

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät Studiengang

Biologie



Inwiefern beeinflussen abiotische Umgebungsfaktoren wie Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit die saisonale Fledermausaktivität in einem Winterquartier am Unteren Niederrhein?

How Do Abiotic Environmental Factors Such as Temperature, Air Pressure, and Humidity Influence Seasonal Bat Activity in a Hibernation Roost in the Lower Rhine Region?

Abschlussarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science (B.Sc.) im Studiengang Biologie an der Heinrich-Heine-Universität

vorgelegt von

Carina Bender

Matrikelnummer: 2875398

Düsseldorf, 02.05.2024

Erstgutachter: Herr Prof. Dr. Werner Kunz

Zweitgutachter: Herr Prof. Dr. Hermann Aberle

Zusammenfassung

Fledermäuse dienen als wichtige Indikatoren für ökologische Veränderungen, doch ihre Aktivitätsmuster und Anpassungsstrategien bleiben oft unerforscht. Diese Studie analysiert visuelle und akustische Aufzeichnungen der Fledermausaktivität in Verbindung mit Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und Windgeschwindigkeit. Die Ergebnisse zeigen, dass erhöhte Aktivität mit höheren Temperaturen und Luftdruck korrelieren, während Windgeschwindigkeit und Niederschlag sich negativ auswirken. Visuelle und akustische Daten zeigen deutliche Muster in der Fledermausaktivität im Laufe der Nacht, wobei visuelle Kontakte später als akustische Kontakte ihren Höhepunkt erreichen. Eine positive, wenn auch nicht signifikante Korrelation zwischen visueller Aktivität an verschiedenen Eingängen deutet auf konsistente Nutzungsmuster hin. Langzeitüberwachungen dokumentieren zudem eine Dominanz von *Myotis*-Arten im Quartier, obwohl der Rückgang einiger Arten Bedenken aufwirft. Die Ergebnisse unterstreichen die Sensibilität von Fledermäusen gegenüber Umweltveränderungen und bieten wertvolle Einblicke in ihre Anpassungsstrategien. Zukünftige Forschungen sollten längere Zeiträume und spezifische Artenuntersuchungen umfassen, um die Vielfalt und Dynamik dieser faszinierenden Kreaturen besser zu verstehen.

Abstract

Bats serve as crucial indicators of ecological changes, yet their activity patterns and adaptation strategies often remain underexplored. This study analyses temperature, air pressure, humidity, precipitation, and wind speed in conjunction with visual and acoustic recordings of bat activity. The results indicate that higher temperatures and air pressure correlate with increased activity, while wind speed and precipitation negatively affect it. Visual and acoustic data reveal distinct patterns in bat activity throughout the night, with visual contacts peaking later than acoustic contacts. A positive, although nonsignificant correlation between visual activity at different entrances suggests consistent usage patterns. Long-term monitoring also documents a dominance of *Myotis* species in the roost, although the decline of some species raises concerns. The findings underscore bats' sensitivity to environmental changes and provide valuable insights into their adaptation strategies. Future research should encompass longer timeframes and specific species investigations to better understand the diversity and dynamics of these fascinating creatures.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I
Abstract.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
1 Einleitung.....	1
1.1 Zielstellung.....	3
1.2 Theoretischer Hintergrund.....	4
1.2.1 Wanderung und Schwärmen.....	4
1.2.2 Winterquartier.....	5
1.2.3 Physikalische Grundlagen der Echoortung.....	8
2 Materialien und Methoden.....	9
2.1 Datenerfassung.....	10
2.1.1 Visuelle Erfassung und Auswertung.....	12
2.1.2 Akustische Erfassung und Auswertung.....	13
2.1.3 Sichtzählung.....	18
2.1.4 Statistische Auswertung.....	18
3 Ergebnisse.....	19
3.1 Aktivitätsverteilung akustischer und visueller Ereignisse.....	19
3.2 Bestandserfassung und Artenvorkommen.....	23
3.3 Einfluss der Witterungsbedingungen auf die Aktivität.....	27
3.3.1 Einfluss der Temperatur auf die Aktivität.....	27
3.3.2 Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Aktivität.....	31
3.3.3 Einfluss von Luftdruck auf Aktivität.....	32
3.3.4 Einfluss von Windgeschwindigkeit und Niederschlag.....	33
4 Diskussion.....	36
4.1 Aktivitätsverteilung.....	36
4.2 Artenvielfalt und Populationsdynamik.....	37
4.3 Technische Fehler.....	39
4.4 Einfluss der Witterungsbedingungen.....	39
4.4.1 Temperatur.....	39
4.4.2 Luftfeuchtigkeit.....	40
4.4.3 Luftdruck.....	41
4.4.4 Windgeschwindigkeit und Niederschlag.....	42
4.5 Empfehlungen für weiterführende Forschung.....	43

5	Fazit.....	43
	Literaturliste.....	45
	Quellenverzeichnis.....	48
	Internetquellen.....	48
	Weitere Quellen.....	48
	Bilderverzeichnis.....	48
	Danksagung.....	49
	Eidesstattliche Erklärung.....	50

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Kartenausschnitt des Untersuchungsgebietes</i>	<i>6</i>
<i>Abbildung 2: Strukturelle Details des Ehrenmals und der Einflüge.....</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 3: Kameraausschnitte der Aufnahmen im Ehrendenkmal.....</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 4: Myotioiden-Ortungsruf</i>	<i>15</i>
<i>Abbildung 5: Rufformen heimischer Fledermausgattungen</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 6. Verteilung nächtlicher Aktivitätsmuster</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 7: Ein- und Ausflüge pro Nacht.....</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 8: Gesamtaktivität der visuellen und akustischen Erfassung</i>	<i>21</i>
<i>Abbildung 9: Winterbestand des Quartiers.....</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 10: Rufauswertung der akustischen Daten</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 11: Sonagramme verschiedener Rufformen.....</i>	<i>25</i>
<i>Abbildung 12: Momentaufnahme der Flugaktivität.....</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 13: Fledermausaktivität und Zeitpunkt des ersten Kontakts in Zusammenhang mit der Temperatur.....</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Fledermausaktivität und durchschnittlicher Luftfeuchtigkeit.....</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Fledermausaktivität und nächtlichen minimalen Luftdruck Gegenüberstellung der visuellen und akustischen Fledermausaktivität in Korrelation mit dem atmosphärischen Luftdruck über 64 Nächte.....</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 16: Korrelation der visuellen und akustischen Aktivität mit atmosphärischem Luftdruck</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 17: Fledermausaktivität im Zusammenhang mit durchschnittlicher Windgeschwindigkeit und Gesamtniederschlag</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 18: Korrelation der Fledermausaktivität mit Windgeschwindigkeit und Gesamtniederschlag.....</i>	<i>34</i>

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Geräteausstattung für die Datenerfassung</i>	<i>11</i>
<i>Tabelle 2: Unterteilung der Fledermausarten in Rufgruppen.....</i>	<i>17</i>

1 Einleitung

Diese Bachelorarbeit widmet sich der Untersuchung der Aktivitätsmuster von Fledermäusen in einem einzigartigen Winterquartier, einem ehemaligen Eiskeller in Moers-Kapellen, der heute ein Ehrendenkmal ist. Der Fokus liegt auf der Anpassung der Fledermause an die spezifischen Umweltbedingungen und deren Auswirkungen auf das Schwärmverhalten der Tiere. Trotz umfangreicher Forschung zu den Sommeraktivitäten von Fledermäusen, einschließlich Jagd- und Fortpflanzungsverhalten, bleibt unser Verständnis ihrer Überwinterungsstrategien und der Einflussfaktoren auf ihre Aktivität in Winterquartieren begrenzt. Besonders das Wissen über die Bedeutung von Mikroklima-Faktoren in anthropogen beeinflussten Winterquartieren, wie dem untersuchten Eiskeller, ist noch lückenhaft. Durch die thematische Abgrenzung auf spezifische Umweltfaktoren und ein einziges Quartier wird es möglich, detaillierte und aussagekräftige Daten zu generieren, die Rückschlüsse auf die Bedürfnisse von Fledermäusen an dieses spezifische Winterquartier zulassen.

Die Relevanz dieses Forschungsthemas ergibt sich aus der zunehmenden Bedrohung, der Fledermause weltweit ausgesetzt sind. Habitatverlust, der Einfluss von Pestiziden und Insektenschwund, Klimawandel (Sherwin, Montgomery, & Lundy, 2012) und die Ausbreitung von Krankheiten wie das Weißnasensyndrom in Nord-Amerika (Frick, Puechmaille, & Willis, 2016) haben zu einem dramatischen Rückgang der Populationen geführt. Angesichts der ökologischen Rollen, die Fledermäuse spielen – von der Schädlingsbekämpfung bis hin zur Bestäubung (Zweckverband Naturpark Teutoburger Wald/Eggegebirge, 2020) – hat ihr Rückgang weitreichende Folgen für die Biodiversität und die Funktion von Ökosystemen. Ein tiefes Verständnis der Bedingungen, die ihre Überlebens- und Fortpflanzungsstrategien beeinflussen, ist daher von entscheidender Bedeutung.

Meine persönliche Motivation, mich diesem Thema zu widmen, rührt von einer neuentdeckten Faszination für Fledermäuse durch mein Praktikum in der Biostation im Kreis Wesel und einem wachsenden Bewusstsein für die ökologischen Herausforderungen, mit denen sie konfrontiert sind. Die Wahl, mich auf die Winteraktivität in einem modifizierten Habitat zu konzentrieren, ergibt sich aus dem Wunsch, praktische Erkenntnisse zu liefern, die zur Entwicklung effektiverer Schutzstrategien beitragen können. Die Erforschung eines historischen Eiskellers als Winterquartier bietet zudem

die Möglichkeit, das Zusammenspiel zwischen kulturellem Erbe und Naturschutz zu beleuchten.

Die Problemstellung dieser Arbeit besteht darin, dass trotz der bekannten ökologischen Bedeutung von Fledermäusen und der Bedrohungen, denen sie ausgesetzt sind, das Wissen über ihre Aktivitätsmuster und Bedürfnisse während der Wintermonate in nicht-natürlichen Quartieren begrenzt ist. Dieses Wissensdefizit erschwert die Entwicklung und Umsetzung effektiver Schutz- und Managementstrategien für Winterquartiere, die eine wesentliche Rolle für das Überleben der Fledermauspopulationen spielen. Da jedes Quartier sein eigenes Mikroklima und unterschiedliche Fledermausarten aufweist, bietet die detaillierte Untersuchung die Möglichkeit, maßgeschneiderte Schutzmaßnahmen zu entwickeln.

Das primäre Ziel meiner Bachelorarbeit ist es, ein tieferes Verständnis der Aktivitätsmuster von Fledermäusen zu entwickeln. Durch die Untersuchung, wie abiotische Umweltfaktoren die Aktivität dieser Spezies beeinflussen, strebt die Arbeit an, Einsichten in die ökologischen Anforderungen von Fledermäusen während der Wintermonate zu gewinnen. Diese Erkenntnisse sollen dazu beitragen, die Lücken im bestehenden Wissen über die Überwinterungsstrategien von Fledermäusen zu schließen und ein Verständnis ihrer Anpassungsfähigkeiten an anthropogen beeinflusste Umgebungen zu entwickeln. Des Weiteren zielt die Arbeit darauf ab, die Wechselwirkungen zwischen den untersuchten Umweltfaktoren und der Fledermausaktivität darzulegen, um so die Basis für ein Verständnis der ökologischen Dynamiken dieses Winterquartiers zu schaffen. Ein weiteres angestrebtes Ergebnis ist die Sensibilisierung für die Bedeutung von modifizierten Habitaten als Winterquartiere für Fledermäuse. Durch das Aufzeigen der ökologischen Relevanz eines historischen Eiskellers erhoffe ich mir, das Bewusstsein für die Notwendigkeit des Schutzes solcher Quartiere zu stärken und die Verbindung zwischen Kulturerbe und Naturschutz hervorzuheben.

Bei der Erforschung der Schwärmverhaltensmuster von Fledermäusen im Rahmen meiner Bachelorarbeit entschied ich mich für eine Kombination aus visuellen und akustischen Erfassungsmethoden, um eine umfassende Datengrundlage zu schaffen. Die Wahl dieser Methoden begründet sich in der Notwendigkeit, sowohl das direkt beobachtbare Verhalten (Ein- und Ausflüge) als auch die kommunikativen Aspekte (Ultraschallrufe) der Fledermäuse zu erfassen.

Der Aufbau der Arbeit ist so gestaltet, dass zunächst ein Überblick über das Schwärmverhalten der Tiere dargelegt wird. Anschließend werden die spezifischen Gegebenheiten des diskutierten Winterquartiers umfassend erläutert. Darauf aufbauend wird die methodische Herangehensweise detailliert beschrieben, welche die visuelle und akustische Erfassung der Fledermausaktivität, sowie die Analyse der Umweltfaktoren umfasst. Die Arbeit legt besonderen Wert auf die interdisziplinäre Verknüpfung von biologischer Feldforschung und technologischer Datenerfassung, um ein möglichst ganzheitliches Bild der untersuchten Phänomene zu zeichnen. Die Ergebnisse der empirischen Forschung werden im darauffolgenden Abschnitt präsentiert, auf Korrelation getestet und hinsichtlich ihrer Bedeutung für das Verständnis der Anpassungsfähigkeit von Fledermäusen an ihre Umwelt interpretiert. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei den Wechselwirkungen zwischen den untersuchten Umweltfaktoren und der Fledermausaktivität gewidmet, um die komplexen ökologischen Dynamiken innerhalb des Winterquartiers zu entschlüsseln. Diese Erkenntnisse tragen nicht nur zur wissenschaftlichen Diskussion bei, sondern haben auch praktische Implikationen für den Naturschutz und die Erhaltung von Fledermauspopulationen. Abschließend werden die zentralen Forschungsergebnisse zusammengefasst und im Kontext der ursprünglichen Forschungsfrage reflektiert. Die Arbeit schließt mit einem Ausblick auf zukünftige Forschungsmöglichkeiten, die sich aus den gewonnenen Erkenntnissen ergeben, und betont die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen, um die Überlebensstrategien von Fledermäusen in einer sich wandelnden Umwelt besser zu verstehen und zu unterstützen.

1.1 Zielstellung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Aktivitätsmustern von Fledermäusen in einem Winterquartier. Das Ziel der Arbeit ist es, die Zusammenhänge zwischen abiotischen Umweltfaktoren und der Aktivität von Fledermäusen zu ermitteln. Dazu sollen die Witterungsbedingungen wie Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, als auch Niederschlagsmenge und Windgeschwindigkeit erfasst werden. Die Fledermausaktivität soll anhand visueller und akustischer Aufzeichnungen ermittelt werden. Die umfangreichen Datensätze über Umgebungsbedingungen und Fledermausaktivität werden gesammelt und sorgfältig ausgewertet, um sie später in Beziehung zu setzen und statistisch zu vergleichen.

1.2 Theoretischer Hintergrund

1.2.1 Wanderung und Schwärmen

Einige Fledermäuse, wie der Große und Kleine Abendsegler (*Nyctalus noctula/ Nyctalus leisleri*), die Zweifarbflodermäus (*Vespertilio murinus*) und die Rauhautflodermäus (*Pipistrellus nathusii*), sind Langstreckenzieher. Sie legen im Frühjahr und Herbst weite Strecken zurück. Dabei können die Sommer- und Winterquartiere bis zu 400km auseinander liegen. Bei ortstreuen Flodermäusarten liegt das Winterquartier oft in der Nähe, in einem Umkreis von bis zu 50km ihrer Sommerquartiere oder befindet sich in ein und demselben Quartier. Wasser- und Teichflodermäuse sind ortstreu und ziehen in die nächstgelegenen Winterquartiere, wobei sie oft Zwischenquartiere nutzen, bis sie schließlich bei Frostbeginn ihre eigentlichen Winterquartiere beziehen. Jungtiere, selbst bei ortstreuen Arten, ziehen oft länger umher, bevor sie sesshaft werden. Ältere Tiere hingegen sind eher ortstreu und nutzen oft dasselbe Quartier, sowohl im Sommer als auch im Winter (Dietz & Kiefer, 2020).

Die Schwärmphase erstreckt sich von Mitte September bis Mitte November und fällt mit der Paarungszeit zusammen, die direkt nach der Stillzeit beginnt. Die Tiere schwärmen vor allem vor Höhlen, Tunneln, Brunnen, Häusern oder Kirchen aus. Es handelt sich meist um Gruppen, aber auch einzelne Flodermäuse fliegen für längere Zeit an einem Ort hin und her. Dabei zeigen sie oft soziales Verhalten. Das Schwärmen kann durch die Suche nach einem geeigneten Winterquartier, Beginn und Ende eines Fluges nach der Jagd am Quartier, so wie die Kontaktaufnahme an Wochenstubenquartieren, am Balz- und Paarungsrevier oder als Verhaltenshilfe für Jungtiere motiviert sein. Das Schwärmquartier kann, aber muss nicht unbedingt auch gleichzeitig das Winterquartier darstellen. Die meisten Flodermäusarten halten Winterschlaf, während der Monate September und Oktober legen sie Fettreserven für den Winter an. Bis ins Frühjahr erwachen sie nur selten aus ihrem Winterschlaf, in welchem sie ihren Stoffwechsel, Körpertemperatur, Atmung und Herzschlag stark reduzieren, um Energie zu sparen. Einige Arten begeben sich in wärmeren Nächten auf die Jagd oder wechseln das Winterschlafquartier. Ab März bis April, wenn es wieder wärmer wird, verlassen die ersten Arten ihre Winterquartiere. Die Weibchen ziehen über Zwischenquartiere in ihre Sommerquartiere. In dieser Zeit erfolgt der Eisprung und die Befruchtung (Dietz & Kiefer, 2020).

1.2.2 Winterquartier

Fledermäuse wählen ihre Quartiere basierend auf verschiedenen saisonalen und strukturellen Anforderungen aus, die für ihre spezifischen Arten wichtig sind. Diese Habitatansprüche sind sowohl von physischen Strukturen wie der Größe und Beschaffenheit der Höhlen oder Spalten, als auch von ökologischen Bedingungen abhängig. Winterquartiere zeichnen sich durch stabile Mikroklimata aus und sind vorzugweise frostfrei. Im Gegensatz zu Sommerquartieren sollten sie eher feucht und kalt sein.¹

Das untersuchte Winterquartier befindet sich in einem historischen Eiskeller einer im Jahre 1883 stillgelegten Brauerei. Eiskeller sind aufgrund ihrer Isolierung gegen Außentemperaturen und den Einfluss der Erdwärme frostsicher und daher ein geeigneter Unterschlupf zum Überwintern. Dieser Eiskeller ist in sieben gemauerte Gewölbekeller gegliedert. Im Jahr 1926 wurde über dem Eiskeller ein Denkmal zur Ehrung der im Ersten Weltkrieg gefallenen Soldaten errichtet. Nach dem Zweiten Weltkrieg fand eine bauliche Umgestaltung statt. Das Denkmal befindet sich auf einem Plateau und ist von einem Mauerwerk umgeben, welches den Grundriss des unterirdischen Kellers widerspiegelt. Im selben Jahr des Untersuchungsbeginns, wurde das Ehrenmal saniert. Zuvor konnte der Keller nur durch den Betontunnel auf der Nordseite begangen werden, derzeit findet sich ein abschließbarer Abstieg auf dem Plateau.² Die Belüftung des Kellers wird durch Schächte sichergestellt, die im Ehrenmal auf dem Plateau enden.

Das Denkmal und der Eiskeller erstrecken sich über eine Fläche von etwa 330 Quadratmetern und sind inmitten einer parkähnlichen, länglichen Struktur von 620 Quadratmetern gelegen. Diese Struktur beinhaltet neben niedrigen Hecken auch einen dichten Bestand an hochgewachsenen Altbäumen. Die südliche, westliche und nördliche Seite grenzen an landwirtschaftliche Flächen an, während die östliche Seite an die geschlossene Wohnbebauung Kapellens angrenzt (Biologische Station im Kreis Wesel e.V., 2022).

¹ NABU, (o.J.), Auszeichnung für fledermausfreundliches Haus in Detmold

² Stadt Moers, 2023, Kapellener Ehrenmal wird saniert



Abbildung 1: Kartenausschnitt des Untersuchungsgebietes

Die Abbildung zeigt das Ehrenmal und die angrenzende Parkanlage. Der rote Pfeil markiert den Einflug des Betontunnels. Die Abbildung wurde mithilfe von QGIS erstellt.

Die Existenz des Kellers als Fledermausquartier ist Naturschützern bereits seit 1968 bekannt. Zu diesem Zeitpunkt gab es einen Zugang in den Keller, welcher jedoch 1975 zugemauert und zugeschüttet wurde. Nach der Wiedereröffnung des Zugangs zu den Gewölben, dessen genaues Datum nicht festgehalten ist, wurden Fledermäuse in dem Keller gesichtet. Es wird angenommen, dass es Verbindungen, möglicherweise in Form von Lüftungsschächten, zwischen dem Ehrenmal und dem Keller gibt, die von den Tieren zur Fortbewegung genutzt werden. Gegenwärtig fungiert der Zugang auf der Nordseite als Einflugschneise. Seit dem Jahr 1987 unterliegt der Keller einer jährlichen Überprüfung durch den Naturschutzbund Deutschland (NABU), um den Bestand überwinternder Fledermäuse zu dokumentieren. Aktuell zählt der Keller zu den bedeutsamsten Winterquartieren für Fledermäuse in der Region des Unteren Niederrheins (Biologische Station im Kreis Wesel e.V., 2022).



Abbildung 2: Strukturelle Details des Ehrenmals und der Einflüge

Die Bilder zeigen das Ehrenmal auf dem Plateau und die beiden Einflüge. Der Betontunnel (unten links) befindet sich auf der Nordseite, am Fuße des Plateaus. Der Einflug auf dem Ehrenmal (unten rechts) weist vier bogenförmige Öffnungen (siehe Pfeil) an jeder Seite auf, die in einen Schacht führen.

1.2.3 Physikalische Grundlagen der Echoortung

Fledermäuse nutzen Ultraschall zur Echoortung. Durch gezielte Aussendung von Ultraschallimpulsen durch Mund oder Nase erstellen sie anhand der reflektierten Echos ein akustisches Bild ihrer Umgebung. Dies ermöglicht ihnen die Orientierung und das Auffinden von Insekten. Zusätzlich zu den Ultraschalllauten können Fledermäuse auch für das menschliche Ohr hörbare Laute erzeugen, vor allem in sozialen Situationen wie zur Abwehr, der Balz oder bei Aufregung. Einige Arten verwenden neben Soziallyauten auch Ortungslaute, die vom menschlichen Gehör wahrgenommen werden können (Skiba, 2014).

Fledermäuse erzeugen, ähnlich wie andere Säugetiere, ihre Lautäußerungen im Kehlkopf, indem sie die Stimmbänder zum Schwingen bringen, um Schall zu erzeugen. Dies führt in der umgebenden Luft zu periodischen Druckschwankungen, die als Schallwellen bezeichnet werden. Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde wird in Hertz (Hz) gemessen. Ein gesundes menschliches Gehör nimmt Schalltypen zwischen 16 Hz und 16.000 Hz (16 kHz) wahr. Das menschliche Gehör weist im Bereich der menschlichen Sprache zwischen 250-5000 Hz das beste Hörvermögen auf. Mit zunehmendem Alter kann die Wahrnehmung höherer Frequenzen abnehmen.

Frequenzen, die über 16 kHz liegen, werden als Ultraschall bezeichnet, während Frequenzen unter 16 kHz als Infraschall gelten. Die von Fledermäusen benutzten Frequenzen betragen für Ortungsrufe in der Regel 15 bis 100 kHz, während die Sozialrufe meist tiefer liegen und oft zwischen 10 und 30 kHz betragen.

Die Schalleistung und Schallintensität sind bei harmonischen Schwingungen proportional dem Quadrat der Schwingungsweite (=Amplitude). Somit kann die Amplitude einer Schallschwingung ein Ausdruck der Schalleistung und -intensität sein.

Schalleistung P (= Schallenergie) in W (Watt)

Schallintensität I (= Schallstärke) in W/m^2

In Oszillogrammen werden Schwingungsverläufe dargestellt, dabei wird auf der Ordinate oft nur unskaliert „Amplitude“ angegeben. Weitere Möglichkeiten wären elektrische Spannung in Volt oder Schalldruck unskaliert in Pascal.

Die Wellenlänge eines Tones entspricht der Periodenlänge und wird in λ (Lamda) angegeben. Sie lässt sich aus der Schallgeschwindigkeit v und der Frequenz f errechnen:
$$\lambda = v/f$$

Die Frequenz f ist umgekehrt proportional zu der Wellenlänge λ . Die Wellenlänge und dementsprechend die Frequenz hat Einfluss auf die Schallabsorption und Auflösung der Strukturen im Hörbild der Fledermaus.

Um den Frequenzverlauf über die Zeit darzustellen, muss auch der Schalldruck berücksichtigt werden. Dieser wird beispielsweise durch die Dicke und Farbgebung der Frequenzkurve im Diagramm visualisiert. Solche Darstellungen werden als Sonogramm oder Spektrogramm bezeichnet und eignen sich, um Fledermausrufe zu analysieren. Die Erstellung dieser Diagramme erfolgt heutzutage mithilfe von Computerprogrammen (Skiba, 2014).

2 Materialien und Methoden

Zur visuellen Analyse wird in jedem Einflug jeweils eine Wildkamera mit Infrarot-Sensor aufgestellt. Diese ist so positioniert, dass sie in die Schächte zeigt und lediglich Ein- und Ausflüge erfasst, nicht jedoch das Schwärmen oder das Anfliegen außerhalb der Eingänge. Hierfür werden die Kameras tief in den Eingängen angebracht. Die visuelle Erfassung ermöglicht die direkte Beobachtung von Ein- und Ausflugsaktivitäten an den Quartierzugängen. Diese Methode liefert wichtige Daten über die physische Präsenz und Bewegungsmuster der Fledermäuse, die im Vergleich zu Flugaktivitäten im offenen Luftraum leicht zu definieren und quantifizieren sind. Des Weiteren werden zur akustischen Datenerfassung Aufnahmegeräte, sogenannte AudioMoth, der Firma Open Acoustics, in den Eingängen platziert. Diese sind auf einen spezifischen Frequenzbereich eingestellt, um die Ultraschallrufe der Fledermäuse aufzuzeichnen. Die Verwendung der AudioMoth ermöglicht die Identifikation von Artzugehörigkeiten und Verhaltensweisen, die visuell nicht erfasst werden können. Die Analyse der Ultraschallsignale erfolgt mithilfe der Software BatExplorer, die eine detaillierte Auswertung der Rufe hinsichtlich ihrer Frequenz, Dauer und Struktur ermöglicht. Diese Methode erlaubt nicht nur die Unterscheidung zwischen Sozial- und Echoortungsrufen, sondern auch die Identifizierung von Gattungen anhand ihrer charakteristischen Rufmuster. Die Kombination dieser Methoden erlaubt eine ganzheitliche Betrachtung des Verhaltens der

Fledermäuse und trägt dazu bei, ein umfassendes Verständnis ihres Schwärmverhaltens und ihrer kommunikativen Interaktionen zu entwickeln. Zur Erfassung relevanter Umweltfaktoren kommen Datenlogger für Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit zum Einsatz. Die Geräte werden von der Biologischen Station im Kreis Wesel bereitgestellt (siehe Tabelle 1). Die Wetterdaten, einschließlich Niederschlags- und Winddaten, werden von einer nahegelegenen Wetterstation in Duisburg Baerl (Luftlinie: 12,96 km entfernt von dem Untersuchungsgebiet) verwendet. Die Daten stehen online zur Verfügung.³

2.1 Datenerfassung

Um das Schwärmen der Fledermäuse erfassen zu können, wurde die Untersuchung Mitte September gestartet und erstreckt sich über einen Zeitraum von 62 Tagen (21. September bis 22. November 2023). Für weitere Informationsgewinnung zu Nutzen der Biostation Kreis Wesel wird die Datenerfassung allerdings weiter durchgeführt (bis zum 01. Februar 2024). Diese Daten sind für die beschriebene Untersuchung nicht relevant.

Die Anbringung und Ausrichtung der Geräte erfolgte in Zusammenarbeit mit der Biologischen Station im Kreis Wesel. Aufgrund von Vandalismus musste die Untersuchung im Ehrendenkmal vorzeitig abgebrochen werden. Dabei sind sowohl verschiedene Geräte als auch deren gesammelte Daten verloren gegangen. Da die Platzierung der Kamera nun bekannt war und erste Daten und Erkenntnisse gewonnen werden konnten, wurde die Datenerfassung für diesen Zugang beendet.

Um die Zuverlässigkeit der Datenerfassung sicherzustellen, unterliegen die Wildkameras und Audioaufnahmegeräte einer wöchentlichen Wartung. Dabei werden die SD-Karten ausgelesen, geleert und bei Bedarf die Batterien ausgetauscht. Diese regelmäßigen Wartungsarbeiten gewährleisten eine kontinuierliche Datenaufzeichnung während des gesamten Untersuchungszeitraums. Die Datenlogger zeichnen in 10 Minuten Intervallen Daten auf und haben bei diesen Einstellungen eine Aufzeichnungsdauer von 92 Tage, 15 Stunden und 10 Min und müssen daher über den Untersuchungszeitraum hinweg nicht gewartet werden. Die initialen drei Wartungseinsätze wurden in Kooperation mit der Biologischen Station durchgeführt. Nach dieser Einführungsphase übernahm ich die Verantwortung für die folgenden Wartungsarbeiten.

³ Meteostat (o.J.) Wetterrückblick & Klimadaten für Duisburg-Baerl Binsheim, 47199 Homberg-Ruhrort-Baerl

Tabelle 1: Geräteausstattung für die Datenerfassung

Für jeden Einflug wird ein Satz an Geräten verwendet. Zusätzlich gibt es für die Datenlogger einen doppelten Satz als Backup. Auch für die AudioMoth steht ein doppelter Satz zur Verfügung, um diese vor der Wartung zu konfigurieren und einen schnellen Austausch vor Ort zu gewährleisten. Die Bereitstellung der Geräte erfolgt durch die Biologische Station im Kreis Wesel (BSKW).

Geräte	Modelleigenschaften und Details
Wildkamera (2 Stück)	ELITE HP4 SPECOPS Model BTC-8E-HP4 SN:9110178212208HP4 (BSKW Nr. 20) SN:9110178112208HP4 (BSKW Nr. 19)
Power Pack (2 Stück)	Trail Cameras 12V Power Pack BTC-XB (BSKW Nr. 20) Trail Cameras 12V Power Pack BTC-XB (BSKW Nr. 21)
AudioMoth (4 Stück)	Open Acoustic Devices (BSKW Nr. 1, 3, 4 und 5)
Datenlogger (4 Stück)	VOLTRCRAFT DL-220THP (BSKW)

Vor dem Beginn der Studie wurden alle Geräte getestet und voreingestellt. Um die Geräte sicher stabil in den Eingängen zu platzieren, wurden Vorrichtungen aus Holz an die Gegebenheiten der Zugänge angepasst.

Im Ehrenmal gibt es einen Zugangsschacht, der durch vier schmale Öffnungen (siehe Abb. 2) erreichbar ist. Eine Holzlatte, an der die Kamera befestigt wird, ist mit Keilen so justiert, dass sie angewinkelt ist. Dadurch erfasst der Kamerablickwinkel alle vier Wände des Schachtes (siehe Abb. 3). Der zweite Zugang stellt einen Betontunnel dar, der durch ein Metallgitter abgesperrt ist. Um den Schutz der Geräte vor Vandalismus und Diebstahl zu gewährleisten, werden diese weit in den Schacht geschoben. Dafür wird eine Schiene auf dem Boden angebracht, auf dieser lässt sich eine Holzvorrichtung mittels einer Stange hinein und heraus schieben, ohne das Gitter öffnen zu müssen. Die Kamera zeigt in das Innere des Tunnels (siehe Abb. 3).

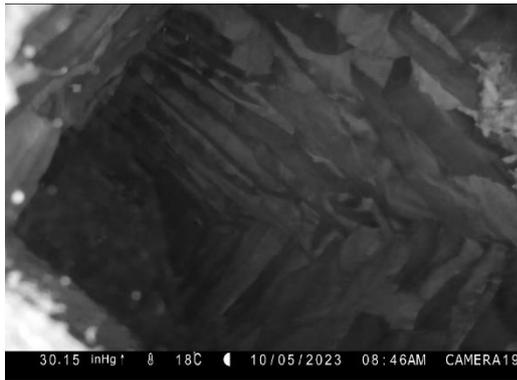


Abbildung 3: Kameraausschnitte der Aufnahmen im Ehrendenkmal

Kameraausschnitt in das Innere des Schachtes auf dem Ehrenmal (a) und im Tunnel, Ausrichtung in das Innere des Kellers (b).

2.1.1 Visuelle Erfassung und Auswertung

Die gesammelten Daten werden sorgfältig dokumentiert und in einer sicheren Datenbank gespeichert, um eine systematische Analyse zu ermöglichen. Dabei wird die Fledermausaktivität der Videoaufnahmen wie folgt gewertet:

Eine Spalte zählt Ein- und Ausflüge. Fliegt eine Fledermaus in den Schacht ein und verschwindet aus der Sichtweite, so wird dies als Einflug (E) dokumentiert. Fliegen mehrere Fledermäuse gleichzeitig oder hintereinander ein, werden die Einflüge entsprechend addiert zum Beispiel (EE) oder (EEE), usw. Das Gleiche gilt für Ausflüge, bei denen ersichtlich ist, dass die Fledermaus aus dem Schacht herauskommt und hinter der Kamera, also außerhalb des Kameraausschnitts hinweg fliegt, mit dem Kürzel (A) bzw. (AA), (AAA), usw. Finden im Video Ein- und Ausflüge statt, so wird entsprechend notiert zum Beispiel (EAA). Jeder Ein- und Ausflug kann dann, als Kontakt summiert werden.

In einer weiteren Spalte werden Formen der Aktivität notiert, die gesondert von vollständigen Ein- und Ausflügen zu werten sind. Fliegt eine Fledermaus aus dem Keller in den Tunnel und dreht noch vor der Kamera um und fliegt wieder hinein wird dies als (AE) beschrieben. Das gleiche gilt für den umgekehrten Fall eines Ein- und wieder Ausfluges, ohne den Kameraausschnitt zu verlassen (EA). Diese Aktivität wird als ein Kontakt gewertet.

Aktivitäten die weder als Ein- noch als Ausflug zu werten sind und das Kreisen einer Fledermaus im Tunnel beinhalten, werden mit „circling“ (C) beschrieben. Wird die Kamera ausgelöst, es befindet sich allerdings keine Fledermaus im Tunnel selbst, auf dem Videomaterial, im Hintergrund aber ist Fledermausaktivität innerhalb des Kellers zu

erkennen, wird dies mit (K) für „Kelleraktivität“ notiert. Beide Ereignisse werden als jeweils ein Aktivitätskontakt gewertet.

In manchen Fällen ist es so, dass die Aktivität über die eingestellte Aufnahmezeit von fünf Sekunden hinaus geht und das Videomaterial abgeschnitten vorliegt. Da in diesem Fall nicht eindeutig ist, ob die Fledermaus auch tatsächlich in den Tunnel bzw. hinausfliegt, wird eine Bemerkung gemacht (footage cut off) und die Sichtung wird nicht gewertet. Wird eine Fledermaus gesichtet, deren Ursprung oder Destination nicht eindeutig zu identifizieren ist, wird ebenfalls eine Bemerkung (unklar) notiert und die Sichtung wird nicht gewertet. Bei Fehlauflösungen, also Videomaterial, auf welchem keinerlei Fledermausaktivität auszumachen ist, wird eine Bemerkung „no visual“ (NV) notiert, auch hier wird kein Kontakt gewertet. Die Beschreibung bezieht sich auf die Videoauswertung des Tunnels.

2.1.2 Akustische Erfassung und Auswertung

Die akustische Erfassung erfolgt über AudioMoth. Dies sind spezielle Aufnahmegeräte, die ursprünglich entwickelt wurden, um Biodiversität im tropischen Regenwald zu überwachen und anhand von Schusswaffen Wilderei-Hotspots auszumachen. Open Acoustic Devices legt großen Wert darauf Technologien für den Naturschutz zugänglich zu machen.⁴ Die Geräte werden für diese Untersuchung genutzt, um die Ultraschallrufe von Fledermäusen aufzunehmen. Sie sind mit hochsensiblen Ultraschallmikrofonen ausgestattet, die in der Lage sind, die für Menschen unhörbaren Ultraschallrufe von Fledermäusen aufzuzeichnen. Die aufgenommenen Ultraschallsignale werden digitalisiert und können auf einer Speicherkarte festgehalten und auf einen Computer übertragen werden. Mit einer speziellen Software wie BatExplorer (Elekon AG, Version 2.2.4) können diese Ultraschallaufzeichnungen analysiert werden. Diese Computerprogramme helfen dabei, die Rufe zu visualisieren, Frequenzen zu messen und bestimmte Arten zu identifizieren.

Es gibt verschiedene Verfahren, um Ultraschallrufe in den hörbaren Bereich zu verschieben. Bei der Lautanalyse am Computer eignet sich das Zeitdehnungsverfahren, hierbei wird das Signal um das Zehnfache verlangsamt abgespielt. Durch die Verlangsamung wird auch die Frequenz entsprechend reduziert. Normalerweise sind

⁴ Open Acoustic Devices. (o.J.) About

diese Signale in Echtzeit als einfache Geräusche wie Knattern oder Zirpen zu hören. Durch die Verlangsamung der Wiedergabe im Zeitdehnungsverfahren kann man jedoch eine genauere zeitliche Auflösung erreichen, was die Unterscheidung einzelner Fledermausrufe oder spezifischer Rufelemente erleichtert. Diese Methode deckt außerdem den gesamten Frequenzbereich der Rufe von inländischen Fledermausarten ab (Pfalzer, 2002).

Des Weiteren lassen sich die Rufe innerhalb des Programms als Sonogramme visualisieren, dabei wird die Entwicklung eines Signals im Zeitverlauf angezeigt, was es ermöglicht, bestimmte Muster oder Merkmale zu identifizieren. Der Farbverlauf repräsentiert die Intensität des Schallsignals. Anhand der Muster und Frequenzbereiche lassen sich Fledermausarten identifizieren und zwischen Echoortungsrufen bei der Jagd oder sozialer Kommunikation innerhalb einer Fledermauskolonie unterscheiden.

Fledermausarten zeichnen sich durch unterschiedliche Eigenschaften ihrer Rufe aus, darunter Lautstärke, Frequenz, Dauer und Rufabstände. Diese Charakteristika sind an verschiedene Aspekte angepasst, wie die Jagdmethoden der Fledermäuse, die Beschaffenheit ihres bevorzugten Lebensraums, ihre Flug- und Verhaltensmuster sowie die Art und Größe ihrer Beute. Obwohl es normalerweise nicht möglich ist, die ursprüngliche Lautstärke eines Rufes aus einer Aufnahme zu bestimmen, können die anderen genannten Parameter aus den aufgenommenen Signalen ermittelt werden. Die Rufe heimischer Fledermausarten sind überwiegend tonal, was bedeutet, dass sie hauptsächlich von einer dominanten Frequenz, der sogenannten Hauptfrequenz, bestimmt werden. Diese Hauptfrequenz kann von den Fledermäusen je nach Situation verändert werden. Gelegentlich können auch Obertöne identifiziert werden, die ein Vielfaches der Grundschwingung darstellen und oft leiser sind als die Grundfrequenz selbst (Marckmann & Pfeiffer, 2020).

Bei der Rufanalyse wird wie folgt vorgegangen, zuerst muss geklärt werden, ob es sich bei der Aufnahme um einen Fledermausruf handelt. Einige andere Tiere, wie Mäuse, Vögel oder Insekten erzeugen ebenfalls Laute, die bis in den Ultraschallbereich reichen können. Auch mechanische Geräusche oder Regen können Aufnahmen auslösen.

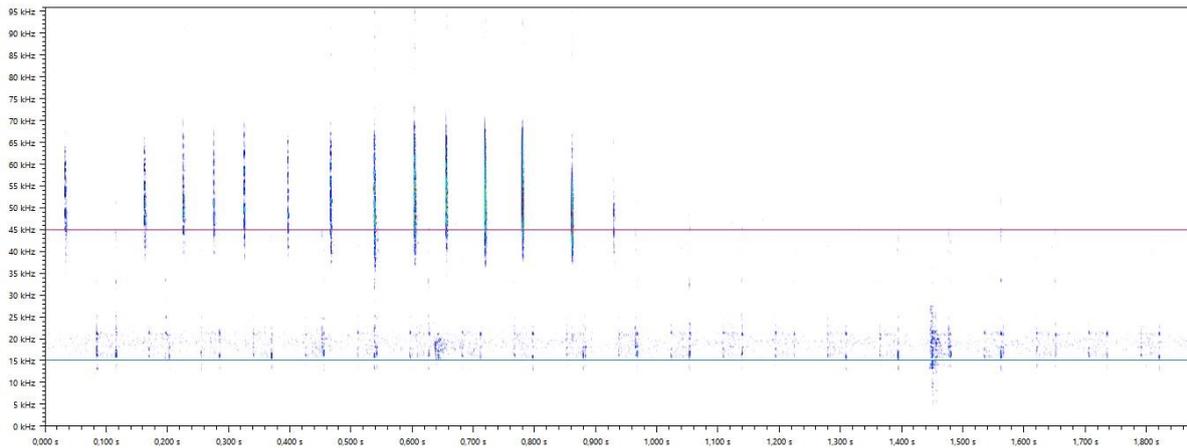


Abbildung 4: Myotoiden-Ortungsruf

Beispiel eines Myotoiden-Ortungsrufes vom 29-09-2023 dargestellt in BatExplorer. Das Spektrogramm zeigt die visuelle Darstellung von Frequenzen eines akustischen Signals über die Zeit in Sekunden (x-Achse), die Frequenz in kHz ist auf der vertikalen (y-Achse) angegeben.

Handelt es sich um einen Fledermausruf, so muss als nächstes identifiziert werden, ob es sich um einen Ortungsruf oder einen Sozialruf handelt. Fledermäuse nutzen stimmliche Kommunikation (Sozialrufe) in einer Vielzahl von Situationen (Gillam & Fenton, 2016). Diese Sozialrufe sind im Vergleich zur Echoortung komplexer, lauter und meist in einer relativ niedrigeren Frequenz, was es ermöglicht, dass der Schall weiter getragen wird und über größere Entfernungen gehört werden kann.

Die Echoortung bei Fledermäusen besteht aus der schnellen Wiederholung von Hochfrequenzimpulsen, die ihnen bei der Orientierung, Navigation und beim Aufspüren sowie Fangen von Beute helfen. Die Struktur dieser Rufe wird durch den Lebensraum beeinflusst und weist eine höhere Frequenz auf, was sie anfälliger für Dämpfung macht. Diese Impulse sind für Raubtiere weniger wahrscheinlich hörbar. Es ist funktionell notwendig, dass die Echoortung konstant und wiederholend ist. Die Struktur der Echoortungsimpulse ist im Vergleich zu Sozialrufen relativ einfach und die Emissionen pro Impuls sind vergleichsweise kurz. Fledermäuse nutzen die Echoortung meist im Flug oder kurz vor dem Abflug.

Sozialrufe von Fledermäusen erfüllen eine kommunikative Funktion im sozialen Kontext, sei es absichtlich oder unbeabsichtigt. Im Gegensatz zur Echoortung wird die Struktur dieser Rufe nicht durch den Lebensraum beeinflusst. Sie haben in der Regel eine niedrigere Frequenz, wodurch sie weniger anfällig für Dämpfung sind, was bedeutet, dass der Ruf weiter trägt und in Bezug auf Energieeffizienz besser ist. Diese Rufe sind für Raubtiere wahrscheinlicher hörbar. Sie bestehen aus Einzeläußerungen oder

Kombinationen, die nicht unbedingt wiederholend sind. Die Struktur dieser Rufe ist normalerweise komplex und ihre Dauer ist in der Regel länger als die der Echoortungsimpulse der betreffenden Art. Fledermäuse können diese Rufe sowohl im Flug als auch im stationären Zustand ausstoßen.

Sozialrufe als auch Ortungsrufe können durch Faktoren wie Alter, Geschlecht, Größe oder Zustand des Tieres beeinflusst werden und ist bei bestimmten Arten sogar individuell spezifisch (Middleton, Froud, & French, 2014). Laut einer Studie von Middleton (2006) in Schottland gibt es zwei Spitzenzeiten in der aktiven Saison der Fledermäuse für Sozialrufe. Die genannte Studie zeigte, dass die Aktivität der Sozialrufe im Juni, Juli und August geringer war als im April und Mai. Im September stieg jedoch die Rate der Sozialrufe wieder an, was höchstwahrscheinlich mit dem beginnenden Paarungsverhalten der Fledermäuse zusammenhängt (Middleton, Froud, & French, 2014).

Eine Artbestimmung mithilfe physikalischer Daten muss eine Verwechslung mit anderen Arten ausschließen. Sollte das nicht möglich sein, sollte versucht werden, die Bestimmung auf die möglichen Arten einzuengen oder auf Gattungsniveau zu bestimmen. Die Artbestimmung anhand von Sozialrufen kann in manchen Fällen die Analyse erleichtern. Von einigen Arten lassen sich die Ortungsrufe nicht oder nur schwer unterscheiden, während sich bei den Sozialrufen arttypische Merkmale feststellen lassen können (Skiba, 2014). Insbesondere die Rufe der Gattung *Myotis* sind in vielen Fällen untereinander sehr ähnlich und lassen sich daher nicht eindeutig unterscheiden (Keil et al., 2023).

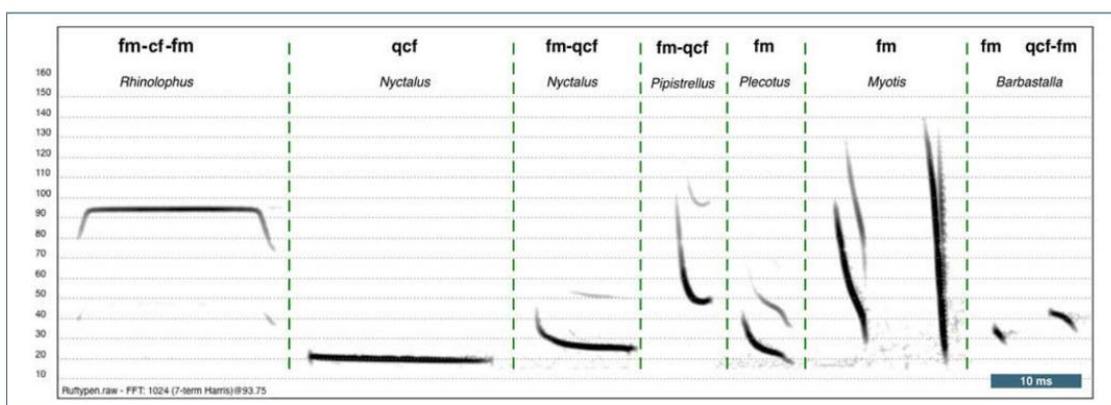


Abbildung 5: Rufformen heimischer Fledermausgattungen

Abgebildet sind graphische Darstellung verschiedener Rufmuster von heimischen Fledermausarten und wie sie den jeweiligen Rufgruppen zugeordnet sind. Es illustriert eine Reihe von Sonagrammen, die die Frequenzbandbreite (vertikale Achse) über die Zeit (horizontale Achse) darstellen. Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Bestimmung von Fledermausrufaufnahmen und Kriterien für die Wertung von akustischen Artnachweisen, 2020, S. 14

Jedes Sonagramm repräsentiert den typischen Echoortungsruf einer bestimmten Fledermausgattung, mit klar definierten Mustern wie "fm" für Myotis oder "qcf" für Nyctalus, wobei "fm" für Frequenzmodulation und "cf" für konstante bzw. „qcf“ für quasi-konstante Frequenz steht. Andere dargestellte Muster sind "fm-qcf" für Pipistrellus, der Ruf beginnt frequenzmoduliert, also eine steil abfallende Form, gefolgt von einem quasi-konstant frequenten, flachem Teil, bei dem die Frequenz ähnlich bleibt. Die Sonagramme zeigen, wie unterschiedlich die Rufstrukturen der Fledermäuse sind, was für ihre Identifikation und das Verständnis ihrer akustischen Kommunikation wichtig ist (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2020).

Bei der Auswertung der Daten dieser Arbeit wird lediglich unter drei Rufgruppen unterteilt, Pipistrelloide, Myotioide und Nyctaloide. Dabei wird außerdem in Ortungsrufen und Sozialrufen unterschieden.

Table 2: Unterteilung der Fledermausarten in Rufgruppen

Die Tabelle zeigt die Unterteilung verschiedener Fledermausarten aus dem Untersuchungsgebiet in die jeweiligen Rufgruppen, aufgrund ähnlicher Charakteristika.

Rufgruppen	Fledermausarten	Lat. (Abkürzung)
Pipistrelloide	Zwergfledermaus	<i>P. pipistrellus</i> (<i>P pip</i>)
	Rauhautfledermaus	<i>P. nathusii</i> (<i>P nat</i>)
	Mückenfledermaus	<i>P. pygmaeus</i> (<i>P pyg</i>)
Myotioide	Mausohrfledermäuse	(alle <i>Myotis</i> -Arten)
	Langohrfledermäuse	(<i>Plecotus</i>)
Nyctaloide	Teichfledermaus	<i>N. noctula</i> (<i>N noc</i>)
	Kleiner Abendsegler	<i>N. leisleri</i> (<i>N lei</i>)
	Breitflügel-Fledermaus	<i>E. serotinus</i> (<i>E ser</i>)
	Zweifarb-Fledermaus	<i>V. murinus</i> (<i>V mur</i>)

Der Abendsegler (*Nyctalus noctula*) und die Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) befinden sich wahrscheinlich nicht im vorliegenden Quartier, allerdings ist es nicht auszuschließen, dass sie vor den Eingängen Schwärmen und Vorbeifliegen und werden daher mit eingebunden. Sie sind vorwiegend baumbewohnende Fledermausarten, die oft in Spechthöhlen, Spalten, Rissen und abstehender Borke Unterschlupf finden (Russ et al., 2021; Middleton, Froud, & French, 2014).

2.1.3 Sichtzählung

Seit 1987 überprüft der NABU-Moers das Quartier jährlich durch Sichtzählungen, um den Bestand der Fledermausarten zu beobachten. Die Begehungen finden im Januar oder Februar statt, den kältesten Monaten, um den höchsten Besatz auszumachen. Die Fledermäuse befinden sich in Lethargie und sollten nicht geweckt werden, da dies tödlich für sie enden könnte. Daher ist es wichtig, die Tiere nicht zu lange und zu oft mit Lampen anzuleuchten und sich generell nur kurz im Quartier aufzuhalten, um die Störungen so gering wie möglich zu halten. Geschulte Augen können anhand von bestimmten äußeren Merkmalen die Arten bestimmen. Dabei wird auf Ohrenform und Stellung, so wie Fellfarbe geachtet.

2.1.4 Statistische Auswertung

Um die Datenqualität für die Analyse der Fledermausaktivität zu sichern, wurden die in der Excel-Datenbank erfassten akustischen und visuellen Daten zuerst von Fehlauflösungen und irrelevanten Geräuschaufnahmen bereinigt, um eine hohe Qualität der Datenbasis zu gewährleisten. Diese bereinigten Daten wurden anschließend mit spezifischen Werten (wie bereits in Kapitel 2.11 beschrieben) versehen, die für die weitere Analyse relevant sind. Um die Gesamtaktivität der Fledermäuse zu erfassen, wurden diese Daten in nächtliche Pakete gegliedert, wobei eine "Nacht" als der Zeitraum von 12 Uhr mittags eines Tages bis 12 Uhr mittags des folgenden Tages definiert wurde.

Die Erfassung der Witterungsdaten erfolgte mithilfe von Datenloggern, wobei die Daten auf die Zeitfenster zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang getrimmt wurden, um die für die nächtliche Aktivität der Fledermäuse relevanten Werte zu isolieren. Niederschlagsdaten wurden als Gesamtniederschlag pro Tag erfasst, während die Windgeschwindigkeit als täglicher Durchschnittswert in die Analyse einfließen.

Für die statistische Analyse der aufbereiteten Daten wurde das Programm SPSS Statistics (IBM, Version 29.0.1.0 (171)) verwendet. Ein erster Schritt bestand darin, die Daten mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests und des Kolmogorov-Smirnov-Tests auf eine Normalverteilung zu prüfen. Da sich zeigte, dass die meisten Datensätze keiner Normalverteilung folgten, wurde für die Korrelationsanalysen auf nicht-parametrische Methoden zurückgegriffen. Hierbei kamen der Kendalls Tau-b- und der Spearmans Rho-Korrelationskoeffizient zum Einsatz, die robuste Maße für die Korrelation zwischen den Variablen liefern, ohne die Annahme einer Normalverteilung vorauszusetzen. Durch

diesen Ansatz konnten Zusammenhänge zwischen der Fledermausaktivität und verschiedenen Witterungsbedingungen unter Berücksichtigung der spezifischen Verteilungseigenschaften der Datensätze untersucht und interpretiert werden.

Sowohl Kendall's Tau als auch Spearman's Rho sind nicht-parametrische Tests, die zur Messung der Stärke und Richtung der Assoziation zwischen zwei Rangvariablen verwendet werden. Trotz ihrer Ähnlichkeiten gibt es einige Unterschiede in ihrer Berechnung und Interpretation.

Kendall's Tau wird oft als robuster gegenüber Bindungen in den Daten angesehen. Bindungen treten auf, wenn zwei oder mehr Werte den gleichen Rang haben. Kendall's Tau hat Anpassungen, um mit solchen Bindungen umzugehen.

Kendall's Tau-b: Diese Version von Kendall's Tau korrigiert für Bindungen in den Daten, indem sie sowohl für Bindungen in den x-Werten als auch für Bindungen in den y-Werten Anpassungen vornimmt

Spearman's Rho ist ebenfalls anpassungsfähig bei Bindungen, jedoch kann die Methode in Datensätzen mit einer großen Anzahl von Bindungen weniger genau sein.

Beide Tests liefern Werte zwischen -1 und +1, wobei +1 eine perfekte positive Korrelation, -1 eine perfekte negative Korrelation und 0 keine Korrelation anzeigt. Während die Interpretation der Werte ähnlich ist, tendiert Kendall's Tau dazu, in der Praxis konservativere (näher an 0 liegende) Ergebnisse zu liefern als Spearman's Rho.⁵

3 Ergebnisse

3.1 Aktivitätsverteilung akustischer und visueller Ereignisse

Um einen Überblick zu erhalten, wie die Aktivitätsverteilungen des Tunnels pro Nacht sind, wird die Anzahl an Kontakten visuell als auch akustisch in Stunden nach Sonnenuntergang dargestellt. Es zeigt sich ein Muster, aus dem hervorgeht, zu welchen Zeiten die häufigsten Kontakte zu verzeichnen sind. Auch über den gesamten Untersuchungszeitraum werden Trends und Muster der Aktivität deutlich. Diese lassen sich dann zum Beispiel in saisonale Trends interpretieren oder schließen auf weitere Faktoren, welche die Aktivität beeinflussen.

⁵ Laerd Statistics. (o.J.). Kendall's Tau-b using SPSS Statistics

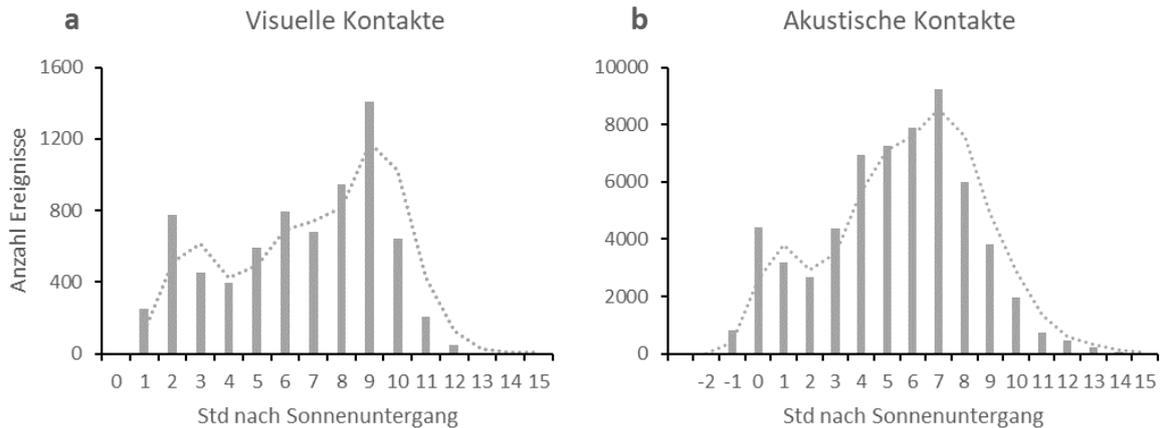


Abbildung 6. Verteilung nächtlicher Aktivitätsmuster

Die Abbildung zeigt die visuelle und akustische Fledermausaktivität in Ereignissen, entnommen der Kameraaufnahmen (a) und die Rufaktivität, entnommen der Audioaufzeichnungen (b) im Verlauf der Stunden vor bzw. nach Sonnenuntergang. (a) Korrelationskoeffizient nach Spearman's rho: $r = -0,518^*$; ($p < 0,05$); nach Kendall's Tau-b: $r = -0,333$; ($p > 0,05$); $n = 15$. (b) Korrelationskoeffizient nach Spearman's rho: $r = -0,139$; ($p > 0,05$); nach Kendall's Tau-b: $r = -0,123$; ($p > 0,05$); $n = 19$.

**Die Korrelation ist auf dem 0,05-Niveau statistisch signifikant.*

Die Daten der visuellen Ereignisse zeigen einen Anstieg der Aktivität in den Stunden unmittelbar nach dem Sonnenuntergang. Nach der zweiten Stunde flacht die Kurve wieder ab, bevor die Aktivität wieder ansteigt, mit einem Höhepunkt zwischen der 8. Und 9. Stunde, gefolgt von einem deutlichen Rückgang in den späteren Stunden bis spätestens 15 Stunden nach Sonnenuntergang.

Bei den akustischen Ereignissen ist ein deutlicher Anstieg vor Sonnenuntergang zu erkennen, gefolgt von einer Abnahme in den ersten paar Stunden nach Sonnenuntergang und einem erneuten Anstieg der Aktivität mit einem Höhepunkt zwischen der 6. Und 7. Stunde. Danach fällt die Aktivität progressiv ab bis spätestens 15 Stunden nach Sonnenuntergang.

Es fällt auf, dass die visuellen Kontakte später auftreten als die akustischen Kontakte. Die akustischen Erfassungen beginnen zum Teil bereits bis zu zwei Stunden vor Sonnenuntergang mit erstem Aktivitätspeak in der ersten Stunde vor Sonnenuntergang, während die ersten visuellen Kontakte erst um den Sonnenuntergang und in den Stunden danach auftreten. Beide Aufnahmen gehen nicht über 15 Stunden nach Sonnenuntergang hinaus, was ungefähr ein bis zwei Stunden vor Sonnenaufgang entspricht.

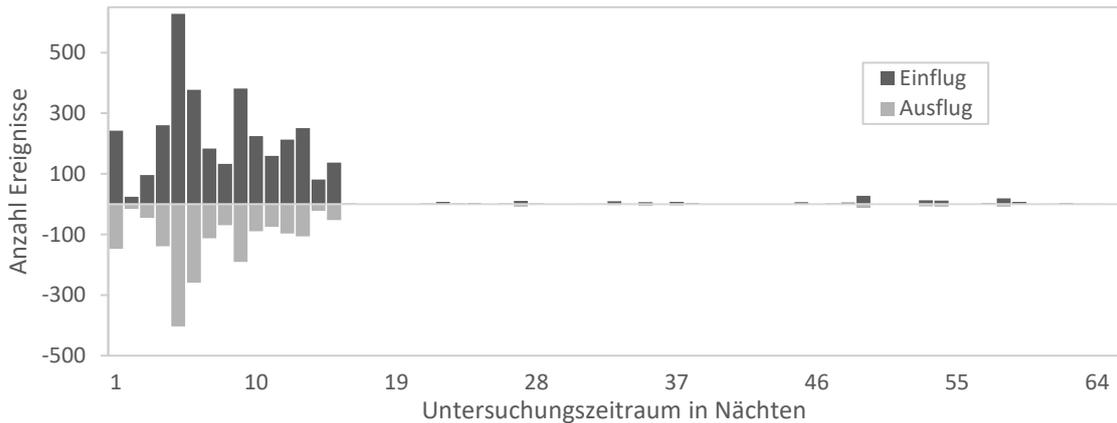


Abbildung 7: Ein- und Ausflüge pro Nacht

Die Abbildung zeigt die totalen Ein- und Ausflüge pro Nacht über den Untersuchungszeitraum von 64 Nächten hinweg. Die Balken zeigen eine erhöhte Aktivität an Ein- und Ausflügen innerhalb der ersten 15 Tage und deutlich geringere Aktivitäten in den folgenden 49 Nächten. Die Zahlen beruhen auf den Auswertungen der Wildkameraaufnahmen des Tunnels. Ausflüge sind für eine übersichtliche Darstellung in negativen, Einflüge in positiven Werten angegeben. Die Daten sind nicht normalverteilt.

Insgesamt haben mehr Einflüge als Ausflüge stattgefunden. Es gibt eine deutliche Spitze, die nahezu 600 Einflüge und 400 Ausflüge an Tag 5 zeigt. Nach den ersten 15 Tagen nimmt die Rate der Ein- und Ausflüge stark ab und hält sich über die restliche Untersuchungszeit begrenzt, bei Werten nahe 0 und unter 40 Gesamtkontakten pro Nacht.

Neben Ein- und Ausflügen werden auch andere Kontakte zur Gesamtaktivität gezählt, sprich Kontakte, die neben tatsächlichen Ein- oder Ausflügen Aktivität zeigen. Jeder Kontakt der in der Rufanalyse als Fledermausruf identifiziert werden konnte, wird als ein Ereignis gezählt.

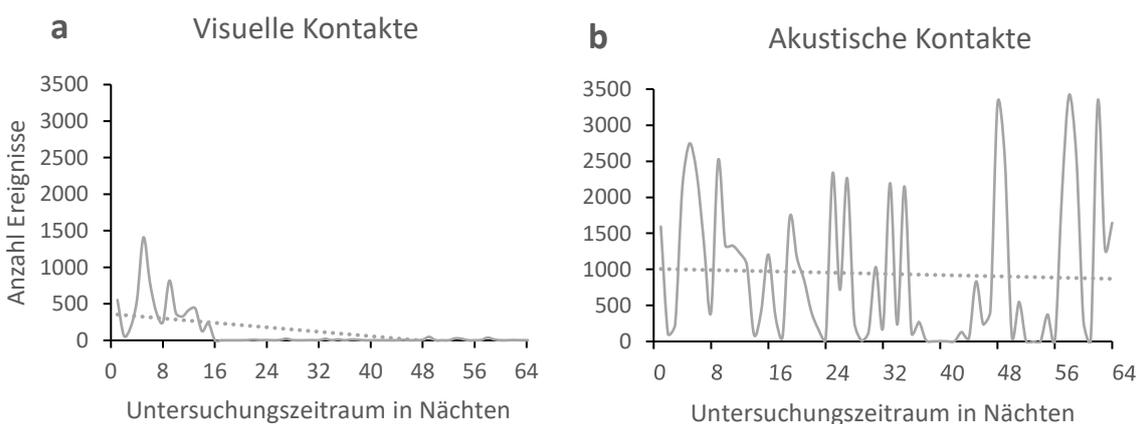


Abbildung 8: Gesamtaktivität der visuellen und akustischen Erfassung

Die Kurven illustrieren die Fluktuation in der Anzahl der visuellen und akustischen Kontakte über einen Zeitraum von 64 Nächten. Die gepunkteten Trendlinien zeigen einen Abwärtstrend.

- a) Im Durchschnitt gab es 112,33 visuelle Kontakte pro Nacht.
- b) Im Durchschnitt gab es 937,44 akustische Kontakte pro Nacht.

Visuelle Kontakte

Der Durchschnittswert der visuellen Gesamtaktivität liegt bei 112,33 Kontakten pro Nacht, jedoch mit einer hohen Standardabweichung von 252,17, was auf eine große Variabilität in den Daten hinweist. Der 5% getrimmte Mittelwert liegt bei 70,49, was die starke Beeinflussung durch Ausreißer nahelegt, da dieser Wert deutlich niedriger als der durchschnittliche Mittelwert ist. Das 95%-Konfidenzintervall für den Mittelwert liegt zwischen 49,34 und 175,32, was bedeutet, dass der wahre Mittelwert der visuellen Kontakte pro Nacht in diesem Bereich liegt.

Die Kurve selbst zeigt, dass die meisten visuellen Kontakte in den ersten 10 Tagen stattfinden, mit einem herausstechenden Spitzenwert von 1409 nächtlichen Ereignissen. Danach fällt die Anzahl der Kontakte rapide ab und stabilisiert sich mit einigen geringen Schwankungen auf einem niedrigen Niveau mit einem Minimum bei 0 Ereignissen. Die gepunktet dargestellte Trendlinie, zeigt einen allgemeinen Abwärtstrend über den gesamten Zeitraum hinweg.

Akustische Kontakte

Wird die Berechnung des Durchschnitts ohne die extremen Werte durchgeführt, ergibt sich ein 5% getrimmter Mittelwert von 857,39, was darauf hindeutet, dass Ausreißer den Durchschnittswert nach oben verzerren. Mit einer 95%-igen Wahrscheinlichkeit kann festgestellt werden, dass der wahre Mittelwert der nächtlichen Kontakte zwischen 684,74 und 1190,13 liegt. Der Medianwert beträgt 414,50, was signifikant unter dem Durchschnitt liegt und somit eine rechtsschiefe Verteilung andeutet. Die Standardabweichung von 1011,615 deutet darauf hin, dass es eine beträchtliche Variabilität in der Anzahl der Kontakte gibt. Das bedeutet, dass einige Nächte eine sehr hohe Anzahl an akustischen Kontakten aufweisen, während andere wesentlich weniger verzeichnen.

Die niedrigste Anzahl an Kontakten pro Nacht war 0, der höchste Wert lag bei 3421 Ereignissen. Insbesondere am Ende des Untersuchungszeitraums treten drei Peaks auf, die jeweils über 3000 Ereignisse pro Nacht verzeichnen. Dennoch zeigt die gepunktet dargestellte Trendlinie insgesamt einen leichten Abwärtstrend über die Zeit. Zwischen Tag 35 und 45 gibt es eine Phase mit niedriger Aktivität, in der die Anzahl der Kontakte relativ stabil unter 1000 Ereignissen bleibt, bevor sie wieder deutlich ansteigt.

3.2 Bestandserfassung und Artenvorkommen

Hier soll der Artenbestand über die Jahre hinweg gezeigt werden. Diese Daten können im Vergleich mit der Rufanalyse helfen einzusehen, welche Tiere sich tatsächlich im Quartier befinden.

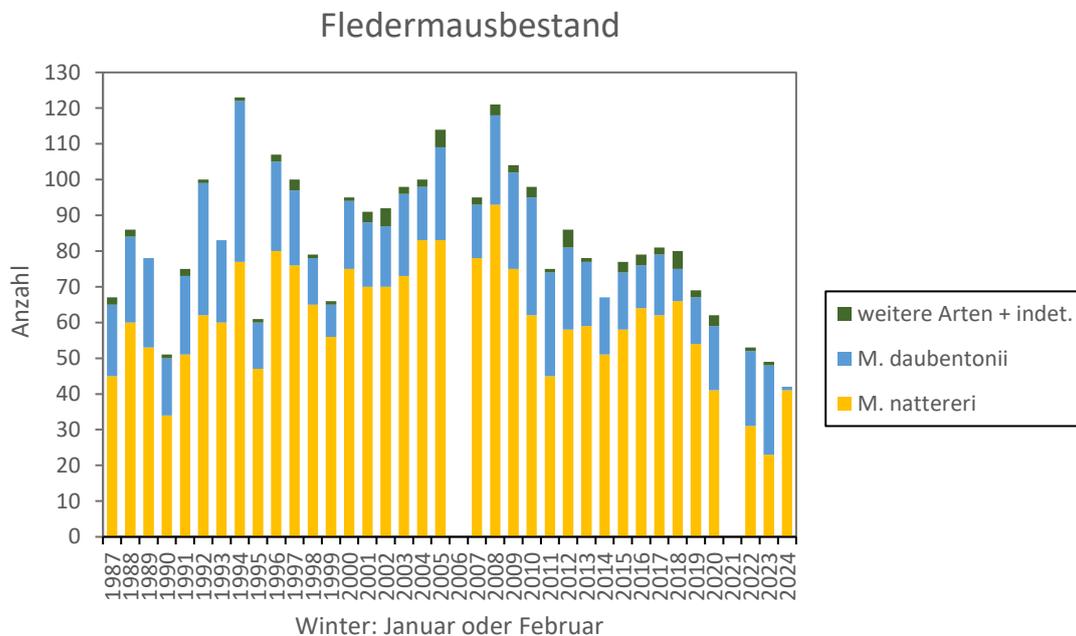


Abbildung 9: Winterbestand des Quartiers

Winterbestand von Fransen- und Wasserfledermäusen (*Myotis nattereri*, *M. daubentonii*) im ehemaligen Eiskeller Moers-Kapellen, ergänzt um die Summe weiterer Arten einschließlich der unbestimmten Tiere. Die Daten aus dem Jahr 2006 stehen nicht zur Verfügung. Im Jahre 2021 fanden keine Zählungen statt. Die Jahreszahlen bezeichnen das jeweils neue Jahr im Winter. (Vgl. Vierhaus, H., 2008)

Die jährliche Sichtzählung wurde in Begleitung der BSKW und mir durchgeführt und ergab eine Zählung von rund 40 Tieren, ein Allzeit Minimum seitdem die Zählungen dort bereits über 35 Jahre durchgeführt werden. Die Daten der letzten 7 Jahre zeigen eine Abnahme der Gesamtzahl an Fledermäusen, die sich seit 2018 bis 2024 fast halbiert hat. Aus den Zählungen wird ersichtlich, dass vorwiegend *Myotis*-Arten dort überwintern. Im Jahre 2024 sind rund doppelt so viele Fransenfledermäuse wie im Vorjahr verzeichnet. Außerdem ist ein starker Rückgang der Wasserfledermäuse mit nur einer Sichtung zu sehen, im Vergleich wurden in den Vorjahren im Durchschnitt 20 Tiere dieser Art gezählt.

Das Quartier wird fast ausschließlich von Fransen- und Wasserfledermäusen (*Myotis nattereri* und *M. daubentonii*) aufgesucht. Vereinzelt halten sich Braune Langohren (*Plecotus auritus*) oder Kleine Bartfledermäuse (*Myotis mystacinus*) dort auf. Insgesamt wurden 6 verschiedene Fledermausarten nachgewiesen. Zum ersten Mal im Jahre 1999

und ein weiteres Mal 2008 wurde eine Wimperfledermaus (*Myotis emarginatus*) im Quartier gesichtet. Der Fund repräsentiert die nordwestlichen Nachweise dieser Art in Deutschland, was auf eine Ausweitung des Verbreitungsgebietes der Wimpernfledermaus hinweist. Mitte des 20. Jahrhunderts gab es eine signifikante Winterpopulation in den Niederlanden, die jedoch stark zurück ging. Die Wiederentdeckung der Wimpernfledermaus in Moers-Kapellen und anderen Orten in Nordrhein-Westfalen deutet auf eine Erholung der Population in bestimmten Gebieten hin. Dies könnte teilweise durch klimatische Veränderungen begünstigt worden sein, da die Wimpernfledermaus als thermophil gilt und sich klimatisch günstige Jahre mit warmen Sommern auf ihre Ausbreitung positiv ausgewirkt haben könnten (Vierhaus, 2008).

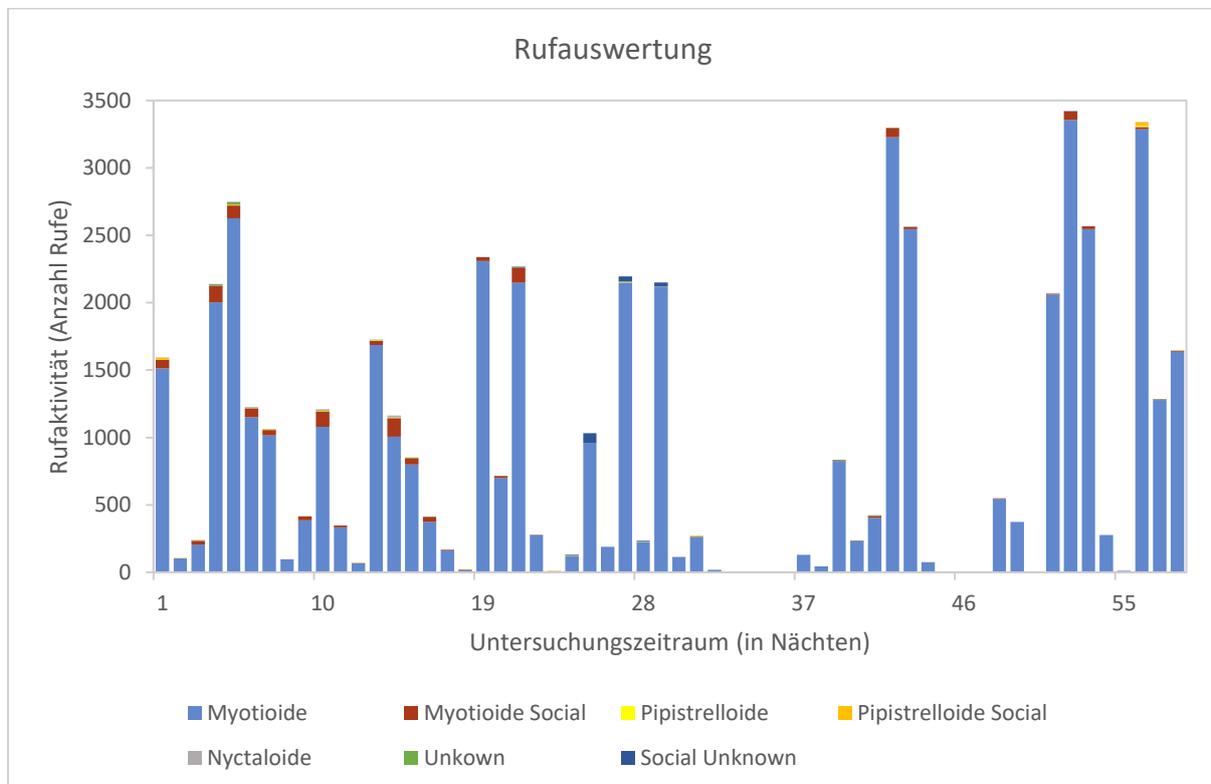


Abbildung 10: Rufauswertung der akustischen Daten

Dargestellt sind die Anteile der identifizierten Rufgruppen anhand von Ortungsrufen und Sozialrufen pro Nacht über den Zeitraum von 64 Nächten ($n=64$).

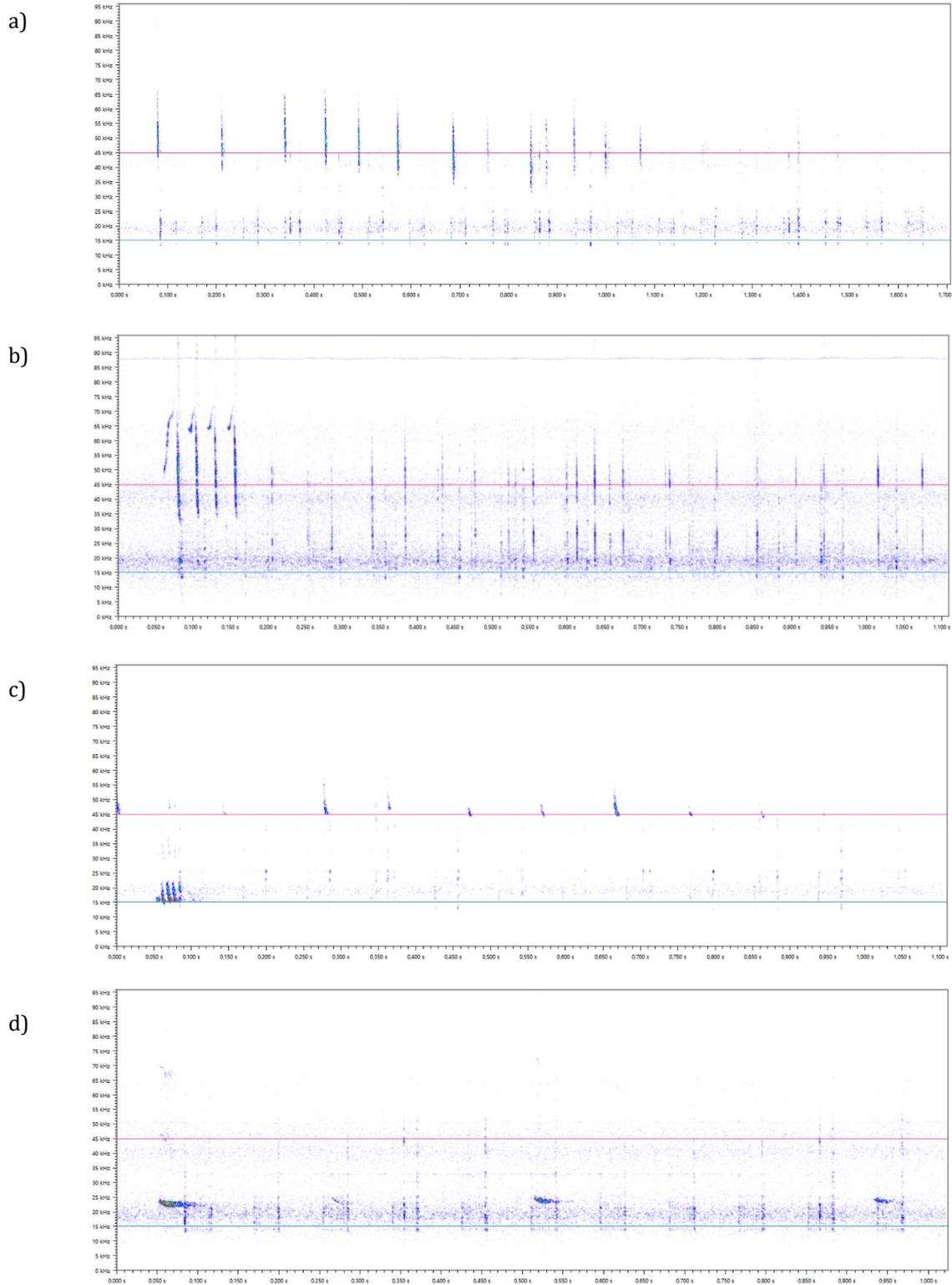


Abbildung 11: Sonagramme verschiedener Rufformen

Dargestellt sind die Rufsequenzen verschiedener Rufgruppen, die im Tunnel identifiziert wurden. Die Spektrogramme zeigen Frequenzen eines akustischen Signals über die Zeit in Sekunden (x -Achse), die Frequenz in kHz ist auf der vertikalen (y -Achse) angegeben, dargestellt in BatExplorer. a) gezeigt ist eine Myotoiden-Ortungsrufsequenz. b) dargestellt ist ein Sozialruf der Gattung *Plecotus*, der in einen Stressruf über geht. c) abgebildet ist eine Pipistrelloiden-Sequenz, der Sozialruf geht in einen Ortungsruf über. d) Die Abbildung zeigt einen Nyctaloiden-Ortungsruf.

Die Auswertung der akustischen Erfassung wird durch die Sichtzählungen bestätigt. Die Mehrheit der aufgezeichneten Laute können Myotoiden zugeordnet werden (siehe Abb. 10), jedoch konnte keine genaue Artbestimmung vorgenommen werden. Die Hauptfrequenzen sind bei den Ortungsrufen, aufgrund ihrer starken, fast linearen Frequenzmodulation sehr variabel. Spezifische Soziallaute der Langohrfledermaus aus der Gattung *Plecotus* wurden akustisch identifiziert, was Abbildung 11b zeigt (Vergleich Middleton, Froud, & French, 2014; Russ et al., 2021). Zusätzlich wurden visuelle Sichtungen im Tunnel, durch die für die arttypischen langen Ohren bestätigt (siehe Abb. 12). Laute der Gattung *Plecotus* werden in die akustische Kategorie der Myotioide eingeordnet. Die Zuordnung erfolgt aufgrund der Ähnlichkeiten in der Frequenzmodulation der Laute, die unter bestimmten Bedingungen, wie etwa enge räumliche Gegebenheiten, hervortreten. In solchen Situationen können die Rufe von *Plecotus* so stark frequenzmoduliert sein, dass sie sich akustisch nicht eindeutig von den Rufmustern der *Myotis*-Arten unterscheiden lassen. Aufgrund dieser Überlappungen in den akustischen Eigenschaften ist es schwierig, die Rufe zuverlässig voneinander zu trennen. Folglich werden die *Plecotus*-Rufe in der Praxis oft standardmäßig der Kategorie der Myotoiden zugeordnet, um eine einheitliche Klassifizierung zu gewährleisten.

Ein anderer Teil der aufgenommenen Laute lässt sich den Sozial- und Echoortungslauten der Pipistrelloide zuordnen, mit Abbildung 11c als Beleg. Bei diesen Aufnahmen konnten spezielle Sozialrufe der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) identifiziert werden, die durch ihre zwei- bis fünfteilige Trillerfolgen charakterisiert sind. Die Echoortungsrufe dieser Arten manifestieren sich typischerweise bei einer Frequenz von 45 kHz, was durch eine rosa Hilfslinie auf dem Spektrogramm gekennzeichnet ist. Sie sind weitestgehend frequenzmoduliert, wobei sich der Endteil einer konstanten Frequenz annähert (Skiba, 2014; Russ et al., 2021; Middleton, Froud, & French, 2014).

Des Weiteren wurden Rufe aus der Gruppe der Nyctaloide festgestellt (Abb. 11d), welche vermutlich zum Großen Abendsegler (*Nyctalus noctula*) gehören, der das Quartier überflogen hat. Diese Laute sind besonders tieffrequent, bei ungefähr 20kHz und weitestgehend frequenzkonstant (Skiba, 2014).



Abbildung 12: Momentaufnahme der Flugaktivität

*Die Abbildung zeigt zwei Fledermäuse beim Verlassen des Tunnels. Es handelt sich um zwei verschiedene Fledermausarten. Im Vordergrund ist vermutlich eine Fledermaus der Gattung *Myotis* (Mausohrfledermäuse) zu sehen, im Hintergrund ist wahrscheinlich eine Art der Gattung *Plecotus* (Langohren) zu erkennen.*

3.3 Einfluss der Witterungsbedingungen auf die Aktivität

Klimatische Bedingungen und nächtliche Wetterverhältnisse können Einfluss auf die Aktivität insektenfressender Fledermäuse haben. Es ist bekannt, dass die Aktivität von Fledermäusen typischerweise mit steigender Temperatur zunimmt, jedoch abnimmt, wenn Wind und Niederschlag zunehmen (Gorman et al., 2021). Kleine endotherme Fledermäuse in gemäßigten Klimazonen sind besonders empfindlich gegenüber klimatischen Bedingungen, da ein großer Teil ihrer Energie dazu verwendet wird, eine stabile Körpertemperatur zu halten. Ungünstige Bedingungen wie Regen und niedrige Temperaturen erhöhen nicht nur den energetischen Bedarf für die Thermoregulation der Fledermäuse, sondern verringern auch die Aktivität ihrer Insektenbeute. Die Fähigkeit, ungünstigen Bedingungen durch den Eintritt in einen Zustand periodischer Torpor zu entgehen, ist für die Besiedlung gemäßigter Zonen durch kleine insektenfressende Fledermäuse wesentlich (Erickson & West, 2002).

3.3.1 Einfluss der Temperatur auf die Aktivität

Die Temperatur stellt einen wesentlichen klimatischen Faktor dar, der nicht nur saisonale Aktivitätsmuster, sondern auch nächtliche Flugmuster von Fledermäusen in gemäßigten Klimazonen beeinflusst. Untersucht werden im Folgenden, wie die Temperatur mit der nächtlichen Flug- und Rufaktivität von Fledermäusen zusammenhängt. Mit der Erfassung der Zeit des ersten Kontakts soll dargestellt werden, wie sich das zeitliche Auftreten der initialen Aktivität von Fledermäusen nach Sonnenuntergang in Beziehung zu den Umgebungstemperaturen verhält und welche Auswirkungen dies auf die Gesamtaktivität der Tiere in der Nacht hat.

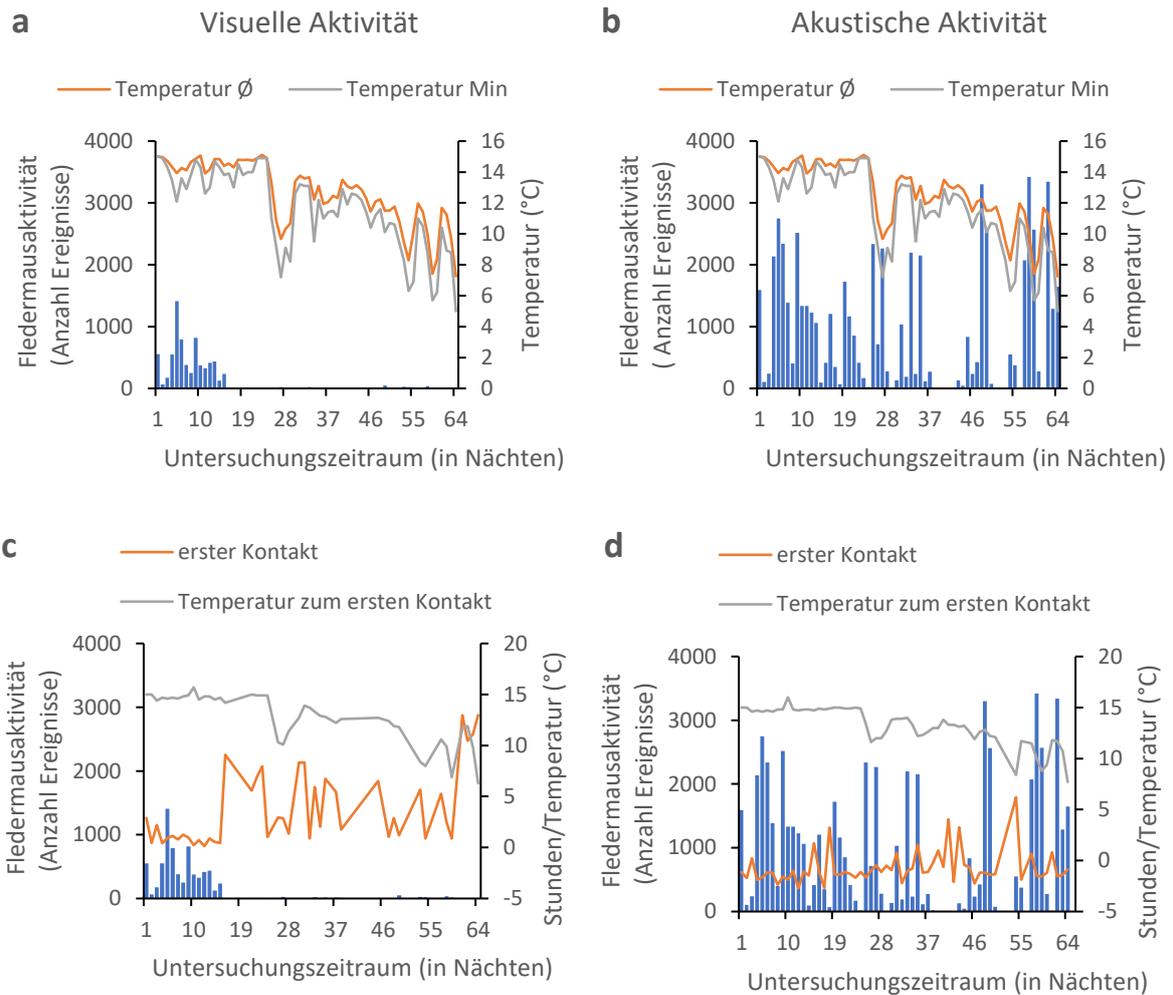


Abbildung 13: Fledermausaktivität und Zeitpunkt des ersten Kontakts in Zusammenhang mit der Temperatur

Abgebildet ist die Flug- und Rufaktivität gegenüber der minimalen und durchschnittlichen Temperatur pro Nacht in °C (a-b), als auch gegenüber der Zeit des ersten Kontaktes, angegeben in Stunden nach Sonnenuntergang und der Temperatur zu diesem Zeitpunkt in °C (c-d), über den Untersuchungszeitraum von 64 Nächten.

- a) Korrelationskoeffizient nach Spearman's rho für Temperatur Min: $r = 0,320^{**}$; ($p < 0,01$); nach Kendall's Tau-b: $r = 0,220^{*}$; ($p < 0,05$); $n = 64$.
Korrelationskoeffizient nach Spearman's rho für Temperatur Ø: $r = 0,326^{**}$; ($p < 0,01$); $n = 64$; nach Kendall's Tau-b: $r = 0,219^{*}$; ($p < 0,05$); $n = 64$.
- b) Korrelationskoeffizient nach Spearman's rho für Temperatur Min: $r = 0,005$; ($p > 0,05$); $n = 64$; nach Kendall's Tau-b: $r = 0,007$; ($p > 0,05$); $n = 64$.
Korrelationskoeffizient nach Spearman's rho für Temperatur Ø: $r = 0,043$; ($p > 0,05$); $n = 64$; nach Kendall's Tau-b: $r = 0,029$; ($p > 0,05$); $n = 64$.
- c) Korrelationskoeffizient zwischen Zeit des ersten Kontakts und Temperatur zum ersten Kontakt nach Spearman's rho: $r = -0,373^{*}$; ($p < 0,05$); $n = 44$; nach Kendall's Tau-b: $r = -0,260^{*}$; ($p < 0,05$); $n = 44$
Korrelationskoeffizient zwischen Zeit des ersten Kontakts und Kontakten pro Nacht nach Spearman's rho: $r = -0,647^{**}$; ($p < 0,01$); $n = 44$; nach Kendall's Tau-b: $r = -0,479^{**}$; ($p < 0,01$); $n = 44$
Korrelationskoeffizient nach Spearman's rho für Temperatur zum ersten Kontakt und Kontakten pro Nacht: $r = 0,447^{**}$; ($p < 0,01$); $n = 44$; nach Kendall's Tau-b: $r = 0,314^{**}$; ($p < 0,01$); $n = 44$.

Die Analysen wurden mit $n = 44$ Werten durchgeführt, da in 20 Nächten keine Aktivität verzeichnet wurde.

- d) Korrelationskoeffizient zwischen Zeit des ersten Kontakts und Temperatur zum ersten Kontakt nach Spearman's rho: $r = -0,210$; ($p > 0,05$); $n = 60$; nach Kendall's Tau-b: $r = -0,141$; ($p > 0,05$); $n = 60$.
Korrelationskoeffizient zwischen Zeit des ersten Kontakts und Kontakten pro Nacht nach Spearman's rho: $r = -0,266^*$; ($p < 0,05$); $n = 60$; nach Kendall's Tau-b: $r = -0,188^*$; ($p < 0,05$); $n = 60$.
Korrelationskoeffizient nach Spearman's rho für Temperatur zum ersten Kontakt und Kontakten pro Nacht: $r = -0,068$; ($p > 0,05$); $n = 60$; nach Kendall's Tau-b: $r = -0,045$; ($p > 0,05$); $n = 60$.

Die Analysen wurden mit $n = 60$ Werten durchgeführt, da in 4 Nächten keine Aktivität verzeichnet wurde.

* Die Korrelation ist auf dem 0,05-Niveau statistisch signifikant.

** Die Korrelation ist auf dem 0,01-Niveau statistisch signifikant.

Temperaturminimum und Durchschnitt

Beide Temperaturlinien zeigen eine Tendenz, mit den Peaks und Tiefs der visuellen Aktivität (dargestellt durch die blauen Balken) einherzugehen. Beispielsweise sind an Tagen mit höheren Temperaturen, wie Tag 1 und Tag 9, erhöhte Aktivitätspeaks zu erkennen. Um Tag 28 herum ist ein markanter Abfall und Anstieg in beiden Temperaturwerten sichtbar, der mit einem leichten Anstieg der Aktivität korrespondiert. Die statistischen Tests ergaben signifikante positive Korrelationskoeffizienten. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass es eine mittelstarke positive Korrelation zwischen der Temperatur und der visuellen Fledermausaktivität gibt, was bedeutet, dass mit steigender Temperatur tendenziell mehr visuelle Kontakte beobachtet werden.

Visuell ist kein eindeutiger Trend zwischen Temperaturverlauf und akustischer Aktivität erkennbar, die Balken scheinen unabhängig von den Schwankungen der Temperaturwerte zu steigen und zu fallen.

Die statistischen Korrelationskoeffizienten bestätigen diese Beobachtung: Für die minimale Temperatur sind Spearman's rho $r = 0,005$ und Kendall's Tau-b $r = 0,007$; für die durchschnittliche Temperatur sind Spearman's rho $r = 0,043$ und Kendall's Tau-b $r = 0,029$. Alle diese Werte zeigen keine statistisch signifikante Korrelation ($p > 0,05$), was darauf hindeutet, dass keine klare Beziehung zwischen der Temperatur und der akustischen Fledermausaktivität besteht.

Temperatur zum Zeitpunkt des ersten Kontaktes

Innerhalb der ersten 15 Tage, in denen die Gesamtaktivität höher ist, sind frühere und relativ konstante Zeiten des ersten Kontakts zu vermerken. Die Temperatur zum Zeitpunkt des ersten Kontakts zeigt im Verlauf des Zeitraums einen abfallenden Trend mit einigen Auf- und Abwärtsbewegungen. Gegen Ende des Zeitraums steigt die Temperatur wieder an, was mit einer Zunahme der Kontakte pro Nacht zusammenfällt.

Die Korrelationsanalyse zeigt einen konsistenten negativen Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Zeitpunkt des ersten Kontakts sowie zwischen dem Zeitpunkt des ersten Kontakts und der Anzahl der gesamten nächtlichen Kontakte. Die Korrelationskoeffizienten signalisieren, dass bei späteren ersten Kontakten tendenziell niedrigere Temperaturen vorherrschen und gleichzeitig die Gesamtzahl der Kontakte pro Nacht abnimmt. Während die Stärke dieser negativen Beziehung als schwach bis mittelstark beschrieben wird, ist sie statistisch signifikant, mit p-Werten kleiner als 0,001. Das bedeutet, dass Nächte mit höherer Kontaktanzahl durch frühere erste Kontakte gekennzeichnet sind und umgekehrt: Je später der erste Kontakt auftritt, desto geringer ist nicht nur die Temperatur, sondern auch die Anzahl der registrierten Kontakte.

Die Temperatur zum Zeitpunkt des ersten Kontaktes zeigt keine deutlichen Muster oder Trends in Bezug auf die Anzahl der Kontakte pro Nacht oder die Stunden bis zum ersten Kontakt. Die Temperaturkurve weist einige kleinere Schwankungen auf, aber sie bleibt relativ konstant im Vergleich zu den anderen beiden Variablen. An einigen Tagen korreliert eine höhere Temperatur mit einer geringeren Zeit bis zum ersten Kontakt (z. B. um die Tage 10 und 55), was auf eine Beziehung zwischen wärmeren Temperaturen und früheren Kontakten hindeuten könnte. Allerdings ist diese Beziehung nicht konsistent über den gesamten Zeitraum.

Beide Korrelationskoeffizienten zwischen Zeit des ersten Kontaktes und Temperatur zum ersten Kontakt weisen auf eine leichte negative Beziehung hin, was bedeutet, dass frühere Kontakte tendenziell bei etwas höheren Temperaturen auftreten könnten. Allerdings sind die p-Werte über der üblichen Schwelle von 0,05 für statistische Signifikanz, was bedeutet, dass eine Beziehung zwischen der beiden Variablen abgelehnt wird.

Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Zeit des ersten Kontakts und der akustischen Gesamtkontakte pro Nacht sind negativ, was darauf hindeutet, dass mit einem späteren ersten Kontakt die Anzahl der Kontakte pro Nacht tendenziell abnimmt. Es besteht eine signifikante negative Korrelation zwischen der Zeit des ersten Kontakts und der Anzahl der Kontakte pro Nacht ($p < 0,05$). Die Temperatur zum ersten Kontakt zeigt in dieser Analyse keinen signifikanten Zusammenhang zu der nächtlichen Gesamtzahl an akustischen Kontakten.

Die vorliegenden Daten und Korrelationsanalysen legen nahe, dass höhere Temperaturen tendenziell mit einer gesteigerten visuellen Fledermausaktivität korrelieren, während kein klarer Zusammenhang zwischen der Temperatur und akustischer Aktivität besteht.

Interessanterweise zeigt sich ein signifikanter Trend, dass frühere Kontakte nach Sonnenuntergang mit einer höheren Gesamtzahl nächtlicher Kontakte zusammenhängen, was darauf hindeutet, dass die Zeit des ersten Kontakts ein prädiktiver Indikator für nächtliche Aktivitätsmuster sein könnte. Insgesamt deuten die Ergebnisse auf eine komplexere Interaktion zwischen Temperatur und nächtlicher Aktivität hin

3.3.2 Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Aktivität

Studien deuten darauf hin, dass Fledermäuse ihre Aktivität in Reaktion auf Luftfeuchtigkeit anpassen, möglicherweise wegen der damit verbundenen Zunahme der Insektenaktivität (Amorim, Rebelo, & Rodrigues, 2012). Im folgenden Abschnitt werden die Auswirkungen der Luftfeuchtigkeit auf die Aktivitätsmuster von Fledermäusen untersucht.

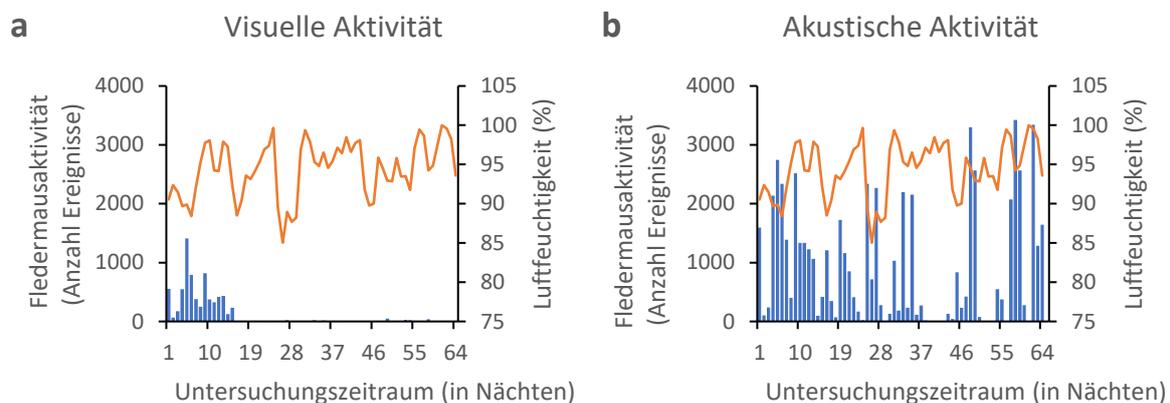


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Fledermausaktivität und durchschnittlicher Luftfeuchtigkeit Gegenüberstellung der visuellen und akustischen Fledermausaktivität in Korrelation mit der prozentualen Luftfeuchtigkeit über 64 Nächte.

a) Visuelle Aktivität und Luftfeuchtigkeit: Die blaue Balkendiagramm zeigt die Anzahl der visuellen Fledermauskontakte pro Nacht, während die orange Linie die prozentuale Luftfeuchtigkeit darstellt. Korrelationskoeffizienten: Spearman's rho $r = -0,167$ ($p > 0,05$); Kendall's Tau-b $r = -0,130$ ($p > 0,05$); $n = 64$.

b) Akustische Aktivität und Luftfeuchtigkeit: Das Balkendiagramm präsentiert die Anzahl der akustischen Fledermauskontakte pro Nacht, und die orange Linie repräsentiert die Luftfeuchtigkeit in Prozent. Korrelationskoeffizienten: Spearman's rho $r = -0,218$ ($p > 0,05$); Kendall's Tau-b $r = -0,149$ ($p > 0,05$); $n = 64$.

Es gibt keine klaren Muster, die darauf hindeuten, dass die Luftfeuchtigkeit mit der Anzahl der akustischen Kontakte pro Nacht korreliert. An manchen Tagen scheint es, als ob eine niedrige Luftfeuchtigkeit mit einer höheren Anzahl von Kontakten zusammenfällt (beispielsweise um Tag 6, 26 und 58 herum), aber dieser Trend ist nicht konsistent über den gesamten Zeitraum. An Tag 9 und 62 gibt es eine Zunahme der akustischen Kontakte pro Nacht, während die Luftfeuchtigkeit bei fast 100% liegt. Auch anhand der visuellen Aktivität lässt sich nicht genau ein Zusammenhang feststellen. Auch hier haben wir eine hohe Aktivität um Tag 6 herum, bei niedriger Luftfeuchtigkeit, als auch an Tag 9 bei hoher Luftfeuchtigkeit.

Beide Korrelationstests deuten auf einen schwachen negativen Zusammenhang hin. Der aber statistisch nicht signifikant ist. Es liegen also keine Ausreichenden Beweise vor, um eine Beziehung zwischen der Anzahl an Kontakten pro Nacht und der durchschnittlichen Luftfeuchtigkeit zu beweisen.

3.3.3 Einfluss von Luftdruck auf Aktivität

Der folgende Abschnitt konzentriert sich auf die Untersuchung des Einflusses des minimalen nächtlichen Luftdrucks auf die Aktivität von Fledermäusen, ein Aspekt, der in der ökologischen Forschung umstritten ist.

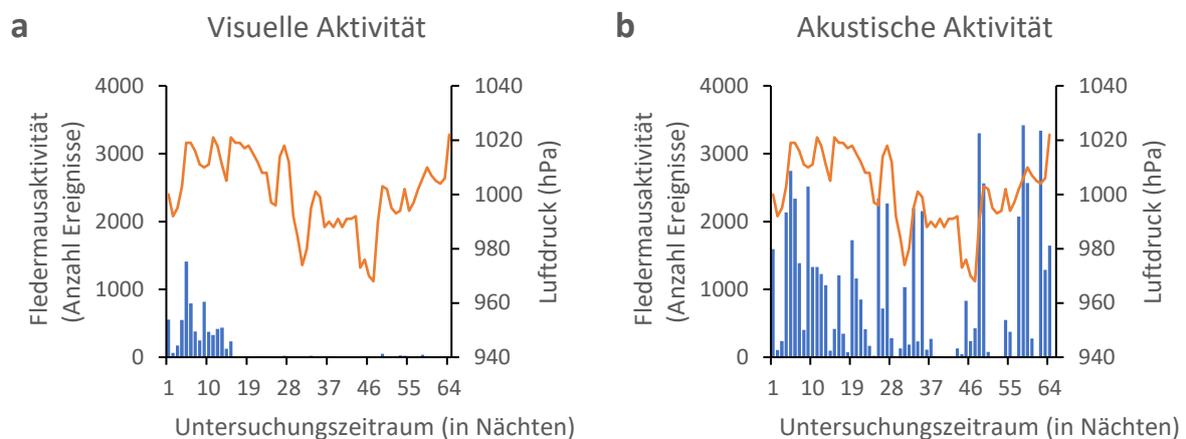


Abbildung 15: Zusammenhang zwischen Fledermausaktivität und nächtlichen minimalen Luftdruck
Gegenüberstellung der visuellen und akustischen Fledermausaktivität in Korrelation mit dem atmosphärischen Luftdruck über 64 Nächte.

a) Visuelle Aktivität und atmosphärischer Luftdruck: Die blaue Balkendiagramm zeigt die Anzahl der visuellen Fledermauskontakte pro Nacht, während die orange Linie den atmosphärischen Luftdruck darstellt. Korrelationskoeffizienten: Spearman's rho $r = 0,376^{**}$ ($p < 0,01$), Kendall's Tau-b $r = 0,269^{**}$ ($p < 0,01$); $n = 64$.

b) Akustische Aktivität und atmosphärischer Luftdruck: Das Balkendiagramm präsentiert die Anzahl der akustischen Fledermauskontakte pro Nacht, und die orange Linie repräsentiert den Luftdruck in hPa. Korrelationskoeffizienten: Spearman's rho $r = 0,465^{**}$ ($p < 0,01$), Kendall's Tau-b $r = 0,295^{**}$ ($p < 0,01$); $n = 64$.

**Die Korrelation ist auf dem 0,01-Niveau statistisch signifikant.

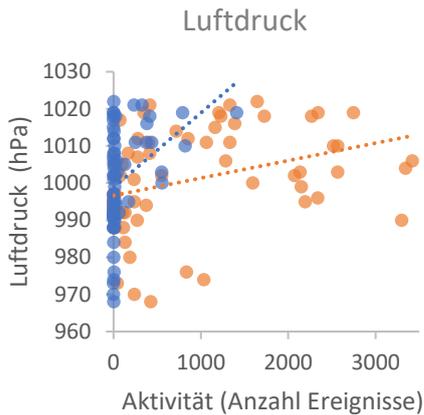


Abbildung 16: Korrelation der visuellen und akustischen Aktivität mit atmosphärischem Luftdruck

Abgebildet ist die Flugaktivität pro Nacht (blau) und Rufaktivität (orange), angegeben in Anzahl an nächtlichen Ereignissen, gegenüber dem minimalen Luftdruck in hPa. Jeder Punkt steht für die nächtliche Gesamtaktivität über den Untersuchungszeitraum von 64 Nächten. Die gepunktete Linie zeigt das Trendverhalten einer erhöhten Fledermausaktivität bei tendenziell höherem Luftdruck.

In Abbildung 15 scheinen höhere Luftdruckwerte mit vermehrten Ereignissen zu korrespondieren. Auch Tiefs im atmosphärischen Luftdruck zeigen an einigen Stellen geringere Kontakte (z.B. Tag 2, 29). Die akustischen Kontakte (b) zeigen zwischen Tag 36 und 43 einen starken Einbruch, während der Luftdruck über diesen Zeitraum relativ konstant bleibt. Das Ausbleiben von Ereignissen bei konstanten Luftdruckbedingungen könnte darauf hinweisen, dass nicht der absolute Wert des Luftdrucks, sondern die Luftdruckänderung Einfluss auf die Aktivitätsmuster haben könnte.

Es besteht eine signifikante positive Korrelation zwischen dem minimalen Luftdruck und der Fledermausaktivität, sowohl visuell als auch akustisch. Die Korrelation ist bei der akustischen Aktivität stärker (Spearman's rho: 0,465) im Vergleich zur visuellen Aktivität (Spearman's rho: 0,376). Eine positive Korrelation deutet darauf hin, dass mit steigendem Luftdruck auch die Aktivität zunimmt.

Aus Abbildung 16 geht hervor, dass die Punktdichte im Bereich des mittleren Luftdrucks höher zu sein scheint und in den höheren und niedrigeren Luftdruckbereichen abnimmt. Die Trendlinie, die durch die Datenpunkte verläuft, zeigt eine positive Korrelation zwischen der Aktivität und dem Luftdruck an.

3.3.4 Einfluss von Windgeschwindigkeit und Niederschlag

Frühere Studien haben gezeigt, dass zunehmender Niederschlag und steigende Windgeschwindigkeiten die Fledermausaktivität häufig verringern. Die erhobenen Aktivitätsmuster werden nachfolgend in Zusammenhang mit beiden Variablen gesetzt und auf Korrelation getestet. Die Datensätze für beide Variablen wurden Wetterstationen entnommen, die sich, anders als die vor Ort gemessenen Witterungsdaten, in einer gewissen Distanz zu dem Untersuchungsort befinden. Die visuellen Kontakte scheinen, aufgrund der Datenmenge, in den Abbildungen keinen klar ersichtlichen Zusammenhang

mit der Windgeschwindigkeit und dem Niederschlag zu zeigen und wurden daher nicht dargestellt.

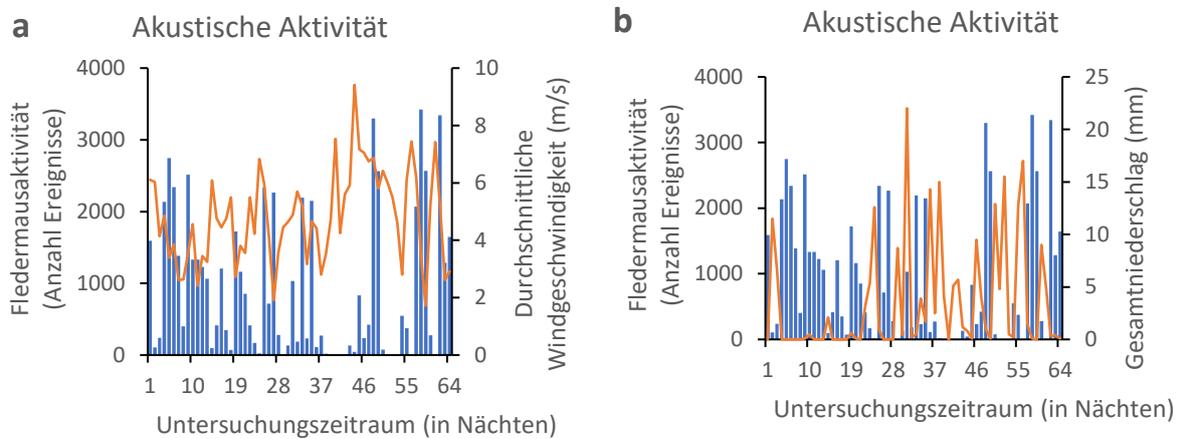


Abbildung 17: Fledermausaktivität im Zusammenhang mit durchschnittlicher Windgeschwindigkeit und Gesamtniederschlag

Die blauen Balken zeigen die akustische Fledermausaktivität, angegeben in der Anzahl an verzeichneten Rufen pro Nacht. Die orange Linie zeigt die durchschnittliche Windgeschwindigkeit pro Tag in m/s (a) und den Gesamtniederschlag pro Tag in mm (b) über den Untersuchungszeitraum von 64 Nächten.

a) Korrelationskoeffizient nach Spearman's rho: $r = -0,484^{**}$; ($p < 0,01$); $n = 64$; nach Kendall's Tau-b: $r = -0,373^{**}$; ($p < 0,01$); $n = 64$.

b) Korrelationskoeffizient nach Spearman's rho: $r = -0,544^{**}$; ($p < 0,01$); $n = 64$; nach Kendall's Tau-b: $r = -0,369^{**}$; ($p < 0,01$); $n = 64$.

**Die Korrelation ist auf dem 0,01-Niveau statistisch signifikant.

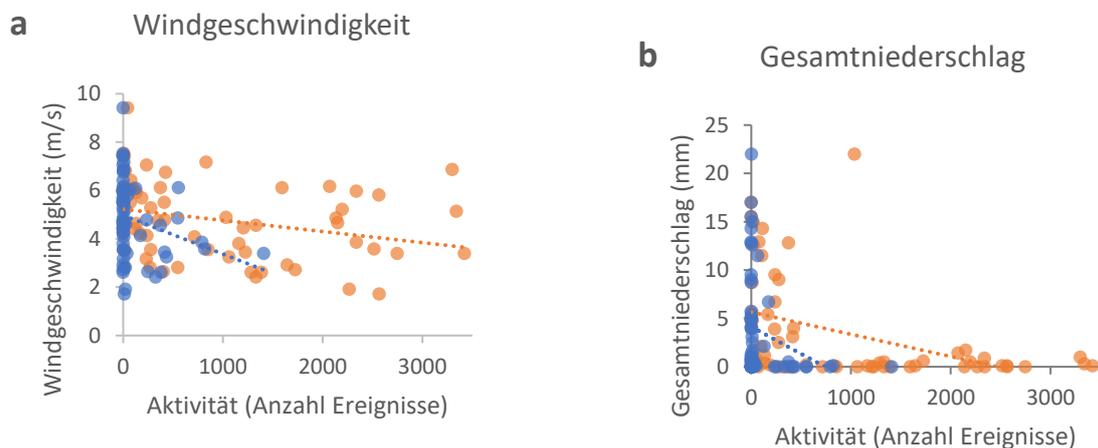


Abbildung 18: Korrelation der Fledermausaktivität mit Windgeschwindigkeit und Gesamtniederschlag

Abgebildet ist die visuelle Flugaktivität (blau) und akustische Rufaktivität (orange), angegeben in Anzahl an nächtlichen Ereignissen, gegenüber der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit in m/s (a) und gegenüber des täglichen Gesamtniederschlags in mm (b). Jeder Punkt steht für die Gesamtaktivität pro Nacht über den Untersuchungszeitraum von $n=64$ Nächten. Die gepunktete Linie zeigt das Trendverhalten einer erhöhten Fledermausaktivität bei tendenziell niedrigerer Windgeschwindigkeit und geringerer Menge an Niederschlag pro Nacht.

Windgeschwindigkeit

Der Kurvenverlauf der Windgeschwindigkeit (Abb. 17a) zeigt im Vergleich zu den akustischen Kontakten eine gewisse Tendenz. Bei Peaks in der Windgeschwindigkeit die meist zwischen 5 und 8 m/s liegen, sind geringe Aktivitäten der Rufaufnahmen zu verzeichnen. Besonders auffällig ist der Kurvenverlauf von Tag 13 bis Tag 19 bei dem ein Anstieg der Windgeschwindigkeit gefolgt von einem Einbruch an Tag 16 zu erkennen ist, bevor die Kurve wieder ansteigt und erneut abfällt. Die akustischen Kontakte scheinen stark beeinflusst von dieser Änderung und negativ zu korrelieren. Die zwei Peaks in der Windgeschwindigkeit zeigen starke Einbrüche in den aufgezeichneten akustischen Kontakten, während der Abfall der Windgeschwindigkeit mit mehr Aktivität verbunden ist.

Beide Korrelationsanalysen zeigen eine negative Korrelation zwischen den nächtlichen Kontakten und der Windgeschwindigkeit. Die Korrelation nach Spearman ist stärker ausgeprägt und statistisch signifikant. Diese Werte weisen darauf hin, dass mit steigender Windgeschwindigkeit die Anzahl an Kontakten pro Nacht zu sinken scheint.

Aus Abbildung 18a wird deutlich, dass visuelle als auch akustische Fledermausaktivität ähnliche Muster aufweisen. Die Punktdichte ist bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten größer, was auf häufigere Ereignisse in diesen Bedingungen hinweist. Die Daten weisen eine gewisse Streuung auf, was auf eine Variabilität in der Aktivität unter verschiedenen Windbedingungen hinweist. Durch die Trendlinie wird die allgemeine Tendenz innerhalb des Streudiagramms deutlich, dass die nächtliche Fledermausaktivität mit steigender Windgeschwindigkeit abnimmt.

Niederschlag

Die Kurve des Gesamtniederschlags (Abb. 17b) zeigt Peaks (z.B. an Tag 2, 24, 29, 31 und weitere), die mit einem starken Einbruch an akustischen Kontakten einhergehen.

Die Korrelationsanalysen zwischen nächtlichen Kontakten und Gesamtniederschlag zeigen signifikante negative Korrelationen. Dabei zeigt Spearman eine besonders starke Korrelation mit $r = -0,484$ für visuelle Kontakte und $r = -0,544$ für akustische Kontakte. Die Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass ein Anstieg des Niederschlags mit einer Abnahme der Kontakte einhergeht. Die Stärke der Korrelation, insbesondere nach Spearman's Rho, deutet darauf hin, dass dieser Zusammenhang in den untersuchten Daten ziemlich konsistent ist.

Die Datenpunkte in Abbildung 18b konzentrieren sich mehrheitlich in der Nähe der y-Achse bei niedrigeren Niederschlagswerten, was darauf hindeutet, dass in Nächten mit geringem oder keinem Niederschlag eine höhere Aktivität verzeichnet wurde. Die Trendlinie zeigt einen deutlichen Abwärtstrend, was die negative Korrelation zwischen Niederschlag und Aktivität bestätigt. Neben einigen Ausreißern, die beispielweise niedrige Aktivität trotz niedrigem Niederschlag zeigen, fällt ein Datenpunkt auf der verhältnismäßig hohe akustische Aktivität bei hoher Niederschlagsmenge zeigt.

4 Diskussion

Durch den Vergleich von Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Niederschlagsmenge und Windgeschwindigkeit in Kombination mit visuellen und akustischen Aufzeichnungen der Fledermausaktivität, konnten signifikante Muster identifiziert werden, die Aufschluss über das Anpassungsverhalten der Tiere gibt. Die Ergebnisse zeigen, dass Windgeschwindigkeit und Niederschlag die Fledermausaktivität negativ beeinflussen, während höhere Temperaturen und Luftdruckwerte tendenziell mit einer Zunahme der Aktivität verbunden sind. Diese Befunde unterstreichen die Sensitivität von Fledermäusen gegenüber Änderungen in ihren Lebensraumbedingungen und wie diese Faktoren ihre Fähigkeit zur Nahrungssuche, Fortpflanzung und Überwinterung beeinflussen können.

4.1 Aktivitätsverteilung

Die Aktivität der Fledermäuse über die Nacht zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Tageszeit, mit spezifischen Mustern für visuelle und akustische Ereignisse. Die Zunahme der visuellen Aktivität unmittelbar nach Sonnenuntergang und der erneute Anstieg zwischen der 8. und 9. Stunde nach Sonnenuntergang könnten auf eine zweiphasige Aktivitätsstruktur hinweisen, bei der Fledermäuse für die Nahrungssuche und eventuell auch für soziale Interaktionen das Quartier verlassen (Behr et al., 2015, S. 18). Die frühere Initiierung der akustischen Aktivität im Vergleich zu den visuellen Kontakten darauf hindeuten, dass die Tiere bereits im Quartier aktiv werden und vor dem Ausfliegen untereinander kommunizieren oder sich innerhalb des Kellers orientieren. Einige Fledermäuse zeigen ein Aufwärmverhalten, bei dem sie ihre Flugmuskulatur vorbereiten, was mit einer Zunahme der akustischen Aktivität einhergehen könnte (Speakman & Thomas, 2003). Innerhalb des Quartiers könnte aggressives oder territoriales Verhalten gezeigt werden. Genauso kann es sein, dass vor Einflug in das Quartier Sozialverhalten in

Form von vermehrten Rufen gezeigt wird, das ist besonders in der Schwärmphase zu beobachten (Bergmann et al., 2022). Ökologische Faktoren wie Lichtverhältnisse und Wetterbedingungen können Gründe dafür sein, dass Fledermäuse bereits im Quartier Aktivität zeigen und auf günstigere Bedingungen warten.

Die Unterschiede in der akustischen und visuellen Aktivität könnten auch mit dem Verhalten der Fledermäuse während der Schwärmphase zusammenhängen. Die erhöhte soziale Interaktion und die Suche nach geeigneten Quartieren könnten zu den beobachteten Mustern beitragen. Zu Beginn der Schwärmphase suchen Fledermäuse aktiv nach geeigneten Überwinterungsquartieren. Während dieser Zeit können vermehrt visuelle Kontakte beobachtet werden, da die Fledermäuse das Quartier inspizieren und somit häufiger ein und ausfliegen (siehe Abb. 7). Dieses Verhalten ist typisch für die Erkundung und soziale Interaktion. Die Schwärmphase erstreckt sich vom Spätsommer, teilweise schon ab August, vermehrt aber ab September. Dabei schwärmen Fledermäuse vor den sogenannten Schwärmquartieren, in vielen Fällen, aber nicht immer, sind dies zugleich die Quartiere, in welche sie zum Überwintern einfliegen. Es ist möglich, dass ein Schwärmquartier zur Absicherung getestet wird, falls während des Winters das Quartier kurzfristig gewechselt werden muss (Keil et al., 2023). Aus Abbildung 8a wird deutlich, dass die visuellen Kontakte Anfang Oktober (Tag 16) stark abnehmen. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Schwärmphase dort beendet wurde und die Tiere sich auf das Überwintern vorbereiten. Abbildung 10 zeigt in dem gleichen Zeitraum von Tag 1 bis zu Tag 28 mehr Sozialrufe im Vergleich zum Ende der Erfassung. Auch dies könnte ein Indiz dafür sein, dass die Schwärmphase sich an diesem Punkt zum Ende neigt. Abbildung 9b unterstreicht, dass sich hier die Aktivität der akustischen Kontakte nicht wie die der visuellen verhält. Die akustischen Kontakte werden tendenziell über den Untersuchungszeitraum weniger, erreichen aber vereinzelt höhere, nächtliche Werte zum Ende der Untersuchung. Diese hohen Rufaktivitätswerte könnten darauf hinweisen, dass Fledermäuse das Quartier als Überwinterungsort angenommen haben und mehr kommunizieren, während sie weniger mobil sind.

4.2 Artenvielfalt und Populationsdynamik

Dank jährlicher Sichtzählungen wird der Bestand der Fledermausarten im Quartier dokumentiert. Die langjährigen Datenreihen ermöglichen nicht nur Einblicke in die Populationstrends, sondern auch in die Präsenz und Präferenzen verschiedener

Fledermausarten im Quartier. Die Beobachtungen zeigen eine Dominanz von *Myotis*-Arten, insbesondere von Fransen- und Wasserfledermäusen, die das Quartier für die Überwinterung nutzen. Die dokumentierte Präsenz von seltenen Arten wie der Wimpernfledermaus unterstreicht die ökologische Bedeutung des Quartiers als Lebensraum für unterschiedliche Fledermausarten. Der Rückgang der Populationen einiger Arten in den letzten Jahren wirft Fragen bezüglich der Ursachen auf, die von klimatischen Veränderungen bis hin zu Störungen im Lebensraum reichen könnten.

Die Kombination von akustischer Erfassung und Sichtzählungen erlaubt eine umfassende Einschätzung der Fledermausaktivität und des Artenvorkommens. Die Identifizierung spezifischer Rufe bestätigt die Anwesenheit bestimmter Arten und ergänzt die Sichtbeobachtungen, insbesondere wenn direkte Sichtungen schwierig sind. Rechnet man die Einflüge abzüglich der Ausflüge, so sollte man den Bestand innerhalb des Quartiers ermitteln können. Unter Verwendung der visuellen Erfassungen ergibt sich ein Wert von 1660 Tieren. Diese Zahl ist allerdings nicht aussagekräftig, da bereits bekannt ist, dass es einen weiteren Ausflug gibt, aus welchen Tieren ein und ausfliegen können. Aus der Sichtzählung vom 4. Februar 2024 geht hervor, dass sich zu diesem Zeitpunkt lediglich 42 Tiere im Quartier befanden. Es ist jedoch zu beachten, dass bei Sichtbeobachtungen generell nur die sichtbaren Tiere gezählt werden können, was zu einer Unterschätzung der tatsächlichen Bestandszahl führen könnte, da sich Tiere möglicherweise in tiefen Spalten oder hinter Wänden und in nicht einsehbaren Zwischenräumen verbergen. Zwischen Ende der Untersuchung (Ende November) und der Begehung des Quartiers liegen rund zwei Monate, in welchen es nicht auszuschließen ist, dass Tiere abwandern, um andere Überwinterungsquartiere aufzusuchen. Auch Zählungen aus den Vorjahren mit maximal 123 gesichteten Tieren im Jahre 1994, liegen weit entfernt von dieser ermittelten Zahl. Es ist außerdem anzumerken, dass durch die Sanierungsarbeiten viele anthropogene Störungen stattgefunden haben. Die Arbeiten wurden gegen Ende August beendet. Fledermäuse sind während der Schwärm- und Paarungszeit sowie im Winterschlaf besonders empfindlich gegenüber Störungen. Es ist nicht auszuschließen, dass sich das Schwärmen mit den Arbeiten überschneiden hat und negative Auswirkungen auf die diesjährige Winterpopulation der Fledermäuse hatte. Des Weiteren wurde in drei verschiedenen Nächten eine Katze im Tunnel festgestellt, welche einen natürlichen Prädator von Fledermäusen darstellt. Die Anwesenheit der Katze im

Quartiereingang kann die Tiere stören und daran hindern, das Quartier sicher zu betreten oder zu verlassen.

4.3 Technische Fehler

Technische Fehler bei der Kameraauslösung könnten verantwortlich für fehlende Daten sein. Bei der Datenauswertung wurde abgeschnittenes Videomaterial nicht gewertet, da nicht sicher gesagt werden konnte, ob es sich um einen vollständigen Ein- oder Ausflug handelt. Die Videoaufnahmen haben eine Länge von 5 Sekunden. Längere Aufnahmen können vollständigere Verhaltenssequenzen erfassen und erhöhen die Wahrscheinlichkeit den vollständigen Kontext aufzuzeichnen. Ebenso verringern sich technische Fehler wie Auslöseverzögerungen. Nachteile zeigten sich jedoch bei der Testung mit 10sekündigen Videoaufnahmen insbesondere im Analyseaufwand der größeren Datenmengen und der Speicherkapazität. Besonders während der aktiven Schwärmphase sind abgeschnittene Aufnahmen kaum zu verhindern, da sich Tiere teilweise lange im Tunnel aufhielten.

4.4 Einfluss der Witterungsbedingungen

Der Einfluss von klimatischen Bedingungen auf die Aktivität von Fledermäusen wird durch die Anpassungsfähigkeit dieser Spezies an ihre Umwelt verdeutlicht. Fledermäuse wenden flexible Strategien zum Beispiel bei der Auswahl von Quartierplätzen an, um auf wechselnde Umweltbedingungen zu reagieren (Patriquin et al., 2016).

4.4.1 Temperatur

Die Temperatur ist ein Schlüsselfaktor, der die Aktivitätsmuster von Fledermäusen deutlich beeinflusst. Die Analyse zeigt, dass höhere Temperaturen mit einer Zunahme der visuellen Fledermausaktivität korrelieren, während kein klarer Zusammenhang mit der akustischen Aktivität festgestellt wurde. Die Zeit des ersten Kontakts nach Sonnenuntergang als Indikator für die Initiierung der Aktivität weist ebenfalls auf einen Zusammenhang mit der Temperatur hin, wobei frühere Kontakte an wärmeren Abenden zu verzeichnen sind. Umgekehrt könnte das auch dafürsprechen, dass es tendenziell kälter ist, je später in der Nacht der Kontakt sich befindet.

Dies deutet auf eine Anpassung der Fledermäuse an optimale Bedingungen für die Nahrungssuche hin. Viele Studien bestätigen die Ergebnisse und zeigen, dass Temperatur

einen signifikanten Einfluss auf die Aktivitätssteigerung von Fledermäusen hat (Koch et al., 2023; Lacki, 1984; Gorman et al., 2021; Grunwald & Schäfer, 2007).

Während kühleren Perioden wie der Winterschlafzeit, in denen Nahrungsmangel herrscht und zahlreiche Fledermäuse Zuflucht in Höhlen suchen, zeigt sich eine hohe Temperaturabhängigkeit der Aktivität. Dies steht im Kontrast zu wärmeren Jahreszeiten, in denen nicht-meteorologische Faktoren wie Beuteverfügbarkeit (Mukherjee & Korine, 2002) und individuelle Jagdstrategien eine größere Rolle zu spielen scheinen. Die Temperatur wirkt sich also maßgeblich auf die Flug- und Futteraktivität der Fledermäuse aus, was die Unterschiede in deren Aktivitätsmustern erklären könnte (Berková & Zúkal, 2010). Zu Beginn der Saison, wenn die durchschnittlichen Nachttemperaturen relativ warm bleiben, haben Abweichungen von der normalen Temperatur wenig Einfluss. Später in der Saison, insbesondere Ende September und im Oktober, führen unterdurchschnittliche Temperaturen jedoch zunehmend zu einer Verringerung der Fledermausaktivität (Adam D. Smith & McWilliams, 2016). Winterschlafende Fledermäuse erwachen periodisch während des Winters, dabei hat die Umgebungstemperatur einen erheblichen Einfluss auf das Aufwachen. Während des Aufwachens können Fledermäuse innerhalb ihrer Überwinterungsorte umherfliegen, gelegentlich nach außen fliegen oder die Überwinterungsorte wechseln. Die Gründe für periodisches Aufwachen sind wenig bekannt, aber diese Aufwachphasen sind der Hauptenergieverbrauch des Winterschlafs, wobei bis zu 90% der gesamten Energievorräte verbraucht werden. Aktive Tiere müssen dann durch Nahrungsaufnahme die verbrauchte Energie wieder kompensieren (Whitaker & Rissler, 1992).

4.4.2 Luftfeuchtigkeit

Die Untersuchung zur Luftfeuchtigkeit zeigt keine signifikanten Korrelationen mit der Fledermausaktivität, was darauf hindeutet, dass die Luftfeuchtigkeit allein kein ausschlaggebender Faktor für die Aktivität dieser Tiere ist. Möglicherweise spielen hier komplexere Wechselwirkungen mit anderen Umweltfaktoren und der Verfügbarkeit von Beute eine Rolle (Amorim, Rebelo, & Rodrigues, 2012). Die Bedeutung der Luftfeuchtigkeit könnte saisonal variieren und im Sommer größer sein als im Winter, da erhöhte Luftfeuchtigkeit die Insektenverfügbarkeit beeinflussen kann. Eine umfassendere Studie, über das gesamte Jahr hinweg, könnte zukünftig durchgeführt werden, um diesen Parameter weiter zu beobachten.

Fledermäuse passen ihre Aktivität möglicherweise in Reaktion auf Veränderungen der Luftfeuchtigkeit, da höhere Luftfeuchtigkeit einen geringeren Verdunstungswasserverlust bedeutet (Lacki, 1984). Diese Ergebnisse sind allerdings ebenfalls eher auf Sommermonate ausgelegt und könnte für die Aktivität im Herbst und Winter weniger relevant und ausschlaggebend sein und ist stark abhängig von der Jagdstrategie.

Insgesamt belegen einige Studien positive Einflüsse von erhöhter Luftfeuchtigkeit, besonders im Zusammenhang mit hohen Temperaturen (Grunwald & Schäfer, 2007). Eventuell könnte die Luftfeuchtigkeit in dieser Untersuchung leicht negative Tendenzen auf die Aktivität zeigen, da aufgrund von saisonal niedrigeren Temperaturen und ebenfalls saisonal bedingter Nahrungsknappheit dieser Zusammenhang nicht beobachtet werden kann.

4.4.3 Luftdruck

Der Luftdruck scheint einen signifikanten Einfluss auf die Fledermausaktivität zu haben, mit einer positiven Korrelation zwischen höherem Luftdruck und gesteigerter Aktivität. Dies könnte darauf hindeuten, dass Fledermäuse Veränderungen im Luftdruck als Indikator für günstige Umweltbedingungen nutzen. Hoher atmosphärischer Druck ist in der Regel mit klarem und ruhigem Wetter verbunden.⁶ Die konstanten Luftdruckbedingungen und deren Einflüsse auf die Aktivitätsmuster könnten darauf hinweisen, dass Fledermäuse sensibel auf Änderungen des Luftdrucks reagieren und diese möglicherweise zur Vorhersage von Wetteränderungen nutzen. Darüber hinaus könnte die energetischen Kosten des Fliegens zur positiven Beziehung zwischen Aktivität und Luftdruck beitragen, da bei steigendem Luftdruck und damit erhöhter Luftdichte die aerodynamischen Kräfte zunehmen, was theoretisch die Flugkosten senken sollte, obwohl dies nicht empirisch bewiesen wurde (Bender & Hartman, 2015).

Auch hier wurde in einigen Studien ein Zusammenhang mit Insektenverfügbarkeit vermutet. Hierbei handelt es sich allerdings um negative Korrelationen, das bedeutet, dass mit steigendem barometrischem Druck die Anzahl der Fledermäuse, die das Quartier verlassen, abnimmt, während sich auch die Insektenabundanz bei steigendem Luftdruck verringert. Der Sauerstoffverbrauch von Fledermäusen steigt mit zunehmendem barometrischem Druck an was darauf hindeutet, dass Fledermäusen den

⁶ Bejährringerhof, (o.J.)

barometrischen Druck metabolisch nachverfolgen können, um Energie zu konservieren und vorteilhafte Nahrungsentscheidungen zu treffen. Die Anpassung an den Luftdruck wird als alternative evolutionäre Strategie zur Winterstarre angesehen und könnte ein weit verbreitetes Phänomen unter insektenfressenden Fledermäusen sein, die tief in Höhlen ruhen (Paige, 1995). Das steht im Widerspruch zu den festgestellten Ergebnissen dieser Untersuchung und könnte auf eine artspezifische Anpassung hindeuten, da in der betrachteten Studie hauptsächlich Arten der Gattung *Pipistrellus* genannt wurden. Auch regionale oder saisonale Unterschiede können Einfluss darauf nehmen, wie Fledermäuse auf Luftdruck reagieren (Bender & Hartman, 2015).

4.4.4 Windgeschwindigkeit und Niederschlag

Beide Faktoren zeigen eine negative Korrelation mit der Fledermausaktivität, was bestätigt, dass ungünstige Witterungsbedingungen, wie hohe Windgeschwindigkeiten und starker Niederschlag, die Aktivität der Fledermäuse verringern. Dies ist besonders relevant, da solche Bedingungen die Energiekosten für die Thermoregulation erhöhen und gleichzeitig die Verfügbarkeit von Insekten als Nahrungsquelle reduzieren können (Koch et al., 2023; Gorman et al., 2021).

Studien zeigen, dass sich Fledermausarten in ihrer Windtoleranz unterscheiden (Bach & Bach, 2009), allerdings nimmt die Aktivität bei allen Arten mit zunehmender Windgeschwindigkeit ab (Grunwald & Schäfer, 2007). Weitere Studien haben aufgezeigt, dass die meiste Aktivität bei durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten unter 5m/s stattfanden (Reynolds, 2006; Amorim, Rebelo, & Rodrigues, 2012), mit einer annähernd logarithmischen Reduktion, wenn die Windgeschwindigkeit anstieg. Weniger als 10% der Fledermausaktivität wurden bei Windgeschwindigkeiten über 5m/s beobachtet (Behr et al., 2015). Das stimmt mit den beobachteten Daten dieser Untersuchung überein. Die visuelle und akustische Fledermausaktivität zeigte, verglichen mit Windgeschwindigkeit und Niederschlag die größte Korrelation, das wird durch die meisten Studien unterstützt (Ahlén et al., 2007, S. 20; U.S. Geological Survey, 2012; Brinkmann et al., 2006).

Niederschlag findet sich mittlerweile bei Windkrafträdern, neben Temperatur und Windgeschwindigkeit, als zuverlässiger Abschaltparameter in den meisten Leitfäden mit Abschaltvorgaben zum Fledermausschutz (Behr et al., 2015; KNE, 2023). Auch für Migrationsereignisse sind beide Faktoren wichtige Prädiktoren. Es wird vermutet, dass Fledermäuse das Fliegen während Regenereignissen meiden, nicht nur da die Echoortung

gestört wird, sondern auch weil es den Flugmetabolismus erhöht, wenn die Tiere nass sind. Feuchtes Fell und Flugmembranen können zu höheren thermoregulatorischen Kosten oder einer verringerten aerodynamischen Leistung führen, was den Flug energetisch teurer macht. Dies könnte erklären, warum Fledermäuse ihre Futteraktivitäten bei Regen reduzieren oder einstellen, es sei denn, die Nahrungsressourcen bieten einen ausreichend hohen Energiegewinn, um die höheren Kosten zu rechtfertigen (Voigt et al., 2011).

4.5 Empfehlungen für weiterführende Forschung

Zukünftige Studien sollten einen längeren Zeitraum und weitere Aktivitätsphasen, z.B. der Ausflugphase im Frühjahr und Nutzung des Quartieres im Sommer umfassen, um die Variabilität der Fledermausaktivität besser zu verstehen. Die Untersuchung spezifischer Arten und deren individueller Anpassungsstrategien könnte wertvolle Einblicke in die ökologische Vielfalt innerhalb der Fledermauspopulationen bieten. Die Untersuchung bestätigt, dass der zweite Zugang auf dem Ehrenmal nachweislich genutzt wird und daher von Bedeutung ist. Er muss daher zukünftig berücksichtigt und erhalten werden. Weiterhin wäre es von Interesse, den Einfluss von Klimawandel und Landschaftsveränderungen auf die Fledermausaktivität detaillierter zu erforschen. Auch den Zusammenhang der Witterungsbedingungen und der Insektenabundanz könnte im Weiteren untersucht werden. Ebenso könnte es von Interesse sein die Witterungsbedingungen parallel im Quartier selbst zu überwachen, um Einblicke in die mikroklimatischen Eigenschaften des Kellers zu erlangen.

5 Fazit

Die Untersuchung verdeutlicht, dass Temperatur und Luftdruck die Aktivität von Fledermäusen im Winterquartier positiv beeinflussen, während Windgeschwindigkeit und Niederschlag hemmend wirken. Diese Erkenntnisse über den Einfluss abiotischer Faktoren auf das Überwinterungsverhalten sind essenziell für die Entwicklung gezielter Schutzmaßnahmen. Effektive Strategien sollten diese Faktoren berücksichtigen, um die Überlebensfähigkeit und Fortpflanzungserfolge der Fledermäuse zu unterstützen.

Limitierungen der Studie, wie die zeitliche Begrenzung der Datenerhebung, sollten in zukünftigen Forschungen berücksichtigt werden. Eine ausgedehnte Datensammlung, die eine größere Bandbreite von Jahreszeiten und verschiedenen Umweltbedingungen

umfasst, würde dazu beitragen, die saisonalen Adaptionstrategien der Fledermäuse genauer zu verstehen. Insbesondere der Einfluss des Klimawandels auf die Fledermauspopulationen bedarf weiterer Untersuchungen.

Abschließend soll die Notwendigkeit betont werden, kontinuierlich Methoden und Techniken zur Überwachung und zum Schutz von Fledermäusen zu verbessern und zu verfeinern. Die vorliegende Forschungsarbeit schafft eine solide Basis für zukünftige Projekte und unterstreicht die Dringlichkeit, die komplexen Lebensgewohnheiten dieser Tiere in Zeiten ökologischen Wandels weiter zu erforschen, um ihren Fortbestand zu sichern.

Literaturliste

- AHLÉN, I., BACH, L., BAAGØE, H. J., & PETERSSON, J. (2007). Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia. Swedish Environmental Protection Agency. ISBN 91-620-5571-2.
- AMORIM, F., REBELO, H., & RODRIGUES, L. (2012). Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. *Acta Chiropterologica*, 14(2), 439–457.
<https://doi.org/10.3161/150811012X661756>
- BACH, L., & BACH, P. (2009). Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Aktivität von Fledermäusen. *Nyctalus (N.F.)*, 14(1-2), 3-13.
- BEHR, O., BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F., NAGY, M., NIERMANN, I., REICH, M., & SIMON, R. (Hrsg.). (2015). Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II): Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. 1. Auflage. Hannover: Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover.
- BENDER, M. J., & HARTMAN, G. (2015). Bat Activity Increases with Barometric Pressure and Temperature during Autumn in Central Georgia. *Southeastern Naturalist*, 14(2), 231-242.
<https://doi.org/10.1656/058.014.0203>
- BERGMANN, A., GLOZA-RAUSCH, F., WIMMER, B., KUGELSCHAFTER, K., & KNÖRNSCHILD, M. (2022). Similarities in social calls during autumn swarming may facilitate interspecific communication between *Myotis* bat species. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10:950951.
<https://doi.org/10.3389/fevo.2022.950951>
- BERKOVÁ, H., & ZUKAL, J. (2010). Cave visitation by temperate zone bats: effects of climatic factors. *Journal of Zoology*, 280(4), 387-395.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2009.00673.x>
- BIOLOGISCHE STATION IM KREIS WESEL e.V. (2022). Ehemaliger Eiskeller und Ehrenmal Moers. In: KuLaDig, Kultur.Landschaft.Digital. Abgerufen von <https://www.kuladig.de/Objektansicht/KLD-344436>
- BRINKMANN, R., SCHAUER-WEISSHAHN, H., & BONTADINA, F. (2006). Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. Gundelfingen: Planungsbüro Dr. Robert Brinkmann.
- DIETZ, C., & KIEFER, A. (2020). *Naturführer Fledermäuse Europas*. Neuauflage. Stuttgart: Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co KG.
- ERICKSON, J. L., & WEST, S. D. (2002). The Influence of Regional Climate and Nightly Weather Conditions on Activity Patterns of Insectivorous Bats. *Acta Chiropterologica*, 4(1), 17-24. <https://doi.org/10.3161/001.004.0103>
- FRICK, W., PUECHMAILLE, S., & WILLIS, C. K. R. (2016). White-Nose Syndrome in Bats. In C. C. Voigt & T. Kingston (Eds.), *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World* (Chap. 9). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-25220-9_9
- GILLAM, E., & FENTON, M. B. (2016). Roles of Acoustic Social Communication in the Lives of Bats. In: Fenton, M., Grinnell, A., Popper, A., & Fay, R. (eds) *Bat*

- Bioacoustics. Springer Handbook of Auditory Research, vol 54. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3527-7_5
- GORMAN, K. M., BARR, E. L., RIES, L., NOCERA, T., & FORD, W. M. (2021). Bat activity patterns relative to temporal and weather effects in a temperate coastal environment. *Global Ecology and Conservation*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01769>
- GRUNWALD, T., & SCHÄFER, F. (2007). Aktivität von Fledermäusen im Rotorbereich von Windenergieanlagen an bestehenden WEA in Südwestdeutschland: Teil 2: Ergebnisse. *Nyctalus (N.F.)*, 12(2-3), 182-198. Abgerufen von https://nyctalus.com/wp-content/uploads/2007/06/B12_H2-3_2007_S182-198.pdf
- KEIL, P., et. al (2023). Jubiläumsband für das Jahr 2022. Jahresberichte der Biologischen Station Westliches Ruhrgebiet, Oberhausen.
- KNE. (2023). Anfrage Nr. 352 zur Anwendung der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit eines Windparks sowie zusätzlicher Umweltparameter zur Steuerung von Fledermausabschaltungen. Antwort vom 06. November 2023. <https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Antwort-Durchschnittswindgeschwindigkeit-und-ergaenzende-Parameter-Fledermausabschaltung-352.pdf>
- KOCH, M., MANECKE, J., BURGARD, J.P., et al. (2023). How weather triggers the emergence of bats from their subterranean hibernacula. *Scientific Reports*, 13(6344). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32166-7>
- LACKI, M. J. (1984). Temperature and humidity-induced shifts in the flight activity of little brown bats. *Ohio Journal of Science*, 84(5), 264-266. Verfügbar unter <https://kb.osu.edu/handle/1811/22217>
- MARCKMANN, U., & PFEIFFER, B. (2020). Bestimmung von Fledermausrufaufnahmen und Kriterien für die Wertung von akustischen Artnachweisen. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg.
- MIDDLETON, N., FROUD, A., & FRENCH, K. (2014). *Calls of the Bats of Britain and Ireland*. Pelagic Publishing.
- MUKHERJEE, A., & KORINE, C. (2002). The influence of biotic and abiotic factors on bat activity in Negev Desert, Israel. *Zoos' Print Journal*, 18(1), 982-986. <https://doi.org/10.11609/JoTT.ZPJ.18.1.982-6>
- PAIGE, K. N. (1995). Bats and Barometric Pressure: Conserving Limited Energy and Tracking Insects from the Roost. *Functional Ecology*, 9(3), 463-467. <https://doi.org/10.2307/2390010>
- PATRIQUIN, K. J., LEONARD, M. L., BRODERS, H. G., FORD, W. M., BRITZKE, E. R., & SILVIS, A. (2016). Weather as a proximate explanation for fission-fusion dynamics in female northern long-eared bats. *Animal Behaviour*, 122, 47-57. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.09.022>
- PFALZER, G. (2002). Inter- und intraspezifische Variabilität der Soziallaute heimischer Fledermausarten. Kaiserslautern.
- REYNOLDS, D. S. (2006). Monitoring the potential impact of a wind development site on bats in the Northeast. *Journal of Wildlife Management*, 70(5),

- 1219-1227. [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2006\)70\[1219:MTPIOA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2006)70[1219:MTPIOA]2.0.CO;2)
- RUSS, J., et al. (2021). Bat Calls of Britain and Europe- a guide to species identification. Erste Auflage. Pelagic Publishing.
- SHERWIN, H. A., MONTGOMERY, I., & LUNDY, M. G. (2012). The impact and implications of climate change for bats. *Mammal Review*, 43(3). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2012.00214.x>
- SKIBA, R. (2014). Europäische Fledermäuse- Kennzeichen, Echoortung und Detektoranwendung. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. Magdeburg: VerlagsKG Wolf.
- SMITH, A. D., & McWILLIAMS, S. R. (2016). Bat activity during autumn relates to atmospheric conditions: implications for coastal wind energy development. *Journal of Mammalogy*, 97(6), 1565–1577. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyw116>
- SPEAKMAN, J. R., & THOMAS, D. W. (2003). Physiological ecology and energetics of bats. In T. H. Kunz & M. B. Fenton (Eds.), *Bat Ecology* (pp. 430-490). University of Chicago Press.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY. (2012). Bats and wind energy: A literature synthesis and annotated bibliography https://tethys.pnnl.gov/sites/default/files/publications/USGS_Bats_2012.pdf
- VIERHAUS, H. (2008). Ein bedeutendes Fledermauswinterquartier am linken Niederrhein mit Nachweisen der Wimperfledermaus, *Myotis emarginatus* (Geoffroy, 1806). *Nyctalus* (N.F.), 13(2-3), 211-216. Retrieved from https://nyctalus.com/wp-content/uploads/2008/06/B13_H2-3_2008_S211-216.pdf
- VOIGT, C. C., SCHNEEBERGER, K., VOIGT-HEUCKE, S. L., & LEWANZIK, D. (2011). Rain increases the energy cost of bat flight. *Biology Letters*, 7(6), 793-795. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0313>
- WHITAKER, J. O., & RISSLER, L. J. (1992). Winter Activity of Bats at a Mine Entrance in Vermillion County, Indiana. *The American Midland Naturalist*, 127(1), 52–59. <https://doi.org/10.2307/2426321>
- ZWECKVERBAND NATURPARK TEUTOBURGER WALD / EGGEGBIRGE. (2020, August 6). Fledermäuse im Naturschutz. Abgerufen von <https://www.wuennenberg-bueren.de/zweckverband/2020/08/06/fledermaeuse-im-naturschutz-2/>

Quellenverzeichnis

Internetquellen

- 1 NABU (o.J.), Auszeichnung für fledermausfreundliches Haus in Detmold, (zuletzt aufgerufen 27.03.2024) <https://nrw.nabu.de/tiere-und-pflanzen/aktionen-und-projekte/fledermausfreundliches-haus/auszeichnungen/detmold/19668.html>
- 2 Stadt Moers (2023), Kapellener Ehrenmal wird saniert. (zuletzt aufgerufen 01.12.2023) <https://www.moers.de/rathaus-politik/aktuelles/presse/kapellener-ehrenmal-wird-saniert>
- 3 Meteostat (o.J.), Wetterrückblick & Klimadaten für Duisburg-Baerl, (zuletzt aufgerufen 28.12.2023) <https://meteostat.net/de/station/D3670?t=2023-09-20/2023-11-23>
- 4 Open Acoustic Devices (o.J.), About, (zuletzt aufgerufen 22.03.2024) <https://www.openacousticdevices.info/about>
- 5 Laerd Statistics (o.J.), Kendall's Tau-b using SPSS Statistics, (zuletzt aufgerufen 13.03.2024) <https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/kendalls-tau-b-using-spss-statistics.php>
- 6 Bejähriingerhof, 41472 Neuss Grefrath (zuletzt aufgerufen 12.03.2024) <http://www.bejaehriingerhof.net>

Weitere Quellen

- Stephan Georg c/o Luftlinie.org, Maps and Geodata: © OpenStreetMap contributors <https://www.luftlinie.org/Ehrenmalstra%C3%9Fe-23,47447,Moers,Kapellen-Mitte,Nordrhein-Westfalen,DEU/Woltershofer-Stra%C3%9Fe,47199,Duisburg,Baerl,Nordrhein-Westfalen,DEU> (zuletzt aufgerufen 03.11.2023)
- Sunrise-and-sunset.com, 2023, Sonnenaufgang und Sonnenuntergang Zeiten in Moers, Deutschland, (zuletzt aufgerufen 02.11.23) <https://www.sunrise-and-sunset.com/de/sun/deutschland/moers>

Bilderverzeichnis

- <https://www.bskw.de/index.html>
- <https://www.hhu.de/die-hhu/presse-und-marketing/aktuelles/presse-meldungen-der-hhu/news-detailansicht/details-im-logo>

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen meinen herzlichsten Dank aussprechen, die zum Gelingen dieser Bachelorarbeit beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Herrn Prof. Dr. Kunz für die konstruktive Kritik und die kontinuierliche Unterstützung während des gesamten Schreibprozesses. Mein Dank geht auch an Herrn Prof. Dr. Aberle für die Bereitschaft, die Aufgabe der Zweitkorrektur zu übernehmen.

Ich möchte meinen tiefsten Dank der Biologischen Station im Kreis Wesel e.V. aussprechen, die mich nicht nur bei der Themenfindung großartig unterstützte, sondern auch mit großem Vertrauen die notwendigen Geräte für meine Forschung zur Verfügung stellte.

Ein besonderer Dank gilt Herrn Won Scharfe, der stets bereit war, Fragen zu beantworten und sein Fachwissen zu teilen, besonders wertvoll war seine Unterstützung bei der Rufauswertung und der Bereitstellung von umfangreicher Literatur. Ebenso bin ich Herrn Dipl.-Biol. Paul Schnitzler dankbar, der mich bei der Planung und Installation der Geräte tatkräftig unterstützte, so wie die Begehung des Quartiers ermöglichte.

Ein Dankeschön geht auch an Łukasz Szymczyszyn, welcher mir mit technischen Angelegenheiten stets bei Seite stand.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Carina Bender, dass die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel:

Inwiefern beeinflussen abiotische Umgebungsfaktoren wie Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit die saisonale Fledermausaktivität in einem Winterquartier am Unteren Niederrhein?

von mir selbstständig angefertigt wurde. Andere als die in der Arbeit angegebenen Quellen und Hilfsmittel wurden nicht benutzt. Alle Zitate, Textquellen und Veröffentlichungen sind als solche kenntlich gemacht. Eine Veröffentlichung sowie Vorlage der Arbeit bei einer anderen Prüfungsbehörde haben nicht stattgefunden.

Krefeld den 24.04.2024

Ort, Datum

CBender

Unterschrift