

Winteraktivität der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*)
und der Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*) –
Zusammenhänge von Wetterparametern und
Frostschwärmerhalten zweier heimischer Fledermausarten

-Masterarbeit-



Fabian Besuden - 1045223

Hochschule Osnabrück
Fakultät für Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur
Studiengang: Master Landschaftsarchitektur
Semesterlage: Sommersemester 2025
Bearbeiter: Fabian Besuden
Erstprüfer: Dr. Ralf Ferdinand Joest
Zweitprüfer: Prof. Dr. Marie Luise Hanusch

Inhalt

Abstract	1
1 Einleitung	2
1.1 Fragestellung	2
1.2 Stand der Forschung.....	4
2 Ökologie der Zwerp- und Mückenfledermaus.....	11
2.1 Die Zwerpfledermaus	11
2.2 Die Mückenfledermaus	13
2.3 Gefährdung und Nachweismethoden	15
3 Methodik	19
3.1 Auditives Dauermonitoring	19
3.2 Untersuchungsgebiet	21
3.3 Wetterdaten	30
3.4 Datenaufbereitung der Fledermausaktivität.....	32
3.5 Statistische Analyse	35
3.5.1 Interkorrelation der Wetterparameter	36
3.5.2 Autokorrelation – Berücksichtigung zeitlicher Abhängigkeit.....	38
3.5.3 Wahl und Optimierung des Regressionsmodells	39
3.5.4 Modellauswertung und Post-hoc-Tests	44
4 Ergebnisse	45
4.1 Allgemeine Ergebnisse	45
4.2 Ergebnisse Zwerpfledermaus	49
4.2.1 Modellauswahl und Kennwerte.....	49
4.2.2 Zusammenhänge von Aktivitätsmaß und Wetterparametern.....	50
4.3 Ergebnisse Mückenfledermaus	57
4.3.1 Modellauswahl und Kennwerte.....	57
4.3.2 Zusammenhänge von Aktivitätsmaß und Wetterparametern.....	58
5 Integration in die Planung	62
5.1 Nachweismethode Winteraktivität	62
5.2 Anwendung und Integration in die Landschaftsplanung und Raumordnung	66
5.2.1 Vorhabenebene	67
5.2.2 Kommunale Ebene.....	68

5.2.3 Regionale Ebene	69
5.2.4 Landes- und Bundesebene	71
5.2.5 Datenbanken, Artkataster und Citizen Science	72
6 Diskussion.....	74
Quellen	82

Abbildungsverzeichnis

Titelbild: Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmeaus*) im Flug. Foto: Christian Giese

Abb. 1: Ruhende Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>). Foto: Christian Giese.....	11
Abb. 2: Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmeaus</i>) im Flug. Foto: Christian Giese	13
Abb. 3: Verbreitung der Zwergfledermaus (links) und der Mückenfledermaus (rechts) nach Richarz (2021)	14
Abb. 4: Schlagopferverteilung in Europa und Deutschland nach Dürr (2022).....	16
Abb. 5: Typisches Rufbild der Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>) nach (HAMMER & ZAHN 2009)	18
Abb. 6: Typisches Rufbild der Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmeaus</i>) nach (HAMMER & ZAHN 2009).....	18
Abb. 7: Standorte des Dauermonitorings in Deutschland. Kartengrundlage: OpenStreetMap	21
Abb. 8: Fotos vom Quartier 1 Animals Inn Coesfeld. Foto 1: vordere Fassade. Foto 2: hintere Fassade. Foto 3: Horchbox im ersten Obergeschoss. Foto 4: Eine Mopsfledermaus (<i>Barbastella barbastellus</i>) als seltener Gast.	23
Abb. 9: Fotos vom Quartier 2 Paulusheim Osnabrück. Foto 1 und 3: Fassade und angrenzender Friedhof. Foto 2: Anbringen der Horchbox. Foto 4: Einfluglöcher in das Winterquartier.	24
Abb. 10: Fotos vom Quartier 3 Westerberg Osnabrück. Foto 1: Fassade des Wohnhauses. Foto 2: Einfluglöcher in das Winterquartier. Foto 3: Ausgerichtete Horchbox. Foto 4: Umgebung des Quartiers.	25
Abb. 11: Fotos vom Quartier 4 Schleusenhaus Sondernheim. Foto 1: Das Schleusenhaus. Foto 2: Einfluglöcher in das Winterquartier. Foto 3: Anbringen der Horchbox. Foto 4: Die befestigte Horchbox.	26
Abb. 12: Fotos vom Referenzstandort in Rheden. Foto 1: Fassade und Garten des Wohnhauses. Foto 2 und 3: Mikrofon der Horchbox.	27
Abb. 13: Anzahl der Heißen Tage (Tagesmaximum der Lufttemperatur $\geq 30^{\circ}\text{C}$) und Eistage (Tagesmaximum der Lufttemperatur $< 0^{\circ}\text{C}$) von 1951 bis 2021 und Trendlinien (DWD 2022)	29

Abb. 14: Spektrogramm der Aufnahme einer Rufsequenz einer Zwergfledermaus am Quartier Westerberg Osnabrück in dem Programm Anabet Insight.....	32
Abb. 15: Vollspektralaufnahme einer Zwergfledermaus im Animals Inn Coesfeld	33
Abb. 16: VIF Werte des Datensatzes P.pip mit allen Wettervariablen (oben) und nach Entfernen von min_humidity (unten)	36
Abb. 17: VIF Werte des Datensatzes P.pyg mit allen Wettervariablen (oben) und nach Entfernen von min_humidity (unten)	36
Abb. 18: Visualisierung jedes Wetterparameterpaars.....	37
Abb. 19: Pearson-Korrelationskoeffizienten jedes Wetterparameterpaars.....	37
Abb. 20: Autokorrelationsfunktion (ACF) bis zu einem Verzugswert (Lag) von 15 Nächten für jeden Einzeldatensatz. Die blau gestrichelte Linie zeigen die 95% Konfidenzgrenzen.	39
Abb. 21: Histogramme der Datensätze P.pip (Zwergfledermaus) und P.pyg (Mückenfledermaus) inklusive Transformationen	40
Abb. 22: Vorgehensweise beim Ermitteln der Datenverteilung durch Goodness-of-Fit-Tests	41
Abb. 23: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum am Quartier Animals Inn Coesfeld.....	45
Abb. 24: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum am Quartier Paulusheim Osnabrück	45
Abb. 25: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum am Quartier Westerberg Osnabrück	46
Abb. 26: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum am Quartier Schleusenhaus Sonderheim im Winter 2022/23	46
Abb. 27: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum am Quartier Schleusenhaus Sonderheim im Winter 2024/25	47
Abb. 28: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum der Kontrollaufnahme in Rheden im Winter 2022/23	47
Abb. 29: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum der Kontrollaufnahme in Rheden im Winter 2024/25	48
Abb. 30: Prozessdarstellung der Modelloptimierung des Datensatzes P. pip. durch schrittweise durchgeführte Regressionsanalysen. Die Bewertung erfolgt anhand der Modellgütekriterien AIC, R ² sowie des Residuentests. Als Schwellenwert für den Variablenausschluss wurde p > 0,5 verwendet.....	49
Abb. 31: Darstellung des Zufallseffekts „Standort“ anhand der Unterschiede von Mittelwert und Standardabweichung der Zwergfledermausquartiere sowie deren Mittelwert (gestrichelte Linie).....	50
Abb. 32: Modellvorhersagen des Zwergfledermausmodells über den Einfluss der Aktivität der Vornacht in Minuten auf die Aktivitätsminuten pro Nacht	52
Abb. 33: Modellvorhersagen des Zwergfledermausmodells über den Einfluss der Temperaturdifferenz [°C] auf die Aktivitätsminuten pro Nacht.....	52

Abb. 34: Modellvorhersagen des Zwergfledermausmodells über den Einfluss der Interaktion von Temperaturdifferenz [°C] und Regen [m/s] auf die Aktivitätsminuten pro Nacht	53
Abb. 35: Modellvorhersagen des Zwergfledermausmodells über den Einfluss der Interaktion von Temperaturdifferenz [°C] und Regen [mm/h] auf die Aktivitätsminuten pro Nacht.	54
Abb. 36: Modellvorhersagen des Zwergfledermausmodells über den Einfluss der Interaktion von Temperaturdifferenz [°C], Regen [mm/h] und Wind [m/s] auf die nächtliche Aktivität (in Aktivitätsminuten). Die drei Unterdiagramme zeigen die vorhergesagten Aktivitätsverläufe bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten von 0, 0,5 und 2 m/s.	55
Abb. 37: Modellvorhersagen des Zwergfledermausmodells über den Einfluss der Interaktion von Temperaturminimum [°C], Regen [mm/h] und Wind [m/s] auf die nächtliche Aktivität (in Aktivitätsminuten). Die drei Unterdiagramme zeigen die vorhergesagten Aktivitätsverläufe bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten von 0, 0,5 und 2 m/s.	56
Abb. 38: Prozessdarstellung der Modelloptimierung des Datensatzes <i>P. pyg.</i> durch schrittweise durchgeführte Regressionsanalysen. Die Bewertung erfolgt anhand der Modellgütekriterien AIC, R ² sowie des Residuentests. Als Schwellenwert für den Variablenausschluss wurde p > 0,5 verwendet	57
Abb. 39: Modellvorhersagen des Mückenfledermausmodells über den Einfluss der Lag-1-Variable (Aktivität der Vornacht) auf die Aktivitätsminuten pro Nacht	59
Abb. 40: Modellvorhersagen Mückenfledermausmodells über den Einfluss der Luftdruckdifferenz auf die Aktivitätsminuten pro Nacht	60
Abb. 41: Modellvorhersagen Mückenfledermausmodells über den Einfluss des minimalen Luftdrucks auf die Aktivitätsminuten pro Nacht	61

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Standorte und Equipment der geplanten Dauererfassung	19
Tab. 2: Übersicht der Datenaufnahme und Auswertung	33
Tab. 3: Mittelwert und Maximum des Aktivitätsindex des Dauermonitorings in den Haupttorpormonaten Dezember bis Februar	48
Tab. 4: Ergebnistabelle des Wald-Chi ² Tests für das Model der Zwergfledermausdaten. Signifikante Zusammenhänge der Modellvorhersage sind mit den Signifikanzcodes: *** = p < 0,001, ** = p < 0,01, * = p < 0,05 visualisiert.	51
Tab. 5: Ergebnistabelle des Wald-Chi ² Tests für das Model der Mückenfledermausdaten. Signifikante Zusammenhänge der Modellvorhersage sind mit den Signifikanzcodes: *** = p < 0,001, ** = p < 0,01, * = p < 0,05 visualisiert.	58
Tab. 6: Übersicht der Planungsebenen der Raumordnung und Landschaftsplanung und potenzieller Integration von Winterschwärmen in die Planungspraxis	67

Abstract

Schlagworte: Zwergfledermaus, Mückenfledermaus, *Pipistrellus*, Schwärmen, Frostschwärmen, Winterquartiere, Dauermonitoring, multivariates statistisches Regressionsmodell

Die vorliegende Arbeit untersucht die winterliche Aktivität der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) und der Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*) sowie deren Zusammenhang mit Wetterparametern. Ziel ist es, das sogenannte „Frostschwärmen“ als potenzielle Nachweismethode für Winterquartiere zu analysieren und hinsichtlich seiner Anwendbarkeit in der Landschaftsplanung zu bewerten. Hierzu wurde ein auditives Dauermonitoring an vier bekannten Winterquartieren in Westdeutschland sowie an einem Kontrollstandort eingerichtet. Parallel dazu wurden Wetterdaten an den Quartieren erhoben, um Zusammenhänge zwischen Witterungsbedingungen und Aktivitätsmustern zu identifizieren. Die akustischen Daten wurden mittels etablierter Verfahren ausgewertet und in einen Aktivitätsindex umgewandelt. Auf Grundlage eines generalisierten linearen gemischten Modells (GLMM) mit Gamma-Verteilung wurden multivariate Beziehungen zwischen Fledermausaktivität und Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Niederschlag modelliert. Zusätzlich wurde die Aktivität der Vornacht als Prädiktor integriert, um autokorrelative Effekte zu erfassen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Winteraktivität beider Arten signifikant durch komplexe Wechselwirkungen meteorologischer Bedingungen beeinflusst wird. Insbesondere Temperaturdifferenzen, minimale Temperaturen sowie die Interaktion von Wind und Niederschlag zeigten bei der Zwergfledermaus einen relevanten Einfluss auf die Aktivitätsminuten pro Nacht. Für die Mückenfledermaus erwiesen sich Luftdruckparameter als besonders erkläzungskräftig. Die Studie liefert erstmals für Deutschland statistisch abgesicherte Erkenntnisse über winterliche Aktivitätsmuster dieser beiden synanthropen Fledermausarten. Sie unterstreicht das Potenzial des Frostschwärms als ergänzende Nachweismethode im Artenschutz, insbesondere zur Identifikation bislang unbekannter Winterquartiere. Zudem werden Handlungsempfehlungen für die Integration solcher Methoden in die planerische Praxis gegeben, um den Schutz der Arten insbesondere im urbanen Raum zu verbessern.

1 Einleitung

1.1 Fragestellung

Der Schutz synanthroper Fledermausarten stellt in Deutschland insbesondere in den Wintermonaten eine erhebliche Herausforderung dar. Viele Arten, darunter die Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) und die Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*), nutzen Gebäude als Winterquartiere. Der Torpor der Tiere überschneidet sich hierbei mit der Hauptrenovierungszeit von Gebäuden, welche im Zuge des Klimaschutzes immer mehr an Bedeutung gewinnt. Hierbei kommt es nicht selten zur Zerstörung unbekannter Winterquartiere. Aufgrund der sehr versteckten Lebensweise und einer häufig schlechten Zugänglichkeit der Winterquartiere ist eine fachgerechte Berücksichtigung des Artenschutzes kaum möglich. In diesem Kontext gewinnt die Erforschung der Winteraktivität von Fledermäusen immer mehr an Bedeutung. Diese sporadischen Aktivitätsphasen sind bereits seit vielen Jahrzehnten bekannt (GRIMMBERGER & BOCK 1978), und werden nun zunehmend als Nachweisemethode außerhalb der Hauptaktivitätszeit erprobt. Zusammenhänge mit der Witterung wurden in verschiedenen Studien festgestellt (RENNACK 2022, GIESE 2018, KORSTEN et al. 2016, u.w.) und führten zur Bezeichnung des Frostschwärms, welches in der Fachbranche jedoch auch kontrovers diskutiert wird. Um konkrete Aussagen zu treffen und Einzelbeobachtungen zu verifizieren, fehlen bislang umfassende wissenschaftliche Daten, die eine systematische Erfassung und statistische Analyse ermöglichen. Die Untersuchung der Winteraktivität könnte einen wichtigen Beitrag zum Fledermausschutz leisten, indem sie die Nachweisemethode zur Identifikation und zum Schutz von Winterquartieren validiert und konkretisiert.

Dieser Aufgabe widmet sich die vorliegende Masterarbeit durch die Untersuchung der Winteraktivität von Zwergfledermaus und Mückenfledermaus und deren Zusammenhang mit verschiedenen Wetterparametern. Dabei soll insbesondere folgenden Fragestellungen nachgegangen werden:

- Welche meteorologischen Faktoren beeinflussen erhöhte Aktivität am Winterquartier?
- Bestätigen die Ergebnisse dieser Arbeit die in aktueller Literatur angegebenen Zusammenhänge für Frostschwärmen als Nachweismethode?
- Wie lässt sich Frostschwärmen als Nachweismethode für das Vorkommen und die Nutzung von Winterquartieren in großräumigen Planungen integrieren?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen werden Daten aus vier bekannten Fledermausquartieren in Westdeutschland sowie ein Kontrolldatensatz erhoben. Mithilfe moderner Analysemethoden soll eine belastbare Datengrundlage geschaffen werden, die langfristig eine fundierte Einschätzung der Winteraktivität ermöglicht. Der Vergleich zwischen den Datensätzen der belegten Winterquartiere und dem Kontrolldatensatz soll Aufschluss darüber geben, inwieweit sich das Dauermonitoring als Bestandteil einer standardisierten Nachweismethodik integrieren lässt. Die angewandte Methodik kann als modellhafte Grundlage für weiterführende Untersuchungen mittels multivariater Statistik dienen – sowohl für andere Populationen und Quartiere als auch für unterschiedliche Untersuchungsräume und Arten.

1.2 Stand der Forschung

1.2.1 Winteraktivität von Fledermäusen

Das Phänomen der Hibernation (echter Winterschlaf) ist eine lange bekannte Überlebensstrategie verschiedener Säugetiere um auf saisonale Umweltfaktoren zu reagieren (RUF & GEISER 2015). In gemäßigten Klimazonen senken Fledermäuse ihre Körpertemperatur im Winterschlaf auf die Umgebungstemperatur und folgen dieser bis nahe an 0 Grad Celsius (°C). In diesem Zustand ist ihr Energieverbrauch etwa 400-mal geringer als im Wachzustand (BADER & KRÄTTLI 2022). Die Hibernation wird bei vielen Arten wie Zwergfledermäusen (*Pipistrellus pipistrellus*), Brauen Langohren (*Plecotus auritus*) oder Fransenfledermäusen (*Myotis nattereri*) von aktiven, euthermischen Phasen unterbrochen, in denen sie bei milden Wetterphasen sogar jagen und trinken (ZAHN & KRINER 2014). Neben kurzweiliger Aktivität einzelner Tiere im und am Quartier lässt sich auch Schwärzerverhalten mehrerer Tiere beobachten, vergleichbar mit dem prominenteren spätsommerlichen Schwärmen (RENNACK 2022, GIESE 2018, KORSTEN et al. 2016). Hierbei fliegen die Tiere das Quartier vermehrt an und ab, während Einzeltiere das Quartier verlassen oder betreten.

Der Grund dieser Aktivität während des Torpors, die einen relevanten Energieverlust mit sich bringt (BOYLES et al. 2006, SENDOR 2002), scheint Teil einer komplexen Überwinterungsstrategie zu sein und ist noch nicht vollumfänglich untersucht und verstanden. Ein Hauptgrund der Aktivität scheint ein Quartierwechsel zwischen verschiedenen Winterquartieren zu sein. Häufig beobachtet wurde eine Kälteflucht von sogenannten Zwischenquartieren, in denen die Tiere milder Phasen verbringen und erst bei sinkenden Temperaturen in andere, frostsichere Quartiere wechseln (GRIMMBERGER & BORK 1978). Einbußen von Populationen aufgrund von Kälteperioden und fehlenden Ausweichquartieren sind über den Winter nicht ungewöhnlich (KOETTNITZ & HEUSER 1994, HELVERSEN et al. 1987). Jedoch ist die Mortalität während des Winterschlafs bei Zwergfledermäusen eher gering und stellt nicht den erwarteten Flaschenhalseffekt dar (SENDOR 2002).

Der Wechsel zwischen unterschiedlichen Winterquartieren und die gelegentlichen Jagdflüge können notwendig sein, um das Fehlen stabiler Umgebungsbedingungen in den Quartieren zu kompensieren (SPEAKMAN & RACEY 1989). HOPE et al. (2014) vermuten, dass die Nahrungsaufnahme der eigentliche Hauptgrund des Erwachens ist, konnten dies aber nicht

verifizieren. Ob es sich hierbei um ein opportunistisches Verhalten zum Anfressen von Fettreserven handelt oder ob dringender Nahrungsbedarf Winteraktivität auslösen kann, ist bislang ungeklärt (ZAHN & KRINER 2014). Um sich vor Dehydrierung zu schützen, wachen Fledermäuse vermutlich auch gezielt aus dem Torpor auf, um Wasser zu sich zu nehmen (BEN-HAMO et al. 2013)

Die Winteraktivität scheint auch eine soziale Komponente zu beinhalten. So beobachteten BULLOCK et al. (1987), dass die Neigung zum gruppenweisen Ausfliegen positiv mit der Gesamtzahl ausfliegender Tiere korreliert. Da das Mikroklima in den Winterquartieren auch durch gegenseitiges Aufwärmen begünstigt wird, könnte eine gruppenweise stattfindende Aktivität energetische Vorteile mit sich bringen (HALSALL et al. 2012). NUSOVA et al. (2020) stellten ein gleichzeitiges Auftreten und Schwarmverhalten von lokalen und weit gereisten Zwergfledermäusen vor der Erňa-Höhle in der Slowakei fest und vermuteten, dass dies durch eine starke soziale Tradition und lokale Migrationsrouten begünstigt wird und auch einzelne Tiere anzieht. Da das Schwärmen in der Hauptaktivitätsphase Funktionen der Paarung (NUSOVA et al. 2020) und der Bewertung und Weitergabe von Quartieren (SENDOR 2002) erfüllt, ist es naheliegend, dass beim winterlichen Schwärmen diese sozialen Faktoren ebenfalls eine Rolle spielen.

Auch Störungen am Quartier können ein Aufwachen und eine darauffolgende Aktivität auslösen. Nahezu alle europäischen Fledermausarten reagieren sensibel auf Licht und lassen sich von diesem vergrämen (VOIGT et al. 2021, VOIGT et al. 2019). Insbesondere an Jagdhabitaten führt auch Lärm zu einem Meideverhalten von Zwergfledermäusen (LÜDECKE et al. 2019). Im Winterschlaf haben insbesondere taktile Reize, also das Berühren der Tiere, eine signifikante Erhöhung des Energieverbrauchs zur Folge, während nicht-taktile Reize wie Licht, Geräusche, Sprache oder Temperaturerhöhungen einen geringeren aber dennoch messbaren Effekt haben können (SPEAKMAN et al. 1991). Bei *Myotis*-Arten in Europa und Nordamerika konnte neben vollständigem Erwachen aus der Hibernation auch ein Zwischenstadium nachgewiesen werden (BACHOREC et al. 2021, BLAŽEK et al. 2019). In diesem wird die Körpertemperatur lediglich auf etwa 15 °C erwärmt, was für die Fledermäuse eine energetisch sparsamere Methode darstellt, ihre Umgebung wahrzunehmen und auf potenzielle Gefahren zu reagieren. Dies ist ein häufiges Verhalten auf Störungen wie der Anwesenheit von Menschen, welches bei Pipistrellen jedoch noch nicht untersucht wurde. Insgesamt handelt

es sich bei Zwerp- und Mückenfledermäusen jedoch tendenziell um weniger störungsempfindliche Arten (JANSEN et al. 2022, STAPELFELDT et al. 2020).

Die Literaturrecherche zeigt, dass die gängige Vermutung über den Grund der Winteraktivität eine Kombination all dieser Faktoren ist, die jedoch schwierig zu untersuchen und nicht zu quantifizieren ist. Untersuchungen von Winterquartieren der Zwerfledermaus konnten zeigen, dass es über den gesamten Winter kaum Nächte gibt, in denen keine Aktivität am Quartier nachgewiesen werden konnte (SIMON & KUGELSCHAFTER 1999, GIESE 2022). Wie lange die Aktivität anhält und wie viele Tiere beteiligt sind, schwankt jedoch von Nacht zu Nacht stark (ebd.). Viele Studien beobachten deutlich mehr Schwärmereignisse im November und Dezember als im Januar und Februar (WEIßSCHÄDEL et al. 2022, RENNACK 2022, AVEY 1985)

1.2.2 Frostschwärmen - Zusammenhang von Winteraktivität und Wetterparametern

Den Begriff des Frostschwärms prägen ERIK JANSEN und ERIC KORSTEN (2016). Wie der Begriff bereits suggeriert, wurde eine stark erhöhte Aktivität am Winterquartier in Nächten unter dem Gefrierpunkt beobachtet. Hierbei handelt es sich jedoch um ein Kollektiv aus vereinzelten Beobachtungen, meist von bekannten Massenquartieren oder einzelnen Detektorbegehung bei vermuteten passenden Witterungsbedingungen wie bei JANSEN et al. (2022), KORSTEN et al. (2016), BELL (2022) und SIMON & KUGELSCHAFTER (1999). Frostschwärmen stellt, ähnlich wie die allgemeine Winteraktivität, einen noch wenig untersuchten Aspekt der Verhaltensbiologie heimischer Fledermäuse dar, dessen wissenschaftliche Untersuchung erst seit den 2010er Jahren vermehrt stattfindet.

Inwiefern Wetterereignisse und im besonderen Frost Einfluss auf die Winteraktivität von Zwerp- und Mückenfledermäusen haben und diese sogar auslösen, ist hauptsächlich auf der Grundlage von Einzelbeobachtungen untersucht. GRIMMBERGER (1979) stellte in Demmingen fest, dass die Aktivität bei anhaltender mittlerer Außentemperatur unter 0 °C abnimmt. Weitere Beobachtungen zeigen häufig, dass die Anzahl der Ausflüge ab etwa 4-7 °C abnehmen, es bei starken Kälteeinbrüchen jedoch zum Verlassen von Quartieren kommt (HELVERSEN et al. 1987, ZAHN & KIRCHNER 2014). RENNACK (2022) verweist darauf, dass die Schwärmaktivität nicht nur bei Frost, sondern auch nach deutlichen Temperaturanstiegen zunahm. Das passive Aufwärmen sonnenexponierter Winterquartiere könnte hierbei die für das Aufwachen benötigte Energie senken und dieses somit begünstigen (TURBILL & GEISER

2008). Es ist auch bekannt, dass neben der Temperatur weitere Wetterparameter die Aktivität von Fledermäusen ganzjährig beeinflussen. So beobachtete VENABLES (1943) und CHURCH (1957), dass „*Stark böiger Wind [...] einen Teil der Zwergfledermäuse am Ausfliegen zu hindern scheint*“. Argumentativ wird dies über ungünstige Flugbedingungen sowie das Fehlen von Insekten als Nahrung erklärt. GRIMMBERGER (1979) und VIERHAUS (2004) beobachteten, dass leichter Regen keinen Einfluss auf die Flugbereitschaft hat, stärkerer Regen Zwergfledermäuse jedoch veranlasst, in das Quartier zurückzukehren. SWIFT (1980) hingegen fand keinerlei Zusammenhang zwischen Flugbereitschaft und Regen, Wind oder Mondlicht. AVEY (1985) stellte fest, dass Aktivität vermehrt in Nächten mit milden Temperaturen und geringen Windgeschwindigkeiten auftritt und schließt daraus auf eine wetterabhängige Optimierung des Energiehaushalts. SENDOR (2002) erfasste erhöhte Schwärmaktivität im Oktober beim Aufsuchen der Winterquartiere und, dass diese positiv mit der Temperatur und negativ mit der Windgeschwindigkeit korreliert. Untersuchungen an Großen Abendseglern (*Nyctalus noctula*) zeigten, dass sich der Zeitpunkt der Abwanderung nach Windstärke, Windrichtung und Luftdruck richtet. (DECHMANN et al. 2017). Den Ansatz einer multivariaten Betrachtung durch eine statistische Analyse wählten BARROS et al. (2017), und konnten signifikanten Einfluss von Temperatur, Regen der zwei Vortage, Luftfeuchtigkeit und Wind auf das Ausflugverhalten und gemessene Sozialrufe von Pippistrellus-Arten belegen. Auch BLOMBERG et al. 2021 untersuchten Unterschiede der Fledermausaktivität im Winter in Abhängigkeit von Habitattyp, Witterung und Art mit einem generalisierten linearen Modell, welches erhöhte Aktivität von Nordfledermaus (*Eptesicus nilssonii*), Braunem Langohr und Myotis-Arten bei hohen Temperaturen und niedrigem Luftdruck vorhersagte. Für die Planungspraxis beschrieben Sie dieses Vorgehen jedoch als wenig praktikabel.

Dies bestätigen auch aktuelle Untersuchungen: „*Die genauen Zusammenhänge zwischen allgemeiner Aktivität und Witterungsbedingungen sind komplex und benötigen weitergehende[r] Untersuchungen*“ (RENNACK 2022, S.86 Z.23 ff.). Der Grund und die Steuerung der Aktivitätsphasen im Winter sind noch nicht vollständig geklärt. Vermutlich spielen hier verschiedenste Faktoren wie Temperatur, Luftdruck und -feuchtigkeit, aber auch soziale Funktionen und die Ernährung eine Rolle (ebd., GIESE 2024).

Das Phänomen des Frostschwärms wurde bislang hauptsächlich bei der Zwergfledermaus beobachtet. Es gibt jedoch Hinweise, dass auch andere Fledermausarten dieses Verhalten

zeigen könnten. In Fachkreisen wird dies insbesondere für die Breitflügelfledermaus (*Eptesicus serotinus*), die Nordfledermaus oder die Zweifarbfledermaus (*Vespertilio murinus*) diskutiert. Der Frage ging GIESE (2018) anhand einer Umfrage über die Seite fledermausschutz.de nach. Bestätigung gab es mehrfach bei Mückenfledermäusen, blieb jedoch bei Breitflügelfledermaus, Nordfledermaus oder Zweifarbfledermaus aus.

1.2.3 Frostschwärmen als Nachweismethode

KORSTEN et al. (2016) leiten aus ihrer Beobachtung zum Frostschwärmen Empfehlungen ab, um anhand passender Witterungsbedingungen eine erhöhte Chance zu haben, das Verhalten als winterliche Nachweismethode zu verwenden.

“When you think you have found a pipistrelle hibernation site and you want to check the activity of swarming bats in winter: wait until the first period of frost and visit the site on a couple of the following nights into that frost period. Start one-hour after sunset.” (KORSTEN et al. 2016, S. 10)

„Wenn du glaubst, ein Winterquartier der Zwergfledermaus gefunden zu haben und die Aktivität durch schwärmende Fledermäuse im Winter überprüfen möchtest: warte auf die erste Frostperiode und beobachte das potenzielle Quartier in den folgenden frostigen Nächten. Beginne jeweils eine Stunde nach Sonnenuntergang.“

Dieses kann bei großräumigen Quartierssuchen auch im Winter in Form von Schwärmkontrollen genutzt werden. Hieran orientiert sich auch der Landesbetrieb für Straßenbau und Verkehr Schleswig-Holstein, der in seiner Arbeitshilfe zur Beachtung der artenschutzrechtlichen Belange von Fledermäusen bei Straßenbauvorhaben (LBV 2021) die Frostschwärmen-Erfassungen als Sondererfassung für Winterquartiere von Pipistrellen-Arten (insbesondere Zwergfledermaus, i. T. Mückenfledermaus und Rauhautfledermaus) an Gebäuden und Bauwerken angibt. Hierdurch soll insbesondere die Größe des überwinternden Bestandes in abzureißenden Gebäuden abgeschätzt werden, wenn die Standarderfassung in Form von Ausflugszählungen hier keine Auskunft gibt. In der Anwendung soll der Zeitpunkt von Verschärfung oder Nachlassen von Frost gewählt werden (ebd.).

RENNACK (2022) konnte die Methode des Frostschwärms erfolgreich zur Lokalisierung bislang unbekannter Winterquartiere der Zwergfledermaus anwenden. Während einer mehrtägigen Frostperiode Ende Dezember 2021 wurden im Rahmen von

Detektorbegehungen vier neue Winterquartiere im Stadtgebiet Osnabrück identifiziert. Im Anschluss an die Untersuchung weist er darauf hin, dass deutliche erhöhte Aktivität von Temperaturveränderungen, sowohl in die positive wie auch negative Richtung, begleitet wurde.

Der Nachweis durch Winteraktivität von Fledermäusen, häufig in Form von Schwärmen, findet auch in vielen weiteren Leitfäden und Arbeitshilfen zwar Berücksichtigung, jedoch hauptsächlich ohne konkrete Aussagen zu optimaler Witterung oder Zeitpunkt.

Die Koordinationsstelle für Fledermausschutz Südbayern des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) sammelte Beobachtungen von winterlichem Schwärmerhalten von Pipistrellen (WEIßSCHÄDEL et al. 2022). Hieraus folgt die Empfehlung für Zwergefledermäuse, ab 6 °C bei Sonnenuntergang oder bei starkem Kälteeinbruch und für Mückenfledermäuse ab 0 °C bei Sonnenuntergang oder am ersten Tag eines Temperaturabfalls unter 0 °C über mehrere Nächte zu beobachten. Das Methodenhandbuch zur Artenschutzprüfung in NRW (MULNV & FÖA 2021) nennt „Akustische und visuelle Kontrolle der Winterquartiernutzung“ als Methode und empfiehlt hierbei ein akustisches Dauermonitoring von Mitte August bis Ende November sowie visuelle Winterquartierkontrollen zwischen November bis Ende Februar. Hierbei soll je nach Fledermausart auf die Witterung geachtet werden. Die Koordinationsstellen für Fledermausschutz in Bayern nennt für den Nachweis von Baumquartieren im Winter Ausflugsbeobachtungen (möglichst in Verbindung mit Lautaufzeichnung) und/oder eine Suche nach am Quartier schwärmenden Tieren in der Morgendämmerung (ZAHN et al. 2021). Als generelle Empfehlung nennt das LFU: „*Auf Schwärmebeobachtungen sollte verstärkt als Standardmethodik auch bei kleineren Eingriffsgutachten zurückgegriffen werden!*“ (Weißschädel et al. 2022). Der BVF (2018) empfiehlt die Durchführung von Winterschwärmkontrollen ab November, in der Regel ab der zweiten Frostnacht. Die Kontrollen sollten idealerweise im Zeitraum von zwei bis vier Stunden nach Sonnenuntergang stattfinden, insbesondere dann, wenn die Tageshöchsttemperatur des Vortages den Gefrierpunkt nicht überschritten hat. Zusätzlich wird eine weitere Kontrolle nach einem plötzlichen und deutlichen Temperaturanstieg empfohlen, insbesondere bei Temperaturen über 10 °C im Dezember und Januar.

Für den richtigen Zeitpunkt, um winterliches Schwärmen zu beobachten, werden in den meisten Veröffentlichungen die ersten Stunden nach Sonnenuntergang genannt. Für

Mückenfledermäuse werden hier meist die Methodik von Zwergfledermäusen empfohlen. Bei differenzierter Betrachtung wird für die Mückenfledermaus ein späterer Zeitraum von 2,5 bis 4 Stunden nach Sonnenuntergang angegeben.

Dementsprechend liegen bereits einige Ansätze für die winterliche Nachweismethode vor, die jedoch nicht einheitlich sind, was zu Unsicherheit der Behörden und Gutachter führt und die trotz nun schon längerer Empfehlung nur sehr selten Anwendung finden (RENNACK 2022).

2 Ökologie der Zwerp- und Mückenfledermaus

2.1 Die Zwerpfledermaus

Die Zwerpfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) (Schreber, 1774) ist in Deutschland eine unserer häufigsten Fledermausarten (BELLMANN et al. 2014). Ihr Verbreitungsgebiet erstreckt sich über Europa nach Zentralasien und Nordafrika (RICHARZ 2021). Mit einer Spannweite von 18-24 cm, einem Gewicht von 3-6 Gramm und einer Körpergröße, die meist mit einer Streichholzschachtel verglichen wird, ist sie eine der kleinsten Fledermäuse Europas (BADER & KRÄTTLI 2022, BfN 2025a). Ihr Habitus ist von kurzem, bräunlichen Fell, einem schwarzen Gesicht, einer spitzen Nase ohne Nasenlappen sowie schmalen, länglichen Flügeln geprägt (RICHARZ 2021). Sowohl geografische als auch individuelle Variation liegen insbesondere in der Fellfarbe vor, die von orange-rötlich bis ins Schwarze reicht (TAAKE & VIERHAUS 2004).



Abb. 1: Ruhende Zwerpfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*). Foto: Christian Giese

Sie gehört der Familie der Glattnasen (*Vespertilionidae*) an und ist wie die meisten Vertreter ein nachtaktiver Insektenjäger. Diese jagt sie ab der Dämmerung in schnellen Zickzackflügen. (BELLMANN et al. 2014). Zur Orientierung nutzt sie dabei die Echoortung. Durch das Ausstoßen von Ultraschallauten und der Wahrnehmung von deren Reflexion kann sie ihre Umgebung scannen und ist zur Fortbewegung und Jagd kaum auf ihre anderen Sinne angewiesen (LfU 2008). Aufgrund ihrer hohen Anpassungsfähigkeit bewohnt sie eine Vielzahl an Lebensräumen. Als Kulturfolger zählen hierzu insbesondere Städte wo sie als

Spaltenbewohner verschiedenste Quartiere in beispielsweise Fassaden, Zwischendächern, Rollladenkästen, hinter Wandverschalungen oder Lüftungsschlitzten nutzt (SCHOBER & GRIMMBERG 1987).

Wie alle unsere heimischen Fledermäuse durchleben Zwergfledermäuse einen jährlichen Zyklus der sich grob in eine Überwinterungsphase (Hibernation), eine Wochenstubenzeit und eine Sommer- und Herbstphase einteilen lässt. Die Phänologie ist stark an Wanderungen und verschiedenen Quartiere sowie deren Nutzung geknüpft. Witterungsabhängig beginnen die Tiere zwischen Februar und Mai aus dem Winterquartier abzuwandern. Es werden sogenannte Wochenstuben aufgesucht, die den Weibchen zur Aufzucht der Jungtiere dienen. Nach der Aufzucht nutzen die Weibchen ebenso wie die Männchen Sommerquartiere als Schlaf- und Ruheplätze. Im Sommer werden diese Quartiere in etwa wöchentlichen Abständen gewechselt, wodurch ein Quartierverbund entsteht. Als Jagdhabitatem werden häufig Grenzstrukturen wie Waldränder, Baumreihen, Hecken, Gärten, Parks oder Gewässerufer, die bis zu 2 km vom Quartier entfernt sind, genutzt. Auch das explizite Jagen an Straßenlaternen kann häufig beobachtet werden (BADER & KRÄTTLI 2022). Insbesondere im Spätsommer lassen sich dann sogenannte Invasionen beobachten bei denen größere Gruppen Flüge in Gebäude vornehmen. Vermutlich dient dies der Suche nach Ausweichquartieren für den Winter und der Informationsweitergabe an Jungtiere (GODMANN 1996, GODMANN & RACKOW 1995).

Sobald die Temperaturen im Oktober und November deutlich fallen, werden die Winterquartiere aufgesucht (SENDOR 2002). Hierfür werden vermehrt auch unterirdische Quartiere wie Keller oder Stollen genutzt (ECHOLOT GBR 2024). Hier hängen die Tiere nun seltener frei, sondern kriechen in enge Spalten. Häufig liegen die Winter- und Sommerquartiere der recht ortstreuen Tiere nicht weiter als 30 km entfernt, was sie als ortgebunden, aber wanderfähige Art klassifiziert (HAENSEL 1992). Die Quartiere variieren stark in ihrer Größe und können einige Einzeltiere, aber auch Massenquartiere von bis zu 1.000 Individuen umfassen. Auch im Winter können Quartierwechsel beobachtet werden, die vermutlich der Thermoregulation dienen und somit Teil der Überwinterungsstrategie sind (SENDOR 2002, SIMON et al. 2004). Zwergfledermäuse weisen eine hohe Quartierstradition auf, die im aktiven Fledermausschutz häufig vernachlässigt wird (Simon & Kugelschafter 1999).

2.2 Die Mückenfledermaus

Die mit der Zwergfledermaus eng verwandte Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*) (Leach, 1825) wurde über die letzten Jahrzehnte häufig mit ihr verwechselt und wird erst seit Anfang der 1990er als eigene Art anerkannt (BfN 2025b). Die Hypothese von zwei Schwesternarten wurde erstmals 1993 von JONES & PARIJS in England dokumentiert. Sie führte zu der Annahme, dass die unterschiedlichen Ruffrequenzen, die zunächst als „45-kHz-Phonotyp“ und „55-kHz-Phonotyp“ bezeichnet wurden, auf zwei verschiedene Arten hinweisen. Anhand der entwickelten molekularen Genetik konnte nachgewiesen werden, dass sich unter dem Namen Zwergfledermaus zwei verschiedene Arten verbargen und führte zu der von JONES & BARRETT (1999) geforderten taxonomischen Trennung. In älterer Literatur wird die Mückenfledermaus auch als *Pipistrellus mediterraneus* (Cabrera, 1904) bezeichnet, was auf die parallele Entdeckung der Art in Spanien zurückzuführen ist (TAAKE & VIERHAUS 2004).

Auf den ersten Blick sehen sich die beiden Arten sehr ähnlich, doch es gibt einige deutliche Unterscheidungsmerkmale. Die Körperoberseite ist heller gefärbt, das Gesicht kürzer und der Penis der adulten Männchen ist orange und hat kein weißes Mittelband, während der der Zwergfledermäuse dieses aufweist und schwarz ist (VOLLMER & OHLENDORF 2014). Des Weiteren weisen sie eine Hautwulst zwischen den Nasenlöchern, bräunlichere Flughäute mit hell gesäumtem Flügelrand und hellere Ohren auf (BfN 2025b). Bei männlichen Mückenfledermäusen lässt sich außerdem ein kräftiger Geruch ausmachen, der als ranzig oder moschusartig beschrieben wird (HELVERSEN & HOLDERIED 2003, BfN 2025b).



Abb. 2: Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*) im Flug. Foto: Christian Giese

Mückenfledermäuse kommen weitverbreitet über Süd- und Mitteleuropa vor. Aufgrund der recht jungen Artabgrenzung sind die Verbreitungsgrenzen jedoch noch unsicher (RICHARZ

2021). In Deutschland kommt sie hauptsächlich im Süden vor und zeigt eine nördliche Ausbreitungsachse durch Rheinland-Pfalz, Hessen, Thüringen, Sachsen-Anhalt und Sachsen (s. Abb. 3) (LfU 2008, VOLLMER & OHLENDORF 2014). Dass HELVERSEN & HOLDERIED (2003) und (DIETZ & KIEFER 2020) das Gegenteil vermuten, und mittlerweile in nahezu jedem Bundesland Nachweise vorliegen (BfN 2006) zeigt jedoch, wie unklar die Ausbreitung noch ist und noch untersucht werden muss.

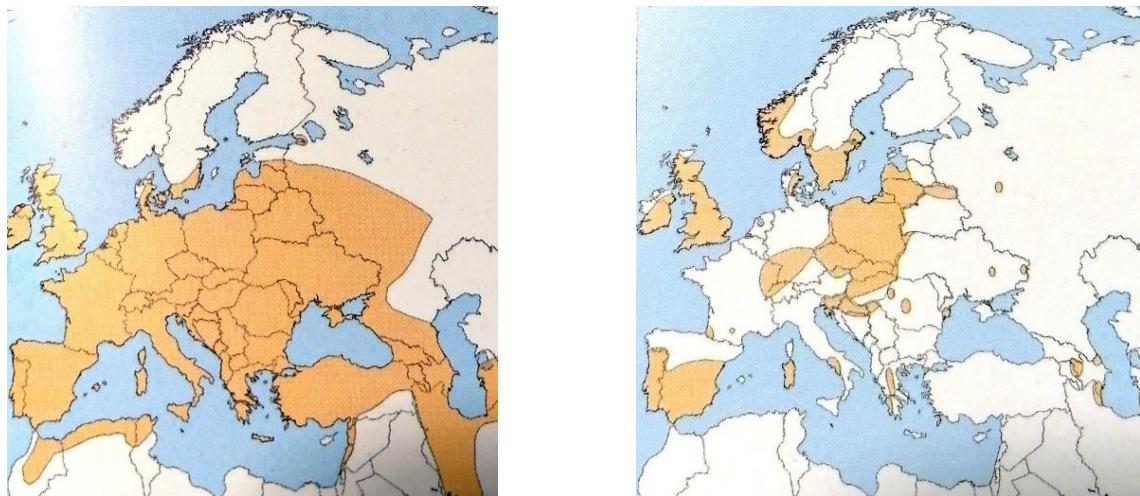


Abb. 3: Verbreitung der Zwergfledermaus (links) und der Mückenfledermaus (rechts) nach Richarz (2021)

Mückenfledermäuse suchen sich ihre Quartiere ebenso wie die Zwergfledermäuse häufig in Gebäudefassaden, wobei auch Baumhöhlen oder Baumspalten in stehendem Totholz nicht auszuschließen sind (RICHARDZ 2021). Hierbei liegt meist eine Gewässernähe vor, da Auwälder, strukturreiche Uferrandstreifen und Laubwälder an Fließgewässern die typischen Jagdhabitatem darstellen (VOLLMER & OHLENDORF 2014, BURKHARD & GÜTINGER 2011, BfN2025b). Hier jagt sie kleinräumig vermehrt nach wasserlebenden Insekten wie Köcherfliegen oder Zuckmücken (BARLOW 1997). Somit werden Quartiere in Ortsrandlagen oder Gebäuden außerhalb des Siedlungsraums häufig bevorzugt. HELVERSEN & HOLDERIED (2003) beschreiben die Mückenfledermaus als weniger euryök und geringer angepasst an menschliche Städte als die Zwergfledermaus. Der phänologische Zyklus ähnelt dem der Zwergfledermaus. Der Torpor findet von November bis März statt (BfN 2025b). Zu den Winterquartieren ist bisher noch recht wenig bekannt. Während sie vergleichbare, von Witterung abgeschirmte Spaltenquartiere wie Zwergfledermäuse nutzen ist ein großer Unterschied, dass auch häufig Wochenstuben als Winterquartiere genutzt werden (VIERHAUS & KRAPP 2011).

Um diese zu erreichen, wurde Zugverhalten in Überwinterungsgebiete von bis zu 1.279 km nachgewiesen (ARNOLD & BRAUN 2002, BLOHM & HEISE 2008). Mückenfledermäuse gelten dementsprechend als Mittelstreckenwanderer (RICHARDZ 2021). Die Ausprägung der Wanderrouten und die Lage der hauptsächlichen Überwinterungsgebiete sind aktuell noch in der Erforschung (DIETZ & KIEFER 2020). Dieses Migrationsverhalten überschreitet das der Zwergfledermäuse, die in deutlich kleinerem Maßstab zwischen Wochenstuben und größeren Winterquartieren wandern (HELVERSEN & HOLDERIED 2003).

WEIDNER & BACHMANN (2022) konnten in Altenburg (Thüringen) interspezifisches Schwärmen von Mücken- und Zwergfledermäusen feststellen. Bei einer großräumigen Untersuchung des Schlafplatzverhaltens von Zwerg- und Mückenfledermäusen in Osteuropa wurde hingegen eine kaum vorhandene Durchmischung beobachtet, die auf artspezifisches Winterschlafverhalten hindeutet (KANUCH et al. 2010).

2.3 Gefährdung und Nachweismethoden

Wie alle europäischen Fledermausarten sind Zwerg- und Mückenfledermäuse im Anhang IV der FFH-Richtlinie (92/43/EWG) aufgeführt und damit streng geschützt. In der Roten Liste Deutschlands (MEINING et al. 2020) sind sie als ungefährdet eingestuft. Die Zwergfledermaus ist in Nordrhein-Westfalen (MEINING et al. 2010) als ungefährdet und in Niedersachsen als gefährdet (HECKENROTH 1993) eingestuft, die Mückenfledermaus ist unbewertet. Nichtsdestotrotz sind sie und ihre Lebensräume von verschiedenen Faktoren bedroht.

Die Quartierszerstörung, insbesondere der Winterquartiere, stellt eine der größten Gefährdungen der Arten dar (BfN 2025a, BfN 2025b). Stellvertretend stehen die Mücken- und Zwergfledermaus in dieser Problematik auch für weitere synanthrope Fledermausarten (Kleiner Abendsegler, Zweifarbefledermaus, Breitflügelfledermaus) (ECHOLOT GbR 2024). Da alter Gebäudebestand häufig im Winter abgerissen oder saniert wird, kann es hier zu fatalen Auswirkungen für die Tiere kommen und mitunter die Auslöschung ganzer Populationen zur Folge haben. Im Zuge energieeffizienter Dämmung und Neubauten gehen immer mehr langjährige Überwinterungsplätze in den Städten verloren (KORSTEN 2022). Aufgrund der schlechten Zugänglichkeit und fehlender, vom Aufwand her handhabbarer Nachweismethoden finden diese Winterquartiere regelmäßig keine Beachtung in der Planung

(GIESE 2018). Dies zeigt die Relevanz handhabbarer und korrekter Methodik für Gutachter*innen, um überwinternde Tiere nachweisen zu können.

Neben dem häufig nicht handhabbaren Störungsverbot (§ 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG) und dem Schutz von Fortpflanzungs- und Ruhestätten (§ 44 Abs. 1 Nr. 3 BNatSchG) ist die Zwergfledermaus in Deutschland auch als von Windenergieanlagen schlaggefährdete Art eingestuft (DIETZ et al. 2024). Somit führt der Ausbau der Erneuerbaren Energien insbesondere aufgrund ihres ausgeprägten Neugierverhaltens (Richardson et al. 2021, ebd.) der Art zu einem artenschutzrechtlichen Konflikt mit § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG, dem Verletzungs- und Tötungsverbot. Die Mückenfledermaus unterliegt nach RODRIGUES et al. (2016) und HURST et al. (2015) derselben Problematik in abgeschwächter Form.

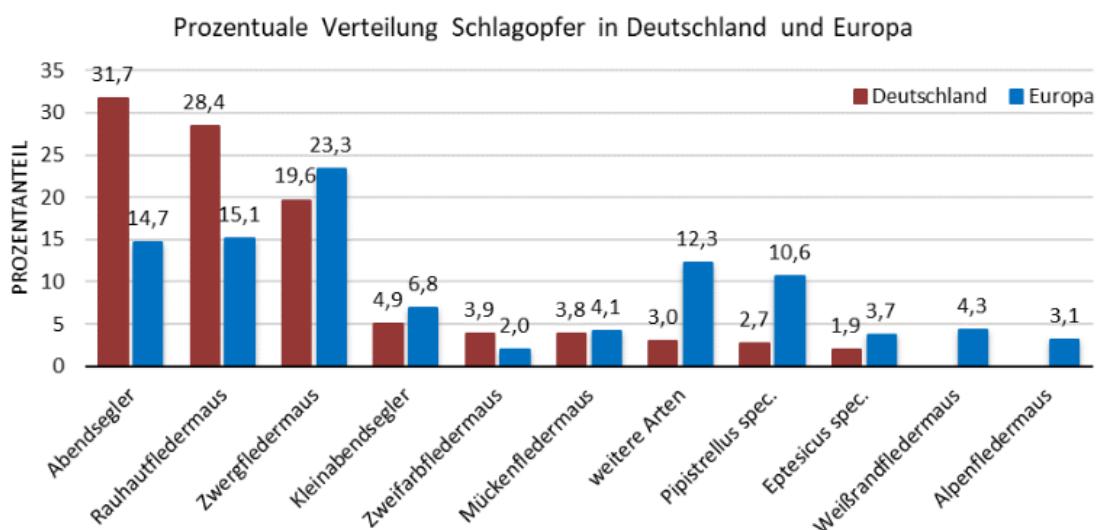


Abb. 4: Schlagopferverteilung in Europa und Deutschland nach Dürr (2022)

Somit sind Zwergfledermäuse die dritthäufigste und Mückenfledermäuse die sechshäufigste geschlagene Art in Deutschland (s. Abb. 4).

Im urbanen Raum stellt eine zu hohe Versiegelung und der Verlust von Frei- und Grünflächen und dem damit einhergehenden Nahrungsangebot an Insekten eine weitere Gefahr für Zwergfledermäuse dar (LINTOTT et al. 2016). Ein vergleichbarer Lebensraumverlust ist im ländlichen Raum hauptsächlich durch Forst- und Landwirtschaft geprägt. Insbesondere der Wegfall von gliedernden Landschaftselementen, die der Zwergfledermaus eine Anbindung über Leitelemente an das Umland und an die Wälder in ihrem Lebensraum bieten, sind problematisch (EICHSTÄDT & BASSUS 1995). Die Mückenfledermaus leidet insbesondere unter

der Vereinheitlichung von Wäldern, z. B. durch Trockenlegung, den Verlust von Kleingewässern sowie durch den Rückgang der Baumartenvielfalt, womit eine Insektenarmut einhergeht (BfN 2025b). Auch ihr Ruf als Krankheitsüberträger, der sich durch die Corona Pandemie verschärft hat, macht sie schnell zu unerwünschten Mitbewohnern und kann ihnen zum Verhängnis werden (MALLAPATY 2023) was auch dem Autor bei der Quartierssuche in der Osnabrücker Innenstadt von einigen Bürgern gespiegelt wurde.

Auch fehlendes Wissen und Defizite im Vollzug geltender natur- und artenschutzfachlicher Vorschriften stellen ein großes Problem für die Arten in Niedersachsen und vermutlich ganz Deutschland dar (RENNACK 2022). Besonders maßgeblich für einen funktionierenden Schutz ist hier die lokale Planungskultur der Behörden in Kombination mit vorhandenen Kapazitäten und Wissen, um dem großen Thema des ganzjährigen Fledermausschutzes gerecht zu werden.

Die Anwesenheit von Fledermäusen lässt sich besonders gut und mit einem hohen Kosten-Nutzen-Faktor durch Bioakustik nachweisen (BADER & KRÄTTLI 2022). Im Unterschied zu vielen gängigen Artengruppen in der Planung braucht es jedoch technische Hilfsgeräte, um die Ultraschallrufe der Tiere für den Menschen hörbar oder sichtbar zu machen. Hierfür gibt es eine Vielzahl an Detektoren, die in manuelle und automatisierte Geräte unterschieden werden können. Erstere wandeln die Ultraschallrufe in für den Menschen hörbare Töne um, und sind für die schnelle und flexible Anwendung im Feld geeignet. Letztere zeichnen dauerhaft stationär die Rufe auf und stellen so in Form eines passiven Dauermonitorings eine besonders effiziente Bestimmung der Arten dar (RUNKEL et al. 2018). Insbesondere durch eine passive Erfassung ist die langfristige, lückenlose Datenaufnahme mehrerer Quartiere an unterschiedlichen Orten mit moderatem Aufwand möglich. Ein weiterer Vorteil ist die nicht-invasive Datenaufnahme, bei der die Tiere nicht gefangen werden müssen. Somit entsteht kein zusätzlicher Stress für die Tiere und es Bedarf auch keiner Bewilligung. Sie werden meist vereinfacht als Horchboxen bezeichnet, wobei es hier aufgrund des schnellen technischen Fortschritts eine Vielzahl unterschiedlicher Geräte mit unterschiedlichsten Funktionen gibt. Während bei aktiven Erfassungen der Bearbeiter im Feld eine Vielzahl an Informationen zum Verhalten beobachten und sammeln kann, lassen Dauererfassungen nur Aussagen über das Artenspektrum und die Nutzungsintensität zu (BFV 2018). Je nach Fragestellung werden

akustische Erfassungen mit weiteren Nachweismethoden wie Netzfang, Telemetrie und Quartierskontrollen kombiniert (HURST et al. 2015).

Die taxonomische Trennung der beiden Arten resultierte aus den unterschiedlichen Ultraschallrufbildern. Dies zeigt, dass eine artspezifische Unterscheidung insbesondere über die auditive Erfassung durch Ultraschalldetektoren gut funktioniert. Die Rufrepertoires der beiden Fledermausarten sind zwar ähnlich, aber für Sachkundige klar zu unterscheiden (PFALZER 2007). Die früher verwendeten Bezeichnungen des „45-kHz-Phonotyp“ und „55-kHz-Phonotyp“ beschreiben den Hauptunterschied der Rufe (s. Abb. 5 und Abb. 6).

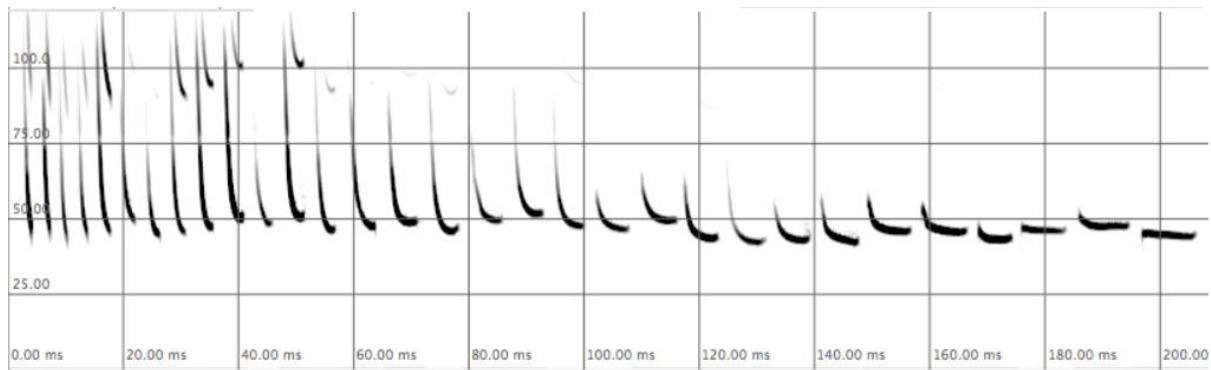


Abb. 5: Typisches Rufbild der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) nach (HAMMER & ZAHN 2009)

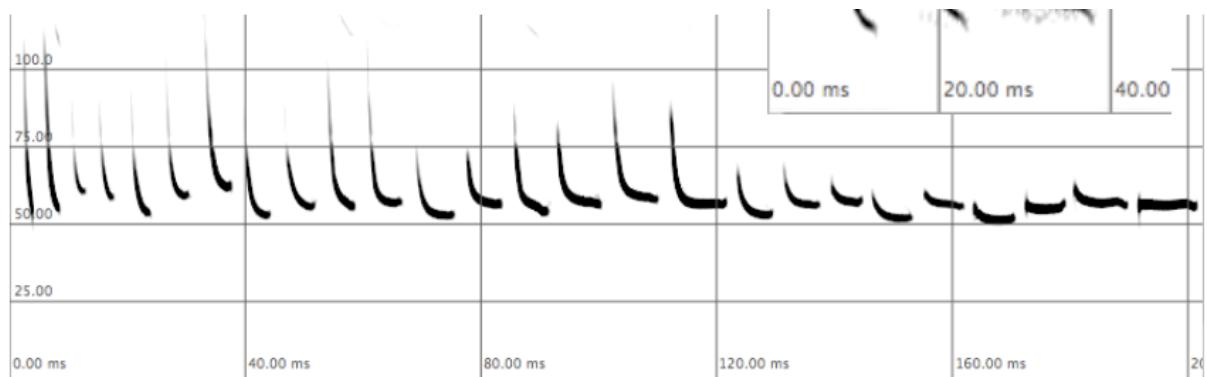


Abb. 6: Typisches Rufbild der Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*) nach (HAMMER & ZAHN 2009)

Mittlerweile wird auch an der Entwicklung einer automatisierten Unterscheidung von Fledermausrufen durch Künstliche Intelligenz geforscht (BERTRAN et al. 2019). Selbst in Kombination mit vielen Störgeräuschen sowie anderen Arten lassen sich Aufzeichnungen und Echtzeitaufnahmen von Zwer- und Mückenfledermaus zunehmend besser trennen.

3 Methodik

Um Erkenntnisse zu der Fragestellung sowie den Hypothesen dieser Arbeit zu erlangen, wurde ein auditives Dauermonitoring an allen untersuchten Quartieren sowie eine Kontrollaufnahme an einem Referenzstandort eingerichtet. Dieses Monitoring wurde durch eine Wetterdatenerfassung anhand von Wetterstation in der Nähe der Quartiere ergänzt. Anschließend wurden statistische Auswertungen mit dem Programm RStudio (R CORE TEAM 2024) durchgeführt. Im Folgenden werden die methodischen Schritte im Detail erläutert.

3.1 Auditives Dauermonitoring

Die Aktivität der Fledermäuse wurde durch ein stationäres, auditives Dauermonitoring erfasst. Die hierfür verwendeten Horchboxen (s. Tab. 1) wurden in einer Höhe von etwa drei bis sechs Metern angebracht und auf die Ein- und Ausflugsschneisen der Winterquartiere gerichtet. Das Monitoring wurden während der gesamten Hibernation von **15. November bis zum 10. März** (SENDOR 2002) durchgeführt.

Tab. 1: Standorte und Equipment der geplanten Dauererfassung

Quartier	Erfassungsgerät	Mikrofon	Wetterstation	Betreuung	Adresse
Animals Inn Coesfeld	Anabet Swift	Titley Omni-directional Ultrasonic microphone US-O V3	ECOWITT Wetterstation: WS3800	Christian Giese	Herzstraße 3 Coesfeld
Paulusheim Osnabrück	Anabet Express	Titley Omni-directional Ultrasonic mic. US-O V3	ECOWITT Wetterstation: Wittboy	Dense & Lorenz/ Fabian Besuden	Magdalenenstr. Osnabrück
Westerberg Osnabrück	Anabet Express	Titley Omni-directional Ultrasonic microphone US-O V3	ECOWITT Wetterstation: Wittboy	Fabian Besuden	Lührmannstraße Osnabrück
Schleusenhaus Sondernheim	Batcorder 3.1.	FG-Serie Elektret, Omni-directional	ECOWITT Wetterstation: Wittboy	Christian Giese	Schleusenhaus, Germersheim
Referenzaufnahme Rheden	Ecoobs Batcorder mini	Titley Omni-directional Ultrasonic microphone US-O V3	ECOWITT Wetterstation: Wittboy	Christian Giese	Feldgarten 1 Rheden

Die Anabet Express Horchboxen an den Osnabrücker Quartieren verwenden Zero-Crossing-Technik, die einen geringeren Energieverbrauch sowie geringere Datenmenge mit sich bringt, jedoch im Vergleich zur Echtzeit Hochfrequenzaufnahme eine geringere Frequenzauflösung hat. Nachteilig wirkt sich dies insbesondere bei der artgenauen Bestimmung sowie der automatisierten Bestimmung, die einige Programme anbieten, aus (RUNKEL et al. 2018). Die geringere Datengenauigkeit des Zero-Crossing-Verfahrens ist jedoch für die Fragestellung nach der quantitativen Aktivität geeignet (STAHLSCHEIDT & BÜHL 2012), da eine Differenzierung der aufgenommenen Rufe in Fernortung, Nahortung oder Soziallaute nicht erforderlich ist. Eine Artunterscheidung anhand der Rufe ist notwendig, jedoch eher simpel, da alle Quartiere

bekannt sind und Zwergr- und Mückenfledermäuse anhand des Rufbildes zwar schwer voneinander, jedoch gut von anderen Arten unterscheidbar sind (KRINER o. J., SBBG 2018, PFALZER 2007). An den Quartieren in Sondernheim, Coesfeld und Rheden wurden aufgrund der dort verwendeten modernen Horchboxen Vollspektralaufnahmen durchgeführt. Der Vorteil ist hier, dass die Artenerkennung der aufgezeichneten Spektrogramme vollautomatisiert von einem Programm ausgewertet werden kann (vgl. Kap. 3.4).

Alle fünf verwendeten Horchboxen liefen im „night only“ Modus, in welchem die Erfassung automatisiert, täglich zu Sonnenuntergang startet und zu Sonnenaufgang unterbrochen wird. Je nach Standort wurden in regelmäßigen Abständen von etwa zehn bis dreißig Tagen die Akkus und Speicherkarten ausgetauscht.

3.2 Untersuchungsgebiet

Für diese Studie wurden vier bereits bekannte Fledermauswinterquartiere zur Datenerhebung ausgewählt. Diese befinden sich im Westen Deutschlands, in und bei den Städten Osnabrück (Niedersachsen), Coesfeld (Nordrhein-Westfalen) und Sondernheim (Rheinland-Pfalz) (s. Abb. 7). Die Standorte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Gebäude- und Quartiersstrukturen, der Umgebung und der anthropogenen Einflüsse. Während sich die Quartiere in Osnabrück in einem urbanen Umfeld befinden, liegen die Standorte bei Sondernheim und Coesfeld in eher ländlich geprägten Räumen. Drei der Quartiere (1–3) werden von Zwergefledermauskolonien genutzt, beim Quartier 4 handelt es sich um ein Mückenfledermausquartier. Zusätzlich wurden an einem Referenzstandort in Rheden ein auditives Dauermonitoring als Kontrollaufnahme eingerichtet.

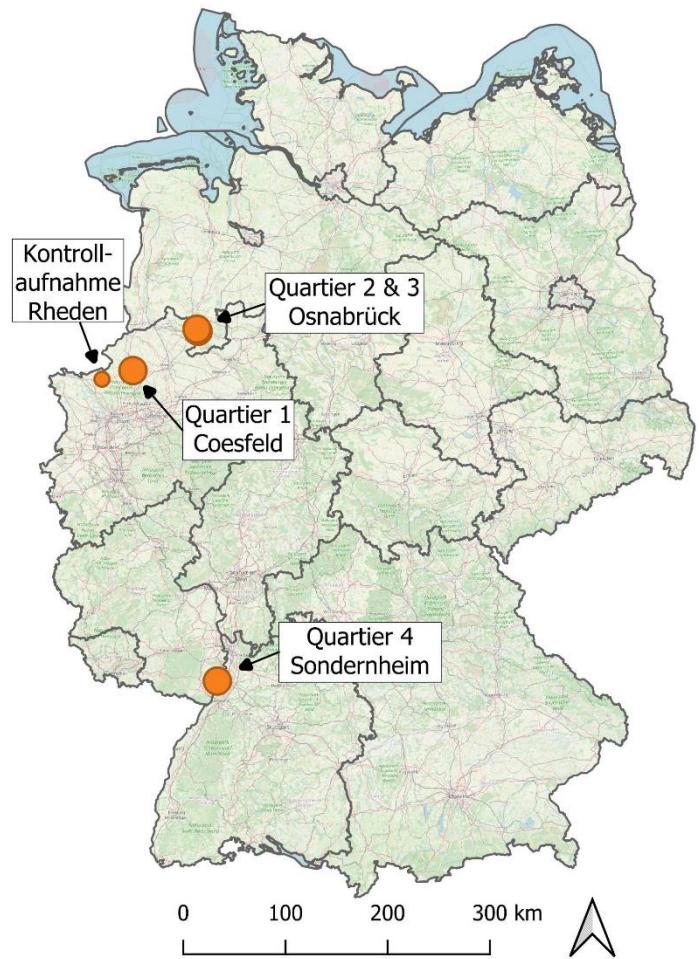


Abb. 7: Standorte des Dauermonitorings in Deutschland.
Kartengrundlage: OpenStreetMap

Das Animals Inn Coesfeld sowie die Referenzaufnahme in Rheden befinden sich in der „Westfälischen Tieflandsbucht (D34)“ (MEISEL 1962a, S.800). Diese ist von flachwelligem Geländerelief geprägt, auf dem sich fruchtbare Böden in Löß, Mergel und Geschiebelehmb befinden. Trockene Gebirgshänge und den gesamten Raum durchziehende Flussläufe der Ems und Lippe haben ein von Siedlungen, Landwirtschaft und Industrie geprägte Gebiete entstehen lassen (MEISEL 1962a). Klimatisch ist der Übergang von maritimen zu mehr kontinentalen Einflüssen prägend. Die Osnabrücker Quartiere liegen in der naturräumlichen Einheit „Unteres Weserbergland und Oberes Weser-Leinebergland (D36)“ (MEISEL 1962b, S.785). Das untere Weserbergland ist nahezu vollständig von Teutoburger Wald und Wiehengebirge umwallt und weist zwischen diesen Hügellandcharakter auf. Klimatisch

herrschen maritime Einflüsse vor wobei die topographischen Gegebenheiten eine gewisse klimatische Mannigfaltigkeit mit sich bringen. Geringe saisonale Temperaturschwankungen und relativ hohe Niederschlagswerte haben die Entwicklung hin zu einer landwirtschaftlich und industriell sehr intensiv genutzten Region gefördert (MEISEL 1962b). Sondernheim liegt im Rhein-Main-Tiefland (D53) (KULS 1962, S.337), welches räumlich hauptsächlich durch tektonische Vorgänge definiert ist und ein vielseitiges Relief aufweist. Die Gebirgsränder stellen klare Klimascheiden dar, die es zu einem der wärmeren und niederschlagsärmeren Regionen Deutschlands machen. Auf meist mächtiger Lößdecke ist heutzutage Wald einer ertragreichen Landwirtschaft gewichen (KULS 1962). Im Folgenden werden die Quartiere detailliert vorgestellt.

Quartier 1 Animals Inn Coesfeld

Das erste Quartier beheimatet eine Zwergfledermaus-Kolonie im Artenschutzhause des Industriepark Nord Westfalen, auch bekannt als „Animals Inn“. Auf dem Gelände der ehemaligen Freiherr-vom-Stein-Kaserne wurde von der Stadt Coesfeld eine Umnutzung in einen Industriepark mit einer „Grünen Mitte“ vollzogen, in welcher 10 Hektar in besonderem Maße für den Artenschutz hergerichtet wurden (PLAWIK & MEIER 2018). Hier befinden sich auch zwei Artenschutzhäuser, ehemalige Wohngebäude, die zu künstlichen Ruinen umgewandelt wurden. Eines der beiden (Artenschutzhause 118, Hertzstraße 3) wurde durch ökologische Gestaltungsmaßnahmen zusätzlich aufgewertet (ebd.). Für Fledermäuse wurden 135 neue Fledermausquartiere im Innen- und Außenbereich angebracht und anschließend ein Monitoring von 2013 bis 2018 durchgeführt. Außerdem fand eine Umsiedlung von 84 Zwergfledermäusen in das Artenschutzhause statt. Insgesamt konnten im Monitoring-Zeitraum elf Fledermausarten und der Wandel von „*einem durch einzelne Zwergfledermäuse als Sommerquartier genutzten Gebäude zu einem etablierten Ganzjahresquartier [...], das von Zwergfledermäusen und Braunen Langohren mit aktuell steigenden Individuenzahlen genutzt wird*“ (PLAWIK & MEIER 2018 S.22 Z.36 ff.) festgestellt werden. Dieser Zustand konnte im Januar 2024 von C. Giese und im Januar 2025 auch vom Autor erneut bestätigt werden. Die Zwergfledermäuse nutzen insbesondere unter der Decke angebrachte Hohlsteine zum Überwintern und Verteilen sich von Keller bis in das zweite Obergeschoss. Die Horchbox wurde im ersten Obergeschoss in einem Fenster der Südostfassade angebracht. Das Mikrofon ist nach außen auf die Haupt-, Ein- und Ausflugsschneise gerichtet. Die

Wetterstation wurde an einem Holzpfahl direkt vor dem Quartier in etwa vier Metern Höhe angebracht (s. Abb. 8)

Das direkte Umfeld stellt eine extensiv genutzte Weidelandschaft mit einer Vielfalt von Strukturen wie Baumgruppen, Stein und Totholzhaufen und Gebäudestrukturen dar. Diese ist von Industriegebäuden, einer Schießanlage, einem Golfplatz, einem Solar- und Windpark sowie ausgedehnten Wald- und Ackerflächen umgeben.

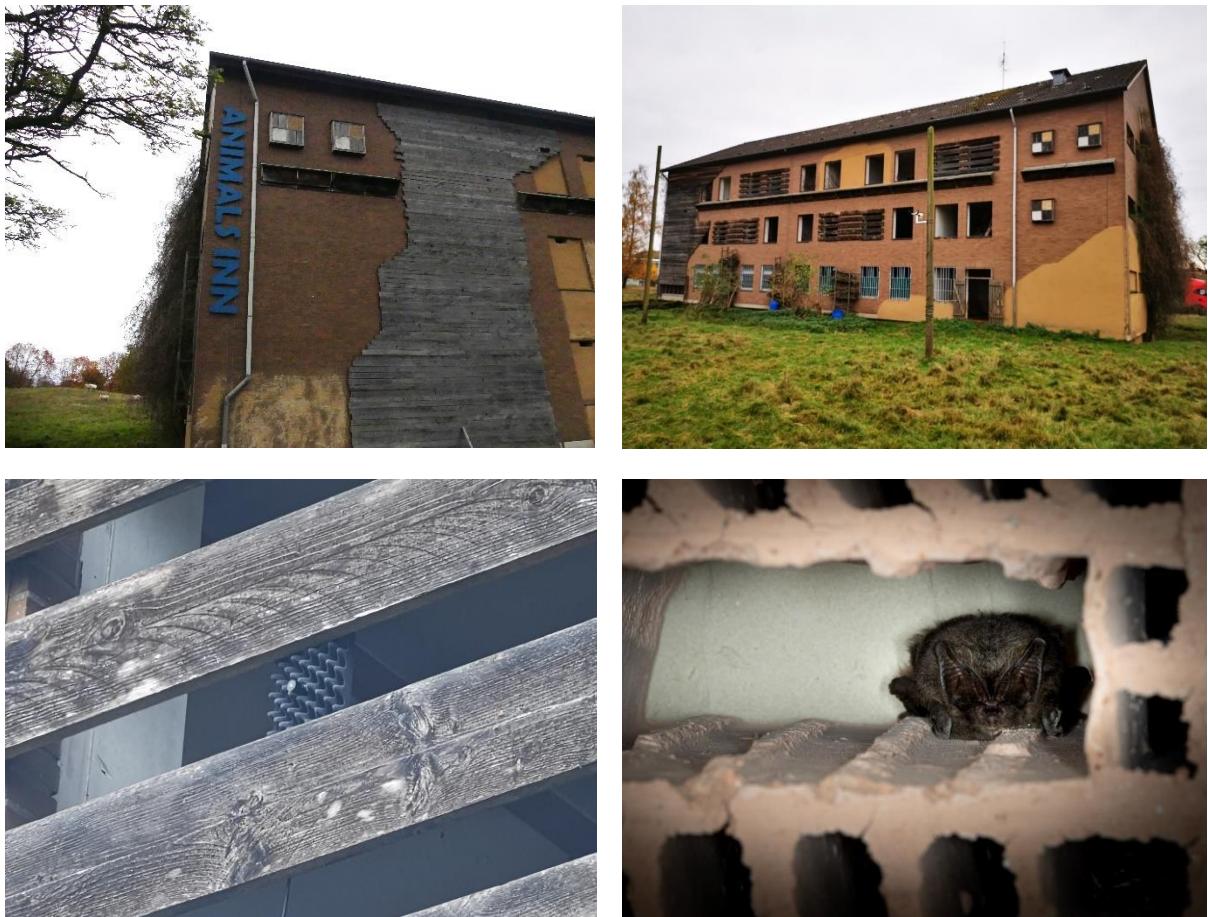


Abb. 8: Fotos vom Quartier 1 Animals Inn Coesfeld. Foto 1: vordere Fassade. Foto 2: hintere Fassade. Foto 3: Horchbox im ersten Obergeschoss. Foto 4: Eine Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) als seltener Gast.

Quartier 2 Paulusheim Osnabrück

Das zweite Quartier befindet sich am Altenheim „Paulusheim“ in Osnabrück im Stadtteil Schölerberg. An der Ostfassade des Pflegeheims hat sich über viele Jahre ein Winterquartier der Zwerghfledermaus etabliert. Lüftungslöcher auf etwa drei und fünf Meter Höhe werden als Zugang ins Quartier in der Fassade genutzt (s. Abb. 9). Die Ein- und Ausflugsschneise ist auf den angrenzenden Johannisfriedhof ausgerichtet, welcher eine etwa sieben Hektar große Parkanlage mit Altbaumbeständen darstellt. Das Quartier wird schon seit einigen Jahren vom örtlichen Fledermausbüro Dense & Lorenz GbR untersucht und im Winter als Referenzquartier für Winteraktivität genutzt. Die Betreuung im Winter 2024/2025 übernahm zum Großteil das Büro und stellte die Daten zur Verfügung. Die Horchbox wurde in etwa zehn Meter Entfernung in etwa vier Meter Höhe an einem Baum befestigt. Das Mikrofon ist auf das Quartier gerichtet.



Abb. 9: Fotos vom Quartier 2 Paulusheim Osnabrück. Foto 1 und 3: Fassade und angrenzender Friedhof. Foto 2: Anbringen der Horchbox. Foto 4: Einfluglöcher in das Winterquartier.

Quartier 3 Westerberg Osnabrück

Das dritte Quartier befindet sich am Westerberg in Osnabrück an der Lührmannstraße 45, an einem Mehrparteien-Wohnhaus. An der westlichen Hausfassade wurde 2021 durch Frostschwärm entdeckt (RENNACK 2022). Der Ein- und Ausflugsbereich zu einem vermuteten Hohlraum besteht aus mehreren Löchern in etwa vier Metern Höhe in der Backsteinfassade (s. Abb. 10). Die Umgebung stellt eine Einzel- und Reihenhausbebauung mit großen naturnahen Gärten und Altbau beständen dar. Die Horchbox wurde etwa sieben Meter entfernt in etwa drei Meter Höhe in einem Efeu angebracht. Das Mikrofon ist auf das Quartier gerichtet. Über die Größe und Ausprägung sowie die zeitliche Nutzung des Quartiers ist nichts bekannt.



Abb. 10: Fotos vom Quartier 3 Westerberg Osnabrück. Foto 1: Fassade des Wohnhauses. Foto 2: Einfluglöcher in das Winterquartier. Foto 3: Ausgerichtete Horchbox. Foto 4: Umgebung des Quartiers.

Quartier 4 Schleusenhaus Sonternheim

Das vierte Quartier, welches die Mückenfledermäuse beheimatet, liegt in Sonternheim im südlichen Rheinland-Pfalz. Konkret befindet es sich unter dem Dach des ehemaligen Schleusenwärterhauses. Direkt unter dem Dachgiebel ermöglichen kleine Schlitze den Zugang für die Tiere in die Fassade (s. Abb. 11). Das Quartier liegt am Michelsbach in unmittelbarer Nähe zum Rhein. Die Umgebung ist stark vom Rhein sowie weiteren Fließ- und Stillgewässern mit angrenzenden Uferbereichen und Auewäldern geprägt. Im Norden Richtung Sonternheim erstreckt sich eine Agrarlandschaft mit Baumreihen und Heckenstrukturen.

In der Wochenstube auf der anderen Seite des Gebäudes wurden teils 600 Mückenfledermäuse nachgewiesen. C. Giese führte bereits im Winter 2022/2023 ein Dauermonitoring durch und übernahm auch im Winter 2024/2025 die Betreuung des Quartiers. Über die Internetseite [fledermausschutz.de](https://www.fledermausschutz.de/fledermausschutz/winteraktivitaet-von-zwergfledermaeusen/) ist ein durchgehendes Beobachten des Quartiers durch Echtzeit-Videostreaming möglich.

<https://www.fledermausschutz.de/fledermausschutz/winteraktivitaet-von-zwergfledermaeusen/> (Stand Mai 2025)

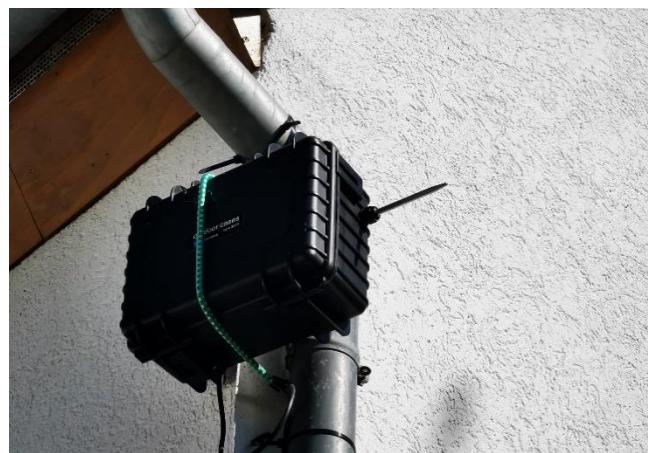


Abb. 11: Fotos vom Quartier 4 Schleusenhaus Sonternheim. Foto 1: Das Schleusenhaus. Foto 2: Einfluglöcher in das Winterquartier. Foto 3: Anbringen der Horchbox. Foto 4: Die befestigte Horchbox.

Referenzaufnahme in Rheden

Um Vergleichsdaten zu erzeugen, wurde im Winter 2022/23 und 2023/24 ein auditives Dauermonitoring abseits bekannter Fledermauswinterquartiere eingerichtet. Diese Kontrollaufnahme wurde in der etwa 35 km westlich vom Quartier Coesfeld gelegenen Ortschaft Rehden eingerichtet (s. Abb. 7). Die Horchbox wurde auf einer Fensterbank im ersten Obergeschoss eines freistehenden Hauses in Richtung des etwa 250 Quadratmeter großen Gartens eingerichtet. Die direkte Umgebung besteht aus einer lockeren Einzelhausbebauung. Etwa 100 Meter südlich verläuft das Fließgewässer Bochholter Aa, an das sich eine ausgedehnte Agrarlandschaft anschließt, während sich die Ortschaft Rehden im Norden erstreckt.



Abb. 12: Fotos vom Referenzstandort in Rheden. Foto 1: Fassade und Garten des Wohnhauses. Foto 2 und 3: Mikrofon der Horchbox.

Wetter im Winter 2022/2023 und 2024/2025 sowie Klimatrends

Die Hauptaufnahmezeit der Untersuchung, der Winter 2024/25, war in Deutschland überwiegend von milden Temperaturen und vergleichsweise wenig Niederschlag geprägt. Im Vergleich zur international gültigen Referenzperiode 1961 bis 1990 lagen die Temperaturen im Mittel 2,1 Grad Celsius (°C) höher und der Niederschlag mit 155 Litern pro Quadratmeter (l/m²) deutlich tiefer als die Vergleichsmittelwerte (DWD 2025). Schneefall und Frostperioden stellten insgesamt eher die Ausnahme dar, womit der Trend von Wintern mit einem Temperaturmittel über dem Referenzwert zum 14. Mal in Folge wiederholt wurde. Insbesondere der Februar war von ausgesprochener Trockenheit, sowie von einem Wechsel zwischen frühlingshaften Temperaturanstiegen und frostigen Phasen geprägt. Diese Tendenzen ließen sich in den Bundesländer Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz in sehr ähnlicher Ausprägung beobachten. Die regionalen Unterschiede sind im Oberrheinischen Tiefland, Westdeutschen Tieflandbucht und dem Nordwest deutschen Tiefland tendenziell weniger ausgeprägt als in weiteren Teilen Deutschlands (DWD 2022). In der deutschen Klimakarte sind die Quartiere bei Osnabrück und Coesfeld, anhand von Niederschlag und Temperatur denselben klimatischen Regionstyp (C5) zugeordnet (DIERCKE 2015). Bei dem Quartier Schleusenhaus Sonderheim (klimatischer Regionstyp C7) liegen mehr Monate mit einem Mittelwert von >10 °C vor (DIERCKE 2015).

Auch der Winter 2022/2023 war ein besonders milder und etwas trockenerer Winter (DWD 2023). In den Bundesländer Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz fiel im Vergleich zum deutschlandweiten Trend hingegen relativ viel Niederschlag. Die Gebietsmitteltemperatur lag in Deutschland mit 2,9 °C über dem Vergleichsmittelwert. Insbesondere im Dezember konnten Temperaturextreme mit -19,3 °C am 18.12.2022 und einem anschließenden rekordwarmen Jahreswechsel mit bis zu 20 °C am 31.12.2022 verzeichnet werden. Die Monate Januar und Februar waren anschließend besonders warm und brachten kaum noch Frost mit sich.

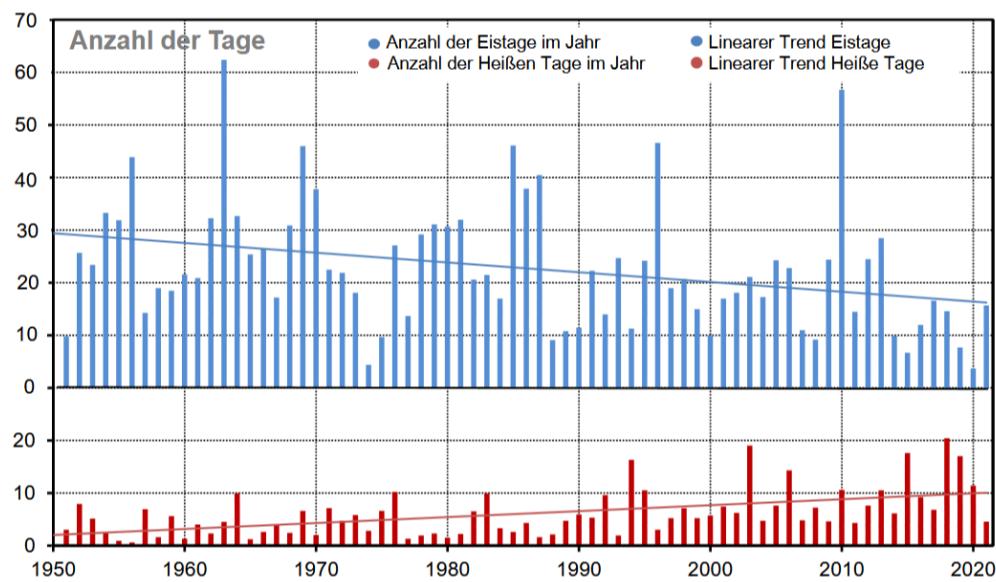


Abb. 13: Anzahl der Heißen Tage (Tagesmaximum der Lufttemperatur $\geq 30^{\circ}\text{C}$) und Eistage (Tagesmaximum der Lufttemperatur $< 0^{\circ}\text{C}$) von 1951 bis 2021 und Trendlinien (DWD 2022)

Auch wenn langfristige klimatische Entwicklungen von kurzfristigen Schwankungen überlagert werden, zeigen beide betrachteten Winter den Trend des Klimawandels (DWD 2022). Dies spiegelt sich auch in den für Winteraktivität häufig als relevant genannten Kenntagen, den Eistagen (Tagesmaximum der Lufttemperatur $< 0^{\circ}\text{C}$) (KORSTEN et al. 2016) wider, deren mittlere Anzahl seit 1950 von 28 auf 16 Tage pro Jahr gefallen ist (s. Abb. 13).

3.3 Wetterdaten

Während für faunistische Standarderfassungen Daten von öffentlichen Wetterstationen ausreichen, um Aussagen zur Witterung als Einflussfaktor zu tätigen, ist dies bei Spezialerfassungen, wie zum Beispiel die Erfassung einzelner Arten mit unklarer Bestandssituation oder unklarem Verhalten, nicht immer der Fall (TRAUTNER et al. 2021).

Zur Erfassung der Wetterdaten wurden an den Quartieren Sonderheim und Artenschutzhause Coesfeld direkt am Quartier und bei den Osnabrücker Quartieren in quartiersnähe (< 800 m Entfernung) Wetterstationen installiert. Die Stationen wurden in einer Höhe von etwa drei bis fünf Metern auf Quartierhöhe angebracht. Dabei wurde darauf geachtet, exponierte Aufnahmestandorte zu wählen, die den Witterungsbedingungen im Luftraum vor den Quartieren entsprechen. Verwendet wurden die Modelle „Wittboy“ und „WS3800“ der Marke „ecowit“ (s. Tab. 1). In dieser Arbeit wurden die Daten, gemittelt über fünf-Minuten-Intervalle verwendet.

Die Wetterstationen erfassen die Parameter: Temperatur in Grad Celsius [$^{\circ}\text{C}$], Luftfeuchtigkeit in Prozent [%], UV-Strahlung in Watt pro Quadratmeter [W/m^2] sowie Ultraviolett-Index [UVI], Niederschlag in Millimeter pro Stunde [mm/h], Windgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde [m/s] und Windrichtung in Grad [$^{\circ}$] sowie den relativen Luftdruck in Hektopascal [hPa]. In den Horchboxen ist ein Temperaturlogger integriert, welcher zusätzlich die Außentemperatur am jeweiligen Standort misst. Da dieser nahezu exakt deckungsgleich mit den Werten der Wetterstation ist, wurde dieser nicht verwendet.

Die untersuchten Parameter orientieren sich an aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen und Hypothesen zur komplexen Abhängigkeit von verschiedenen Wetterfaktoren. Basierend auf den Beobachtungen von BVF (2018), RENNACK (2022), KORSTEN (2016) und GIESE (2024) wurden für die Parameter Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit die Werte der letzten 48 Stunden vor Beginn der betrachteten Nacht herangezogen. Für Niederschlag und Windgeschwindigkeit wurden hingegen die Werte der betrachteten Nacht im Zeitraum von 15:00 bis 09:00 Uhr verwendet, um auch die Dämmerungsstunde abzudecken.

Zur Analyse der gestellten Hypothesen wurden aus den Wetterdaten für jede Nacht die folgenden acht Wetterparameter berechnet:

- Durchschnitt der Windgeschwindigkeit: Der Mittelwert der Windgeschwindigkeit [m/s] von 15:00 bis 09:00 Uhr der jeweiligen Nacht.
- Durchschnitt des Niederschlags: Der Mittelwert des Niederschlags [mm/h] von 15:00 bis 09:00 Uhr der jeweiligen Nacht.
- Temperaturdifferenz der zwei Vortage: Differenz zwischen der maximalen und minimalen Temperatur [°C] innerhalb der letzten 48 Stunden vor 15:00 Uhr des jeweiligen Nachtbeginns.
- Luftdruckdifferenz der zwei Vortage: Differenz zwischen dem maximalen und minimalen relativen Luftdruck [hPa] innerhalb der letzten 48 Stunden vor 15:00 Uhr des jeweiligen Nachtbeginns.
- Luftfeuchtigkeitsdifferenz der zwei Vortage: Differenz zwischen der maximalen und minimalen Luftfeuchtigkeit [%] innerhalb der letzten 48 Stunden vor 15:00 Uhr des jeweiligen Nachtbeginns.
- Temperaturminimum der zwei Vortage: Minimaltemperatur [°C] innerhalb der letzten 48 Stunden vor 15:00 Uhr des jeweiligen Nachtbeginns.
- Luftdruckminimum der zwei Vortage: Minimalluftdruck [hPa] innerhalb der letzten 48 Stunden vor 15:00 Uhr des jeweiligen Nachtbeginns.
- Luftfeuchtigkeitsminimum der zwei Vortage: Minimalluftfeuchtigkeit [%] innerhalb der letzten 48 Stunden vor 15:00 Uhr des jeweiligen Nachtbeginns.

Zur besseren Lesbarkeit werden diese Parameter in den folgenden Kapiteln vereinfachend als **Wind, Niederschlag, ΔTemperatur, ΔLuftdruck, ΔLuftfeuchtigkeit, Min. Temperatur, Min Luftdruck und Min Luftfeuchtigkeit** bezeichnet.

3.4 Datenaufbereitung der Fledermausaktivität

Die Anabet-Express-Horchboxen nehmen für jeden Nacht eine zca-Datei und eine Log-Datei auf. Die zca-Datei enthält die akustischen Aufnahmen der Fledermausrufe der jeweiligen Nacht, während die Log-Datei technische Parameter, Temperatur- und Feuchtigkeitsdaten sowie Koordinaten und Aufnahmezeitraum beinhaltet. Die Auswertung der zca-Dateien erfolgte mithilfe des Programms „Anabat Insight“. In dieser lassen sich die Nachdateien in Einzelaufnahmen unterteilen („Convert zca files“). Auf die Einzelsequenzdateien (zc-Datei) wurde der „all bats“ Filter angewendet, der Sequenzen die nur Störgeräusche enthalten aussortiert. Zusätzlich wurde in Anlehnung an gängige Literatur (RICHARZ 2021, RUNKEL et al. 2018) ein weiterer Filter für Zwergfledermausrufe erstellt. Dieser filtert die Aufnahmen mit Sequenzen zwischen 40 und 55 Kilohertz (kHz) und wurde anhand von 10.957 Sequenzdateien getestet und manuell überprüft. Dies entspricht einem ausreichenden Stichprobenumfang nach der Formel: $n = \frac{Z^2 * p * (1-p)}{E^2}$ mit einem Vertrauensniveau Z=99% (2,576) und einer erwartbaren Variabilität p= 0,9 und einer Fehlertoleranz E= 1% (0,01) (BORTZ & DÖRING 2006, S.271 ff.). Insgesamt wurden 0,26 % der händisch identifizierten Zwergfledermausrufe im Quartier Paulusheim und 1,78 % im Quartier Westerberg durch den Filter nicht korrekt zugeordnet. Die Fehlerwerte beider Quartiere sind angesichts der Fragestellung nach Aktivität und der großen Sequenzmengen unproblematische Werte und bestätigen eine sinnvolle Einstellung und einen passenden Anwendungsbereich des Filters. Anschließend wurden die gefilterten Frequenzen den Arten zugeordnet und in den Metadaten der Dateien eingepflegt. Stichprobenartig wurden rund weitere 5.000 Sequenzen verteilt über den gesamten Zeitraum und die Quartiere überprüft, wodurch die Annahme zusätzlich bestätigt werden konnte.

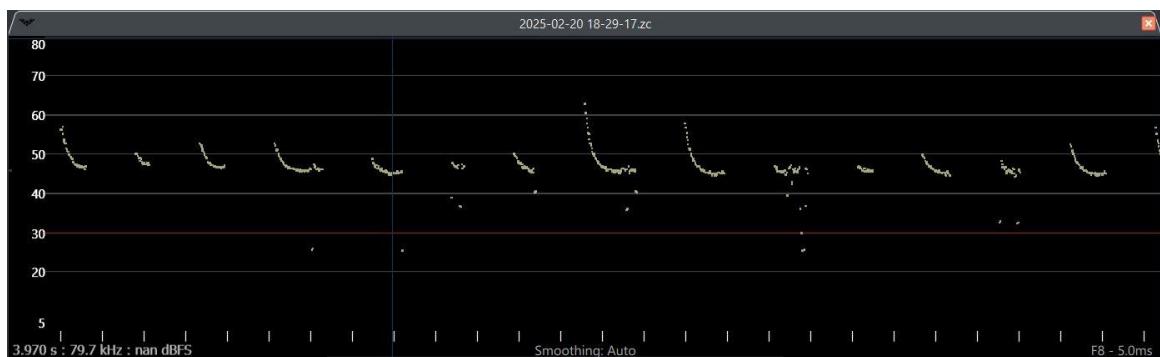


Abb. 14: Spektrogramm der Aufnahme einer Rufsequenz einer Zwergfledermaus am Quartier Westerberg Osnabrück in dem Programm Anabat Insight

Insgesamt wurden 188.776 Dateien ausgewertet von welchen 17.132 der Zwergfledermaus zugeordnet werden konnten (s. Tab. 2). Die gelabelten Einzelsequenzdateien lass sich im Anschluss als Tabelle (csv-Dateiformat) exportieren.

Die Daten des Quartiers Sonderheim und Artenschutzhaus Coesfeld wurde im wav-Dateiformat (Vollspektralaufnahmen) ausgelesen und mit dem Programm bcAnalyze analysiert und in Tabellenformat (csv) umgewandelt (s. Abb. 15). Hierdurch wurden 647.704 Sequenzen den Zielarten zugeordnet (s. Tab. 2).

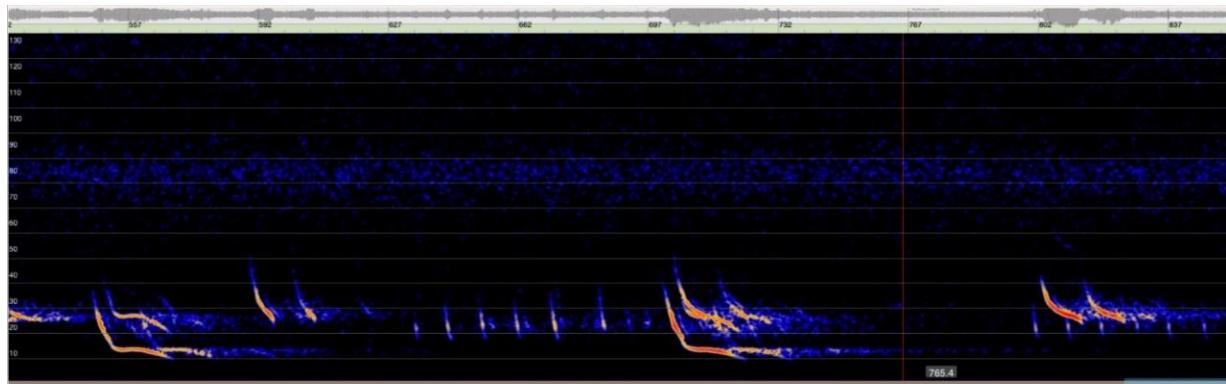


Abb. 15: Vollspektralaufnahme einer Zwergfledermaus im Animals Inn Coesfeld

Aufgrund von verschiedenen, kleineren, technischen Problemen liegen an allen Aufnahmestandorten kleinere Datenlücken vor. Diese überscheiten bei keinem der Quartiere zehn Tage. Diese wurden im Datensatz als fehlende Daten markiert. Die Datenerfassung fand angepasst an die Hauptzeitraum des Torpors von Zwer- und Mückenfledermäusen von Mitte November bis Mitte März statt.

Tab. 2: Übersicht der Datenaufnahme und Auswertung

Quartier	Aufnahmezeitraum	Sequenzanzahl gesamt	Sequenzanzahl Zielart
Animals Inn Coesfeld	30.10.2024 - 18.03.2025	/	5.116
Paulusheim Osnabrück	06.11.2024 - 10.03.2025	93.418	12.467
Westerberg Osnabrück	15.11.2024 - 12.03.2025	95.358	4.665
Sonderheim 2024/25	15.12.2024 - 21.03.2025	/	218.520
Sonderheim 2022/23	15.10.2022 - 01.04.2023	/	429.184

Um die Aktivität messbar und anschließend bewertbar zu machen ist es essenziell geringe sowie erhöhte Aktivität zu klassifizieren (RUNKEL et al. 2018). Bei der automatisierten Erfassung ist es für eine vergleichbare Auswertung notwendig ein Aktivitätsmaß festzulegen (BVF 2018).

Um eine bestmögliche Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden hierfür Anwesenheitsintervalle, also der Nachweis von Aktivität der Art in einem bestimmten Zeitintervall empfohlen (BVF 2018). In dieser Arbeit wurde sich auf den **Aktivitätsindex: Aktivitätsminuten pro Nacht** festgelegt. Dies bedeutet, dass jede volle Minute der Nacht in der zu einem beliebigen Zeitpunkt Aktivität stattgefunden hat als Aktivitätsminuten, und jede Minute, in der zu keinem Zeitpunkt Aktivität stattgefunden hat als keine Aktivitätsminuten eingestuft wurde. Die Anzahl der Aktivitätsminuten pro Nacht macht erhöhte Aktivität messbar. Dies stellt im Vergleich zu ähnlichen Studien eine sehr hohe Genauigkeit dar ohne eine pseudo Genauigkeit, aufgrund von technischer Limitation, vorzugaukeln. Des Weiteren unterliegt dieser Index einer geringeren Streuung als zeitlich oder technisch feinerer Auflösungen wie Aufnahmeanzahl pro Zeitintervall oder Aktivitätssekunden pro Zeitintervall und verringert (RUNKEL et al. 2018) Um eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Quartieren zu ermöglichen ist eine absolute Angabe der Aktivität sinnvoller als eine relative (BVF 2018).

Zusätzlich wurde die Nachtlänge für jede Nacht je nach Standort berechnet, um diese in das Modell mit einfließen zu lassen. Für die Berechnung wurde das R-package „suncalac“ (THIEURMEL & ELMARHRAOUI 2022) verwendet.

Am Ende der Datenaufbereitung steht somit für jeden Winter an jedem Quartier ein Datensatz, welcher die Werte: Datum, Aktivitätsminuten, Wind, Niederschlag, Δ Temperatur, Δ Luftdruck, Δ Luftfeuchtigkeit, Min. Temperatur, Min Luftdruck, Min Luftfeuchtigkeit, Nachtlänge und Standort enthält. Diese werden wiederum je nach Art zusammengefasst zu den zwei Datensätzen **Datensatz-P.pip** (Daten der Zwergfledermausquartiere) und **Datensatz-P.pyg** (Daten der Mückenfledermausquartiere), mit denen die gesamte statistische Auswertung durchgeführt wird.

3.5 Statistische Analyse

Als letzter Schritt der Datenauswertung erfolgt eine statistische Analyse, welche die Zusammenhänge der beiden erhobenen und aufbereiteten Datensätze Datensatz-P.pip und Datensatz-P.pyg untersucht. Im Folgenden werden die angewandten Analyseschritte in einer Detailtiefe beschrieben, die ein vollständiges Verständnis ermöglicht und damit die Möglichkeit eröffnet diese für ähnliche Studien zu replizieren. Um diese Arbeit nicht mit mathematischen Details zu überladen wurden die statistischen Tests und Modelle lediglich angewandt aber nicht bis ins feinste Detail beschrieben, um Lesbarkeit und Verständlichkeit zu gewährleisten. Die statistische Analyse wurde mit dem Programm RStudio (R CORE TEAM 2024) durchgeführt.

Zur Untersuchung von Korrelationen gibt es verschiedene Methoden, die je nach Datenlage und Forschungsfrage miteinander kombiniert werden. Bei der Korrelationsuntersuchung einer Variable (Prädiktor) auf das Eintreten eines Ereignisses bietet es sich an zuerst mit einer Datenvisualisierung zu arbeiten, um erkennbare Muster aus den Diagrammen (plots) zu identifizieren die beispielsweise auf lineare Beziehungen hinweisen (WALSER 2011). Um Zusammenhänge statistisch verifizieren und generalisieren zu können, bedarf es des statistischen Verfahrens einer Regressionsanalyse. Anhand eines Regressionsmodells können aus erhobenen Datensätzen Aussagen zu Abhängigkeiten von abhängigen und unabhängigen Variablen getroffen werden (HEDDERICH & SACHS 2016). Ziel ist es somit ein bestmöglich passendes multivariates Regressionsmodell anzuwenden, das die Korrelation der abhängigen Variable (Aktivitätsindex) mit mehreren unabhängigen Variablen (Wetterparameter) untersucht.

Hierfür wird häufig ein **p-Wert oder auch „empirisches Signifikanzniveau“** berechnet. Dieser ist ein in der Statistik in vielen Bereich verwendeter Wert, um zu bewerten, ob ein beobachteter Effekt **statistisch signifikant** ist. Der p-Wert gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass ein Effekt, der mindestens so stark ausgeprägt ist wie der gemessener Effekt, unter Annahme der Nullhypothese entsteht (FROST 2017). Die **Nullhypothese** ist ein statistisches Konzept, das für die Annahme beschreibt, dass es keinen Effekt, keinen Unterschied oder keinen Zusammenhang gibt und bildet somit die Gegenhypothese zur Untersuchung eines Effekts (WALSER 2011). Der p-Wert kann somit auch als Wahrscheinlichkeit verstanden werden, dass

ein Ergebnis durch Zufall entstanden ist, wenn der Effekt nicht existiert. Ab welchem p-Wert von Signifikanz gesprochen wird, ist nicht festgelegt und hängt von ab wie konservativ die Haltung des Anwenders ist. Ein gängiger Schwellenwert ist hier $p < 0,05$ (5%). Dieser wird auch als Signifikanzschwelle für diese Arbeit verwendet.

3.5.1 Interkorrelation der Wetterparameter

Um mehrere unabhängige Variablen in einem Regressionsmodell zu verwenden, müssen diese vorab auf Multikollinearität (auch Interkorrelation genannt) geprüft werden. Diese liegt vor, wenn zwei oder mehrere unabhängige Variablen stark miteinander korrelieren und dementsprechende redundante Informationen enthalten. Dies führt zu Problemen im Regressionsmodell wie einem erhöhten Standardfehler und Interpretationsschwierigkeiten wodurch die Aussagekraft des Models sinkt (FARRAR & GLAUBER 1967, SCHNEIDER 2009). Multikollinearität lässt sich anhand des **Variance Inflation Factor (VIF)** ermitteln (OFIR & KHURI 1986). Dieser stellt ein Maß für die durch Multikollinearität hervorgerufene Varianz der Regressionsmodelle dar. Ist der VIF für die ausgewählten Variablen zu hoch sollte eine Variablenelektion und erneute Berechnung erfolgen, bis die Multikollinearität ausreichend gering ist (s. Abb. 16 und Abb. 17). Ein VIF Wert von eins bis fünf stellt hier einen sinnvollen Bereich, zum Behalten der Variable für das Modell dar (O'BRIEN 2007).

mean_wind	mean_rain	diff_luftdruck	diff_temp	diff_humidity	min_temp	min_luftdruck	min_humidity
1.17	1.22	2.25	3.75	11.96	1.31	2.40	12.39
mean_wind	mean_rain	diff_luftdruck	diff_temp	diff_humidity	min_temp	min_luftdruck	min_humidity
1.12	1.18	1.85	3.13	3.02	1.31	2.26	

Abb. 16: VIF Werte des Datensatzes P.pip mit allen Wettervariablen (oben) und nach Entfernen von min_humidity (unten)

mean_wind	mean_rain	diff_luftdruck	diff_temp	diff_humidity	min_temp	min_luftdruck	min_humidity
1.12	1.24	1.76	2.42	13.06	1.47	2.10	11.50
mean_wind	mean_rain	diff_luftdruck	diff_temp	diff_humidity	min_temp	min_luftdruck	min_humidity
1.07	1.21	1.76	2.42	2.28	1.47	2.09	

Abb. 17: VIF Werte des Datensatzes P.pyg mit allen Wettervariablen (oben) und nach Entfernen von min_humidity (unten)

Da der VIF-ursprünglich für verallgemeinerte lineare Modelle (GLMs) und nicht für generalisierte lineare gemischte Modelle (GLMMs) entwickelt wurde, bieten die VIF-Werte hier zwar eine sehr gute Orientierung, sollten aber nochmal gegengeprüft werden. Zum besseren Verständnis der VIF-Werte und zur zusätzlichen Überprüfung und Visualisierung ist es sinnvoll eine Korrelationsmatrix zu berechnen (BOBBIT 2019). Diese visualisiert und berechnet die lineare Korrelation zwischen jedem Variablenpaar (s. Abb. 18 und Abb. 19) und lässt sich mit dem R-package „car“ (FOX & WEISBERG 2019): berechnen.

Monovariante Zusammenhänge zwischen den Wetterparametern

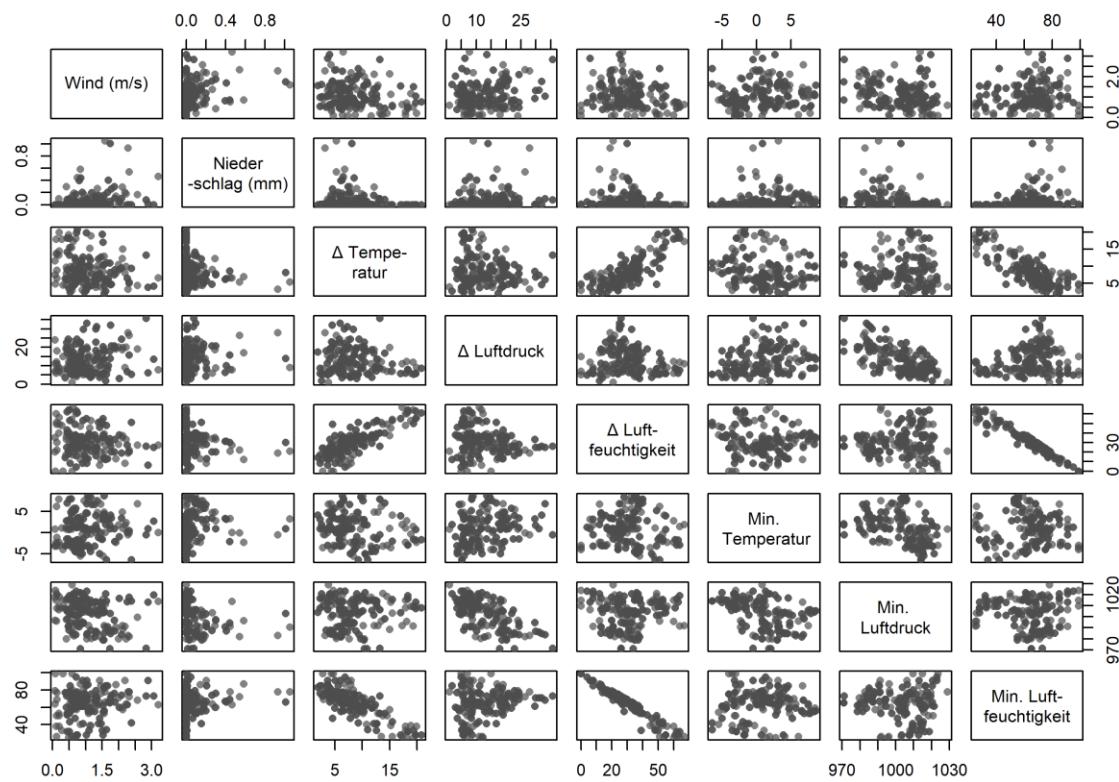


Abb. 18: Visualisierung jedes Wetterparameterpaars

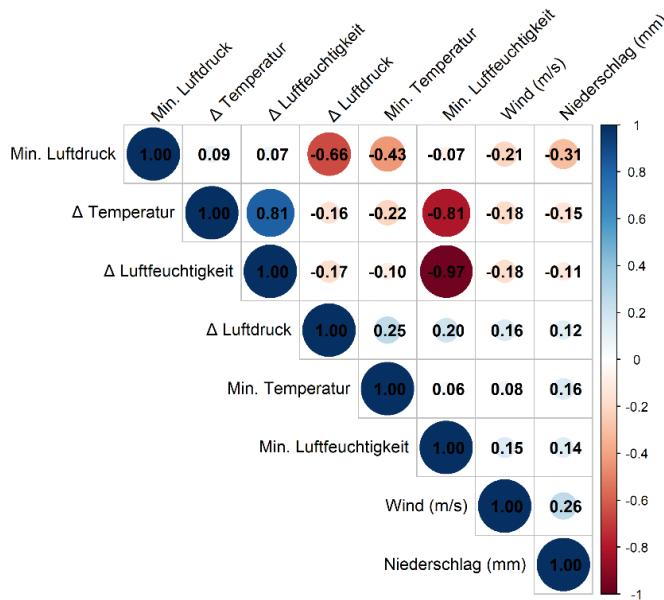
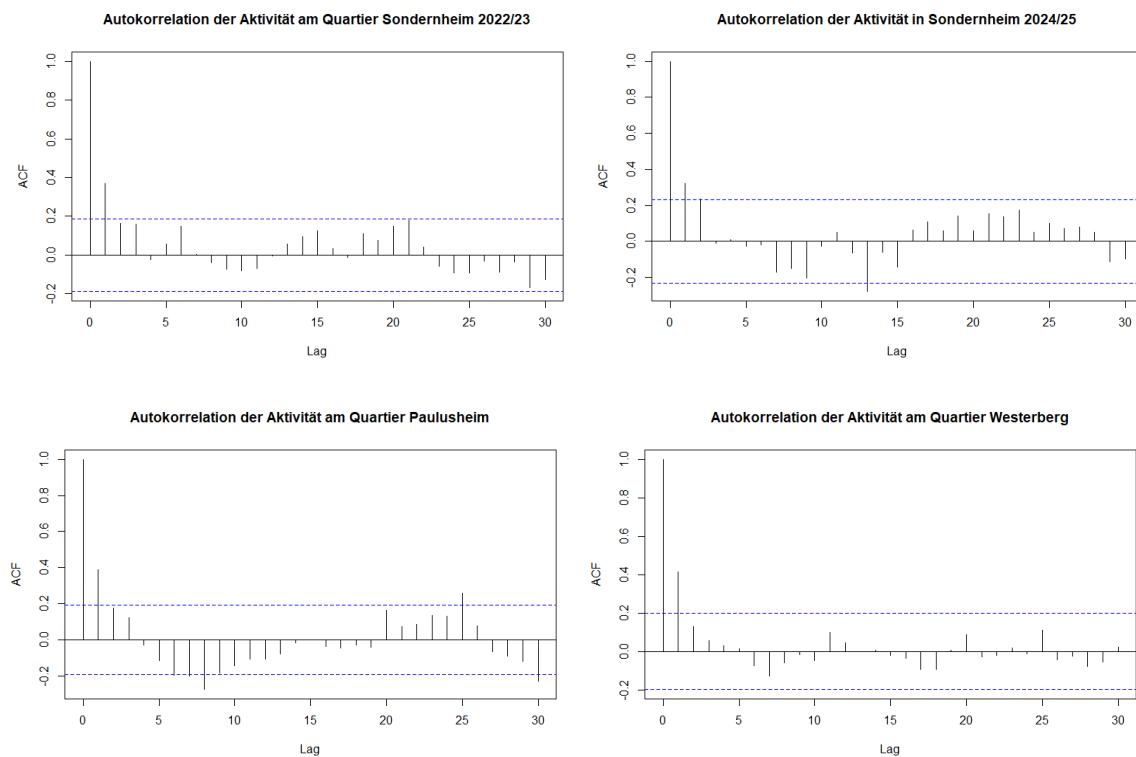


Abb. 19: Pearson-Korrelationskoeffizienten jedes Wetterparameterpaars

Anhand von und Abb. 19 lässt sich erkennen, dass die Variablen Δ Temperatur & Δ Luftfeuchtigkeit; Δ Luftdruck & Min. Luftdruck; Δ Temperatur & Min. Luftfeuchtigkeit; sowie Min. Luftfeuchtigkeit & Δ Luftfeuchtigkeit verhältnisweise stark miteinander korrelieren. Dies bestätigt den zuvor berechneten VIF. Der Parameter **Δ Luftfeuchtigkeit** wurde aufgrund von Interkorrelation für die weitere Analyse aus den Modellen **entfernt**.

3.5.2 Autokorrelation – Berücksichtigung zeitlicher Abhängigkeit

Bei Verhaltensdaten wie der nächtlichen Aktivität von Fledermäusen ist nicht auszuschließen, dass auch eine zeitlich strukturierte Verhaltensvariable einen Einfluss hat, und die beobachtete Aktivität in jeder Nacht nicht vollständig unabhängig voneinander auftritt, sondern zeitlichen Mustern unterliegt (KREIB & NEUHAUS 2006). Um dies zu überprüfen wurde eine Analyse der Autokorrelationsfunktion (ACF) bis zu einem Verzugswert (Lag) von 15 Nächten durchgeführt (HEDDERICH & SACHS 2016). Hierbei wird für jeden Lag-Wert der Pearson-Korrelationskoeffizient (r) berechnet und gibt Stärke und Richtung des Einflusses der Aktivität der Vornächte auf die Aktivität der aktuellen Nacht an. Hierbei beschreibt der Wert 1 eine perfekte positive Korrelation und der Wert -1 eine perfekte negative Korrelation. Der Lag-Wert wurde standortweise berechnet, sodass die Aktivität einer Nacht nur mit der Aktivität der vorhergehenden Nächten am gleichen Standort in Beziehung gesetzt wird. Nächte ohne gültigen Vortag (z. B. aufgrund von Datenlücken) wurden bei der Berechnung ausgeschlossen und nicht künstlich interpoliert, um mögliche Verzerrungen zu vermeiden (ZUUR et al. 2009).



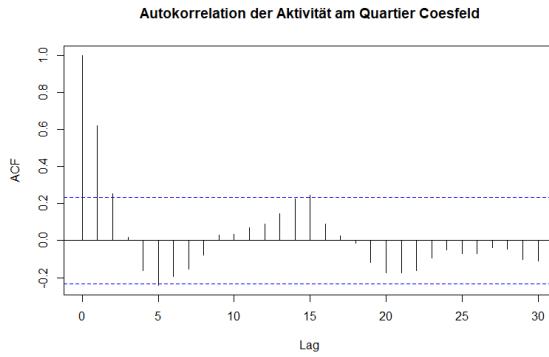


Abb. 20: Autokorrelationsfunktion (ACF) bis zu einem Verzugswert (Lag) von 15 Nächten für jeden Einzeldatensatz. Die blau gestrichelte Linie zeigen die 95% Konfidenzgrenzen.

Der Plot zeigte bei allen Quartieren eine signifikante Autokorrelation bei Lag-1 ($r \approx 0,32 - 0,62$) (s. Abb. 20), was darauf hinweist, dass die Aktivität einer Nacht in einem relevanten Zusammenhang zur Aktivität der vorherigen Nacht steht. Der Einfluss auf von der Nacht vor 48 Stunden (Lag 2) ist nur bei dem Quartieren Coesfeld signifikant (s. Abb. 20). Zur Berücksichtigung dieses Effekts wurde eine **Lag-1-Variable (Lag1)** in das Regressionsmodell aufgenommen.

3.5.3 Wahl und Optimierung des Regressionsmodells

Entscheidend für die Wahl des richtigen Regressionsmodells ist die Datenverteilung der abhängigen Variable, also des Fledermausaktivitätsmaß. In einem explorativen Ansatz wurde die Datenverteilung visualisiert, um daraus Erkenntnisse für die Modellauswahl zu gewinnen. Hierfür eignen sich Histogramme oder Quantile-Quantile Plots (QQ-Plots). Zusätzlich können die Daten statistischen Tests unterzogen werden, um Aufschluss über die Datenverteilung zu erhalten. Diese sogenannten **Goodness-of-Fit-Tests** sind Verfahren, mit denen die tatsächliche Verteilung der Daten mit erwarteten Verteilungen verglichen werden kann (HEDDERICH & SACHS 2016). Wichtig zu beachten ist hierbei, dass die Datensätze diskret und nicht kontinuierlich verteilt sind, was Einfluss auf die Eignung der Testverfahren hat. Im Folgenden werden die beiden Datensätze auf die gängigsten Verteilungsmodelle anhand hierfür geeigneter Testverfahren überprüft. In diesen wird ein testspezifischer Wert und ein zugehöriger p-Wert berechnet. In den folgenden Verteilungstests gibt der p-Wert somit an wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass der testspezifischer Wert unter der Annahme der Nullhypothese (die Verteilungen stimmen überein) entstanden ist.

Der **Shapiro-Wilk-Test** wird verwendet, um die Abweichung zu einer gaußschen Normalverteilung zu untersuchen (WALTHER 2025). Ein W-Wert nahe eins zeigt eine gute Übereinstimmung mit der Normalverteilung. Diese wurde für beide Datensätze durchgeführt, mit dem Ergebnis der Verwerfung einer Normalverteilung (Datensatz-P.pip : $W = 0,07$; $p = < 2.2e-16$; Datensatz-P.pyg: $W = 0,8$; $p = < 3.873e-12$). Falls eine Variable keiner Normalverteilung folgt, ist es ein gängiges Mittel, durch eine **Transformation** eine Annäherung an die Verteilung zu erzielen. Dies wurde durch Logarithmieren sowie Ziehen der Quadratwurzel getestet. Der Shapiro-Wilk-Test führt jedoch zu keinem anderen Ergebnis. Das Betrachten der Histogramme bestätigt diese Aussagen (s. Abb. 21).

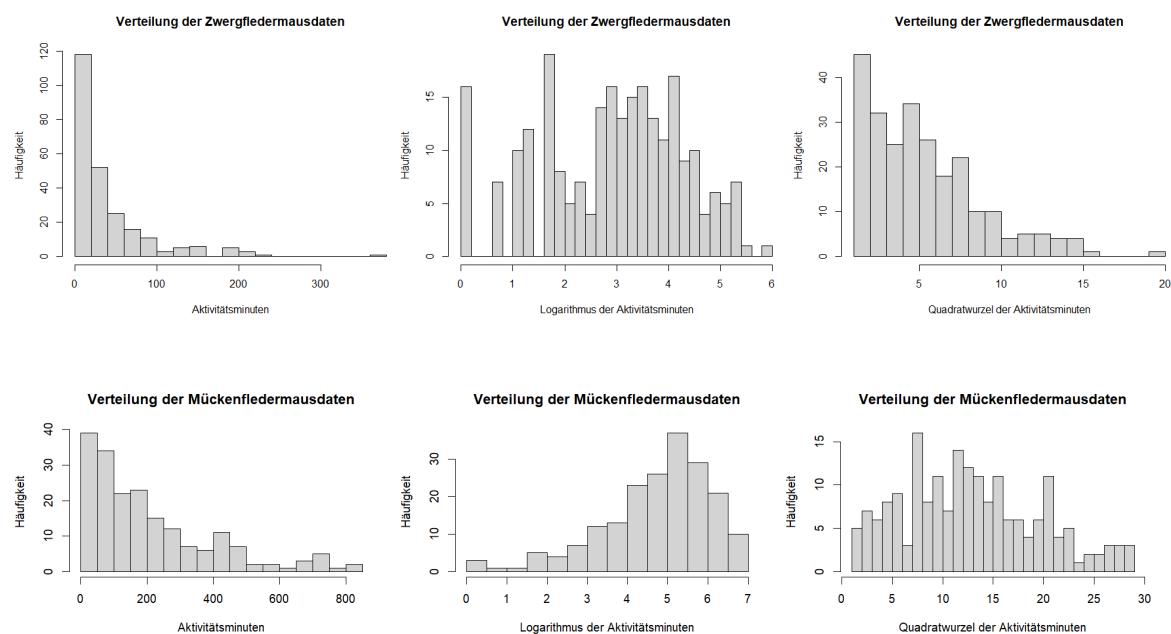


Abb. 21: Histogramme der Datensätze P.pip (Zwergfledermaus) und P.pyg (Mückenfledermaus) inklusive Transformationen

Da die Daten keiner Normalverteilung folgen, ist es sinnvoll eine **Poisson-Verteilung** zu prüfen. Ökologische Daten, insbesondere Zählwerte (hier Anzahl an Aktivitätsminuten pro Nacht) weisen typischerweise diskrete und nicht normalverteilte Merkmale auf. Die Poisson-Verteilung wird häufig fürzählbare Ereignisse verwendet und geht von der Annahme aus, dass die Varianz dem Mittelwert der Daten gleicht (ZUUR et al. 2009). Um einen Datensatz auf eine Poisson Verteilung zu prüfen, bietet sich der **Kolmogorov-Smirnov-Test** (KS-Test) mit Monte-Carlo-Simulation an (JUSTEL et al. 1997). Der D-Wert beschreibt die größte Abweichung zwischen der empirischen und der theoretischen Verteilung und nimmt Werte zwischen 0 und eins an. Je größer dieser Wert ist, desto stärker unterscheiden sich die beiden Verteilungen

voneinander. Dieser wurde für beide Datensätze durchgeführt, mit dem Ergebnis der Verwerfung einer Poisson-Verteilung (Datensatz-P.pip: $D = 0,55$; $p < 2,2e-16$; Datensatz-P.pyg: $D = 0,56$; $p < 2,2e-16$).

Liegen weder normal- noch Poisson- verteilte Daten vor macht ein Test auf die **negative Binomialverteilung** Sinn. Diese kann auch als verallgemeinerte Poisson-Verteilung betrachtet werden die zu Daten mit einer übermäßigen Streuung (overdisperion: Varianz > Mittelwert) passt (ZUUR et al. 2009). Ein gängiger statistischer Test für eine negative Binomialverteilung ist der **Chi-Quadrat-Test**. Je größer der χ^2 -Wert in diesem Test ausfällt, desto stärker weichen die beobachteten Werte von der erwarteten Verteilung ab. Dieser wurde für beide Datensätze durchgeführt, mit dem Ergebnis der Verwerfung einer negativen Binomialverteilung (Datensatz-P.pip: $\chi^2 = 230,1$; $p = 8,01e-14$; Datensatz-P.pyg: $\chi^2 = 522,2$; $p = 7,6e-42$).

Die **Gamma-Verteilung** stellt eine weitere Art der Datenverteilung dar, die flexible Formen annehmen kann und häufig zur Modellierung von kontinuierlichen Prozessen mit rein positiven Werten verwendet wird (ZUUR et al. 2009). Um eine Gamma-Verteilung zu testen kann hierfür ebenfalls der **Kolmogorov-Smirnov-Test** verwendet werden. Dieser wurde für beide Datensätze durchgeführt, mit dem Ergebnis, dass eine Verwerfung einer Gamma Verteilung statistisch nicht belegt ist (Datensatz-P.pip: $D = 0,07$; $p = 0,164$; Datensatz-P.pyg: $D = 0,03$, $p = 0,95$). Zur Überprüfung wurden ergänzend der Cramer-von-Mises-Test, eine besonders robuste Testalternative zum KS-Test, und der Anderson-Darling Test, eine Modifikation des KS-Tests, die die Abweichungen an den Rändern der Verteilung stärker berücksichtigt, durchgeführt (HEDDERICH & SACHS 2016). Beide fielen ebenfalls positiv aus. Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Datensätze einer Gamma-Verteilung folgen und somit eine Gamma-Regression die Daten am besten beschreibt.

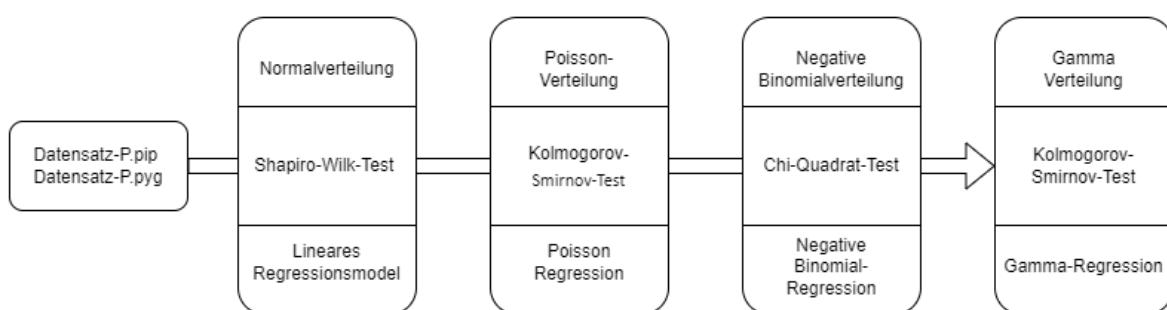


Abb. 22: Vorgehensweise beim Ermitteln der Datenverteilung durch Goodness-of-Fit-Tests

Mit dem R-package „glmmTMB“ (BROOKS et al. 2017) wurden Modellierungen von generalisierten linearen gemischten Modellen (GLMMs) durchgeführt. GLMMs eignen sich, um nicht normalverteilte Daten mit zufälligen Effekten abzubilden, um verallgemeinerbare Schlussfolgerungen ziehen zu können (BOLKER et al. 2009). Hierbei wurden die Aktivitätsminuten als abhängige Variable, die Wetterparameter Wind, Niederschlag, Δ Temperatur, Δ Luftdruck, Δ Luftfeuchtigkeit, Min. Temperatur und Min. Luftdruck sowie Lag-1 als unabhängige Variable, die Nachtlänge als Offset und der Quartiersstandort als Zufallsvariable verwendet. Durch den Offset werden die Aktivitätsminuten in Relation zur Nachtlänge gesetzt, um diese zu berücksichtigen. Letzteres bedeutete, dass das Modell systematische Unterschiede in der Aktivität der Fledermäuse je nach Standort miteinbezieht. Die unabhängigen Variablen wurden hierbei in Interaktion miteinander gesetzt, was bedeutet, dass das Modell sowohl die direkten Effekte der Variablen als auch ihre Wechselwirkungen berücksichtigt.

Basierend auf Modellbewertung durch Modellgütekriterien wurde ein schrittweise durchgeführter Modellierungsprozess (stepwise regression modelling) in Form von Ein- und Ausschließen von Parametern angewandt. Wichtig ist hierbei zu beachten, dass diese nicht zwangsläufig zu einem optimalen Modell führt (LYNN 2003). Hierfür müssen Schwellenwerte für den p-Wert festgelegt werden, die ein Hinzufügen oder Ausschließen nicht signifikanter Variablen aus dem Modell bedeuten. Der p-Wert zeigt, ob der Effekt einer Variablen auf die abhängige Variable statistisch signifikant ist. Der p-Wert steht hierbei für die Wahrscheinlichkeit, dass der beobachtete Effekt durch Zufall entstanden ist und nicht durch die Abhängigkeit zur Variable. p-Wert = 0,05 bedeutet, dass eine 5-prozentige Wahrscheinlichkeit besteht, dass der beobachtete Effekt durch Zufall entstanden ist. In der Statistik wird hier meist mit $p < 0,05$ für ein hinzufügen und $p < 0,1$ für ein Entfernen verwendet (FROST 2017). Diese wurden auch hier für die Modellauswahl verwendet.

Zur Bewertung und Optimierung der schrittweisen erstellten Modelle sind das **Akaike-Informationsskriterium (AIC)** und der **R²-Wert** bewerte Modellgütekriterien (BOLKER et al. 2009). Der AIC-Wert definiert eine Maßzahl für die „Distanz“ zwischen einem unbekannten „wahren“ Mechanismus, der die Daten erzeugt hat und dem Modell. Hierbei wird insbesondere die Balance zwischen Anpassungsgüte und Komplexität abgewogen. Eine zu hohe Komplexität in Form vieler Variablen (overfitting) aber auch eine zu geringe Komplexität

(underfitting) führen zu schlechteren Ergebnissen, was einem höheren AIC entspricht (HEDDERICH & SACHS 2016). Die Skala des AIC ist hierbei eine relative und keine absolute, womit die Werte keine feste Bedeutung haben, sondern lediglich im Vergleich zwischen Modellen interpretierbar sind. Der R^2 -Wert wird auch als Bestimmtheitsmaß bezeichnet und zeigt auf, wie gut ein Regressionsmodell die Streuung (Varianz) der unabhängigen Variable erklären kann. (SCHNEIDER 2009). Konkret besagt der Wert, wieviel Prozent der Varianz erklärt werden kann. Somit strebt ein gutes Modell die Maximierung des R^2 -Werts an. Zu berücksichtigen ist hierbei, dass ein Hinzufügen von Variablen stets nur eine Erhöhung und das Entfernen eine Verringerung des Werts bedeuten kann (FAHRMEIER et al. 2023). Der R^2 -Wert berücksichtigt somit nicht die Komplexität des Modells, was eine Kombination mit dem AIC besonders sinnvoll macht. Bei der Berechnung in GLMMs mit Zufallseffekt, wie dem Quartier beim Datensatz P.pip, lassen sich, neben dem marginalen R^2 , der nur die festen Effekte berücksichtigt, auch der konditionelle R^2 , der die Zufallseffekte miteinbezieht, berechnen (NAKAGAWA & SCHIELZETH 2013).

Neben diesen eher formalen Überprüfung der Güte des Modells empfehlen FAHRMEIER et al. (2023) noch die Visualisierung der **Verteilung der Residuen**. Residuen sind die Unterschiede zwischen den beobachteten, tatsächlichen Messwerten und den von Modell vorhergesagten Werten. Bei einem gut angepassten Modell sollten diese unsystematisch verteilt sein. Mit dem R-package „DHARMA“ (HARTIG 2024) lassen sich ein Residuentest mit Residuenplots erstellen. Das Stepwise Regression Modelling wurde beendet, als ein Modell vorlag, das einen möglichst hohen R^2 -Wert, einen im Vergleich zu den Vorgängermodellen geringen AIC-Wert hat und das den Residuentest besteht, also nicht signifikant systematisch verteilte Residuen vorweist (s. Anhang).

3.5.4 Modellauswertung und Post-hoc-Tests

Nachdem mithilfe der schrittweisen Regressionsanalyse ein passendes Modell ausgewählt wurde, dient dieses dazu, die Fragestellung zu beantworten und mögliche allgemeine Zusammenhänge zwischen den unabhängigen Variablen und dem Aktivitätsmaß zu untersuchen. Hierfür wird die Varianzanalyse **ANOVA** (Analysis of Variance) verwendet, um einzelne Modellkomponenten zu bewerten, indem sie berechnet, welche Variablen und Interaktionen signifikante Effekte auf die Zielvariable haben (ZUUR et al. 2009). Hierbei wird ein **p-Wert** ermittelt, welcher als Indikator für die Signifikanz dient. Wichtig zu berücksichtigen ist jedoch, dass ein „*statistisch signifikantes Ergebnis einen Forscher [...] nicht von der Aufgabe, seine Daten unter fachtheoretischen Gesichtspunkten weiter zu untersuchen*“ entbindet. (FROST 2017, S. 32 Z. 17f.). Zusätzlich berechnet die ANOVA auch einen **Wald-Chi²-Wert**, der prüft, ob sich das Modell durch das Entfernen eines bestimmten festen Effekts oder einer Interaktion merklich verschlechtert. Ein hoher Wert deutet darauf hin, dass dieser Term einen relevanten Beitrag zur Erklärung der abhängigen Variable leistet.

Für alle signifikanten Haupteffekte und Interaktionen wurden anschließend **Post-hoc-Tests** durchgeführt, um die spezifischen Unterschiede zwischen den Ausprägungen der Einflussgrößen näher zu untersuchen. Diese „Nachtests“ ermöglichen eine genauere Einordnung, welche Gruppen oder Bedingungen sich statistisch signifikant voneinander unterscheiden, und dienen der weiteren Absicherung und Interpretation der Hauptergebnisse. Hierfür wurde das R-package „*ggeffects*“ von LÜDECKE (2018) verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Allgemeine Ergebnisse

Im Folgenden wird das Aktivitätsmaß an allen Aufnahmestandorten grafisch abgebildet (s. Abb. 23 - Abb. 29):

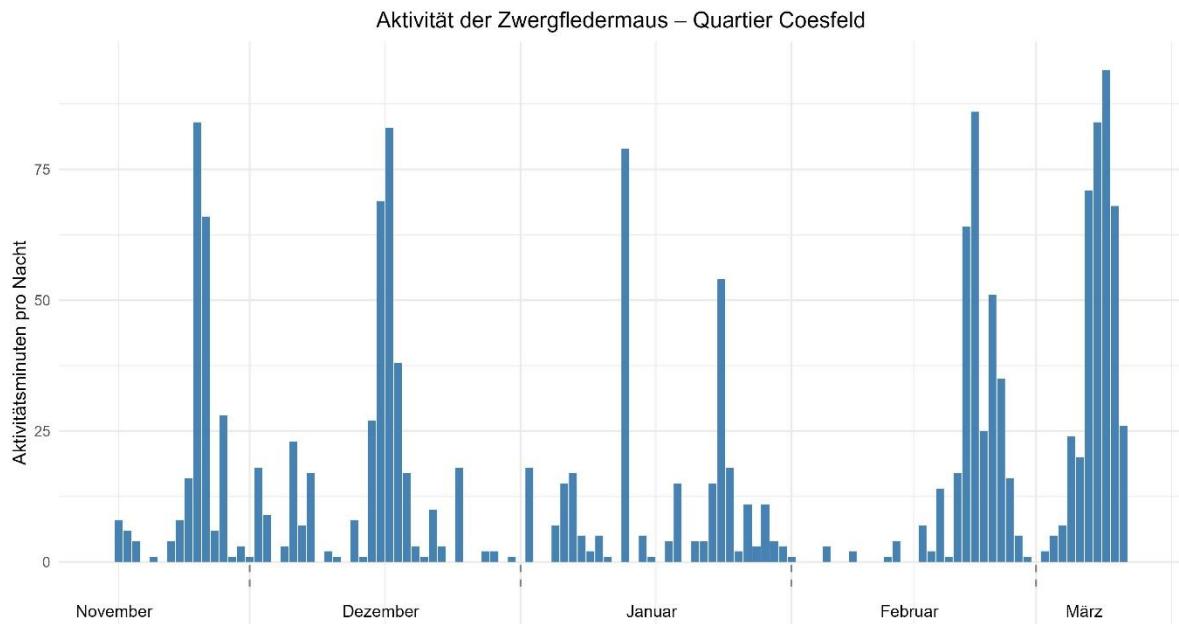


Abb. 23: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum am Quartier Animals Inn Coesfeld

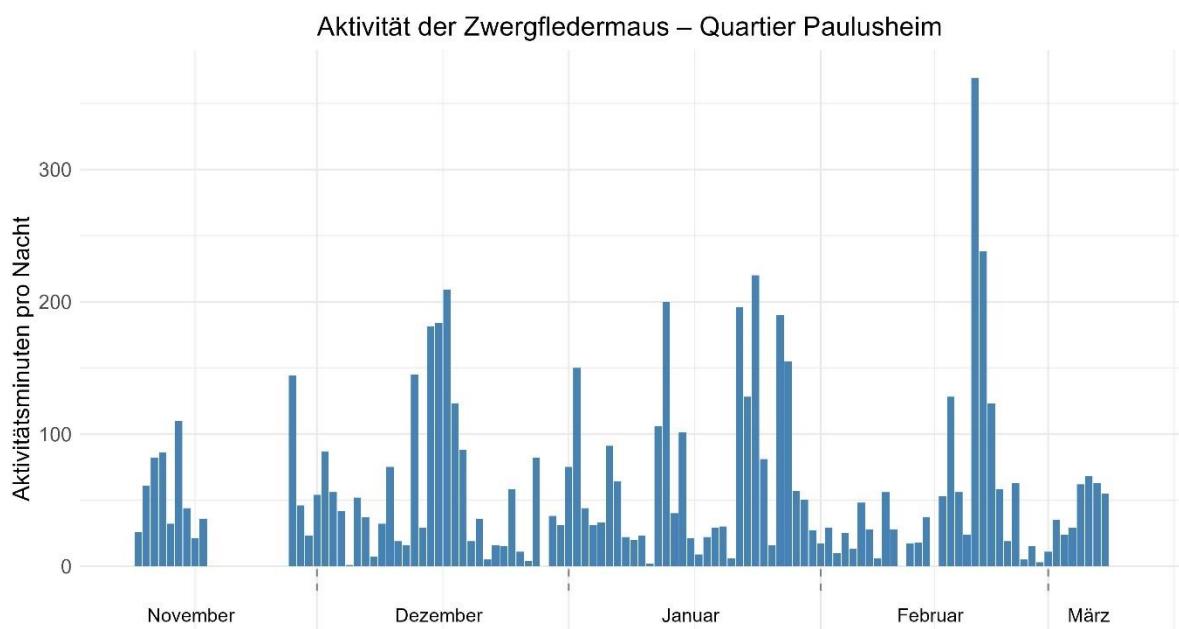


Abb. 24: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum am Quartier Paulusheim Osnabrück

Aktivität der Zwergfledermaus – Quartier Westerberg

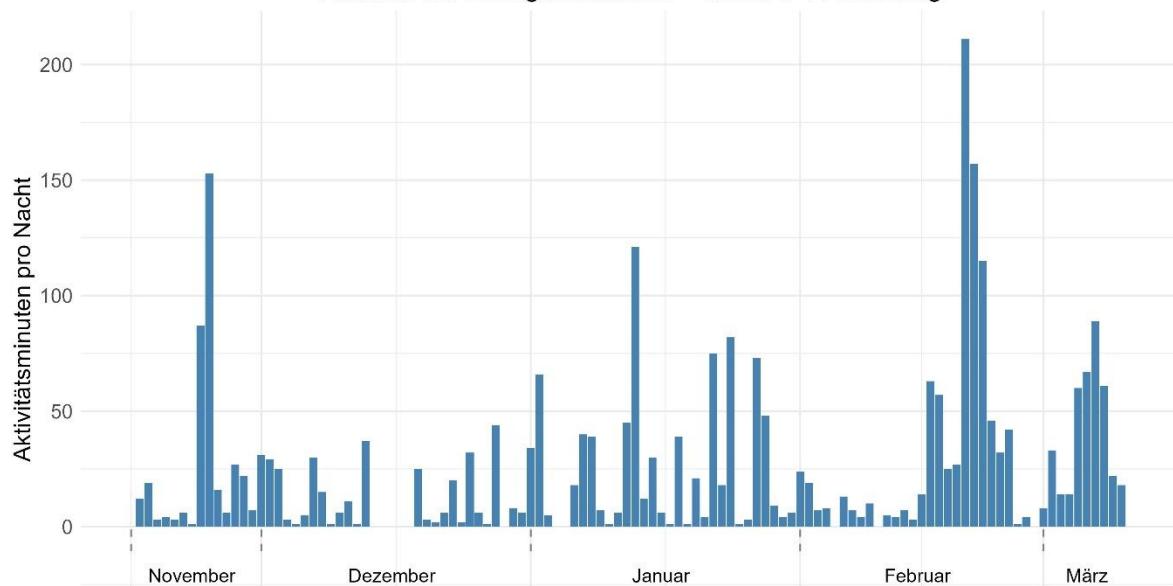


Abb. 25: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum am Quartier Westerberg Osnabrück

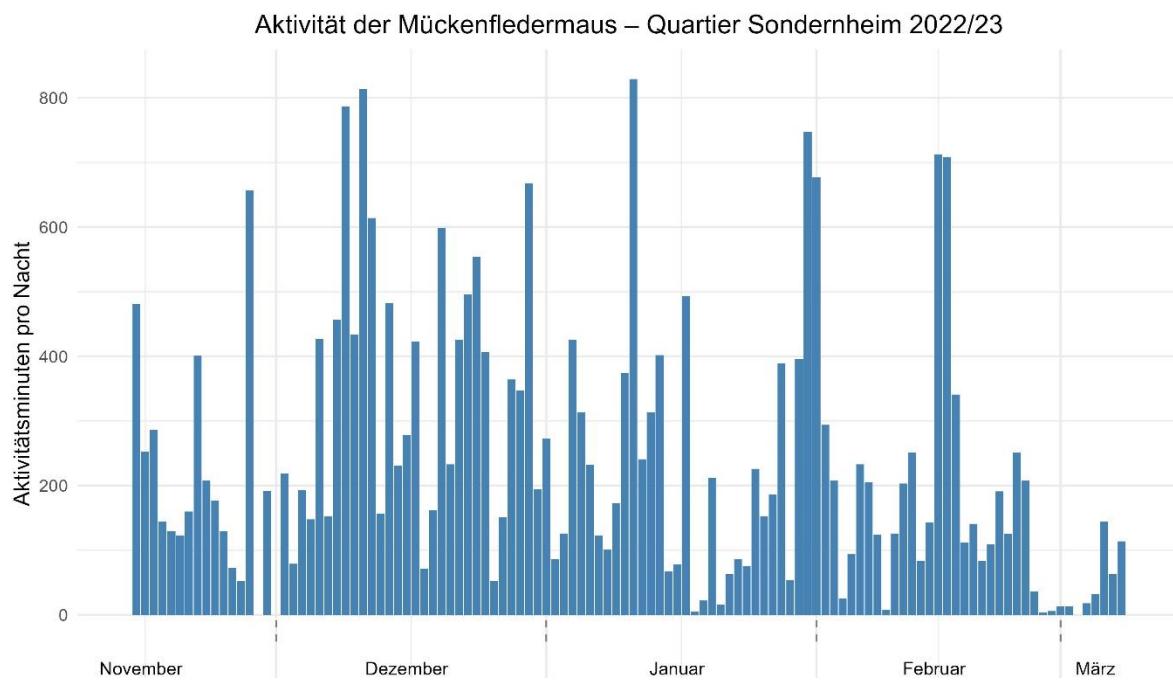


Abb. 26: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum am Quartier Schleusenhaus Sonderheim im Winter 2022/23

Aktivität der Mückenfledermaus – Quartier Sonderheim 2024/25

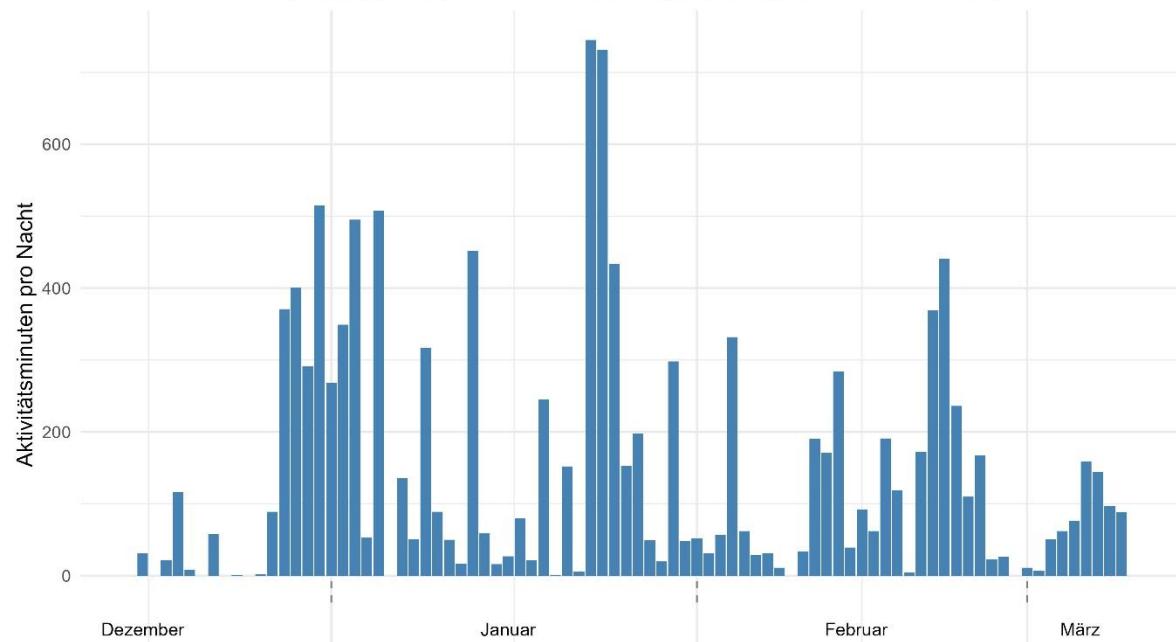


Abb. 27: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum am Quartier Schleusenhaus Sonderheim im Winter 2024/25

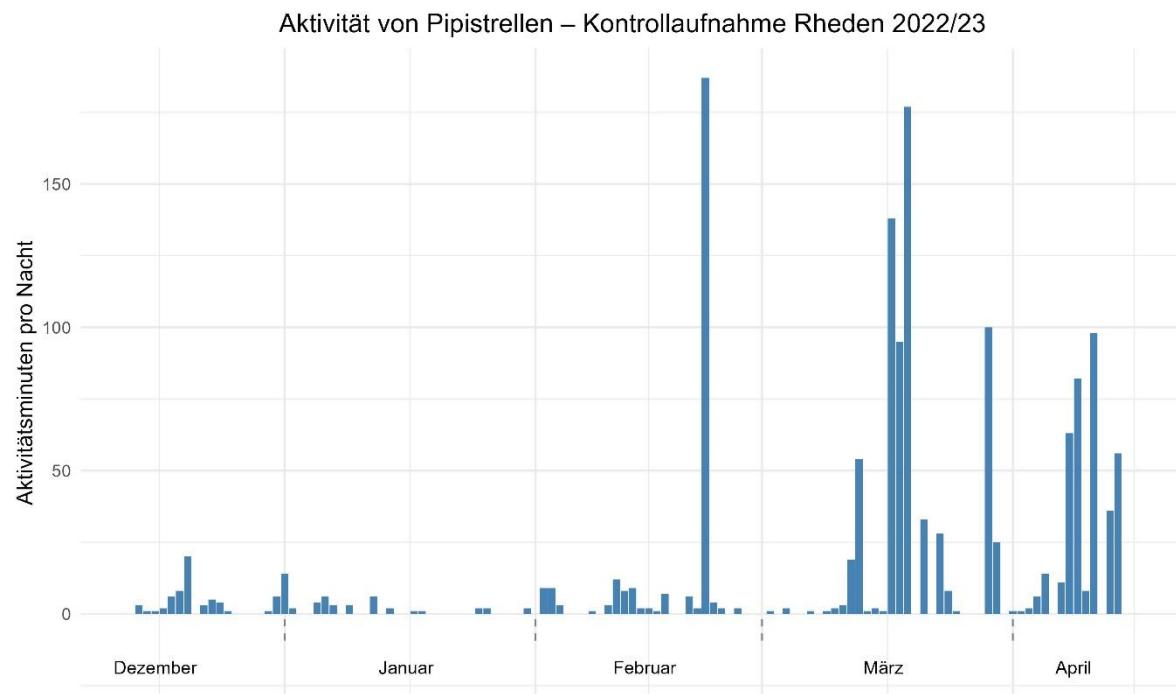


Abb. 28: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum der Kontrollaufnahme in Rheden im Winter 2022/23

Aktivität von Pipistrellen – Kontrollaufnahme Rheden 2023/24

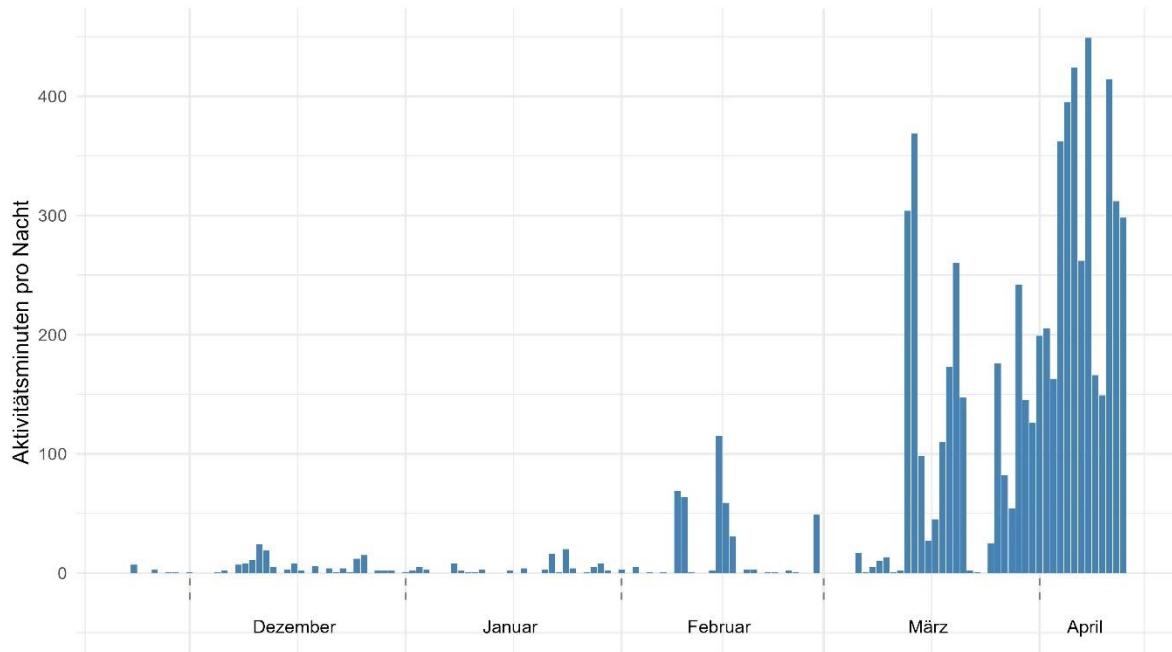


Abb. 29: Aktivitätsindex für die Nächte im Aufnahmezeitraum der Kontrollaufnahme in Rheden im Winter 2024/25

An allen Quartieren konnte regelmäßig Schwärzmereignisse festgestellt werden. In den Kontrollaufnahmen aus 2022–2024 fand erhöhte Aktivität erst vereinzelt ab der zweiten Februarhälfte und im März statt (s. Abb. 28 und Abb. 29).

Tab. 3: Mittelwert und Maximum des Aktivitätsindex des Dauermonitorings in den Haupttorpormonaten Dezember bis Februar

Quartier	November		Dezember		Januar		Februar	
	Mittelwert Aktivitätsminuten/Nacht	Maximum Aktivitätsminuten/Nacht						
Animals Inn Coesfeld	17,6	84	15,2	83	12,6	79	18,6	86
Paulusheim Osnabrück	52,3	144	58,4	209	72,2	220	57,2	369
Westerberg Osnabrück	24,7	153	14	44	28,1	121	36,2	211
Sondernheim 2024/25	/	/	147	515	202	745	128	441
Sondernheim 2022/23	233	657	354	814	235	829	204	713
Rheden 2022/23	/	/	4,6	20	3,7	14	14,9	187
Rheden 2022/24	2,8	7	3,4	24	4,6	20	22,8	115

Die Aktivitätsspitzen treten in recht regelmäßigen Abständen über eine Dauer von zwei bis drei Nächten auf. Diese Muster sind in den Referenzaufnahmen nicht zu erkennen. Auch hier liegt zwar fast den gesamten Winter Aktivität vor, diese ist jedoch gleichmäßig gering und überschreitet 30 Aktivitätsminuten bis Mitte Februar nicht.

4.2 Ergebnisse Zwergfledermaus

4.2.1 Modellauswahl und Kennwerte

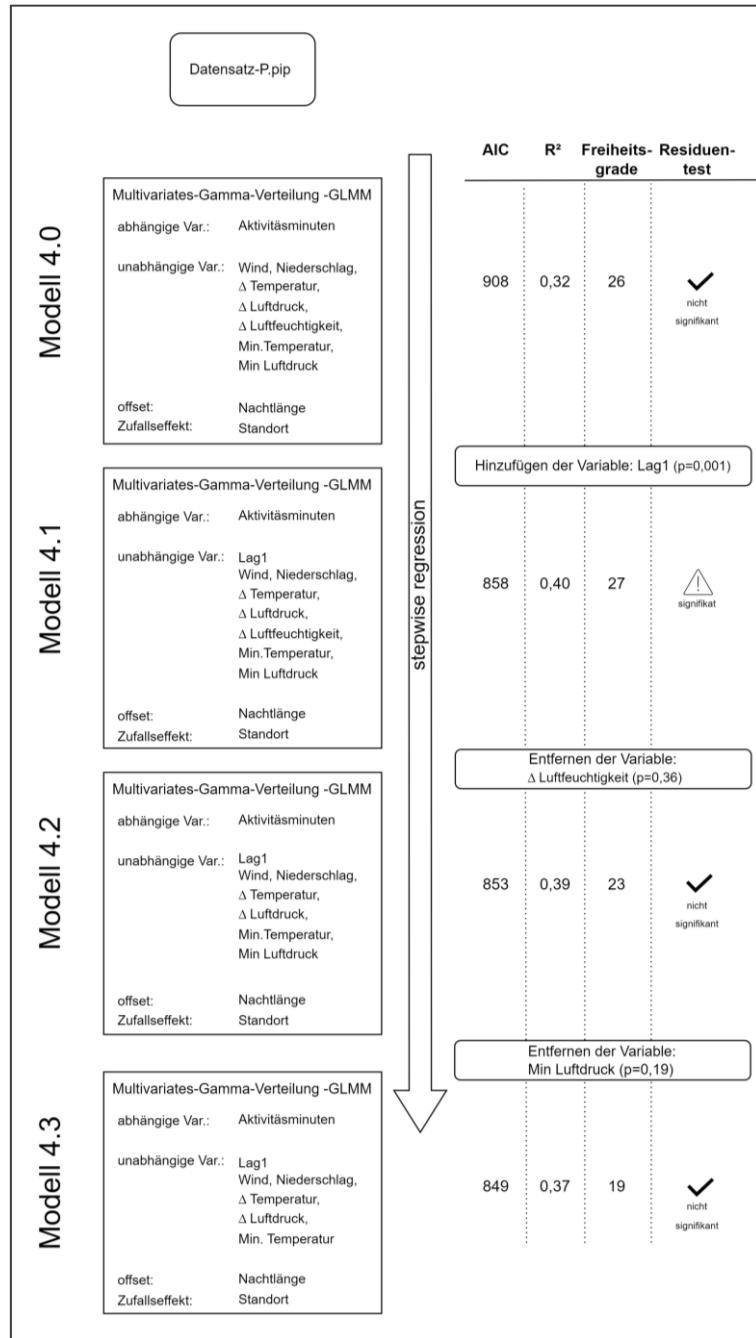


Abb. 30: Prozessdarstellung der Modelloptimierung des Datensatzes P. pip. durch schrittweise durchgeführte Regressionsanalysen. Die Bewertung erfolgt anhand der Modellgütekriterien AIC, R² sowie des Residuentests. Als Schwellenwert für den Variablenausschluss wurde p > 0,5 verwendet.

Der AIC und BIC konnten im Optimierungsprozess durch die Integration der Lag-1-Variable und das Entfernen der Variablen Luftfeuchtigkeitsdifferenz und Luftdruckminimum von 908 bzw. 849 gesenkt werden (s. Abb. 30).

Durch die schrittweise durchgeführte Regressionsanalyse (vgl. Kap. 3.5) wurde für den Datensatz *P.pip* ein Gamma-verteiltes gemischtes Regressionsmodell entwickelt, das die Aktivitätsminuten als abhängige Variable in Abhängigkeit von Temperaturdifferenz, Minimaltemperatur, Luftdruckdifferenz, Wind, Regen sowie deren Interaktionen modelliert, dabei eine Lag-1-Variable berücksichtigt, Standortunterschiede als zufälligen Effekt einbezieht und die Nachtlänge als Offset verwendet.

Das Modell weist einen **marginalen R²-Wert** von **0,374** auf und erklärt somit etwa 37,4 % der Varianz in der Winteraktivität. Der **konditionale R²-Wert** liegt bei **0,466**, sodass durch die Berücksichtigung des Standorts insgesamt 46,6 % der Varianz im Modell erfasst werden.

Mittelwert der Aktivitätsminuten pro Standort

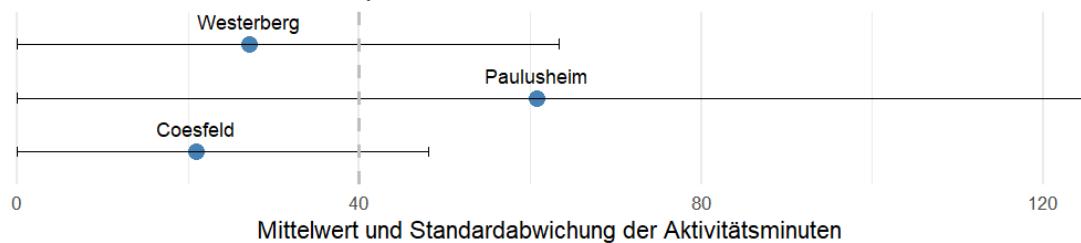


Abb. 31: Darstellung des Zufallseffekts „Standort“ anhand der Unterschiede von Mittelwert und Standardabweichung der Zwerghfledermausquartiere sowie deren Mittelwert (gestrichelte Linie)

Dass der Zufallseffekt wichtig zu berücksichtigen war, zeigen die unterschiedlichen Mittelwerte des Aktivitätsmaßes der Standorte (s. Abb. 31). Das Quartier Paulusheim zeigt im Mittel eine zwei- bis dreifach so hohe Aktivität wie die beiden anderen Quartiere auf und eine deutlich höhere Standardabweichung.

4.2.2 Zusammenhänge von Aktivitätsmaß und Wetterparametern

Das Modell der Zwerghfledermausdaten gibt folgendes Ergebnis zu den Signifikanzen der Parameter und Parameter-interaktion in Form von p-Werten. Ein p-Wert < 0,5 wird als statistisch signifikant bewertet.

Tab. 4: Ergebnistabelle des Wald-Chi² Tests für das Modell der Zwerghfledermausdaten. Signifikante Zusammenhänge der Modellvorhersage sind mit den Signifikanzcodes: *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,05$ visualisiert.

Parameter	Chi ² -Wert	P-Wert	Signifikanzcode
Lag1	13.2	0.0003	***
ΔTemperatur	19.6	0,00001	***
Min. Temperatur	0.2	0.663	
ΔLuftdruck	0.3	0.573	
Wind	1.3	0.256	
Regen	0.06	0.798	
Interaktion: Wind & Regen	2.0	0.148	
Interaktion: ΔTemperatur & Wind	4.1	0.042	*
Interaktion: ΔTemperatur & Regen	7.4	0.006	**
Interaktion: Min. Temperatur & Wind	0.2	0.688	
Interaktion: Min. Temperatur & Regen	0.04	0.834	
Interaktion: ΔLuftdruck & Wind	0	0.996	
Interaktion: ΔLuftdruck & Regen	1.6	0.208	
Interaktion: ΔTemperatur & Regen & Wind	8.3	0.004	**
Interaktion: Min. Temperatur & Regen & Wind	7.3	0.007	**
Interaktion: ΔLuftdruck & Regen & Wind	2.7	0.102	

Anhand des Models lassen sich folgende Aussagen tätigen:

- Die **Temperaturdifferenz** der letzten 48 Stunden und die **Aktivität der Vornacht** sind signifikante Einflussfaktoren auf die Aktivität – sowohl allein als auch in Kombination mit weiteren Wetterbedingungen.
- **Regen und Wind** wirken nicht direkt, aber in Kombination mit der Temperatur signifikant **modulativ** auf das Aktivitätsverhalten.
- Bei den Wetterparametern **Luftdruck & Luftfeuchtigkeit** konnten kein signifikanter Einfluss auf die Aktivität nachgewiesen werden.

Für die signifikanten Interaktionen wurden Post-hoc-Tests in Form von Effektplots durchgeführt.

Einfluss der Lag-1-Variable (Aktivität der Vornacht) auf die Aktivität

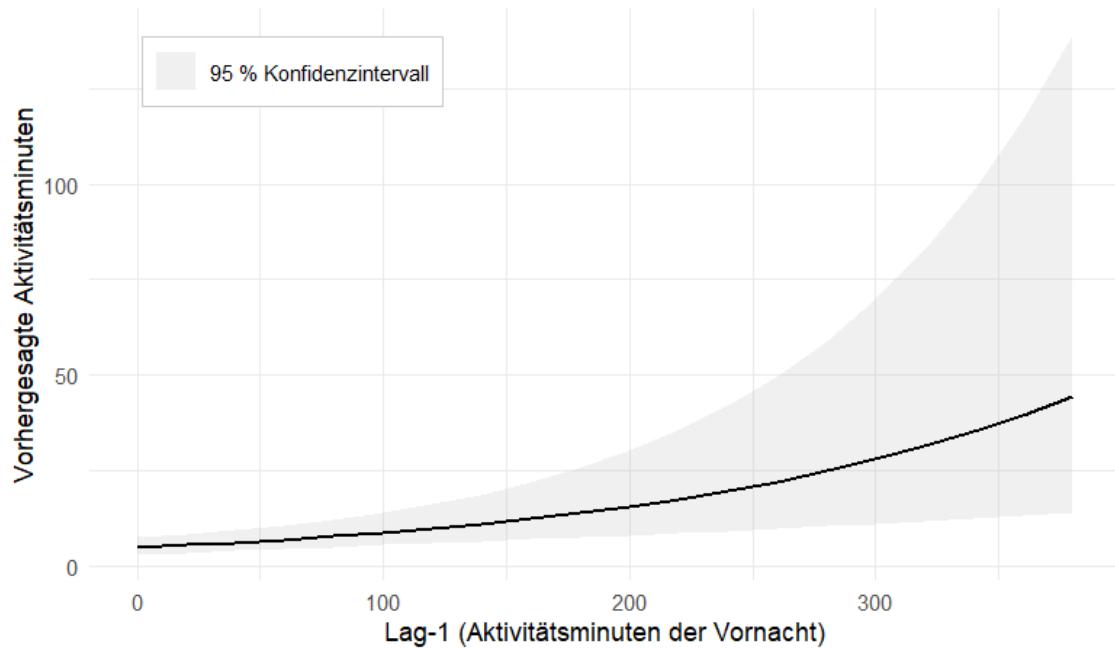


Abb. 32: Modellvorhersagen des Zwergfledermausmodells über den Einfluss der Aktivität der Vornacht in Minuten auf die Aktivitätsminuten pro Nacht

Einfluss der Temperaturdifferenz auf die Aktivität

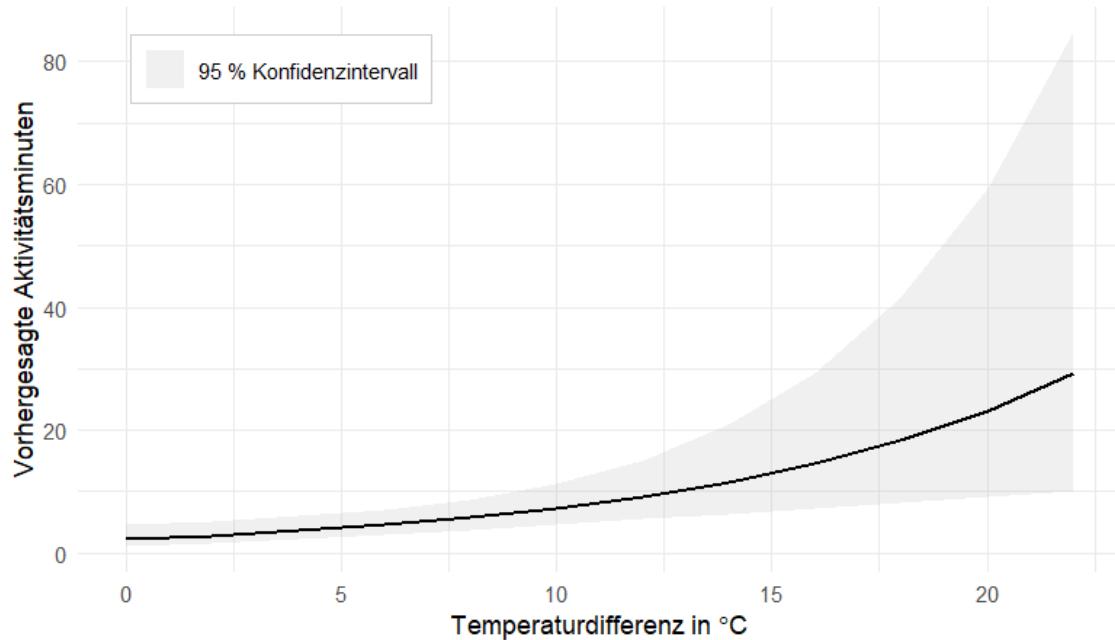


Abb. 33: Modellvorhersagen des Zwergfledermausmodells über den Einfluss der Temperaturdifferenz [°C] auf die Aktivitätsminuten pro Nacht

Die Haupteffekte Temperaturdifferenz und Aktivität der Vornacht zeigen eine positive, nicht-lineare Korrelation mit der Aktivität auf (s. Abb. 32 und Abb. 33). Eine erhöhte

Temperaturdifferenz in den letzten 48 Stunden und eine erhöhte Aktivität in der Vornacht führen jeweils zu einer erhöhten Aktivität. Diese Effekte sind bei kleineren Werten gering und steigen dann exponentiell an.

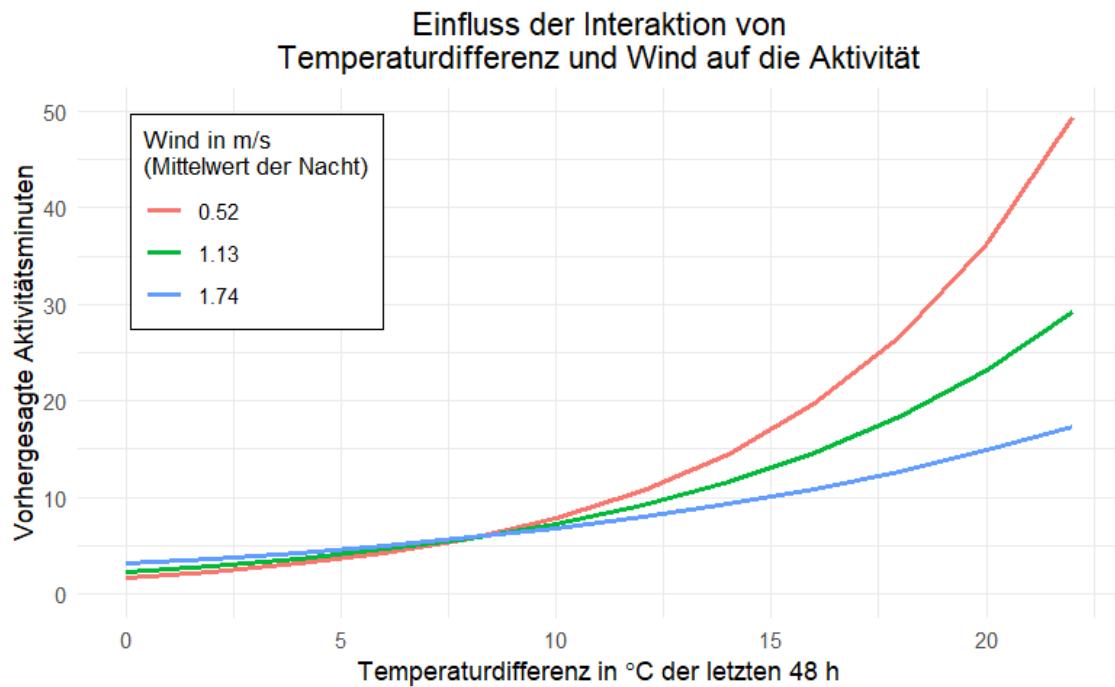


Abb. 34: Modellvorhersagen des Zwerghfledermausmodells über den Einfluss der Interaktion von Temperaturdifferenz [$^{\circ}\text{C}$] und Regen [m/s] auf die Aktivitätsminuten pro Nacht

Die Interaktion von Temperaturdifferenz der letzten 48 h und dem Wind bestätigte den Haupteffekt der Temperaturdifferenz. Dieser Effekt wird bei geringem Wind verstärkt und bei stärkerem Wind abgeschwächt. So steigt die Aktivität bei steigender Temperaturdifferenz stärker, je geringer die durchschnittliche Windgeschwindigkeit der jeweiligen Nacht ist (s. Abb. 34).

Einfluss der Interaktion von Temperaturdifferenz und Regen auf die Aktivität

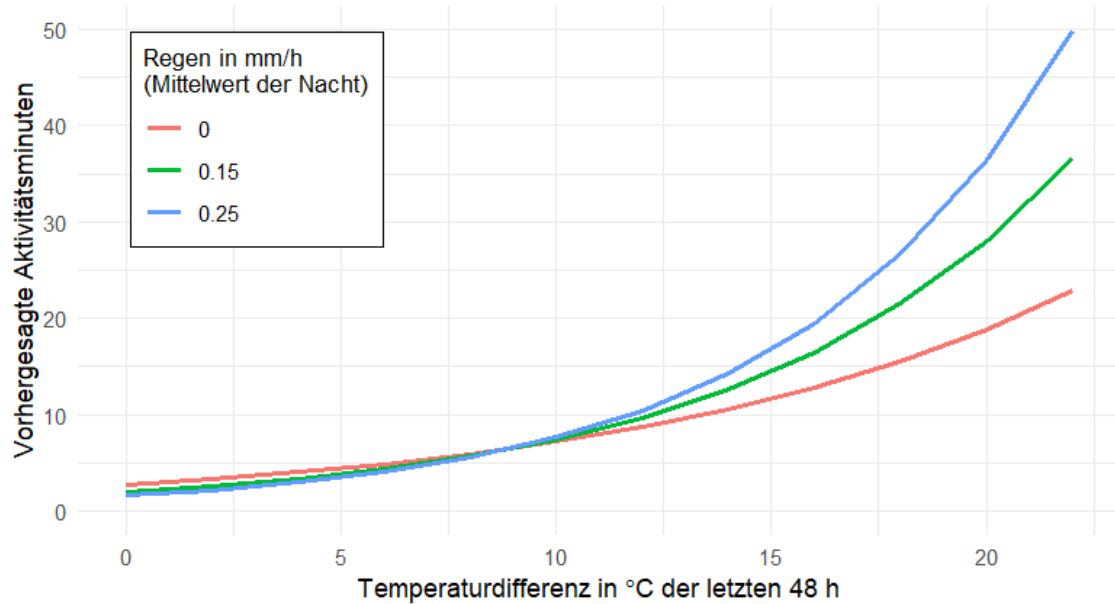


Abb. 35: Modellvorhersagen des Zwerghfledermausmodells über den Einfluss der Interaktion von Temperaturdifferenz [$^{\circ}\text{C}$] und Regen [mm/h] auf die Aktivitätsminuten pro Nacht.

Die Interaktion von Temperaturdifferenz der letzten 48 h und dem Niederschlag bestätigte den Haupteffekt der Temperaturdifferenz. Dieser Effekt wird bei geringem Niederschlag abgeschwächt und bei höherem Niederschlag verstärkt. So steigt die Aktivität bei steigender Temperaturdifferenz stärker, je mehr durchschnittlicher Niederschlag in der jeweiligen Nacht vorliegt (s. Abb. 35).

Einfluss der Interaktion von Temperaturdifferenz, Regen und Wind auf die Aktivität

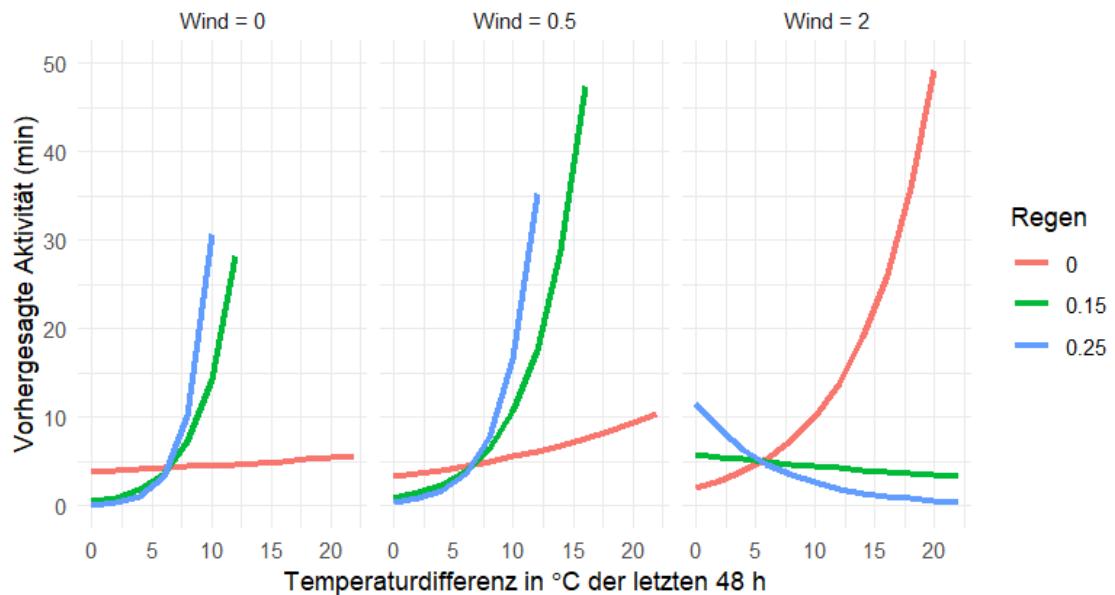


Abb. 36: Modellvorhersagen des Zwergfledermausmodells über den Einfluss der Interaktion von Temperaturdifferenz [$^{\circ}\text{C}$], Regen [mm/h] und Wind [m/s] auf die nächtliche Aktivität (in Aktivitätsminuten). Die drei Unterdiagramme zeigen die vorhergesagten Aktivitätsverläufe bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten von 0, 0.5 und 2 m/s.

Die modellierte Dreifachinteraktion zwischen Temperaturdifferenz der letzten 48 Stunden, Windgeschwindigkeit und dem Niederschlag auf die vorhergesagte nächtliche Aktivität (in Minuten) zeigt ein differenziertes Bild. Bei windstilleren Bedingungen steigt die vorhergesagte Aktivität mit zunehmender Temperaturdifferenz stark an, insbesondere bei leichtem bis moderatem Regen (grün und blau). Bei Trockenheit (rot) findet dagegen kaum ein Aktivitätsanstieg statt. Bei leichtem Wind bleibt der positive Effekt der Temperaturdifferenz erhalten. Die Kurven steigen nun steiler an, vor allem bei höheren Temperaturdifferenzen. Hier ist der Einfluss der Regenmenge etwas schwächer differenziert, alle drei Regenbedingungen zeigen teils stark ansteigende Aktivitätswerte. Bei stärkerem Wind ändert sich das Muster deutlich. Der positive Effekt der Temperaturdifferenz zeigt sich jetzt nur noch unter trockenen Bedingungen (rote Linie). Bei Regen (grün und blau) hingegen flacht die Aktivität ab oder nimmt sogar leicht ab, selbst bei hoher Temperaturdifferenz.

Insgesamt ist erkennbar, dass Regen in Kombination mit starkem Wind die Aktivität deutlich hemmt, auch wenn die Temperaturdifferenz an sich günstig wäre. Regen wirkt bei windstillerem Wetter leicht begünstigend, bei starkem Wind aber hemmend. Gegenüber leichtem Wind und Regen scheint eine gewisse Robustheit vorzuliegen.

Einfluss der Interaktion von Temperaturminimum, Regen und Wind auf die Aktivität

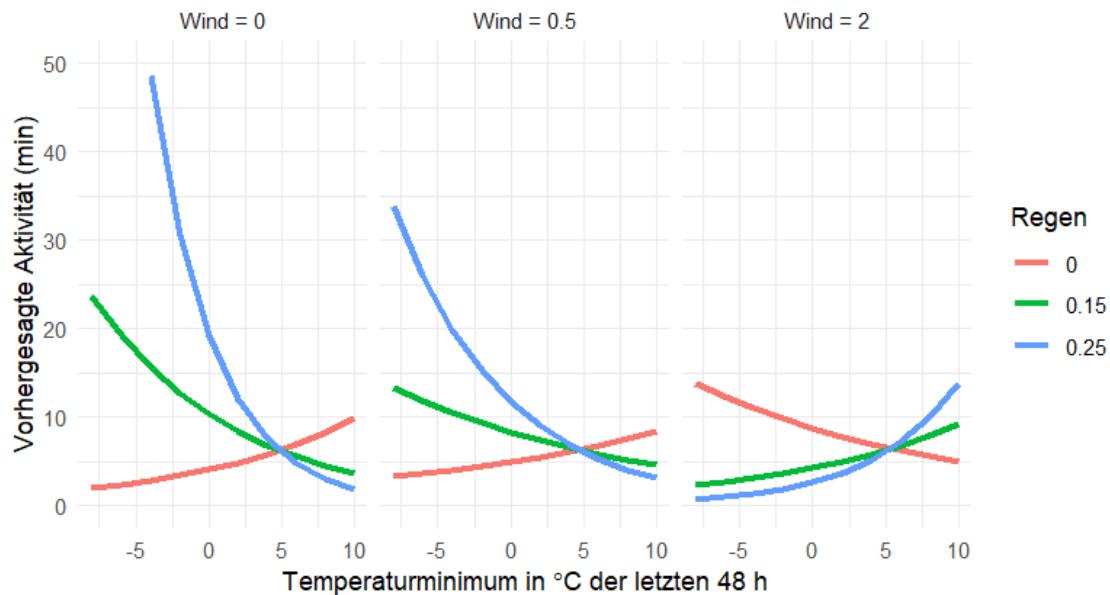


Abb. 37: Modellvorhersagen des Zwergfledermausmodells über den Einfluss der Interaktion von Temperaturminimum [$^{\circ}\text{C}$], Regen [mm/h] und Wind [m/s] auf die nächtliche Aktivität (in Aktivitätsminuten). Die drei Unterdiagramme zeigen die vorhergesagten Aktivitätsverläufe bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten von 0, 0.5 und 2 m/s

Die modellierte Dreifachinteraktion zwischen dem Temperaturminimum der letzten 48 Stunden, Windgeschwindigkeit und dem Niederschlag auf die vorhergesagte nächtliche Aktivität (in Minuten) zeigt, dass je nach Wind und Regen entweder eine besonders tiefe (-2 bis -7 $^{\circ}\text{C}$) oder besonders hohe (8 bis 10 $^{\circ}\text{C}$) Minimaltemperatur zu stark erhöhter Aktivität führt. Bei windstillen Bedingungen und leichtem bis starkem Regen zeigt sich ein deutlicher positiver Zusammenhang zwischen niedrigen Minimaltemperaturen und Aktivität. Unter trockenen Bedingungen (grün) zeigt sich ein leicht steigender Verlauf mit zunehmender Minimaltemperatur. Diese Muster bleiben bei leichtem Wind in abgeschwächter Form erhalten. Bei starkem Wind verschieben sich die Muster. Trockene Nächte (grün) zeigen nun eine ausgeprägte Aktivitätszunahme bei steigenden Minimaltemperaturen – die Aktivität ist bei negativen Temperaturen, trockenem Wetter unter Wind am höchsten. Im Gegensatz dazu führt Regen (rot und blau) auch bei positiven Temperaturen kaum zu Aktivität, die Kurven steigen nur schwach. Der hemmende Effekt von Regen bleibt also auch unter wärmeren Bedingungen erhalten, wenn gleichzeitig Wind auftritt während eine geringe Mindesttemperatur und Niederschlag zu erhöhter Aktivität führen. Insgesamt scheinen insbesondere bei starkem Wind bei ansonsten günstigen Parametern keine Aktivitätsspitzen stattzufinden.

4.3 Ergebnisse Mückenfledermaus

4.3.1 Modellauswahl und Kennwerte

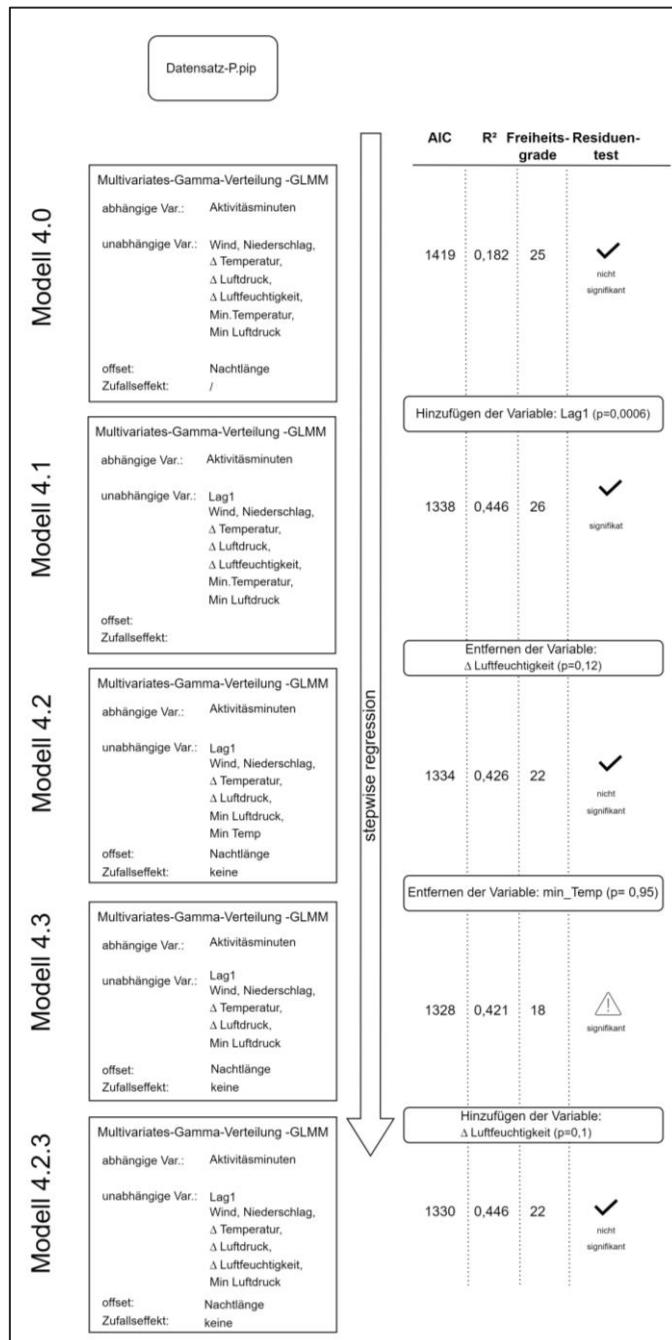


Abb. 38: Prozessdarstellung der Modelloptimierung des Datensatzes *P. pyg.* durch schrittweise durchgeführte Regressionsanalysen. Die Bewertung erfolgt anhand der Modellgütekriterien AIC, R² sowie des Residuentests. Als Schwellenwert für den Variablenausschluss wurde $p > 0,5$ verwendet.

Der AIC und BIC konnten im Optimierungsprozess durch die Integration der Lag-1-Variable und das Entfernen der Variablen Temperaturminimum von 1419 auf 1330 gesenkt werden (s. Abb. 38).

Das Entfernen der Luftfeuchtigkeitsdifferenz führte zwar zu noch geringerem AIC jedoch auch zu einem relevanten Abfall des Erklärungswerts R^2 und wurde somit nicht entfernt.

Für den Datensatz P.pyg ein Gamma-verteiltes gemischtes Regressionsmodell entwickelt, das die Aktivitätsminuten als abhängige Variable in Abhängigkeit von Luftdruckdifferenz, Temperaturdifferenz, Minimalluftdruck, Luftfeuchtigkeitsdifferenz, Wind, Regen sowie deren Interaktionen modelliert, dabei eine Lag-1-Variable berücksichtigt und die Nachtlänge als Offset verwendet. Das Modell weist einen **R^2 Wert von 0,446** auf und erklärt somit etwa 44,6 % der Varianz in der Winteraktivität.

4.3.2 Zusammenhänge von Aktivitätsmaß und Wetterparametern

Das Modell der Mückenfledermausdaten gibt folgendes Ergebnis zu den Signifikanzen der Parameter und deren Interaktion in Form von p-Werten (s. Tab. 5).

Tab. 5: Ergebnistabelle des Wald-Chi² Tests für das Modell der Mückenfledermausdaten. Signifikante Zusammenhänge der Modellvorhersage sind mit den Signifikanzcodes: *** = $p < 0,001$, ** = $p < 0,01$, * = $p < 0,05$ visualisiert.

Parameter	Chi ² -Wert	P-Wert	Signifikanzcode
Lag1	12.43	0.0004	***
ΔTemperatur	1.65	0.19	
ΔLuftdruck	5.44	0.019	*
Min. Luftdruck	6.45	0.01	*
ΔLuftfeuchtigkeit	0.59	0.1	
Wind	0.09	0.76	
Regen	0.24	0.62	
Interaktion: Wind & Regen	0.02	0.87	
Interaktion: ΔLuftdruck & Wind	0	0.99	
Interaktion: ΔLuftdruck & Regen	0.02	0.88	
Interaktion: ΔTemperatur & Wind	0.37	0.54	
Interaktion: ΔTemperatur & Regen	0.15	0.69	
Interaktion: Min. Luftdruck & Wind	0.55	0.45	
Interaktion: Min. Luftdruck & Regen	0.05	0.82	
Interaktion: ΔLuftfeuchtigkeit & Wind	0.14	0.71	
Interaktion: ΔLuftfeuchtigkeit & Regen	0.91	0.34	

Interaktion: Δ Temperatur & Regen & Wind	0.06	0.93	
Interaktion: Δ Luftdruck & Regen & Wind	0.54	0.81	
Interaktion: Min. Luftdruck & Regen & Wind	0.14	0.70	
Interaktion: Δ Luftfeuchtigkeit & Regen & Wind	2.56	0.11	

Anhand des Modells lassen sich folgende Aussagen tätigen:

- Der **Luftdruckunterschied**, der **minimale Luftdruck** der letzten 48 Stunden und die **Aktivität der Vornacht** sind signifikante Einflussfaktoren auf die Aktivität.
- Diese Haupteinflüsse werden **nicht modulativ** von anderen Wetterparametern beeinflusst.
- Bei den Wetterparametern **Regen, Wind, Temperatur und Luftfeuchtigkeit** konnte kein signifikanter Einfluss auf die Aktivität nachgewiesen werden.

Für die signifikanten Interaktionen wurden Post-hoc-Test in Form von Effektplots durchgeführt.

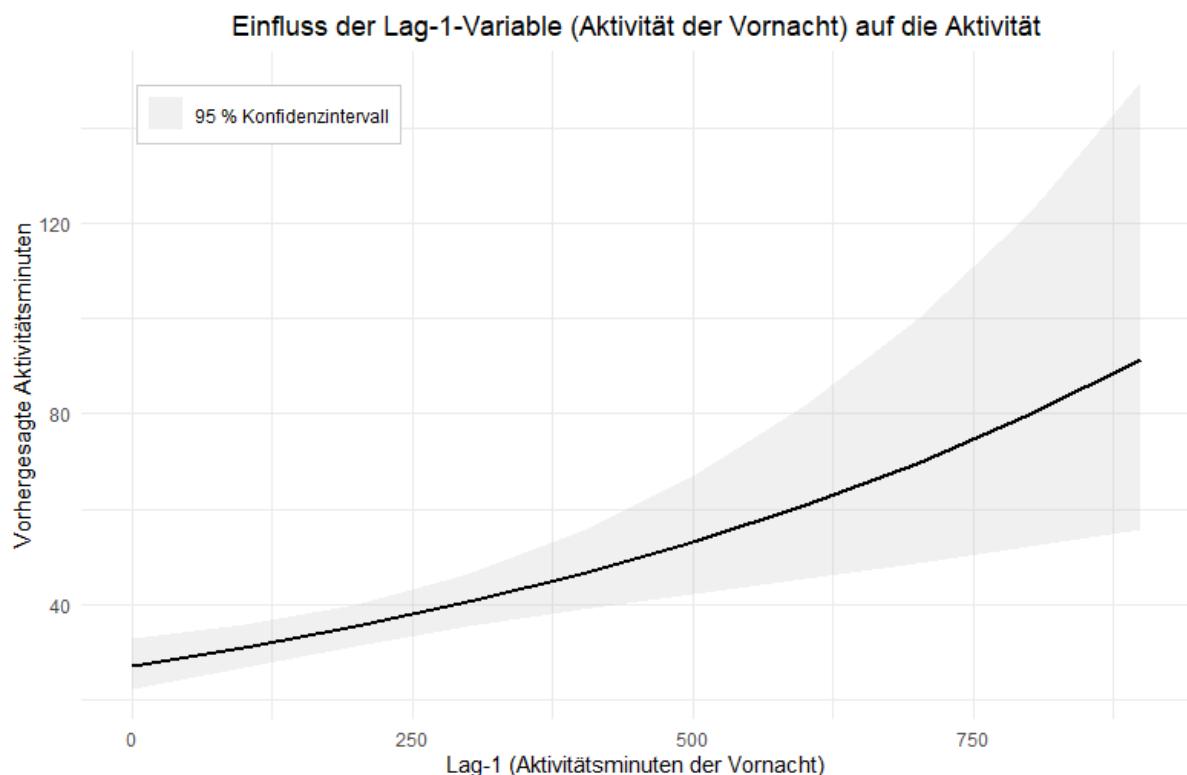


Abb. 39: Modellvorhersagen des Mückenfledermausmodells über den Einfluss der Lag-1-Variable (Aktivität der Vornacht) auf die Aktivitätsminuten pro Nacht

Der Haupteffekt Aktivität der Vornacht zeigen eine positive nicht-lineare Korrelation mit der Aktivität auf (s. Abb. 39). Eine erhöhte Aktivität in der Vornacht führt zu einer erhöhten Aktivität. Dieser Effekt ist bei kleineren Werten gering und steigen dann exponentiell an.

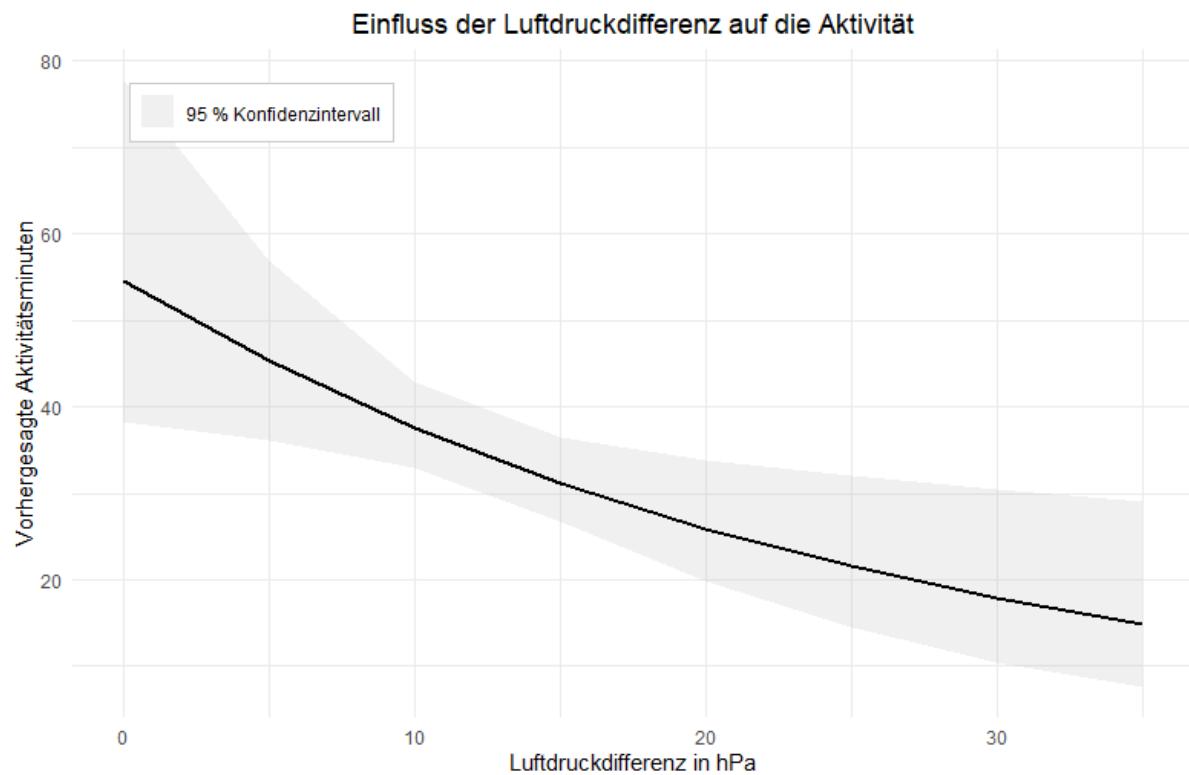


Abb. 40: Modellvorhersagen Mückenfledermausmodells über den Einfluss der Luftdruckdifferenz auf die Aktivitätsminuten pro Nacht

Einfluss des minimalen Luftdrucks auf die Aktivität

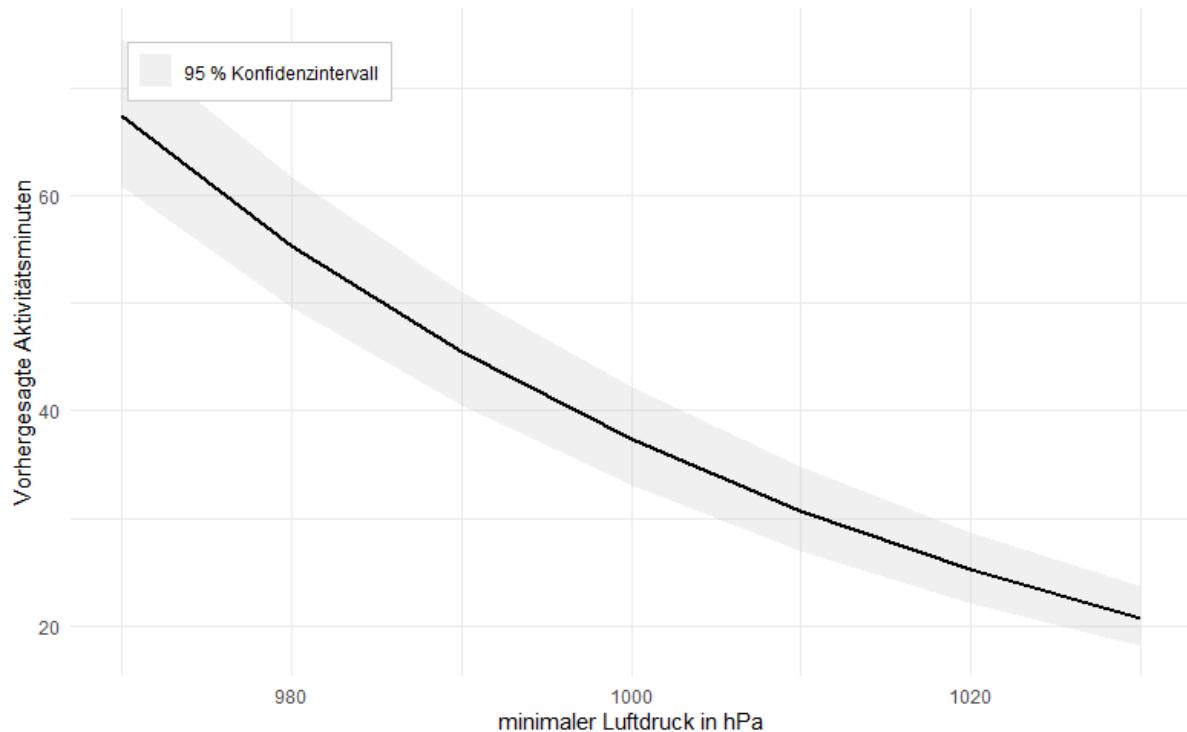


Abb. 41: Modellvorhersagen Mückenfledermausmodells über den Einfluss des minimalen Luftdrucks auf die Aktivitätsminuten pro Nacht

Die Haupteffekte der Luftdruckdifferenz und des minimalen Luftdrucks der letzten 48 h zeigen eine negative, nicht-lineare Korrelation mit der Aktivität auf (s. Abb. 40 & Abb. 41). Eine verringerte Luftdruckdifferenz und ein geringer minimaler Luftdruck führen zu einer erhöhten Aktivität. Diese Effekte sind bei geringen Werten stärker und flachen bei höheren Werten zunehmend ab. Somit sagt das Modell voraus, das erhöhte Aktivität am Winterquartier bei geringem und stabilem Luftdruck zu erwarten ist.

5 Integration in die Planung

Die Nachweismethode „Frostschwärm“ oder „Winterschwärmen“ ist in verschiedenen Leitfäden und Veröffentlichungen erläutert und empfohlen. Dennoch konnte durch eine Umfrage in Niedersachsen mit 17 Zuständigen für den Bereich Artenschutz und/oder Fledermäuse aus Unteren Naturschutzbehörden festgestellt werden, dass diesbezüglich ein Umsetzungs- und auch ein Wissensdefizit vorliegt (RENNACK 2022). Als Gründe hierfür werden eine hohe Dunkelziffer an fledermauskritischen Vorhaben, die nicht gemeldet werden, veraltete Informationen sowie Uneinigkeit und fehlende Kapazitäten in den zuständigen Behörden angegeben.

In der bisherigen Arbeit wurden verallgemeinernde Aussagen sowie quantitative Angaben auf statistischer Grundlage überprüft, um mehr Klarheit über die Zusammenhänge winterlicher Fledermausaktivität zu gewinnen. Im folgenden Abschnitt werden diese Erkenntnisse systematisch in die bestehende Nachweismethodik eingeordnet. Darauf aufbauend erfolgt eine Diskussion zur möglichen Integration winterlicher Aktivität und Schwärmereignissen an Quartierstandorten in die unterschiedlichen Ebenen der Landschaftsplanung. Hierzu werden ausgewählte Fallbeispiele erläutert.

5.1 Nachweismethode Winteraktivität

Die Ergebnisse dieser Studie erweitern das Verständnis von erhöhter Aktivität an Winterquartieren. Diese sollten dementsprechend in die aktuelle Methodik „Frostschwärm“ von Zergfledermäusen“ integriert werden. Des Weiteren lässt sich aus den Ergebnissen zur Mückenfledermaus die Methodik ergänzen.

Der Autor empfiehlt, anstelle von „Frostschwärm“ den Begriff „**Winteraktivität**“ oder „**Winterschwärmen**“ zu verwenden. Dies beschreibt, angesichts der nachgewiesenen Abhängigkeit der Aktivität von Temperaturdifferenz und nicht lediglich vom Temperaturabfall unter 0°C, die Methode korrekter und führt nicht zu einer Fehlinterpretation. Aufgrund der Komplexität und der verschiedenen signifikanten Einflüsse auf die Winteraktivität beleuchtet das sogenannte Frostschwärm hier nur einen Teilaспект des Phänomens und beschreibt dieses unzureichend. Dennoch kann ein prägnanter, eingängiger Begriff, insbesondere in Nischenthemen der Tierökologie, hilfreich sein: So wird die Kommunikation erleichtert, der

Name bleibt gut im Gedächtnis und fördert damit die Verbreitung des Wissens in der Umweltbildung, auch außerhalb wissenschaftlicher Kreise. Auch wenn der Begriff Frostschwärm nicht alle Facetten abbildet, so trägt er zu einer stärkeren öffentlichen Wahrnehmung und Diskussion bei. Insbesondere in der Anwendung im Bereich der Nachweismethoden sollte hier allerdings eine möglichst hohe Komplexität berücksichtigt und beschrieben werden.

Die Nachweismethode durch Winterschwärmen sollte optimalerweise in weitere Nachweistechniken eingebettet werden, welche akustische und visuelle Methoden beinhalten und über den gesamten Jahresverlauf durchgeführt werden (MEIER 2021; RUNKEL et al. 2018). Dies ist insbesondere wichtig, um dem komplexen phänologischen Zyklus und dem Raumnutzungsverhalten der Populationen möglichst gerecht zu werden. Dieser Aspekt wird in der vorliegenden Arbeit nicht vertiefend behandelt, da er im aktuellen Stand der Nachweismethode nach BVF (2018) sowie den Ergänzungen von RENNACK (2022) bereits berücksichtigt ist. Stattdessen liegt der Fokus darauf, diesen Ansatz weiter zu konkretisieren und statistisch fundiert die optimalen Witterungsbedingungen zu identifizieren und einzubeziehen.

Die durchgeführte Datenaufnahme bestätigt die Empfehlung, ein Dauermonitoring als ersten Schritt der Nachweismethode zu verwenden, um anschließend Winterschwärmen durch eine Begehung mit Handdetektor zu bestätigen und hierbei zusätzliche, gegebenenfalls relevante Informationen wie exakte Ein- und Ausflugsöffnungen oder die Anzahl der schwärmenden Tiere zu erhalten. Zum Einrichten des Dauermonitorings sind Hinweise auf Quartiere und deren genaue Lage durch spätsommerliches Schwärmen, Invasionen oder Kot von großem Vorteil. Die Unterschiede zwischen den Phänogrammen (Darstellung des Aktivitätsmaßes über den Winter; s. Kap. 4.1) an den Quartieren und der Kontrollaufnahme zeigen, wie die Ergebnisse eines Dauermonitorings durch „Winterschwärmen“ ausgewertet werden können. Hierbei stellen standardisierte und technikunabhängige Aktivitätsindices eine zuverlässige und aufschlussreiche Methodik dar. So zeigen **regelmäßige Aktivitätsspitzen in Abwechslung mit geringer Grundaktivität** genutzte Winterquartiere an. Eine generelle Grundaktivität hingegen bedeutet nicht, dass in Ausrichtung der Horchbox tatsächlich ein Winterquartier vorliegt. Eine Quantifizierung von Grundaktivität und Aktivitätsspitzen ist aufgrund der starken Variation unter den Quartieren wenig sinnvoll (s. Abb. 31). Hier kann eine **Betrachtung der**

Aktivität bis März oder April zum Ende des Torpors aufschlussreich sein. Steigt die Aktivität hier kontinuierlich auf ein deutlich höheres Grundniveau, zeigt dies, dass die Tiere wieder vermehrt im Untersuchungsraum aktiv sind, während in den Torpormonaten vermutlich nur Durchzügler oder kurze Jagdaktivität gemessen wurde. Es liegt vermutlich kein Winterquartier vor. **Verändert sich die Grundaktivität kaum und sind die Aktivitätsmaxima vergleichbar mit denen der Vormonate, liefert dies starke Evidenz für das Vorliegen eines Winterquartiers.** Beides sollte zu passenden Witterungsbedingungen durch Begehungen mit Handdetektor, Nachtsichtgerät oder auch Wärmebildkamera verifiziert werden. Dies bestätigt RENNACKS (2022) Ergänzung, dass passives Dauermonitoring nicht nur, wie vom BVF (2018) beschrieben, von September bis Oktober, sondern über den **gesamten Winter** zum Nachweis von Winterquartieren eingesetzt werden kann.

Wichtig ist hierbei, wie in der Literatur bereits oft erwähnt, zu betonen, dass eine **negativ ausgefallene Begehung** bei passender Wetterlage **nicht** zur Schlussfolgerung führen darf, dass **kein Winterquartier vorliegt**. Gerade bei kleineren Überwinterungsgemeinschaften tritt das Phänomen des Frostschwärmens teilweise nicht auf (WEIßSCHÄDEL et al. 2022). Aufgrund des räumlich und zeitlich funktionalen Netzwerks an Winterquartieren bedeuten auch vermehrte Negativbeobachtungen nicht, dass über den gesamten Winter keine Fledermäuse anwesend sind. Für die Begehung wird die erste andauernde Frostperiode des Winters ab November empfohlen, ebenso wie mindestens eine Schwärmkontrolle nach einem plötzlichen und deutlichen Temperaturanstieg oder bei Temperaturen oberhalb von 10 °C. Als Zeitpunkt für die Überprüfungen auf schwärmende und ausfliegende Tiere wird die Zeitspanne vom Sonnenuntergang bis mindestens Mitternacht angegeben, bei lauen Winternächten auch länger.

Diesem kann im Hinblick auf Zergfledermaus-Winterquartiere anhand der Ergebnisse nicht widersprochen werden. Konkretisiert werden sollte jedoch, dass bei einem **Temperaturabfall oder -anstieg von über 10 °C** in den folgenden Nächten mit erhöhter Aktivität zu rechnen ist, sofern **nur geringer bis mäßiger Wind und Regen** auftreten. Auch besonders hohe und insbesondere sehr tiefe **Temperaturen von < 0 °C und > 9 °C führen zu Schwärmeignissen**.

Kommt es in den zwei Vortagen zu Temperaturen über 9 °C, hat Regen, im Gegensatz zum Wind, eine hemmende Wirkung auf die Aktivität der Folgenacht. Bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt in den Vortagen führt Regen nicht, Wind jedoch sehr wohl zu einer geringeren

Chance, Aktivität zu beobachten. Neben den passenden Witterungsbedingungen sollte bei einem vorliegenden Dauermonitoring, welches parallel ausgewertet wird, ein zentrales Augenmerk bei der Wahl des Begehungstermins auf das zyklische Auftreten der Aktivität gelegt werden. **Eine Begehung sollte in einer Nacht stattfinden, die eine Folgenacht auf eine Aktivitätsspitze ist (witterungsunabhängig) oder zwischen 14-25 Tage nach einer Aktivitätsspitze liegt und in der die empfohlenen Witterungsbedingungen vorliegen.** Um dies zu berücksichtigen, sollte vom Gutachter eine **regelmäßige Auswertung der Aufnahmen des Dauermonitorings** durchgeführt werden.

Die aktuelle Literatur beinhaltet für die Mückenfledermaus keine eigenständige Methodik. In einigen Fällen wird sie zusätzlich zur Zwergfledermaus genannt oder darauf hingewiesen, dass die Methodik auf weitere Fledermausarten übertragbar ist (LBV 2021). Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass dies für das untersuchte Mückenfledermausquartier nicht der Fall ist. Zwar ist insgesamt über den Winter eine ähnliche **Regelmäßigkeit aus Aktivitätsspitzen und Grundaktivität** zu erkennen, diese **korrelieren jedoch nicht mit der Temperatur, Wind und Regen, sondern mit dem Luftdruck.** Die grundsätzliche Vorgehensweise der Nachweismethode Winterschwärmen kann identisch angewandt werden. Dies gilt insbesondere für das Dauermonitoring. Hierbei gab es keinen Hinweis darauf, dass sich der November und Dezember eher eignen als Januar und Februar. Bei den Detektorbegehungen, gegebenenfalls in Kombination mit Wärmebildkameras, sollten jedoch Nächte gewählt werden, in denen in den zwei Vortagen ein **besonders geringer Luftdruck < 990 Hektopascal oder ein besonders konstanter Luftdruck mit einer Veränderung von möglichst weniger als 10 Hektopascal** vorliegen. Meteorologisch bedeutet ein konstanter tiefer Luftdruck oft eine anhaltende, eher bewölkte, nasse und windige Witterungssituation (FOKEN 2016, KRAUS 2000). In Europa geht niedriger Luftdruck im Winter jedoch häufig auch mit milderden Temperaturen durch warme, feuchte Atlantikluft einher (DMG 2024). Diese Methodik ist jedoch aufgrund der geringen Datenzahl und der Untersuchung an lediglich einem Quartier nicht zu verallgemeinern und hat basierend allein auf dieser Arbeit keine ausreichende Aussagekraft. Für eine detaillierte Erläuterung diesbezüglich s. Kap. 6.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Nachweismethode des Winterschwärms für Zwergfledermaus-Winterquartiere nach BVF (2018) mit Anmerkungen von RENNACK (2022)

größtenteils durch die Ergebnisse der statistischen Auswertung bestätigt werden konnte. Die zusätzlichen Empfehlungen für die Integration in die Nachweispraxis lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Am Nachweisstandort sollte ein Dauermonitoring über mindestens drei Wochen im Zeitraum von November bis März installiert und regelmäßig ausgewertet werden.
- Die ergänzende Begehung sollte in der Folgenacht oder 14 bis 25 Tage nach einer Aktivitätsspitze durchgeführt werden.
- Für den Nachweis von Zwergefledermäusen sollte möglichst eine niederschlags- und windarme Nacht gewählt werden, die auf einen starken Temperaturabfall oder -anstieg folgt oder auf besonders milde bzw. besonders kalte Winternächte.
- Für den Nachweis von Mückenfledermäusen sollte möglichst eine Nacht gewählt werden, die auf Tage mit besonders geringem oder besonders konstantem Luftdruck folgt.

5.2 Anwendung und Integration in die Landschaftsplanung und Raumordnung

In Deutschland sind Raumordnung und Landschaftsplanung zwei eng miteinander verzahnte Planungsbereiche, die sich auf unterschiedlichen Ebenen gegenseitig ergänzen. Die Raumordnung steuert die überörtliche Entwicklung von Siedlung, Infrastruktur und Freiräumen auf Bundes-, Landes- und Regionalebene und ist im Raumordnungsgesetz (ROG, § 1 Abs.1) geregelt. Die Landschaftsplanung hingegen ist ein zentrales Instrument des Naturschutzes und der Landschaftspflege und dient der Entwicklung, Sicherung und Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts nach den Vorgaben des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG, § 8 ff.). Ihre Ergebnisse fließen in die Raumordnung sowie in die Bauleitplanung ein, etwa durch Umweltberichte und die Berücksichtigung von Eingriffs- und Ausgleichsregelungen nach BNatSchG § 13–19. Damit bildet die Landschaftsplanung eine wichtige fachliche Grundlage für raumbezogene Entscheidungen und wirkt integrativ in formelle Planungsprozesse nach Baugesetzbuch (BauGB, § 1 Abs.6 Nr.

7 und § 2 Abs.4) hinein. Erst durch diese Integration wird die Landschaftsplanung von einer informellen, fachlichen Ebene in die rechtlich verbindliche Planung überführt.

Tab. 6: Übersicht der Planungsebenen der Raumordnung und Landschaftsplanung und potenzieller Integration von Winterschwärmen in die Planungspraxis

Ebene	Planwerk Raumordnung	Planwerk Landschaftsplanung	Integration von Winterschwärmen
Bundes- und Landesebene	Raumordnungspläne auf Bundesebene, Landesentwicklungsplan	Landschaftsprogramm (LaPro)	Keine Integration
Regionale Ebene	Regionales Raumordnungsprogramm oder Regionalplan	Landschaftsrahmenplan (LRP)	Integration der Datengrundlage über Monitoringprogrammen von Massenquartieren und Habitatverbundstrukturen
Kommunale Ebene	Flächennutzungsplan (FNP)	Landschaftsplan (LP)	Integration der Datengrundlage über Monitoringprogrammen von Massenquartieren und Habitatverbundstrukturen
Vorhaben-ebene	Bebauungsplan(B-Plan), informelle Planung	Grünordnungsplan, spezielle artenschutzrechtliche Prüfung (saP), Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)	Nachweismethode von Individuen und Winterquartieren an einzelnen Strukturen

Winterschwärmen wird in der aktuellen Praxis insbesondere auf der Vorhabenebene empfohlen, angewandt und diskutiert, um einen Verstoß gegen das Artenschutzrecht nach §44 BNatSchG zu widerlegen. Doch auch auf höheren Planungsebenen kann die Nachweismethode integriert werden und wertvolle Informationen liefern. Im Folgenden wird die Integration in die verschiedenen Ebenen der Landschaftsplanung exemplarisch beleuchtet.

5.2.1 Vorhabenebene

Auf der Vorhabenebene treffen in der Regel, im Kontext von Winterquartieren von Zwergh- und Mückenfledermäusen, Eingriffsregelung und Artenschutzrecht auf Baurecht. Im Innenbereich benötigen Abbruch und Instandhaltung von Gebäuden je nach Bundesland in der Regel keine Baugenehmigung (§ 60 NBauO, § 62 BauO NRW, § 62 LBauO RLP und weitere),

Umweltverträglichkeitsprüfung und allgemeine, naturschutzrechtliche Eingriffsregelung, was häufig zu einer Missachtung des trotzdem geltenden besonderen Artenschutzrechts führt. Um diesem gerecht zu werden, ist eine spezielle artenschutzrechtliche Prüfung (saP) notwendig, in der Winterschwärmen als Nachweismethode integriert sein kann. Gleches gilt für die Aufstellung von B-Plänen, für welche ein Umweltbericht (§ 2 BauGB) inklusive LBP, faunistischer Kartierung und saP notwendig ist, aber auch für genehmigungspflichtige Vorhaben im Außenbereich (§ 35 BauGB), die einen LBP inklusive faunistischer Kartierung und saP benötigen. So ergab die Artenschutzprüfung für eine Wohngebietsentwicklung im Stadtteil St. Mauritz in Münster, dass potenzielle Fledermauswinterquartiere im Winter von Abrissarbeiten betroffen sind. Um das Tötungsverbot zu achten, wurde die Auflage einer Kontrolle potenzieller Spaltenquartiere durch einen Fachbiologen vor dem Abriss formuliert (SCHWARTZE 2017). Hierbei wird zwar nicht von Winterschwärmen als Nachweismethode gesprochen, jedoch davon, dass die Quartiere sehr schlecht zugänglich sind, was die Anwendung nahelegen würde. Die Verwendung von Winterschwärmen in einer vorhabenbezogenen Kartierung bei Betroffenheit von potenziellen Winterquartiersstrukturen ist der in der Literatur gängigste dargelegte Anwendungsbereich (s. Kap. 1.2.3).

5.2.2 Kommunale Ebene

Da Winteraktivität direkt von Witterungsbedingungen abhängig ist (vgl. Kap. 4) und somit in der Anwendung zum Nachweis nur bedingt flexibel, wird sie den in der Realität vorliegenden Zeitplänen und der Eile auf Objektplanungsebene nicht immer gerecht. Daher bietet sie sich zusätzlich insbesondere als Übersichtskartierung an. Gerade für übergeordnetes Monitoring in der Landschaftsplanung, bei welcher das Verständnis von großräumigeren Zusammenhängen des Quartiersverbunds von Zwerp- und Mückenfledermäusen besonders relevant ist, kann diese Nachweismethode mehr Verständnis und eine ganzjährige Betrachtung ermöglichen.

Gemäß §11 BNatSchG sind auf Gemeindeebene Landschaftspläne zu erstellen, die im Abwägungsprozess der Bauleitplanung die konkretisierten Ziele, Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege darstellen. Am Beispiel von Niedersachsen ist zu erkennen, dass diese häufig veraltet sind und nicht vollständig flächendeckend vorliegen. Landschaftspläne enthalten eine Bestandsaufnahme von Natur und Landschaft, um hieraus als Ziele der Biotopeverbundplanung, Schutzgebietsvorschläge und

Entwicklungskorridore für Arten abzuleiten. Hierbei beruft man sich in der Regel auf Bestandsdaten, die durch zusätzliche Übersichtskartierungen ergänzt werden können. Anhand von einem Ziel- oder Entwicklungskonzept werden Handlungsempfehlungen an die Bauleitplanung formuliert. Der Flächennutzungsplan (FNP) muss diese bei Erstellung und Änderung berücksichtigen und überführt diese im Anschluss in den B-Plan. Außerdem ist auch hierbei eine Umweltprüfung gem. § 2 Abs. 4 BauGB Pflicht, die jedoch in reduzierter Tiefe im Vergleich zur Vorhabenebene stattfindet.

Ein Beispiel für die Einbindung von Punkten mit faunistisch sehr hoher Relevanz stellt der Landschaftsplan Marburg dar (GEIGER 2007). In diesem sind Fundpunkte besonderer Arten mit zugehörigen Entwicklungsmaßnahmen verortet und beschrieben. Eine Integration ist hier insbesondere über ein regionales langfristiges Monitoring denkbar, welches von der UNB, örtlichen Fledermausbüros oder auch fachkundigen Ehrenamtlichen betreut werden kann. Alternativ kann eine flächendeckende Kartierung auf Basis von Suchräumen durch Hinweise wie Invasionseignisse durchgeführt werden. Diese Informationen können in Landschaftspläne integriert werden und insbesondere Quartiersverbundachsen sowie Massenwinterquartiere durch kartographische Darstellung als Gebiete mit besonderer Bedeutung für den Artenschutz dargestellt werden. Zusätzlich können hier Maßnahmen formuliert werden, die zum Erhalt und zur Pflege beitragen. So kann im Zuge von Bauleitplanverfahren die Flächennutzung möglichst fledermauskritisch entwickelt werden und in Form von Auflagen oder geeigneten CEF-, Ausgleichs- und Kompensationsmaßnahmen zum Schutz der Arten beigetragen werden.

5.2.3 Regionale Ebene

Gemäß §10 BNatSchG sind für die Länder Landschaftsrahmenpläne aufzustellen, die die überörtlich konkretisierten Ziele, Erfordernisse und Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege darstellen. In Nordrhein-Westfalen wird dieser Pflicht als Sonderfall durch sechs Regionalpläne, in Bayern durch Landschaftsentwicklungskonzepte (LEK) entsprochen. Landschaftsrahmenpläne sind in ihrem Maßstab größer (1:50.000-1:100:000), erfassen, bewerten und entwickeln aber genau wie Landschaftspläne die Schutzgüter des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG). Inhalte hieraus werden in die Regionalplanung eingearbeitet, die überörtliche räumliche Entwicklung in Form von Vorranggebieten für Windenenergie, Land- & Forstwirtschaft, Rohstoffsicherung, militärische Nutzung,

Hochwasserschutz sowie Natur und Landschaft festlegt und Trassenkorridore für überregionale Infrastruktur und Siedlungsentwicklung koordiniert.

Artenbetrachtung findet im Schutzgut Fauna nur noch für sogenannte Zielarten statt. Hierzu gehören in der Regel FFH-Arten (Anhang II und IV), Rote-Liste Arten und Arten von besonderem landesweiten Interesse. In der Regel findet auf dieser Ebene im Zuge der Planerstellung keine Arterfassung mehr statt, sondern ein Zusammenführen von Bestanddaten aus vorliegen Plänen, Datenbanken und weiterem. Eine Datenbasis von Winterquartieren in Form eines Katasters ist im selben Maße wie für Landschaftspläne anzustreben.

Hierzu zählt die Zwergfledermaus im Beispiel des Landschaftsrahmenplan LK Osnabrück (LK OS 2023). In dessen Maßnahmenkonzept wird der Quartiersschutz in Form von Sicherung der Winterquartiere, insbesondere vor Zutritt bzw. Störungen durch Verschluss; regelmäßige Kontrollen, die Betreuung und Sicherung von bekannten Gebäudequartieren, u. a. gegen Gefährdungen im Zuge von Sanierungen, Ausbauten, Umnutzungen usw., und der Erhalt von Höhlenbäumen, die Erhöhung des Altbaumbestandes in Wäldern und Parkanlagen, festgehalten. Um dies regional umzusetzen ist ein möglichst umfassendes Wissen von vorhandenen Winterquartieren sowie deren Verbundsstruktur essenziell. Hier kann Winterschwärmen genutzt werden, um den Wechsel zu Massenquartieren nachzuverfolgen, aber auch, um neue Winterquartiere zu entdecken. Diese können außerdem das Verständnis über die im Plan räumlich verorteten Kulissen von Gebieten mit besonderer Bedeutung für Fledermäuse erweitern und dazu führen, dass diese ergänzt wird. Hierbei sollte aufgrund der Maßstabsebene ein Fokus auf Massenquartiere sowie eine besonders hohe Dichte an Quartieren im Zusammenhang mit weiteren essenziellen Lebensraumstrukturen wie hochwertigen Nahrungshabiten und ganzjährigen Lebensräumen gelegt werden. Identifizierte Räume sollten auf ihren Einfluss in die Biotopverbundplanung geprüft werden.

Da LRP in vielen Teilen Deutschlands veraltet sind (Stand 2021) (BfN 2021) werden in unmittelbarer Zukunft viel Aktualisierungen erfolgen. Der Landschaftsrahmenplan Osnabrück befindet sich beispielsweise aktuell in der Erstellung. Die Nachweismethode des Frostschwärms ist auch im Kontext des Ausbaus der Erneuerbaren Energien, der zunehmend in der Landschaftsplanung und Raumordnung berücksichtigt wird, von hoher Bedeutung. Besonders die Kenntnis über Massenwinterquartiere der in Deutschland, als

schlaggefährdet geltenden Zwergfledermaus, kann wesentlich zum Schutz der Art beitragen (DIETZ et al. 2024). Nur durch das Wissen und die Integration in LRP können RROPs durch artenschutz-verträgliche Flächenausweisung von Windvorranggebieten reagieren. Dabei findet eine artenschutzrechtliche Prüfung vorgelagert in der Regionalplanung statt und entbindet den Vorhabenträger von dieser (§6 WINDBG) was die Bedeutung von Kenntnissen über Artvorkommen auch auf regionaler Ebene verdeutlicht.

5.2.4 Landes- und Bundesebene

Die obersten Fachpläne stellen die Landschaftsprogramme (§ 9 BNatSchG) dar. Diese betrachten landesweite gesamtheitliche Ziele von Naturschutz und Landschaftspflege auf einer Maßstabsebene von 1:200.000 bis 1:500.000. Inhalte stellen Vorrangräume für Arten- und Biotopschutz, großräumige Entwicklungsachsen für den Biotopverbund und Schutzgebiete dar. Nach dem Gegenstromprinzip der räumlichen Planung (§ 1 ROG) werden Verortungen für diese aus den LRP, LP und FFH-Monitorings übernommen und nicht gesondert erhoben. Eine Verortung einzelner Vorkommen und Lebensräume findet nicht mehr statt, was eine mögliche Integration von Winterschwärmen obsolet macht. Trotzdem betrachten Landschaftsprogramme die landesweit besonders relevanten Arten und geben hierfür allgemeine Empfehlungen zum Schutz. So erwähnt das Landesprogramm Niedersachsen (MU 2021) Zwerp- und Mückenfledermäuse als Zielarten des Biotopverbunds und fordert den Schutz der Winterquartiere vor künstlicher Lichtverschmutzung, Zerschneidung zu anderen Lebensräumen und Zerstörung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Winterschwärmen neben der Vorhabenebene, wo es bereits vereinzelt verwendet und zunehmend empfohlen wird, auch das Potenzial hat, im Bereich der Landschaftsplanung auf kommunaler und regionaler Ebene Anwendung zu finden. Hierbei ist eine langfristig gepflegte Datenbank in Form eines Katasters über die Fachbehörde in Kombination mit Citizen Science ein sinnvoller Ansatz.

5.2.5 Datenbanken, Artkataster und Citizen Science

Auf kommunaler und regionaler Ebene findet die Berücksichtigung von Arten und ihres Lebensraums außerhalb von Schutzgebieten in der Regel auf Basis bestehender Daten aus vielen Einzelkartierungen von Vorhaben und Plänen oder bestehender Monitoringprogramme und Datenbanken statt. Diese werden meist von einem Netzwerk aus Behörden, Expertenbüros, ehrenamtlichen Naturschutzpionieren und der Öffentlichkeit erstellt und gepflegt. Leider sind diese regional sehr unterschiedlich aufgebaut und enthalten häufig räumliche Lücken. Während in Bayern über Koordinationsstellen für Fledermausschutz und in Niedersachsen über den NABU-Landesverband bereits ein langjähriges Fledermausmonitoring vorliegt, ist dieses in vielen Bundesländern erst im Aufbau und wird in einigen nur vereinzelt regional durchgeführt.

Die Artengruppe der Vögel stellt hier ein Best-Practice-Beispiel dar. Für diese liegt eine sehr breite Datengrundlage auf allen Ebenen vor. So stellt der Vogelschutzbericht im Zuge des Natura-2000-Monitorings alle sechs Jahre eine bundesweite, grobe Verbreitungskarte dar. Der Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) pflegt den Atlas Deutscher Brutvogelarten mit Informationen zu Verbreitung, Bestand und Trends aller Brutvögel in Deutschland und organisiert und veröffentlicht Zugvogelmonitorings. Zusätzlich pflegt jedes Bundesland ein eigenes Monitoringprogramm über Landesverbände oder Vogelschutzwarten, die teils auf lokale Bereiche und Einzelarten herunterdekliniert sind. Hinzu kommen bürgerwissenschaftliche Projekte (Citizen Science) wie die „Stunde der Gartenvögel“ des NABU oder die Plattform ornitho.de. Dies führt zu einem sehr guten Kenntnisstand über einen Großteil der Vogelarten Deutschlands, was für nur wenige Artengruppen gilt. Je größer die „Lobby“ einer Artengruppe ist, desto stärker findet diese auch über öffentlichen Druck Einzug in die Planung. Dies entspricht zwar nicht dem Grundgedanken des Naturschutzes, führt aber insgesamt durch Habitatschutz von Schirmarten und Flaggschiffarten zum Schutz vieler weiterer Arten und einem breiteren Interesse in der Bevölkerung für naturschutzfachliche Themen.

Die Einbindung von bürgerwissenschaftlichen Netzen für den Fledermausschutz im Zusammenhang mit Schwärmereignissen erprobten BELL (2023) in der Kathedrale von Durham und GIESE (2024) über die Webseite fledermausschutz.de. Dass sich Invasionseignisse als Hinweisgeber auf Winterquartiere in der direkten Umgebung eignen, konnte RENNACK (2022)

in Osnabrück erproben und bestätigen. In diesem Zusammenhang kann „unfreiwillige Citizen Science“, in Form von erbosten Meldung von Invasionen, einen wertvollen Beitrag zum Finden bisher unbekannter Quartiere leisten. Winterschwärmen eignet sich aber auch zur flächendeckenden Erfassung von essenziellen Gebäudequartieren, um diese Daten als erste Einschätzung in die Bewertung von Vorhaben mit einzubeziehen und in kommunale sowie regionale Planungen einzubinden.

Das größte und aktuellste Projekt, das diese Problematik angeht, stellt die Online-Plattform BATLAS (2023) von der Universität Greifswald dar. Ziel dieser Plattform ist die zentrale Erfassung, Auswertung und Visualisierung von Fledermauszählungen aus Winterquartieren und Wochenstuben. Die Entwicklung erfolgte im Rahmen des Projekts BatTrend und wird durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) begleitet. Obwohl sich die Plattform noch im Aufbau befindet, stellt sie einen vielversprechenden Ansatz dar, um langfristige Trends in der Fledermausaktivität zu erfassen. Derzeit fehlen jedoch noch Erfassungen der Mückenfledermaus, und auch Zählungen der Zwergfledermaus liegen bisher überwiegend aus dem Süden und Osten Deutschlands vor. Die erhobenen Daten werden in einer einheitlichen Datenbank gespeichert und bestehen aus Zeitreihen von Zähldaten verschiedener Winterquartiere. Meldungen erfolgen überwiegend durch Landesämter, jedoch ist es auch Privatpersonen möglich, Beobachtungen direkt über die Plattform zu melden. Angesichts des gezeigten Potenzials sollte der BATLAS in Zukunft weiter ausgebaut und aktiv beworben werden. Es wird empfohlen, dass zuständige Behörden die Plattform nicht nur nutzen, sondern sich auch an deren Pflege und Weiterentwicklung beteiligen. Einen ähnlichen lokaleren Ansatz stelle die BatMap (NABU LANDESVERBAND NIEDERSACHSEN 2025) für Niedersachsen dar. Ebenso sollten Naturschutzverbände wie der NABU oder BUND naturinteressierte Bürgerinnen und Bürger gezielt dazu ermutigen, sich an der Datenerhebung zu beteiligen, um die langfristige Überwachung und den Schutz heimischer Fledermauspopulationen zu stärken. Hierfür kann im selben Stil wie bei der „Stunde der Gartenvögel“ und ergänzend zur „Batnight“, einer Informationsnacht mit vielen bundesweiten Veranstaltungen, eine „Winternacht der Fledermäuse“ ausgerufen werden. In diesem Rahmen können interessierten Ehrenamtlichen in ganz Deutschland Winterschwärmen als Methode erläutert und idealerweise Handdetektoren oder Handyadapter zur Verfügung gestellt werden, um in abgegrenzten Suchräumen nach Winterquartieren zu suchen.

6 Diskussion

Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

Die Untersuchungen der winterlichen Aktivitätsmuster der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) und der Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*) in Abhängigkeit von verschiedenen Wetterparametern zeigen neben den erwartbaren auch unerwartete Ergebnisse, die im Folgenden diskutiert werden.

Die Regressionsmodelle, die für beide Arten entwickelt wurden, zeigten Bestimmtheitsmaße mit R^2 -Werten von 0,466 für die Zwergfledermaus und 0,466 für die Mückenfledermaus, welche für ökologische Regressionsmodelle als sehr gute Werte anzusehen sind (BURNHAM & ANDERSON 2002). Dies bestätigt die Metastudie von MØLLER & JENNIONS (2002), in welcher der durchschnittliche R^2 -Wert von 93 ökologischen und evolutionsbiologischen Studien bei 5,4% lag. Auch wenn dieser Wert sehr gering erscheint, betonen die Autoren einerseits, dass viele der Studien nur kleine Effekte messen und andererseits, dass auch geringe R^2 Werte bei guter Methodik biologisch bedeutsam sind. Lediglich in gut designten Einzelstudien, in denen die Effekte in der Modellwahl stärker isoliert werden, gelten R^2 -Werte ab 20-40% als realistisch gut (NAKAGAWA & SCHIELZETH 2013). Dies unterstreicht, dass es in komplexen biologischen Systemen normal ist, dass viele Einflüsse nicht vollständig erfassbar und modellierbar sind und diese von Zufallsereignissen oder individuellen Unterschieden geprägt sind (GRAHAM 2003). Unter Anbetracht dieser Fakten können die entwickelten Modelle als aussagekräftig bewertet werden.

Für beide untersuchten Arten konnte ein signifikanter Einfluss der Aktivität der Vornacht auf die nächtliche Winteraktivität nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass die Aktivitätsmuster nicht nur durch unmittelbare Wetterbedingungen erklärbar sind, sondern auch eine zeitliche Autokorrelation aufweisen. Bei dem Modell der Mückenfledermaus ist der Lag-1-Wert die Variable, die am meisten zum Erklärungswert beiträgt und bei dem Modell der Zwergfledermäuse am zweitmeisten (vgl. Chi²-Wert in Tab. 5 und 5). So scheinen sich erhöhte Aktivitätsphasen mit geringer Grundaktivität abzuwechseln. Betrachtet man die Lag-Werte der 30 Vornächte, ist eine zyklische Oszillation zu beobachten (s. Abb. 20). Teilweise treten signifikante negative ACF-Werte bei Lag-5, Lag-7 und Lag-13 und positive bei Lag-15, Lag-21 und Lag-25 auf. Dies bedeutet, dass eine geringe Aktivität vor etwa einer bis zwei Wochen und

erhöhte Aktivität vor etwa zwei bis drei Wochen positiv mit der Aktivität korrelieren. Die Zeitspannen variieren je nach Quartier und sind nur teilweise statistisch signifikant. Damit bestätigt sich, dass das Verhalten der Tiere über aufeinanderfolgende Nächte hinweg nicht unabhängig ist, ein Befund, der bislang in Studien zur Winteraktivität von Fledermäusen nur selten berücksichtigt wurde. Die Integration der Aktivität der Vornacht als Prädiktor erwies sich als zentraler methodischer Schritt. Ohne die Berücksichtigung dieser Verzögerungskomponente würde das Aktivitätsmaß, gemessen als Anzahl der Aktivitätsminuten pro Nacht, als statistisch unabhängige Beobachtung fehlinterpretiert. Dies hätte potenziell zur Überschätzung der Effekte der Wetterparameter geführt. Die Ergebnisse zeigen somit, dass eine valide Modellierung der nächtlichen Aktivität im Winter nur dann möglich ist, wenn die Datenaufnahme möglichst lückenlos über einen längeren Zeitraum durchgeführt wird, um Umweltparameter im Zusammenspiel mit intertemporalen Zusammenhängen in die Analyse miteinzubeziehen. Insgesamt stellt die identifizierte zeitliche Abhängigkeit der Aktivität eine wichtige Erkenntnis dieser Arbeit dar. Bei zukünftigen Untersuchungen zur Winteraktivität von Fledermäusen sollte verstärkt auf die Einbindung zeitlicher Muster geachtet werden.

Neben der zeitlichen Abhängigkeit der Aktivität stellen die identifizierten, statistisch belegten Zusammenhänge mit verschiedenen Wetterparametern eine weitere zentrale Erkenntnis dieser Arbeit dar. Für beide Arten konnten signifikante Effekte bestimmter meteorologischer Parameter auf das nächtliche Aktivitätsverhalten nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse bestätigen, dass kurzfristige Umweltbedingungen maßgeblich das Auftreten von Winteraktivität beeinflussen. Besonders bemerkenswert ist, dass sich die relevanten Wetterparameter zwischen den beiden untersuchten Arten deutlich unterschieden. Während bei der Zwergfledermaus vor allem Temperatur, Windgeschwindigkeit und Niederschlag einen signifikanten Einfluss auf die Winteraktivität zeigen, reagiert die Mückenfledermaus vorrangig auf den Luftdruck. Diese Beobachtungen widerspricht der Aussage, dass die Nachweismethode Frostschwärm in identischer Anwendung auch für Mückenfledermäuse verwendet werden kann (LBV 2021). GIESES (2024) Beobachtung, dass keine direkte Korrelation von Temperatur und Aktivität beobachtet werden konnte, kann hingegen bestätigt werden.

Obwohl die Ergebnisse zunächst auf deutliche Unterschiede in der Reaktion beider Arten auf Wetterparameter hinzudeuten scheinen, ist eine vorsichtige Interpretation dieser Befunde geboten. Aufgrund des zugrunde liegenden Studiendesigns ist nicht eindeutig zu klären, ob tatsächlich artspezifische Reaktionsmuster gemessen wurden, oder ob diese Unterschiede vielmehr durch standortbezogene Faktoren beeinflusst sind. Es ist daher nicht auszuschließen, dass die festgestellten Unterschiede auch durch habitatbezogene Faktoren wie Mikroklima, Quartierstruktur, Umgebungsstruktur, Störungsintensität oder durch spezielle Verhaltensmuster unterschiedlicher Lokalpopulationen bedingt sind.

Nichtsdestotrotz verdeutlichen die statistisch belegten Zusammenhänge, dass das Frostschwärmerhalten der Zwerp- und Mückenfledermäuse stark kontextabhängig ist und in direktem Zusammenspiel mit spezifischen Wetterlagen steht. Die Ergebnisse der Zwerpfledermausdaten unterstreichen die Bedeutung einer multivariaten Betrachtung, bei der nicht einzelne Wetterparameter isoliert betrachtet werden, sondern deren Wechselwirkungen im Modell abgebildet werden. Selbstverständlich gilt bei statistischen Modellen, dass sie nie die wahre Realität widerspiegeln, sondern nur versuchen, sich dieser anzunähern (HEDDERICH & SACHS 2016).

Vergleich mit vorhandener Literatur

Die Ergebnisse dieser Arbeit zur Zwerpfledermaus bestätigen sowohl die von KORSTEN (2016) und BVF (2018) empfohlenen Bedingungen zur Anwendung von Frostschwärmen als Nachweismethode als auch deren Ergänzung von RENNACK (2022) und GIESE (2024) und konkretisieren diese zusätzlich (vgl. Kap. 5.1). Viel wichtiger jedoch ist, dass diese Studie der viel geforderten statischen Verifizierung der bisherigen Beobachtungen und getroffenen Annahmen zur Winteraktivität von Zwerpfledermausen gerecht wird.

Einige Effekte wirken teilweise kontraintuitiv. Hierzu zählt zum Beispiel die Beobachtung, dass erhöhter Niederschlag und Wind sich unter bestimmten Bedingungen positiv auf die vorhergesagte Aktivität auswirken können. Gründe hierfür könnten einerseits verschiedene ökologische Faktoren sein, andererseits könnte es sich um sogenannte Modellartefakte handeln. So besteht die Möglichkeit, dass extremen Bedingungen in nur wenigen Nächten im Datensatz vorhanden sind, wodurch die Modellvorhersage in diesem Bereich unsicher ist und

zudem überinterpretiert werden kann. Ansätze für ökologische Erklärungen könnten sein, dass ein gewisser Grad an Feuchtigkeit in Kombination mit milderer Temperaturen die Aktivität energetisch eher begünstigt oder erhöhter Insektenflug Aktivität in Kombination mit Jagd hervorruft. Ein feuchtkaltes Mikroklima könnte Thermoregulation oder Quartierswechsel noch stärker begünstigen als trockene Kälte. Wichtig ist hierbei zu berücksichtigen, dass die Regen- und Windwerte Mittelwerte der gesamten Nacht (15:00 – 09:00 Uhr) sind und dementsprechend die Zusammenhänge von tatsächlich akutem Wind und Niederschlag auf das Ausflugverhalten differenzierter sind.

Die Ergebnisse der Mückenfledermaus stellen, für eine Art, die meist nur im zweiten Atemzug nach der Zwergefledermaus genannt wird, eine Neuheit dar. So konnten FRAJORD (2021) die ganzjährige Aktivität von Mückenfledermäusen in Norwegen nachweisen und BARROS et al. (2017) stellten signifikanten Einfluss von Wetterparametern auf *Pipistrellus*-Arten (*P. pygmaeus*, *P. pipistrellus*, *P. kuhlii*) fest, ohne die Arten in der Analyse getrennt zu betrachten. In der gängigen Fachliteratur findet sich kein Hinweis darauf, dass der Luftdruck der signifikante Wetterparameter mit Einfluss auf die Winteraktivität der Mückenfledermaus ist. Der Einfluss von Luftdruck auf das Verhalten von Fledermäusen wurde hauptsächlich im Kontext von unterirdischen Winterquartieren untersucht, in welchen die Wahrnehmung der Außentemperatur nur bedingt möglich ist (SENDOR 2002, SIMON et al. 2004, VAN SCHAIK et al. 2015). Belegt werden konnte ein Zusammenhang von niedrigem Luftdruck und erhöhter Aktivität aufgrund günstiger Jagdbedingungen bisher jedoch nur für das Braune Langohr (BLOMBERG et al. 2021) und nicht für die beiden Zielarten dieser Studie. Auch wenn der Einfluss von Luftdruck auf Fledermäuse als bestätigt angesehen wird, lässt sich darüber, wie dieser aussieht, kein wissenschaftlicher Konsens erkennen, auch da die Zusammenhänge von Luftdruck und der allgemeinen Witterung geographisch sehr verschieden sind. Häufig sind die Studiendesigns sehr auf die Messung des Einflusses von Temperatur, Regen und Wind gerichtet. Dies ist vermutlich auch ein Grund, weshalb der Zusammenhang zwischen der Aktivität in der Vornacht und der aktuellen Aktivität dieser Art bislang nicht systematisch untersucht wurde. Auch da zirkstisches Aufwachen und Temperatur bei Arten wie dem Kleinen Abendsegler und der Goulds-Langohrfledermaus in Kombination wirken (TURBILL & GEISER 2008).

Ein solches Muster ist eine logische Konsequenz witterungsbedingter, energetischer Anpassungsprozesse, wie sie bei kleinsäugigen Fledermausarten häufig zu beobachten sind (RYDELL et al. 1996, LFA-FMSF-MV 2025)

Die regelmäßig auftretenden Schwärmereignisse über den gesamten Winter widersprechen der häufig genannten erhöhten Schwärmaktivität im November und Dezember und geringeren Aktivität im Januar und Februar (WEIßSCHÄDEL et al. 2022, ZAHN & KRINER 2014). Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse die in Studien häufig genannte Komplexität des Einflusses von Umgebungsparametern (RENNACK 2022).

Theoretische und praktische Implikationen

Die in Kapitel 5.1 erarbeiteten Anpassungen der Nachweismethode für Zwergfledermäuse sowie die statistische Verifizierung vorhandener Literatur sollten als theoretische und praktische Implikation dieser Arbeit in die Praxis einfließen. Die Nachweismethode für die Mückenfledermaus bedarf weiterer Forschung, stellt jedoch einen ersten wichtigen Ansatz in diesem Bereich dar. Die Betrachtung der unterschiedlichen Planungsebenen und die Integrationsansätze für die Vorhabenebene sowie Kommunale – und Regionale Ebene zeigen, dass die Nachweismethode Winterschwärmen in verschiedenen Bereichen der Landschaftsplanung angewendet oder deren Ergebnisse integriert werden kann. Eine zunehmende Integration in Planwerke der Landschaftsplanung muss insbesondere über vorliegende Daten aus flächendeckenden Langzeitmonitorings erfolgen. Hierfür befinden sich aktuell ambitionierte Projekte im Aufbau und in der Erprobung. Die Ergebnisse dieser Arbeit sollten in alle gängigen Beobachtungsnetzwerke integriert werden, um die Datenlage zu erweitern. Zu nennen wären hier insbesondere der BATLAS.

Stärken und Schwächen der Studie

Die Untersuchung mehrerer in Westdeutschland verteilter, bereits bekannter Quartiere ist ein sinnvoller und ambitionierter Ansatz, um generelle Aussagen über die Fragestellung treffen zu können. Dies ermöglicht eine hohe Vergleichbarkeit aufgrund derselben Methodik und statistischer Auswertung. Durch den hohen Fokus auf eine große, fundierte Datengrundlage, sowie deren methodische Auswertung und statistische Analyse konnten viele in anderen

Studien nicht integrierte Aspekte berücksichtigt werden. Hierzu zählt generell die multivariate, statistische Auswertung, aber auch kleinere Implikationen wie der Verzögerungswert, die Berücksichtigung der Nachtänge und die Differenzierung mehrerer Quartiere und Standorte bei der Zwergfledermaus. Es hat sich zudem als besonders sinnvoll erwiesen sich der Auswertung mit dem Statistik Programm R anzunehmen, anstelle der gängigen Lösung Microsoft Excel.

Die Auswertung einer weiteren Horchbox abseits der bekannten Quartiere als Nullprobe ermöglichte einen Vergleich des Aktivitätsmaßes über den Winter zwischen verschiedenen genutzten Quartieren und nicht vorhandenen oder ungenutzten Quartieren. Aussagen hieraus könnten für den Ersnachweis von Winterquartieren anhand von Horchboxen verwendet werden, um diese in die Methode des Frostschwärmens zu integrieren.

Die umfangreiche Auswahl der Wetterparameter stellt im Vergleich zu ähnlichen Studien eine Stärke dar. So untersuchten Barros et al. (2017) nur die Variablen Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchtigkeitlichkeit, Windgeschwindigkeit und Taupunkt. Wiederum interessant ist, dass als Niederschlagsvariable der Niederschlag der letzten 48 Stunden angesetzt wurde. Eine Überprüfung dieser sowie der Vergleich zum Niederschlagsmittelwert der Nacht wäre ein weiterer interessanter Aspekt für diese Untersuchung gewesen. Auch eine Differenzierung der drei Differenzparameter Δ Temperatur, Δ Luftdruck und Δ Luftfeuchtigkeit in Anstieg und Abfall zu unterscheiden wäre für zukünftige Studien sinnvoll, um noch detailliertere Aussagen treffen zu können. So haben beispielsweise Luftdruckanstieg und Luftdruckabfall meteorologisch sehr unterschiedliche Auswirkungen. Folgt man der Empfehlung von WEISSCHÄDEL et al. (2022) für Mückenfledermäuse ist in dieser Studie für das Modell der Mückenfledermaus die Temperaturvariable der zwei Vortage etwas zu lang gewählt und ein Zeitraum der letzte 24 Studien würde den Beobachtungen besser entsprechen. Durch eine andere Variablenberechnung könnte dies statistisch neu bewertet werden, auch wenn eine relevante Abweichung vom aktuellen Ergebnis unwahrscheinlich erscheint.

Die Untersuchung der Zwergfledermausquartiere in nur einem Winter (2024/2025) stellt eine erhebliche Einschränkung der Datenaufnahmen dar. So können langfristige saisonale Schwankungen nicht erfasst und berücksichtigt werden. Ein wesentliches methodisches Limit dieser Arbeit liegt darin, dass lediglich ein einziges Mückenfledermausquartier in die Analyse

einbezogen wurde, während Daten aus drei unterschiedlichen Quartieren von Zwergfledermäusen vorlagen. Diese asymmetrische Datengrundlage erschwert die Trennung zwischen art- und ortsspezifischen Effekten. Hier wurde die Datenmenge durch Datensätze aus zwei Wintern zwar erhöht und die fehlende zeitliche Komponente, die bei den Zwergfledermausuntersuchungen vorliegt, in Teilen berücksichtigt. Jedoch führt der fehlende Vergleich von mehreren Quartieren zu einer starken Einschränkung der Interpretationsmöglichkeiten. Auch nach dieser Masterarbeit bleibt das von Giese genannte Problem zur Untersuchung der Mückenfledermaus bestehen: „*Die Datenlage ist nicht ausreichend, um konkretere Angaben zu machen und Bezüge zu erkennen. Ein akustisches Monitoring mit Beobachtungen vor Ort müsste von August bis April in verschiedenen Regionen an fünf bis zehn Massen- und auch kleineren Quartieren durchgeführt werden. Solche Quartiere müssten erst einmal gefunden werden*“ (GIESE 2024). Somit ist es nicht möglich die gemessenen Ergebnisse der Kausalität von Artunterschieden zuzuordnen.

Zukunftsperspektiven und Forschungsempfehlungen

Die vorliegende Arbeit konnte zentrale Zusammenhänge zwischen Wetterparametern, zeitlicher Abhängigkeit und der Winteraktivität zweier heimischer Fledermausarten nachweisen. Dennoch zeigen die Ergebnisse zugleich Grenzen auf, die in zukünftigen Studien berücksichtigt werden sollten. Ein unbedingt zu prüfender Ansatz ist, ob es sich bei den Ergebnissen dieser Arbeit tatsächlich um artspezifische Unterschiede handelt. Hierfür sollten insbesondere weitere Winterquartiere der Mückenfledermaus einer vergleichbaren Untersuchung unterzogen werden. Basierend auf einem größeren differenzierteren Datensatz können die Ergebnisse dieser Arbeit damit bestätigt oder widerlegt werden und unterliegen nicht einer relevanten Unsicherheit aufgrund des Designs der Datenaufnahme.

Darüber hinaus wäre es sinnvoll, Langzeitdaten über mehrere Winterperioden zu erheben, um interannuelle Schwankungen im Aktivitätsverhalten zu analysieren und mögliche Anpassungen an langfristige Klimaveränderungen besser zu erfassen. Auch eine Kombination aus akustischem Monitoring und zusätzlicher Umwelt- und Quartierdatenerfassung könnte dazu beitragen, die komplexen Mechanismen hinter dem Frostschwärmerhalten genauer zu verstehen. Insbesondere im Zusammenhang des Klimawandels, der zukünftig zu immer

milderen Wintern führen wird (DWD 2022), ist zu erwarten, dass der Winterschlaf der Arten in Deutschland immer kürzer oder häufiger unterbrochen wird. Die Verschiebung der Grenzen klimabedingter Verhaltensstrategien und weitere Beobachtungen dieser Verhaltensbiologie werden in Zukunft ein spannendes Themenfeld sein, welches sich auch auf die Nachweismethode Winterschwärmen auswirken wird. Erste Ansätze hierfür haben in dem Vereinigten Königreich bereits stattgefunden (ANDREWS et al. 2024).

Schlussfolgerung

Rückblickend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse der Arbeit in Teilen den Erwartungen entsprechen und in Teilen sehr überraschend sind und so wie in dieser Diskussion erfolgt, eingeordnet werden müssen. Trotzdem stellen sie einen erheblichen Beitrag zur Erforschung der Winteraktivität von Zwerp- und Mückenfledermäusen dar. Durch einen passend gewählten methodischen Aufbau ließen sich die übergeordneten Fragestellungen beantworten. Insbesondere der Ansatz von multivariater Statistik anstelle von Einzelbeobachtungen und Rückschlüssen durch eine Interpretation von Grafiken, die schnell in Subjektivität abdriften kann, stellt eine Besonderheit dar. Diese Arbeit soll dazu ermutigen, sich in diesem Feld vermehrt der wissenschaftlichen Statistik zu bedienen, um Ergebnissen eine stärkere Gewichtung und Nachvollziehbarkeit zu geben. Abschließend lässt sich noch sagen, dass die Nachweisbarkeit von Winterquartieren dringend notwendig ist, wenngleich die Einstellung der Gesellschaft zum Artenschutz die größte Stellschraube darstellt. Das übergeordnete Anliegen dieser Masterarbeit, den Fledermausschutz wirksam und nachhaltig voranzutreiben, kann nur durch die Umsetzung geeigneter Maßnahmen wie fledermausfreundliches Bauen und Sanieren, den Schutz von Massenquartieren sowie die Berücksichtigung des Habitatverbunds in Landschaftsplanung und Raumordnung erreicht werden.

Quellen

Literatur- und Internetquellen

- ANDREWS M., HARRIES D. J., ANDREWS P. T. & CRUMP R. G. (2024): Climate Change and Implications for Monitoring *Pipistrellus pygmaeus* Populations at Nursery Roosts in the U.K., *Acta Chiropterologica* 26(1), S. 77-88.
- AVERY M. (1985): Winter Activity of Pipistrelle Bats. *The Journal of Animal Ecology* 54 (3), S. 721-738. Hrsg.: British Ecological Society.
- BACHOREC E., BARTONIČKA T., HEGER T., PIKULA J. & ZUKAL J. (2021): Cold arousal - A mechanism used by hibernating bats to reduce the energetic costs of disturbance. *Journal of Thermal Biology* 101, S. 103-107.
- BADER E. & KRÄTTLI H. (2022): Fledermausschutz – Der Ratgeber für die Praxis. Haupt Verlag Bern. 175 S.
- BARLOW, K. E. (1997): The diets of two phonic types of the bat *Pipistrellus pipistrellus* in Britain. – *Journal of Zoology (London)* 243: 597-609.
- BARROS P.A., RIBEIRO C. & CABRAL J.A. (2017): Winter activity of bats in Mediterranean peri-urban deciduous forests. *Acta Chiropterologica*, 19(2): 367–377
- BATLAS (2023): Portal für Fledermauspopulationstrends. Universität Greifswald (Hrsg.): Bedrohte Daten von bedrohten Arten - Projekt im Rahmen einer Zuwendung gefördert durch BfN mit Mitteln des BMUV.
- BELL C. P. (2023): The annual occurrence of mass mortality at a Common Pipistrelle swarming site. *European Journal of Wildlife Research* (2023) 69:2. Springer Verlag. 10 S.
- BELL C. P. (2021): Daily, Seasonal and Inter-Annual Variation in Activity Within a Common Pipistrelle Swarming Site and Hibernaculum. *Acta Chiropterologica* 24 S.103–114.
- BELLMANN H., HENSEL W., SPOHN M. & STEFFEN S. (2014): Tiere und Pflanzen – Der große Kosmos Naturführer. Frankh-Kosmos Verlag GmbH & Co.Kg, Stuttgart. 893 S.
- BEN-HAMO M., MUÑOZ-GARCIA A., WILLIAMS J. B., KORINE C. & PINSHOW B. (2013): Waking to drink: rates of evaporative water loss determine arousal frequency in hibernating bats. *Journal of Experimental Biology*, 216: 573–577.
- BERTRAN M., ALSINA-PAGÈS R.M. & TENA E. (2019): *Pipistrellus pipistrellus* and *Pipistrellus pygmaeus* in the Iberian Peninsula: An Annotated Segmented Dataset and a Proof of Concept of a Classifier in a Real Environment. *Appl. Sci.* 2019, 9, 3467.
- BfN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2025a): Zwerfledermaus – *Pipistrellus pipistrellus*. F & E – Vorhaben Managementempfehlungen für Arten des Anhangs IV der FFH-Richtlinie. Autoren: M. Simon, H. Köstermeyer, K. Gießelmann, S. Brand. Online verfügbar:

<https://www.bfn.de/artenportraits/pipistrellus-pipistrellus> (letzter Zugriff 31.01.2025).

BfN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2025b): Artenportraits *Pipistrellus pygmaeus* – Mückenfledermaus. 06. Gefährdung. Autoren: M. Simon, H. Köstermeyer, K. Gießelmann, S. Brand. Online verfügbar: <https://www.bfn.de/artenportraits/pipistrellus-pygmaeus> (letzter Zugriff 06.02.2025).

BfN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2011a): Biogeografische Regionen und naturräumliche Haupteinheiten Deutschlands - Naturräume und Großlandschaften (DATEN ZUR NATUR 2008, nach SSYMANEK 1994).

BfN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2006): Mückenfledermaus - *Pipistrellus pygmaeus*. Verbreitung der Mückenfledermaus inklusive Hinweise auf Schwerpunkt vorkommen. In: F & E – Vorhaben Managementempfehlungen für Arten des Anhangs IV der FFH-Richtlinie. Stand 2006.

DIETZ M., FRITZSCHE A., JOHST A. & RUHL N. (2024): Fachempfehlung für eine bundesweite Signifikanzschwelle für Fledermäuse – Bewertung der derzeitigen Signifikanzschwelle für Fledermäuse und Windenergieanlagen. BfN-Schriften 682, 112 S.

BLAŽEK J., ZUKAL J., BANDOUCHOVÁ H., BERKOVÁ H., KOVACOVÁ V., MARTÍNKOVÁ N., PIKULA J., ŘEHÁK Z., ŠKRABÁNEK P. & BARTONIČKA T. (2019): Numerous cold arousals and rare arousal cascades as a hibernation strategy. In European Myotis bats. J Therm Biol, 82 S. 150-156.

BLOMBERG A., VASKO V., MEIERHOFER M., JOHNSON J., EVA T. & LILLEY T. (2021): Winter activity of boreal bats. Mammalian Biology 101 (5): 609-618.

BOLKER B., BROOKS M., CLARK C., GEANGE S., POULSEN J., STEVENS M.H. & WHITE J.-S. (2009): Generalized Linear Mixed Models: A Practical Guide for Ecology and Evolution. In: Trends in Ecology & Evolution 24:127-35. Online verfügbar: <https://www.researchgate.net/publication/221995574 Generalized Linear Mixed Models A Practical Guide for Ecology and Evolution> (letzter Zugriff 31.03.2025).

BORTZ J., & DÖRING N. (2006). Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Kapitel: Stichprobenplanung - Bestimmung des Stichprobenumfangs. Springer Medizin Verlag, Heidelberg.

BOYLES J., DUNBAR M., & WHITAKER J. (2006): Activity following arousal in winter in North American vespertilionid bats. Mammal Review 36 (4): 267-280. Online verfügbar: <https://www.researchgate.net/publication/227983478 Activity following arousal in winter in North American vespertilionid bats> (letzter Zugriff 24.04.2025).

BROOKS M.E., KRISTENSEN K., KOEN J. VAN BENTHEM, MAGNUSSON A., BERG C. W., NIELSEN A., SKAUG H. J., MAECHLER M. & BOLKER B. M (2017): glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among

Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. The R Journal, 9(2), 378-400.

BULLOCK D.J., COMBES B. EALES L.A.(1987): Analysis of timing an emergence of the pipistrelle bat (*Pipistrellus pipistrellus*). J. zool. London 211. S. 600-602.

BURKHARD & GÜTTINGER (2011): Jagdgebiete und Jagdverhalten der Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*, Leach, 1825) am Bodensee. Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 65 17 Seiten, 13 Abbildungen, Frauenfeld 2011.

BURNHAM K.P. & ANDERSON D.R. (2002): Model Selection and Multimodel Inference - A Practical Information-Theoretic Approach. Springer Verlag 2003, S. 2809–2815. Hrsg.: Ecological Society of America.

BVF – BUNDESVERBAND FÜR FLEDERMAUSKUNDE (2018): Methodenstandards Akustik. 34 S. Online verfügbar: <https://bvfledermaus.de/methodenpapier-bioakustik-erschienen/> (letzter Zugriff 02.01.2025).

DECHMANN DKN, WIKELSKI M., ELLIS-SOTO D., SAFI K. & O'MARA MT. (2017): Determinants of spring migration departure decision in a bat. Biol. Lett. 13: 20170395.

DGM – DEUTSCHE METEOROLOGISCHE GESELLSCHAFT (2024): Beobachtungshinweise Winter. Februar 2024. Online verfügbar unter: <https://www.dmgev.de/2024/02/08/beobachtungshinweise-winter> (letzter Zugriff: 15.05.2025).

CHURCH H. F. (1957): The time of emergence of the Pipistrelle. Proc. Zool. Soc. London 128. S. 600-602. Nicht verfügbar. Zitiert aus: TAAKE K. & VIERHAUS H. (2004).

DIETZ C., & KIEFER A. (2020): Die Fledermäuse Europas – Kosmos Naturführer. Kosmos Verlag. 390 S.

DIETZ C., & KIEFER A. (2014): Die Fledermäuse Europas: kennen, bestimmen, schützen. Kosmos Verlag. 400 S.

DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2025): Deutschlandwetter im Winter 2024/25 – Pressemitteilung. Veröffentlicht am 27.02.2025. Online verfügbar: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2025/20250227_pm_winter_news.html?nn=495078 (letzter Zugriff 20.03.2025).

DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2023): Deutschlandwetter im Winter 2022/23 – Pressemitteilung. Veröffentlicht am 27.02.2023. Online verfügbar: https://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2023/20230227_deutschlandwetter_winter22-23_news.html (letzter Zugriff 20.03.2025).

DWD - DEUTSCHER WETTERDIENST (2022): Nationaler Klimareport - Klima – Gestern, heute und in der Zukunft. 6. überarbeitete Auflage, Deutscher Wetterdienst, Deutschland, 53 Seiten.

ECHOLOT GBR (2024): Jahreszyklus und Lebensraumnutzung der heimischen Fledermausarten – Berücksichtigung bei der Planung von Fledermausuntersuchungen. Online verfügbar: https://www.buero-echolot.de/upload/pdf/Poster_Arten_II.pdf (letzter Zugriff 24.10.2024).

EICHSTÄDT H. & BASSUS W. (1995): Untersuchungen zur Nahrungsökologie der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) In: Nyctalus – Internationale Fledermaus-Fachzeitschrift NF 5: 561 - 584.

FAHRMEIER L., HEUMANN C., KÜNSTLER R., PIGEUT I. & TUTZ G. (2023): Statistik – Der Weg zur Datenanalyse. 9. Auflage. Springer Verlag. 656 S.

FARRAR, D. & GLAUBER R. (1967): Multicollinearity in Regression Analysis: The Problem Revisited, Review of Economics and Statistics, 49, 92-107.

FOKEN T. (2016): Angewandte Meteorologie - Mikrometeorologische Methoden. Auflage 3. Springer Verlag. 416 S.

Fox J. & WEISBERG S. (2019): An R Companion to Applied Regression, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA.<<https://www.john-fox.ca/Companion/>>.

FRAJORD K. (2021): Activity patterns of the soprano pipistrelle *Pipistrellus pygmaeus* throughout the year in southern Norway. BMC Zoology 6:1. 8 S.

FROST I. (2017): Statistische Testverfahren, Signifikanz und p Werte. Allgemeine Prinzipien verstehen und Ergebnisse angemessen interpretieren. Springer Verlag. Hochschule Fresenius, München.

GEIGER B. (2007): Stadt Marburg Landschaftsplan Mitte - Kernstadt, Marbach, Wehrda und Teile von Ockershausen. Genehmigte Fassung 04/2007.

GIESE C. (2024): Winteraktivität von Zwergfledermäusen. Veröffentlicht auf fledermausschutz.de für den LFA Fledermausschutz NRW. Online verfügbar: <https://www.fledermausschutz.de/fledermausschutz/winteraktivitaet-von-zwergfledermaeuse/> (letzter Zugriff 27.10.2024).

GIESE C. (2018): Frostschwärm von Zwergfledermäusen. Veröffentlicht auf fledermausschutz.de für den LFA Fledermausschutz NRW. Online verfügbar: <https://www.fledermausschutz.de/2018/12/14/schwaermen-und-wechseln-den-massenwinterquartieren-der-zwergfledermaeuse-auf-der-spur/> (letzter Zugriff 27.10.2024).

GODMANN O. (1996): Vorkommen und Schutzproblematik der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) im Rheingau-Taunus-Kreis und Wiesbaden. In: Jb. Nass. Ver.Naturk. 117 Wiesbaden S. 69-80.

GODMANN O. & RACKOW W. (1995): Invasionen der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus* Schreber, 1774) in verschiedenen Gebieten Deutschlands. In: *Nyctalus* (N.F.), Berlin 5 (1995), Heft 5, S. 395 -408.

GRAHAM M. H. (2003): Confronting Multicollinearity in Ecological Multiple Regression. *Ecology*, 84(11), 2003, S. 2809–2815.

GRIMMBERGER E. & BORK H. (1978): Untersuchung zur Biologie, Ökologie und Populationsdynamik der Zwergfledermaus, *Pipistrellus p. pipistrellus* (Schreber 1774), in einer großen population im Norden der DDR. Teil 1. *Nyctalus* (N.F.) 1 (1), S. 55- 73.

GRIMMBERGER E. (1979): Untersuchung über den Einfluss klimatischer Faktoren auf das Verhalten der Zwergfledermaus, *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber 1774), im Winterquartier und während der sogenannten Invasionen. *Nyctalus* (N.F.) 1 (2), S. 145-157.

HAENSEL J. (1971): Einige Aspekte zum Migrationsproblem der Zwergfledermaus, *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774) in der Mark Brandenburg. *Milu* 3, S. 186-192.

HALSALL, A., BOYLES, J., WHITAKER, J. (2012): Body temperature patterns of big brown bats during winter in a building hibernaculum. *Journal of Mammalogy* 93 (2): 497-503. Online verfügbar unter: <https://academic.oup.com/jmammal/article/93/2/497/922002> (Letzter Zugriff: 24.04.2025).

HAMMER A. & DR. ZAHN A. (2009): Kriterien für die Wertung von Artnachweisen basierend auf Lautaufnahmen. Version 1 –Oktober 2009. Hrsg.: Koordinationsstellen für Fledermausschutz in Bayern.

HARTIG F (2024): DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models_. R package version 0.4.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=DHARMA>>.

HEDDERICH J. & SACHS L. (2016): Angewandte Statistik - Methodensammlung mit R. Springer Spektrum Berlin, Heidelberg.

HELVERSEN O., ESCHE M., KRETZSCHMAR F. & BOSCHERT M. (1987): Die Fledermäuse Südbadens. Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz, 14 (2): 409-475; Freiburg.

HELVERSEN O. & HOLDERIED M. (2003): Zur Unterscheidung von Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) und Mückenfledermaus (*Pipistrellus mediterraneus/pygmaeus*) im Feld. *Nyctalus* (N.F.), Berlin 8 (2003), Heft 5, S. 420 – 426 .

HOPE P.R., BOHMANN K. & GILBERT M.T.P. (2014). Secondgeneration sequencing and morphological faecal analysis reveal unexpected foraging behaviour by *Myotis nattereri* (*Chiroptera, Vespertilionidae*) in winter. *Frontiers in Zoology*, 11(1), S. 39.

HURST J., BALZER S., BIEDERMANN M., DIETZ C. DIETZ M., HÖHNE E., KARST I., PETERMANN R., SCHORCHT W., STECK C. & BRINKMANN R. (2015): Erfassungsstandards für Fledermäuse bei

Windkraftprojekten in Wäldern. In: Natur und Landschaft 90 (2015), März, Nr. 4, S. 157-169.

HÜBNER G. (2002): Fledermauskästen als Ersatzquartiere - Möglichkeiten und Grenzen. Ber. ANL 26 (2002) S. 151 – 161.

HECKENROTH, H. (1993): Rote Liste der in Niedersachsen und Bremen gefährdeten Säugetierarten. 1. Fassung vom 1.1.1991. – Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 13 (6) S. 221-226.

JANSEN E. A., ERIK KORSTEN E., SCHILLEMANS M. J., BOONMAN M. & LIMPENS H. (2022): A method for actively surveying mass hibernation sites of the common pipistrelle (*Pipistrellus pipistrellus*) in the urban environment. In Lutra 65 (1) S. 201-219.

JONES & BARRAT (1999): *Vespertilio pipistrellus* Schreber, 1774 and *V. pygmaeus* Leach, 1825 (currently *Pipistrellus pipistrellus* and *P. pygmaeus*; Mammalia, Chiroptera) – proposed designation of neotypes, Case 3973. Bull. Zool. Nomencl. 56. S. 182-186.

JONEY G. & PARIJS S. (1993): Bimodal echolocation in pipistrelle bats: are cryptic species present? Proc. Roy. Soc. London B. Biol. Sei., 251. S. 119- 125.

JUSTEL A., PEÑA D., & ZAMAR R. (1997). "A multivariate Kolmogorov-Smirnov test of goodness of fit." Statistics & Probability Letters, 35(3) S. 251-259.

Kaňuch, P., Fornůšková, A., Bartonička, T., Bryja, J., & Řehák, Z. (2010): Do two cryptic pipistrelle bat species differ in their autumn and winter roosting strategies within the range of sympatry? Folia Zoologica, 59(2) S. 102-107.

KOETTNITZ J. & HEUSER R. (1994): Fledermäuse in großen Autobahn-Brücken Hessens. In: AGFH (Hrsg.) Die Fledermäuse Hessens, Remshalde-Buch S. 171-180.

KORSTEN E. (2022): Hibernating common pipistrelles (*Pipistrellus pipistrellus*) in the support construction in apartment blocks in Tilburg. VLEN-dag 2022 (Dutch National Bat Conference 2022).

KORSTEN E., JANSEN, E., LIMPENS H., BOONMAN M. (2016): Swarm and switch: on the trail of the hibernating common pipistrelle.

KRAUS H. (2000): Die Atmosphäre der Erde – Eine Einführung in die Meteorologie. Springer Verlag 402 S.

KREIß J.P. & NEUHAUS G. (2006): Statistik und ihrer Anwendung - Einführung in die Zeitreihenanalyse. Kapitel 3: Autokovarianz und die Autokorrelation S. 17-45. Springer Berlin, Heidelberg.

KRINER o. J.: Kleiner Übersicht über die Rufe unserer Fledermäuse. Hrsg: Koordinationsstelle für Fledermausschutz Südbayern 22 S. Online verfügbar: <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://>

www.fledermaus-bayern.de/downloads.html%3Ffile%3Dfiles/upload/Downloads/bestimmungshilfen/rufe_einheimischer_flederm_use.pdf&ved=2ahUKEwjH0rWxhteKAxWNh_0HHVeSAHUQFnoECBkQAQ&usg=AOvVaw06-XMfZW6stzBINnG5VKps (letzter Zugriff 02.01.2025).

KULS W. (1962): Rhein-Main-Tiefland S. 337-349. In: Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Band I. Hrsg Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung. Selbstverlag – Bad Godesberg. 1318 S.

LK OS - LANDKREIS OSNABRÜCK (2023): LANDSCHAFTSRAHMENPLAN LANDKREIS OSNABRÜCK. Verfasser: Kortemeier Brokmann und BMS-Umweltplanung. Juni 2023. 469 S.

LBV - LANDESBETRIEB STRAßENBAU UND VERKEHR SCHLESWIG-HOLSTEIN (2021): Fledermäuse und Straßenbau- Arbeitshilfe zur Beachtung der artenschutzrechtlichen Belange bei Straßenbauvorhaben in Schleswig-Holstein; Aktualisierung. 2. überarbeitete Fassung. Kiel. 79 S.

LFA-FMSF-MV - LANDESFACHAUSSCHUSS FÜR FLEDERMAUSCHUTZ UND -FORSCHUNG MECKLENBURG VORPOMMERN (2025): Jahreszyklus – Wo bleiben Fledermäuse im Winter? Online verfügbar unter: <https://www.lfa-fledermausschutz-mv.de/fledermaeuse/jahreszyklus> (letzter Aufruf am 22.05.2025).

LfU BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2008): Fledermäuse – Lebensweise- Arten und Schutz. 47 S.

LINTOTT P., BARLOW K., BUNNEFELD N., BRIGGS P., GAJAS ROIG C. & PARK K. (2016): Differential responses of cryptic bat species to the urban landscape. *Ecology and evolution* 6 (7), S. 2044-2052.

LÜDECKE D. (2018): ggeffects: Tidy Data Frames of Marginal Effects from Regression Models. *Journal of Open Source Software*, *3*(26), 772. doi:10.21105/joss.00772 <<https://doi.org/10.21105/joss.00772>>.

LÜDECKE, J., JUNG, K., & KALKO, E. K. V. (2019): Traffic noise affects foraging behavior in bats. In *Ecology and Evolution*, 9(22).

LYNN H.S. (2003): Suppression and Confounding in Action. In: *The American Statistician* 57 Nr. 1, S. 58–61. Online verfügbar: https://www.researchgate.net/publication/4746249_Suppression_and_Confounding_in_Action (letzter Zugriff 03.04.2025).

MALLAPATY S. (2023): Wie die Pandemie das Interesse an Fledertieren erweckte. Hrsg. Spektrum.de Online verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/news/immunsystem-wie-die-pandemie-das-interesse-an-fledertieren-erweckte/2131248>? (letzter Zugriff 01.06.2025).

MEIER, B. (2021): Ein unerwartetes Zwerghfledermaus-Massenwinterquartier in Bielefeld. Posterbeitrag zur Tagung "Fledermäuse in der Eingriffsplanung" am 02.12.2021. Online verfügbar unter: <https://www.buero-echolot.de/veroeffentlichungen/tagung-2-2/> (letzter Zugriff 24.05.205).

MEINIG, H.; BOYE, P.; DÄHNE, M.; HUTTERER, R. & LANG, J. (2020): Rote Liste und Gesamtartenliste der Säugetiere (Mammalia) Deutschlands. – Naturschutz und Biologische Vielfalt 170 (2): 73 S.

MEINIG, H., VIERHAUS H., TRAPPMANN, C., HUTTERER R. (2010): Rote Liste und Artenverzeichnis der Säugetiere - Mammalia - in Nordrhein-Westfalen. 4. Fassung, Stand November 2010. Herausgeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV).

MEISEL S. (1962a): Westfälische Tieflandsbucht. S. 800-819. In: Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Band II. Hrsg Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung. Selbstverlag – Bad Godesberg. 1318 S.

MEISEL S. (1962b): Unteres Weserbergland. S. 785-797. In: Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Band II. Hrsg Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung. Selbstverlag – Bad Godesberg. 1318 S.

MØLLER & JENNIONS (2002): How much variance can be explained by ecologists and evolutionary biologists? In: *Oecologia* 132, S. 492–500.

MULNV & FÖA (2021): Methodenhandbuch zur Artenschutzprüfung in NRW – Bestandserfassung, Wirksamkeit von Artenschutzmaßnahmen und Monitoring, Aktualisierung 2020. Forschungsprojekt des MKULNV Nordrhein-Westfalen.

NABU LANDESVERBAND NIEDERSACHSEN (2025): BatMap – Fledermausinformationssystem. Online verfügbar unter: <https://www.batmap.de/web/start/uber-batmap> (letzter Zugriff: 26.05.2025).

NAKAGAWA S., & SCHIELZETH H. (2013): A general and simple method for obtaining R^2 from generalized linear mixed-effects models. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(2), 133–142. Online verfügbar unter: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2041-210x.2012.00261.x> (letzter Zugriff: 07.05.2025).

MU - NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, ENERGIE, BAUEN UND KLIMASCHUTZ (Hrsg.) (2021): Landschaftsprogramm Niedersachsen – Fortschreibung 2021. Hannover. Online verfügbar unter: <https://www.umwelt.niedersachsen.de/download/166642> (letzter Zugriff: 07.06.2025).

Nusová G., UHRIN M., VOIGT C. & KAŇUCH P. (2020): Tracing the geographic origin of common pipistrelles (*Pipistrellus pipistrellus*) swarming at a mass hibernaculum. In *Mammalian Biology*. Hrsg. Springer.

- O'BRIEN, R. M. (2007): A Caution Regarding Rules of Thumb for Variance Inflation Factors. In: *Quality & Quantity*, 41(5), Springer Verlag. S. 673–690.
- OFIR C. & KHURI A. (1986): Multicollinearity in Marketing Models: Diagnostics and Remedial Measures, *International Journal of Research in Marketing*, 3 S. 181-205.
- PFALZER G. (2007): Verwechslungsmöglichkeit bei der akustischen Atbestimmung von Fledermäusen anhand ihrer Ortungs- und Sozialrufe. In: *Nyctalus* (N.F.), Berlin 12 (2007), Heft 1, S. 3-14.
- PLAWIK S. & MEIER F. (2018): Vom Kasernengebäude zum Ganzjahres-Fledermausquartier - Entwicklung des neu geschaffenen Fledermaushotels „Animals Inn“ auf einem ehemaligen Kasernengelände bei Coesfeld. In: *Natur in NRW* 1/2018. S. 19-23.
- R CORE TEAM (2024): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.
- RENNACK J.F. (2022): Winteraktivität von Zwergfledermäusen (*Pipistrellus pipistrellus*) in der Stadt Osnabrück (Niedersachsen) – Methodenentwicklung und -erprobung zum besseren Nachweis von Gebäudequartieren. 87 S.
- RICHARDSON S.M., LINTOTT P.R., HOSKEN D.J., ECONOMOU T. & MATHEWS F. (2021): Peaks in bat activity at turbines and the implications for mitigating the impact of wind energy developments on bats. *Scientific Reports*, Bd. 11, S. 6.
- RICHARZ K. (2021): FLEDERMÄUSE Ganz nah – 51 europäische Arten schnell und sicher unterscheiden. Quelle & Meyer Verlag Wiebelsheim 143 S.
- RODRIGUES L., BACH L., DUBOURG-SAVAGE M.-J., GOODWIN J. & HARBUSCH C. (2016): EUROBATS Publication Series No 6 - Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Windenergieprojekten- Überarbeitung 2014. EUROBATS Publication Series, Bd. 6.
- RUF T. & GEISER F. (2015): Daily torpor and hibernation in birds and mammals. *Biol Rev Camb Philos Soc*. 2015 Aug;90(3) S. 891-926.
- RUNKEL V., GERDING G. & MARCKMANN, U. (2018): Handbuch: Praxis der akustischen Fledermauserfassung. Hamburg (tredition): 260 S.
- RYDELL J., ENTWISTLE A., & RACEY P. A. (1996): Timing of foraging flights of three species of bats in relation to insect activity and predation risk. *Oikos*, 76(2) S. 243–252.
- SBBG- SWISS BAT BIOACOUSTICS GROUP (2018): Richtlinien für Aufnahme, Auswertung und Validierung von Fledermaus-Rufen in der Schweiz. Autoren: Bader, E., F. Bontadina, A. Frey-Ehrenbold; C. Schönbächler, P. E. Zingg & M. K. Obrist (2018). Bericht der Swiss Bat Bioacoustics Group SBBG, Version 1.1d vom Juli 2018. 19 S.

- SCHNEIDER H. (2009): Nachweis und Behandlung von Multikollinearität. In: Albers, S., Klapper, D., Konradt, U., Walter, A., Wolf, J. (eds) Methodik der empirischen Forschung. Gabler Verlag, Wiesbaden. S. 221-236.
- SCHOBER W. & GRIMMBERG E. (1987): Die Fledermäuse Europas – Kennen - bestimmen – schützen. Kosmos Verlag. 262 S.
- SCHWARTZE M. (2017): Artenschutzprüfung bezüglich der planungsrelevanten Fledermausarten für den Bebauungsplan Nr. 589 in Münster, Stadtteil St. Mauritz. Im Auftrag von Dipl.-Biol. Shirley Wendt Fuhlenstraße 50 45711 Datteln.
- SENDOR T. (2002): Population ecology of the pipistrelle bat (*Pipistrellus pipistrellus* Schreber, 1774): the significance of the year-round use of hibernacula for life histories. Dissertation im Fachbereich Biologie der Philipps-Universität Marburg. 146 S.
- SIMON M., HÜTTENBÜGEL S. & SMIT-VIERGUTZ, J. (2004): Ecology and conservation of bats in villages and towns. Results of the scientific part of the testing & development project "Creating a network of roost sites for bat species inhabiting human settlements". Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 77. Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 263 S.
- SIMON M. & KUGELSCHAFTER K. (1999): Die Ansprüche der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) an ihr Winterquartier. Nyctalus 7 Heft 1 S. 102-111.
- SOBRE F., BUCHHOLZ S. & STRAKA T. M. (2022): Fledermauskästen im urbanen Raum - Einfluss der Baumkronendichte und weitere Standorteigenschaften auf die Belegrate. In Naturschutz und Landschaftsplanung 54 (2) S. 26-31.
- SPEAKMAN J. R., WEBB P. I. & RACEY P. A. (1991): Effects of disturbance on the energy expenditure of hibernating bats. Journal of Applied Ecology 28. S. 1087–1104.
- SPEAKMAN J.R. & RACEY P.A. (1989): Hibernal ecology of the pipistrelle bat: energy expenditure, water requirements and mass loss, implications for survival and the function of winter emergence flights. J. Anim. Ecol. 58, 797–813.
- STAHL SCHMIDT P. & BÜHL C. A. (2012): Bats as bioindicators – the need of a standardized method for acoustic bat activity surveys. In: Methods in Ecology and Evolution 2012, 3, 503–508.
- STAPELFELDT B., SCHÖNER M. G., KERTH G. & VAN SCHAIK, J. (2020): Slight increase in bat activity after human hibernation count monitoring of a bunker complex in Northern Germany. Acta Chiropterologica, 22(2) S. 383–390.
- SWIFT S. M. (1980): Activity patterns of pipistrelle bat (*Pipistrellus Pipistrellus*) in noth-east Scotland. J. Zool., London 190, S. 285-295.

TAAKE K. & VIERHAUS H. (2004): *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774) - Zwergfledermaus. In: Krapp, F. (Hrsg.): Handbuch der Säugetiere Europas. Band 4/II. Fledertiere (Teil II) (Aula-Verlag): S. 761-814.

THEURMEL B & ELMARHRAOUI A. (2022): suncalc: Compute Sun Position, Sunlight Phases, Moon Position and Lunar Phase. R package version 0.5.1, <<https://CRAN.R-project.org/package=suncalc>>.

TRAUTNER J., MAYER J. & STRAUB F. (2021): Müssen Faunakartierende auch das Wetter erfassen? – Sinnvolle versus überschießende Anforderungen an faunistische Erhebungen und ihre Dokumentation. In: Naturschutz und Landschaftsplanung 53 (05) 2021. S. 20-25.

TURBILL & GEISER (2008): Hibernation by tree roosting bats. J. Comp. Physiol. B. 178, 597–605.

VAN SCHAIK, J., JANSSEN, R., BOSCH, T., HAARSMA, A.-J., DEKKER, J., KRAMSTAUBER, B. (2015): Bats Swarm Where They Hibernate: Compositional Similarity between Autumn Swarming and Winter Hibernation Assemblages at Five Underground Sites. PloS one 10 (7): 1-12.

VENABLES L. S. V. (1943): Observation at a pipistrelle bat roost. J. Animal Ecol. 12 S. 19-26.

VIERHAUS H. & KRAPP F. (2011): *Pipistrellus mediterraneus* (Cabrera, 1904) oder *P. pygmaeus* (Leach, 1825) – Mückenfledermaus. In: Krapp et al. (2011): Die Fledermäuse Europas – Ein umfassendes Handbuch zur Biologie, Vervielfältigung & Bestimmung. Hrsg. Franz Krapp.

Voigt C.C., Dekker J., Fritze M., Gazaryan S., Hoelker F., Jones G., Lewanzik D., Limpens H.J.G.A., Mathews F., Rydell J., Spoelstra K., Zagmajster M. (2021): The impact of light pollution on bats varies according to foraging guild and habitat context. BioScience, Volume 71, Issue 10, Oktober 2021, S. 1103–1109.

VOIGT C.C., AZAM C., DEKKER J., FERGUSON J., FRITZE M., GAZARYAN S., HÖLKER, F., JONES G., LEADER, N., LEWANZIK D., LIMPENS H.J.G.A., MATHEWS F., RYDELL, J., SCHOFIELD H., SPOELSTRA K. & ZAGMAISTER M. (2019): Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Beleuchtungsprojekten. EUROBATS Publication Series No. 8 (deutsche Ausgabe). UNEP/EUROBATS Sekretariat, Bonn.

VOLLMER A. & OHLENDORF B. (2014): *Pipistrellus pygmaeus* (Leach, 1825) – Mückenfledermaus - Hochrufende Zwergfledermaus. In: Naturschutz im Land Sachsen-Anhalt. S. 87.

WALSER H. (2011): Statistik für Naturwissenschaftler. Haupt Verlag Bern Stuttgart Wien. 326 S.

WALTHER B. (2025): Shapiro-Wilk-Test in R rechnen. von Björn Walther | Zuletzt bearbeitet am: 21 Jan 2025. Online verfügbar: <https://bjoernwalther.com/shapiro-wilk-test-in-r-rechnen/> (letzter Zugriff 02.04.2025).

WEIDNER, H., & BACHMANN, L. (2022) „Invasionen“ der Zwergfledermaus, *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774), und Mückenfledermaus, *P. pygmaeus* (Leach, 1825) (Mammalia: Vespertilionidae), in Städten Ostthüringens.

WEIDNER H. (2020): Interspezifisches Schwärmen von Zwergfledermaus, *Pipistrellus pipistrellus* (SCHREBER, 1774), und Mückenfledermaus, *P. pygmaeus* (LEACH, 1825) (Mammalia: Vespertilionidae), in Altenburg (Thüringen).

WEIßSCHÄDEL C., KELLERER K. & LUSTIG A. (2022): Schwärmerische Winterabende - Aktivität von Pipistrellen an Winterquartieren. Vortrag der Koordinationsstelle für Fledermausschutz Südbayern. Online verfügbar unter: https://www.tierphys.nat.fau.de/files/2022/06/Weisschadel_Kellerer_Lustig_Schwärmerische-Winterabende_Aktivitat-von-Pipistrellen-an-Winterquartieren_Endversion.pdf (letzter Zugriff am 21.05.2025).

ZAHN A., HAMMER M. & PFEIFFER B. (2021): Vermeidungs-, CEF- und FCS-Maßnahmen für vorhabenbedingt zerstörte Fledermausbaumquartiere. Hinweisblatt der Koordinationsstellen für Fledermausschutz in Bayern, 23 S.

ZAHN A. & KRINER E. (2014): Winter foraging activity of Central European Vespertilionid bats. In Mammalian Biology 81. S. 40–45.

ZUUR A. F., IENO E. N., WALKER N., SAVELIEV A. A. & SMITH, G. M. (2009). Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. Springer. Online verfügbar unter: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Cagua/post/How-to-run-a-two-factorial-non-parametric-mixed-model-in-R/attachment/59d61db879197b8077979a42/AS%253A272473671569421%25401441974193800/download/Mixed%2Beffects%2Bmodels%2Band%2Bextensions%2Bin%2Becology%2Bwith%2BR.pdf&ved=2ahUKEwj8-Iu6_ayMAxVC1QIHYPQBV8QFnoECBoQAQ&usg=AOvVaw2rTTi5VZhAaYky4kOLliXv (letzter Zugriff am 21.05.2025).

Karten

BfN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2021): Landschaftsplanverzeichnis <https://www.bfn.de/themen/planung/landschaftsplanung/aktivitaeten/Landschaftsplan-verzeichnis.html> (letzter Zugriff am 20.05.2025).

BfN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2011b): Naturräume und Großlandschaften Deutschlands. <https://www.bfn.de/daten-und-fakten/biogeografische-regionen-und-naturraeumliche-haupteinheiten-deutschlands> (letzter Zugriff am 21.03.2025).

WESTERMANN GRUPPE (2015): Diercke Weltatlas - Deutschland – Klima. S. 46. 1 : 3 500 000. Hrsg. Westermann Kartographie (Hrsg.).

Gesetze

BAUO NRW - Bauordnung für das Land Nordrhein-Westfalen (BauO NRW 2018) vom 21. Juli 2018 (GV. NRW. S. 421), zuletzt geändert durch Gesetz vom 28. März 2023 (GV. NRW. S. 200).

BNATSCHG (2009): Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 290 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT (1992): Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. Amtsblatt Nr. L 206 vom 22.07.1992, S. 7–50. Aktuelle Fassung: Richtlinie - 92/43 - EN - EUR-Lex.

LBAUO RLP - Landesbauordnung für Rheinland-Pfalz (LBauO) vom 24. November 1998 (GVBl. S. 365), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 19. Oktober 2022 (GVBl. S. 363).

NBAUO - Niedersächsische Bauordnung in der Fassung vom 3. April 2012 (Nds. GVBl. S. 46), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. Juli 2023 (Nds. GVBl. S. 223).

ROG -GESETZ ZUR RAUMORDNUNG (Raumordnungsgesetz) vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 20. Juli 2017 (BGBl. I S. 2808).

UVPG – GESETZ ÜBER DIE UMWELTVERTRÄGLICHKEITSPRÜFUNG in der Fassung der Bekanntmachung vom 24. Februar 2010 (BGBl. I S. 94), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 23. Mai 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 132).

WINDBG – Gesetz über die Entwicklung und Förderung der Windenergie auf See (Windenergie-auf-See-Gesetz).

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all den Menschen danken, ohne die die Erstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Zu Beginn möchte ich Christian Giese nennen, der mich von der Themenfindung bis zur Abgabe tatkräftig unterstützt hat und mir stets mit kompetentem Rat zur Seite stand. Danke auch für die übermittelten Daten und dein Engagement im praktischen Fledermausschutz, welches mich sehr inspiriert!

Des Weiteren danke ich Dr. Ralf Joest für die kompetente, unkomplizierte und motivierende Betreuung meiner Arbeit. Eine bessere Betreuung von einem fachkundigen Tierökologen, der sich auch mit Umweltmodellierung und Statistik auskennt, was in meinem Studiengang die absolute Ausnahme ist, hätte ich mir nicht wünschen können. Genauso danke ich auch Prof. Dr.-Ing. Marie Luise Hanusch für das Einbringen interdisziplinärere Ansätze und frischem Input als Zweitprüferin, welcher meine Arbeit sehr bereichert hat.

Carsten Dense & Irina Würtele, sowie ihrem Büro Denes & Lorenz möchte ich für das Bereitstellen der Hochboxen, sowie für die fachliche Hilfe bei der Auswertung dieser, in Osnabrück und der Betreuung des Quartiers am Paulusheim danken.

Meinem langjährigen Freund und ehemaligen Kommilitonen Marlon Braun gilt besonderer Dank für die Hilfe mit dem Programm R und der gesamten Statistik. Ohne deine Geduld, dein Engagement und deinen hohen Anspruch an wissenschaftliches Arbeiten wäre der relevanteste Teil meiner Arbeit nie in diesem Umfang entstanden

Ich danke Jan Felix Schneider (ehemals. Rennack) für hervorragende Vorarbeit in der Erforschung der Winteraktivität von Zwergfledermäusen, welche mich zu meiner Arbeit bewogen hat. Auch die zusätzlichen beratenden Telefonate inklusive Insiderinformationen zu den Osnabrücker Quartieren waren sehr hilfreich. Besonder Danke gilt auch meinen Kommilitonen Nick und Daniel die allein durch ihr Interesse und so manches Gespräch ihren Fingerabdruck in meiner Arbeit hinterlassen haben.

Ich danke meinem Vater Christian für die Korrekturlesung und die vielen „Papas-Bravas-Abende“ bei denen ich nicht nur hervorragendes Essen, sondern auch mit der richtigen Prise Ablenkung genossen habe.

Zu guter Letzt gilt mein größter Dank, dem Worte gar nicht gerecht werden können, meiner Partnerin Ronja. Mir ist bewusst, dass ich in den letzten neun Monaten viel Verzicht und Verständnis von dir erwarten musste und hoffe diesen bald mit gemeinsamer Zeit wieder zurück geben zu können. Deine Unterstützung, die über diese Arbeit weit hinaus geht, ist und bleibt für mich stets die Wichtigste!

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.“

Ort, Datum Unterschrift

