

Abschlussbericht

# Weiterentwicklung und Optimierung der Freilandmethoden zum Monitoring der Fledermäuse nach Art. 17 FFH-Richtlinie

Az. 33213/01

Bewilligungsempfänger: Universität Trier  
Fachbereich VI  
Geographie/ Geowissenschaften  
  
Biogeographie  
Herr Prof. Dr. Michael Veith  
Universitätsring 15  
54296 Trier

Projektpartner: Universität Trier  
Fachbereich IV  
Wirtschafts- und Sozialstatistik  
  
Volkswirtschaftslehre  
Herr Prof. Dr. Ralf Münnich  
Universitätsring 15  
54296 Trier

Bearbeiter/Verfasser: Martin Koch

Projektbeginn: 01.02.2015

Laufzeit: 4 + 1 Jahre

Datum: Trier, den 30.04.2020

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

Az **32213/01**

Referat

Fördersumme

**124.794,00 €**

**Antragstitel** Weiterentwicklung und Optimierung von Freilandmethoden zum Monitoring der Fledermäuse nach Art. 17 FFH-Richtlinie

**Stichworte** Monitoring, Fledermäuse, FFH-Richtlinie, Methodenentwicklung

Laufzeit

Projektbeginn

Projektende

Projektphase(n)

**4 Jahre****01.02.2015****31.01.2019**

Zwischenberichte

**Bewilligungsempfänger**

Universität Trier,  
Fachbereich VI  
Geographie/ Geowissenschaften  
Biogeographie  
Herr Prof. Dr. Michael Veith  
Universitätsring 15  
54296 Trier

Tel 0651 – 201-3704

Fax 0651 -20123851

Projektleitung

Prof. Dr. M. Veith

Bearbeiter

M. Koch

**Kooperationspartner**

Universität Trier  
Fachbereich IV - VWL  
Lehrstuhl für Wirtschafts- und Sozialstatistik  
Herr Prof. Dr. R. Münnich  
Universitätsring 15  
54296 Trier

**Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens**

Nach der Evaluation des FFH-Berichtes aus der Berichtsperiode 2007-2013 wurde in der Artengruppe der Fledermäuse ein erhöhter Überarbeitungsbedarf des Vorgehens bei der Erfassung und Bewertung des Erhaltungszustands festgestellt. Um das Monitoring von Fledermäusen effizienter zu gestalten und Bewertungskriterien zu schärfen, werden über freilandexperimentelle Studien die Erfassungsmethoden weiterentwickelt und über Literaturstudien das Vorgehen zur Abgrenzung von Bezugsräumen standardisiert.

**Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Das Projekt gliedert sich in drei Teilabschnitte:

- Zur Identifizierung von geeigneten Methoden zur Raumdiskriminierung in der Raumnutzungsanalyse von Fledermäusen werden verschiedene, software-gestützte Verfahren gegenübergestellt. Anhand der Auswertung publizierter Studien zu Fledermäusen werden bewährte Verfahren identifiziert, die zur Ableitung eines Methodenstandards in der Raumnutzungsanalyse herangezogen werden.
- Um den Fang von Fledermäusen zu optimieren wird der Einfluss verschiedener Netzmaterialien und Anlocksysteme für Fledermäuse systematisch analysiert. Mit Hilfe multivariater Analysen wird das Setup mit dem höchsten Fangenerfolg identifiziert, so dass Empfehlungen zur Optimierung des Vorgehens beim Fang von Fledermäusen abgeleitet werden können.
- Zur Effizienzsteigerung der Einflugkontrolle von Fledermäusen in Winterquartiere werden neuartige Ansätze verfolgt. Die arbeitsintensive Auswertung der gewonnenen Daten über Lichtschranken-Fotofallen-Kombinationen an den Einflügen in Winterquartiere wird durch eine Stichproben-Modellierung reduziert. Zur Automatisierung der Artbestimmung der- und ausfliegenden Fledermäuse werden Ultraschallmikrofone eingesetzt, so dass die Laute der Fledermäuse aufgenommen und gespeichert werden können. Durch den Einsatz von Software zur Lautanalyse kann die Bestimmung vieler Arten automatisiert werden.

## Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	2
1. Zusammenfassung.....	7
2. Übersicht zum aktuellen Wissenstand der Ökologie heimischer Fledermausarten - Review vorhandener, telemetrischer Untersuchungen .....	10
2.1. Einleitung.....	10
2.2. Methode.....	11
2.3. Ergebnisse.....	12
2.3.1. Untersuchungsthemen.....	12
2.3.2. Biome und Lebensräume.....	13
2.3.3. Untersuchte Arten.....	15
2.3.4. Studien-Design.....	16
2.3.5. Daten-Validierung und Datenanalyse .....	21
2.4. Diskussion.....	24
2.5. Ausblick.....	28
2.6. Literatur.....	28
3. Erfassung und Optimierung der Fangmethoden von Fledermausbeständen in Wäldern .....	30
3.1. Einleitung.....	30
3.2. Methode.....	30
3.3. Ergebnisse.....	34
3.3.1. Fledermausfang.....	34
3.3.2. Fangenerfolg der einzelnen Standorte.....	35
3.3.3. Fangenerfolg in Abhängigkeit von der Fangmethode .....	35
3.3.4. Artnachweise an den Standorten.....	38
3.4. Diskussion.....	40
3.5. Literatur.....	41
4. Erfassung und Optimierung der Erfassung des Fledermausbestandes an Winterquartieren mittels Fotofallen an Quartierzugängen .....	43
4.1. Einleitung.....	43
4.2. Methode.....	46
4.2.1. Fledermauserfassung .....	46
4.3. Datenauswertung.....	50
4.5. Diskussion.....	58
4.6. Fazit .....	58

5. Erfassung der Fledermausbestände an Winterquartierzugängen mit Hilfe der Bioakustik - Untersuchung der Möglichkeiten einer automatisierten Artbestimmung .....	60
5.1. Fazit .....	62
7. Danksagung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Übersicht über die Forschungsthemen der recherchierten Studien. ....	12
Abb. 2: Verteilung der Studien auf Klimazonen (n=197).....	13
Abb. 3: Verteilung der untersuchten Lebensräume.....	14
Abb. 4: Häufigkeit der Untersuchungen je Art. Die Mehrheit der betrachteten Arten wurden nur in wenigen Studien untersucht. Bei Arten mit einer Häufung von Telemetrie-Studien bei europäischen Arten ist die Anzahl der Studien im Datensatz angegeben.....	15
Abb. 5: Anzahl der untersuchten Arten je Studie (n=201). ....	15
Abb. 6: Anzahl untersuchter Tiere je Studie (n=201). ....	16
Abb. 7: Verhältnis Männchen zu Weibchen bei Studien, die beide Geschlechter untersucht (n=100). Liegt der Wert bei 0, ist das Verhältnis ausgeglichen. Positive Abweichungen beschreiben den Weibchenüberhang in der Studie, negative Abweichungen den Überhang der Männchen. ....	16
Abb. 8: Anzahl der Untersuchungsjahre je Studie.....	17
Abb. 9: Zahl der Untersuchungen in verschiedene Phasen des Fledermausjahres (n=201).....	17
Abb. 10: Verteilung der Untersuchungszeiträume während der unterschiedlichen Lebensphasen eines Fledermausjahres. ....	18
Abb. 11: Verteilung der eingesetzten Feld-Methoden. Durch Methoden-Kombination kann eine Studie in verschiedenen Kategorien gezählt werden.....	19
Abb. 12: Anzahl der berücksichtigten Batnights je Studie. ....	20
Abb. 13: Verteilung der Maximalen Zahl der Fixes/Versuchstier und Studie. ....	21
Abb. 14: Verteilung des gewählten Zeitraums, um Abhängigkeiten unter den bestimmten Positionen zu vermeiden. Je nach Ableitung des Wertes bzw. Flugverhalten der Art wird ein passender TTI-Wert herangezogen.....	22
Abb. 15: Lage der Netzfangplätze im Rhein-Sieg-Kreis bei Bonn. ....	31
Abb. 16: Anordnung der Netze an den Netzfangstandorten ( $c_{place}$ = Netzfangplatz; $n_{place}$ = Netzkreuz).....	32
Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der gefangenen Fledermausarten. ....	34
Abb. 18: Fangerfolg und Artnachweise an den jeweiligen Fangplätzen (site 1...4) in den Untersuchungsjahren 2015-2017. ....	35
Abb. 19: Verteilung aller Fänge an den unterschiedlichen Standorten auf die verwendeten Netzmaterialien. PH = Puppenhaar; MF = Monofilament; NY = Nylon .....	36
Abb. 20: Verteilung der Fänge an den jeweiligen Untersuchungsstandorten auf die verwendeten Lockgeräte. BL = BL light der Fa. Avisoft; APO = BatLure der Fa. Apodemus. ....	36
Abb. 21: Artenakkumulationskurve für den Standort 1 (site 1). Es zeigt sich, dass mindestens 4 (Max. = 10) Fangnächte notwendig waren, um das erfasste Artenspektrum zu erfassen. Die Vollständigkeit des Artenspektrums ist insoweit nicht belegt, da 6 Fangnächte stattfanden. ....	38
Abb. 22: Artenakkumulationskurve für den Standort 2 (site 1). Es zeigt sich, dass mindestens 3 (Max. = 10) Fangnächte notwendig waren, um das erfasste Artenspektrum zu vervollständigen. ....	38

<i>Abb. 23: Artenakkumulationskurve für den Standort 3. Es zeigt sich, dass nach nur 2 Fangnächten bereits ein Großteil des erfassten Artenspektrums abgebildet war, das Spektrum allerdings erst mit dem 6. Fang vollständig abgebildet war.</i> .....	39
<i>Abb. 24: Artenakkumulationskurve für den Standort 4. Es zeigt sich, dass bereits nach 10 Fangnächten das erfasste Artenspektrum an diesem Standort vollständig abgebildet wurde.</i> .....	39
Abb. 25: Lage der Winterquartiere in Deutschland. ....	46
Abb. 26: Darstellung der Lichtschrankenerfassung an Quartierzugängen. Die Reihenfolge der Unterbrechung der Lichtschrankenstrahlen ermöglicht die Unterscheidung von ein- bzw. ausfliegenden Fledermäusen. Illustration: M.Koch. ....	46
Abb. 27: Schematische Darstellung der Logik, die ein- und ausfliegende Fledermäuse an Stollenzugängen mittels Lichtschrankenüberwachung erfasst (Illustration: M.Koch).....	47
Abb. 28: Ausflugfoto des Großen Mausohres ( <i>Myotis myotis</i> ) im Stollen Kaub. Die Art ist insbesondere über die Größe und die Ohrform zu bestimmen. ....	47
Abb. 29: Einflugfoto einer Bartfledermaus ( <i>Myotis brandtii/mystacinus/alcaethoe</i> ) im Stollen Kaub. Diese Arten sind auf Flugfotos nicht zu unterscheiden. Von anderen Arten hebt sich das Artentrio über das dunkle Gesicht und die spitzen Ohren ab. Sie gehören zu den kleinen Fledermausarten in Deutschland.....	47
Abb. 30: Einflugfoto einer Fransenfledermaus ( <i>Myotis nattereri</i> ) in den Stollen Kaub. In dieser Haltung sind die Sporne an der Ferse des Tieres gut zu erkennen, die die Schwanzflughaut "aufspannen" und die verhältnismäßig spitz zulaufende Nase.....	48
Abb. 31: Wasserfledermaus ( <i>Myotis daubentonii</i> ) beim Einflug in den Stollen Kaub - gut zu erkennen an dem hellen Ohrgrund, dem kurzen, runden Tragus und den großen Füßen. ....	48
Abb. 32: Langohrfledermaus ( <i>Plecotus auritus/austriacus</i> ). Die beiden Arten sind auf Flugfotos nicht eindeutig zu bestimmen. Unverkennbar für dieses Artenpaar sind allerdings die großen Ohren. ....	49
Abb. 33: Bechsteinfledermaus ( <i>Myotis bechsteinii</i> ) beim Ausflug am Stollen Kaub. Auffällig sind die großen Ohren und der deutlich abgesetzte, helle Bauch.....	49
Abb. 34: Effekte der Beleuchtungsanteile des Mondes auf die Fledermausaktivität aller Arten. Es zeigt sich, dass die Bewölkung den Effekt der Helligkeit des Mondes leicht relativiert. Mit zunehmender Bewölkung treten allerdings Effekte des schlechten Wetters in Erscheinung.....	54
Abb. 35: Darstellung der Aktivitätsverteilung der jeweiligen Fledermausarten im Jahresverlauf. Blau markiert ist der 100. Tag im Jahr (entspricht dem 10. April/9. April in einem Schaltjahr) zur besseren Orientierung und Vergleichbarkeit. Lücken in der Aktivitätsdarstellung repräsentieren Lücken in der Datenerfassung. ....	55
Abb. 36: Aktivitätsverteilung der jeweiligen Fledermausart in Abhängigkeit der Tageszeit im Verhältnis zum Sonnenuntergang bzw. -aufgang. ....	57
Abb. 37: Ein über den Zeitstempel eindeutig zusammengehörendes Dateienpaar. Auf der Bilddatei (links) ist die Fledermaus sehr dunkel und kaum vor dem Hintergrund auszumachen. Die gleichzeitig gemachte Tonaufnahme (hier Spektogramm) ist klar und deutlich als Große Hufeisennase zu erkennen. ....	61

**Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Artenspektrum der abgespielten Lockrufe.....	32
Tab. 2: Ergebnis der GLM-Analyse.....	37
Tab. 3: Dargestellt sind die Abweichungen der Aktivität und Aktivitätsbestimmenden Determinanten für die Aktivität der jeweiligen Fledermausart. Die Aktivität der jeweiligen Fledermausart an den jeweiligen Stollen wird im Bezug zum Mauerstollen in Mayen angegeben. ....	53
Anhang I:       Genehmigung zum Fang der Fledermäuse	
Anhang II:      Bachelorarbeit C. Cartiola	

## 1. Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Weiterentwicklung und Optimierung der Freilandmethoden zum Monitoring der Fledermäuse nach Art. 17 FFH-Richtlinie“ dar.

Alle in Deutschland vorkommenden Fledermausarten sind im Anhang IV der Flora-Fauna-Habitat Richtlinie (FFH-RL) aufgeführt. Die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU) haben sich verpflichtet, den Schutz der Fledermausarten in der nationalen Gesetzgebung zu verankern und über den Erhaltungszustand alle sechs Jahre an die EU zu berichten. Das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) regelt im speziellen Artenschutz (§ 44ff) die Tötungs- und Zugriffsverbote und darüber hinaus den Schutz der Fortpflanzungs- und Ruhestätten.

Für den FFH-Bericht muss neben der Darstellung der Schutzmaßnahmen auch der Erhaltungszustand für jede Art, die im Anhang IV der Richtlinie aufgeführt ermittelt werden. Der Erhaltungszustand setzt sich aus einer Einschätzung der Habitatqualität an diversen Stichprobenpunkten, der Populationsentwicklung und einer – auch Stichprobenunabhängigen - Einschätzung aktueller und zukünftiger Gefährdungen zusammen. Die Einschätzung muss jeweils für die biogeographische Region (BGR) erfolgen. In Deutschland sind dies die atlantische BGR, die kontinentale BRG sowie die alpine BGR. In den Berichten zu den Küsten- und Meeresgebieten werden die Fledermäuse nicht berücksichtigt.

Die Langzeitbeobachtung (Monitoring) von Wildtierbeständen muss unterschiedliche Voraussetzungen erfüllen, die mitunter in einem Spannungsfeld zueinanderstehen. Zum einen muss das Monitoring methodisch soweit ausgereift sein, dass nur noch kleinere Veränderungen in dem Vorgehen der Erfassung und Bewertung von Erhaltungszuständen notwendig sind. Damit wird eine Konsistenz in der Datenreihe erreicht, die ein Vergleich der Daten über die Zeit erlaubt und Entwicklungen (Trends) ableiten lässt. Des Weiteren muss das Vorgehen soweit unabhängig vom Beobachter sein, dass auch räumlich die Daten vergleichbar sind. Letztendlich muss dann noch eine räumliche Datendichte erreicht werden, die den beobachteten Raum ausreichend repräsentiert. Die Beobachtungsfrequenz (Häufigkeit) muss es erlauben, auch kurzfristige Schwankungen erkennen, bzw. Trends und entwicklungen frühzeitig zu erkennen. Damit lassen sich schnell Maßnahmen einleiten und evaluieren, die eine Verschlechterung des Erhaltungszustands verhindern. Diese Voraussetzungen müssen mit einem vertretbaren sozio-ökonomischen Aufwand geleistet werden.

Innerhalb der EU haben sich dazu verschieden Systeme etabliert, mit denen die Fledermausbestände beobachtet werden. Manche Staaten nutzen eine Experteneinschätzung (z.B. Estland, Lettland) zur Bewertung der Habitate und Populationen. Einen ähnlichen Ansatz mit Online-Meldesystemen, in die Experten und Naturalisten Beobachtungen eintragen können verfolgen z.B. Spanien und Schweden. In Großbritannien wurde ein landesweites Netzwerk aus ehrenamtlichen Fledermausbeobachtern aufgebaut, die durch Hauptamtliche betreut werden – der Bat Conservation Trust (BCT). Die hauptamtlichen leiten die Ehrenamtler an, bilden aus, erarbeiten Erfassungsstandards und beraten darüber hinaus die Regierung und die Öffentlichkeit in Fledermausfragen. Ihnen obliegt das staatliche Monitoring.

In Deutschland liegt die Aufgabe der Datenerhebung für die Zustandsbewertung in der Verantwortung der Bundesländer. Es wurde ein gemeinsames Vorgehen zwischen den

Bundesländern abgestimmt und Erfassungsbögen entwickelt, um die Daten problemlos für den EU-Bericht zusammenführen zu können und eine länderübergreifende Zustandsbewertung für die BGR zu erstellen. Dabei werden sowohl Messdaten wie auch Einschätzungen der Beobachter herangezogen. Die Bundesländer können nur eine begrenzte Anzahl an Stichproben bearbeiten, weshalb die Belastbarkeit der Daten eingeschränkt ist.

Die Arbeiten dieses Forschungsvorhaben sollen dazu beitragen, die Freilandmethoden weiter zu entwickeln und damit das Monitoring und die Bewertung des Erhaltungszustands der in Deutschland vorkommenden Fledermausarten effizienter und präziser zu gestalten. Dabei wird in drei Teilprojekten geprüft, welcher Wissenstand zur Untersuchung der Raumnutzung und Ableitung bedeutender Fledermauslebensräume vorliegt und wie sich die Feldmethoden zur Erfassung der Fledermäuse effizienter gestalten lassen. Dazu werden Möglichkeiten der Effizienzsteigerung sowohl bei der Erfassung der Fledermäuse in ihren Sommerhabitaten wie auch an Winterquartieren untersucht.

Der aktuelle Wissenstand zur Ökologie heimischer Fledermäuse und zum methodischen Vorgehen der Untersuchung wurde anhand einer Literaturstudie untersucht. Es wurde geprüft wie sich der Umfang und die Auswahl der Versuchstiere darstellt und wie die Felddaten ausgewertet wurden. Ziel war es, Wissenslücken zu identifizieren und Möglichkeiten einer Standardisierung aufzudecken. Die Untersuchung zeigt, dass dem heutigen Wissen über Fledermäuse verschiedene Abhängigkeiten zugrunde liegen. Untersucht werden im wesentlichen Weibchen zur Sommerzeit. Zur Raumnutzung der Männchen und zu den Lebensraumansprüchen zu anderen Jahreszeiten ist sehr wenig bekannt. Die Auswertansätze der Telemetriedaten verändern sich mit der Zeit durch neue Möglichkeiten der Berechnung großer Datenmengen. Durch die gesteigerte Vielfalt der methodischen Ansätze sinkt aber auch die Vergleichbarkeit der Studienergebnisse untereinander.

In einem mehrjährigen, standardisierten Fangregime wurde untersucht, welche Auswirkungen die Wahl unterschiedlicher Netzmaterialien zum Fang von Fledermäusen haben und ob sich der Fangenerfolg durch die Verwendung eines Lockgeräts steigern lässt. Durch die Ergebnisse lässt sie die Anzahl der gefangenen Tiere, die in einem Gebiet vorkommen erhöhen und die Effizienz der Fledermausfänge steigern.

Im dritten Projektteil wurde untersucht, inwieweit sich der Aufwand der manuellen Auswertung im Foto-Monitoring an Zugängen zu Winterquartieren reduzieren lässt. Durch das Schwarmverhalten entstehen an Quartierzugängen mitunter mehrere 10.000 Fotodaten, die bisher alle manuell klassifiziert werden müssen. Es ist zu vermuten, dass sich das Foto-Monitorings insbesondere dadurch nicht als Monitoring-Methode etabliert hat. Dabei werden in den sehr großen Datenmengen erhoben, die eine belastbare Aussage zur Entwicklung des Winterbestandes eines Quartiers zulassen. Mit einem Modell wurden die Determinanten für die Aktivität der einzelnen Arten bestimmt. Anhand dessen kann eine Wahrscheinlichkeit angegeben werden, welche Fledermausart sich auf einem Foto befindet, ohne das Foto zu klassifizieren. Als Determinanten wurden unterschiedliche meteorologische Umstände, sowie die Zeit im Jahr und die Zeit am Tag untersucht. Der zugrundeliegende Datensatz betrug ca. 250.00 Bilddateien.

Im Zuge dieser Untersuchung wurde noch ein weiterer Ansatz untersucht, der nicht Gegenstand des ursprünglichen Projektes war. Es wurde ein Prototyp eines Erfassungssystems entwickelt, dass neben der Bilddatei einer Fledermaus auch eine Audiodatei der Ortungsrufe aufnimmt. Die Daten werden so organisiert, dass eindeutige Dateipaare vorliegen. In einem weiteren Schritt wurde geprüft,



inwieweit sich die Audiodaten heranziehen lassen, um die Fledermausart auf der Bilddatei zu bestimmen. Es zeigt sich, dass diese Methode eine vielversprechende Grundlage bietet, die Fledermauserfassung an Zugängen zu Winterquartieren zu automatisieren und damit sehr effizient zu gestalten.

Die Ergebnisse der Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens leisten einen Beitrag, die Freilandmethoden Freilandmethoden zum Monitoring der Fledermäuse nach Art. 17 FFH-Richtlinie weiter zu entwickeln und zu optimieren. Damit kann das Monitoring der Fledermausarten effizient gestaltet werden und Entscheidungen im Naturschutz auf einer evidenzbasierten Basis getroffen werden.

## **2. Übersicht zum aktuellen Wissenstand der Ökologie heimischer Fledermausarten - Review vorhandener, telemetrischer Untersuchungen**

### **2.1. Einleitung**

Die Radiotelemetrie stellt für Fledermäuse die Methode der Wahl zur Ermittlung von Lebensraumgrößen und der Habitatnutzung dar. Im Zuge des FFH-Monitorings, aber auch in der Eingriffsregelung (z.B. bei der Bewertung des Einflusses von Windenergieanlagen auf die Gefährdung lokaler Fledermauspopulationen) wird sie eingesetzt. Hierfür existieren eine Reihe feldmethodischer Optionen (z.B. Homing-in-on-the-animal, Triangulation). Sie werden ergänzt durch zahlreiche Alternativen bei der Auswertung der Radiotelemetriedaten (z.B. Polygon- und Kontouringmethoden sowie die Local Convex Hull-Methoden bei der Bestimmung von Aktionsräumen; unterschiedliche Ansätze zur Analyse von Habitatpräferenzen). Die Radiotelemetrie ermöglicht eine Fernbeobachtung eines Tieres, ohne eine Verhaltensänderung durch die Anwesenheit des Beobachters hervorzurufen. Dies ist entscheidend, um unbeeinflusste natürliche Bewegungen sowie die Nutzung des Lebensraums zu untersuchen.

Die ersten Funksender wurden in den 1950er Jahren eingesetzt, um den Lebensraum von Tieren zu untersuchen. Seitdem ermöglichten technische Verbesserungen der Energieeffizienz die Verwendung kleinerer Batterien und kleinerer Schaltkreise, wodurch die Größe und das Gewicht der Sender erheblich reduziert werden konnte. Die Sender wurden entwickelt, um nicht nur ein Signal zu senden, sondern auch um über die Taktung des Signals temperatur- oder lageabhängig zu wechseln.

Die Erschwinglichkeit und der Zugang zu Telemetrieausrüstung sowie das Interesse an der Wildtierforschung haben die Durchführung von Telemetriestudien verstärkt. Mit der steigenden Zahl von Studien stieg auch die Nachfrage nach Methoden zur Analyse von Funkortungsdaten. Die Zunahme von Rechenleistung und Computern mit GIS (Geographische Informationssysteme) erleichterte die statistischen Analysen von Telemetriedaten. Die Entwicklung von statistischen Methoden und Softwarelösungen zur Analyse von Tracking-Datensätzen wird permanent vorangetrieben.

Die Kenntnis der Bewegungsmuster und Habitatanforderungen ist grundlegend, um die Wechselwirkung eines Individuums mit seiner Umgebung zu verstehen. Diese Informationen sind wesentlich um seine Reaktion auf Veränderungen der Umwelt abzuschätzen. Die Untersuchung der Rolle der Arten in Ökosystemen und die detaillierte Kenntnis ihrer Lebensraumanforderungen erlauben eine angemessene Berücksichtigung bei der Entwicklung effektiver Erhaltungsmaßnahmen und sind daher von großem Wert für den Natur- und Artenschutz.

Die technischen Verbesserungen der Transmitter, insbesondere hinsichtlich Größe, Gewicht und Leistung, machte die Radiotelemetrie auch für die Untersuchung leichter Arten wie Fledermäuse verfügbar. Während der letzten Jahrzehnte hat daher das Interesse an der Bewegungsökologie und der Lebensraumnutzung von Fledermäusen stark zugenommen. Die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen für Fledermäuse nimmt aufgrund des Bevölkerungswachstums, der Landnahme und des damit einhergehenden Habitatschwunds stetig zu. Die Abholzung der Wälder für Landwirtschaft, Bergbau und Wasseraufstauungen für Wasserkraft isoliert oder zerstört Lebensräume. Die Auswirkungen der weltweiten Entwicklung der Windenergie und auch

fledermausspezifischer Krankheiten wie das White-Nose-Syndrom (WNS) in Nordamerika haben negative Auswirkungen auf Fledermauspopulationen. In der Naturschutzplanung helfen die durch die Funküberwachung gewonnenen Informationen, Maßnahmen zur Reduzierung und zur Kompensation der Auswirkungen zu entwickeln. Die Weiterentwicklung der Funkortung und die Verfügbarkeit alternativer Techniken zur Verfolgung der Bewegung von immer mehr Fledermausarten, wie z.B. netzwerkartige Anordnungen von Empfangsstationen (MOTUS) und kleine, leichte GPS-Logger, verändern die Art der Daten in Bezug auf Genauigkeit, statistische Abhängigkeit sowie zeitliche Dichte.

In dieser Übersicht versuchen wir, das verfügbare Wissen aus Fledermaustelemetriestudien zu skizzieren. Wir wollen einen Überblick über die allgemeinen Annahmen und Gemeinsamkeiten in Fledermausstudien geben und auf Wissenslücken und Verzerrungen aufgrund des Studiendesigns hinweisen. Es werden Überlegungen für zukünftige Fledermausverfolgungsstudien angestellt, neue Entwicklungen aufgezeigt und Empfehlungen zum Studiendesign gegeben.

## 2.2. Methode

Wir verwendeten gängige Suchmaschinen (Google-Scholar, Web of Science, Google) mit den Begriffen „Bat“ (Fledermaus), „Bats“ (Fledermäuse), „Telemetry“ (Telemetrie), „Radio Tracking“ (Funkortung), „Habitat Use“ (Habitatnutzung), „Habitat Selection“ (Habitatauswahl), „Roost Selection“ (Quartierwahl), „Roosting Behaviour“ (Quartierverhalten) und „Home Range“ (Streifgebiet) in verschiedenen Kombinationen, um Telemetriestudien über Fledermäuse zu finden. Es wurden ebenso Studien einbezogen, die in den jeweiligen Literaturangaben zitiert, aber nicht über die Suchmaschinen gefunden wurden. Nur Artikel aus internationalen Zeitschriften mit „Peer Review“ wurden für diese Auswertung ausgewählt. Aus dem Pool von mehr als 320 Artikeln wurden 201 ausgewählt, die Microchiroptera per Radio-Telemetrie untersuchten (Macrochiroptera kommen in Mitteleuropa nicht vor).

Aus den berücksichtigten Studien wurden Daten über die untersuchten Arten, das Land und das Gebiet der Studie und eine grobe Klassifizierung der Landschaft, in der die Feldarbeit stattfand (Wald, offene Landschaft, städtisches Gebiet) extrahiert. Das Ziel der Studie wurde klassifiziert (Roost Selection, Habitat Use, Activity, Maximal Range, Thermobiology) sowie die Zeit der Feldarbeit bezogen auf biologische Periode (Pränatal, Laktation, Postlaktation, Paarungszeit/Migration und Winterschlaf) und Jahreszeit (Winter, Frühling, Sommer, Herbst) identifiziert.

Überprüft wurden die Publikationen weiterhin auf Merkmale der Feldarbeit, wie z.B. die Verfolgungsmethode ("homing-in", Triangulation, „Close Approach“, stationäres Erfassen, weitere Verfolgungsmethode), die Schätzung des Standortfehlers, den Zeitabstand zwischen den Positionsbestimmungen, die Dauer der Verfolgung pro Tier sowie die Dauer der Studie, die Anzahl der getesteten Tiere sowie die Anzahl der Kolonien und die Koloniegrößen, zu der das Versuchstier gehört. Wenn es einen Wertebereich für z.B. die Anzahl der Verfolgungsnächte pro Individuum gab oder die Genauigkeit der Standortschätzung angegeben wurde, haben wir den Durchschnitt für die Studie berechnet. Wir identifizierten danach die Methode zur Analyse von Felddaten, um die *Home Range* zu definieren, einschließlich der Bestimmung des Glättungsfaktors ( $h$ ), der Anzahl der verfügbaren und schließlich in den Analysen berücksichtigten Standorte sowie der Anzahl der Personen und der verwendeten Software. Die Ergebnisse wurden mit ergänzender Literatur zu verschiedenen Aspekten der Funkortung und der Analyse der Reichweite diskutiert.

## 2.3. Ergebnisse

201 begutachtete Studien, die den Suchbegriffen entsprechen, wurden in diese Übersichtsarbeit aufgenommen, da sie Microchiropteren mit VHF-Telemetrie untersuchten und damit untereinander vergleichbar sind. Die Erscheinungsjahre erstreckten sich von 1967 bis 2018 (siehe Anhang 1).

### 2.3.1. Untersuchungsthemen

Die betrachteten Studien umfassten die Untersuchung der Schlafplatz-Auswahl (105) nach Fledermausarten oder die Definition des Heimatbereichs (119) einer Art für Habitat-Auswahlanalysen. 21 Studien untersuchten die Auswahl von Schlafplätzen und Lebensräumen.

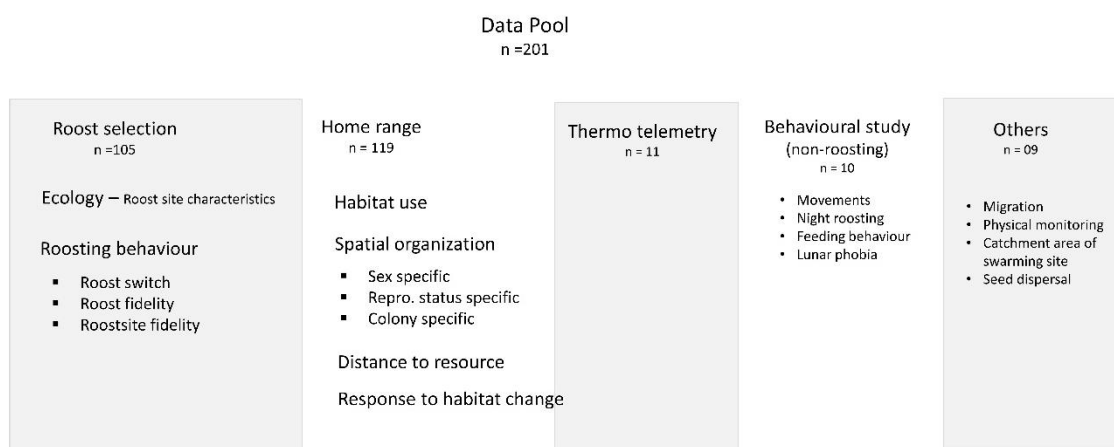


Abb. 1: Übersicht über die Forschungsthemen der recherchierten Studien.

Bei der Untersuchung der Quartierwahl (*roost selection*) werden die Eigenschaften der Quartiere beschrieben (Baumart, Baumabmessungen, Baumstadium, Hohlraumexposition, Höhe des Zugangs, Größe des Zugangs). Weitere analysierte Fledermausverhalten an den Quartieren sind Abflug- und Rückkehrzeiten, Quartierwechsel und Quartiertreue. Die Quartiere werden in der Regel tagsüber gesucht.

Zur Ermittlung der für Fledermausarten bedeutenden Habitat-Ausprägungen wurden in 119 Studien die *Home-Range* erfasst. Dazu wurde während des Fluges der Fledermäuse außerhalb des Quartieres Positionen in regelmäßigen Zeitabständen erfasst. Aus der Summe der ermittelten Positionen werden unterschiedliche Ableitungen zur Habitatpräferenz, der sozialen Organisation innerhalb der Fledermauspopulation und unterschiedlicher Stadien der Reproduktionsphasen mit unterschiedlichen Methoden abgeleitet. Die Definition der *Home-Range* variiert allerdings innerhalb der 119 Studien.

Die Untersuchung der Körpertemperatur und damit des Stoffwechsel-Umsatzes eines Fledermausindividuums lässt Rückschlüsse auf den Energiebedarf zu. Darüber lässt sich die ökologische Tragfähigkeit eines Ökosystems ermitteln und eine Abschätzung des Zustands der lokalen Population vornehmen. Veränderungen, deren Auswirkungen auf das Ökosystem bekannt sind, können somit auch auf die Fledermauspopulation übertragen werden.

Zehn Studien untersuchen den Einfluss der Telemetrie auf das Verhalten der Versuchstiere. Im Speziellen wurden Bewegungen, Ausflugszeiten, Fressverhalten und Luna-Phobia untersucht. Weitere Aspekte von Radio-Tracking-Studien sind Migration, physische Überwachung, Einzugsgebiet von Schwarmgebieten und Samenausbreitung bei fruchtfressenden Fledermausarten. Zudem werden VHF-Sender zur Beobachtung der Stoffwechselbiologie durch Thermo-Telemetrie verwendet. Die Radio-Telemetrie wird auch zur Beantwortung weiterer Fragen wie bspw. zum Fledermauszug und zum Einzugsbereich von Schwarmquartieren etc. herangezogen (vgl. Abb. 1).

### 2.3.2. Biome und Lebensräume

Die Mehrheit der Studien fand auf der Nordhalbkugel statt (162), nur 38 Studien auf der Südhalbkugel. In der gemäßigten Klimazone wurden 140 Studien durchgeführt, 38 in der tropischen und 19 in der subtropischen Klimazone). Fünf Studien ließen sich wegen fehlender Angaben nicht eindeutig zuordnen (siehe Abb. 2).

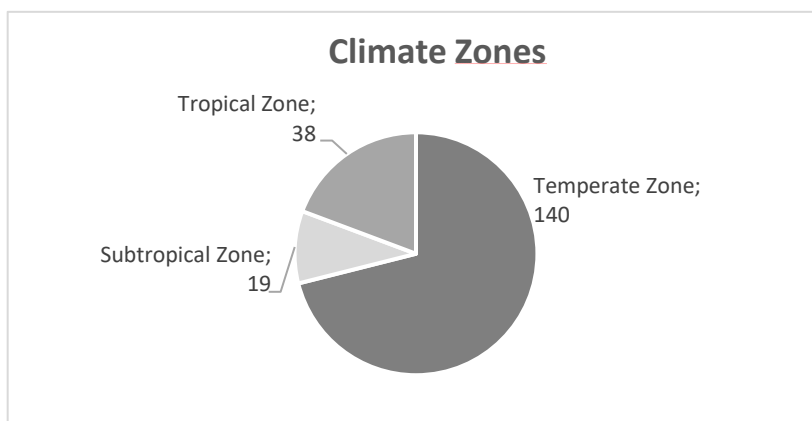


Abb. 2: Verteilung der Studien auf Klimazonen (n=197)

Die dominierende Landschaft ist der gemäßigte Wald- und Regenwald, gefolgt von landwirtschaftlichen Flächen, urbanen Bereichen und Grasländern. In allen übrigen Landschaftstypen wurden Fledermäuse nur sporadisch telemetriert.

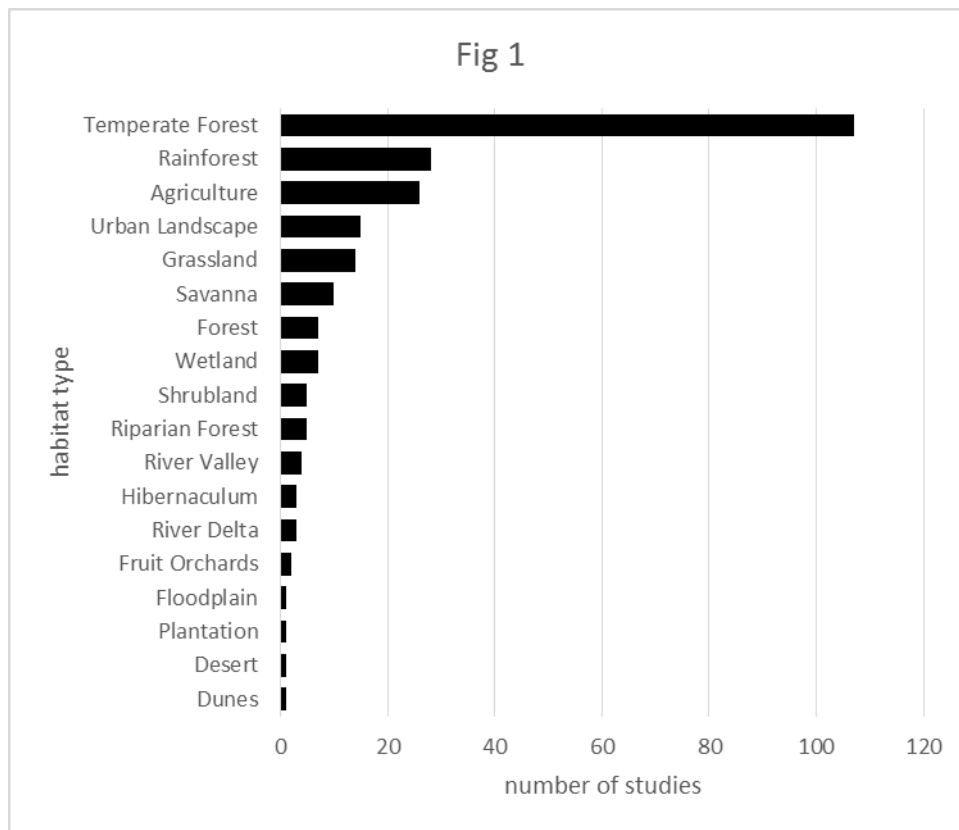


Abb. 3: Verteilung der untersuchten Lebensräume

### 2.3.3. Untersuchte Arten

Insgesamt wurden im Rahmen der hier analysierten Studien 175 Fledermausarten aus der Gruppe der Microchiroptera (Unterordnung *Yangochiroptera* plus Überfamilie *Rhinolophoidea*) untersucht.

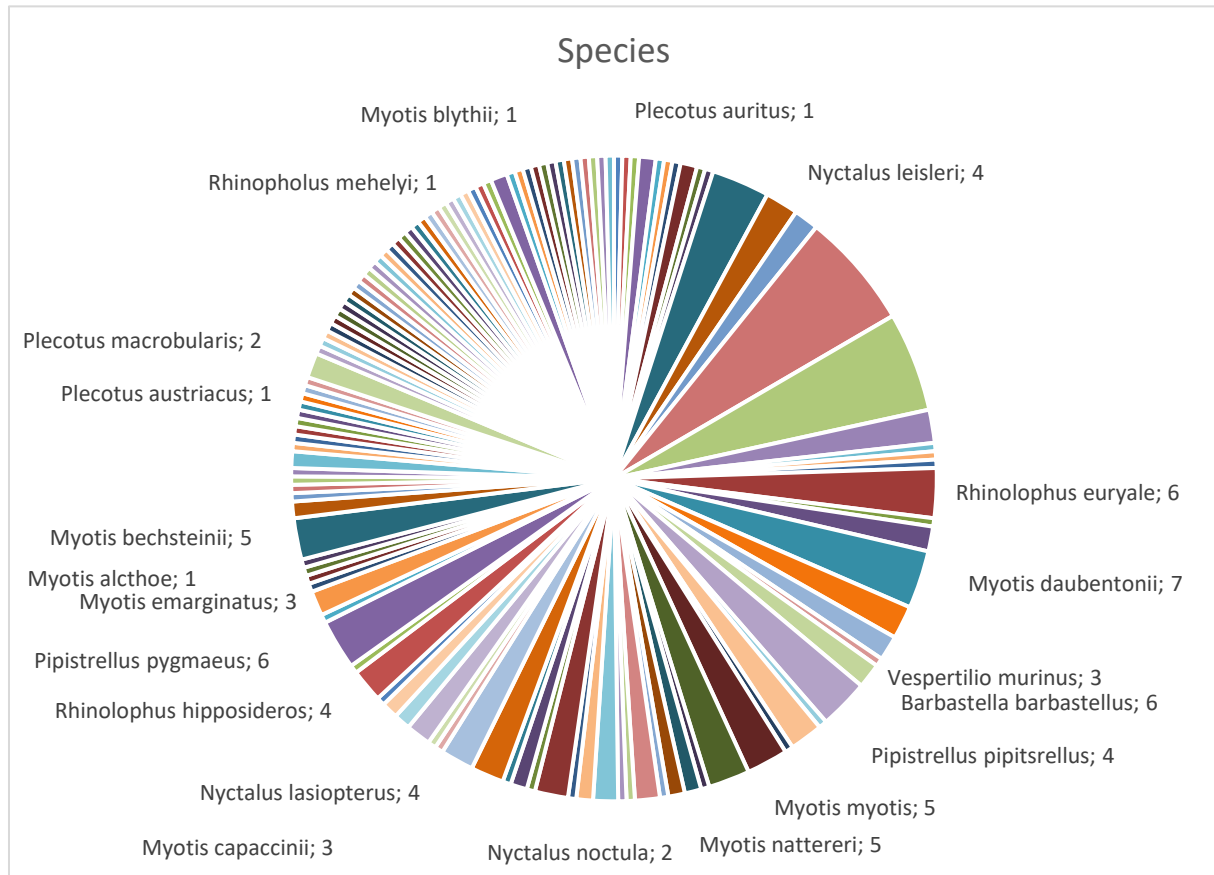


Abb. 4: Häufigkeit der Untersuchungen je Art. Die Mehrheit der betrachteten Arten wurden nur in wenigen Studien untersucht. Bei Arten mit einer Häufung von Telemetrie-Studien bei europäischen Arten ist die Anzahl der Studien im Datensatz angegeben.

159 Studien betrachteten nur eine Art, 35 schlossen zwei Arten in ihre Analysen ein und neun Studien betrachteten drei und mehr Fledermausarten. Die maximale Anzahl der in einer Veröffentlichung enthaltenen Arten beträgt acht.

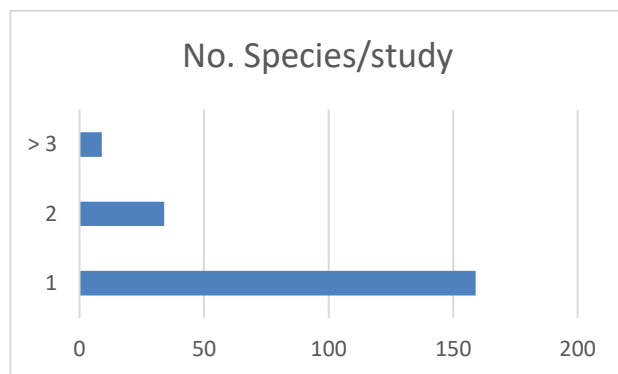


Abb. 5: Anzahl der untersuchten Arten je Studie (n=201).

### 2.3.4. Studien-Design

Der überwiegende Teil der Studien betrachtet einen Zeitraum von 1-3 Jahren (1 Jahr: 56; 2 Jahre: 57; 3 Jahre: 35). Dabei werden nur in wenigen (4) Studien gezielt Individuen in darauffolgenden Jahren nochmals telemetriert. Nur elf Studien wurden über eine längere Zeitspanne als vier und mehr Jahre durchgeführt. Die längste Zeitspanne betrug zwölf Jahre. Voraussetzung dafür war, dass die Tiere individuell markiert wurden. Die Anzahl der untersuchten Tiere je Studie schwankt zudem stark zwischen einem Tier und 112 Tiere (Median: 18). Überwiegend werden 11 bis 30 Tiere in den Studien berücksichtigt (siehe Abb. 3).

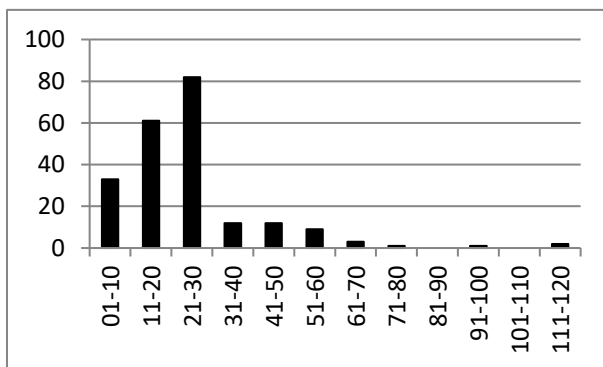


Abb. 6: Anzahl untersuchter Tiere je Studie (n=201).

In den Studien werden vor allem Weibchen als Versuchstiere herangezogen. 102 Studien untersuchen ausschließlich Weibchen, 58 Studien berücksichtigen Weibchen und Männchen und lediglich 41 Studien berücksichtigen nur Männchen. Bei den Studien, die beide Geschlechter in die Untersuchung einbeziehen, überwiegt bei 61% der Studien die Anzahl der Weibchen die der Männchen.

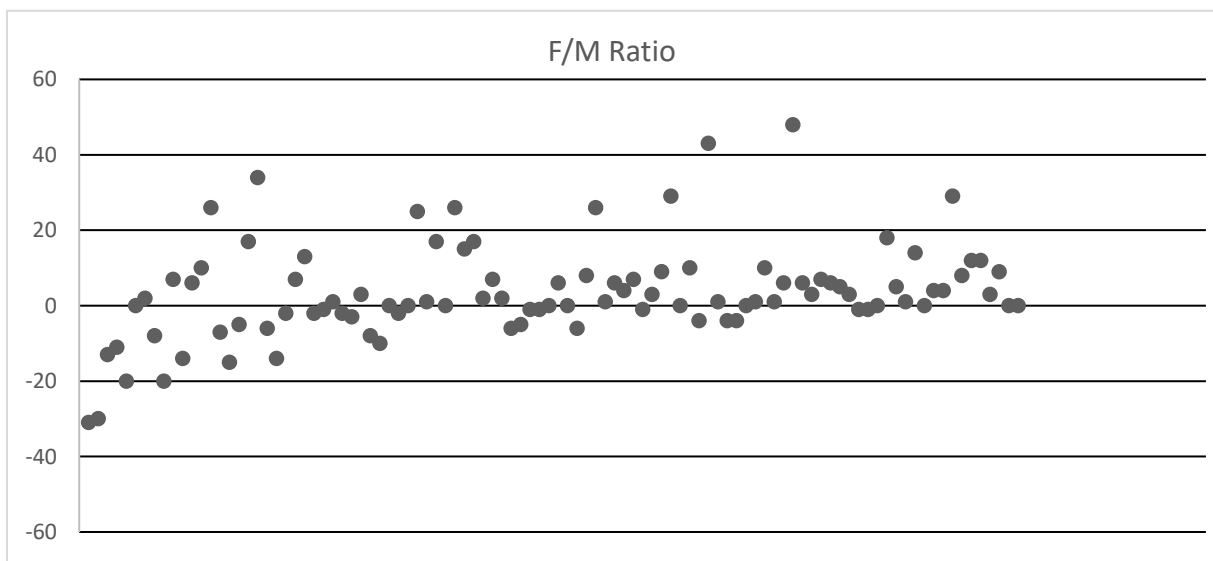


Abb. 7: Verhältnis Männchen zu Weibchen bei Studien, die beide Geschlechter untersucht (n=100). Liegt der Wert bei 0, ist das Verhältnis ausgeglichen. Positive Abweichungen beschreiben den Weibchenüberhang in der Studie, negative Abweichungen den Überhang der Männchen.



Der überwiegende Teil der Studien (56%) hat über eine bzw. zwei Feldsaisons die Fledermäuse untersucht. Tatsächlich wurden lediglich vereinzelt Langzeitstudien an Fledermäusen durchgeführt, durch die auch Veränderungen im Habitat oder in der Populationsstruktur bzw. unterschiedlicher Witterungen herangezogen werden konnten.

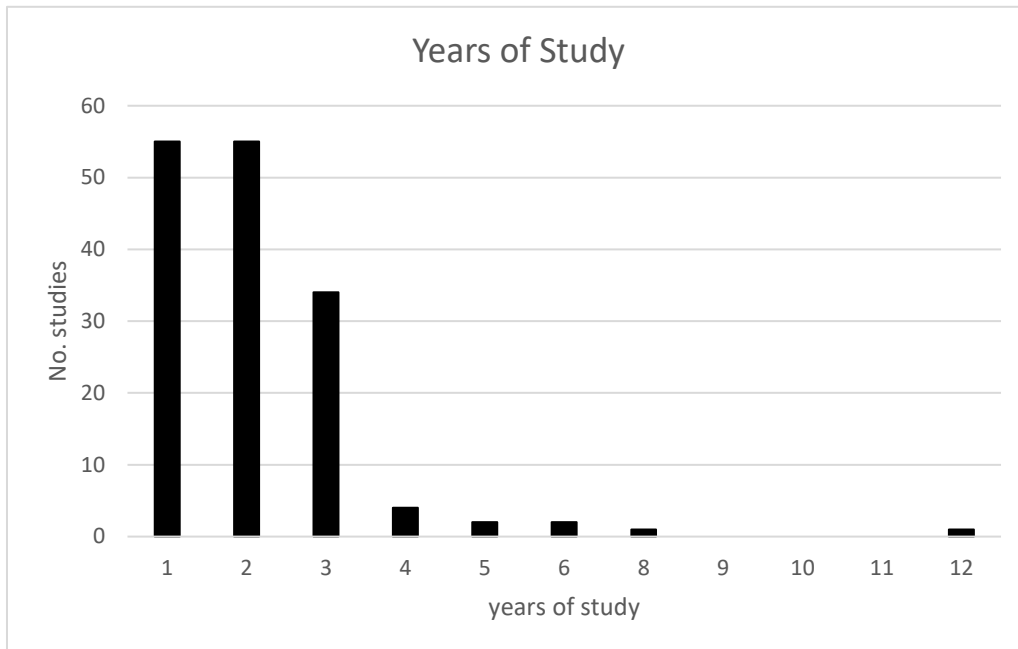


Abb. 8: Anzahl der Untersuchungsjahre je Studie.

65% der Studien (132) finden im Sommer, während der Zeit der Jungenaufzucht, statt. Nur wenige Studien untersuchen Phasen, in denen die Tiere weniger ortsgebunden sind.

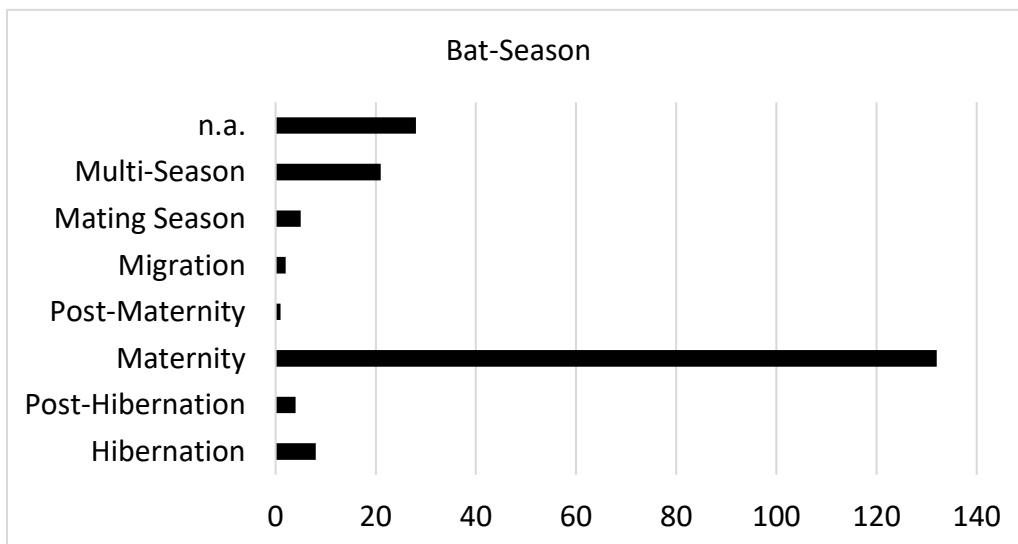


Abb. 9: Zahl der Untersuchungen in verschiedene Phasen des Fledermausjahres (n=201).

In dieser Zeit werden die meisten Daten während der Laktation, der Trächtigkeit und der Phase der Entwöhnung (*Post-Lactation*) erhoben. Abb. 10 zeigt die Anzahl der Studien, die Tiere in den unterschiedlichen Reproduktionsphasen berücksichtigt. Dabei kann sich eine Studie über mehrere Phasen erstrecken.

In zwölf Fällen wurden nicht-reproduktive Tiere in Kombination mit reproduktionsfähigen aktiven Fledermäusen verfolgt. Elf Studien untersuchten die Fledermäuse während der Paarungszeit und sieben Studien unmittelbar nach der Überwinterung in einem sehr frühen Stadium der Trächtigkeit oder Paarung. 26 Studien gaben keine Auskunft über den Reproduktionsstatus der untersuchten Fledermausexemplare.

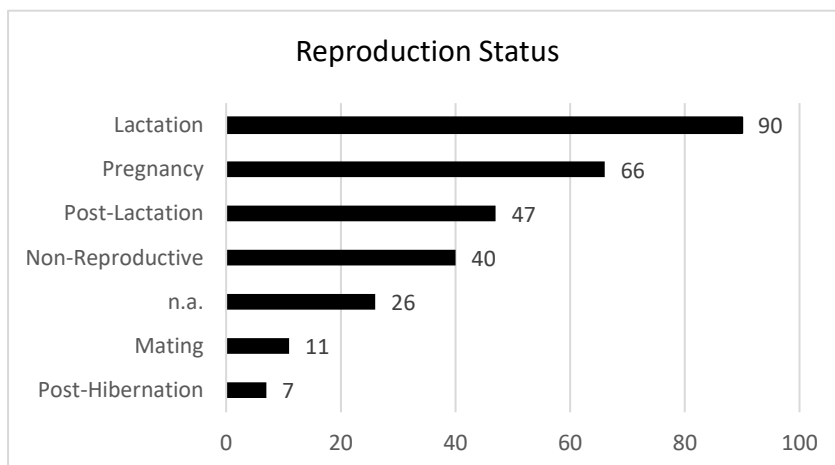


Abb. 10: Verteilung der Untersuchungszeiträume während der unterschiedlichen Lebensphasen eines Fledermausjahres.

Die Anzahl der eingesetzten Empfangsstationen bzw. Beobachter (*Observer*) hat eine maßgebliche Auswirkung auf die Datenqualität. Ca. die Hälfte der Studien (48%) hat allerdings keine Angaben hierzu gemacht. Jeweils 15% der Studien geben an, einen, zwei bzw. drei Empfänger einzusetzen. 5% der Studien nutzten bereits automatisierte Signalempfänger.

Je nach Situation und eingesetzten Beobachtern stehen unterschiedliche Methoden zur Datenerfassung zur Verfügung (Abb. 11). Die häufigste eingesetzte Methode ist das „Homing-In on the animal“. Dabei wird über die Signalstärke die Richtung vom Beobachter zum Tier ermittelt und der Beobachter nähert sich so dem Tier an. Diese Methode wird v.a. in stationären Situationen angewandt, z.B. wenn Quartiere von Tieren aufgesucht werden. Bei sich bewegenden Tieren, wenn eine Annäherung nicht bzw. nur bedingt möglich ist und mehr als ein Beobachter zur Verfügung steht, ist Triangulation die Methode der Wahl. Dabei wird synchron von zwei oder mehr Standorten aus der Richtung zum Tier ermittelt. Die Peilungen schneiden sich im Idealfall in einem Punkt oder bzw. es lässt sich ein Fehlerpolygon errechnen, über das sich für ein umgrenztes Gebiet die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Tieres ermitteln lässt. Im Zuge des Close Approach Ansatzes versucht sich der Beobachter so nah, wie möglich einem Tier zu nähern, auch wenn es sich bewegt. Ähnlich verhält es sich bei der *Single Observer estimation*. Dabei wird der Standort des Tieres über die Richtung und Entfernung (geschätzt über die Signalstärke) ermittelt. Diese Methoden gehören zu den ungenaueren Methoden. Häufig wird je nach Situation ein Mix an Methoden angewandt, um Daten zu ermitteln. Über die eingesetzte Feldmethode lässt sich die Datenqualität in der Erfassung und der Aufwand ablesen.

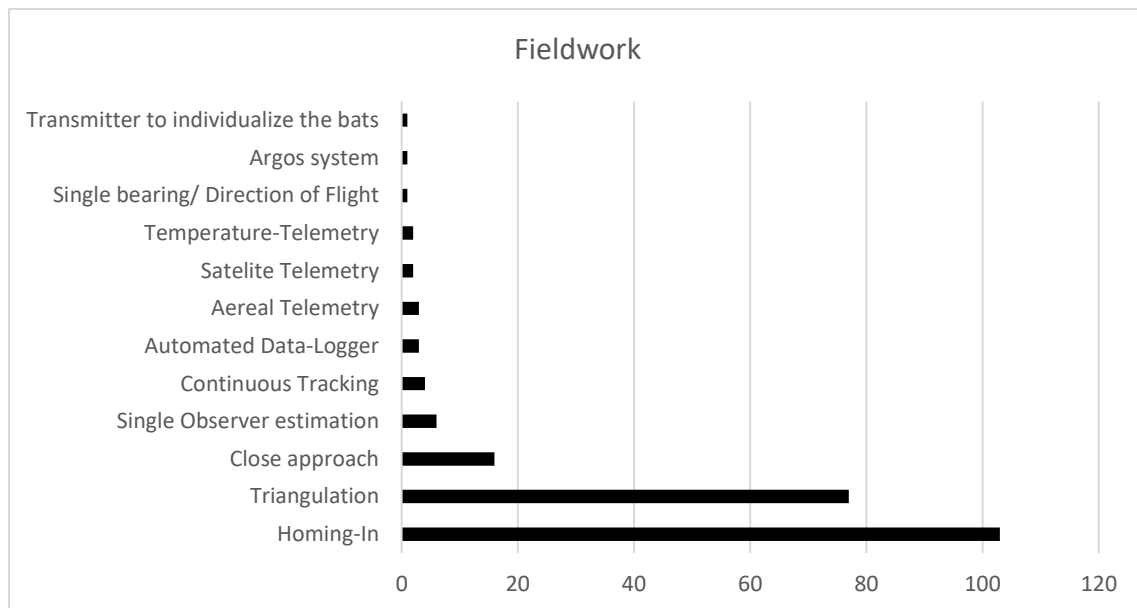


Abb. 11: Verteilung der eingesetzten Feld-Methoden. Durch Methoden-Kombination kann eine Studie in verschiedenen Kategorien gezählt werden.

Eine Fledermausnacht (*Batnight*) umfasst eine Nacht der Datenerfassung innerhalb einer Studie. Sie beschreibt die Datenmenge, die in die Datenanalyse eingeht. Bei Raumnutzungsanalysen beschreibt dies, wie viele Nächte ein Tier getrackt wurde. Bei Untersuchungen zur Quartiernutzung bedeutet eine *Batnight* wie oft das Tier, das mit dem Sender ausgestattet war, aufgesucht wurde. Die Anzahl der *Batnights* wurde in 113 Studien angegeben (Abb.12).

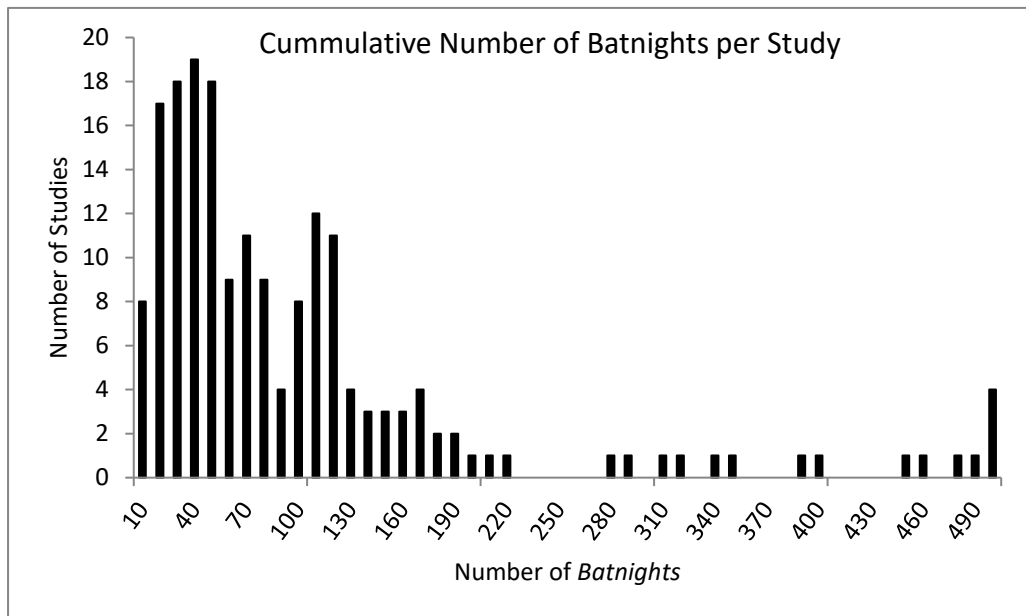


Abb. 12: Anzahl der berücksichtigten *Batnights* je Studie.

In den Studien werden die Daten aller verfolgten Tiere als Datenpool behandelt. Je nachdem ob viele Tiere selten verfolgt wurden oder wenige Tiere häufig verfolgt wurden, kann die Anzahl der *Batnights*, die in die Analyse eingehen, identisch sein. Abbildung 5 zeigt die Verteilung der *Batnights*, die in die Analyse eingehen (Median = 63,0).

*Batnights* können unterschiedliche Datendichten erreichen, je nachdem, wie viele Positionsbestimmungen (Fixes) je Nacht durchgeführt wurden. Durch die hohe Mobilität von Fledermäusen kann die Anzahl erfolgreicher Positionsbestimmungen je Nacht stark variieren, da Tiere immer wieder aus dem Empfangsbereich der Empfangsgeräte herausfliegen. Je nach Jagdverhalten bleiben Versuchstiere häufiger oder weniger häufig über Zeiträume unbeobachtet, was sich letztendlich auf die Aussagekraft der Daten auswirken kann. Abbildung 13 zeigt die Verteilung der Versuchstiere in den jeweiligen Klassen der Fix-Anzahlen (0-10; 11-20; 21-30; ...). Es zeigt sich, dass die maximale Anzahl der Fixes je Fledermaus in den Studien sehr stark gestreut ist und nur wenige Studien eine vergleichbare Datendichte aufweisen.

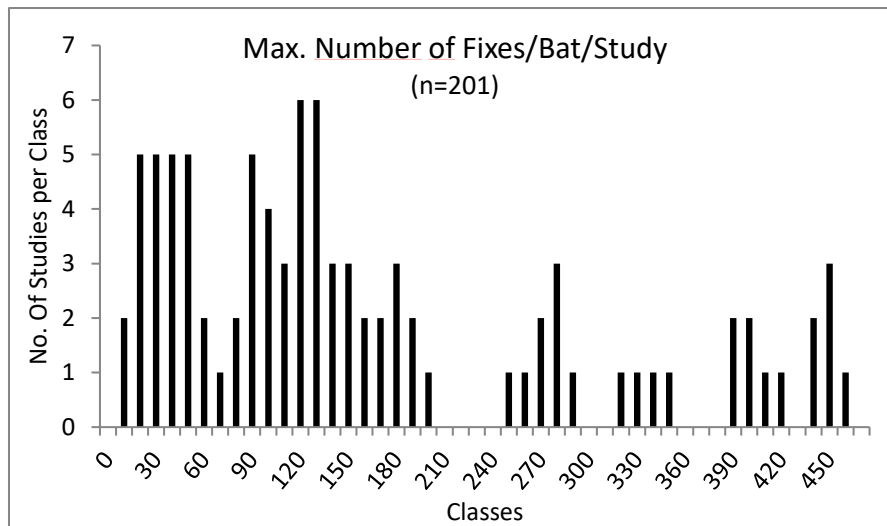


Abb. 13: Verteilung der Maximalen Zahl der Fixes/Versuchstier und Studie.

Die Beobachtungszeiträume innerhalb einer Nacht (*Batnight*) wird in 72% der Studien als ganznächtigt angegeben. 10% suchten halbnächtigt nach den Tieren. Bei automatisierten Empfängern war eine 24-Stunden Überwachung i.d.R. gewährleistet. 20% der Studien machen keine Angabe zu der Beobachtungsdauer innerhalb einer Nacht.

### 2.3.5. Daten-Validierung und Datenanalyse

Eine durch Funkpeilung festgestellte Position kann nicht immer als Punkt im Raum behandelt werden, sondern auch – unter Berücksichtigung von Erfassungsungenauigkeiten - als Bereich von Anwesenheitswahrscheinlichkeiten (*Error-Polygon*). Dazu muss der Bestimmungsfehler (*Location Error*) geschätzt oder durch begleitende Feldversuche ermittelt werden. Von den 119 Studien, die sich bewegende Fledermäuse verfolgten, haben 68 (58%) eine Angabe zum *Location Error* gemacht. 31 Studien (26%) haben einen Feldtest durchgeführt und die Bestimmungsungenauigkeit unter den gegebenen Umständen (Relief, Vegetation) des Untersuchungsgebiets ermittelt. Die Ungenauigkeiten variierten dabei von 5-400m, bzw. zwischen 5° und 15° Peilungsrichtung.

Die Zeit bis zur Unabhängigkeit (time-to-independence; TTI) zwischen aufeinanderfolgenden Positionsbestimmungen dient der Eliminierung der zeitlichen Autokorrelation der Einzelortungen; hierdurch soll vermieden werden, dass nicht-unabhängige Ortungspunkte in die Analyse eingehen. Sie wurde in 82 von 119 Studien angegeben. Das gewählte Zeitintervall variierte zwischen 30 Sekunden und 180 Minuten (Abb. 14). In der Regel wird der Wert post-priori bestimmt, wenn mit den ermittelten Daten die theoretisch von der Fledermaus erreichbare Fläche (MCP) bestimmt wurde. Über eine Beobachter-Einschätzung, Ableitung aus Literaturwerten bzw. eine durchschnittliche Geschwindigkeit (Distanz/Zeit zwischen zwei Positionen), ermittelt aus der Studie, wird der Zeitwert ermittelt, den die Fledermaus benötigt, um theoretisch von jedem Punkt aus, jeden anderen Punkt innerhalb des MCP zu erreichen. Aufeinanderfolgende Positionen in der weiteren Auswertung müssen mindestens diesen Zeitabstand haben. Liegen diese zu dicht beieinander, werden die Positionen in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.

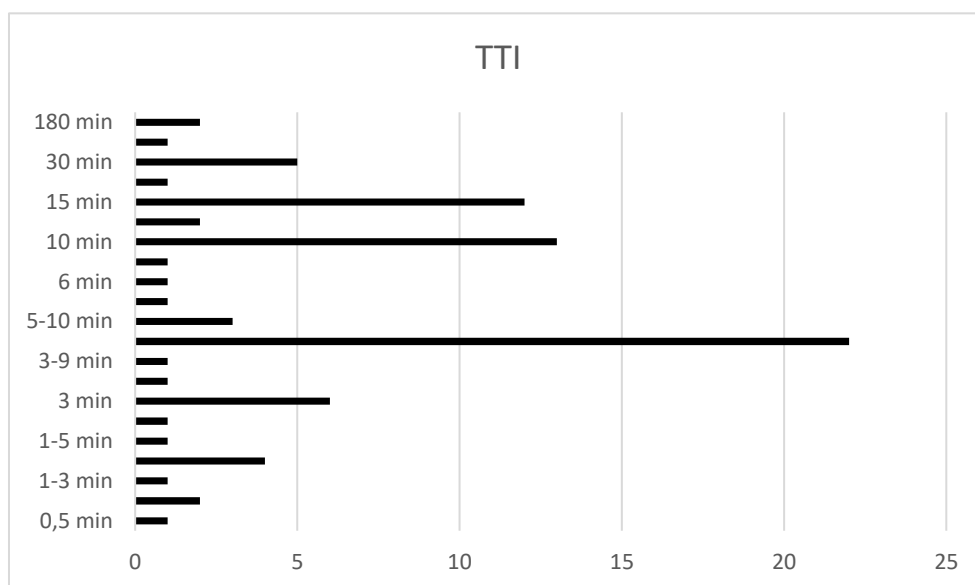


Abb. 14: Verteilung des gewählten Zeitraums, um Abhängigkeiten unter den bestimmten Positionen zu vermeiden. Je nach Ableitung des Wertes bzw. Flugverhalten der Art wird ein passender TTI-Wert herangezogen.

Betrachtet man nur die Raumnutzungsanalysen, schließen 108 von 119 Studien die erste Nacht der Untersuchung aus. Dies wird damit begründet, dass der Fang und das Anbringen des Transmitters zu Verhaltensänderungen führen kann. Nur 12 Studien bestimmen den Location-Error für jeden Fix und schließen einzelne Positionen bei einer weiteren Analyse aus.

Die Datensätze aller verfügbaren Positionsbestimmungen werden als ein Datenpool behandelt, um weitere, hypothesenbasierte Auswertungen durchzuführen. Mit unterschiedlichen Ansätzen werden die Raumnutzungsdaten von einzelnen Fledermausindividuen oder zusammengefasste Trackingdaten mehrerer Fledermausindividuen als repräsentativer Teil einer Fledermauskolonie herangezogen, um den für Fledermäuse relevanten Raum zu beschreiben. Die unterschiedlichen Ansätze umfassen die Ableitung eines *Minimum Convex Polygons (MCP)* und eine *Maximum Circle Range* als undifferenzierte Methodik zur Raumabgrenzung. Dabei werden die äußeren Punkte der Positionsverteilung im Raum miteinander verbunden und bilden so eine Fläche ab, die alle ermittelten Positionen einer Fledermaus umfasst. Dabei beinhaltet die Fläche weite Bereiche, die von der Fledermaus tatsächlich nie aufgesucht wurden. Die *Maximum Circle Range* ermittelt die weiteste Distanz, die eine Fledermaus von ihrem Quartier zurückgelegt hat und nimmt diese Strecke als

Radius, um eine Kreisfläche um das Quartier als potentiell für die Fledermaus nutzbaren Raum abzugrenzen. Auch hier beinhaltet die Fläche weite Bereiche, die von der Fledermaus nicht genutzt werden, aber dieser objektive Ansatz ist unabhängig vom Ausschluss von Positionsbestimmungen oder geländebedingten Effekten, die eine Positionsbestimmung im Umkreis des Quartiers verhindern.

Parallel bzw. auch alternativ werden differenzierende Methoden genutzt, um die Verteilung der Intensität der Raumnutzung zu schätzen und damit eine Rangfolge der Bedeutung der Habitate innerhalb des genutzten Lebensraums für Fledermäuse abzuleiten (*fixed und adaptive Kernel-Density-Estimator (KDE), Local Convex Hull*). Die Auswahl des Schätzers ist dabei abhängig vom Datensatz. Insbesondere die Homogenität der Verteilung der Datenpunkte im Beobachtungszeitraum, dem zeitlichen Abstand zwischen den Positionsbestimmungen (Samplingintervall) und die Anzahl der Datenpunkte hat einen großen Einfluss darauf, ob eine abgeleitete *Home Range* ein tatsächlich benötigtes Habitat einer Fledermaus widerspiegelt oder falsch einschätzt (i.d.R. unterschätzt).

Um Unschärfen auszugleichen, werden die ermittelten bedeutsamen Flächen um einen wählbaren Faktor reduziert bzw. die Außengrenzen geglättet. Der verwendete Faktor ist frei wählbar und richtet sich nach der ermittelten oder geschätzten Präzision der Positionsbestimmungen. In den hier betrachteten Raumnutzungsanalysen variiert der gewählte Korrekturfaktor bei der *MCP*-Methode zwischen 0 und 50, bei der *KDE*-Methode zwischen 5 und 50.

In 80 der 119 Studien (67%), die die Raumnutzung der Fledermäuse untersuchen, werden allgemeine Ansätze zur Flächenabgrenzung genutzt. Bei der Abgrenzung des Minimum Convex Polygons (*MCP* s.o.) wird in 63 der 80 Studien vorgenommen. Dabei wird in 49 Fällen kein Glättungsfaktor angewendet (*MCP100*). In zehn Studien wird das *MCP* um 5% geschrumpft (*MCP95*), der Effekt von Outlinern wird reduziert. *MCP90* wird zweimal verwendet und *MCP85* und *MCP50* jeweils einmal.

Bei der Ableitung der Jagdgebiete wird in 17 Studien der Kernel Density-Estimator verwendet. Dabei werden in 15 dieser 17 Studien Jagdgebiete und Kernjagdgebiete unterschieden. Der Unterschied liegt hier in der Wahl der Aufenthaltswahrscheinlichkeiten (Isoplethen). Eine große Aufenthaltswahrscheinlichkeit (*KDE100, KDE95, KDE90*) gibt eine größere Fläche aus, als eine geringe Aufenthaltswahrscheinlichkeit (*KDE75, KDE50*). Alle 15 Studien nutzen bei der Ableitung der Kernjagdgebiete eine geringe Aufenthaltswahrscheinlichkeit (*KDE50*). Des Weiteren werden Maximum-Range-Circles, LoCoH-Analysen und studienindividuelle Ansätze gewählt, um Flächen hoher Bedeutung für die Fledermaus abzugrenzen.

Insbesondere in der Datenanalyse zeigt sich ein sehr uneinheitliches Bild der verwendeten Ansätze. Dabei lässt sich festhalten, dass die Korrekturfaktoren relativ hoch angesetzt werden und damit eher kleine Fläche als bedeutsame Habitate ausgewiesen werden. Eine Diskussion des Korrekturfaktors mit einer Angabe zur Herleitung des Wertes wurde nur in vier Studien gegeben.

Die Differenzierung der bevorzugten Lebensraumtypen gegenüber den verfügbaren Lebensraumtypen wurde in 19 (22%) der Studien durchgeführt. Dabei wurden in zwölf Studien eine *Habitat Composition Analyses* nach Aebischer (1993) durchgeführt. Weitere Analyseansätze waren Raster-Frequenz-Analysen (6), Distance-to-Resource (4), Euclidian-Distance Methode (2), Time-Budget-Analysen (2), CART-Analysen (1) und individuelle, nicht statistischen Verfahren.

In acht Studien wurde der Datensatz im Hinblick auf die räumliche Organisation analysiert (vier Studien geschlechtsspezifisch, zwei Studien zum Reproduktionsstatus, zwei Studien koloniespezifisch). Dabei haben lediglich 24 der 119 Studien (28%), die sich mit der Raumnutzung beschäftigen, geprüft, ob eine ausreichende Anzahl an Positionsbestimmungen vorliegt.

## 2.4. Diskussion

Die Bedingungen und Ereignisse im Zusammenhang mit der Quartierwahl spielen in der Ökologie der Fledermäuse eine wichtige Rolle. Das Angebot und die Verteilung an Quartieren sowie Nahrung prägen das Quartier-bezogene Verhalten einer Fledermausart (Fenton 1982). Beispielsweise wechseln höhlenbewohnende Fledermäuse aufgrund der knappen Ressource Höhle selten ihren Schlafplatz. Das Verhalten des "Massenausflugs" verringert hierbei das Prädationsrisiko. Um soziale Gruppen in hoher Zahl zu bilden, ist eine bestimmte Mindestgröße einer Höhle erforderlich. Baumbewohnenden Fledermäusen hingegen steht in Baumhöhlen nicht der Raum zur Verfügung, um ähnlich große Gruppen zu bilden. Ein "Massenverhalten" zur Vermeidung von Prädation kann daher nicht beobachtet werden. Bei solchen Arten wird er häufig vorkommende Schlafplatzwechsel als Strategie zur Verringerung des Prädationsrisikos am Schlafplatz angesehen; dies wiederum kann nur praktiziert werden kann, wenn genügend Baumhöhlen zum Wechseln bereitstehen.

Die Mehrzahl der Studien, die die Quartierwahl einer Fledermausart untersuchen, fand während der Trächtigkeit, der Laktation und der Entwöhnung der Jungen statt (siehe Abb. 4). Die Schlafplätze werden mit Zugang zu den Jagdgebieten der Fledermäuse gewählt. Durch die Konzentration auf die Zeit der Jungenaufzucht in Studien zur Untersuchung der Anforderungen an die Schlafplätze bleiben andere Phasen des Jahreszyklus einer Fledermausart unbekannt. Studien, die diese Zeiträume aber gezielt untersuchen, zeigen unterschiedliche Ansprüche der Fledermäuse an Quartiere und Habitatstruktur aufgrund anderer Häufigkeiten und Verteilung der Beute im Spätwinter oder Herbst und der sozialen Interaktion (z.B. Paarung). So sind z.B. die Ansprüche, die Verteilung und die Merkmale von Übergangsquartieren zwischen Winterschlaf und Jungenaufzucht noch immer wenig verstanden. Um Fledermauspopulationen zu erhalten, können Quartiere und Jagdreviere in ihrer Quantität und Qualität jedoch entscheidend sein, um Zeiten mit geringem Beuteaufkommen zu überstehen, in denen Torpor als Hilfe zum Energiesparen nicht angewendet werden kann (Spermatogenese, Embryogenese).

Männchen werden bei Untersuchungen zur Quartierökologie meist ignoriert. Doch können die Männchen in Gebieten mit einer hohen Schlafplatzdynamik, wie z.B. in alten Laubwaldbeständen, nach neuen Quartieren suchen und diese durch Schwarmverhalten auch Weibchen anzeigen. Um die Populationen umfänglich zu schützen, müssen zukünftig auch Quartiere von Männchen und genutzte Quartiere in der Übergangszeit zwischen der Jungenaufzucht und den Winterquartieren in Schutzkonzepte integriert werden.

Wie die Mehrzahl der Studien, die die Wahl der Quartiere untersuchen, fokussieren auch die meisten Studien, die sich mit der Raumnutzung befassen, auf Weibchen (siehe Abb. 4). Da die meisten Studien zur Untersuchung der Habitatnutzung während der Zeit der Jungenaufzucht stattfinden, ist zudem über die Habitatnutzung während der Vorbereitung und nach dem Absetzen der Jungtiere nur wenig bekannt. Die Jungenaufzucht stimmt mit der Zeit der höchsten Beutetierhäufigkeit überein. Die Habitatnutzung während Zeiten geringer Beutetierhäufigkeit ist jedoch wenig bekannt, obwohl gerade in solchen Phasen die Rahmenbedingungen für ein Überleben der Individuen entscheidend



sein können. Bei der Berechnung des Raumbedarfs von Fledermausarten zu Erhaltungszwecken, z.B. bei der Ausweisung von Schutzgebieten, werden die Zeiten mit geringem Beutetierangebot nicht berücksichtigt und damit der Raumbedarf systematisch unterschätzt. Verschiedene neuere Studien zeigen eine Verschiebung der Lebensraumnutzung durch jahreszeitliche Veränderungen. Um die Anforderungen der Fledermäuse an den Lebensraum während eines vollständigen Jahreskreislaufs zu erfüllen, sollten Studien, die Zeiten geringer Beutetierhäufigkeit untersuchen, verstärkt durchgeführt werden. Um Populationen durch ein Landnutzungsmanagement zu schützen, müssen auch die Lebensräume der Männchen berücksichtigt werden. Die wenigen Studien, welche die Männchen und Weibchen vergleichend untersuchten, zeigten eine starke Differenzierung in deren Habitatnutzung. Letztendlich müssten daher Schutzgebiete für beide Geschlechter anders gestaltet sein als solche, die nur anhand von Weibchendaten konzipiert werden.

Es ist bekannt, dass die Schätzung der *Home Range* eines Tieres mittels Radiotelemetrie nicht fehlerfrei ist (Findholt, Johnson, and McDonald 2002; Rettie and McLoughlin 1999; Samuel and Kenow 1992). Unberücksichtigte oder unterschätzte *Location Errors* können entscheidende, irreführende Auswirkungen auf die Beobachtung des gewählten Habitats haben und die Aussagekraft statistischer Analysen über die Habitatnutzung verringern (White and Garrott 1990). Dies ist besonders wichtig, wenn das Untersuchungsgebiet aus einem Mosaik kleiner Habitatflächen besteht oder kleine Habitatflächen, die in ausgedehnten, homogenen Landschaften eingebettet sind, eine wichtige Rolle für das Überleben einer lokalen Population spielen. Fledermäuse bewegen sich mit hohen Geschwindigkeiten und - im Verhältnis zur Signalstärke miniaturisierter Peilsender - über große Entfernungen. Dies erschwert eine genaue und kontinuierliche Verfolgung und führt zu Perioden ohne oder mit schwachem Signalempfang. Eine Triangulation ist aufgrund des Signalverlusts eines oder mehrerer Empfänger selten kontinuierlich möglich. Wenn nur ein Empfänger gleichzeitig ein Signal erkennt, ist eine Triangulation nicht möglich. *Homing-In on the animal* (White and Garrott 1990) ist eine oft verwendete Alternative bei der Verfolgung von Fledermäusen, wenn nur ein Empfänger ein Signal empfängt. Die Richtung des besten Signalempfangs und die Entfernung nach Signalstärke werden von einem Feldarbeiter von einem Punkt aus geschätzt. Ohne eine nachträgliche Überprüfung der Position der Fledermaus in der tatsächlichen Umgebung der Vegetationsstruktur, der Luftfeuchtigkeit sowie unter Berücksichtigung reflektierender Oberflächen kann die Genauigkeit der Position der Tiere nur mit einem großen räumlichen Fehler abgeschätzt werden. Die Vegetation dämpft Funksignale. Die Vegetationsdichte zwischen der Signalquelle und dem Empfänger beeinflusst die Signalstärke daher erheblich (Grovenburg et al. 2013; Kauhala and Tiilikainen 2002; Podruzny 1996). Eine allgemeine Abschätzung der Signaldämpfung über die Entfernung kann bei unbekannter Vegetationsdichte zwischen Fledermaus und Feldarbeiter zu einer ungenauen Abschätzung der Entfernung zwischen Fledermaus und Empfänger führen. Die Nichtberücksichtigung der Signalreflektion kann zu einer Überschätzung der Peilgenauigkeit (Richtung) als zusätzliche Fehlerquelle bei der Schätzung der wahren Position einer Fledermaus führen.

Die Bewegung einer Fledermaus im freien Luftraum könnte zudem das Problem verstärken. Grovenburg et al. (2013) und Townsend et al. (2007) testeten den Einfluss der Senderhöhe über dem Boden auf die Peilgenauigkeit. Die Tests wurden in Höhen von 0-100 cm durchgeführt, um über die Auswirkungen auf die Ortung von "geerdeten" Tieren (z.B. Rehen) zu untersuchen. Diese Studien zeigen, dass bereits kleine vertikale Unterschiede bis zu einer Höhe von 100 cm die Genauigkeit der Peilung stark beeinflussen. Fledermäuse können spielend zwischen dem Kronenraum und Bereichen mit wechselnder Vegetationsdichte darunter oder darüber hin und her wechseln, wodurch die

Signalausbreitung stark variieren kann. Eine Positionsabschätzung kann daher mit großen Ungenauigkeiten behaftet sein.

Das Ausmaß oder die möglichen Auswirkungen von Standortfehlern werden in Wildtier-Telemetrie-Studien nicht berichtet und/oder diskutiert. Hupp und Ratti (1983) berichteten, dass in 75% der Wildtierstudien im *Journal of Wildlife Biology* die Erwähnung von Standortfehlern fehlt. In den folgenden Jahren wurde dem Thema mehr Aufmerksamkeit geschenkt, aber immer noch berichteten fast 50 % der Studien zur Funkortung im *Journal of Wildlife Biology* über keine oder nur unzureichend mögliche Standortfehler (Withey, Bloxton, and Marzluff 2001). Dies deutet darauf hin, dass die Studien in ihrer Analyse den Standortfehler nicht berücksichtigen, nicht wissen, wie sie damit umgehen sollen, oder ihn gar nicht erst ermitteln (Moser 2007).

Der Maßstab der Habitatstrukturen muss entsprechend den Genauigkeitseinschränkungen aufgrund von Habitateinflüssen und Tierverhalten gewählt werden. So kann z.B. ein Raster von 25m x 25m mit Lebensraumtypen zu fein skaliert sein, wenn der Standortfehler in Waldlebensräumen einer schnell fliegenden Fledermausart > 50m betragen kann. Bei einem unbedachten Standortfehler könnte der Fledermausstandort häufig dem falschen Quadranten zugeordnet werden. Ohne eine adäquate Kenntnis über den *Location Error* können die Wissenschaftler nicht zeigen, dass der Standortfehler richtig berücksichtigt wurde und dass die Genauigkeit des Datensatzes der Genauigkeit der Schlussfolgerungen entspricht. Die Nichtberücksichtigung dieser Faktoren kann zu einer "Pseudo-Genauigkeit" des Fledermausstandortes führen und dadurch falsche Schlussfolgerungen bei der Lebensraumnutzung mit dem genannten Ergebnis der Verringerung der Wirksamkeit von Managementmaßnahmen erzeugen.

Eine kritische Diskussion, ob eine ausreichende Stichprobengröße (Fixes) und ein ausreichend großer Datensatz gewonnen wurden, erfolgte nur in 24 Studien (20%) mit Raumnutzungsanalysen. Ohne eine adäquate Stichprobengröße kann ein Fehler bei der Funkortung einen signifikanten Einfluss auf die Schätzung der *Home Range* haben (Moser 2007). Die mit *Kernel Density-Estimator* berechneten Größen der *Home Ranges* sind – anders als bei der Ableitung mit *MCPs* - nicht besonders empfindlich gegenüber Standortfehlern. Dazu werden Glättungsfaktoren berechnet, die eine gewisse Robustheit gegenüber *Outlinern* bieten. Die Wahl des Glättungsfaktors *h* (*Smoothing factor*) hat einen erheblichen Einfluss auf die Größe und Kontur der *Home Range*. Bei der Auswahl der Berechnungsmethode müssen unterschiedliche Faktoren berücksichtigt werden. Datensätze in Telemetriestudien bei Fledermäusen weisen Eigenschaften auf, die nicht immer den Anforderungen der Berechnungsmethoden für den Glättungsfaktor erfüllen. So haben – im Gegensatz zu Raumnutzungsstudien von größeren Tieren – Fledermausuntersuchungen meist wenige Fixes mit zeitlichen Lücken. Die Beobachtungslücken entstehen durch die hohe Bewegungsgeschwindigkeit gepaart mit der geringen Sendeleistung der Transmitter. Durch Entfernung, Relief oder Vegetation können die Tiere schnell außerhalb des Empfangsbereiches sein und nicht weiter beobachtet werden. Meist gelingen eher Beobachtungen in der Nähe der Quartiere. Je weiter sich das Tier allerdings von dem Quartier wegbewegt, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Tier nicht mehr empfangen werden kann. Dies führt zu einer unimodalen Koordinatenverteilung – die meisten Ortungspunkte befinden sich in einem Bereich rund um das Quartier.

Es stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung, die Intensität (Bandbreite) der Glättungsfaktoren zu berechnen. Bei der Berechnung des Referenzglättungsfaktors ( $h_{ref}$ ) wird eine univariate-Normalverteilung der Ortungspunkte angenommen. Dies ist bei freilebenden Wildtieren meist nicht

zutreffend, weshalb diese Art der Berechnung oft zu dem Artefakt führt, dass die Konturen der Home Ranges zu stark geglättet werden und für die Fledermäuse Habitatbereiche mit in der Home Range liegen, die für die Fledermaus nicht von Bedeutung sind. (Kie 2013). Ein über die *Least-Square Cross-Validation (LSCV)* ermittelter Glättungsfaktor  $h_{CV}$  hat sich in diversen Studien als robust gegenüber einer ungleichen Verteilung der Ortungspunkte in VHF-Studien erwiesen (z.B. Bauder et al. 2015) und hat sich daher als häufig gewählte Methode in Telemetriestudien etabliert. Allerdings reagiert der Glättungsfaktor empfindlich auf den Stichprobenumfang (Kie et al. 2010). Bei großem Stichprobenumfang wird ein geringer Glättungsfaktor ausgegeben und die Home Range besteht aus viele kleinen Bereichen. Um diesem Phänomen zu begegnen, werden die Stichprobenumfänge fortwährend erhöht, bis die Home Range in diverse Einzelgebiete zerfällt. So lässt sich der Stichprobenumfang einem Optimum für diese Berechnungsmethode annähern.

Als sehr robust gegenüber den spezifischen Eigenschaften von Datensätzen wurde in verschiedenen Vergleichsstudien die  $h_{ad\ hoc}$  – Berechnung des Glättungsfaktors herausgestellt (Schuler et al. 2014; Steiniger, Timmins, and Hunter 2010). Auch in den hier betrachteten Studien war diese Methode die am häufigsten gewählte.

Bei einer vergleichenden Anwendung der o.g. Glättungsfaktoren auf einen realen Fledermaus-Datensatz in einer an der Universität Trier erarbeiteten Masterarbeit (Seeboth 2017) zeigten sich deutliche Unterschiede hinsichtlich Lage und Größe der Home Ranges. Die *ad hoc* – Berechnungsmethode des Glättungsfaktors nimmt bei der Berechnung der Größe eine mittlere Stellung zwischen  $h_{ref}$  und  $h_{CV}$  ein und umfasste in dieser Studie höhere Flächenanteile, die keine Freiflächen aufweisen, was bei der Raumnutzung der untersuchten Art (*Pipstrellus pipistrellus*) regelmäßig zu beobachten ist. Der Berechnungsansatz  $h_{ad\ hoc}$  hat sich als der am besten passende bei Datensätzen herausgestellt, die die typischen Eigenschaften in Raumnutzungsstudien bei Fledermäusen aufweisen. Letztendlich ist bei der Wahl der Berechnungsmethode eine ausführliche kritische Analyse des eigenen Datensatzes entscheidend sowie eine transparent dargelegte Begründung, warum die entsprechende Methode ausgewählt wurde. Diese Diskussion fehlt jedoch häufig.

Die Vielzahl der von uns verglichenen Telemetriestudien an Fledermäusen macht deutlich, wie unterschiedlich die Schwerpunktsetzung, die Herangehensweisen, die Wahl der Methodendetails sowie der Umgang mit Problemen ist. Ketzerisch könnte man sagen, dass es keine zwei vergleichbaren Publikationen gibt, es sei denn, sie sind im Kontext der gleichen Studie erstellt worden. Mit Blick auf die einheimischen Arten möchten wir bei unseren Empfehlungen einerseits die verstärkte Bearbeitung von Wissenslücken bezüglich der Raumnutzung von Fledermäusen anregen, und andererseits Best-Practice-Kriterien für die methodische Durchführung vorschlagen, um sowohl die Solidität der aus den Studien abzuleitenden Aussagen als auch die Vergleichbarkeit zwischen Studien zu erhöhen.

Um Wissenslücken zu schließen, schlagen wir vor, in zukünftigen Studien (auch in solchen die im Zuge der Eingriffsplanung durchgeführt werden) Männchen stärker zu berücksichtigen, da diese denselben rechtlichen Schutzstatus genießen wie die Weibchen. Man sollte stets davon ausgehen, dass sie spezifische Habitatpräferenzen haben (z.B. Hillen et al. 2011), die es für einen umfassenden Fledermausschutz zu erhalten gilt.

Diverse Studien zeigen eine Änderung der Habitat- und Quartierpräferenz bei Fledermäusen, je nach Lebensphase und Jahresverlauf. So wählen in England untersuchte Große Hufeisennasen

(*Rhinolophus ferrumequinum*) Zwischenquartiere vor und nach der Wochenstubezeit auf, die eine wichtige Rolle bei der Paarung spielen (Flanders and Jones 2009). Je nach Jahreszeit, und dementsprechend der Verteilung des Beutetierangebots, kann sich die Lage und Ausdehnung der Home Ranges der Individuen ändern (Conenna et al. 2019). Die Saisonalität in einem Fledermausjahr nicht zu berücksichtigen kann somit zu einem eingeschränkten Verständnis der Habitatbedürfnisse einer Art führen und Schutzbemühungen fehlleiten oder unvollständig belassen. Maßnahmen, die darauf abzielen den Fledermausbestand zu fördern und zu erhalten, können dadurch letztendlich scheitern.

Bei zukünftigen Studien ist unbedingt auf eine hinreichende Erläuterung der durchgeführten Analysen zu achten. Aufgrund der Unvollständigkeit in der Methodenbeschreibung in dem hier betrachteten Datensatz war eine Meta-Analyse, um Maßnahmenempfehlungen zum Habitatschutz und zur Abgrenzung von Schutzgebieten abzuleiten nicht möglich.

## 2.5. Ausblick

Neue Techniken (artgerechte GPS-Logger für mitteleuropäische Fledermausarten, GSM-Logger) sowie eine Automatisierung der Empfänger (ATLAS, BAARA, ICARUS) können dabei helfen, Fehlerquellen und Abhängigkeiten des *Study-Designs* auf die Qualität der Ergebnisse zu reduzieren. Damit können umfassende und effiziente Schutzkonzepte für Fledermäuse entwickelt werden, die insbesondere in der Lage sind, die oben aufgezeigten Defizite zu reduzieren.

Durch kontinuierliches Logging der Positionen und Reduktion der Zeitabschnitte, in denen die Tiere unbeobachtet sind, wird eine multivariate Normalverteilung der Ortungspunkte erreicht. Dies steigert die Qualität des Datensatzes und nähert sich den Voraussetzungen zu präzisen Kernelanalysen an.

Durch eine Optimierung der Energie-Effizienz der Ortungsverfahren kann die Auflösung der Daten sowohl räumlich als auch zeitlich gesteigert werden. Dadurch können Raumnutzungsanalysen zukünftig auch langfristig, über verschiedene Abschnitte des Jahreszyklus verschiedener Fledermausarten untersucht werden und auch die Fledermaus-Migration mit eingeschlossen werden.

## 2.6. Literatur

Bauder, Javan M., David R. Breining, M. Rebecca Bolt, Michael L. Legare, Christopher L. Jenkins, and Kevin McGarigal. 2015. "The Role of the Bandwidth Matrix in Influencing Kernel Home Range Estimates for Snakes Using VHF Telemetry Data." *Wildlife Research* 42(5):437.

Bleymehl, Sonja. 2017. "Der Einfluss Unterschiedlicher Home Range-Berechnungen Auf Die Habitatnutzungsanalyse Der Zwergfledermaus (*Pipistrellus Pipistrellus*).". Universität Trier.

Conenna, Irene, Adrià López-Baucells, Ricardo Rocha, Simon Ripperger, and Mar Cabeza. 2019. "Movement Seasonality in a Desert-Dwelling Bat Revealed by Miniature GPS Loggers." *Movement Ecology* 7(1):27.

Findholt, SI, Bk Johnson, and LI McDonald. 2002. "Adjusting for Radiotelemetry Error to Improve Estimates of Habitat Use." *United States Department of Agriculture:Forest Service* (October):20.

Flanders, Jon and Gareth Jones. 2009. "Roost Use, Ranging Behavior, and Diet of Greater Horseshoe

- Bats (*Rhinolophus Ferrumequinum*) Using a Transitional Roost." *Journal of Mammalogy* 90(4):888–96.
- Grovenburg, Troy W., Christopher N. Jacques, Robert W. Klaver, Christopher S. DePerno, Chad P. Lehman, Todd J. Brinkman, Kevin a. Robling, Susan P. Rupp, and Jonathan a. Jenks. 2013. "Effects of Plant Phenology and Vertical Height on Accuracy of Radio-Telemetry Locations." *Wildlife Biology* 19:30–40.
- Kauhala, K. and T. Tiilikainen. 2002. "Radio Location Error and the Estimates of Home-Range Size, Movements, and Habitat Use: A Simple Field Test." *Annales Zoologici Fennici* 39:317–24.
- Kie, J. G., J. Matthiopoulos, J. Fieberg, R. a. Powell, F. Cagnacci, M. S. Mitchell, J. M. Gaillard, and P. R. Moorcroft. 2010. "The Home-Range Concept: Are Traditional Estimators Still Relevant with Modern Telemetry Technology?" *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365(1550):2221–31.
- Kie, John G. 2013. "A Rule-Based Ad Hoc Method for Selecting a Bandwidth in Kernel Home-Range Analyses." *Animal Biotelemetry* 1(1):13.
- Moser, Brian W. 2007. "Space Use and Ecology of Goshawks in Northern Idaho." University of Idaho.
- Podruzny, Kevin M. 1996. "Radiotelemetry Error: Factors Affecting Bearing Error and the Ultimate Effects of Triangulation Error on Determining Habitat Use." Montana State University.
- Rettie, W. James and Philip D. McLoughlin. 1999. "Overcoming Radiotelemetry Bias in Habitat-Selection Studies." *Canadian Journal of Zoology* 77(FEBRUARY 2011):1175–84.
- Samuel, Michael D. and Kevin P. Kenow. 1992. "Evaluating Habitat Selection with Radio-Telemetry Triangulation Error." *The Journal of Wildlife Management* 56(4):725.
- Schuler, Krysten L., Greg M. Schroeder, Jonathan a. Jenks, and John G. Kie. 2014. "Ad Hoc Smoothing Parameter Performance in Kernel Estimates of GPS-Derived Home Ranges." *Wildlife Biology* 20(5):259–66.
- Steiniger, S., TI Timmins, and Ajs Hunter. 2010. "Implementation and Comparison of Home Range Estimators for Grizzly Bears in Alberta, Canada, Based on GPS Data." *Proceedings of GIScience*.
- Townsend, D. E., Stephen S. Ditchkoff, and Samuel D. Fuhlendorf. 2007. "Transmitter Height Influences Error of Ground-Based Radio-Telemetry." *Wildlife Biology* 1(Springer 1979):98–101.
- White, Gary C. and Robert A. Garrott. 1990. *Analyses of Wildlife Radio-Tracking Data*.
- Withey, John C., Thomas D. Bloxton, and John M. Marzluff. 2001. "Effects of Tagging and Location Error in Wildlife Radiotelemetry Studies." Pp. 43–75 in *Radio Tracking and Animal Populations*, edited by J. J. Millsbaugh and J. M. Marzluff. San Diego, California: Academic Press.

### 3. Erfassung und Optimierung der Fangmethoden von Fledermausbeständen in Wäldern

#### 3.1. Einleitung

Um Fledermauspopulationen zu beobachten müssen die Tiere zunächst erfasst werden. Neben indirekten Erfassungsmethoden, wie der bioakustischen Überwachung, ist ein direkter Nachweis über den Fang der Tiere eine wichtige Methode. Gegenüber der bioakustischen Erfassung bietet die direkte Handhabung der Tiere weitere Informationen über Geschlecht, Reproduktionsstatus, Alter, Gesundheitszustand und Kondition. Bei einer Individualisierung der Tiere durch eine eindeutige Markierung können Fang-Markierung-Wiederauffang-Methoden (Capture-Mark-Recapture (CMR)) angewendet werden. Die CMR Methodik lässt eine Berechnung der Populationsgröße zu und liefert zudem Informationen zur demographischen Entwicklung der Population.

Fledermäuse bewohnen in Mitteleuropa nahezu sämtliche terrestrische Lebensräume. Individuen sind in Wäldern, in Städten, Agrarlandschaften von den Küsten bis in die Alpen nachweisbar. Fledermäuse nutzen den ihnen zur Verfügung stehenden Raum dreidimensional, sodass die menschliche – strikt terrestrische – Arbeitsweise Grenzen bei der Erfassung von Fledermäusen hat. Die bioakustische Erfassung hat insbesondere in Wäldern mit ihrer komplexen Situation für die Navigation der Fledermäuse Grenzen. Fledermäuse passen ihre Echoortungsrufe der Umgebung an, so dass artspezifische Charakteristika durch die Variation der Rufe kaschiert werden können. Eine eindeutige Artbestimmung anhand bioakustischer Nachweise ist daher nicht immer gegeben.

Der direkte Fang der Tiere ist allerdings von diversen Faktoren abhängig. So ist der Einfluss des verwendeten Materials unbekannt und die Wirkung von Lockgeräten nicht ausreichend geklärt. Es ist bekannt, dass sich Fledermäuse durch Lockgeräte in die Nähe von Netzen locken lassen, aber ob dies auf alle in einem Waldgebiet vorkommende Arten denselben Effekt hat oder gar manche Arten von den Lockgeräten abgeschreckt werden, ist nicht geklärt.

In dieser Untersuchung versuchen wir die Wirkung von Lockgeräten im Zusammenhang mit unterschiedlichen Netzmaterialien zu testen und Erkenntnisse darüber zu gewinnen, wie ein methodisch vergleichbarer Fangerfolg einem Monitoring von Waldfledermausarten dienen kann und wie der Fangerfolg zur Markierung der Tiere erhöht werden kann, um die Datenbasis von CMR-Untersuchungen als Monitoring-Methoden zu verbessern.

#### 3.2. Methode

Über drei Jahre (2015-2017) wurden während der Sommersaison (Mai-August) insgesamt 35 Fledermausfänge in einem 4500 ha großen Waldgebiet (FFH-Gebiete Kottenforst und Waldville) durchgeführt. Die Fänge fanden an vier verschiedenen Standorten statt, die teilweise mehrere Kilometer auseinander liegen (siehe Abb. 15).

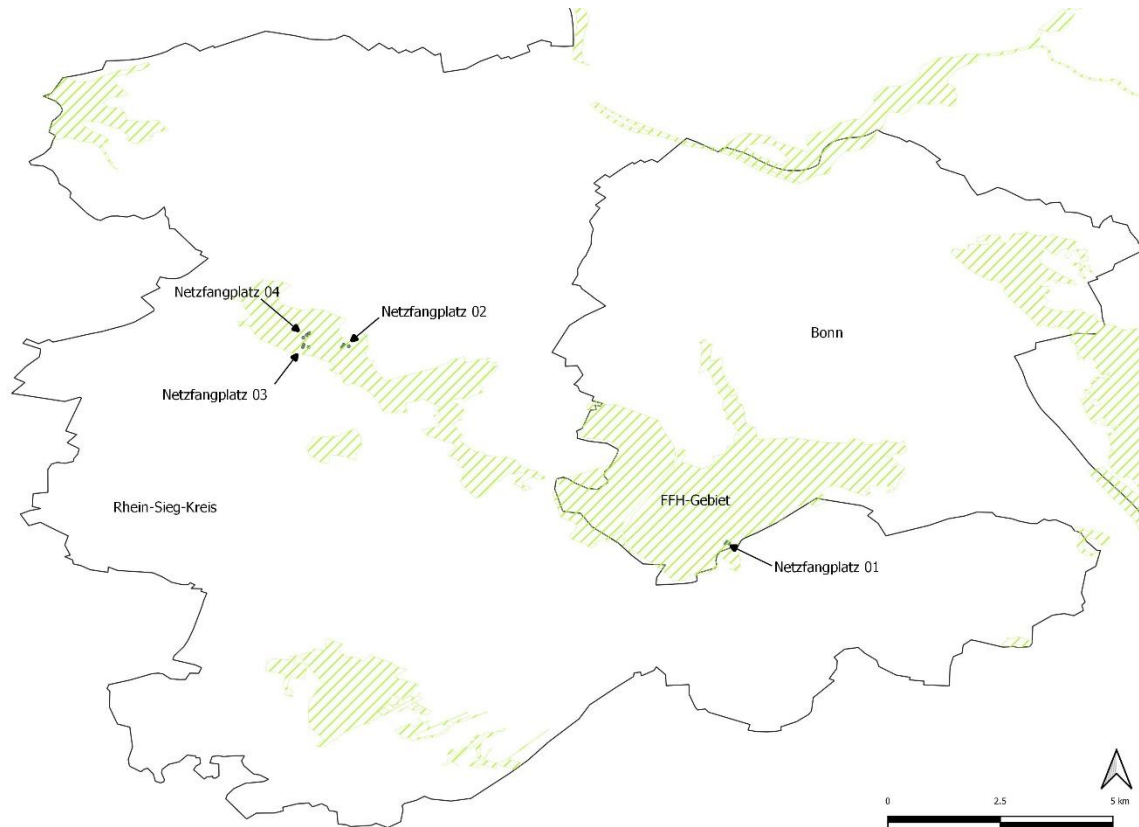


Abb. 15: Lage der Netzfangplätze im Rhein-Sieg-Kreis bei Bonn.

An jedem Standort wurden drei Netz-Kreuze aufgestellt, die wiederum mind. 100 m auseinanderlagen, damit sie sich möglichst nicht gegenseitig beeinflussen (siehe Abb. 9). Die Standorte der einzelnen Netzkreuze wurden so ausgewählt, dass sie sich in der Waldstruktur (Baumartenzusammensetzung, vertikale Vegetationsstruktur, Abstand zu Waldwegen, Abstand zu Gewässern) nicht unterscheiden, um den Einfluss dieser Faktoren auf den Fangerfolg zu minimieren. Zudem sollte die Fangsituation vermeiden, durch Sonderstandorte (z.B. Gewässer, unterirdischer Hohlraum) und -verhalten (z.B. herbstliches Schwärmen) erhöhte Fangzahlen zu produzieren, da im Zuge der Eingriffsplanung vorwiegend an Stellen im Wald gefangen wird, die sich eben nicht durch solche außergewöhnlichen Umstände auszeichnen.

Aufbau der Netzstandorte

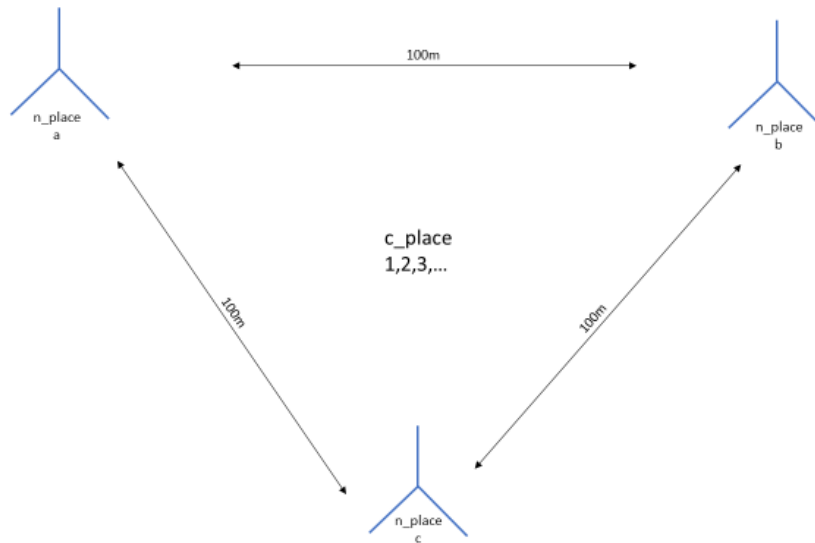


Abb. 16: Anordnung der Netze an den Netzfangstandorten (*c\_place* = Netzfangplatz; *n\_place* = Netzkreuz).

Die Netzkreuze unterteilen sich in drei Schenkel mit unterschiedlichen Netzmaterialien (siehe Abb. 9). Getestet wurden die Netzmaterialien Puppenhaar (ph), Monofilament (mf) und Nylon (ny). Diese Netze unterscheiden sich im Wesentlichen in der Fadenstärke, und damit ihrer bioakustischen Wahrnehmbarkeit durch Fledermäuse, aus dem die Netze gewoben sind. Ph-Netze sind am dünnsten, Nylonnetze am dicksten. Die Oberkante der Netze erreichte stets 4 m über Grund, die Unterkante lag, herstellerbedingt entweder auf dem Boden auf oder 50 cm über dem Boden. Die Ausrichtung der Netzmaterialien war randomisiert. Die Netze waren 10 bzw. 12 m lang.

Mausohr	<i>Myotis myotis</i>
Bechsteinfledermaus	<i>Myotis bechsteinii</i>
Brandfledermaus	<i>Myotis brandtii</i>
Bartfledermaus	<i>Myotis mystacinus</i>
Fransenfledermaus	<i>Myotis nattereri</i>
Wasserfledermaus	<i>Myotis daubentonii</i>
Braunes Langohr	<i>Plecotus auritus</i>
Kleinabendsegler	<i>Nyctalus leisleri</i>
Abendsegler	<i>Nyctalus noctula</i>
Rauhautfledermaus	<i>Pipistrellus nathusii</i>
Zwergfledermaus	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>

Tab. 1: Artenspektrum der abgespielten Lockrufe.

2 der 3 Netzkreuze je Fang-Event waren mit einem Lockgerät ausgestattet.

Entweder einem System von Avisoft (Batlure Light) oder von Apodemus. Die abgespielten Fledermausrufe waren bei beiden Geräten identisch, die Reihenfolge war randomisiert. Die Rufe wurden von der Website batcalls.com heruntergeladen und entsprachen den zu erwarteten Arten (siehe Tab. 1). Die Rufe bestehen sowohl aus Stresslauten, die aufgenommen wurden als die Tiere gefangen wurden, Soziallauten, die im Kontext von Quartieren aufgenommen wurden, und auch *Feeding Buzzes*, d.h. Laute, die beim Beutefang ausgestoßen werden. Die Rufe wurden über die gesamte Fangperiode (Sonnenuntergang bis ca. 01.00 Uhr) randomisiert mit einem Abstand von 2 Sekunden abgespielt. Die Netze wurden im Abstand von ca. 10 min kontrolliert.

Gefangene Tiere wurden bestimmt und charakterisiert (Art, Alter, Geschlecht, Reproduktionsstatus), zudem wurden die Fangbedingungen dokumentiert (Netztyp, Lockung, Abstand zu Netz-Kreuz-Zentrum und Höhe über Boden, Minuten seit Sonnenuntergang). Der Einfluss der Faktoren



(Zielvariablen) Netztyp und Lockung wurde mit einem *Generalized Linear Model* (GLM) verglichen (glm Package; R-core, R-project).

Um einen Hinweis für den Aufwand zu erlangen, wie oft ein Fang an einem Standort wiederholt werden sollte, um die Fledermausdiversität in einem Waldgebiet hinreichend zu beschreiben, wurde eine Arten-Akkumulationskurve über alle Standorte hinweg berechnet. Die Anzahl der Fänge innerhalb einer Saison beschreibt den Aufwand, der erforderlich ist, um alle feststellbaren Arten auch wieder zu fangen und wiederum festzustellen. Die Berechnung wurde mit dem Programm *AccuCurve* von Pavel Drozd und Vojtech Novotny (2010) durchgeführt; hierzu ging die Reihenfolge der Fangnächte 100-mal randomisiert in die Analyse ein.

### 3.3. Ergebnisse

#### 3.3.1. Fledermausfang

In den Sommermonaten zwischen dem 30.05. und dem 19.08. der Jahre 2015, 2016 und 2017 wurden insgesamt 35 Fledermausfangnächte durchgeführt. Dabei konnten insgesamt 204 Fledermäuse aus 10 verschiedenen Arten gefangen werden.

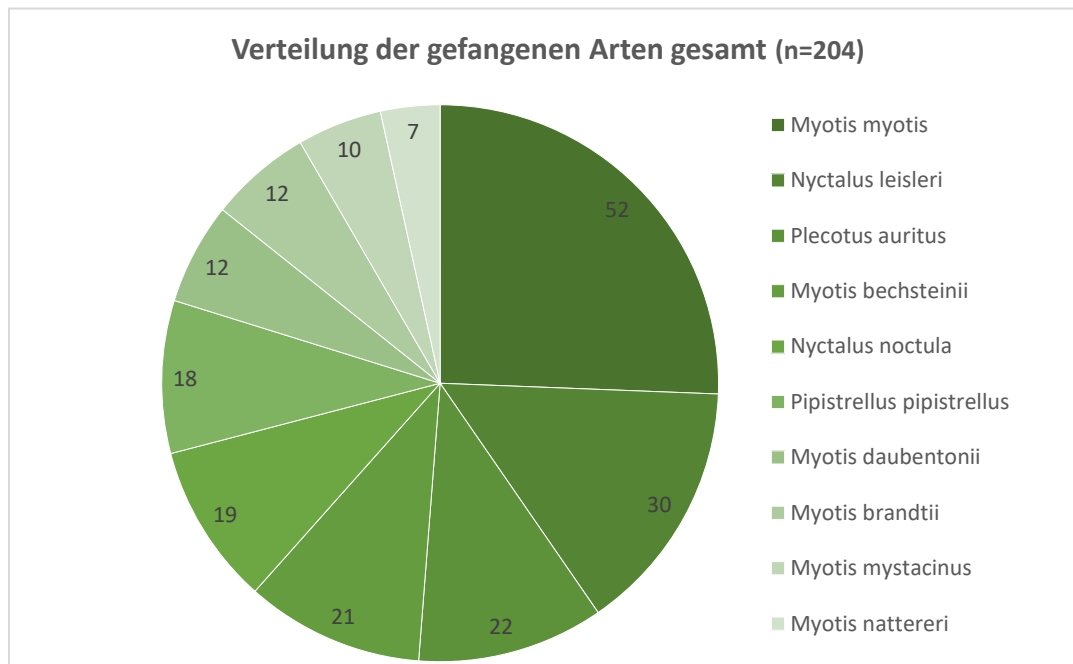


Abb. 17: Häufigkeitsverteilung der gefangenen Fledermausarten.

Das Artenspektrum weist die zu erwartenden Fledermausarten für das gewählte Waldgebiet auf. Häufigste Fledermausart ist das Große Mausohr (*Myotis myotis*). Diese Art ernährt sich vorwiegend von Laufkäfern, die bodennah erbeutet werden. Die nächst häufigere Art ist der Kleinabendsegler (*Nyctalus leisleri*), der vorwiegend im freien Luftraum über den Baumkronen und entlang von Innen- und Außenwaldrändern jagt. Die beiden Arten Braunes Langohr (*Plecotus auritus*) und Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*) gehören zu der Gilde der *Gleaner*. Diese Fledermausarten sammeln Insekten von Blattoberflächen ab und ernähren sich vorwiegend von ruhenden Tag- bzw. Nachtfaltern. Der Große Abendsegler (*Nyctalus noctula*) bildet in dem untersuchten Waldgebiet keine Wochenstubengesellschaften, ist aber dennoch präsent. Die ubiquitäre Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) ist auch im Kottenforst anzutreffen, wie auch die Arten Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*), Brandtfledermaus (*Myotis brandtii*), Bartfledermaus (*Myotis mystacinus*) und Fransenfledermaus (*Myotis nattereri*).

### 3.3.2. Fangernfolg der einzelnen Standorte

Der Fangernfolg an den einzelnen Standorten schwankt von Jahr zu Jahr mitunter erheblich (siehe Abb. 18). Ebenso kann die Anzahl der nachgewiesenen Arten an einem Standort von Jahr zu Jahr schwanken. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass nicht in jedem Jahr an den Standorten gleich viele Fangnächte durchgeführt wurden.

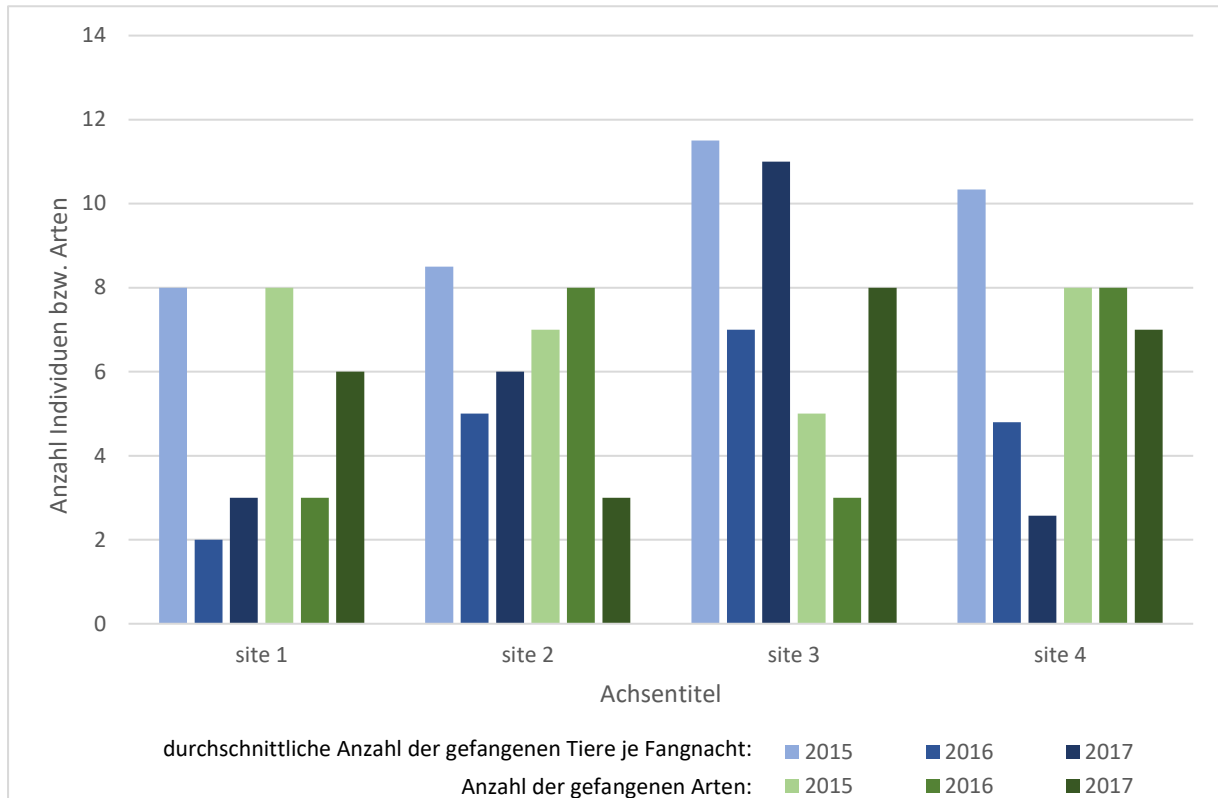


Abb. 18: Fangernfolg und Artnachweise an den jeweiligen Fangplätzen (site 1...4) in den Untersuchungsjahren 2015-2017.

### 3.3.3. Fangernfolg in Abhängigkeit von der Fangmethode

In dem Versuch wurde das Setup so gewählt, dass sich Unterschiede im Fangernfolg in Abhängigkeit des verwendeten Netzmaterials und der Verwendung eines Lockgerätes ermitteln lassen. Abbildung 19 zeigt die Verteilung der Fänge an den jeweiligen Standorten auf die verwendeten Netztypen (Puppenhaar-, Monofilament- und Nylonnetze). Prinzipiell lassen sich mit jedem der in diesem Versuch verwendeten Netzmaterialien Fledermäuse fangen. An den Standorten 1, 2 und 3 konnte der überwiegende Teil der Fledermäuse mit dem Netz aus Puppenhaar gefangen werden. An Standort 4 konnten mit dem Netz aus Monofilament ebenso viele Tiere gefangen werden wie mit dem Puppenhaarnetz. Der Fangernfolg mit dem Nylonnetz fiel an den Standorten 2, 3 und 4 geringer aus als mit den anderen verwendeten Netzmaterialien. Lediglich an Standort 1 konnte mit dem Nylonnetz mehr Tiere gefangen werden als mit dem Netz aus Monofilament, allerdings nicht so viele Tiere wie mit dem Puppenhaarnetz.

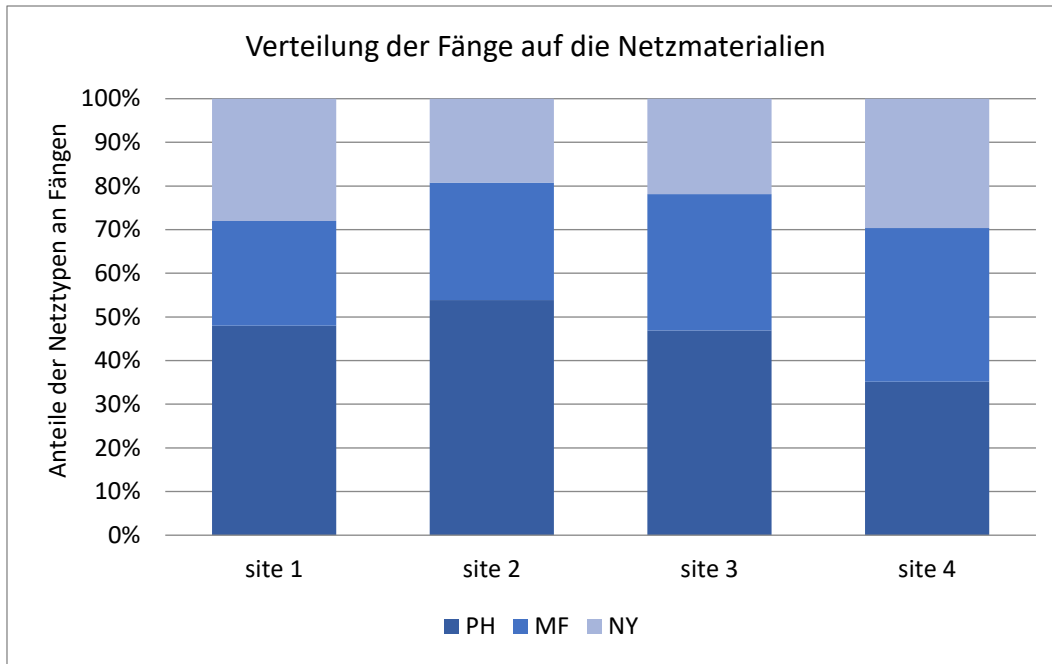


Abb. 19: Verteilung aller Fänge an den unterschiedlichen Standorten auf die verwendeten Netzmaterialien. PH = Puppenhaar; MF = Monofilament; NY = Nylon

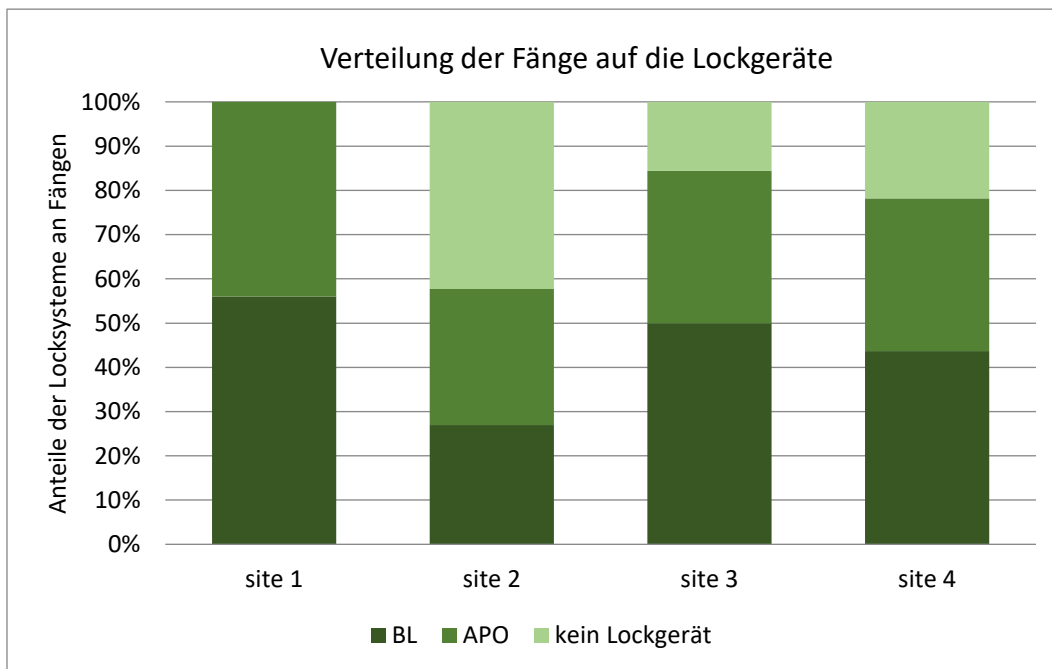


Abb. 20: Verteilung der Fänge an den jeweiligen Untersuchungsstandorten auf die verwendeten Lockgeräte. BL = BL light der Fa. Avisoft; APO = BatLure der Fa. Apodemus.

Abb. 20 zeigt die Verteilung der Fänge auf die jeweiligen Lockgeräte bzw. auf den Netzstern ohne Lockgerät. An Standort 1 konnte ohne Lockgerät kein Tier gefangen werden. Das Lockgerät der Fa. Avisoft konnte geringfügig mehr Tier ins Netz locken als das Gerät der Fa. Apodemus. Im Kontrast dazu konnte an Standort 2 fast ebenso viele Tiere ohne Lockgerät gefangen werden wie mit der Verwendung eines Lockgerätes. An den Standorten 3 und 4 wurde der überwiegende Teil der Tiere

mit Lockgerät gefangen, wobei an beiden Standorten das Gerät der Fa. Avisoft zu einem höheren Fangenerfolg führte als das Gerät der Fa. Apodemus.

Die Untersuchungsergebnisse wurden auf signifikante Unterschiede mit einem Generalized Mixed Model getestet. Es wurde geprüft, welches Netzmaterial zu einem erhöhten Fangenerfolg führt und ob der Verzicht auf ein Lockgerät den Fangenerfolg reduziert. Aufgrund der insgesamt geringen Anzahl gefangener Fledermäuse mussten alle Daten gepoolt werden, eine artspezifische Analyse war demnach nicht möglich.

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)   3.0807     0.1586  19.420 < 2e-16 ***
Var1ny        -0.3032     0.1903  -1.593  0.11113
Var1ph         0.3254     0.1628   1.999  0.04559 *
Var2avs        0.3756     0.1575   2.385  0.01709 *
Var2none      -0.6360     0.2061  -3.086  0.00203 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 46.847 on 8 degrees of freedom
Residual deviance: 3.126 on 4 degrees of freedom

```

*Tab. 2: Ergebnis der GLM-Analyse*

Es zeigen sich signifikante Unterschiede in der Wahl des Netzmaterials. Das Material Puppenhaar (ph) erhöht die Fangzahl signifikant gegenüber dem Material Monofilament (mf). Nylonnetze (ny) verringern die Fangzahl signifikant gegenüber Netzen aus Monofilament. Damit ergibt sich folgende Reihenfolge der Fängigkeit des Netzmaterials:

Puppenhaarnetze >> Monofilamentnetze >> Nylonnetze

Kein Einsatz eines Lockgerätes bei einem Fledermausfang reduziert die Fangzahl signifikant gegenüber den Fangstandorten mit Lockgerät. Zudem gibt es einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden verwendeten Lockgeräten. Das System von Avisoft erhöht die Fangzahl signifikant gegenüber dem Gerät von Apodemus.

Bei einer Fangnacht variierte die Anzahl der gefangenen Arten zwischen 0 (keine gefangene Fledermaus) bis zu sechs Arten. Je häufiger an einem Standort gefangen wurde, desto mehr Arten ließen sich für den Standort nachweisen. Abbildung 10 zeigt, dass nach 6-7 Fängen eine Sättigung der Akkumulationskurve einsetzt. Dies bedeutet, dass nach 7 Fängen nicht mit weiteren Arten für den Standort zu rechnen ist. Nach vier Fängen sind bereits 7 von 8 Arten in diesem Waldgebiet nachgewiesen.

### 3.3.4. Artnachweise an den Standorten

Neben der Frage der Steigerung des Fangerfolgs durch die Auswahl des Netzmaterials sowie der Verwendung von Lockgeräten stellt sich zudem die Frage nach einer ausreichenden Wiederholung der Fangnächte, um das vorkommende Artenspektrum adäquat abzubilden.

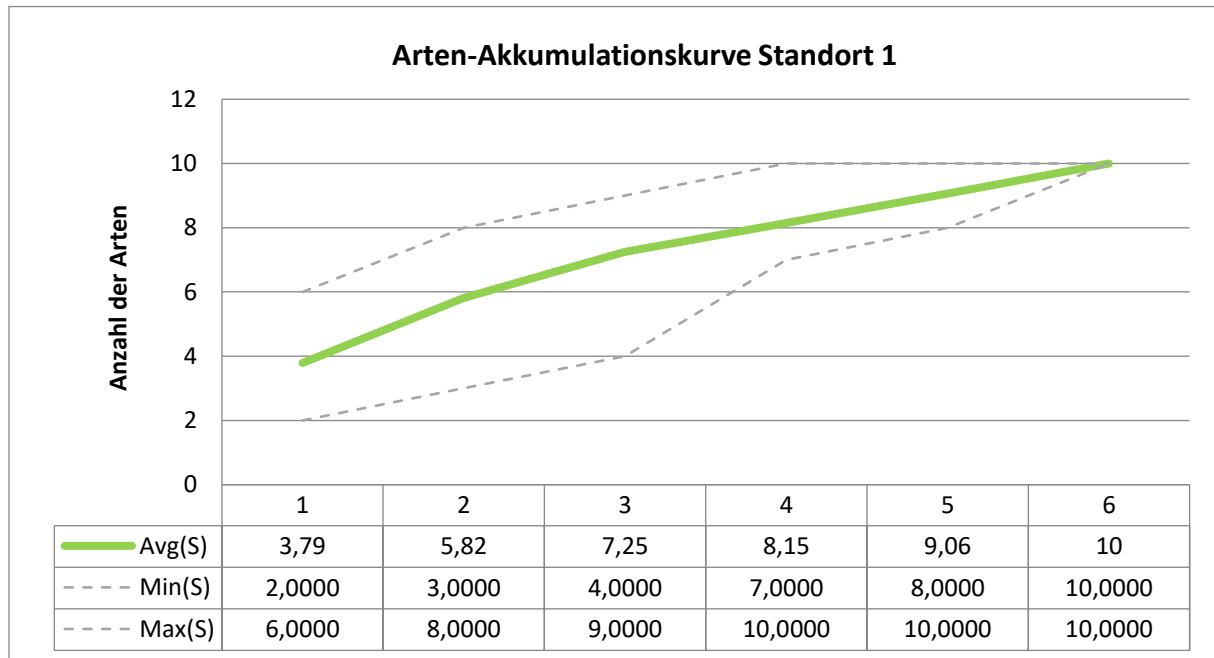


Abb. 21: Artenakkumulationskurve für den Standort 1 (site 1). Es zeigt sich, dass mindestens 4 (Max. = 10) Fangnächte notwendig waren, um das erfasste Artenspektrum zu erfassen. Die Vollständigkeit des Artenspektrums ist insoweit nicht belegt, da 6 Fangnächte stattfanden.

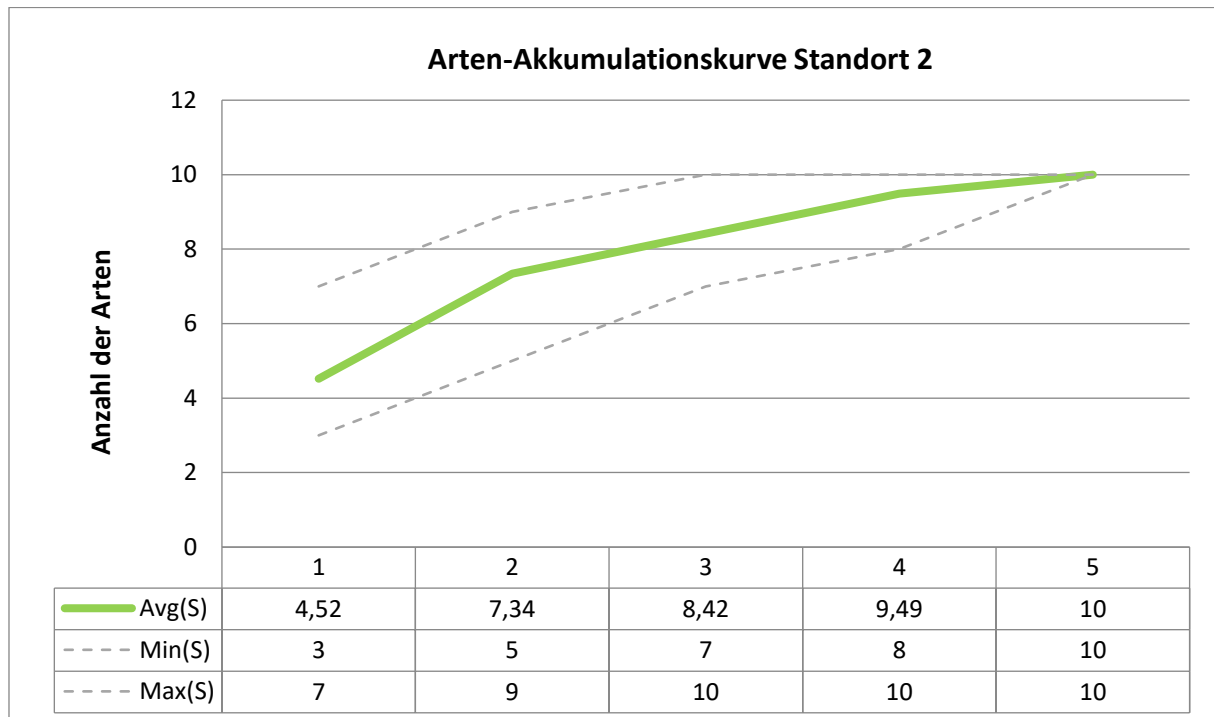


Abb. 22: Artenakkumulationskurve für den Standort 2 (site 1). Es zeigt sich, dass mindestens 3 (Max. = 10) Fangnächte notwendig waren, um das erfasste Artenspektrum zu vervollständigen.

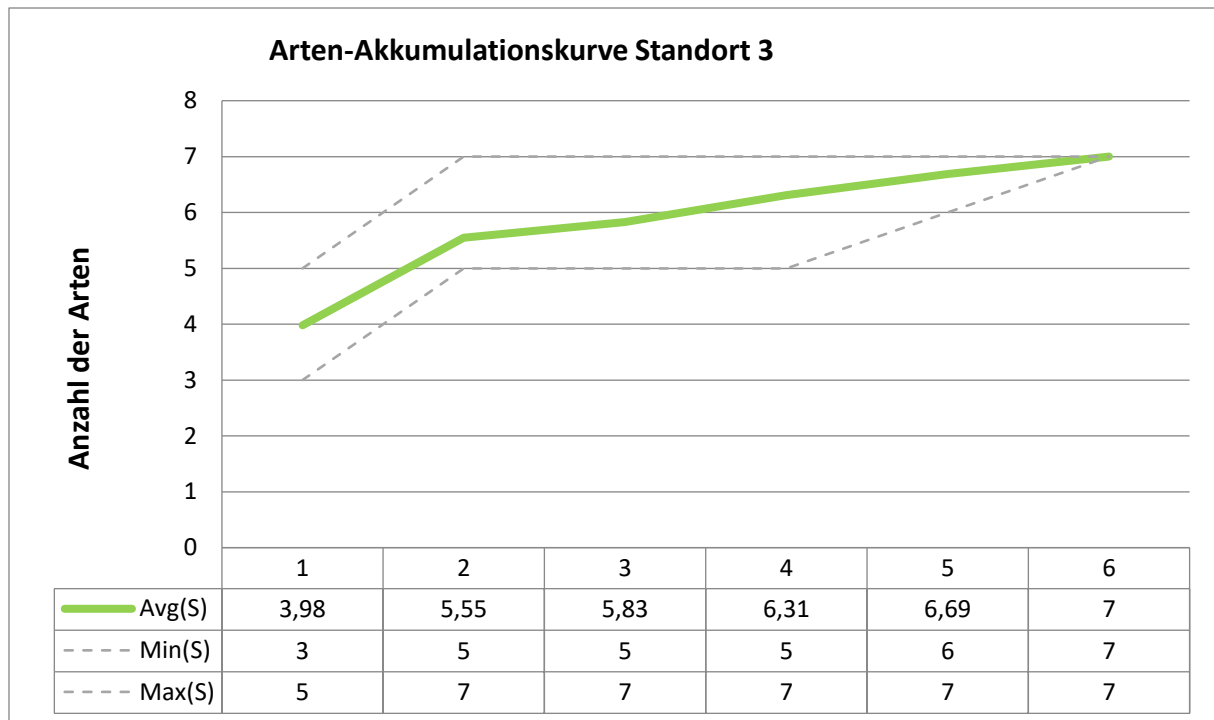


Abb. 23: Artenakkumulationskurve für den Standort 3. Es zeigt sich, dass nach nur 2 Fangnächten bereits ein Großteil des erfassten Artenspektrums abgebildet war, das Spektrum allerdings erst mit dem 6. Fang vollständig abgebildet war.

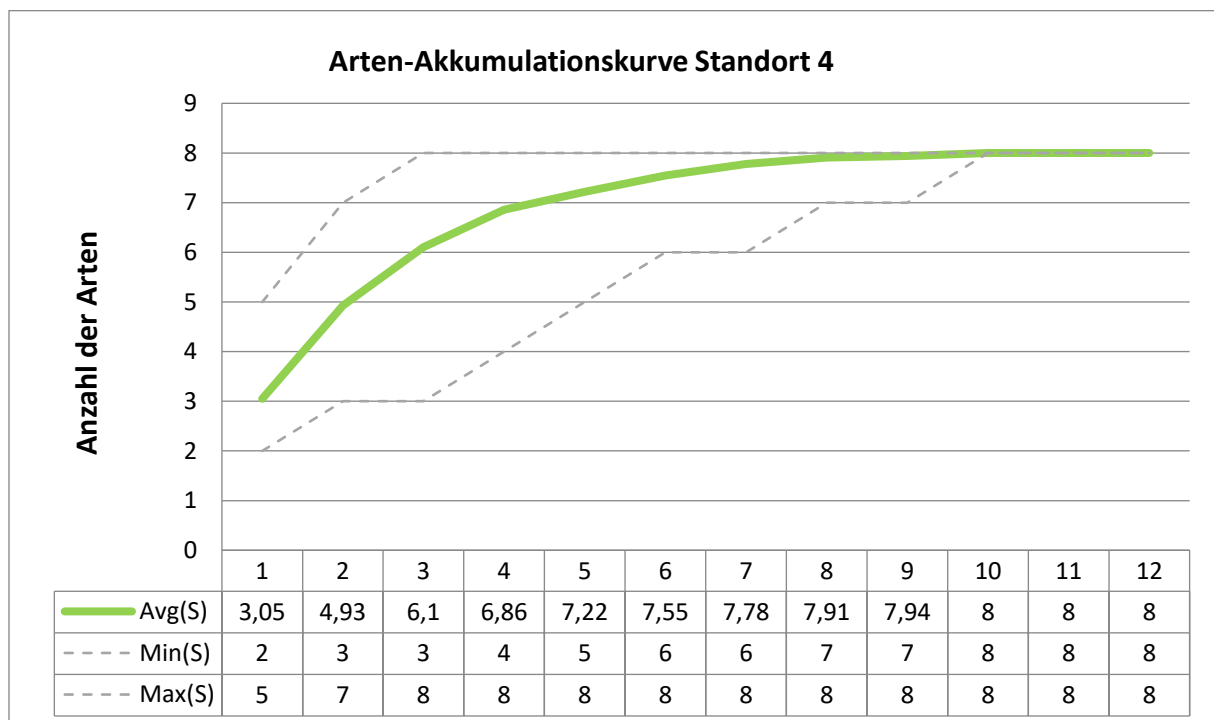


Abb. 24: Artenakkumulationskurve für den Standort 4. Es zeigt sich, dass bereits nach 10 Fangnächten das erfasste Artenspektrum an diesem Standort vollständig abgebildet wurde.

Die Betrachtung der Artenakkumulation über die Erfassungsintensität an den verschiedenen Standorten zeigt, dass sich ein vollständiges Artenspektrum mit einer häufigen Wiederholung der Fangnächte erreichen lässt. Im Durchschnitt konnte trotz der hohen Wiederholungsintensität erst ab dem 10. Fang (Standort 4) von einer Sättigung des Artenspektrums nachgewiesen werden. Die

Artenakkumulationskurven der Standorte 1 bis 3 zeigen, dass sich bis zur letzten Fangnacht die Anzahl der nachgewiesenen Arten steigern ließ.

### 3.4. Diskussion

Unsere Untersuchung zeigt, dass der Fangenerfolg bei Fledermäusen im Wald – unabhängig vom Standort – durch das verwendete Material der Netze und den Einsatz eines Lockgerätes beeinflussbar ist. Puppenhaarnetze bestehen mit Abstand aus den feinsten Fäden. Je feiner der Faden ist, desto schwieriger ist es für eine Fledermaus, das Netz zu orten. Einmal in Kontakt mit dem Netz, verheddert sie sich schneller in den feinen Fäden eines Puppenhaarnetzes als in einem Netz aus Monofilament bzw. einem Nylonnetz. Je nach Fledermausart verhalten sich die Tiere unterschiedlich im Netz. Während Langohren oder Bechsteinfledermäuse verhältnismäßig still im Netz hängen, versuchen Mausohren oder die beiden *Nyctalus*-Arten sich sofort aus dem Netz zu befreien und beißen Fäden durch. Durch kräftige Flügelschläge oder beißen lässt sich das Puppenhaarnetz schneller beschädigen, so dass es den Tieren gelingen kann, sich selbst zu befreien. Einmal in einem stabileren Netz gefangen, ist die Gefahr der Selbstbefreiung der Fledermäuse geringer.

Die Wirkung von Lockgeräten auf Fledermäuse ist mehrfach belegt (Arnett et al. 2013; Hill and Greenway 2005; Samoray et al. 2019). Als soziale Säugetiere reagieren Fledermäuse auf Rufe anderer Individuen der eigenen Art, aber auch anderer Arten (M. Eckenweber and Knörnschild 2016). Stresslaute locken Tiere an, die ggf. durch die Beobachtung der Situation Erfahrung sammeln wollen oder ihrem Artgenossen „helfen“ wollen, z.B. durch „Hassen“ (aggressives Anfliegen) eines Prädatoren (Maria Eckenweber and Knörnschild 2016). Dieses Verhalten bringt die Tiere in die Nähe eines Lockgerätes und damit in die Nähe eines Netzes. Ein für die Fledermaus schlecht zu ortendes Netz kann dann beim Anflug auf das Lockgerät von der Fledermaus überhört werden und das Tier geht ins Netz. Unsere Untersuchung kann, aufgrund der trotz der drei Jahr Netzfang geringen Datenlage, allerdings nicht klären, ob dies für alle Arten und Altersstufen gleichermaßen gilt. Zudem kann durch das hier eingesetzte Setup nicht geklärt werden, wann genau und bei welchem Lockruf die Fledermaus die Entscheidung getroffen hat, sich der Schallquelle anzunähern. Damit kann nur auf das randomisierte Abspielen von Fledermauslauten verschiedener Arten Bezug genommen werden.

Der hier gewählte Ansatz, die Auswahl der Rufe an dem zu erwartenden Artenspektrum zu orientieren, kann als erfolgsversprechend angesehen werden. Die Ursache für den signifikanten Unterschied zwischen den Lockgeräten bleibt an dieser Stelle ebenfalls ungeklärt. Der subjektive Eindruck ist, dass das System von Avisoft lauter ist und weniger Grundrauschen beim Abspielen der Rufe aufweist: Damit wirken die Rufe aus dem System von Avisoft auf den Menschen subjektiv klarer und über größere Entfernungen hörbar. Dies kann die Lockwirkung auf Fledermäuse erhöhen.

Auch bei einem durch Puppenhaarnetze und Lockgeräte optimierten Fangverfahren lässt sich die Erfassung des Artenspektrums mit der Anzahl der Wiederholungen der Fänge steigern. Eine Sättigung der Artenakkumulationskurve konnte lediglich bei einem intensiv befangenen Standort erreicht werden. Die Zahl der hierzu durchgeführten Fangnächte überschreiten die Empfehlungen der Untersuchungen in der Landschaftsplanung (4 Fangnächte je Standort) bis zu dem Dreifachen (Standort 4) (Hurst et al. 2015).

Als Grundlage für ein CMR-basiertes Monitoring von Fledermausarten in Waldgebieten lässt sich eine klare Empfehlung zum Einsatz von Puppenhaarnetzen mit Lockgeräten geben. Fangplätze sollten



wenigstens 6, besser 8 bis 10-mal in einer Fledermaussaison aufgesucht werden, um das Artenspektrum des Standortes zu erfassen und damit die Gesamtqualität des Lebensraumes für Waldfledermausarten bewerten zu können. Weitere Studien zeigen, dass sich durch den Einsatz von höheren Netzen und die Platzierung von Netzen orientiert an besonderen Habitatrequisiten oder Leitlinien (Kleingewässer, Hohlwege, Waldränder) der Fangenerfolg weiter steigern lässt (Angetter 2014).

Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass es bei zu häufiger Untersuchung eines Fledermausbestandes zu Vergrämungseffekten kommen kann. Es gilt in Zukunft zu untersuchen, ob Fledermäuse die Erfahrung des Fangens mit dem Ort des Fangens verknüpfen und sie daher den Ort meiden. Wiederfänge einzelner beringter Tiere an ein und demselben Standort innerhalb weniger Tage geben zwar keinen Anlass, generell von kurzfristigen oder nachhaltigen Vergrämungseffekten auszugehen. Eine generalisierbare Aussage zu Reaktionen auf den Fang und damit zum Einfluss der direkten Untersuchung und Handhabung von Fledermäusen muss jedoch in zukünftigen Studien geklärt werden.

Diese Studie leistet einen Beitrag zur Planung und Umsetzung einer auf Fang basierten Erfassung von Fledermäusen. Die Erkenntnisse lassen sich zum Design eines auf Fang und Markierung basierten Ansatzes zum Populations-Monitoring (analog zu dem Ansatz des Integrierten Singvogel Monitorings (IMS) in Deutschland) von Fledermäusen verwenden. Die Erkenntnisse unserer Untersuchung belegen zudem, dass die Empfehlungen zur Erfassung der Fledermäuse in artenschutzrechtlichen Untersuchungen im Rahmen von Planungen nicht umfangreich bzw. spezifisch genug sind. Die Empfehlung von Puppenhaarnetzen und die Verwendung von Lockgeräten sollte zwingend in die Untersuchungsempfehlungen aufgenommen werden und der Fangaufwand (Anzahl der Fangnächte/Jahr) und die Untersuchungsdauer (Anzahl der Untersuchungsjahre) erhöht werden.

### 3.5. Literatur

- Angetter, Lea Sue. 2014. "Einfluss Des Netzstandortes Und Der Fangintensität Auf Die Fangzahlen von Fledermäusen in Wäldern Und Empfehlungen Für Eine Standardisierung Beim Fledermausfang Im Rahmen Der Eingriffsplanung." Universität Trier.
- Arnett, Edward B. et al. 2013. "Evaluating the Effectiveness of an Ultrasonic Acoustic Deterrent for Reducing Bat Fatalities at Wind Turbines." *PLoS ONE* 8(6): 1–11.
- Eckenweber, M., and M. Knörnschild. 2016. "Responsiveness to Conspecific Distress Calls Is Influenced by Day-Roost Proximity in Bats (*Saccopteryx bilineata*)." *Royal Society Open Science* 3(160151).
- Eckenweber, Maria, and Mirjam Knörnschild. 2016. "Responsiveness to Conspecific Distress Calls Is Influenced by Day-Roost Proximity in Bats (*Saccopteryx bilineata*)." *Royal Society Open Science* 3(5).
- Hill, Davis A., and Frank Greenway. 2005. "Effectiveness of an Acoustic Lure for Surveying Bats in British Woodlands." *Mammal Review* 35(1): 116–22. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2907.2005.00058.x> (October 28, 2014).
- Hurst, Johanna et al. 2015. "Erfassungsstandards Für Fledermäuse Bei Windkraftprojekten in Wäldern. Diskussion Aktueller Empfehlungen Der Bundesländer (Bat Survey Standards for Wind Turbine Projects in Forests)." *Natur und Landschaft* 90(4): 157–69.

Samoray, Stephen T. et al. 2019. "Effectiveness of Acoustic Lures for Increasing Indiana Bat Captures in Mist-Nets." *Journal of Fish and Wildlife Management* 10(1): 206–12.

#### 4. Erfassung und Optimierung der Erfassung des Fledermausbestandes an Winterquartieren mittels Fotofallen an Quartierzugängen

(in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wirtschafts- und Sozialstatistik der Universität Trier, Prof. Dr. Ralf Münnich, PD Dr. Pablo Burghard und Julia Manecke und Christopher Cartiola)

##### 4.1. Einleitung

In Winterquartieren werden Fledermäuse seit jeher durch Sichtkontrollen erfasst. Wie jedoch schon Roer & Roer (1965) betonen, ist der Anteil sichtbarer Tiere an in einem Winterquartier tatsächlich überdauernden Bestand je nach Quartierbeschaffenheit sehr gering. Ist das Quartier mit vielen Klüften, Spalten, Mauern, Bodenschutt u.ä. ausgestattet, findet sich oft nur ein verschwindend geringer Prozentsatz bei Sichtkontrollen wieder. Je nach Art suchen die Tiere bevorzugt tiefe Spalten oder Schuttablagerungen auf, in die sie sich in bis zu 60 cm Tiefe zurückziehen (Roer and Roer 1965). Die artspezifischen Dunkelziffern schwanken daher in Abhängigkeit von Quartier und Art drastisch. Winterbestände werden somit durch Sichtkontrollen systematisch (und teilweise auch dramatisch) unterschätzt. Dies schränkt daher die Eignung von Sichtkontrollen zur Ermittlung von Bestandsgrößen und -trends drastisch ein. Trotz dieser bekannten Schwächen, aber aufgrund des Fehlens praktikabler Alternativen, ist dennoch die regelmäßige Sichtkontrolle nach wie vor in Winterquartieren eine auch im FFH-Monitoring eingesetzte Methode (z.B. *Barbastella barbastellus*, *Myotis nattereri*, *Myotis daubentonii*, *Plecotus auritus*). Nach aktueller Einschätzung der meisten Fledermausexperten ist nur eine automatisierte Erfassung an ausgewählten Winterquartieren geeignet, belastbare Bestandsdaten und -trends, auch über das o.g. Artenset hinaus, für in Höhlen und Stollen überwinternde Arten zu generieren.

Die Lichtschrankentechnik zur Abschätzung von Fledermausbeständen in Quartieren ist seit 1995 verfügbar (Kugelschäfer et al. 1995). Sie unterscheidet durch hintereinander liegende Lichtschrankenvorhänge zwischen ein- und ausfliegenden Individuen. Je nachdem, welcher Lichtschrankenvorhang zuerst unterbrochen wird und wieder ununterbrochen vorliegt, kann die Logik der Technik entscheiden, ob ein Tier von außen nach innen oder von innen nach außen die Lichtschanke passierte. Es kann somit errechnet werden, wie viele Fledermäuse ein Quartier nutzen. Diese Technik arbeitet heute recht zuverlässig, da einzelne Fledermausarten jedoch nicht separiert werden können, lassen sich mit der reinen Lichtschrankentechnik keine Aussagen zum Artenspektrum und zur Anzahl der Individuen einzelner Arten treffen.

Seit 2007 kann die Lichtschrankentechnik durch die Fotoidentifikation der Arten mittels Kameras erweitert werden (Kugelschäfer 2007). Hierdurch ist nicht nur die Anzahl der ein- oder ausfliegenden Tiere ermittelbar, es sind zudem Aussagen zum Artenspektrum und zur Anzahl der Individuen einzelner Fledermausarten, die das Quartier nutzen, möglich. Es sind allerdings nicht sämtliche einheimische Fledermausarten auf Fotos unterscheidbar. Morphologisch sehr ähnliche Arten, wie z.B. der Artkomplex „Bartfledermäuse“ (*Myotis brandtii*, *Myotis mystacinus*, *Myotis alcaethoe*) oder die Langohren (*Plecotus austriacus*, *Plecotus auritus*) lassen sich nur in der Hand sicher bestimmen. Bei diesen Arten sind lediglich Aussagen auf Gattungsniveau bzw. auf Niveau des Artkomplexes möglich.

Die Fotokameras können einseitig oder beidseitig an der Lichtschranke installiert werden. Bei einseitiger Installation lassen sich entweder die ein- oder die ausfliegenden Tiere bestimmen. Bei beidseitiger Installation einer Kamera kann die Einflugbilanz der Ausflugbilanz gegenübergestellt werden. Hierdurch ist eine Nettobilanz des artspezifisch täglichen Bestandes, und somit die für ein automatisiertes Monitoring benötigte Aussage ableitbar. Die Präzision der Systeme ist bei sorgfältiger Installation hoch. Im Rahmen einer im Fach Biogeographie an der Universität Trier erstellten Bachelorarbeit lag der Anteil nicht verwertbarer Fotos (kein Tier sichtbar oder Tier nicht bestimmbar) bei Ein- und Ausflug bei lediglich 3,4 % bzw. 0,9 % (Hannappel 2014). Zusätzlich lassen sich mit dieser Methode wertvolle Daten zum spezifische Verhalten der einzelnen Fledermausarten, wie z.B. der jahreszeitlichen Phänologie (z.B. Hannappel, 2014) sowie zum Individualverhalten (z.B. Siebert, 2014), gewinnen, welche in vielfältiger Weise zur Optimierung des Schutzes der betreffenden Arten in ihren Winterquartieren genutzt werden können.

Die automatisierte Auswertung von an Lichtschranken erhobenen Fotos scheitert an der fehlenden Option der Artidentifikation. Dies wird unserer Meinung nach auch in naher Zukunft nicht möglich sein, da die Position der Fledermäuse auf den Fotos nicht standardisiert werden kann. Insofern werden auch weiterhin solche Fotodaten manuell ausgewertet werden müssen. Schon alleine der enorm hohe Zeit- und damit Kostenaufwand hierfür schließt diese eigentlich ideale Methodik als Standardmethode für das Monitoring von Fledermäusen im Zuge der FFH-Monitorings- und Berichtspflicht aus – es sei denn, der Auswertungsaufwand ließe sich durch eine repräsentative Auswahl einer stark reduzierten Zahl an Fotos soweit ökonomisieren, dass er im Zuge eines Standardmonitorings finanziell wieder darstellbar ist.

Hauptziel dieses Arbeitspakets ist es, mittels Stichprobensimulation herauszufinden, auf wie viele Datensätze aus einer gegebenen Grundgesamtheit eine Auswertung der an Foto-Lichtschranken generierten Daten reduziert werden können, um Monitoring-relevante Daten zur Ermittlung von Bestandstrends mit hinreichender Genauigkeit abzuleiten. Es zeigte sich im Zuge der Bearbeitung jedoch, dass die artspezifische Phänologie im Jahresverlauf sowie deren Determinanten ein bedeutender Faktor bei der Fotoauswahl darstellt. Insbesondere das Stichwort „artspezifisch“ ist hier von besonderer Bedeutung, was vor Beginn der Studie nicht zu erwarten war.

### Ökologischer Hintergrund

In den gemäßigten Zonen schwankt im Jahresverlauf das Klima zwischen trocken-warmen Sommern und kühl-feuchten Wintern. Tiere müssen die Fähigkeit haben, mit dieser Instabilität der Lebensumstände umzugehen, um Phasen unwirtlicher Lebensbedingungen zu überdauern. Fledermäuse haben im Laufe der Evolution die Fähigkeit entwickelt, den Stoffwechselumsatz kurzfristig und über längere Zeiträume zu reduzieren. Damit können Zeiten knapper Ressourcenverfügbarkeit überbrückt werden. Diese Fähigkeit ist der Schlüssel zur Besiedlung gemäßigter Klimazonen mit ausgeprägten Jahreszeiten.

Die als Torpor bezeichnete Reduktion des Stoffwechselumsatzes bei Fledermäusen kommt allerdings mit verschiedenen Kosten und Risiken. Zum einen ermöglicht der Torpor den Tieren eine langanhaltende Winterruhe. Die Fledermäuse sind in dieser Phase allerdings immobil, was ein erhöhtes Prädationsrisiko nach sich ziehen kann. Die fehlende Möglichkeit sich zu bewegen setzt zudem voraus, dass sich die mikroklimatischen Gegebenheiten am Aufenthaltsort der Tiere nicht kurzfristig ändern. Nur durch eine gewisse Stabilität der Klimabedingungen am Hangplatz kann ein

Austrocknen oder Erfrieren vermieden werden. Die Wiederaufnahme der Stoffwechsellätigkeit ohne Energieaufnahme ist ein enorm Ressourcen-zehrender Prozess, der bei fehlender Nahrungsverfügbarkeit nicht beliebig oft vollzogen werden kann.

Während des Torpors kommt der Stoffwechsel einer Fledermaus nicht vollständig zum Erliegen. Es sammeln sich demnach Stoffwechselabfallprodukte an, die gelagert und in gewissen Abständen ausgeschieden werden müssen. Eine reduzierte Stoffwechsellätigkeit zieht auch eine Reduktion des Immunsystems nach sich, was die Fledermaus einem Infektionsrisiko aussetzt, das insbesondere bei neu auftretenden Pathogenen zu einer Einschränkung der Überlebenschancen führen kann (siehe z.B. das *White-Nose-Syndrom* in Nordamerika; (Foley et al. 2011)).

Fledermäuse suchen daher spezielle Orte zur Überwinterung auf. Aufgrund der Abwägung von Vor- und Nachteilen der Überwinterung sollte der Zustand nur bis zu dem Zeitpunkt dauern, bis die Nachteile die Vorteile des Torpors überwiegen. Die Faktoren außerhalb des Überwinterungsquartiers sind vom Fortschreiten der Jahreszeiten abhängig. Mit ansteigenden Temperaturen werden Beutetiere wieder auffindbar bzw. Beutetierpopulationen bauen sich auf. Extreme Wetterbedingungen wie z.B. anhaltende Frostperioden bleiben aus, und es bieten sich ausreichend günstige Wettersituationen um Jagdausflüge zu unternehmen.

Je früher trächtige Weibchen aus dem Torpor abwandern, desto eher setzt die Embryoentwicklung ein. Je früher ein Tier in einer Fledermausssaison geboren wird, desto höher sind die Chancen, den ersten Winter zu überleben (Frick, Reynolds, and Kunz 2010). Für das Individuum ist es vorteilhaft, nicht allein im Sommerquartier anzukommen. Die Clusterbildung in Quartieren hilft Energie zu sparen (Roverud und Chappell 1991) und auch bei geringer Beutetierdichte oder kurzfristigen ungünstigen Temperaturen die Embryoentwicklung aufrechtzuhalten und damit die Überlebenschancen des Nachwuchts durch einen früheren Geburtstermin zu erhöhen. Während der normo-thermischen Phase während des Tages, bei der das Tier die Temperatur nicht abgesenkt, um die Embryoentwicklung aufrecht zu halten, ist der Energieumsatz einer allein hängenden Fledermaus 1,9 mal höher als in einem Cluster von 45 Fledermäusen (Art *Myotis lucifugus*, ca. 35 gr). Die lokalen Wärmebildungseffekte steigen linear mit der Gruppengröße. Damit hat im Frühjahr die Clusterbildung einen höheren Effekt auf den Energieumsatz als das Mikroklima des Quartiers (Willis and Brigham 2007).

Im Gegensatz zur Gruppenbildung im Winter ist die Gruppenbildung im Sommer in der Regel artspezifisch. Individuen einer Fledermausart müssen gegen Ende der Winterzeit demnach synchronisiert sein, um gemeinsam das Winterquartier zu verlassen und die Vorteile einer Gruppenbildung in den Sommerquartieren zu nutzen. Je nach artspezifischer Beutetier- und Sommerquartierwahl sind die Kippunkte der Abwägung zwischen den Vorteilen des Torpors im Winterquartier und dem frühen Einsetzen der Embryogenese zu unterschiedlichen Zeiten. Das Beenden der Winterruhe ist durch Hormone gesteuert, deren Bildung und Abbau ebenfalls durch artspezifische Stoffwechselmechanismen gesteuert werden.

Dieses Arbeitspaket soll dazu beitragen, bestimmende Faktoren (Determinanten) für die artspezifische Aktivitätsdynamik am Ende der Winterruhe zu erkennen. Die Kenntnis darüber, wann und warum eine Fledermausart nach der Winterruhe aktiv wird, soll unterstützend bei der automatisierten artspezifischen Bestimmung bei der Erfassung von abwandernden Tieren aus gemeinschaftlich genutzten Winterquartieren eingesetzt werden. Es sei nochmals betont, dass der

entscheidende ökonomisierende Effekt darauf beruhen soll, dass aus der Fülle der an einer Lichtschranke mit Fotofalle anfallenden Bilder nur eine kleine Stichprobe zur manuellen optischen Auswertung ausgewählt wird (→ Zeit- und Kostenersparnis), um daraus artspezifisch verlässliche Trends zum Winterbestand in einem Quartier über die Zeit ableiten zu können (Bestandsmonitoring).

## 4.2. Methode

### 4.2.1. Fledermauserfassung

Die Fledermauserfassung wurde an fünf verschiedenen Winterquartieren während der Abwanderung zwischen Ende Januar und Mitte Mai durchgeführt. Die Quartiere befinden sich in Rheinland-Pfalz (Mayener Grubenfeld – Mauerstollen, Schieferstollen in Kaub), Bayern (Höllenschloß bei Neukirchen-Sulzbach) und Sachsen (Felsendom bei Chemnitz, Stollen Fischendorf). Die Daten zu diesen Stollen wurden dankenswerterweise vom Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher (VdHK) e.V. und dem Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Sachsen zur Verfügung gestellt. Bei den Quartieren wurde an den Zugängen eine Lichtschranke installiert, die ein- und ausfliegende Tiere unterscheiden kann (siehe Abb. 26). Um eine Artbestimmung durchzuführen, wurde die Lichtschranke mit einer Kamera kombiniert, die jeweils ein Foto eines aus- bzw. einfliegenden Tieres machte. Die Daten wurden in der Kamera auf einer Speicherkarte gespeichert und anschließend manuell ausgewertet. Daraus ergibt sich für jedes der fünf Winterquartiere ein Datensatz mit einer Artangabe zum ein- bzw. ausfliegenden Tieres. Fotos, die durch falsche Auslöser, Tests oder ohne Inhalt entstanden sind, wurden ausgeschlossen.



Abb. 25: Lage der Winterquartiere in Deutschland.

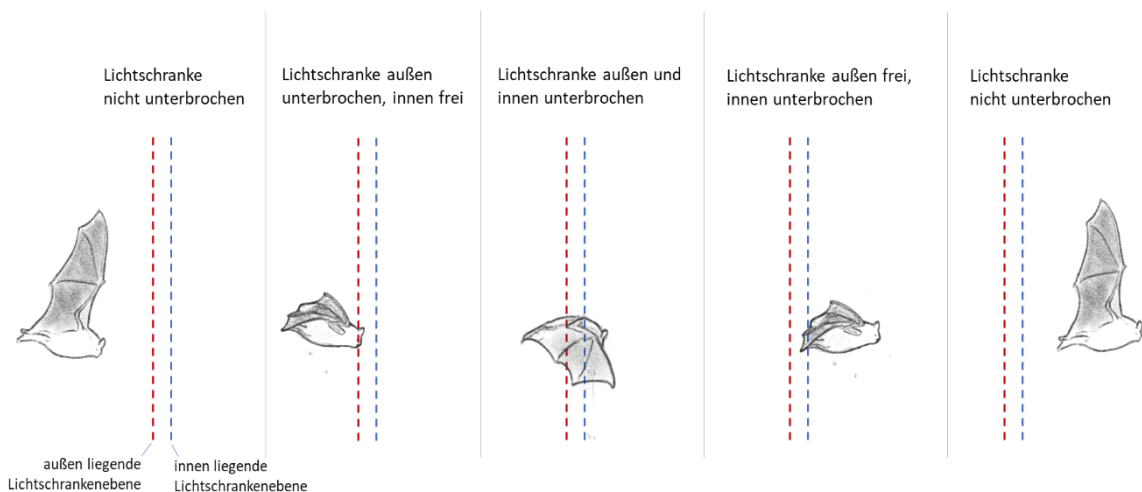


Abb. 26: Darstellung der Lichtschrankenerfassung an Quartierzugängen. Die Reihenfolge der Unterbrechung der Lichtschrankenstrahlen ermöglicht die Unterscheidung von ein- bzw. ausfliegenden Fledermäusen. Illustration: M.Koch.



Abb. 28: Ausflugfoto des Großen Mausohres (*Myotis myotis*) im Stollen Kaub. Die Art ist insbesondere über die Größe und die Ohrform zu bestimmen.



Abb. 29: Einflugfoto einer Bartfledermaus (*Myotis brandtii/mystacinus/alcaho*) im Stollen Kaub. Diese Arten sind auf Flugfotos nicht zu unterscheiden. Von anderen Arten hebt sich das Artentrio über das dunkle Gesicht und die spitzen Ohren ab. Sie gehören zu den kleinen Fledermausarten in Deutschland.



*Abb. 31: Wasserfledermaus (Myotis daubentonii) beim Einflug in den Stollen Kaub - gut zu erkennen an dem hellen Ohrgrund, dem kurzen, runden Tragus und den großen Füßen.*



*Abb. 30: Einflugfoto einer Fransenfledermaus (Myotis nattereri) in den Stollen Kaub. In dieser Haltung sind die Sporne an der Ferse des Tieres gut zu erkennen, die die Schwanzflughaut "aufspannen" und die verhältnismäßig spitz zulaufende Nase.*





Abb. 32: Langohrfledermaus (*Plecotus auritus/austriacus*). Die beiden Arten sind auf Flugfotos nicht eindeutig zu bestimmen. Unverkennbar für dieses Artenpaar sind allerdings die großen Ohren.



Abb. 33: Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*) beim Ausflug am Stollen Kaub. Auffällig sind die großen Ohren und der deutlich abgesetzte, helle Bauch.

Abbildung 27 bis 32 stellen eine Auswahl der Ein- bzw. Ausflugsbilder am Stollen Kaub dar. Typische Arterkennungsmerkmale sind in den Bildunterschriften genannt. Da Fledermäuse häufig den Durchflug an Engstellen und Eingängen zu Winterquartieren wiederholen, passiert ein und dasselbe Individuum die Lichtschranke mitunter mehrere Male in kurzen Zeitabständen. Dies führt zu einem hohen Aufkommen an Fledermausbildern, die manuell ausgewertet werden müssen.

In den Jahren 2015 bis 2017 entstanden in Kaub über 19.114 Fotos. Kaub ist als Stollen „mittlerer“ Aktivität anzusehen. Im Mayener Mauerstollen sind ca. 160.000 Fotos entstanden, in der Appelhöhle 17.500, in Fischendorf weitere 14.250 und in Rabenstein 12.300. Damit lagen für die Datenauswertung 223.164 Datensätze vor.

Entgegen des Antrages wurde der Datensatz um die Stollen Appelhöhle, Fischendorf und Rabenstein erweitert, um die geographische Streuung zu erhöhen und die Erkenntnisse zu Determinanten generalisieren zu können. Zudem konnte durch die Hinzunahme der Stollen weitere Arten untersucht werden. Durch die Erhöhung der einbezogenen Datensätze wurden des Weiteren die Möglichkeiten der Auswertung erhöht.

### 4.3. Datenauswertung

Die Häufigkeit des Ein- und Ausflugs von Fledermäusen pro Stunde wurde aggregiert als Gesamtheit bzw. pro Art, was die Grundlage für einen neuen Datensatz auf Stundenebene bildet. Der stündliche Datensatz jedes Standorts wird durch die stündlichen Wetterdaten der jeweils nächstgelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) ergänzt. Dazu gehören Daten zur Lufttemperatur in °C (AT), zur relativen Luftfeuchtigkeit in % (RH), zur Bewölkung (gesamte Bewölkung) in 1/8 (CC), Niederschlagsrate in mm (PR), Luftdruck auf mittlerer Meereshöhe in hPA (AP), Bodentemperatur in °C in 20 cm Tiefe (ST) und mittlere Windgeschwindigkeit in m/s (WS). Darüber hinaus wird eine Luftdruck-Trendvariable aus dem stündlichen Luftdruck (APT) abgeleitet. Dabei wurde die Luftdruckdifferenz der beiden benachbarten Stunden, d.h.  $x_{APT\ t} = x_{AP\ t+1} - x_{AP\ t-1}$  zu jeder Stunde zugeordnet. Zusätzlich wurden Daten über den nicht beleuchteten Mondanteil in % (MF) von der Abteilung für astronomische Anwendungen des US-Marineobservatoriums ergänzt.

Da man davon ausgeht, dass die Sonnenauf- und -untergangszeiten einen stärkeren Einfluss auf die Aktivität von Fledermäusen haben als die gewöhnliche Tageszeit, wird die Zeitvariable in eine sonnenbezogene Zeit umgewandelt. Diese 'Sonnenezeit' reicht von Sonnenaufgang (-1) bis zum nächsten Sonnenaufgang (1), wobei der Stunde des Sonnenuntergangs der Wert 0 zugeordnet wird (siehe Abb. 36). Schließlich werden die fünf Datensätze auf die Stunden reduziert, in denen sowohl die Ein- als auch die Ausflugkamera aktiv waren und ordnungsgemäß funktionierten. Die Lichtschrankenereignisse haben zusätzlich noch eine Variable DOY ("Tag des Jahres") zugeordnet bekommen. Diese stellen die Nummer des jeweiligen Tages im Jahr (siehe Abb. 35).

#### 4.3.1. Statistisches Modell

Da die evaluierten Standorte unterschiedliche Nutzungsarten aufweisen (Schwarmquartier, Winterquartier, Sommerquartier), ist die Definition und Messung einer vergleichbaren Fledermausaktivität pro Stunde, die Variable von Interesse, nicht trivial. Um zunächst die Fledermausaktivität von spontanen Bewegungen zu bereinigen, die nicht Ein- bzw. Abwanderung ins bzw. aus dem Quartier entsprechen, wird die Anzahl der Ein- und Ausflüge pro Stunde durch einen einfachen gleitenden Durchschnitt über drei Stunden ersetzt. Zweck der Analyse ist es, die aus dem kurzfristigen Flugverhalten resultierende Aktivität zu messen. So können Schwankungen, die sich aus allgemeinen Ab- und Einflugbewegungen im Frühjahr ergeben, erkannt und tatsächliche Abwanderbewegungen im Frühjahr können identifiziert werden. Um dies zu erreichen, sind der gleitende Durchschnitt der Anzahl der eingehenden Flüge und der gleitende Durchschnitt der Anzahl

der ausgehenden Flüge je Stunde auf ganze Zahlen gerundet. Der kleinere der beiden Werte wird dann als Aktivität aufgrund kurzfristigen Flugverhaltens definiert. Dabei bildet die Differenz beider Werte die allgemeine langfristige Ab- bzw. Einflugbewegung.

Die Datensätze auf Stundenebene der fünf Standorte werden dann zu einem Datensatz zusammengeführt, in dem die Variable von Interesse mit Hilfe eines verallgemeinerten *additiven Poisson-Modells* modelliert wird. Eine standortspezifische Variable berücksichtigt die unterschiedlichen Vorkommensanteile der Arten an jedem Standort. Insgesamt werden sieben verschiedene Modelle geschätzt. Diese umfassen ein Gesamtmodell für alle Fledermäuse, unabhängig von ihrer Art und sechs weitere Modelle für die sechs häufigsten Arten, die in den Quartieren zu finden sind. Unter diesen sind die Arten *Myotis myotis* (alle Standorte), *Myotis nattereri* (alle Standorte), *Myotis daubentonii* (alle Standorte) und *Myotis bechsteinii* (Daten aus Mayen, Kaub und Neukirchen-Sulzbach). Zusätzlich wurde ein kombiniertes Modell für *Myotis brandtii* und *Myotis mystacinus* (nur Daten aus Mayen) sowie für *Plecotus auritus* und *Plecotus austriacus* (alle Standorte) geschätzt. Jedes Modell gibt als Antwortvariablen positive ganze Zahlen, die die Anzahl der kurzfristigen Aktivitätsbewegungen widerspiegeln. Innerhalb des additiven Modells werden die Wetter- und Monddaten als klassische lineare Prädiktoren kombiniert und mit den Variablen 'Tag des Jahres' und 'Sonnenezeit' durch eine Glättungskurve als nichtparametrische Splines angepasst. Zusätzlich wird ein Interaktionseffekt für die Variablen 'Tag des Jahres' und 'Sonnenezeit' sowie für den 'Teil der Mondscheibe, die nicht beleuchtet ist' und 'Bewölkung' berechnet. Eine Faktorvariable ergänzt den Standort zum Modell. Es wurden jeweils stundenspezifische Datensätze ausgewertet.

#### 4.4. Ergebnisse

Insgesamt wurden 223.164 Datensätze erhoben und nach Datum, Zeit, Ort, Art und Zu- bzw. Abwanderung sortiert. Die Daten wurden für die weitere Analyse in Tabellen vorgehalten. Teilweise wurden uns die Datensätze ausgewertet zur Verfügung gestellt. Eigenhändig wurde der Datensatz aus Kaub vollständig, sowie der Datensatz aus Mayen anteilig ausgewertet, sodass ca. 50.000 Fotos selbst ausgewertet wurden.

Die Ergebnisse des *verallgemeinerten Additiven Poisson-Modells* zur Erklärung der Aktivität aller Fledermäuse und der sechs Arten sind in Tabelle 1 getrennt aufgeführt. Die Referenzkategorie der genannten Stollen ist der Standort Mayen. Der Stollen Mayen weist für alle Arten im Vergleich zu allen anderen Winterquartieren eine höhere Aktivität auf. Ausnahmen sind die Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*) in Fischendorf und Rabenstein, sowie die Langohren (*Plecotus spec.*) in Neukirchen-Sulzbach (Appelhöhle) und Rabenstein. Alle Unterschiede in der Aktivität sind gegenüber dem Mauerstollen signifikant.

In Bezug auf die maßgebenden Wetterfaktoren hat die Lufttemperatur eindeutig einen signifikant positiven Einfluss auf die Aktivität aller beobachteten Fledermausarten. Mit einer einzigen Ausnahme (*Myotis myotis*) gilt dies auch für die Bodentemperatur. Bei dieser Art kann ein signifikant negativer Einfluss beobachtet werden. Die Bodentemperatur ist ein Proxy für anhaltend hohe Strahlungsintensität und das fortschreitende Frühjahr, bzw. eine negative Strahlungsbilanz und den einsetzenden Winter.

Während der Luftdruck bzw. sein Trend einen negativen Einfluss auf die Aktivität von *Myotis bechsteinii* und *P. auritus/austriacus* haben (hoher/steigender Luftdruck = weniger Aktivität), wirken

sie sich positiv auf die Aktivität der anderen vier beobachteten Arten aus (hoher/steigender Luftdruck = mehr Aktivität). Die Richtung des Luftdrucktrends ist analog zum Luftdruckeffekt. Die Wirkung auf *Myotis myotis* ist hier allerdings nicht signifikant. Sowohl die Windgeschwindigkeit als auch die Niederschlagsrate haben einen negativen Einfluss auf die Fledermausaktivität. Für *Myotis daubentonii* konnte jedoch keine signifikante Auswirkung des Niederschlags bestimmt werden. Im Hinblick auf den Grad der Bewölkung kann eine signifikant negative Auswirkung einer starken Bewölkung für *Myotis daubentonii*, *Myotis bechsteinii* und *Plecotus auritus/austriacus* bestimmt werden. Die Variable Luftfeuchtigkeit wurde während des Modellauswahlprozesses ausgeschlossen, da sie keine signifikante Auswirkung auf die Zielvariable (Aktivität der jeweiligen Fledermausarten) hat. Tabelle 1 stellt die Ergebnisse des Modells dar.

	Dependent variable:						
	All species	<i>Myot. Myotis</i>	<i>Myot. nattereri</i>	<i>Myot. daubentonii</i>	<i>Myot. bechsteinii</i>	<i>Myot. brandtii</i> <i>Myot. mystacinus</i>	<i>Plec. auritus</i> <i>Plec. austriacus</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Fischendorf <sup>1</sup>	-1.633*** (0.013)	-2.541*** (0.065)	-1.255*** (0.017)	0.485*** (0.042)			-0.822*** (0.064)
Kaub <sup>1</sup>	-3.444*** (0.018)	-1.937*** (0.047)	-7.251*** (0.142)	-2.045*** (0.077)	-1.824*** (0.043)		-2.327*** (0.062)
Neukirchen-Sulzbach <sup>1</sup>	-1.885*** (0.012)	-2.290*** (0.058)	-1.518*** (0.018)	-1.290*** (0.067)	-1.664*** (0.045)		0.297*** (0.037)
Rabenstein <sup>1</sup>	-1.830*** (0.013)	-3.964*** (0.125)	-1.653*** (0.018)	0.516*** (0.039)			0.280*** (0.036)
Soil temperature	0.075*** (0.002)	-0.021** (0.010)	0.033*** (0.003)	0.109*** (0.010)	0.073*** (0.010)	0.144*** (0.006)	0.123*** (0.010)
Air temperature	0.081*** (0.001)	0.168*** (0.005)	0.098*** (0.002)	0.050*** (0.006)	0.085*** (0.006)	0.068*** (0.003)	0.056*** (0.006)
Air pressure	0.007*** (0.0004)	0.010*** (0.002)	0.007*** (0.001)	0.010*** (0.002)	-0.004** (0.002)	0.020*** (0.001)	-0.008*** (0.002)
Air pressure trend	0.023*** (0.004)	0.015 (0.017)	0.013** (0.006)	0.071*** (0.021)	-0.018 (0.020)	0.042*** (0.010)	-0.087*** (0.017)
Wind speed	-0.055*** (0.002)	-0.139*** (0.009)	-0.052*** (0.003)	-0.115*** (0.010)	-0.052*** (0.011)	-0.020*** (0.005)	-0.064*** (0.008)
Precipitation rate	-0.149*** (0.013)	-0.206*** (0.063)	-0.082*** (0.020)	0.030 (0.033)	-0.160*** (0.047)	-0.082*** (0.028)	-0.276*** (0.055)
Cloudiness	0.002 (0.002)	-0.005 (0.007)	0.003 (0.003)	-0.021** (0.009)	-0.060*** (0.007)	-0.023*** (0.003)	0.003 (0.007)
Fraction of moon not illuminated	0.260*** (0.018)	-0.133* (0.071)	0.327*** (0.027)	-0.469*** (0.087)	-0.143** (0.068)	-0.326*** (0.036)	0.483*** (0.065)
Fraction of moon not illuminated:Cloudiness	-0.007** (0.003)	-0.005 (0.011)	0.001 (0.004)	0.087*** (0.014)	0.047*** (0.011)	-0.008 (0.006)	-0.061*** (0.011)
Constant	-7.857*** (0.444)	-14.824*** (1.775)	-8.616*** (0.672)	-15.301*** (2.227)	-1.222 (2.054)	-23.130*** (1.003)	3.299* (1.734)
Observations	31,082	31,082	31,082	31,082	23,562	7,291	31,082
Adjusted R <sup>2</sup>	0.794	0.583	0.743	0.199	0.388	0.766	0.356
Deviance explained	81.7%	73.0%	81.9%	51.2%	58.5%	84.4%	56.7%

Note: \* p<0.1; \*\* p<0.05; \*\*\* p<0.01  
<sup>1</sup>: Reference category: site Mauerstollen Mayen  
 an den jeweiligen Stollen wird im Bezug zum Mauerstollen in Mayen angegeben.

Besonders bemerkenswert ist der Einfluss des nicht beleuchteten Mondanteils auf die Zielvariable. Ein negativer Effekt der Mondbeleuchtung auf die Aktivität wird innerhalb des Gesamtmodells sowie des Modells für *Myotis nattereri* und *Plecotus auritus/austriacus* ersichtlich. Die Aktivität der anderen Arten scheint jedoch durch die Mondbeleuchtung positiv beeinflusst zu werden. Da die Wechselwirkung zwischen dem nicht beleuchteten Mondanteil und der Bewölkung von besonderer Relevanz sein könnte, wurde diese zusätzlich analysiert. Der Einfluss ist signifikant innerhalb des allgemeinen Modells sowie in den Modellen für *Myotis daubentonii*, *Myotis bechsteinii* und *Plecotus auritus/austriacus*.

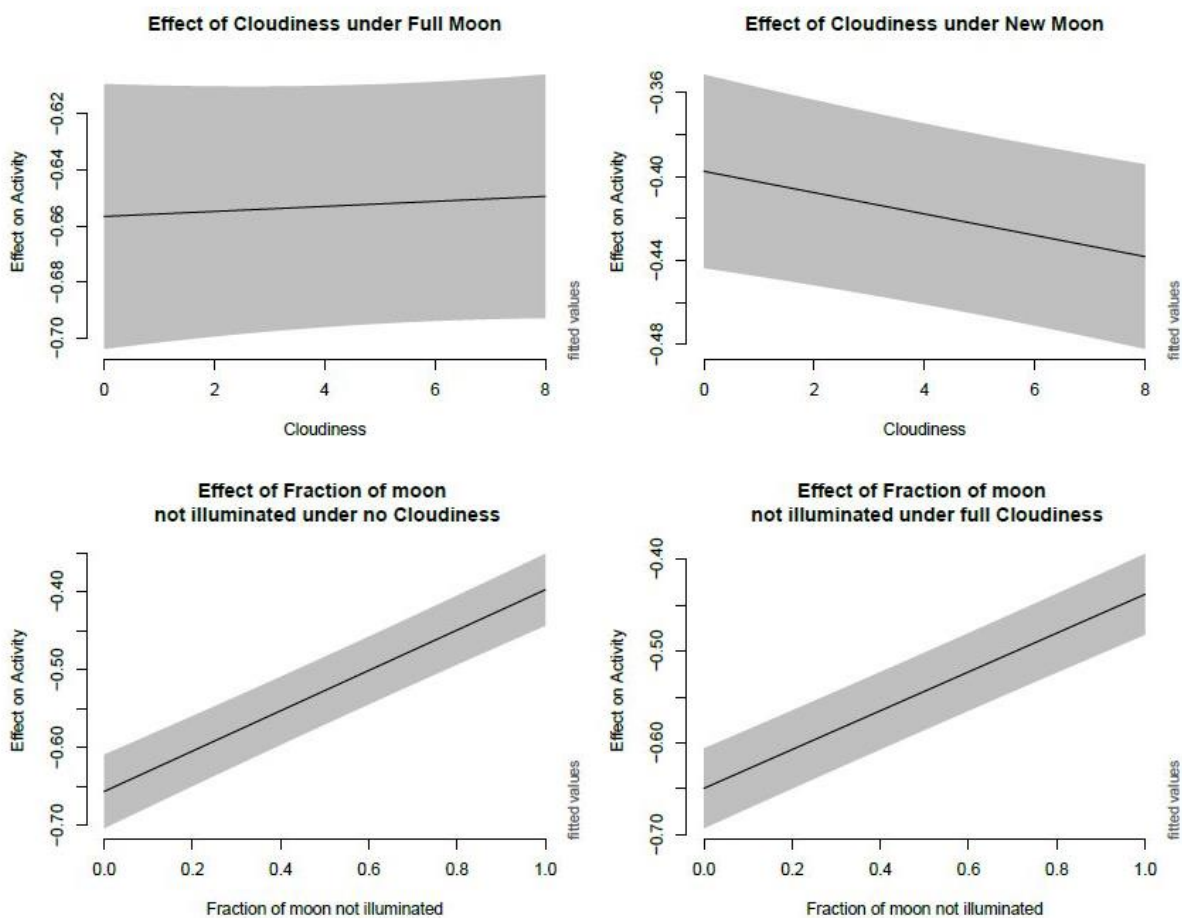


Abb. 34: Effekte der Beleuchtungsanteile des Mondes auf die Fledermausaktivität aller Arten. Es zeigt sich, dass die Bewölkung den Effekt der Helligkeit des Mondes leicht relativiert. Mit zunehmender Bewölkung treten allerdings Effekte des schlechten Wetters in Erscheinung.

Abbildung 9 veranschaulicht die Wechselwirkung zwischen der Mondbeleuchtung und der Bewölkung auf die allgemeine Fledermausaktivität. Bei Vollmond hat die Bewölkung einen leicht positiven Einfluss auf die allgemeine Fledermausaktivität. Unter Neumond wird die Aktivität jedoch negativ durch die Bewölkung beeinflusst. Auch unabhängig von der Menge der Wolken hat die Mondbeleuchtung eine negative Wirkung auf die Fledermausaktivität.

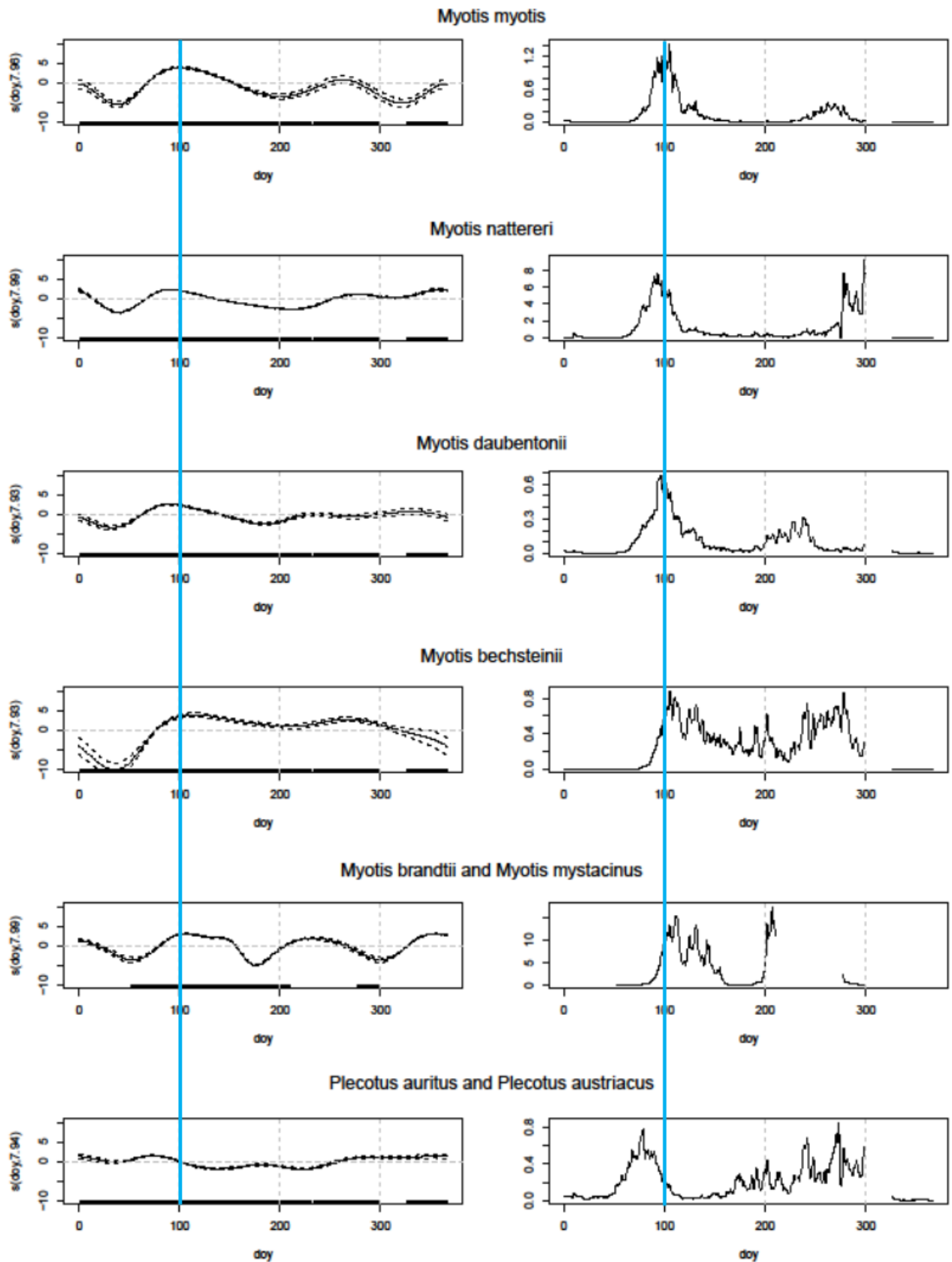


Abb. 35: Darstellung der Aktivitätsverteilung der jeweiligen Fledermausarten im Jahresverlauf. Blau markiert ist der 100. Tag im Jahr (entspricht dem 10. April/9. April in einem Schaltjahr) zur besseren Orientierung und Vergleichbarkeit. Lücken in der Aktivitätsdarstellung repräsentieren Lücken in der Datenerfassung.

Die Determinante „Tag im Jahr“ zeigt lediglich geringe Unterschiede zwischen den Arten. In Abbildung 10 ist die Aktivitätsverteilung im Jahresverlauf für die einzelnen Arten dargestellt. In der rechten Spalte sind die tatsächlichen Aktivitäten aller Stollen kombiniert dargestellt. Die linke Spalte zeigt die Aktivität, bereinigt von den Einflüssen der meteorologischen Determinanten (siehe Tabelle 1). Unterschiedliche Aktivitätszeiten sind insbesondere bei den Langohrarten (*Plecotus spec.*) und der Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*) zu erkennen. Während die Aktivität der Bechsteinfledermaus um den 50. Tag im Jahr nahezu vollständig zum Erliegen kommt, bleiben die Langohren den gesamten Winter über aktiv. Im weiteren Verlauf des Jahrs zeigen sich leichte Abweichungen in der Intensität der Aktivität der jeweiligen Arten.

Die Wirkung der Determinanten "Sonnenuntergangszeit" ist in Abbildung 12 dargestellt. Der positive Teil der X-Achse (Sun time) stellt die Nacht von Sonnenuntergang (0.0) bis Sonnenaufgang (1.0) dar. Der negative Teil stellt den Tag von -1.0 (Sonnenaufgang) bis 0.0 (Sonnenuntergang) dar. Es kann festgestellt werden, dass die Hauptaktivitätsperiode kurz vor Sonnenuntergang beginnt und bis zum Sonnenaufgang andauert.



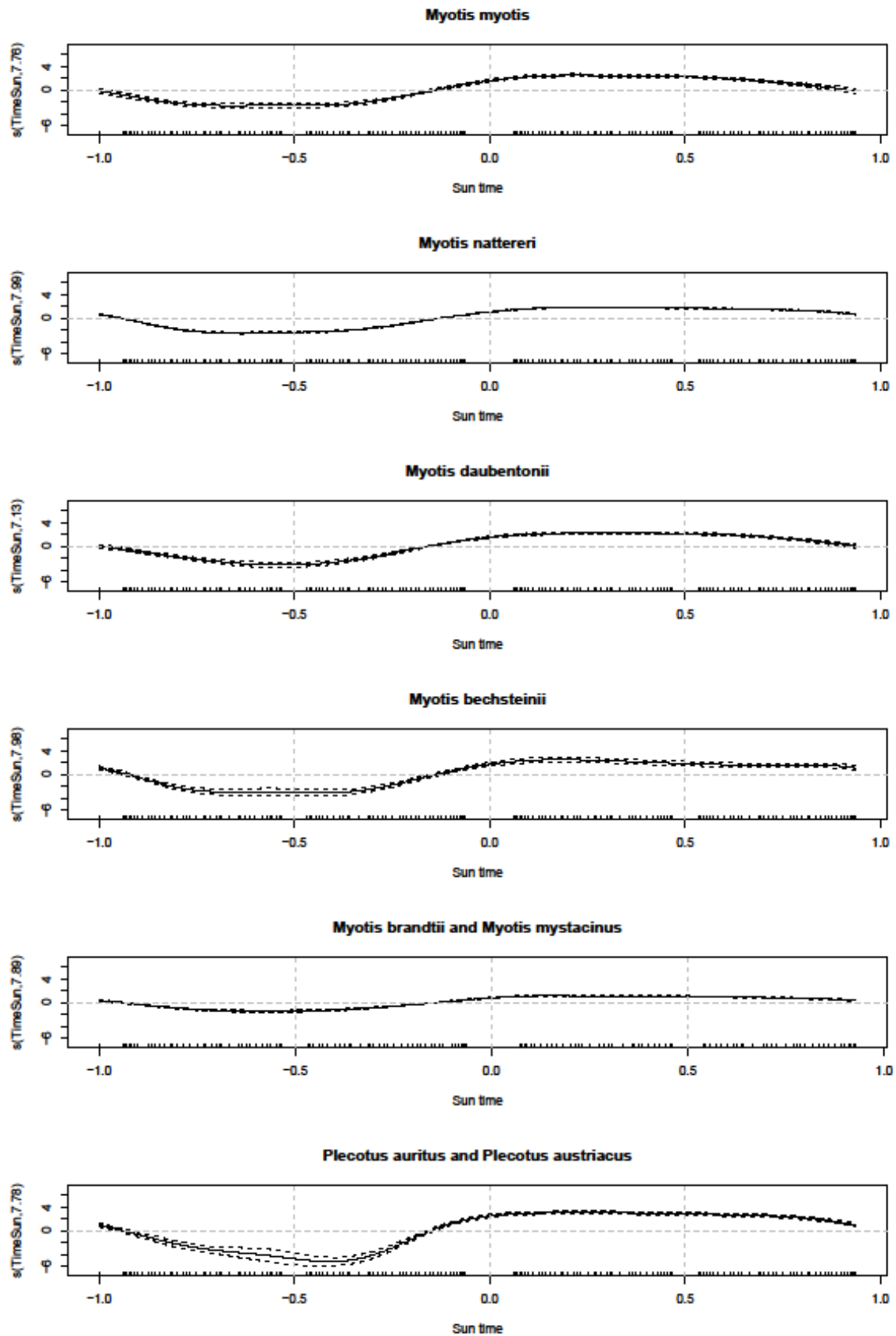


Abb. 36: Aktivitätsverteilung der jeweiligen Fledermausart in Abhängigkeit der Tageszeit im Verhältnis zum Sonnenuntergang bzw. -aufgang.

#### 4.5. Diskussion

Die Art *Myotis myotis* lässt sich von der alleimeinen Wetterlage wenig beeindrucken und fliegt auch bereits bei kühlem Wetter aus den Quartieren aus. Sie lebt in großräumigen Quartieren mit vielen Individuen und kann die positiven Effekte der Gruppenbildung nutzen. Steigender Luftdrucktrend bedeutet ein mittelfristig stabiles Wetter mit wenig Bewölkung und i.d.R. steigender Lufttemperatur. Dies ist ein Anzeichen für die Voraussetzung von „gutem“ Wetter, was die Aktivität der meisten Fledermausarten steigert. Die Aktivität bei fallendem Luftdruck („schlechtem“ Wetter) von *Myotis bechsteinii* und *Plecotus spec.* kann auf die unmittelbare Nähe der untersuchten Quartiere zu den Sommerlebensräumen hindeuten. Die Arten *Myotis bechsteinii* und *Plecotus spec.* kehren bei schlechtem Wetter zurück in die Winterquartiere, um die Zeit in einem tieferen Topor zu überdauern. Quartiergesellschaften dieser Arten sind mitunter nicht kopfstark, sodass ungünstige Witterung im Frühjahr nicht durch die positiven Effekte einer erhöhten Gruppengröße ausgeglichen werden kann.

Es zeigt sich, dass die allgemeine Aktivität bei ungünstigen Lichtverhältnissen in der Nacht durch eine helle Mondscheibe abnimmt. Bei einem hohen Mondlichtanteil und Restlicht steigt die Chance der Prädation durch nachtaktive Greifvögel. Insbesondere Arten die langsam fliegen, wie *Myotis bechsteinii* und *Plecotus spec.*, reduzieren in hellen Nächten ihre Aktivität. Die weiteren untersuchten Arten werden nicht analog beeinflusst. Der Anteil der Bewölkung vor dem hellen Mond reduziert zwar die Helligkeit, aber ist auch ein Indiz für ungünstiges Wetter. Daher hebt die Verdunklung des Mondes die Reduktion der Aktivität nicht auf.

Ein artspezifischer Unterschied in der Aktivität ist in der Zeit des Jahres (Variable „Tag des Jahres“) auszumachen. Die Aktivität aller Arten an den Eingängen zu den unterirdischen Quartieren ist um den 100. Tag des Jahres am stärksten, allerdings mit spezifischen Variationen. Während die höchste Aktivität von *Myotis myotis* rund um den 100. Tag liegt, beginnt die Aktivität der Arten *Myotis nattereri* und *Myotis daubentonii* leicht vor dem 100. Tag. Deutlich früher ist die Aktivität der Artengruppe *Plecotus spec.* Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass *Plecotus auritus* als einzige Art Mitteleuropas ein ausgeprägtes Schwarmverhalten im Frühjahr zeigt. Die Aktivität der Artengruppe der Bartfledermäuse und der Art *Myotis bechsteinii* liegt später als der 100. Tag im Jahr.

Die Aktivität im Nachtverlauf ist im Wesentlichen nicht unterschiedlich zwischen den einzelnen Arten. Allgemein beginnt die Aktivität ca. eine Stunde vor Sonnenuntergang und dauert mitunter die gesamte Nacht an. Dies zeigt, dass entweder noch Paarungsverhalten im Zugangsbereich der Winterquartiere eine Rolle spielen oder die Tiere zunächst im näheren Umkreis des Quartiers jagen.

#### 4.6. Fazit

Unsere Analysen zeigen, dass eine Reduktion des Auswertaufwandes bei der optischen Identifikation von Fledermausarten an Winterquartieren lediglich durch eine Beschränkung auf die Ausflugsphase möglich ist. Alle Arten zeigen zwischen Tag 0 und 100 eine mehr oder weniger längere Phase ohne jegliche Aktivität. Selbst die für die Langohren gemessene Aktivität ist so gering, dass sie diesbezüglich vernachlässigbar ist.

Eine weitergehende artspezifisch optimierte Auswahl von potentiellen Bildern, die während der Ausflugsphase aufgezeichnet wurden, wird durch den weitgehend unspezifischen Effekt der hierfür in Frage kommenden Determinanten zunichte gemacht, da diese insgesamt für die Aktivität einzelner Fledermausarten nur wenig spezifisch sind. Sie wirken daher nicht effizient bei der Erhöhung der Auswahlssicherheit in automatisierten Arbeitsprozessen bei der Artbestimmung ausfliegender Fledermausarten auf Fotografien (das gleiche gilt auch für den Einflug der Arten). Die fehlende artspezifische Reaktion auf die hier getesteten und bundesweit vorliegenden Determinanten (meteorologischen Daten des Deutschen Wetterdienstes) lässt eine Anwendung nicht zu. Andere potentielle Determinanten stehen bundesweit nicht in einer ähnlichen Qualität und Vergleichbarkeit zur Verfügung. Auch intrinsische Faktoren, wie die Aktivität im Jahres- und - Tagesverlauf (die „innere Uhr“), bieten keinen Ansatz, zwischen den Arten anhand von abweichenden Aktivitäten zu unterscheiden.

Das angestrebte Ziel, eine Modellierung zu entwickeln, die eine sinnvolle Datenreduktion (Stichprobe des Grunddatensatzes) liefert, wurde somit nicht erreicht. Wir sehen derzeit auch keine weitere Option, eine statistisch sinnvolle und gleichzeitig ökonomisch deutlich effektive Reduktion des Arbeitsaufwandes beim Einsatz von Fotofallen vor unterirdischen Quartieren zu erreichen. Die Definition der maßgeblichen Determinanten für die Aktivität von Fledermäusen an den Eingängen unterirdischer Quartiere lieferte dennoch einen wichtigen Beitrag zur Diskussion neuartiger Ansätze, die das Ziel der Aufwandsreduktion bei der quantitativen Erfassung verfolgen. In Absprache mit der DBU haben wir daher ein viertes Arbeitspaket installiert, das Voruntersuchungen für den Einsatz der Bioakustik in Kopplung mit Lichtschranken beinhaltet. Dies könnte über eine automatisierte Artbestimmung, wie sie heute im Jagdlebensraum der Fledermäuse eingesetzt wird, die Fledermauserfassung an Winterquartieren als Monitoringmethode doch noch effizient gestalten.

## **5. Erfassung der Fledermausbestände an Winterquartierzugängen mit Hilfe der Bioakustik - Untersuchung der Möglichkeiten einer automatisierten Artbestimmung**

Im Zuge des hier finanzierten Projekts wurde ein neuartiger Ansatz der Artbestimmung an Winterquartierzugängen entwickelt und erprobt. Während bisher bei ein- bzw. ausfliegenden Tieren nur ein Foto der Tiere gemacht wurde, haben wir zusätzlich noch die Bioakustik in das Monitoringsystem integriert. Über die Lautäußerungen der Tiere beim Durchflug durch den Zugang zu dem Winterquartier sollen einzelne Arten unterschieden werden. Die automatisierte Datenanalyse bei Audiodateien ist sehr weit entwickelt, heute stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Ein Ansatz ist die sogenannte „Feature-Selection“. Dabei werden lediglich die Werte aus einer Audiodatei ausgelesen, die für die automatisierte Bestimmung notwendig sind (z.B. lauteste Frequenz, höchste Frequenz, niedrigste Frequenz, Modulation etc.). Bei nicht-selektiven Verfahren werden den Analysealgorithmen die gesamten Dateien zur Verfügung gestellt und dem Algorithmus wird der Unterschied zwischen den Fledermausarten antrainiert (Deep-Learning). Es wird dem Algorithmus überlassen „Features“ zu finden, anhand derer, er die Arten unterscheiden kann. Mit den jeweiligen Verfahren kann die Analyse automatisiert werden und es müssen nur noch die Fotos betrachtet werden, deren automatisiertes Klassifizierungsergebnis nicht zufriedenstellend ist.

Die bioakustische Artbestimmung von Fledermäusen wurde an den Eingängen von unterirdischen Quartieren bislang nicht praktiziert. Grund hierfür ist einerseits die spezifische Ortungssituation für die Tiere, welche die Variabilität der dort ausgesendeten Ultraschalllaute stark erhöht. Andererseits erschweren die unvorhersehbaren und jeweils ortsspezifischen Reflektionen der Ultraschalllaute deren Aufzeichnung und Analyse.

Zudem muss ein akustisches Determinationsverfahren an Quartiereingängen durch zeitgleiche Fotoidentifikation qualitätsgeprüft werden. Da, wie bereits ausgeführt, bisher dieser Ansatz der Artbestimmung an Winterquartieren nicht untersucht wurde, mussten zusätzlich Verfahren entwickelt werden, eindeutige optisch-akustische Daten-/Dateipaare zu erstellen. Dazu wurde eine Steuerung entwickelt, die, ausgelöst durch ein Lichtschrankenereignis, parallel zu dem Foto die Akustik im Ultraschallbereich 0,25 Sek. vor und 0,25 Sek. nach dem Lichtschrankendurchflug als unkomprimierten *Soundfile* abspeichert. Um eine Audiodatei eindeutig einem Foto zuzuordnen zu können, wird gleichzeitig das Foto direkt von der Kamera heruntergeladen und beide Dateien werden nach dem Zeitstempel des Lichtschrankenereignisses benannt. Dadurch entstehen eindeutig Dateipaare.

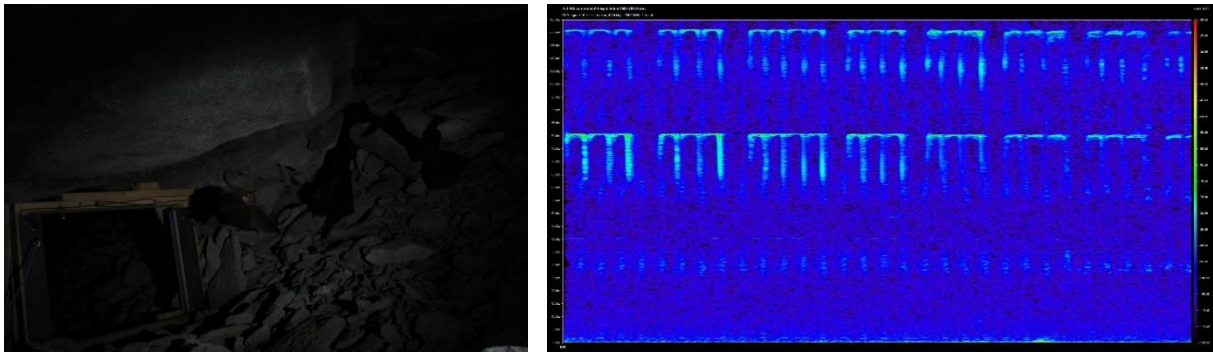


Abb. 37: Ein über den Zeitstempel eindeutig zusammengehörendes Dateienpaar. Auf der Bilddatei (links) ist die Fledermaus sehr dunkel und kaum vor dem Hintergrund auszumachen. Die gleichzeitig gemachte Tonaufnahme (hier Spektrogramm) ist klar und deutlich als Große Hufeisennase zu erkennen.

Christopher Caratiola (Universität Trier, Wirtschafts- und Sozialstatistik) hat im Zuge seiner Bachelorarbeit den Datensatz, der mit einem Prototypensystem aufgezeichnet wurde auf die Eignung für eine automatisierte bioakustische Erfassung an Zugängen zu Winterquartieren geprüft (seine Bachelorarbeit ist als Anhang II beigefügt). Im Gegensatz zu herkömmlichen akustischen Identifikationsverfahren (z.B. *Fast Fourier-Transformation*, FFT; Analyse eines zeitlich diskreten Signals durch die Zerlegung in seine Frequenzanteile) nutzte er den Ansatz der *Functional Data Analysis* (FDA) in Verbindung mit *Support Vector Machine* (SVM). Dies erlaubte es ihm, trotz eines derzeit noch limitierten Datensatzes, 80 % der aufgezeichneten akustischen Dateien sechs Arten/Artengruppen (*Myotis mystacinus/brandtii*, *M. bechsteinii*, *M. nattereri*, *M. daubentonii*, *M. myotis* und *Plecotus spec.*) korrekt zuzuordnen (Verifizierung über die Fotodateien).

Die noch vorläufigen Ergebnisse dieses Ansatzes unterstützen die Empfehlungen von Villa und Rossi (2016) zur Verwendung von Funktionstransformationen von Tonaufnahmen zusammen mit einer SVM. Die Wahl des Kernels ist ein Schlüsselmerkmal für den Erfolg der Anwendung einer SVM auf Funktionsdatenobjekte, die sie zu einer möglicherweise geeigneten Option für die Automatisierung der akustischen Fledermausartenerkennung als Unterstützung bei der Auswertung von Bildern an Fotofallen bieten. Es ist davon auszugehen, dass die Qualität der Klassifikation mit einer größeren Datenbasis weiter verbessert werden kann, insbesondere bei Arten, die in dem verwendeten Test-Datensatz selten auftraten. Zusätzliche Transformation der Daten in Basisfunktionen oder die Vorauswahl bestimmter Features erlauben es, die Datenmenge zu verringern. Die Anwendung von SVM auf rohe Toninformationen kann allerdings nicht uneingeschränkt empfohlen werden, da es eine extreme Menge an Speicherplatz und Prozessorleistung im Vergleich erfordert. Bei der Anwendung im Feld mit den besonderen Umständen eines Betriebs in einem Stollen bzw. einer Höhle spielen diese Faktoren eine wichtige Rolle, da sie die Laufsicherheit und den Stromverbrauch eines Erfassungssystems stark beeinflussen.

Dass auf Anhieb mit einem verhältnismäßig simplen Klassifizierungsverfahren 80% der Tondateien korrekt den jeweiligen Arten zugeordnet werden konnten zeigt das enorme Potential, das in diesem Ansatz steckt. Während bei vielen Arten die automatisierte Klassifizierung im Freiland eine gut erforschte und akzeptierte Bestimmungsmethode ist, ist das Heranziehen von Bioakustik an Winterquartierzugängen bisher gänzlich unerforscht. Es zeigt sich durch diesen Versuch, dass die Fledermäuse das Problem, ohne anzustoßen durch einen engen Durchgang hindurchzufliegen, artspezifisch lösen. Die Rufe gleichen nicht den Rufen, die im Freiland den Arten zugeordnet werden. Eine Referenz-Rufbibliothek zum Training des Verfahrens muss daher gänzlich neu aufgebaut werden. Das hier entwickelte Verfahren läuft stabil und bietet bisher bereits > 25.000 eindeutige

Datenpaare von mind. 8 Fledermausarten und bildet damit eine perfekte Möglichkeit, durch Einsatz automatisierter Klassifizierungsalgorithmen das Bestands-Monitoring an Winterquartierzugängen zu automatisieren.

Neben der Verringerung der Kosten für eine effiziente Monitoring-Methode bietet der Einsatz der Bioakustik in Kombination mit der automatischen Klassifizierung die Möglichkeit diverse Fledermausarten hochgradig standardisiert zu erfassen. Auch die fotografisch nicht unterscheidbaren Arten (Bartfledermäuse, Langohren) sind akustisch leichter differenzierbar. Der Ansatz ist insbesondere bei Arten vielversprechend, welche im Winterquartier nicht einsehbare Hangplätze nutzen und sich so einer direkten Zählung weitgehend entziehen (z.B. „Waldfledermäuse“: *Myotis bechsteinii*, *Myotis nattereri*, *Myotis brandtii*, *Myotis mystacinus*, *Myotis alcathoe*, *Myotis daubentonii*, *Plecotus auritus*). Da Winterquartiere von diesen Arten aber in der Regel Jahr für Jahr genutzt werden, kann der an den Zugängen erfasste Bestand für ein Populations-Monitoring herangezogen werden.

### 5.1. Fazit

Ziel muss es sein, die korrekte Klassifizierung und deren Sicherheit so hoch zu treiben, dass nur noch wenige Fotos an einer automatischen Lichtschranken-Fotofalle manuell nachbestimmt werden müssen. Das Erreichen von einer sicheren Bestimmung der Arten bei 95 % der Tondateien halten wir für realisierbar, so dass nur noch 5% aller Fotos manuell nachbestimmt werden müssten, um eine Komplettbilanz der artspezifischen Bewegungen an einem unterirdischen Fledermausquartier zu erhalten. Zudem werden sicher bestimmbare Tondateien, die via Zeitstempel mit Fotodateien gekoppelt sind, welche keine optische Artdiagnostik erlauben, den Gesamtdatensatz erhöhen und damit die Qualität der Bestandbilanz an einem unterirdischen Quartier verbessern. In Kopplung mit der in Arbeitspaket 3 abgeleiteten Beschränkung auf die Ausflugsdaten (s.o.) lässt dieser Ansatz hoffen, dass ein Monitoring kompletter Artengemeinschaften an unterirdischen Fledermausquartieren doch kostengünstig und langfristig anwendbar sein wird.

Anhang I : Genehmigung zum Fang der Fledermäuse im Kottforst/Rhein-Sieg-Kreis

Anhang II: Bachelorarbeit „Functional Form Support Vector Machines for Classification of Biodiversity Research Data“ von Christopher Caratiola

Rhein-Sieg-Kreis • Der Landrat • Postfach 15 51 • 53705 Siegburg  
Universität Trier  
Fachbereich VI  
z. Hd. Herrn Martin Koch  
54286 Trier

Amt für Natur- und Landschaftsschutz  
Bauvorhaben, Landschaftsplanung, Artenschutz  
Frau Makiolczyk  
**Zimmer:** B 2.17  
**Telefon:** 02241 - 13-3470 (nur Montag/ Dienstag)  
**Telefax:** 02241 - 13-3200  
**E-mail:** barbara.makiolczyk@rhein-sieg-kreis.de

**Datum und Zeichen Ihres Schreibens**

**Mein Zeichen**

**Datum**

67.1-1.03.20-18/14-M

08.04.2014

**Antrag vom 02.04.2014 auf Ausnahmegenehmigung und Befreiung zum Fang und zur Markierung von Fledermäusen im Bereich Naturschutzgebiet „Kottenforst“**

Sehr geehrter Herr Koch,

im Rahmen des Forschungsvorhabens „Weiterentwicklung der Freilandmethoden für das Monitoring von Fledermäusen zur Bewertung des Erhaltungszustandes von Fledermauspopulationen nach Art. 17 FFH-Richtlinie“ soll auch das Naturschutzgebiet „Kottenforst“ in die Untersuchung einbezogen werden. Zur Betretung des Naturschutzgebietes – bezieht sich nur auf die im Rhein-Sieg-Kreis gelegenen Teilbereiche in der Gemeinde Alfter, Stadt Meckenheim und Gemeinde Wachtberg - erteile ich Ihnen gemäß § 67 Abs. 1 des Gesetzes über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz- BNatSchG) vom 29.07.2009 (BGBl. I 2542) in der geltenden Fassung in Verbindung mit der ordnungsbehördlichen Verordnung über das Naturschutzgebiet „Kottenforst“ vom 11.04.2004 (Amtsblatt für den Regierungsbezirk Köln Nr. 17 vom 26.04.2004) die Befreiung von den entsprechenden Verboten des Bundesnaturschutzgesetzes sowie der vorgenannten Verordnung.

Wie aus Ihrem Antrag hervorgeht, soll in den Monaten Mai bis Oktober monatlich ein standardisierter Netzfang mit Japannetzen durchgeführt werden. Gefangene Tiere sollen mit Armklammern der Beringungszentrale für Fledermäuse am Zoologischen Forschungsmuseum Koenig (ZFMK), Bonn, markiert werden. Sie verweisen auf die im Anhang zu Ihrem Antrag genannten Methoden, die bei der Umsetzung des Forschungsvorhabens angewendet werden. Wie Sie bereits in Ihrem Antrag ausführen, wird darauf geachtet, möglichst geringe Störungen zu verursachen. Die Telemetrie soll von kleinen Teams von jeweils 2 Personen durchgeführt werden. Bei Netzfängen wird die Teilnehmerzahl auf 6 weitere Personen begrenzt bleiben. Zur Durchführung der genannten Maßnahmen erteile ich Ihnen gemäß § 45 Abs. 7 Nr. 3 BNatSchG die Ausnahmegenehmigung von den Verboten des § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG.



Behindertenparkplätze  
befinden sich vor dem  
Haupteingang (Zufahrt  
Mühlenstraße und im  
Parkhaus P 10 Kreishaus

Dienstgebäude Kaiser-Wilhelm-Platz 1  
53721 Siegburg  
Tel. (0 22 41) 13-0  
Fax (0 22 41) 13 21 79  
Internet: <http://www.rhein-sieg-kreis.de>

Konten der Kreiskasse  
001 007 715 Kreissparkasse Köln (BLZ 370 502 99)  
IBAN: DE 94 3705 0299 0001 0077 15  
SWIFT-BIC: COKSDE33  
38 18 500 Postbank Köln (BLZ 370 100 50)



Die Befreiung und Ausnahmegenehmigung sind befristet auf **die Monate Mai bis Oktober in den Jahren 2014 bis einschließlich 2018** und gelten für folgende Personen:

Dr. A. Kiefer, Biogeographie Universität Trier, Universitätsring 15, 54296 Trier;  
Dipl.-Forstwiss. Martin Koch, Rücksgasse 18, 53332 Bornheim und  
jeweilige Helfer.

Die Befreiung ist gemäß § 9 des Gebührengesetzes für das Land Nordrhein-Westfalen (GebG NRW) in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.08.1999 (GV. NRW. 1999 S. 524) in der zur Zeit geltenden Fassung gebührenpflichtig. Gemäß Gebührentarif Nr. 15b.8.1 der Allgemeinen Verwaltungsgebührenordnung des Landes Nordrhein-Westfalen (AVerwGebO NRW) vom 03.07.2001 (GV.NRW.S. 262/SGV. NRW 2001) in der zur Zeit geltenden Fassung ist für die Entscheidung über eine Befreiung nach § 67 BNatSchG eine Verwaltungsgebühr von 30,00 bis 5.000,00 € zu erheben. Die Gebühr wird auf **60,00 €** festgesetzt.

Die Erteilung einer Ausnahme ist ebenfalls gebührenpflichtig. Gemäß Gebührentarif Nr. 15b.1 der Allgemeinen Verwaltungsgebührenordnung des Landes Nordrhein-Westfalen (AVerwGebO NRW) vom 03.07.2001 (GV.NRW.S. 262/SGV. NRW 2001) in der geltenden Fassung ist für die Entscheidung über eine Ausnahme von den Verboten des § 44 Abs. 1 BNatSchG eine Verwaltungsgebühr von 30,00 bis 5.000,00 € zu erheben.

Die Gebühr wird gemäß § 9 GebG NRW in Verbindung mit der Tarifstelle 15b.1 AVerwGebO NRW auf **50,00 €** festgesetzt.

Auf die Zahlung der Gebühren in Höhe von **110,00 €** wird gemäß § 3 AVerwGebO verzichtet, wenn mir das Ergebnis der Untersuchung zum **31.12. eines jeden Jahres** – spätestens jedoch nach Ablauf der Genehmigung - kostenfrei zur Verfügung gestellt wird. Sollte das Untersuchungsergebnis nicht bis spätestens **31.03.2019** hier vorliegen, sind die Gebühren innerhalb von 4 Wochen nach Ablauf der gesetzten Frist auf eines der unten stehenden Konten der Kreiskasse des Rhein-Sieg-Kreises unter Angabe des **Buchungszeichens**

**3900.001.0751**

zu überweisen.

Wird die Verwaltungsgebühr nicht oder nicht fristgerecht gezahlt, so wird diese im Verwaltungsverfahren beigetrieben.

Ich weise darauf hin, dass ggf. nach § 18 Abs. 1 des Gebührengesetzes für das Land Nordrhein-Westfalen (GebG NRW) vom 23.08.1999 in der zurzeit geltenden Fassung bei verspäteter Zahlung ein Säumniszuschlag zu erheben ist und nachgefordert wird. Der Säumniszuschlag beträgt für jeden angefangenen Monat der Säumnis eins vom Hundert des auf volle fünfzig Euro abgerundeten Kostenbeitrages.

Gemäß § 4 der Allgemeinen Gebührenordnung für das Land Nordrhein-Westfalen sind Bruchteilbeträge jeweils auf halbe und volle Eurobeträge nach unten abzurunden.

Ich bitte, bei Durchführung der Maßnahme diesen Bescheid bzw. eine Kopie dieses Bescheides mitzuführen und auf Verlangen den entsprechend autorisierten Personen (z. B. Mitarbeiter der Forst- oder Ordnungsämter, Landschaftswarte usw.) vorzulegen.

Ich bitte darauf zu achten, dass durch das Betreten der Flächen abseits von Straßen und Wegen keine Schäden an Fauna und Flora entstehen.

Dieser Bescheid ersetzt nicht nach anderen Vorschriften erforderliche Erlaubnisse oder Genehmigungen und ergeht ferner unbeschadet der Privatrechte Dritter. Insbesondere ersetzt dieser Bescheid nicht die Zustimmung eventuell betroffener privater Grundstückseigentümer.

## **Rechtsbehelfsbelehrung:**

### **1. Bescheid**

Gegen diesen Bescheid können Sie innerhalb eines Monats nach Bekanntgabe Klage beim Verwaltungsgericht in 50667 Köln, Appellhofplatz, erheben. Die Klage ist entweder schriftlich oder zur Niederschrift des Urkundsbeamten der Geschäftsstelle einzulegen. Wird die Klage schriftlich erhoben, so sollten ihr zwei Durchschriften beigefügt werden. Die Frist wird bei schriftlicher Klageerhebung nur gewahrt, wenn die Klageschrift vor Fristablauf bei Gericht eingegangen ist.

Die Klage kann auch in elektronischer Form nach Maßgabe der Verordnung über den elektronischen Rechtsverkehr bei den Verwaltungsgerichten und den Finanzgerichten im Land Nordrhein-Westfalen vom 07.11.2012 (ERVVO VG/FG) bei der elektronischen Poststelle des Verwaltungsgerichts Köln eingereicht werden. Informationen über das Verfahren und die Voraussetzungen sind über [www.justiz.nrw.de](http://www.justiz.nrw.de) erhältlich.

Für den Fall, dass die Frist durch das Verschulden eines von Ihnen Bevollmächtigten versäumt werden sollte, würde dessen Verschulden Ihnen zugerechnet werden.

### **2. Gebühren**

Gegen diese Entscheidung können Sie innerhalb eines Monats nach Bekanntgabe Klage beim Verwaltungsgericht in 50667 Köln, Appellhofplatz, erheben. Die Klage ist entweder schriftlich oder zur Niederschrift des Urkundsbeamten der Geschäftsstelle einzulegen. Wird die Klage schriftlich erhoben, so wird die Frist nur gewahrt, wenn die Klageschrift bis zum Ablauf der angegebenen Frist beim Gericht eingegangen ist.

Die Klage kann auch in elektronischer Form nach Maßgabe der Verordnung über den elektronischen Rechtsverkehr bei den Verwaltungsgerichten und den Finanzgerichten im Land Nordrhein-Westfalen vom 07.11.2012 (ERVVO VG/FG) bei der elektronischen Poststelle des Verwaltungsgerichts in Köln eingereicht werden. Informationen über das Verfahren und die Voraussetzungen sind über [www.justiz.nrw](http://www.justiz.nrw) erhältlich.

Sollte die Frist durch das Verschulden eines Bevollmächtigten versäumt werden, so wird dessen Verschulden Ihnen zugerechnet.

Die Klage hat gemäß § 80 Abs. 2 Satz 1 Nr. 1 der Verwaltungsgerichtsordnung (VwGO) vom 19.03.1991 (BGBl. I S. 686) in der zurzeit geltenden Fassung bei der Anforderung von öffentlichen Abgaben und Kosten keine aufschiebende Wirkung. Zu den öffentlichen Abgaben und Kosten zählen auch Verwaltungsgebühren. Dies bedeutet, dass Sie auch, wenn Sie Klage erheben, zur fristgerechten Zahlung der Gebühren verpflichtet sind.

Sie können jedoch beim Landrat des Rhein-Sieg-Kreises, Kaiser-Wilhelm-Platz 1, 53721 Siegburg, Abteilung 67.1, Zimmer B 2.17, einen Antrag auf Aussetzung der Vollziehung stellen.

Ein Antrag auf Anordnung der aufschiebenden Wirkung der Klage beim Verwaltungsgericht in Köln ist gemäß § 80 Abs. 6 VwGO nur zulässig, wenn zuvor der Antrag auf Aussetzung der Vollziehung von meiner Behörde entweder ganz oder teilweise abgelehnt wurde oder ohne Mitteilung eines ausreichenden Grundes in angemessener Frist nicht entschieden wurde oder eine Vollstreckung droht.

Mit freundlichen Grüßen  
Im Auftrag  
gez. Makiolczyk

# Functional Form Support Vector Machines for Classification of Biodiversity Research Data

A Functional Analysis Classification of bat sound profiles

Christopher Caratiola

March 20, 2018

## Abstract

In the time of the so called sixth mass extinction (Caballes, G. et.al. 2015) interest in the collection of biodiversity data increased. With the technical advances in micro computing and cheaper electronics this recordings of biodiversity the quantity of data in this field have increased extremely over the past years. This calls for modelling approaches that allow to automate some of the data processing, handling big datasets. This article explores the possibility of using functional data analysis to build a classification model allowing for the distinction of bat species using sound recordings via support vector machines. The FDA framework has proven suitable to handle high quality sound recordings. It was possible to classify 80% of the 6 species in the test set correctly.

**Keywords:** Support Vector Machine, Echolocation, Functional Data Analysis, Biodiversity

## Introduction

Scalar based statistical analysis neither exploit important features of the sound profile that might well be essential nor can it handle several hundred thousands of observation per recording appropriately. Therefore, methods from the field of functional data analysis (FDA) were applied that might allow for classification of complex sound information. The idea is to adopt the FDA understanding of data and to train a support vector classifier using transformations of the audio data that showed good results in speech recognition (cf. Rossi and Villa 2006). One might think of an language detector for bats to distinguish them by the calls.

As the sounds bats produce for location are complex and not logically self-explaining, aspects of acoustics relevant in this context are introduces in chapter 1. Followed by a short introduction to the idea of FDA in section 3. In the section 4 the applied methods used to make the sound information statistically accessible for an functional adapted operating support vector machine are presented.

Roughly sketched, the .wav sound information were transformed into smooth curves based on Fourier series and B-splines basis expansion which are most comen for such cases. After investigating some features an adapted support vector classification model, proposed by Rossi and Villa (2006) were applied . 582 by hand classified sound sample were available for a test set. In the section 6 the success of the FDA based classification model are tried to be evaluated comparing different approaches. The data are short on some species, therefore the dataset was divided only into 2 parts evaluating their predicted power on the other half respectively.

# 1 Data collection

As part of a project at the University of Trier regarding the research of biodiversity of bat species, several bat caves were equipped with an echo microphone and camera, activated by a light trap. The entries'/exits' diameter was reduced to ensure the bats will use echo locating extensively and near the microphones. After activating the light trap, a photo is shot and the microphone started recording echo sound with 250000Hz for 0.67 seconds, resulting in .wav data file with an 16 bit sound and about 170000 sampling points .

A working classification model would allow to automate or at least accelerate biodiversity data processing and structuring for animals using echolocation. At present state, skilled members of the Department review the tuples of sound and picture to match the sound recordings with the race of the bat. This process is timely and expensive considering many recording places over a long period of time with possibly thousands of flights a day. Matthias et.al. (2016) reports 1270 bat species world wide, though the *NABU*, one of German national nature preservation NGOs, counts only 25 still existing, but threatened Bat species in Germany. The following web page provides audible recordings of the German bat species at hunt flight: <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/saeugetiere/fledermaeuse/arten/index.html>.

Researcher and hobbyists already use devices called Bat detectors to locate and identify bats. This is possible, because different Bat species developed distinctive different echo sound strategies depending on hunting style and pray (cf. Jacobs, 2016, f.14). It is less clear how distinctive these calls are when the bats are navigating rather than hunting.

Jacobs (2006) distinguishes two main components of bat calls: frequency-modulated (FM) and constant-frequency (CF). FM being good for target detection on larger range. CF, with a low broadband and lower range is used for target localization and classification. When bats navigate through the caves without the intention of hunting the composition of FM and CF components

might be different then at hunting out in the open.

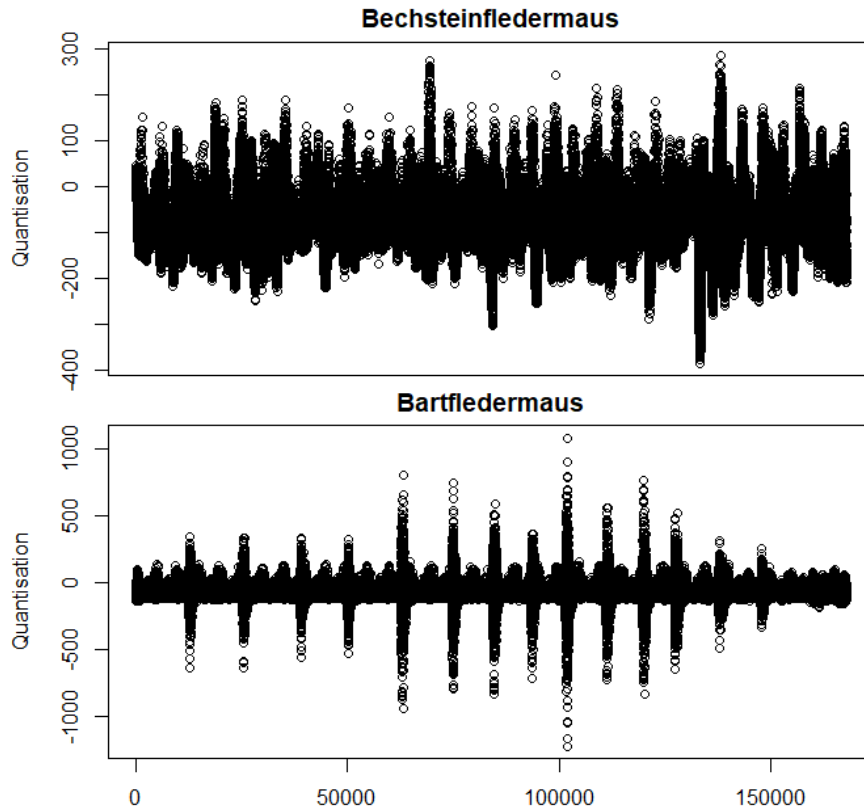


Figure 1

The figure 1 shows the recorded data of two Bat species in comparison. While it is possible to see distinctive differences as in the range of the quantisation and the pattern, the amount of points display does not allow seeing finer structures. Because Bat audio data are too dense in information to be handled with common classification models the functional data analysis (FDA) framework is chosen. FDA allows the use of derivatives of the data, allowing to use more features of the data than the vector based methods would. Here important, it is also a form of data reduction, more details in chapter 3.

Table 1 shows the number and species of the bat that were part of the dataset.

Table 1: Number of Bat by Species in the Data

Species German	Latin	Number of records
Bartfledermaus	Myotis brandtii	113
Bechsteinfledermaus	Myotis bechsteinii	104
Fransenfledermaus	Myotis nattereri	163
Langohrfledermaus	Plecotus	196
Mausohr	Myotis myotis	4
Wasserfledermaus	Myotis daubentonii	5

A problem of the data for machine learning techniques for classification is the small amount of records available for the "Mausohr" and the "Wasserfledermaus". For this reason the dataset was only divided into 2 groups, ensuring that at least one record of each species is available in each set for training and testing respectively.

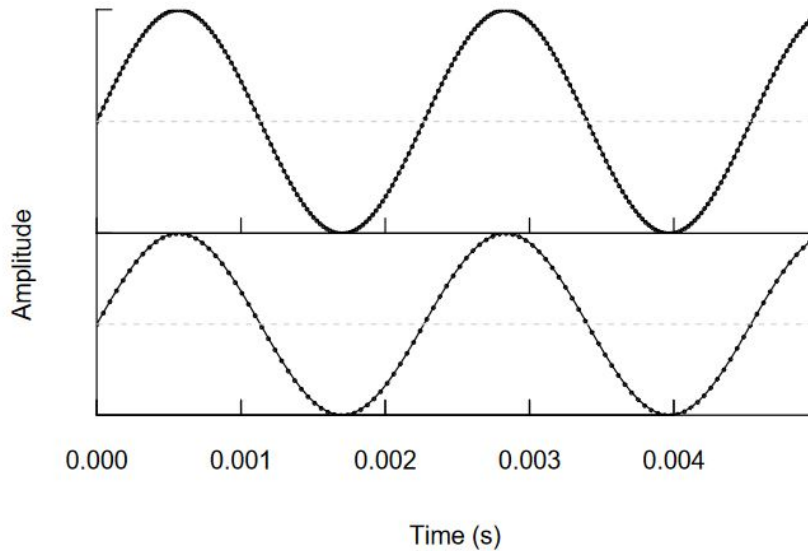
## 2 Digital Sound

This section is dedicated to readers that never work with sound information to provide some minimum information and vocabulary.

Bats generate sound using their larynx and vocal cords, creating sound-pressure-waves that travels through the air. Depending on the purpose of the call these calls will be different (cf. Jacobs, 2016, f.13).

The sampling rate is the digital representation of the frequency of a sound and bit depth of the volume of a sound. Only with both features a sound can be reproduced based on digital recording. When sound is digitally recorded only recordings of moments along the sound wave are made, although in high frequency. Therefore, digital recording are generally a discrete process as shown in figure 2. The frequency expresses how often in one second the sound is measured. The bat recordings used in the analysis had a sample frequency of 250000 measures per second, stored as a "wav." file. For reference, the most common music frequency is played with 44100Hz. The high sample rate of sound recordings make them a well suited source for the transformation into functions in the first step of functional analysis. On the other hand side the detailed

Figure 2: Sampling Rate of Digital Sound: 44.1 kHz (top) and 22.05 kHz (bottom)



See Jérôme Sueur 2018

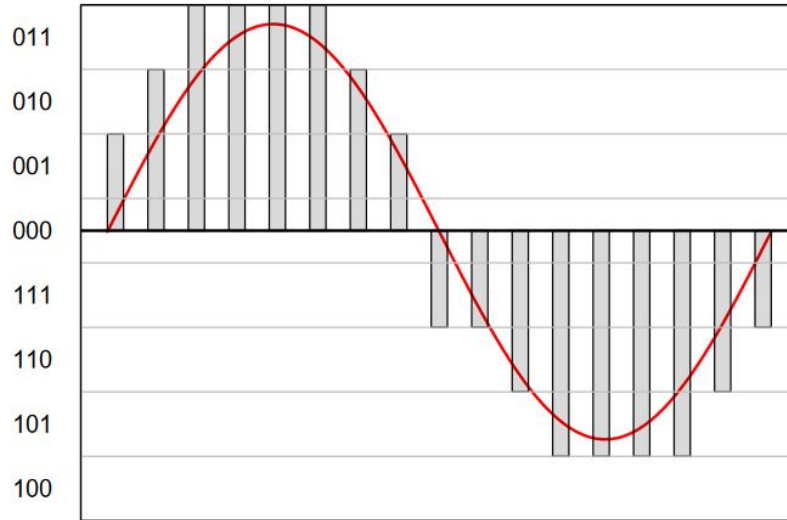
sound profile also shows background noise and echoes. This low signal to noise ratio might have background noises overlap with the interesting features (cf. Ramsay, 1997, ff. 42).

Another important feature highlighted in this article is the quantisation, the process of assigning value to the sample points of the digital recording. The values are constructed according to the amplitude, a feature of the analogue sound. A measure of amplitude is based on the bit depth, the digital representation. It measures the volume of a sound. This is relevant because it describes the range in which the values of a sound profile exist. This is used as an important distinction in the curves in the classification, which vary between  $(-100, 100)$  and  $(-1000, 1000)$ .

The bat recordings follow are 16 bit systems.  $2^8$  values around 0 can assigned. A high bit quantisation produces finer steps, allowing for finer distinction along the volume of sound. Looking at the picture ?? shows exemplary 16



Figure 3: Example of Quantisation value by Bit Rate



See Jérôme Sueur 2018

chunks per wave (cf. Jérôme Sueur, 2018, f.3).

From an statistical point of view this two features of sound will suffice for the later modelling. While the initiation of FDA usually follows the same steps, the nature of sound data require stressing certain aspects in the coming sections. This and the general idea of FDA is provided in the next section.

### 3 Idea to Functional Data Analysis

FDA is prominently used in medical and psychological science. A meta study on FDA revealed that 85% of articles published from 1995 to 2010 using FDA stem from these fields (Ullah, 2013, f.1). This article aims to present the power of using FDA also in the context of biology. Such the FDA framework might not be present to all readers from statistics and biology, this section will state the idea behind FDA. Readers familiar with FDA might skip this section.

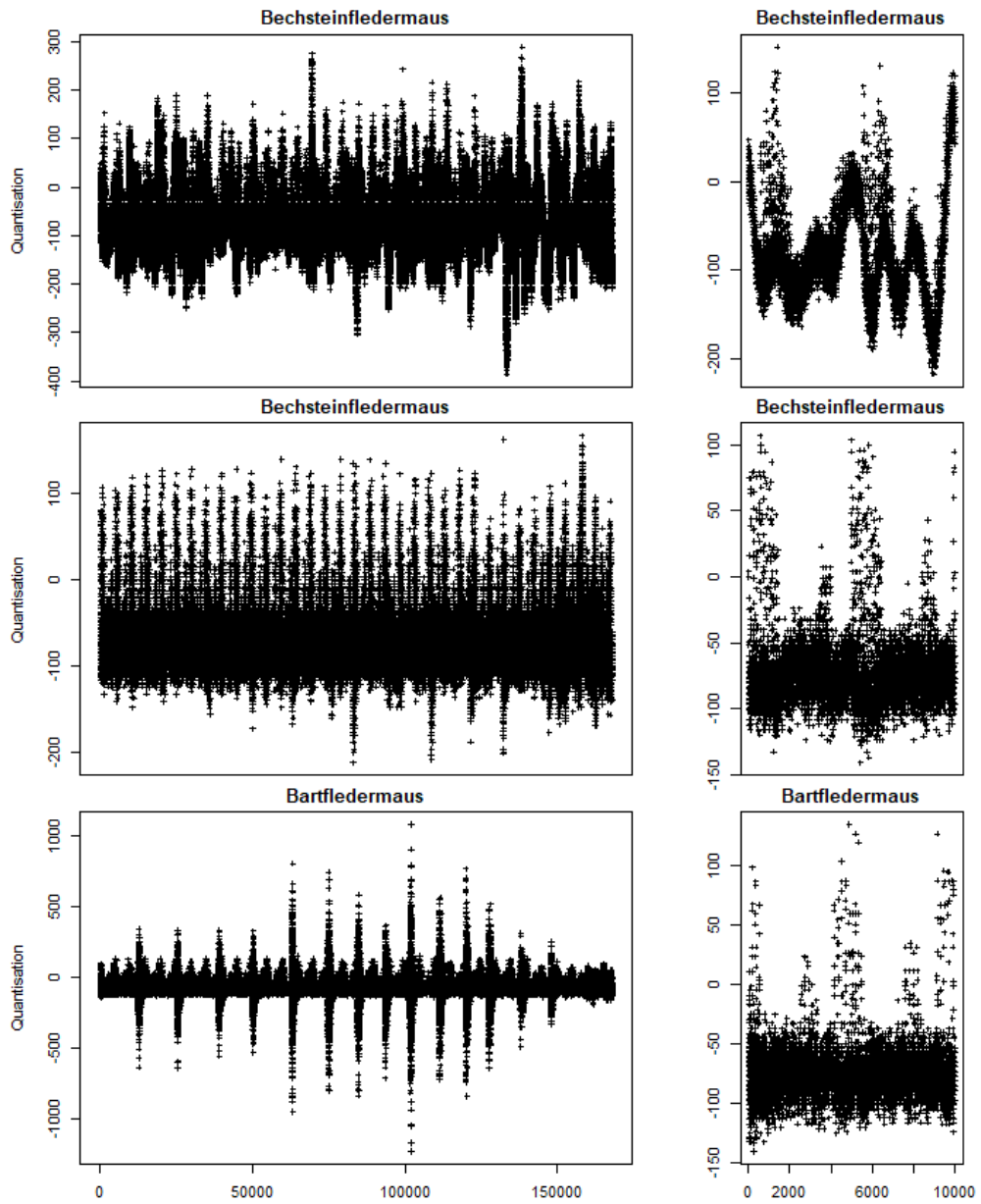
All that functional data analysis come down to is to acknowledge an essential change in the perspective of what observations are taken for. In FDA, data points are solemnly the discrete representation of a truly continues process. Ramsay and Silverman (1997) call it the basic philosophy of FDA (cf. 10 ff.). The use of FDA is therefore limited in application to situation in which data of multiple subjects are available along a continuum, such as time or space. Further the nature of the process to be continues themselves should be arguable from theory, as the methods used can basically be applied to any data, but will only be meaningful when the underlying process is indeed continuous (cf. Levetin, 2007, ff.141). This dimensional increase that follows logically makes drawing of inference a bit more difficult. In case of e.g. linear regression the statistician will be confronted to explain the meaning of a coefficient function rather than a coefficient value. This slight change of perspective has huge implications. While not all data provide the necessary information to use FDA, it it be easy to see that the functional form allow for extreme flexible modelling with few constrains. The possibly greatest advantage of FDA is, it will allow us to consider derivatives and as such grants us access to acceleration and velocity of the sound information, which might provide valuable information to classification. Basically any traditional modelling approach can be expanded to the functional representation. For a deeper reading into FDA the book of Ramsay ans Silverman (1997) offer an theoretical introduction and of Ramsay, Hooker and Graves (2009) for a introduction in to application of FDA in R and Matlab. The first step generally is to transform the discrete points into part wise functions shown in the next chapter.

### **3.1 Data transformation**

The original data are extremely dense with 170000 Points in the span of less then a second. Reviewing the data in a plot like in figure 4 with a standard HD monitor allow not to see fine patterns but more a black wall. But when we zoom in the data and review a subset a more general pattern becomes visible.

Figure 4: Comparison of Raw Data of three Bat Species

[h]



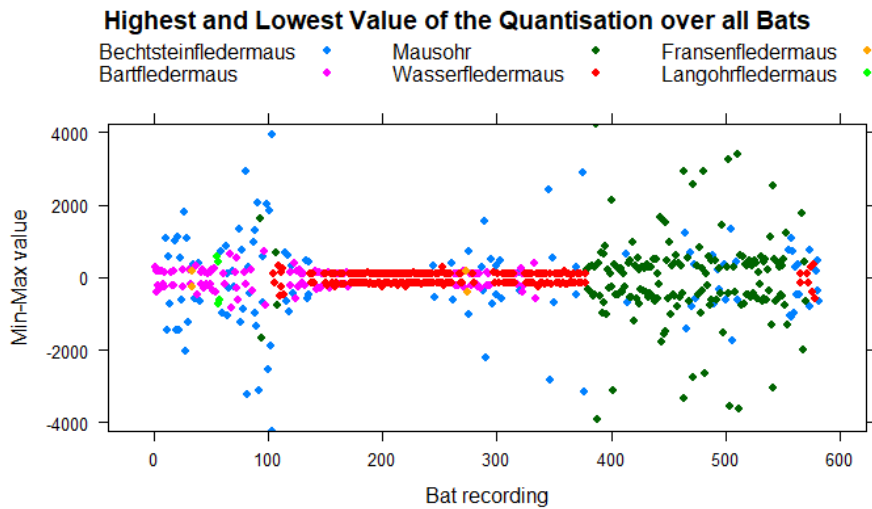


Figure 5

It can be seen in figure 4 that on a closer look the same bat species will look quite different and different species might look much alike. Visual categorisation based on a simple scatter plot is not possible. But when we only look at some features of the data like the highest and lowest quantisation values of each call we can already see groups.

Some groups overlap greatly so a direct classification is not possible. To overcome this issue support vector machines are used here. Therefore support vector classifiers are trained to exploit the kernel trick, after mapping the data in higher spaces where they might be separable. Support vector machines are discussed in detail in section 4.

In a first step these discrete data are transformed into a piecewise connected function. This is done with both, the Fourier transformation and with b-splines. In the same step the data were smoothed. The following graphs in figure 6 show two types of bat exemplars, transformed with the Fourier series with 21, 101 and 401 basis functions respectively.

It can be seen that the number of basis functions in both cases has an impact on the intensity of the smoothness. While 21 basis functions do not suffice to make differences, 101 smoothed basis functions already show distinctive features.

### Fourier Basis Expansion with 21,101 and 401 Basis Functions

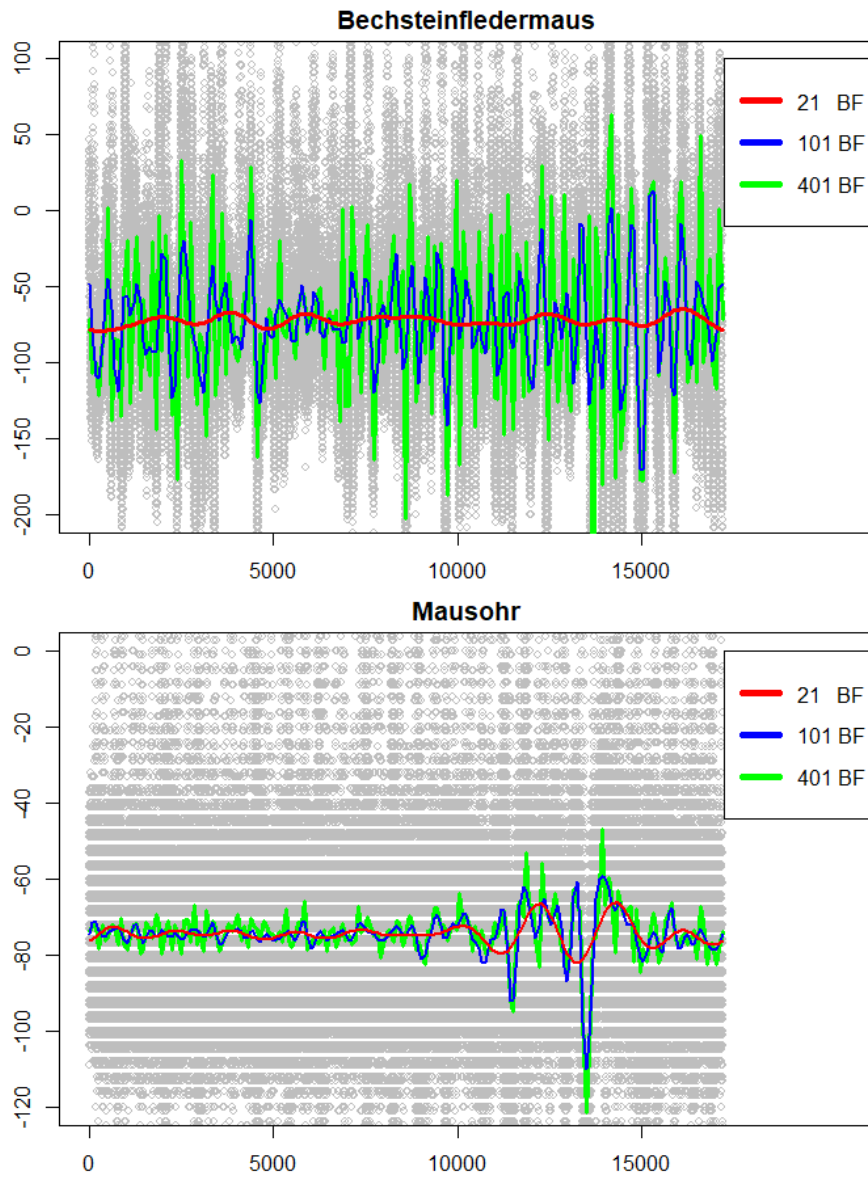


Figure 6

## 3.2 Smooth Functions

An algorithm developed in EPFLs School of Computer and Communications Sciences makes it for example possible to map a room using just four microphones. Also demonstrating that echo form the initial Echo impulse depend on the surroundings. The pictures earlier showed that in the raw form no fine patterns are visible. While dense data are a good basis to construct function on them, it is also a curse. The echo microphones do not only record the initial call, they also record the background noise and all the echoes from the initial call and those map the space around the microphone from these echoes. To clean the data, reduce the amount of information and yield specific patterns from the bat species the basis functions are smoothed. The fitting criterion for the basis function is the weighted least squares, and smoothness was yielded in terms of a roughness penalty. The Fourier series is based on sin and cos functions which are naturally close to sound patterns from the idea. Later they are also compared to B-splines and using the direct data for classification.

## 4 Classification: Support Vector Machines

The general idea of support vector classification is to transform the input data into a high dimensional feature space for which the classes become linear separable. To avoid computational intensive solving of complex optimization problems a Kernel is chosen for approximation. This chapter will roughly sketch the procedure used in the application. For further reading into functional classification see Biau et.al. (2005). The Support Vector machine is a Structural Risk Minimization (SRM) algorithm. Allowing binary categorisation:

$$G(X) = \text{sign}[x^T \beta + \beta_0]$$

The R package "e1071" uses the libsvm library constructing 6 one against all categorisation for the 6 bat species in this application. The optimal separating

plane is one which maximises the margin under constrains. By solving the Lagrangian:

$$\min \frac{1}{2} \|\beta\|^2 + C \sum_{i=1}^N \xi_i \text{ subject to} \quad (1)$$

$$y_i(y_i^T \beta + \beta_0) \geq 1 - \xi_i \forall \rightarrow \text{ratio of false assignment} \quad (2)$$

$$\xi_i \geq 0, \sum \xi_i \geq \text{const} \rightarrow \text{non-negativity.} \quad (3)$$

This way a non-linear separating hyper plain in the input space can be a linear separating hyperplane in the high dimensional feature space. To reduce the computational effort the high dimensional transformations are not evaluated but approximated by Kernels such as: Polynomial-, Gauss Radial Basis-, Splines-, Tensor Product-Kernel and others.

## 5 Functional SVM

Fabrice Rossi and Nathalie Villa (2006) brought together SVM classification and functional data. They show that the classical SVM theory is easily adapted to functional data by assuming the input space to be a Hilbert space. This problem is solved by representation methods that allow to work in finite dimensional spaces to work on the Hilbert spaces assumption without problems. The second option are regularization approaches, reducing the complexity by applying smoothness constrains, for example principle component analysis. Thus the classical SVM can be rewritten in terms of inner products in a arbitrary Hilbert space:

$$\min_{w,b} \langle w, w \rangle \quad (4)$$

$$\text{s.t. } y_i(\langle w, x_i \rangle + b) \geq 1, 1 \leq i \leq N, \quad (5)$$

This is called the hard margin SVM, allowing for no wrong assigned classification, but many situations are not perfectly linearly separable leading to over

specification. The more frequently used method is the soft margin classifier, introducing a slack variable  $\epsilon_I$  and a regularization parameter  $C$ :

$$\langle w, w \rangle + C \sum_{i=1}^N \epsilon_I \quad (6)$$

$$y_I(\langle w, x_I \rangle + b) \geq 1 - \epsilon_I, 1 \leq I \leq N, \epsilon \geq 0, 1 \leq I \leq N. \quad (7)$$

$C$  expresses the “costs“ of violating the hard margin constraints. Problems with the assumption of Hilbert Spaces can already happen for comparably easy models like linear regressions that are solved by the inverse of the matrix  $X$ . The covariance can be found to be a Hilbert-Schmidt operator with no continuous inverse (see Rossi and Villa (2006)).

Given a  $\mathbb{K}$  can be constructed, such that it is symmetric and positively defined meaning:

- for every:

$$N, x_1, x_N \text{ in } \mathbb{H}, \text{ and } \alpha_1, \alpha_N \text{ in } \mathbb{R}, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j K(x_i, x_j) \geq 0, \quad (9)$$

the Moor-Aronszajn theorem shows, a Hilbert space and a feature map exists such that the Kernel is a correct approximation of the inner product of the mapped data in a Hilbert Space :

$$K(x_i, x_j) = \langle \rho(x_i), \rho(x_j) \rangle_{\mathbb{H}}.$$

This rather mathematical property in essences means that Kernels might be successfully used for SVM, also in a functional perspective. But several examples of SVM for sound files can be found that worked successfully, see for example Villa and Rossi (2006) Example 2.



## 5.1 Functional Kernel

Rossi and Villa (2006) suggest a software implementation using numerical quadrature to calculate the inner products in  $L^2(\mu)$ . Such an adoption allows using standard Kernels for functional data, but make no further use of the functional nature of the input data. While hard-margin classifier usually have no practical application, for infinite-dimensional Hilbert spaces it always has a solution.

The bat calls are recorded in great density, such background noise and echos, sensible to the surrounding are recorded as well. A hard margin classifier appears infeasible. The figure 6 shows that the smooth curves cancelled many of the additional noise. Rossi and Villa (2006) suspect linear SVM to perform poorly for functional data which can be backed up by the results for bat classification presented in the next chapters. In reaction non-linear SVM were used to classify the sound functions, using adapted Kernels (cf. Rossi and Villa, 2006, f. 733). As many standard Kernels often are based on the Hilbert Structure they could also be used for functional data, such as the Gaussian-Kernel. The radial basis kernel is such a Gaussian kernel provided by the R package "Kernlab" and is part of the results compared to different Kernels in the next chapter.

## 6 Comparison of simple SVM results

Applying a support vector machine to the original data set with 170000 points is generally possible, in this case for 291 records it requires about 101 Gb of Ram of this method. This is for most personal computers an unreasonable amount of resources and could not be performed in this application.

To show some differences to the functional models a support vector machine was applied on the raw data, once for the first 5000 points and secondly for the first 15000 points.

Table 2: SVM on Raw Data

Kernel	Group	Number of Points	Correct Prediction	Number of Points	Correct Prediction
Linear	1	5000	30.14%	15000	28.86 %
Linear	2	5000	31.61 %	15000	24.05 %
Polynomial	1	5000	27.49%	15000	26.8%
Polynomial	2	5000	26.46%	15000	26.46%
Sigmoid	1	5000	25.77%	15000	27.14%
Sigmoid	2	5000	26.11%	15000	28.17%

Interestingly extending the amount of data did not improve the prediction quality. Overall predicting about 30 % of the species correct is not sufficient to rely on. The following table provides the prediction qualities when the data were transformed into 101 basis functions first, using the basis functions parameter values in the SVM.

Table 3: Classification using Basis Functions under different Kernels

	Kernel	Group 1	Group 2
Fourier Series	Linear	24.74%	27.83%
	Polynomial	27.83%	27.14%
	Sigmoid	51.20 %	54.63%
B-Splines	Linear	59.10%	58.76%
	Polynomial	27.14 %	26,80 %
	Sigmoid	52.23%	54.63 %

It can be seen from table 3 that the classification quality can be improved by employing basis function, but the result depends greatly on the used kernels. It was possible just by transforming the input data into basis function to almost double correctly predicted records when using a linear kernel with B-splines or a sigmoid kernel with either basis expansion. Still 50-55 % correct classifications are not extremely good. The fact that linear Kernel performed as bad as a standard support vector machine on a subset of the data support the suggestions by Villa and Rosi (2006). An advantage of the SVM on the functions is that only 101 values are evaluated, thus it is possible to try a great amount of different Kernels. Interestingly with b-spline basis functions the prediction worked a bit better then with Fourier basis functions specifically under linear Kernels.

Using the proposals of Villa and Rossi (2006) by employing a Gaussian kernel

Table 4: Classification under Gaussian Kernel

Kernel	Group 1	Group 2
Fourier Series	73.38%	74.22%
B-Splines	75.94%	79.72 %

using the package "Kernlab" the correctly classified records can be improved greatly. When employing a support vector classifier with radial basis kernel 73.38% and 74.22% if the records were classified correctly for each half of the dataset respectively. This is a create increase in predictive power compared to classical kernels and to SVM of the raw data. When more records are available specifically for rare bats to cover them more appropriately. While adding the highest recorded value from the figure 5 the Fourier series based SVM could not be improved. The B-Spline based SVM has improved by about 5% for both groups up to 80.7% and 85.5%. It seems that against intuition B-splines allow for better classification for echo sound of bats but the greatest improvement is possible when kernels are used that work with functional data like the radial basis kernel.

## 7 Conclusion

The results support the recommendations by Villa and Rossi (2016) to use function transformations of sound records together with a SVM under Gaussian (radial basis) kernel. The choice of the kernel is a key feature to the success of applying a support vector machine on function data objects making it a possibly suitable option for the automation of bat species recognition or at least provide assistance in the evaluation of pictures. It might be assumed that the classification quality will further improve with larger data basis, specifically of species that were rare in the used dataset. Additionally transformation of data into basis functions allows to decrease the data quantity. While fitting basis function to the sound records might take a while, the evaluation of the support vector machines afterwards are performed in an instance, only evaluation 101

values per record. Application of SVM on raw sound information can not be recommended it requires an extreme amount of storage and yield comparably bad results.

One specifically powerful element of functional representation of data is the ability to use differentials. While this is not presented here these elements might provide even better quality or interesting additional information for SVM classification in a next step. To improve the data preparation, methods of feature alignment might improve the similarity of species. With the complexity of the echo calls of bats these does require some expert knowledge on the FM and CF modulation of each species.

## 8 Bibliography

*Biau, Gerard,; Bunea, Florentine and Wegkamp, Marten H.*(2005):” Functional Classification in Hilbert Spaces”,IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 51, pp. 2163-2172..

*Ceballos, Gerardo; Ehrlich, Paul R. ; Barnosky, Anthony D. ; Garca, Andrs ;Pringle, Robert M. and Palmer, Todd M.* (2015): ”Accelerated modern humaninduced species losses: Entering the sixth mass extinction”, In: Science Advances, Vol.1, No. 5.

*Herkt, K. Matthias B.; Barnikelam, Gnter; Skidmoreb, Andrew K.; Fahr, Jakob* (2016): ”A high-resolution model of bat diversity and endemism for continental Africa”, Ecological Modelling, Vol. 320, No.928.

*Jacobs , D.S. and Bastian, A.* (2016): ”Predator-Prey Intercations: Co-evolution between Bats and their Prey”, in SpringerBriefs in Animal Sciences.

*Levitin, Daniel J.; Nuzzo, Regina L.,; Vines, Bradley W.; Ramsay, James O.*(2007):” Intorduction to Functional Data Analysis, In: Canadian Psychology, Vol. 48, No.3, 135-155.

*Naturschutzbund Deutschland* (NABU) : ”Heimische Fledermuse im Portrt”, <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/saeugetiere/fledermaeuse/>

arten/index.html, Last visited: 19.03.2018.

**Ramsay, James O.; Hooker, Giles; Graves, Spencer**(1009):" Functional Data Analysis with R and MATLAB", Springer Use R!.

**Sueur, Jérôme** (2018): " very short introduction to sound analysis for those who like elephant trumpet calls or other wildlife sound", an R package description.

**Ullah, Shahid and Finch, Caroline F.** (2013):" Applications of functional data analysis: A systematic review", In: BMC Medical Research Methodology, Vol. 13, No.43.