und migrierende Arten mit einer gewissen, z.B. 99%, Wahrscheinlichkeit nicht überschreitet. Diese Anpassung führt zu längeren Abschaltzeiten je unsicherer die Modellvorhersage ist.

Zweitens, streuen die effektiven Fledermausaktivitäten zwischen den 10-min Intervallen sehr stark. Das hat zur Folge, dass manchmal unnötigerweise abgeschaltet wird und manchmal nicht abgeschaltet wird, wenn Aktivität vorhanden ist. D.h. der Algorithmus ist nicht perfekt. Zum Beispiel wären im Jahr 2013 mit dem hier entwickelten Algorithmus 279 Fledermausrufe von migrierenden Arten während laufendem Rotor registriert worden, während diese Zahl in den anderen beiden Jahren bei 135 bzw. 133 lag (Tabelle 6). Die Vorgabe war in allen Jahren 199. Von lokalen Arten wären noch 44, 13 und 22 Rufe bei laufendem Rotor registriert worden, also deutlich weniger als die vorgegebenen 63.

Für Fledermausaktivitätsmessungen ist eine grosse Varianz, welche nicht durch Prädiktoren wie Windgeschwindigkeit und Temperatur erklärt werden kann, charakteristisch (Behr et al., 2011). Für hochsensible Arten, von denen kein einziges Tier kollidieren darf, sind deshalb Abschaltmechanismen, welche an real time Überwachungssysteme gekoppelt sind, zu empfehlen. Alternativ könnte die Streuung der einzelnen Messwerte in der Festlegung der hier entwickelten Abschaltalgorithmen berücksichtigt werden, indem das Kriterium so hochgeschraubt wird, dass die effektive Aktivität den vorgegebenen Wert (z.B. 63, bzw. 199) mit einer bestimmten, z.B. 99%, Wahrscheinlichkeit nicht überschreitet. Durch eine solche Anpassung werden die Abschaltzeiten massiv erhöht.

Literatur

- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, **19**:716–723.
- Behr, O., R. Brinkmann, I. Niermann, and F. Korner-Nievergelt. 2011. Akustische erfassung der fledermausaktivität an windenergieanlagen. In R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann, and M. Reich, editors, *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen.*, volume 4, pages 177–286. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Gelman, A., J. B. Carlin, H. S. Stern, D. B. Dunson, A. Vehtari, and D. B. Rubin. 2014. *Bayesian Data Analysis*. CRC Press, New York, 3 edition.
- Lambert, D. 1992. Zero-inflated poisson regression, with an application to defects in manufacturing. *Technometrics*, **34**:1–14.
- R Core Team. 2016. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.
- Zeileis, A., C. Kleiber, and S. Jackman. 2008. Regression models for count data in r. *Journal of Statistical Software*, **27**:1–25.