Populationsdichte und Lebensraumnutzung der Wimperfledermaus (*Myotis emarginatus* Geoffroy, 1806) an ihrer nördlichen Verbreitungsgrenze in Luxemburg

Jacques B. Pir[1,3] & Markus Dietz[2,3]

[1] 57 rue des Carrefours, L-8015 Strassen (jacques.pir@education.lu)

[2] Institut für Tierökologie und Naturbildung, Altes Forsthaus, Hauptstr. 30, D-35321 Gonterskirchen (markus.dietz@tieroekologie.com)

[3] Musée national d'histoire naturelle, section zoologie, 25 rue Münster, L-2160 Luxembourg

Pir, J. B. & M. Dietz, 2018. Populationsdichte und Lebensraumnutzung der Wimperfledermaus (*Myotis emarginatus* Geoffroy, 1806) an ihrer nördlichen Verbreitungsgrenze in Luxemburg. *Bulletin de la Société des naturalistes luxembourgeois* 120 : 107-121.

Abstract. The thermophilic Geoffroy's bat shows an extraordinary population density for Luxembourg along its distribution area's northern limits. Echolocation calls and wing morphology are proof of a species specialized to hunt in cluttered forest vegetation, as they do in the Mediterranean. The abundance of the species in Western Europe however is highly dependent on traditional small scale farming methods, which provide structured and diverse landscapes. We monitored maternity colonies in Luxembourg to evaluate population change. Recently we counted more than 1.650 females of Geoffroy's bat in twelve maternity colonies. Their reproductive distribution is limited to the region of Gutland. Roosts were in large attics from private houses, barns and churches and also in cowsheds. In order to identify foraging areas and commuting routes, we radio tracked 20 females from two different colonies. While roost fidelity is high during weaning, the use of alternative roosts near core foraging area by single females was observed. Core foraging areas included settlements with cowsheds, orchards and riparian vegetation along riverbanks. All individuals used cowsheds to prey on abundant dipteran, some exclusively, and many exclusively especially during harsh weather conditions.

The intensification and large landowning that replace traditional small-scale farming as well as modernization of cowsheds alter natural and well-structured agricultural land, and thereby threaten species like the Geoffroy's bat. The development of farming practices in villages of Gutland region will play a key role in the implementation of the species action plan of *M. emarginatus*.

Key words. maternity colony, *Myotis emarginatus,* Luxembourg, radio tracking, population density, foraging areas, traditional cultural landscape, cow sheds, species action plan

1. Einleitung

Die Wimperfledermaus *Myotis emarginatus* (Geoffroy, 1806) ist eine thermophile Art, deren Verbreitungsschwerpunkt im Süden Europas liegt. Sommerquartiere sind dort vorwiegend in natürlichen Höhlen zu finden. Jagdhabitate umfassen hier strukturreiche Landschaften mit Eichenwäldern sowie traditionell bewirtschafteten Olivenhainen (Flaquer et al. 2008; Goiti et al. 2011). In Mittel- und Westeuropa ist die Verbreitung der Wimperfledermaus inselartig auf wärmebegünstigte Regionen in Süddeutschland (Bayern, Baden-Württemberg), über Luxemburg bis nach Süd-Limburg begrenzt (Topál 2001; Dietz et al. 2007; Steck & Brinkmann 2015).

Im Vergleich der Vorkommen an der nördlichen Arealgrenze, ist die Anzahl von rezenten Wimperfledermauskolonien in Luxemburg außerordentlich hoch. Seit 2007 konnten durch gezielte Suche mehrere neue Wochenstubenkolonien nachgewiesen werden. Dichte und Anzahl reproduktiver

Weibchen verdeutlichen eine besondere populationsbiologische Bedeutung für den Schutz der Wimperfledermaus. Ihr ungünstiger Erhaltungszustand für Luxemburg (European Commission/MDDI 2013 und ihre Listung in Anhang II als auch Anhang IV der Habitatschutzdirektive (FFH-Richtlinie 92/43/EC) verpflichten das Großherzogtum zu gezielten Artenschutzmaßnahmen, wie sie etwa mit der Umsetzung des Nationalen Naturschutzplanes PNPN2 (2017-2021) vorgesehen sind (MDDI 2017).

Wissenschaftliche Grundlagen für die Artenschutzmaßnahmen wurden in den vergangenen Jahren erarbeitet, u.a. durch Telemetriestudien, Lebensraumanalysen sowie Verdichtung des Kenntnisstandes zu Wochenstubenkolonien und Populationsgrößen. Nachfolgend wird zusammenfassend der aktuelle Kenntnisstand zum Vorkommen der Wimperfledermaus in Luxemburg beschrieben. Es wird weiterhin der Frage nachgegangen, welche Landschaftsfaktoren für die Populationsdichte in Luxemburg relevant sind und wie die Lebensraumsituation im Zuge gezielter Artenschutzmaßnahmen gefördert werden kann.

2. Material und Methodik

Zur Feststellung der Koloniegrößen werden regelmäßige Simultanzählungen in Wochenstubenkolonien durchgeführt. Für die Analyse der Lebensraumnutzung sowie zur Suche unentdeckter Kolonien werden akustische Erhebungen, Netzfang und Telemetrie angewendet.

2.1. Ermittlung von Koloniegrößen

Reproduzierende Weibchen der Wimperfledermaus bilden im Sommer Wochenstuben, in denen sie ihre Jungtiere gebären. Eine Wochenstubenkolonie kann mehrere Quartiere zeitgleich oder nacheinander nutzen (u.a. Gaisler 1971; Topál 2001), daher ist eine an allen bekannten Quartieren parallel stattfindende Zählung notwendig. Der maximale Bestand an adulten Tieren einer Wochenstube kann dabei durch detektorunterstützte Ausflugzählung und/oder Auszählung von Fotos der Wochenstubenkolonie während des Zeitraumes zwischen der ersten und dritten Juniwoche vor der Jungengeburt ermittelt werden (Brinkmann et al. 2004; Battersby 2010). In Luxemburg fand 1998 zum ersten Mal eine solche Zählung statt. Seit 2013 wird ein regelmäßiges Monitoring in den bekannten Quartieren durchgeführt, um einerseits die Bestandsentwicklung und andererseits Veränderungen in den einzelnen Quartieren zu erfassen. Männchen halten sich in Einzelquartieren auf und sind nicht zu quantifizieren.

2.2. Suche von Wochenstubenkolonien

Zur Erfassung von neuen Wochenstubenkolonien erfolgte zunächst eine akustische Erfassung in potenziell zur Jagd genutzten Viehställen. Hierzu wurden 2016 in 17 Ställen bioakustische Messgeräte (Batcorder, Fa. EcoObs) installiert. Diese zeichneten die Fledermausrufaktivität für jeweils 1 – 3 Nächte von 21.00 - 6.00 Uhr auf. Die anschließende Auswertung der Rufe erfolgte teilautomatisiert (Rufgruppen) und manuell (bcAdmin 3.0, batIdent 1.0, bcAnalyze 2.0, Firma EcoObs, Batsound 3.1, Firma Pettersson). Die Auswertung diente ausschließlich dem Nachweis der Wimperfledermaus.

Basierend auf den Ergebnissen der akustischen Untersuchung wurden an Standorten mit Rufen der Wimperfledermaus Netzfänge durchgeführt. Es wurde mit Netzen mit Längen von 3–15 m und einer Höhe von 3- 6 m in und um die Viehställe gearbeitet. Die Netze (70 Denier, Maschenweite 19 mm) wurden durchgehend betreut und gefangene Fledermäuse sofort befreit. Von gefangenen Individuen wurden Parameter wie Geschlecht, Reproduktionsstatus, Gewicht und Unterarmlänge aufgenommen. Reproduzierende Weibchen der Wimperfledermaus wurden mit einem Sender (LB-2, Holohil Systems) ausgestattet. Bei der Auswahl der Sendertiere wurde darauf geachtet, dass das Gewicht des Senders (0,4 g) nicht die 5 % Grenze (Aldridge & Brigham 1988) überschreitet. Außerdem wurden hochträchtige Tiere ausgeschlossen. Die Sender wurden mit Hautkleber (Fa. Sauer) zwischen den Schulterblättern im Fell befestigt.

Während der darauf folgenden Tage wurden die Sendertiere mit der „homing-in on the animal" – Methode (Mech 1986; White & Garrott 1990) gesucht. Verwendet wurden Yaesu-Empfänger (Fa. Wagener) und Zwei-Element Yagi Antennen (HB9CV). So ermittelte Quartiere wurden dokumentiert und Koloniezählungen durchgeführt.

2.3. Ermittlung von Flugdistanzen und Kernlebensräumen

Zur Ermittlung von Flugdistanzen und Kernlebensräumen ausgewählter Wochenstubenkolonien wurden reproduzierende Weibchen der Wimperfledermaus mit einem Sender versehen (vgl. 2.2). In 2007 und 2008 wurden insgesamt 20 Tiere aus den Kolonien Bech-Kleinmacher (BKL) und Lintgen (L) über mehrere Nächte telemetrisch verfolgt. Dabei wurde die Triangulations-Methode angewendet, bei der zwei Beobachter zeitgleich aus verschiedenen Positionen das Sendersignal peilen.

Die Daten wurden mit der Software Tracker 1.1 (Camponotus) analysiert und mit ArcGIS 9.3 (ESRI) kartographisch dargestellt. Tiere mit weniger als 30 lokalisierten Punkten wurden von der Analyse ausgeschlossen. Für die Ermittlung von Kernjagdgebieten wurden „local convex hulls" (LoCoH) berechnet (Getz et al. 2007). Um den Triangulations-Fehler zu berücksichtigen, wurden die 95 % Isoplethen mit 10 m Radius gepuffert (vgl. Dietz et al. 2013). Für die Darstellung der Aktionsraumgrößen definieren wir analog zu anderen Telemetriestudien den individuellen Aktionsraum als Verbindung der äußersten Peilpunkte (Minimum-Convex-Polygon MCP), den Nahrungssuchraum als 95 % LoCoH und das Kernjagdgebiet als 50 % LoCoH.

2.4. Habitatanalyse

Habitatanalysen stellen in einem statistischen Vergleich die potentiell nutzbaren Habitate der tatsächlichen Habitatnutzung gegenüber. Hierfür wurden die über Telemetrie ermittelten Aufenthaltspunkte (fixes) der Wimperfledermäuse auf eine flächenhafte digitale Biotopkarte projiziert. Diese wiederum konnte über die OBS-Daten Luxemburgs und dem von der Natur- und Forstverwaltung zur Verfügung gestellten „hydro_line_polyline.shp" generiert werden. Zur Vereinfachung der Kartengrundlage im Sinne der Wimperfledermaus, wurde die Vielzahl an Landschaftsvariablen in Landschaftskategorien gruppiert. Ziel war die Beibehaltung aller potentiell für die Wimperfledermäuse relevanten Landnutzungstypen, bei einer übersichtlichen Anzahl und nicht zu geringen Flächenanteilen der einzelnen Nutzungsformen. Die Gruppierung erfolgte nach folgenden Kategorien: Acker, Grünland, Gewässer und deren Randbereiche, Siedlung und Siedlungsrand, Strukturelemente (Hecken, Baumreihen) sowie Wald.

Das Habitatangebot wurde nach der Gruppierung in einem Puffer um den Koloniestandort berechnet, der die maximal für die jeweilige Kolonie ermittelte Flugentfernung umfasste (Lintgen: 8,1 km; BKL: 12,2 km). Zur Ermittlung der Habitatnutzung wiederum, wurden alle Kreuzpeilungspunkte (= Aufenthaltsorte) von auswertbaren Wimperfledermäusen (mind. 50) mit 20 m gepuffert. Die ermittelten Flächen um die Lokalisationen und der Puffer um die Wochenstubenkolonien wurden mit den Landnutzungstypen verschnitten und der prozentuale Anteil der Einzelflächen für jedes Tier berechnet (Abb. 1).

Für die Habitatanalyse kam das nach Aebischer et al. (1993) entwickelte Programm Compositional Analysis (Microsoft® Excel Tool, Version 6.2, Smith Ecology Ltd.) zum Einsatz. Dabei werden zunächst die verfügbaren und genutzten Habitatanteile in Logarithmus-Verhältnisse (y0 und y) transformiert, anschließend wird die Differenz ($d = y - y0$) berechnet. Daraufhin wird getestet, ob eine Gleichnutzung vorliegt ($d = 0$), d.h. die Habitate dem Angebot entsprechend genutzt werden oder ob eine Ungleichnutzung ($d \neq 0$) vorliegt, d.h. die Habitate gerichtet aufgesucht werden. Als Gütemaß, das angibt, ob sich die Variablen von Habitatnutzung und Habitatangebot signifikant unterscheiden, wird Wilks-Lambda verwendet. Wilks-Lambda selbst wird über einen Chi-Quadrat-Test auf Signifikanz geprüft. Nachfolgend werden die Habitate nach

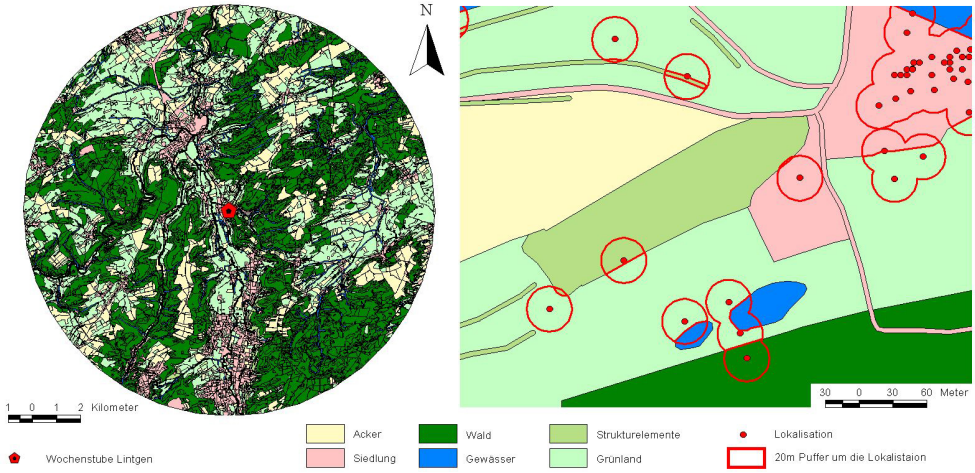


Abb. 1. Verschneiden des als Habitatangebot definierten Puffers um die Wochenstubenkolonie Lintgen (links) und des als Habitatnutzung definierten Puffers um die Kreuzpeilungspunkte (rechts) mit den Landschaftsdaten.

Rängen ihrer Nutzung unter Angabe von signifikanten Unterschieden zwischen den einzelnen Variablen, im vorliegenden Fall die Landnutzungstypen, geordnet (Aebischer et al. 1993, Smith 2006).

3. Ergebnisse

3.1. Verbreitung

Die Wimperfledermaus ist seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts als seltenes Faunenelement für Luxemburg erwähnt (De la Fontaine 1868), dessen Verbreitung sich auf das Moseltal beschränkt (Ferrant 1931). Nachweise von Wochenstubenkolonien blieben bis zum Ende des 20. Jahrhunderts spärlich. Faber & Meisch (1978) konnten zwei Kolonien mit kaum mehr als einer Handvoll Weibchen für Marienthal (n = 5 Weibchen) und den Westen des Landes (n = 10 Weibchen) nachweisen. Weitere zwei Koloniefunde konnten durch eine landesweite Erfassung der Fledermäuse in Luxemburg im Auftrag des Nationalen Naturhistorischen Museums von 1991 bis 1996 erbracht und zusammen mit weiteren Kolonienachweisen im ersten Atlas der Fledermäuse Luxemburgs publiziert werden (Harbusch et al. 2002).

Aufgrund gezielter Nachsuche sowie wissenschaftlicher Telemetriestudien (ITN 2009, 2012, 2015, 2016, 2017) im Auftrag der Natur- und Forstverwaltung, des Nachhaltigkeitsministeriums (Departement Environnement) sowie der Biologischen Station SICONA (im Rahmen des LIFE Grassland Projektes LIFE13 NAT/LU/000068) konnte der Kenntnisstand zur Bestandssituation der Wimperfledermaus für Luxemburg wesentlich verbessert werden.

Aktuell sind zwölf regelmäßig besetzte Wochenstubenkolonien mit nachgewiesener Jungenaufzucht bekannt. Die zeitgleichen Monitoring-Zählungen in 2016 ergaben für diese Kolonien über 1.650 adulte Weibchen, während bei der ersten synchronen Zählung im Jahr 1998 lediglich 630 adulte Tiere in acht Wochenstubenquartieren nachgewiesen werden konnten. Die Kolonien und damit die Reproduktionsverbreitung der Wimperfledermaus sind weitgehend an die klimatisch begünstigte Region des Gutlandes und des Moseltals gebunden (Abb. 2). Nahezu sämtliche Wochenstubenkolonien befinden sich in Siedlungen in warmen Tallagen und Einzugsgebieten von Flüssen wie Attert, Eisch, Mittel- und Untersauer, Alzette sowie der Mosel. Die Höhenverteilung der Wochenstuben beträgt durchschnittlich 249 (±77) m über NN.

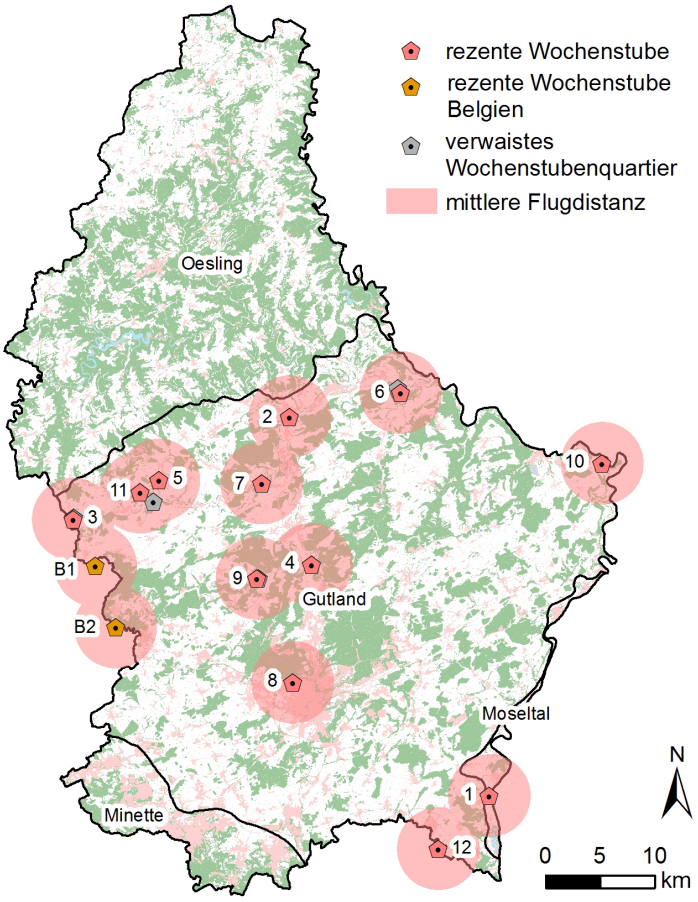


Abb. 2. Verbreitungskarte der bekannten rezenten und verwaisten Wochenstubenkolonien der Wimperfledermaus in den vier Wuchsregionen Luxemburgs. Die Wochenstuben sind gepuffert mit dem über Telemetrie ermittelten mittleren Aktionsraum von Wimperfledermausweibchen (3,8 km) (1 Bech-Kleinmacher, 2 Ettelbrück, 3 Colpach, 4 Lintgen, 5 Platen, 6 Moestroff, 7 Bissen, 8 Rollingergrund, 9 Marienthal, 10 Rosport, 11 Ospern 12 Emerange; B1 Guirsch, B2 Clairefontaine).

Bei einer Annahme der Reproduktionsverbreitung der Art auf das Gutland, errechnet sich nach den Zählungen aus 2016 und einer Fläche von 1.758 km² eine Weibchendichte von 0,93 Tieren/ km². Im Falle eines ausgeglichenen Geschlechterverhältnisses ergibt sich bei rund 3.300 adulten Tieren eine mittlere Populationsdichte der Wimperfledermaus von 1,86 Individuen/km² für das Gutland.

Die Koloniegrößen in Luxemburg sind sehr ungleich verteilt. Sie reicht von kaum zehn Weibchen bis zu annähernd 1.100 Weibchen in der größten Kolonie Bech-Kleinmacher im Moseltal. Ohne die Kolonie Bech-Kleinmacher mit 1.100 Weibchen liegt die mittlere Koloniegröße in Luxemburg bei 83,3 (± 69,9) Wimperfledermausweibchen. Die Hälfte der Wochenstuben-Kolonien umfasst weniger als 50 Weibchen, während die drei größeren Reproduktionskolonien 90% der gezählten Weibchen umfassen (Abb. 3). Während sich die größeren Wochenstuben über Jahrzehnte hinweg durch eine stabile Präsenz auszeichnen, sind die kleineren Wochenstubenkolonien < 50 adulten Weibchen oft in mehrere Satellitenkolonien aufgeteilt und in wechselnden Quartieren anzutreffen.

3.2. Populationsentwicklung

Während ein systematisches Monitoring der Fledermausarten des Anhangs II und IV der FFH-Habitat-Richtlinie für Luxemburg erst seit 2013 durchgeführt wird, ist die Bestandsentwicklung der Wimperfledermauskolonie in Bech-Kleinmacher im Moseltal seit ihrer Gründung 1985 dokumentiert.

Das Gründungsdatum ist deswegen bekannt, weil das Gebäude wegen der Großen Hufeisennase seit 1979 kontrolliert wird (Roer & Gudendorf 1994). Aufgrund ihrer enormen Individuenzahl bestimmt sie wesentlich die Populationsgröße der Art in Luxemburg.

Die seit der Gründung anhaltende Zunahme der Weibchen beträgt im Schnitt jährlich 8,2 % (Abb. 4). Auffällig sind die sprunghaften Anstiege der Jahre 2004 (+ 167 Weibchen), 2005 (+ 182 Weibchen), 2010 (+ 136 Weibchen), 2015 (+ 176 Weibchen) sowie 2017 (+ 154 Weibchen). Da diese Zunahme sich weder durch natürliche Reproduktion, noch durch die Abnahme einer benachbarten bekannten Wochenstubenkolonie (ca. 90 adulte Weibchen, 6,75 km Luftlinie entfernt) erklären lässt, muss die Zunahme von zwölf auf 1.096 Weibchen innerhalb von 32 Jahren wahrscheinlich einen massiven Zuzug aus der grenznahen lothringischen Wimperfledermauspopulation als Ursache haben.

3.3. Quartierwahl

Die Hälfte der zwölf gegenwärtig bekannten Wochenstubenkolonien der Wimperfledermaus besiedelt Dachstühle von Privatgebäuden, vier nutzen Kirchendachböden und zwei weitere nutzen landwirtschaftliche Gebäude (Kuhstall, Silo-Turm, siehe Abb. 5). In den Quartieren hängen die Tiere meist frei sichtbar, wobei sie bisweilen auch sehr helle Hangplätze in der Nähe von Fensterluken auswählen.

Die jährliche Etablierung in den Wochenstubenquartieren erfolgt erst gegen Mai bis Anfang Juni. Bereits unmittelbar nach dem Flüggewerden der Jungtiere ab Mitte/Ende Juli beginnen sich die Kolonien wieder durch die Abwanderung der Weibchen aufzulösen. Vor und nach Etablierung in den Wochenstubenkolonien suchen die Weibchen alleine und in Kleingruppen Zwischenquartiere auf, die somit Teil des kollektiven Quartiergedächtnisses der Kolonien sind.

3.4. Flugdistanzen und Aktionsräume

Für die Analyse von Aktionsräumen und Flugdistanzen konnten aufgrund ausreichender Anzahl an Lokalisationen die Daten von zwölf der 20 telemetrierten Tiere aus den Kolonien Bech-Kleinmacher (n = 5) und Lintgen (n = 7) herangezogen werden.

Die mittlere Flugdistanz der besenderten Wimperfledermausweibchen zwischen Wochenstubengebäude und Aufenthaltsorten in der Landschaft betrug 3,85 km für Bech-Kleinmacher und 3,91 km für die Kolonie in Lintgen (Abb. 6). Die maximale



Abb. 3. Die Verteilung der Wochenstuben-Kolonien der Wimperfledermaus in Luxemburg nach Größenklassen.

Flugdistanz eines Sendertieres lag in Bech-Kleinmacher bei 12,21 km und in Lintgen bei 8,8 km. Die Kernjagdgebiete (50 % LoCoH) lagen in mittleren Distanzen von 5,2 km in Bech-Kleimacher und 4,2 km in Lintgen.

Den Flugrouten aller Tiere ist gemeinsam, dass sie sich an charakteristischen Geländestrukturen wie Bachtälern, Waldlinien sowie Baum- und Heckenstrukturen orientierten. Offene Bereiche wurden nur dann auf direktem Weg überflogen, wenn keine schützende Gehölzstruktur vorhanden war. Hatten die Tiere die Wahl zwischen einer direkten Verbindung im offenen Gelände oder einer indirekten Verbindung entlang von Leitlinien oder/ und in schützender Vegetation, wählten sie immer die zweite Variante.

Für vier Weibchen konnten über die lückenlose räumliche und zeitliche Verfolgung während des Transferfluges Flugzeiten gemessen werden. Daraus wiederum ergab sich eine maximale Fluggeschwindigkeit von 23,5 km/h während die geringste Fluggeschwindigkeit bei 9,2 km/h lag (Mittel: 13,4 km/h).

Vergleichbar der individuellen Flugdistanzen, schwankten sowohl innerhalb als auch zwischen den Kolonien, die individuellen Aktionsraumgrößen berechnet als Minimum Convex Polygon (MCP) sowie Nahrungssuchraum (95 % LoCoH) und Kernjagdgebiet (50 % LoCoH). Die MCP`s umfassten in Bech-Kleinmacher durchschnittlich 438,6 ha (min – max: 250,2 – 1.492,1 ha) und in Lintgen durchschnittlich 694,7 ha (min – max: 250,2 bis 1.114,3 ha (Abb. 7). Innerhalb des individuellen Aktionsraumes suchte jedes Tier mindestens ein Kernjagdgebiet auf, in dem es den größten zeitlichen Anteil während der Nacht zur Nahrungssuche aufbrachte. Die individuellen Kernjagdgebiete umfassten kaum 10 % der Aktionsraumgrößen und lagen zwischen 20,1 ha in Bech-Kleinmacher und 55,3 ha in Lintgen (Abb. 7).

Die Kernjagdgebiete der telemetrierten Weibchen verteilten sich radiär um die beiden untersuchten Kolonien. Während der Jagd suchten einige Weibchen auch Zwischenquartiere nahe zu den Kernjagdgebieten auf. In einigen Kernjagdgebieten (insbesondere Viehställen) konnten neben dem Sendertier oft weitere Wimperfledermäuse beobachtet werden.

3.5. Habitatpräferenzen und Nahrungsräume

Die Ergebnisse der Habitatanalyse ergaben für beide Kolonien eine hoch selektive Nutzung der zur Verfügung stehenden Landschaft innerhalb des Kolonieaktionsraumes. Dieser umfasste in Bech-Kleinmacher 12.982 ha und in Lintgen 6.797 ha. Der über die Habitatanalyse ermittelte Unterschied zwischen Habitatangebot und Habitatnutzung durch die Fledermäuse ist hoch signifikant ($p<0,0001$). Ein Ranking der Habitatkategorien verdeutlicht, dass die Kategorie „Siedlung“ (v.a. Viehställe) sowie Gewässer/ Gewässerufer die am häufigsten genutzte

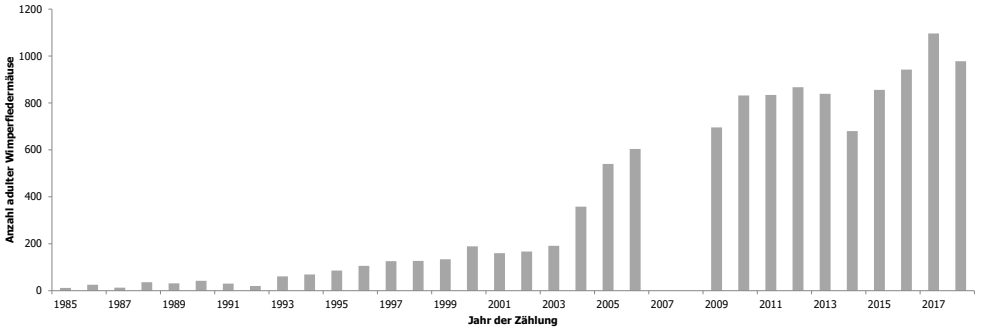


Abb. 4. Bestandsentwicklung der Wimperfledermauswochenstube in Bech-Kleinmacher von 1985 (Erstbesiedlung) bis 2018 (nach Roer & Gudendorf 1994, Pir 2004, unpubl. Daten). Das Quartier wird bereits seit 1979 wegen der Anwesenheit der Großen Hufeisennase kontrolliert.



Abb. 5. Wimperfledermäuse besiedeln große Dachböden mit unterschiedlichen Hangplatzsituationen (oben links und rechts), können aber auch in geräumigen Anbauten und Viehställen Kolonien gründen (unten rechts). Die größte Kolonie in Luxemburg ist mit einer Wochenstubenkolonie der Großen Hufeisennase *Rhinolophus ferrumequinum* vergesellschaftet (unten links, Hufeisennasen hängen solitär).

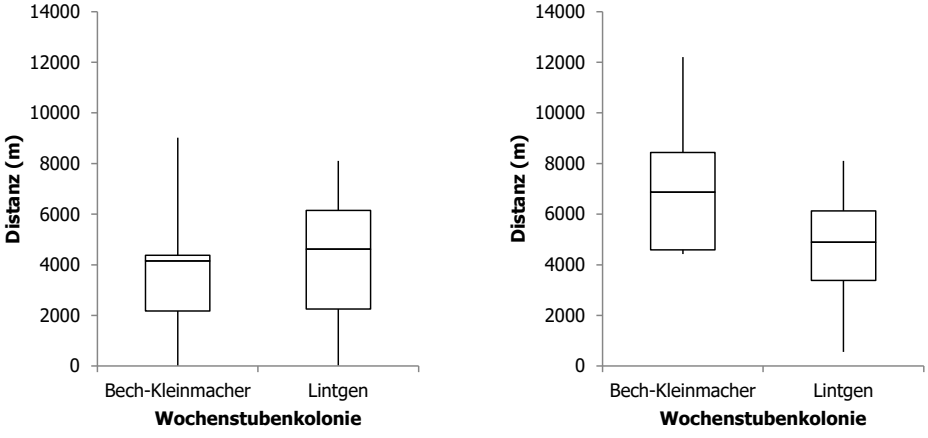


Abb. 6. Flugdistanzen der Wimperfledermäuse aus den Wochenstubenkolonien Bech-Kleinmacher und Lintgen zu ihren Kernjagdgebieten (links) und maximal zurück gelegte Distanzen (rechts).

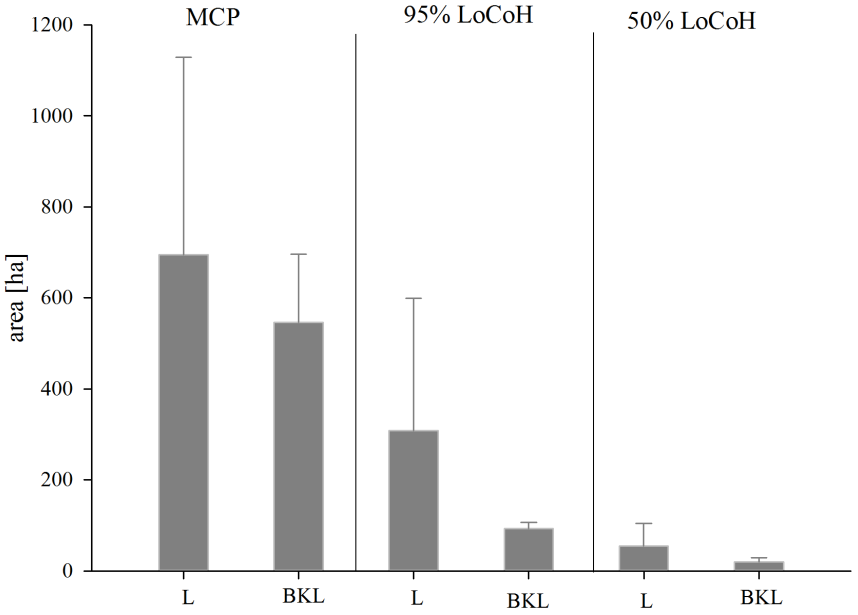


Abb. 7. Individuelle Aktionsraumgrößen der telemetrierten Wimperfledermäuse von Lintgen (L) und Bech-Kleinmacher (BKL). MCP = Minimum Convex Polygon; 95% LoCOH = Nahrungssuchraum; 50% LoCoH = Kernjagdgebiet.



Abb. 8. Typische Jagdgebiete der Wimperfledermaus in Luxemburg. Neue Großviehställe bei Wickrange (oben links); Kuhstall bei Herborn (oben rechts); Bachlauf mit Ufervegetation westlich von Steinbrücken (unten links); beweidete, strukturierte Wiesen in Siedlungsnähe bei Rambrouch (unten rechts).

Habitate vor Grünland, Strukturelementen sowie Wald und Acker sind (Tab. 1, Abb. 8).

Sowohl die Tiere der Kolonie Bech-Kleinmacher als auch die Tiere der Kolonie Lintgen nutzten in hoher zeitlicher Konstanz Ställe mit Großviehhaltung zur Nahrungssuche. Sechs von sieben Wimperfledermäuse (85,7 %) der Kolonie Lintgen hatten ihr Kernjagdgebiet in und um Stallanlagen. Drei von fünf Tieren (60 %) der Kolonie Bech-Kleinmacher jagten während Schlechtwetterphasen ausschließlich in Ställen. Siedlungsnah wurden weiterhin charakteristische Kulturlandschaftselemente kleinbäuerliche Strukturen wie Streuobstwiesen und Nutzgärten (v.a. nach dem Ausflug und vor dem Einflug) zur Nahrungssuche aufgesucht. Siedlungen ohne Großviehhaltung wurden ebenso wie neue Baugebiete ohne Streuobstwiesen und alte Nutzgärten nicht beflogen. In der freien Landschaft konnten Ufergehölze und Weideland mit Kühen als Kernjagdgebiete identifiziert werden. Überraschenderweise wurden Waldgebiete deutlich seltener genutzt, als es ihr Flächenanteil erwarten ließ.

Die über die Telemetriestudien belegte selektive Nutzung von Viehställen konnte ebenso über akustische Erhebungen und Netzfänge bestätigt werden (Steck & Brinkmann 2015). So war die Wimperfledermaus bei einer Beprobung von 17 Milch- und Rindviehställen im Osten Luxemburgs in zehn Ställen (58,8%) nachzuweisen (Abb. 9). Die zeitliche Stichprobe umfasste dabei jeweils nicht mehr als 1 – 3 Nächte. Weitere Fledermausarten in den Viehställen waren in abnehmender Häufigkeit: Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus)*, Kleine Bartfledermaus (*Myotis mystacinus)*, Brandtfledermaus (*M. brandtii)*, Graues Langohr (*Plecotus austriacus) sowie* Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii).*

4. Diskussion und Ausblick

4.1. Verbreitung und Populationsgröße in Luxemburg

Die Dichte der Wimperfledermauspopulation in Luxemburg ist unter Berücksichtigung ihrer Lage an der nördlichen Arealgrenze und im Vergleich zum Vorkommen und zur Dichte in angrenzenden Gebieten erstaunlich hoch.

Obwohl z.B. die mittlere Koloniestärke in Bayern (Süddeutschland) mit 107 adulten Tieren über der mittleren Wochenstubengröße in Luxemburg liegt, und der Reproduktionserfolg im Schnitt mit 0,65 Jungtieren pro Weibchen über dem ermittelten Verhältnis von 0,51 für Luxemburg liegt, ergibt sich für Luxemburg an der Nordgrenze der Verbreitung der Art eine Populationsdichte, welche um mehr als das Vierfache höher als z.B. im klimatisch begünstigten Bayern liegt (Angaben Bayern nach Friemel & Zahn 2004).

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass die Wimperfledermaus an ihrer nordwestlichen Verbreitungsgrenze sehr kopfstarke Kolonien von 500 bis über 1.100 Weibchen bildet (Friemel & Zahn 2004; Dekker et al. 2013; Steck & Brinkmann 2015). Dies ermöglicht den Tieren eine sozi-

Tab. 1. Matrix zur Darstellung der signifikanten Unterschiede in der Habitatnutzung zwischen den einzelnen Landnutzungstypen (+++ hoch signifikant, + signifikant, - keine Signifikanz).

	Acker	Gewässer	Grünland	Stall	Struktur-elemente	Wald	Rank
Acker		---	---	---	---	-	0
Gewässer	+++		+	-	+	+++	4
Grünland	+++	-		---	-	+++	2
Stall	+++	+	+++		+	+++	5
Strukturelemente	+++	-	+	-		+++	3
Wald	+	---	---	---	---		1

ale Thermoregulation in der Gruppe, die die Überlebenschancen ihrer Jungen während Schlechtwetterperioden erheblich verbessern dürfte. In Luxemburg gruppieren sich ebenfalls 90% der Weibchen in drei größeren Wochenstuben.

Eine Konstante für das Vorkommen der Art an Ihrer Verbreitungsgrenze ist demnach die Bildung von kopfstarken Wochenstubenkolonien mit eigenständiger Thermoregulation (Pir 2004). Dabei stellt sich die Frage, ob die in weiten Regionen des Landes geringe Vorkommendsichte der Wimperfledermaus darauf zurückzuführen ist, dass aufgrund zu geringer Individuendichte keine stabilen Reproduktionskolonien möglich sind.

Limitierend auf die Populationsdichte bei Fledermäusen wirken neben klimatischen Gegebenheiten, die Verfügbarkeit von Nahrung und Quartieren. Sowohl mit der Großen Hufeisennase (*Rhinolophus ferrumequinum*) als auch mit dem Großen Mausohr (*Myotis myotis*) gehen Wochenstubenkolonien der Wimperfledermaus regelmäßig Vergesellschaftungen ein, stehen jedoch nicht in Nahrungskonkurrenz zu diesen Arten (u.a. Dietz et al. 2013). Diese Vergesellschaftung beruht wahrscheinlich ebenfalls auf thermischen Vorteilen der Art während der Reproduktion (Gaisler 1971, Pir 2004). Die vergleichsweise hohe Populationsdichte im Gutland von Luxemburg muss demnach auf ein großes Angebot an Quartieren, sowie ein quantitativ und qualitativ günstiges Nahrungsangebot zurück zu führen sein.

4.2. Quartierwahl

Die lokalisierten Quartiere decken sich weitgehend mit der Quartierwahl der Art in Süddeutschland (Kretzschmar 2003; Friemel & Zahn 2004). Sämtliche Wochenstuben an der nordwestlichen Verbreitungsgrenze liegen in klimatisch begünstigten Tallagen (<400 m NN, außer in Alpenrandlagen). Zur Reproduktion werden allerdings eher kühle Quartiere und Hangplätze gewählt. Neben der hohen Toleranz gegenüber hellen Wochenstuben scheint die Verfügbarkeit mehrerer Hangplätze mit unterschiedlichen Temperaturgradienten ebenfalls eine Konstante von Wochenstubenquartieren der Wimperfledermaus zu sein. Warum diese wärmeliebende Art Reproduktionsquartiere mit einer suboptimalen Quartiertemperatur (im Sommerhalbjahr zwischen 24,2°C und 14,9°C; n = 13 Wochenstuben) auswählt, ist bislang unzureichend geklärt (Zahn & Henatsch 1998; Pir 2004).

Die Bestandsschwankungen sowohl bei der größten Wochenstubenkolonie in Bech-Kleinmacher, als auch gerade den kleinerer Wochenstuben (< 50 Weibchen) deuten auf die Existenz weiterer unbekannter Ausweichquartiere hin. Dies kann durch Beobachtungen während eines Umbaus am Quartier der Kolonie Lintgen belegt werden. Nachdem das ursprüngliche Quartier verschlossen wurde, konnte ein Ausweichquartier in 9,3 km Entfernung gefunden werden. Dies belegt die Notwendigkeit einer weiteren Suche nach Wochenstuben in Luxemburg, aber auch grenzübergreifend, um Populationsgröße und deren Fluktuation festzustellen.

Dies wirft die Frage auf, inwiefern die einzelnen Wimperfledermauskolonien in Austausch stehen. Dazu findet derzeitig eine wissenschaftliche Untersuchung zum genetischen Austausch der Wimperfledermaus in Mitteleuropa in Zusammenarbeit zwischen dem Naturhistorischen Museum Luxemburg, der Biologischen Station SICONA sowie dem Nachhaltigkeitsministerium (Departement Environnement) statt.

4.3. Aktionsräume und Jagdgebiete

Die Raumnutzungstudien zeigen einen engen Bezug der Wimperfledermaus zu strukturreichen Landschaften, die von Milch- und Rindviehhaltung und traditioneller Landwirtschaft geprägt sind. Diese bieten ein Mosaik von, beweidetem Offenland, Obstwiesen und Waldgebieten, die von Strukturelementen wie Baumreihen und Hecken durchsetzt sind. Der Strukturreichtum spielt eine wichtige Rolle bei der Orientierung und der Wahl von Flugrouten in der Landschaft. Waldränder und Baumreihen ermöglichen der Wimperfledermaus einen

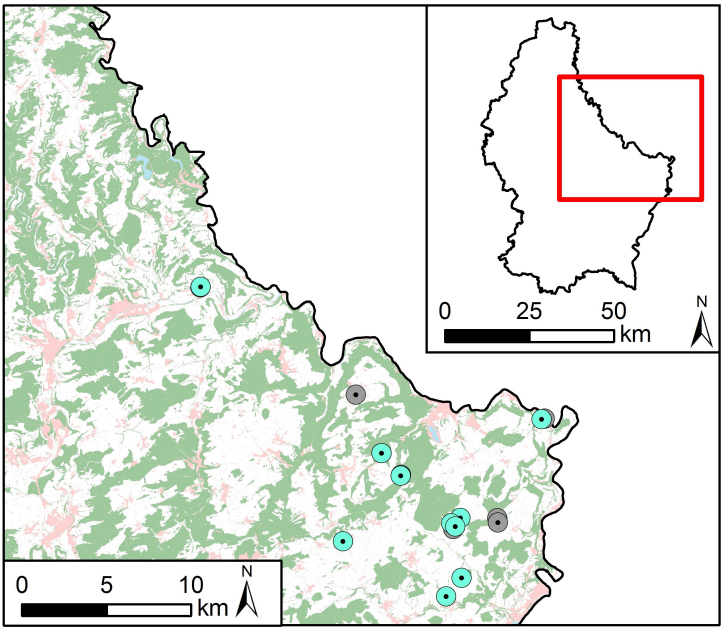


Abb. 9. Nachweise der Wimperfledermaus in stichprobenhaft untersuchten Viehställen im Osten von Luxemburg.

geschützten Transfer zwischen Quartier und Nahrungsraum.

Im Vergleich zu vergleichbaren Telemetriestudien fällt auf, dass Waldflächen als Kernjagdgebiete in Luxemburg deutlich unterrepräsentiert sind. Aus mediterranen Landschaften ist bekannt, dass Wimperfledermäuse intensiv in Laubwäldern jagen (Flaquer et al. 2008; Goiti et al. 2011). Dies zeigen ebenso Ergebnisse aus Süddeutschland (Krull et al. 1991; Steck & Brinkmann 2006; Zahn et al. 2010). Die Ergebnisse sind nicht überraschend, da zum einen Waldgebiete weitgehend frei von Pestiziden sind und somit eine hohe Insektendichte aufweisen. Gleichzeitig können Wimperfledermäuse aufgrund ihrer echoakustischen Fähigkeiten und ihres wendigen Flugvermögens Jagdgebiete in dichter Vegetation intensiv nutzen (Siemers & Schnitzler 2004).

Ein ebenfalls für Luxemburg stark überproportional genutztes Jagdgebiet sind Milchvieh- und Rinderställe. Dies ist vergleichbar Ergebnissen aus Süddeutschland sowie den Niederlanden (Krull et al. 1991, Steck & Brinkmann 2006, Zahn et al. 2010, Dekker et al. 2013, Steck & Brinkmann 2015). In den zentralen Regionen Frankreichs, sowie dem mediterranen Spanien konnten eine Nahrungssuche der Wimperfledermaus in Viehställen nicht nachgewiesen werden (Huet et al. 2004, Flaquer et al. 2008; Goiti et al. 2011). Offensichtlich ist dies ein Phänomen der nördlichen Verbreitungsgrenze und möglicherweise sogar eine wesentliche Voraussetzung für die Reproduktion der Wimperfledermaus (Dietz et al. 2013).

Die Insektendichte, vor allem von Fliegen, in Kuhställen übersteigt das Angebot in der Landschaft, so dass die Nahrungssuche für Fledermäuse hier besonders kostengünstig ist. Im Hinblick auf die vergleichsweise lange Überwinterungsdauer und den hohen Energiebedarf während der Graviditäts- und Laktationsphase, stellt dies einen entscheidenden Selektionsvorteil für reproduzierende Weibchen dar. Zusätzlich ermöglicht der geschützte Raum eines Kuhstalles die Jagd bei Schlechtwetterereignissen wie kühlen Temperaturen mit wenig Insektenflug und anhaltendem starken Niederschlag, sodass die im Vergleich zum Mittelmeer-

raum klimatisch ungünstige Lage ausgeglichen werden kann. Die Anpassung der Wimperfledermaus an die Jagd in dichter Vegetation ermöglicht ihr die Jagd in den Ställen und das Absammeln von an der Decke sitzenden Insekten (Krull et al. 1991).

Ein Vergleich der Flugdistanzen der Wimperfledermaus mit anderen Fledermausarten zeigt, dass die Art trotz ihrer geringen Größe vergleichbar große Distanzen zurücklegen kann, wie z.B. Große Hufeisennasen (*Rhinolophus ferrumequinum)* (für Luxemburg z.B. Dietz et al. 2013) oder Große Mausohren (*Myotis myotis)* (Güttinger et al. 2001). Innerhalb der beiden in Luxemburg untersuchten Kolonien gibt es im Gesamtaktionsraum einen signifikanten Unterschied, der durch die unterschiedliche Anzahl der Tiere in der Wochenstubenkolonie erklärbar ist. Die sehr große Kolonie in Bech-Kleinmacher weist einen mehrere Quadratkilometer größeren Aktionsraum auf, als die deutlich kleinere Kolonie in Lintgen. Beim Vergleich der individuellen Flächengrößen der Kernjagdgebiete gibt es jedoch keine Unterschiede, ebenso wenig in der Habitatnutzung.

4.4. Schlußfolgerungen für das Artenschutzkonzept

Wimperfledermäuse zeigen eine hochselektive Nutzung von Kulturlandschaftselementen, insbesondere Viehställe und Viehweiden, Gewässer und Ufervegetation sowie Streuobstwiesen, Hecken und alte Gärten. Die Wimperfledermauspopulation in Luxemburg ist von europäischer Bedeutung und am nördlichen Verbreitungsrand von der kleinstrukturierten, durch Viehhaltung geprägten Kulturlandschaft abhängig (vgl. auch Dietz et al. 2013). Insbesondere vor dem Hintergrund der enormen Abnahme der Insektendichte in der offenen Landschaft (Hallmann et al. 2017), bekommen die genannten Strukturen und insbesondere die Viehställe eine herausragende Bedeutung.

Im nordwestlichen Teil ihres Verbreitungsgebiets einschließlich Luxemburg, ist die Wimperfledermaus erheblich von Landschaftsveränderungen betroffen (Racey & Entwistle 2003; Dietz et al. 2013). Die Natur- und Kulturlandschaften befinden sich in einem ständigen Wandel in Anpassung an neue landwirtschaftliche Praktiken. Die Intensivierung in der Bewirtschaftung und der Wandel von kleinen Feldern zu großbäuerlich genutztem intensiven Agrarland, führen zur Verdrängung von traditionell bewirtschafteten strukturreichen Flächen. Diese Verdrängung von natürlichen Landschaften sowie kleinbäuerlich genutzten Kulturlandschaften beeinflusst Fledermauspopulationen negativ, da wichtige ökologische Ressourcen verändert werden; dazu gehören der Verlust und die Veränderung von Jagdhabitaten und Flugrouten und die Verminderung der Insektenabundanz (Wickramasinghe et al. 2003, 2004, Hallmann et al. 2017). Im Luxemburger Gutland führt das Verbinden von Feldern zur Reduktion des Strukturreichtums (Hecken, Ackerraine) und die zur Nahrungssuche wichtigen Streuobstwiesen verschwinden zunehmend durch den Mangel an Nutzung und Pflege. Der Umbau von Kuhställen im Zuge einer Modernisierung bedroht eine zentrale Nahrungsquelle, die eine hohe Populationsdichte der Wimperfledermaus in unseren Gegenden erst ermöglicht. An diesen Problemen muss ein Artenschutzprogramm Wimperfledermaus jedenfalls ansetzen.

Quartiernahe Nahrungsräume (<300 m) werden insbesondere kurz nach dem Ausflug bzw. vor dem Einflug genutzt. Ebenso spielen diese proximalen Nahrungsräume in den ersten Wochen des eigenständigen Jagens zum Überleben der Jungtiere eine überaus große Rolle. Günstige Nahrungsräume in hoher Dichte müssen in mittleren Distanzen bis maximal 3,5-4 km Entfernung zum Wochenstubenquartier liegen, darüber hinaus ist eine günstige Landschaftsstruktur mit natürlichen Leitlinien bis in 12 km Entfernung notwendig. Neben dem unmittelbaren Schutz der Quartiergebäude, muss die ökologische Lebensraumkapazität für die Art gesichert und erhöht werden.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden im Auftrag und der Unterstützung der Natur- und Forstverwaltung Luxemburgs, des Naturschutzsyndikates und der Biologische Station SICONA (Olm) sowie des Nachhaltigkeitsministeriums Luxemburg (Departement Environnement), durchgeführt.

Netzfänge sowie Besenderung und Telemetrie wurden vom Nachhaltigkeitsministeriums genehmigt. Der Dank der Autoren gilt insbesondere Gilles Biver (MDDI), Dr. Simone Schneider; Yves Schaak, Liza Glesener, Mara Lang und Fernand Klopp (Biologische Station/SICONA) für die produktive Zusammenarbeit und den betroffenen Landwirten und Gebäudeeigentümern für die hilfreiche Kooperation und den Zugang zu den Viehställen und Quartieren. Für die seit Jahren hohe Motivation bei der Feldarbeit bedanken wir uns u.a. bei Kathrin Bögelsack, Axel Krannich, Alexander Weiß und Mona Weitzel. Für die hilfreichen Hinweise zum Manuskript bedanken wir uns herzlich bei Lisa Höcker sowie Aaron Hoonibal (Abstract).

Bibliographie

Aldridge, H. D. J. N. & R. M. Brigham, 1988. Load carrying and maneuverability in an insectivorous bat: a test of the 5% "rule" of radio-telemetry. *Journal of Mammalogy* 69 (2): 379–382.

Battersby, J., 2010. Guidelines for Surveillance and Monitoring of European Bats. EUROBATS Publication Series No. 5. UNEP / EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany: 95 pp.

Brinkmann, R., E. Hensle & C. Steck, 2004. Untersuchungen zur Quartiernutzung einer Kolonie der Wimperfledermaus (*Myotis emarginatus*) in Freiburg i. Br. *Mitt. bad. Landesver. Naturkunde u. Naturschutz* 18 (3): 129–143.

De la Fontaine, A., 1868. Faune du pays de Luxemboug, Mammifères - Première Partie. Imprimerie Buck, Luxembourg: 115 pp.

Dekker, J. J., J. R. Regelink, E. A. Jansen, R. Brinkmann & H. J. G. A. Limpens, 2013. Habitat use by female Geoffroy's bats (*Myotis emarginatus*) at its two northernmost maternity roosts and the implications for their conservation. *Lutra* 56 (2):111-120.

Dietz, C., O. von Helversen & D. Nill, 2007. Handbuch der Fledermäuse Europas und Nordwestafrikas. Biologie, Kennzeichen, Gefährdung. Kosmos Verlag, Stuttgart: 400 S.

Dietz, M., J. B. Pir & J. Hillen, 2013. Does the survival of greater horseshoe bats and Geoffroy's bats in Western Europe depend on traditional cultural landscapes? *Biodiversity and Conservation* 22 (13-14): 3007–3025.

European Commission / Ministère du Développement Durable et des Infrastructures (MDDI), 2013. National Summary for Article 17 reporting 2007-2012 for Luxembourg: 24 pp.

Faber, T. & C. Meisch, 1978. Bilan provisoire du recensement des populations de chauves-souris au Grand-Duchè de Luxembourg. *Bull. Centre de Baguement et de Recherche des Chiroptères de Belgique* 5: 68–73.

Ferrant, V., 1931. Faune du Grand-Duchè de Luxembourg. 4ième partie Mammifères. Imprimerie Buck, Luxembourg: 115 pp.

FFH-Richtlinie, 1992. Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, Reihe L 206.

Flaquer, C., X. Puig-Montserrat, A. Burgas & D. Russo, 2008. Habitat selection by Geoffroy's bats (*Myotis emarginatus*) in a rural Mediterranean landscape: implications for conservation. *Acta Chiropterologica* 10 (1): 61–67.

Friemel, D. & A. Zahn, 2004. Wimperfledermaus *Myotis emarginatus* (Geoffroy, 1806). *In* Meschede A. & B.-U. Rudolph, editors. Fledermäuse in Bayern. Ulmer Verlag, Stuttgart: 166–176.

Gaisler, J., 1971. Zur Ökologie von *Myotis emarginatus* in Mitteleuropa. *Decheniana-Beihefte* 18: 71–82.

Getz, W. M., S. Fortmann-Roe, P. C. Cross, A. J. Lyons, S. J. Ryan & C. C. Wilmers, 2007. LoCoH: Nonparameteric Kernel Methods for Constructing Home Ranges and Utilization Distributions. Plos One 2 (2): e207.

Goiti, U., J. Aihartza, M. Guiu, E. Salsamendi, D. Almenar, M. Napal & I. Garin, 2011. Geoffroy's bat, *Myotis emarginatus*, preys preferentially on spiders in multistratified dense habitats: a study of foraging bats in the Mediterranean. *Folia Zoologica* 60: 17–24.

Güttinger, R., A. Zahn, F. Krapp & W. Schober, 2001. *Myotis myotis* (Borkhausen, 1797) – Großes Mausohr, Großmausohr. - In: Krapp, F. (Hrsg.): Handbuch der Säugetiere Europas, Band 4: Fledertiere, Teil I: Chiroptera I. – Wiebelsheim (Aula-Verlag): 123-207.

Harbusch, C., E. Engel & J. B. Pir, 2002. Die Fledermäuse Luxemburgs (Mammalia: Chiroptera). Luxembourg. Ferrantia 33: 152 pp.

Hallmann, C.A., M. Sorg, E. Jongejans, H. Siepel, N. Hofland, H. Schwan, W. Stenmanns, A. Müller, H. Sumser, T. Hörren, D. Goulson & H. de Kroon, 2017. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. PlosOne https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809

Huet, R., L. Arthur, N. DelGiudice & M. Lemaire, 2004. Territoire et habitats de chasse du Vespertilion à oreilles échancrées: premiers résultats du radiopistage dans le Cher (France). *Symbioses, nouv. série* 10 : 19-20.

ITN – Institut für Tierökologie und Naturbildung, 2009. Habitatnutzung der Wimperfledermaus in Luxemburg. Unveröffentl. Gutachten im Auftrag der Forstverwaltung des Landes Luxemburg: 73 S.

ITN – Institut für Tierökologie und Naturbildung, 2012. Wochenstubenquartiere der Wimperfledermaus *Myotis emarginatus* in Luxemburg - Schutzmaßnahmenkonzept Bericht 2012. Unveröffentl. Gutachten im Auftrag des Naturschutzsyndikats und Biologische Station SICONA, Gonterskirchen.

ITN – Institut für Tierökologie und Naturbildung, 2015. Wochenstubenquartiere der Wimperfledermaus *Myotis emarginatus* in Platen und Ospern. Ergebnisse der Untersuchungen 2014 und 2015. Unveröffentl. Gutachten im Auftrag des Naturschutzsyndikates SICONA-Ouest und Biologische Station SICONA, Gonterskirchen: 47 S.

ITN – Institut für Tierökologie und Naturbildung, 2016. Suche eines Ausweichquartieres der Wimperfledermauskolonie in Lintgen/Luxemburg. Unveröffentl. Gutachten im Auftrag des Ministère du Développement Durable et des Infrastructures, Département de l'Environnement, Gonterskirchen: 25 S.

ITN – Institut für Tierökologie und Naturbildung. 2017. Suche von Wochenstubenkolonien der Wimperfledermaus *Myotis emarginatus* in ausgewählten Regionen Luxemburgs. Ergebnisse der Untersuchung im Jahr 2016. Gonterskirchen. 21 S.

Kretzschmar, F., 2003. Die Wimperfledermaus *Myotis emarginatus* (Geoffroy, 1806). Pages 396–405 In: Braun M. & F. Dieterlen (eds.). Die Säugetiere Baden-Württembergs. Verlag E. Ulmer, Stuttgart: 396-405.

Krull, D., A. Schumm, W. Metzner & G. Neuweiler, 1991. Foraging areas and foraging behavior in the notch-eared bat, *Myotis emarginatus* (Vespertilionidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology* 28: 247–253.

Mech, L. D., 1986. Handbook of Animal Radio-Tracking. U.S. Fishery and Wildlife Service, University of Minnesota, editors. University of Minnesota Press, Minneapolis: 120 pp.

Ministère du développement durable et des infrastructures (MDDI), 2017. Plan National concernant la Protection de la Nature 2017-2021: 111 pp.

Pir, J. B., 2004. Untersuchungen zur Ökologie der Wimperfledermaus (*Myotis emarginatus* Geoffrey, 1806). Thèse (travail de candidature non publié), Ministère de l'Éducation nationale Luxembourg: 170 S.

Racey, P. A. & A. C. Entwistle, 2003. Conservation Ecology of Bats. In: Kunz T.H. & M.B. Fenton, editors. Bat ecology. University of Chicago Press, London: 680–743.

Roer, H. & P. Gudendorf, 1994. Untersuchungen an einer im Moseltal/Luxemburg ansässigen Kolonie der Grossen Hufeisennase (*Rhinolophus ferrumequinum*) mit besonderer Berücksichtigung der Populationsentwicklung 1982-92. *Folia Zoologica* 43 (4): 411-416.

Siemers, B. M. & H.-U. Schnitzler, 2004. Echolocation signals reflects niche differentiation in five sympatric congeneric bat species. *Nature* 429: 657-661.

Steck, C. & R. Brinkmann, 2015. Wimperfledermaus, Bechsteinfledermaus und Mopsfledermaus - Einblicke in die Lebensweise gefährdeter Arten in Baden-Württemberg. Haupt-Verlag, Bern: 200 S.

Steck, C. E. & R. Brinkmann, 2006. The trophic niche of the Geoffroy's bat (*Myotis emarginatus*) in south-western Germany. *Acta Chiropterologica* 8 (2): 445–450.

Topál, G., 2001. *Myotis emarginatus* (Geoffroy, 1806). Wimperfledermaus. In: Niethammer, J. & F. Krapp (Hrsg.): Handbuch der Säugetiere Europas. Band 4: Fledertiere. Aula Verlag: 369-404.

White, G. C. & R. A. Garrott, 1990. Analysis of wildlife radio-tracking data. Academic Press, San Diego: 383 pp.

Wickramasinghe, L. P., S. Harris, G. Jones & N. Vaughan Jennings, 2004. Abundance and Species Richness of Nocturnal Insects on Organic and Conventional Farms: Effects of Agricultural Intensification on Bat Foraging. *Conservation Biology* 18 (5): 1283–1292.

Wickramasinghe, L. P., S. Harris, G. Jones & N. Vaughan, 2003. Bat activity and species richness on organic and conventional farms: impact of agricultural intensification. *Journal of Applied Ecology* 40 (6): 984–993.

Zahn, A., S. Bauer, E. Kriner & J. Holzhaider, 2010. Foraging habitats of *Myotis emarginatus* in Central Europe. *European Journal of Wildlife Research* 56: 395–400.

Zahn, A., & B. Henatsch, 1998. Bevorzugt *Myotis emarginatus* kühlere Wochenstubenquartiere als *Myotis myotis*? *Zeitschrift für Säugetierkunde* 63: 26–31.