
Zur Bedeutung von Auen als Leitlinien und Nahrungshabitate für Fledermäuse

Michaela Gerges



München 2017

Zur Bedeutung von Auen als Leitlinien und Nahrungshabitate für Fledermäuse

Michaela Gerges

DISSERTATION

der Fakultät für Biologie
der Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt von
MICHAELA GERGES
aus München

München, den 27. März 2017

1. Gutachter:

PD Dr. Andreas Zahn

2. Gutachter:

Prof. Dr. Herwig Stibor

Tag der Abgabe:

27.03.2017

Tag der mündlichen Prüfung:

23.10.2017

Inhalt

ZUSAMMENFASSUNG.....	8
SUMMARY.....	10
1 EINLEITUNG	12
1.1 MIGRATIONEN BEI FLEDERMÄUSEN	12
1.1.1 Grundlagen	12
1.1.2 Migrationen der Fledermäuse Europas.....	14
1.1.3 Methoden der Migrationsforschung.....	16
1.1.3.1 Beringung.....	16
1.1.3.2 Molekulare Methoden.....	17
1.1.3.3 Telemetry	19
1.1.3.4 Phänologische Untersuchungen.....	21
1.1.4 Navigation und Orientierung	21
1.2 AUEN ALS FLEDERMAUSHABITATE	23
1.2.1 Bedeutung von Auenlebensräumen für Fledermäuse.....	23
1.2.2 Entwicklung und Zustand der Auen Deutschlands.....	25
1.2.3 Innauen.....	26
1.2.4 Salzachauen	27
1.3 STILLGEWÄSSER ALS FLEDERMAUSHABITATE	28
1.4 ÜBERSICHT WANDERVERHALTEN UND AUWALDNUTZUNG BAYERISCHER FLEDERMAUSARTEN	30
1.5 FRAGESTELLUNG UND ZIELSETZUNG DER VORLIEGENDEN ARBEIT	33
2 MATERIAL UND METHODEN.....	36
2.1 UNTERSUCHUNGSSTANDORTE	36
2.1.1 Untersuchungsgebiet.....	36

2.1.2	Standortauswahl	36
2.2	DATENAUFNAHME	39
2.2.1	Aufzeichnung von Lautaufnahmen.....	39
2.2.2	Durchführung von Netzfängen	39
2.2.3	Erfassung des Nahrungsangebotes.....	40
2.2.4	Aufzeichnung der Temperatur.....	40
2.2.5	Erfassung des Quartierangebotes	40
2.3	DURCHFÜHRUNG	41
2.3.1	Ablauf.....	41
2.3.2	Versuchsaufbau Flusssystem Inn	41
2.3.3	Versuchsaufbau Flusssystem Salzach	45
2.4	DATENAUSWERTUNG.....	48
2.4.1	Auswertungsverfahren Lautaufnahmen	48
2.4.1.1	<i>Errechnung der Fledermausaktivität.....</i>	<i>48</i>
2.4.1.2	<i>Artgruppen.....</i>	<i>49</i>
2.4.2	Auswertungsverfahren Nahrungsangebot.....	50
2.4.3	Auswertungsverfahren Temperaturdaten.....	50
2.5	STATISTISCHE DATENANALYSE.....	50
2.5.1	Lineare gemischte Modelle	50
2.5.2	Korrelationen nach Spearman	52
2.5.3	Wilcoxon-Rangsummen-Tests	52
3	ERGEBNISSE	53
3.1	NACHGEWIESENE FLEDERMAUSARTEN.....	53
3.2	LAUTAUFNAHMEN.....	55
3.3	NETZFÄNGE.....	56
3.4	NAHRUNGSANGEBOT.....	57
3.5	TEMPERATUR	62

<i>Inhalt</i>	6
<hr/>	
3.6	QUARTIERANGEBOT 67
3.7	PHÄNOLOGIE DER FLEDERMAUSAKTIVITÄT..... 70
3.7.1	Übersicht..... 70
3.7.2	Weitstreckenwandernde Fledermausarten..... 74
3.7.2.1	<i>Pipistrellus nathusii</i> 74
3.7.2.2	<i>Nyctalus noctula</i> 77
3.7.2.3	<i>Vespertilio murinus</i> / <i>Eptesicus serotinus</i> 80
3.7.3	Kurzstreckenwandernde und ortstreue Fledermausarten 83
3.7.3.1	<i>Myotis daubentonii</i> / <i>mystacinus</i> / <i>brandtii</i> 83
3.7.3.2	<i>Pipistrellus pipistrellus</i> 86
3.7.3.3	<i>Eptesicus nilssonii</i> 89
3.7.3.4	<i>Pipistrellus pygmaeus</i> 92
3.7.3.5	<i>Barbastella barbastellus</i> 95
3.7.3.6	<i>Myotis myotis</i> 97
4	DISKUSSION..... 100
4.1	METHODENDISKUSSION 100
4.1.1	Möglichkeiten und Grenzen der akustischen Fledermauserfassung... 100
4.1.2	Ergänzende Netzfänge 101
4.1.3	Insektenzählungen..... 103
4.2	STANDORTPARAMETER..... 104
4.2.1	Nahrungsangebot in Flussauen und an Stillgewässern 104
4.2.2	Temperatur im Jahresverlauf 105
4.2.3	Einfluss von Landschaftsparametern auf die Fledermausaktivität an den Untersuchungsstandorten..... 106
4.2.4	Vorhandenes Quartierangebot an den Untersuchungsstandorten 110
4.3	BEOBACHTETE JAHRESPHÄNOLOGIEN..... 112
4.3.1	Weitstreckenwandernde Fledermausarten..... 112
4.3.1.1	<i>Pipistrellus nathusii</i> 112
4.3.1.2	<i>Nyctalus noctula</i> 113

4.3.1.3	<i>Vespertilio murinus</i> / <i>Eptesicus serotinus</i>	114
4.3.2	Kurzstreckenwandernde und ortstreue Fledermausarten	115
4.3.2.1	<i>Myotis daubentonii</i> / <i>mystacinus</i> / <i>brandtii</i>	115
4.3.2.2	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	116
4.3.2.3	<i>Eptesicus nilssonii</i>	117
4.3.2.4	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	118
4.3.2.5	<i>Barbastella barbastellus</i>	118
4.3.2.6	<i>Myotis myotis</i>	119
4.4	BEDEUTUNG DER INN- UND SALZACHAUEN FÜR DIE MIGRATION VON FLEDERMÄUSEN	119
4.5	EINSTUFUNG VON INN- UND SALZACHAUEN ALS NAHRUNGSHABITATE FÜR FLEDERMÄUSE	123
4.6	HINWEISE FÜR DIE LANDSCHAFTSPLANUNG	124
4.7	FAZIT	126
	REFERENZEN	128
	DANKSAGUNG	154
	EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG	156

Zusammenfassung

Auf der Suche nach Nahrung und geeigneten Quartieren unternehmen viele Fledermausarten jahreszeitliche Wanderungen. In Europa gehören zu den typischen Zugfledermäusen unter anderem der Große und der Kleine Abendsegler (*Nyctalus noctula* und *Nyctalus leisleri*) sowie die Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*).

Gleichzeitig sind alle in Deutschland heimischen Fledermausarten nicht nur nach dem Bundesnaturschutzgesetz, sondern auch durch verschiedene internationale Abkommen streng geschützt. Um Schutzmaßnahmen sinnvoll gestalten zu können, ist in vielen Fällen jedoch eine möglichst genaue Kenntnis über das Migrationsverhalten europäischer Fledermauspopulationen entscheidend. Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang die Frage, ob feste Zugrouten oder Rastplätze existieren, die die Fledermäuse auf ihren Wanderungen zwischen den Sommer- und Winterquartieren regelmäßig aufsuchen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Bedeutung von Flussauen als Leitlinien und Nahrungshabitate für wandernde Fledermausarten im nördlichen Voralpenraum einzuschätzen. Hierfür wurden im Rahmen einer phänologischen Studie die beiden Gebirgsflüsse Inn und Salzach untersucht. Die Fledermausaktivität in den Flussauen wurde mithilfe von automatisierten Lautaufnahmesystemen (*batcordern*) jeweils während der Migrationsphasen im Frühling und Herbst sowie während der Wochenstubenzeit im Sommer erfasst und mit derjenigen in ökologisch ähnlichen Habitaten abseits der Auen (d. h. an Stillgewässern) verglichen. Ergänzend zu den Lautaufnahmen wurden Netzfänge durchgeführt, um nähere Informationen zu Geschlecht, Alter und Reproduktionsstatus der Tiere zu erhalten sowie auch solche Fledermausarten zu erfassen, die mittels Lautaufnahmen nur schwer nachzuweisen sind. Darüber hinaus wurden Daten zu Temperatur, Nahrungs- und Quartierangebot erhoben.

Nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit scheinen die Flussläufe von Inn- und Salzach nicht grundsätzlich als Migrationsachsen für Fledermäuse zu dienen. Lediglich bei der Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) deutet sich eine Nutzung der Flussauen als Leitlinien an, während potentielle Wanderbewegungen der restlichen untersuchten Fledermausarten im Untersuchungsgebiet eher in breiter Front zu verlaufen scheinen. Vermutlich sind die Tiere in der Lage, gute Nahrungshabitate unabhängig von einer großräumigen Anbindung an lineare

Landschaftselemente aufzusuchen und zu nutzen. Darüber hinaus könnten sowohl die Auwälder selbst als auch flussnah gelegene Städte und Siedlungen für einige Fledermausarten eine besondere Bedeutung als Überwinterungsgebiete besitzen.

Die meisten der untersuchten Fledermausarten zeigen keine eindeutigen Präferenzen hinsichtlich eines bestimmten Gewässertyps, über alle Arten hinweg betrachtet ist jedoch eine leichte Bevorzugung der Stillgewässer als Jagdhabitats gegenüber den Fließgewässern zu beobachten.

Im Jahresverlauf betrachtet fällt auf, dass während der Migrationszeit bei vielen Fledermausarten ein enger Zusammenhang zwischen Aktivität und Nahrungsangebot besteht, was in der Wochenstubezeit im Sommer nicht zu beobachten ist. Dies weist darauf hin, dass die Tiere im Untersuchungsgebiet in den Migrationsphasen besonders stark auf die Existenz nahrungsreicher Jagdhabitats angewiesen sind.

Summary

Many bat species migrate seasonally in search for roosting sites or habitats with abundant food supply. Typical European migratory species are, e.g., the Noctule Bat (*Nyctalus noctula*), Leisler's Bat (*Nyctalus leisleri*) and Nathusius's Pipistrelle Bat (*Pipistrellus nathusii*).

In Germany, all bat species are strictly protected by the Federal Nature Conservation Act and by several international conservation agreements. In order to implement protective measures in reasonable and effective ways, detailed knowledge of migration patterns in European bat populations is mostly crucial. In this context, the existence of potential migratory corridors or stopover habitats that are visited regularly by bats on their migratory journeys between breeding areas and hibernation areas is of particular interest.

The aim of the present study was to evaluate the importance of rivers and adjacent riparian landscapes as guidelines and foraging habitats for migrating bats in the northern Alpine range. For this purpose, two mountain rivers (Inn and Salzach) were investigated by means of a phenological approach. Bat activity was recorded at the riversides using automated recording systems (*batcorder*) during the migratory seasons in spring and fall and during the nursery seasons in summer. The observations were compared with bat activity in ecologically similar habitats with no proximity to rivers, i.e., at lakes. In addition, bats were captured with mist nets to gather information on sex, age and reproductive status as well as to differentiate among species with similar echolocation calls. Furthermore, data on air temperature, food abundance and the availability of roosting sites were collected.

The results of the present study show that the rivers Inn and Salzach do not generally serve as migratory corridors for bats. Merely for Nathusius's Pipistrelle Bat (*Pipistrellus nathusii*), indications for a function of the rivers as landmarks can be observed. These findings support the hypothesis that most migratory movements of bats within the study area seem not to be confined to linear landmarks. It furthermore indicates that bats are able to locate and make use of habitats with high food abundance irrespective of their connectivity to linear landscape elements. Beyond that, riparian forests as well as towns and villages close to the rivers can serve as hibernation areas for some bat species.

Most of the investigated bat species show no clear preference for a certain type of water body (i.e., rivers or lakes). However, when regarding total bat activity across all bat species, a slight preference for lakes as foraging habitats can be detected.

Throughout the year, many bat species reveal a high correlation between bat activity and food abundance during the migration periods, but not during the nursery seasons in summer. This underlines the special importance of habitats with high food abundance during the migratory seasons for bats in the investigated area.

1 Einleitung

1.1 Migrationen bei Fledermäusen

1.1.1 Grundlagen

Viele Tierarten unternehmen auf der Suche nach Nahrung oder geeigneten Quartieren jahreszeitlich bedingte Wanderungen (ALERSTAM ET AL. 2003, BOWLIN ET AL. 2010, MILNER-GULLAND ET AL. 2011). Unter den Säugetieren finden solche saisonalen Migrationsbewegungen unter anderem in der Gruppe der Fledermäuse (Chiroptera) statt (GRIFFIN 1970, POPA-LISSEANU & VOIGT 2009). Obwohl im globalen Artenspektrum der Fledermäuse nur ca. 3 % der rezenten Arten Wanderungen über längere Strecken unternehmen (BISSON ET AL. 2009), scheinen Migrationen im Lebenszyklus einiger Spezies doch eine bedeutende Rolle zu spielen.

Antrieb für die Migrationen der Fledermäuse sind in der Regel saisonal schwankende klimatische Bedingungen wie Kälteperioden im Winter oder ein jahreszeitlich bedingter Nahrungsmangel (NEUWEILER 1993). Das macht bei den insektivoren Arten der gemäßigten Breiten einen Wechsel zwischen kältegeschützten Winterquartieren einerseits und nahrungsreichen Sommerhabitaten andererseits nötig. In den Tropen und Subtropen migrieren beispielsweise nektarivore oder frugivore Fledermausarten, um räumlich und zeitlich begrenzte Nahrungsangebote an Blüten und Früchten zu nutzen (FLEMING ET AL. 1993, HODGKISON ET AL. 2004, MORENO-VALDEZ ET AL. 2000, MORENO-VALDEZ ET AL. 2004, RICHTER & CUMMING 2006, ROJAS-MARTINEZ ET AL. 1999). Dafür werden mitunter hohe Kosten und Risiken in Kauf genommen: Der durch die Migrationsphasen bedingte Zeit- und Energieaufwand ist hoch und unterwegs können Räuber, Quartier- und Nahrungsknappheit oder ungünstige klimatische Bedingungen das Mortalitätsrisiko erhöhen (FLEMING & EBY 2003, TUTTLE & STEVENSON 1977).

Im Laufe der Evolution ist das Migrationsverhalten in der Gruppe der Fledermäuse wohl mehrmals unabhängig voneinander entstanden und weist eine große phänologische Flexibilität auf (BISSON ET AL. 2009, POPA-LISSEANU & VOIGT 2009). Diese Flexibilität äußert sich unter anderem darin, dass die Bereitschaft zu migrieren und das Ausmaß der unternommenen Wanderungen auch innerhalb einer Spezies deutlich variieren können. So zeigen manche Arten ein sogenanntes Teilzugverhalten, d. h. manche Populationen einer Art wechseln zwischen

verschiedenen Lebensräumen, während andere Populationen derselben Art sesshaft bleiben (CRYAN 2003, FLEMING & EBY 2003, NEUWEILER 1993). Auch das Ausmaß und die Dauer der Migrationen können sehr unterschiedlich sein: sie reichen von sogenannten Mittel- oder Kurzstreckenwanderungen über wenige hundert Kilometer bis hin zu Weitreckenwanderungen über Distanzen von bis zu zweitausend Kilometern (HUTTERER ET AL. 2005), bei denen die Tiere auch große ökologische Barrieren wie Meere oder Gebirge überwinden können (AHLEN ET AL. 2009, BONTADINA ET AL. 2015, BOSHAMER & BEKKER 2008, CRYAN & BROWN 2007, DONDINI ET AL. 2012, HUTTERER ET AL. 2005, REITER & WIDERIN 2014, SCHMIDT 2004, ZINGG & BONTADINA 2016). Neben diesen regionalen und überregionalen längsgerichteten Zugbewegungen unternehmen Fledermäuse in bergigen Regionen vermutlich auch regelmäßig kürzere Wanderungen über verschiedene Höhenlagen hinweg, sogenannte Höhenwanderungen (CRYAN & VEILLEUX 2007, ESBERARD ET AL. 2011, HERRERA 1997, MCGUIRE & BOYLE 2013, VOIGT ET AL. 2014). In den gemäßigten Breiten scheint dabei oft eine temporäre Geschlechtertrennung stattzufinden: Während die Weibchen im Sommer in tiefere Regionen wandern, um sich dort in ihren Wochenstuben zusammen zu finden, verbleiben die Männchen zu dieser Jahreszeit zumindest teilweise auch in den höheren Lagen (BARCLAY 1991, CRYAN ET AL. 2000, HOLZHAIDER & ZAHN 2001, NEUBAUM ET AL. 2006, RUSSO 2002).

Auch gibt es Hinweise auf besondere physiologische Anpassungen der Fledermäuse an die Migrationen, wie z. B. Veränderungen des Verdauungssystems und der Lokomotionsorgane oder das Anlegen von Fettreserven als Energiespeicher (EWING ET AL. 1970, FLEMING & EBY 2003, MCGUIRE ET AL. 2013, O'SHEA 1976). Ein erhöhtes Körpergewicht durch gespeichertes Fettgewebe bringt jedoch auch höhere energetische Kosten und eine geringere Manövrierfähigkeit im Flug mit sich (ALDRIDGE & BRIGHAM 1988, HUGHES & RAYNER 1991, MACAYEAL ET AL. 2011). Um diese zusätzlichen Belastungen gering zu halten, werden die Wanderungen vermutlich entweder in mehreren Etappen bewältigt und regelmäßig von kurzen Zwischenstopps zur Nahrungsaufnahme unterbrochen („*stopover*“-Strategie) oder die Tiere jagen während des Migrationsfluges („*fly-and-forage*“-Strategie) (AHLEN ET AL. 2009, FLEMING & EBY 2003, HEDENSTRÖM 2009, MCGUIRE ET AL. 2012, PETERSONS 2004, SUBA ET AL. 2012, VOIGT ET AL. 2012). Ebenso kann die Fähigkeit tagsüber in Torpor überzugehen helfen, die energetischen Kosten während der Migration zu

reduzieren (MCGUIRE & GUGLIELMO 2009, MCGUIRE ET AL. 2012, MCGUIRE ET AL. 2014).

1.1.2 Migrationen der Fledermäuse Europas

Auch in Europa gibt es typische wandernde Fledermausarten wie den Großen und den Kleinen Abendsegler (*Nyctalus noctula* und *Nyctalus leisleri*), die Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) und die Zweifarbfledermaus (*Vespertilio murinus*) (DIETZ ET AL. 2007, HUTTERER ET AL. 2005, MESCHEDE & HELLER 2002, NEUWEILER 1993, SKIBA 2009) (siehe auch Tabelle 1.1, S. 33). Sie gehören zu den sogenannten Weistreckenwanderern, die Distanzen von 1 000 bis knapp 2 000 Kilometern in wenigen Wochen zurücklegen können (FLEMING & EBY 2003, HUTTERER ET AL. 2005, PETERSONS 2004). Auf ihren Wanderungen durchqueren sie Europa zweimal jährlich, um im Sommer das gute Nahrungsangebot im Nordosten zu nutzen und den Winter in den klimatisch günstigeren Regionen in Südwest- und dem südwestlichen Mitteleuropa zu verbringen (HUTTERER ET AL. 2005, PETERSONS 2004). Bei den Weistreckenwanderern handelt es sich in der Regel um schnell fliegende Arten des offenen Luftraumes, die in oberirdischen Quartieren wie Baumhöhlen oder Felsspalten überwintern und damit während des Winterschlafs einer erhöhten Frostgefahr ausgesetzt sind (DIETZ ET AL. 2007, FLEMING & EBY 2003). Auch weisen sie mit üblicherweise zwei statt einem Jungtier pro Jahr eine höhere Reproduktionsrate auf als viele standorttreue Fledermausarten und können damit unter Umständen eine durch die Migration erhöhte Mortalitätsrate besser ausgleichen (DIETZ ET AL. 2007, SKIBA 2009). Es wird vermutet, dass sie auf ihren Wanderungen durchschnittlich ca. 30 bis 50 Kilometer pro Nacht zurücklegen (DIETZ ET AL. 2007). Für die Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) beispielsweise errechnete HEDENSTRÖM (2009) eine theoretische Migrationsgeschwindigkeit von 24 bis 46 km/Nacht und PETERSONS (2004) konnte mit Hilfe von Beringungsstudien eine durchschnittliche Migrationsgeschwindigkeit von 47,8 km/Nacht feststellen. Große Abendsegler (*Nyctalus noctula*) können aber wohl auch deutlich mehr als 100 km/Nacht erreichen (MESCHEDE & HELLER 2002, WEID 2002), ein Tier bewältigte sogar nachweislich 180 km in einer Nacht (DECHMANN ET AL. 2014). Dabei finden die Zugbewegungen im Frühling zwischen Anfang April und Ende Mai statt, während sich die Herbstmigration über einen etwas längeren Zeitraum von Anfang August bis Ende Oktober erstreckt (DIETZ ET AL. 2007, JARZEMBOWSKI 2003, MESCHEDE &

RUDOLPH 2004, WEID 2002). Auch einige der europäischen Weistreckenwanderer weisen geschlechtsspezifische Unterschiede in ihrem Migrationsverhalten auf (Teilzieher): Während die Weibchen im Frühling in weiter nördlich gelegene, nahrungsreiche Sommerhabitate fliegen, bleibt zumindest ein Teil der Männchen im Winterquartier oder im Durchzugsgebiet der Weibchen, wo sie im Herbst auch ihre Paarungsquartiere beziehen. In Europa ist eine solche großräumige Geschlechtertrennung im Sommerhalbjahr beispielsweise beim Großen und Kleinen Abendsegler (*Nyctalus noctula* und *Nyctalus leisleri*) und der Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) beobachtet worden (ESTOK 2007, GEBHARD 1997, HELVERSEN & WEID 1990, IBANEZ ET AL. 2009, JARZEMBOWSKI 2003). Mögliche Gründe für dieses Verhalten sind unterschiedliche Ansprüche der Geschlechter an Quartiere und Lebensräume im Jahresverlauf, eine Verringerung der intraspezifischen Konkurrenz im Sommerhabitat und eine Vermeidung der riskanten und kostenintensiven Migration für die Männchen (CRYAN 2003, DIETZ ET AL. 2007).

Außer den Weistreckenwanderern gibt es unter den europäischen Fledermausarten auch noch sogenannte Mittel- oder Kurzstreckenwanderer (Regionale Wanderer) wie z. B. das Große Mausohr (*Myotis myotis*), die Brandtfledermaus (*Myotis brandtii*), die Bartfledermaus (*Myotis mystacinus*), die Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*), die Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*), die Nordfledermaus (*Eptesicus nilssonii*) oder die Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*), die jährlich Distanzen von bis zu einigen hundert Kilometern zurücklegen (DIETZ ET AL. 2007, HUTTERER ET AL. 2005, MESCHÉDE & HELLER 2002). Sie überwintern oft in frostgeschützten, unterirdischen Quartieren wie Höhlen oder Stollen, die sie beispielsweise in den europäischen Mittelgebirgen oder den Kalkalpen vorfinden, und verbringen das Sommerhalbjahr in tiefer gelegenen und nahrungsreicheren, aber höhlenarmen Ebenen (DIETZ ET AL. 2007). Je nach den geographischen Gegebenheiten weisen ihre Wanderbewegungen daher oft keine einheitliche Vorzugsrichtung auf, sondern die Tiere wandern je nach regionaler Verfügbarkeit geeigneter Quartiere und Habitate eher radiär in der Umgebung ihrer Sommer- oder Winterstandorte (DIETZ ET AL. 2007, HUTTERER ET AL. 2005).

Ihnen gegenüber stehen die überwiegend ortstreuen europäischen Arten, z. B. Hufeisennasen (Gattung *Rhinolophus*), Langohrfledermäuse (Gattung *Plecotus*) und einige *Myotis*-Arten wie die Bechstein- oder die Fransenfledermaus (*Myotis bechsteinii* und *Myotis nattereri*), die in der Regel nur kurze Strecken von weniger als

100 Kilometern zurücklegen (HUTTERER ET AL. 2005). Ihre Wanderungen beschränken sich meist auf die geringen Distanzen zwischen ihren Winterquartieren und den nahegelegenen Wochenstuben (DIETZ ET AL. 2007, FLEMING & EBY 2003).

Insgesamt ist über viele Aspekte des Migrationsverhaltens bei Fledermäusen, verglichen beispielsweise mit Vögeln, noch relativ wenig bekannt. Das mag zum einen daran liegen, dass bei den Fledermausarten der gemäßigten Breiten (anders als bei Zugvögeln) nicht die Migration, sondern der Winterschlaf als Hauptstrategie dient, um Ressourcenknappheit zu überstehen (MILNER-GULLAND ET AL. 2011, POPA-LISSEANU & VOIGT 2009, WILCOVE & WIKELSKI 2008). Zum anderen sind die Zugbewegungen der nachtaktiven Tiere weniger offensichtlich, und die Bedeutung von Wanderungen im ihrem Lebenszyklus wurde daher lange Zeit unterschätzt (HUTTERER ET AL. 2005).

1.1.3 Methoden der Migrationsforschung

1.1.3.1 Beringung

Um mehr über das Wanderverhalten von Fledermäusen zu erfahren, wurde in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in Nordamerika und Europa mit der Durchführung von Beringungsstudien begonnen (EISENTRAUT 1934, ELLISON 2008, GRIFFIN 1936, HUTTERER ET AL. 2005). Im Rahmen dieser Programme wurden einzelne Tiere mit nummerierten, am Unterarm befestigten Metall- oder Plastikringen individuell markiert, und die Daten über die Wiederfunde der beringten Tiere gesammelt. Im Laufe der Jahre stellte sich jedoch heraus, dass die Markierungsringe unter Umständen Verletzungen verursachen können (BAKER ET AL. 2001, DIETZ ET AL. 2006, HERREID ET AL. 1960, PERRY & BECKETT 1966). Dies wurde sogar in Kombination mit den Störungen durch das Fangen und Beringen der Fledermäuse, vor allem in ihren Quartieren, für den Rückgang mancher Populationen mit verantwortlich gemacht (ELLISON 2008, GAISLER & CHYTIK 2002, MOHR 1972). Aus diesen Gründen wurden viele Beringungsprogramme in den 1970er Jahren wieder eingestellt (MESCHÉDE & RUDOLPH 2004, NEUWEILER 1993). Erst seit den 1990er Jahren nimmt die Anzahl entsprechender Studien mit der Entwicklung besserer Materialien und einer schonenderen Handhabung wieder zu (DIETZ ET AL. 2006).

Dennoch wurden in Nordamerika allein im Rahmen des „Bat Banding Program“ der US-amerikanischen Regierung zwischen 1932 und 1972 über eine Millionen Fledermäuse aus 36 Arten beringt und ungefähr 59 000 Wiederfunde gemeldet

(ELLISON 2008). Auch in Europa wurden in den letzten 80 Jahren in 35 Ländern ca. eine Million Individuen aus ebenfalls 36 Arten mit Ringen versehen, mit deren Hilfe über 7 000 Migrationsbewegungen verfolgt werden konnten (HUTTERER ET AL. 2005). Auf diese Weise wurde bis heute eine beachtliche Datengrundlage geschaffen, die unter anderem Aufschluss darüber gibt, welche Arten wandern und wie weit die dabei zurückgelegten Distanzen sind.

Trotz dieser wichtigen Erkenntnisse hat die systematische Beringung als Forschungsmethode auch einige Nachteile. So ist z. B. die Wiederfangquote beringter Fledermäuse insgesamt eher gering, vor allem wenn darauf verzichtet werden soll, die Tiere durch gezieltes Suchen und Wiederfänge in ihren Quartieren zu stören (siehe z. B. TUTTLE & STEVENSON (1977) mit einer Wiederfangquote von 0,2 % bei Beringung im Quartier und Wiederfang/Fund abseits des Beringungsortes, PETERSONS (2004) mit einer Wiederfangquote von 0,4 % bei Beringung und Wiederfang von frei fliegenden Fledermäusen oder GAISLER & CHYTIL (2002) mit einer Wiederfangquote von 22,8 % bei Beringung und Wiederfang im Winterquartier). Auch eignen sich nicht alle Arten gleichermaßen für Beringungsstudien. So sind beispielsweise baumbewohnende Fledermäuse, zu denen fast alle europäischen Weitstreckenwanderer gehören, in der Regel schwieriger zu fangen und wiederzufinden als höhlenbewohnende Spezies (HOLLAND & WIKELSKI 2009). Zudem reagieren manche Arten besonders empfindlich auf die Störungen und Beeinträchtigungen durch die Beringung und sollten daher von Beringungsstudien generell ausgenommen werden (DIETZ ET AL. 2006, HUTTERER ET AL. 2005). Darüber hinaus geben die Beringungsdaten keinerlei Auskunft über den zeitlichen und räumlichen Beginn und das Ende von Migrationsbewegungen oder den genauen Verlauf von Zugrouten (z. B. entlang von Landmarken wie Küstenlinien, Flussläufen, Gebirgszügen oder über Gewässer).

1.1.3.2 Molekulare Methoden

Als molekulare Methoden kommen in der Migrationsforschung die Stabil-Isotopenanalyse und populationsgenetische Untersuchungen zum Einsatz.

Die Methode der Stabil-Isotopenanalyse beruht darauf, dass die stabilen Isotope einiger chemischer Elemente wie Wasserstoff (H), Kohlenstoff (C), Stickstoff (N), Sauerstoff (O) oder Schwefel (S) in verschiedenen Bereichen der Erdoberfläche von Natur aus in einem unterschiedlichen Verhältnis zueinander vorkommen (BOWEN ET

AL. 2005). Werden diese Elemente über die Nahrung oder das Trinkwasser aufgenommen, lässt die Isotopenzusammensetzung im Körpergewebe (z. B. in Haaren, Knochen, Blut, Zähnen oder Federn) entsprechende Rückschlüsse auf frühere Aufenthaltsorte eines Individuums beziehungsweise den Herkunftsort seiner Nahrung oder seines Trinkwassers zu (EHLERINGER ET AL. 2008, HOBSON ET AL. 1999, POPA-LISSEANU ET AL. 2012). So kann durch die Analyse und den Vergleich von regional typischen Isotopensignaturen mit dem Isotopenverhältnis von Gewebeproben auch etwas über die Migrationsbewegungen eines Individuums in Erfahrung gebracht werden (BOWEN ET AL. 2005, HOBSON 1999, WUNDER 2012). Um diese Methode gewinnbringend in der Migrationsforschung einsetzen zu können, ist allerdings ein umfangreiches Wissen über die natürliche räumliche Verteilung der Isotope und über die physiologischen Prozesse ihrer Aufnahme in das Gewebe eines Individuums nötig (BEN-DAVID & FLAHERTY 2012, BOWEN ET AL. 2005). Da die Isotopenverhältnisse der Erdoberfläche zudem nur sehr großräumig schwanken, ist diese Methode in Bezug auf die räumliche Eingrenzung relativ ungenau. So können frühere Aufenthaltsorte eines Individuums anhand der Isotopensignatur bestenfalls auf ein paar hundert Kilometer genau bestimmt werden, womit das Verfolgen genauer Zugrouten und kleinräumiger Migrationsbewegungen nicht ohne weiteres möglich ist. Dennoch konnte die Isotopenanalyse bisher auch in einigen Studien über das Migrationsverhalten von Fledermäusen erfolgreich angewandt werden, beispielweise um Informationen über das generelle Stattfinden von Wanderbewegungen oder die Herkunft wandernder Fledermäuse zu erhalten (BRITZKE ET AL. 2009, CRYAN ET AL. 2004, FLEMING ET AL. 1993, SULLIVAN ET AL. 2012, VOIGT ET AL. 2016). Ein erheblicher Vorteil dieser Methode ist, dass die für die Analyse benötigten Gewebeproben (z. B. Haarproben) mit relativ geringem Aufwand und für die Tiere schonend zu beschaffen sind (CRYAN ET AL. 2004) und ein Wiederfang von Tieren, im Gegensatz zur Beringung, nicht nötig ist.

Über die genetischen Grundlagen von Migrationsverhalten und -physiologie ist bislang erst wenig bekannt (BOWLIN ET AL. 2010). Dennoch können durch Untersuchungen der genetischen Variabilität von Populationen mit Hilfe von genetischen „Markern“, d. h. bestimmten Sequenzabschnitten von Kern- oder mitochondrialer DNS, Rückschlüsse auf das Wanderverhalten, auf eingeschlagene Zugrichtungen oder sogar mögliche Wanderkorridore einzelner Arten gezogen werden (DIETZ ET AL. 2007, PETIT & MAYER 2000, WILKINSON & FLEMING 1996). Dabei

geht man beispielsweise davon aus, dass migrierende Arten durch einen intensiveren Genfluss zwischen den einzelnen Populationen eine geringere genetische Strukturierung aufweisen als standorttreue Spezies (BURLAND & WILMER 2001, FLEMING & EBY 2003, HOLLAND & WIKELSKI 2009, MOUSSY ET AL. 2013). Trotzdem kann auch mit Hilfe von populationsgenetischen Studien nicht nachvollzogen werden, wie die Wanderungen einzelner Individuen im Detail verlaufen (HOLLAND & WIKELSKI 2009, POPA-LISSEANU & VOIGT 2009).

1.1.3.3 Telemetry

Um Informationen über den Verlauf von Flugwegen und das Verhalten einzelner Individuen zu erhalten, kommen in erster Linie Telemetriestudien in Frage (Radio- und Satellitentelemetry).

Seit den 1960er Jahren wird bei Fledermäusen erfolgreich die Radiotelemetry eingesetzt (O'MARA ET AL. 2014, WILLIAMS & WILLIAMS 1967). Dem Tier wird dafür ein leichter Funksender im Nacken befestigt (≤ 1 g, siehe NAEF-DAENZER ET AL. (2005)), anschließend lässt sich das Funksignal mit Empfängern und Richtantennen am Boden oder in der Luft verfolgen (AMELON ET AL. 2009, FIEDLER 2009). Mit Hilfe von Kreuzpeilungen kann zudem in regelmäßigen Abständen der genaue Aufenthaltsort des besenderten Tieres ermittelt werden (AMELON ET AL. 2009). Die Sendezeit solcher kleiner Telemetriesender beträgt in der Regel einige Tage (CRYAN & DIEHL 2009), anschließend löst sich der Kleber von selbst und der Sender fällt ab. Genutzt wird diese Untersuchungsmethode vor allem zum Auffinden von Fledermausquartieren und um Daten zur Habitatnutzung, zum Jagdverhalten und über Aktionsräume zu erheben (AMELON ET AL. 2009, HOLLAND & WIKELSKI 2009). Für die Erforschung von Zugrouten während der Migration ist die Radiotelemetry nur bedingt einsetzbar, da eine lückenlose Verfolgung von hoch mobilen Tieren wie Fledermäusen über einen längeren Zeitraum bzw. eine längere Strecke zu Fuß oder mit Hilfe von Bodenfahrzeugen schwierig ist, was sich besonders in verkehrstechnisch schlecht erschlossenen oder stark bebauten Regionen negativ auswirkt (CRYAN & DIEHL 2009, HOLLAND & WIKELSKI 2009). Zwar ist auch die Nutzung von Kleinflugzeugen möglich (DECHMANN ET AL. 2014, MCCRACKEN ET AL. 2016, SEDDON & MALONEY 2004), diese Methode ist jedoch mit einem hohen logistischen Aufwand und erheblichen Kosten verbunden (CRYAN & DIEHL 2009). Aussagekräftige Daten zum Migrationsverhalten

mitteleuropäischer Fledermausarten konnten mit dieser Methode daher noch nicht gewonnen werden.

Um die Wanderungen von Tieren über weite Distanzen und über einen längeren Zeitabschnitt kontinuierlich verfolgen zu können, idealerweise über mindestens einen kompletten Migrationszyklus, eignen sich am besten satellitengestützte Systeme (GLASBY & YARNELL 2013, WIKELSKI ET AL. 2007), wie z. B. das ARGOS-System. Hier werden Signale von entsprechenden, am Tier befestigten Sendern (*Platform Transmitter Terminals*) an mehrere Satelliten gesendet und von dort an Bodenstationen weitergeleitet, wo die Positionsdaten des Senders anschließend nach dem Dopplerverfahren mit einer Genauigkeit von wenigen hundert Metern berechnet werden (ARGOS 2015). Bei dieser Untersuchungsmethode können Ortswechsel einzelner Individuen dokumentiert werden, ohne dem Tier aktiv folgen zu müssen. Um das natürliche Verhalten und die Überlebenschancen nicht zu beeinflussen, sollte das Gewicht des Senders bei Fledermäusen allerdings nicht mehr als 5 % des Körpergewichtes betragen (ALDRIDGE & BRIGHAM 1988, HICKEY 1992, KURTA & MURRAY 2002, NEUBAUM ET AL. 2005). Zwar sind bereits sehr leichte Sender ab ca. 5 g Gewicht verfügbar, die Positionsdaten satellitengestützt übermitteln können (BRIDGE ET AL. 2011, KAYS ET AL. 2011, ROBERTS ET AL. 2012), dennoch überschreitet dieses Gewicht bei den meisten wandernden Fledermausarten den genannten Grenzwert, so dass eine Ortung besenderter Tiere in Echtzeit mittels satellitengestützter Datenübertragung zum heutigen Zeitpunkt für viele Fledermausarten noch nicht verfügbar ist (KAYS ET AL. 2015). Eine andere Möglichkeit bietet die Aufzeichnung und Speicherung von Positionsdaten mit Hilfe eines am Tier befestigten GPS-Empfängers ohne satellitengestützte Datenübertragung (CVIKEL ET AL. 2015, WELLER ET AL. 2016). Um die aufgezeichneten Daten auszulesen zu können, ist jedoch ein Wiederfund des Empfängers (ab ca. 2,5 g, siehe BRIDGE ET AL. (2011)) notwendig. Aufgrund der bei Fledermäusen üblicherweise geringen Wiederfangquote eignet sich diese Methode, wie auch die Radiotelemetrie, eher für zeitlich und räumlich begrenzte Beobachtungen zur Habitatnutzung und zum Jagdverhalten einzelner Individuen, wofür sie in Deutschland auch bereits erfolgreich eingesetzt wurde (ROELEKE ET AL. 2016).

1.1.3.4 Phänologische Untersuchungen

Phänologische Untersuchungen sind eine traditionelle Methode zur Erforschung der Wanderungen von Fledermäusen. In der Tat wurden die ersten Hinweise auf ein mögliches Migrationsverhalten bei Fledermäusen entdeckt, indem das saisonale Vorkommen einzelner Spezies in bestimmten Regionen erfasst wurde (MILLER 1897). Daten über das zeitliche und räumliche Auftreten von verschiedenen Fledermausarten können durch direkte Beobachtungen (WEID 2002), Netzfänge (ESTOK 2007, FINDLEY & JONES 1964, IBANEZ ET AL. 2009), das Auswerten von Museumsfunden (CRYAN 2003) oder durch das Aufzeichnen und Vergleichen von Fledermausaktivität mittels echoakustischer Methoden gewonnen werden. Auf diese Weise liefern phänologische Beobachtungen bis heute wichtige Informationen über mögliche Migrationsrouten oder artspezifische Migrationsstrategien und stellen daher nach wie vor eine aktuelle Methode in der Migrationsforschung dar (MESCHEDE ET AL. 2015, POPA-LISSEANU & VOIGT 2009).

1.1.4 Navigation und Orientierung

Aus Verfrachtungsexperimenten ist bekannt, dass einige Fledermausarten über ein ausgeprägtes Heimfindevermögen verfügen und in der Lage sind, auch aus mehreren hundert Kilometern Entfernung zu einem bekannten Quartier zurückzukehren (COPE ET AL. 1960, DAVIS 1966, HASSELL & HARVEY 1965, SMITH & GOODPASTER 1957, WILLIAMS ET AL. 1966). Wie einige Studien mit geblendeten und ertaubten Fledermäusen zeigen, scheint dafür ab einer gewissen Entfernung vom Heimatquartier vor allem die Sehfähigkeit notwendig zu sein, während bei geringeren Entfernungen wohl auch der Gebrauch von Echoortung allein für erfolgreiche Heimfindeflüge ausreicht (BARBOUR ET AL. 1966, HOLLAND 2007, MUELLER & EMLÉN 1957, STONES & BRANICK 1969, WILLIAMS ET AL. 1966). Dies könnte darauf hindeuten, dass Echoortung bei der Navigation innerhalb eines (echoakustisch) bekannten Gebietes genutzt wird, eventuell in Kombination mit einem guten räumlichen Gedächtnis, während in unbekanntem Gebieten visuelle Landmarken wie z. B. Gebirge oder Flüsse nötig sind, um auf bekanntes Terrain zurückzufinden (DAVIS 1966, EKLÖF 2003, GRIFFIN 1970, SERRA-COBO ET AL. 2000, WILLIAM & WILLIAMS 1970). Welche Sinnesmodalitäten für die dabei gezeigten navigatorischen Leistungen genau genutzt werden ist allerdings noch nicht geklärt. Es ist vorstellbar, dass Fledermäuse sowohl das Erdmagnetfeld als auch visuelle und olfaktorische Reize nutzen, um ihren

Standort in einer unbekanntem Umgebung zu bestimmen. Von Tauben ist beispielsweise bekannt, dass sie in bestimmten Situationen einen intakten Geruchssinn zur erfolgreichen Navigation benötigen (WALLRAFF 2004), es gibt bislang allerdings keine eindeutigen Hinweise darauf, dass dies auch bei Fledermäusen der Fall sein könnte (HOLLAND 2009). Demgegenüber deuten Experimente mit ägyptischen Flughunden (*Rousettus aegyptiacus*) an, dass entfernte visuelle Landmarken für die Standortbestimmung dieser Tiere eine wichtige Rolle spielen (TSOAR ET AL. 2011). Auch belegen neuere Forschungen, dass Fledermäuse in der Lage sind, das Magnetfeld der Erde wahrzunehmen und es zur Navigation und Orientierung zu nutzen, die entsprechenden physiologischen Grundlagen sind jedoch noch nicht bekannt (HOLLAND ET AL. 2006, WANG ET AL. 2007). Vermutlich basiert die Magnetorezeption der Fledermäuse auf biogenem Magnetit im Gehirn der Tiere, mit dessen Hilfe sie die Polarität der erdmagnetischen Feldlinien und die Intensität des Erdmagnetfeldes wahrnehmen könnten, um daraus sowohl Richtungs- als auch Positionsinformationen abzuleiten (HOLLAND 2009, HOLLAND ET AL. 2008, TIAN ET AL. 2010, WILTSCHKO & WILTSCHKO 2012, WILTSCHKO & WILTSCHKO 2005).

Auf welche Weise Fledermäuse diese navigatorischen Fähigkeiten nutzen können, um sich über weite Distanzen zu orientieren und ihre Zugrouten zu finden, kann nur spekuliert werden. Bislang konnte gezeigt werden, dass selbst große Objekte und Strukturen wie Bäume oder Waldränder aufgrund der atmosphärischen Abschwächung mit Hilfe der Echoortung nur bis zu einer Entfernung von maximal 50 m wahrgenommen werden können (LAWRENCE & SIMMONS 1982, STILZ & SCHNITZLER 2012). Das bedeutet, dass Echoortung aufgrund ihrer geringen Reichweite für die Fernorientierung während der Migration höchstwahrscheinlich auszuschließen ist (FENTON 1992). Stattdessen werden große Objekte eher mit dem Sehsinn wahrgenommen, mit dessen Hilfe dementsprechend vermutlich auch die Fernorientierung stattfindet (BOONMAN ET AL. 2013, EKLÖF 2003). Diese Erkenntnisse decken sich auch mit den Beobachtungen aus den Verfrachtungsexperimenten. Als visuelle Orientierungshilfen während der Wanderungen kommen unterschiedliche Objekte in Frage, wie die Sterne, die Sonne oder geographische Landmarken. So konnten beispielsweise Große Braune Fledermäuse (*Eptesicus fuscus*) in einer Studie mit künstlichen Lichtquellen sternähnliche Lichtpunkte wahrnehmen, so dass eine Orientierung anhand des Sternenhimmels zumindest bei dieser Art nicht ausgeschlossen werden kann (CHILDS & BUCHLER 1981). In anderen Experimenten

verwendeten Fledermäuse aus zwei verschiedenen Arten (*Eptesicus fuscus* und *Myotis myotis*) das Licht der untergehenden Sonne zur Orientierung (BUCHLER & CHILDS 1982, GREIF ET AL. 2014, HOLLAND ET AL. 2010), was bei wandernden Raufhautfledermäusen (*Pipistrellus nathusii*) allerdings nicht nachgewiesen werden konnte (LINDECKE ET AL. 2015). Des Weiteren gibt es Hinweise, dass geographische Landmarken wie Gebirgszüge, Küstenlinien oder Flusstäler den Fledermäusen dabei helfen könnten, ihre Zugrouten zu finden (BAERWALD & BARCLAY 2009, FURMANKIEWICZ & KUCHARSKA 2009, JARZEMBOWSKI 2003, NEUBAUM ET AL. 2006, SERRA-COBO ET AL. 2000, SERRA-COBO ET AL. 1998, TIMM 1989). Denkbar wären neben diesen visuellen Orientierungshilfen aber auch passiv akustische Signale, wie das Rauschen von Flüssen oder der Küstenbrandung (NEUWEILER 1993, SERRA-COBO ET AL. 2000). Ob solche passiv akustischen Reize für Fledermäuse tatsächlich relevant sein könnten, ist allerdings noch unklar.

Sehr gut vorstellbar ist, dass Fledermäuse auf ihren Wanderungen die grobe Zugrichtung anhand des Erdmagnetfeldes ermitteln und für die Feinorientierung optische oder passiv akustische Landmarken wie z. B. Flussläufe nutzen (DIETZ ET AL. 2007, HEDENSTRÖM 2009).

1.2 Auen als Fledermaushabitate

1.2.1 Bedeutung von Auenlebensräumen für Fledermäuse

Auen zählen weltweit zu den produktivsten Ökosystemen und bieten vielfältige und artenreiche Lebensräume. Sie spielen eine wesentliche Rolle für den Erhalt der biologischen Vielfalt und haben als verbindende Elemente in einer zunehmend zerschnittenen und fragmentierten Landschaft eine große Bedeutung im länderübergreifenden Biotopverbund (BRUNOTTE ET AL. 2009, NAIMAN ET AL. 1993).

Bislang wird angenommen, dass Flussauen und naturnahe Auwälder auch für Fledermäuse von großer Bedeutung sind (RACEY 1998). Einerseits stellen sie aufgrund des guten Nahrungsangebotes wichtige Jagdhabitats für insektenfressende Fledermausarten dar (BRIGHAM 1995, FUKUI ET AL. 2006, GRINDAL ET AL. 1999, HAGEN & SABO 2011, LUNDY & MONTGOMERY 2010, MESCHÉDE & HELLER 2002, MESCHÉDE & RUDOLPH 2004, RUSSO & JONES 2003, SCOTT ET AL. 2010, SEIDMAN & ZABEL 2001, VAUGHAN ET AL. 1997, WALSH & HARRIS 1996). Andererseits verfügen sie über ein hohes Quartierpotential für Fledermäuse: langandauernde Überschwemmungen, Wasserstandsschwankungen oder Schlamm- und Schotterablagerungen lassen

Bäume absterben, und durch die hohe Feuchtigkeit und die damit einhergehende Fäulnisbildung wird die Entstehung natürlicher Baumhöhlen im Totholz zusätzlich gefördert (BRIGHAM 1995, MESCHEDE & HELLER 2002, SEIDMAN & ZABEL 2001). Darüber hinaus entstehen an Waldkanten entlang von Fließgewässern lineare Vegetationsstrukturen und windgeschützte Bereiche, sowie freier Luftraum über den Wasserflächen, und es bietet sich die Gelegenheit zur Wasseraufnahme, was für viele Fledermausarten attraktive Bedingungen sind (AHLEN ET AL. 2009, DOWNS & RACEY 2006, KUSCH ET AL. 2004, MESCHEDE & RUDOLPH 2004, VERBOOM & HUITEMA 1997, WALSH & HARRIS 1996, ZAHN ET AL. 2007A). Dennoch existieren bisher nur wenige systematische Untersuchungen zur Bedeutung der mitteleuropäischen Auwälder für die Fledermausfauna (MESCHEDE & HELLER 2002). Es lassen sich jedoch einige Arten als häufige Vertreter in Auwäldern beobachten: Dazu gehören zum Einen die weitwandernden Arten Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*), Großer Abendsegler (*Nyctalus noctula*) und Kleiner Abendsegler (*Nyctalus leisleri*), zum Anderen die als Kurzstreckenwanderer bekannten Arten Wasser- und Brandtfledermaus (*Myotis daubentonii* und *Myotis brandtii*). Im Gegensatz dazu sind andere Arten, wie das Große Mausohr (*Myotis myotis*), die Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*) und das Braune Langohr (*Plecotus auritus*) nur sehr selten oder gar nicht im Auwald anzutreffen (MESCHEDE & HELLER 2002).

Trotz der eher geringen Datenlage geht man bisher davon aus, dass Auen besonders für die wandernden Fledermausarten eine wichtige Rolle spielen (CRYAN & VEILLEUX 2007). Denn neben ihrer Funktion als Rastgebiete könnten sie auch überregionale Verbund- und Orientierungselemente darstellen (MESCHEDE & HELLER 2002). Es scheint, als ob sich in Bayern Arten wie der Große Abendsegler (*Nyctalus noctula*) oder die Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) vor allem zu den Zugzeiten im Frühjahr und Herbst entlang der großen Flüsse konzentrieren (MESCHEDE & RUDOLPH 2004). Auch in einer Untersuchung in den nordbadischen Rheinauen konnte beobachtet werden, dass nur wenige Kilometer vom Fluss entfernt gelegene Wälder für Rauhautfledermäuse schon eine deutlich geringere Bedeutung als Aufenthaltsraum besitzen als rheinnah gelegene Waldgebiete (ARNOLD ET AL. 1996). Zudem nutzen vermutlich zumindest Teilpopulationen dieser wandernden Arten die Auen in Bayern nicht nur als Rast-, sondern auch als Überwinterungsgebiet (MESCHEDE & HELLER 2002). Unklar ist allerdings, ob die Fledermäuse auf ihren Wanderungen Landmarken wie z. B. Flussläufen tatsächlich folgen und sie somit als

lineare Leitlinien nutzen, oder ob sie in breiter Front ziehen und die Auwälder aufgrund des guten Nahrungsangebots und der Gelegenheit zur Wasseraufnahme lediglich als Rastgebiete nutzen, wenn sie während des Zuges darauf stoßen (CRYAN & VEILLEUX 2007, DIETZ ET AL. 2007). In letzterem Falle würden Auen für die Wanderung der Tiere keine größere Rolle spielen als z. B. eutrophe Stillgewässer, die in der Regel ebenfalls reich an Nahrungsinsekten sind.

1.2.2 Entwicklung und Zustand der Auen Deutschlands

Trotz ihrer ökologischen Bedeutung befinden sich die Auen in Deutschland insgesamt in einem verhältnismäßig schlechten Zustand. Bis zum heutigen Tag sind rund zwei Drittel der ursprünglichen Überschwemmungsgebiete der Flüsse durch Dämme, Deichbau oder andere Hochwasserschutzmaßnahmen verloren gegangen. Die noch verbliebenen rezenten Auen werden zu einem großen Teil landwirtschaftlich oder als Siedlungsflächen genutzt. Der Anteil ökologisch funktionsfähiger Auen an der Gesamtheit der rezenten Auen beträgt bundesweit weniger als 10 %, der Anteil an naturnahen Hartholzauwäldern noch ungefähr 1 % (BRUNOTTE ET AL. 2009).

Auch in Bayern waren die Flussauen in den letzten 150 Jahren großen Veränderungen unterworfen: Wie im übrigen Deutschland wurden die Flüsse zum Zwecke des Hochwasserschutzes, der Gewinnung landwirtschaftlicher Nutzflächen und der Energieerzeugung reguliert. Daraus resultiert ein Verlust an Auwaldflächen in Bayern von insgesamt ca. 50 %, die verbliebene Auwaldfläche dürfte damit noch bei ca. 40 000 ha liegen (MESCHEDE & HELLER 2002). Insgesamt besteht in Bayern der Gesamtanteil aller vorhandenen Waldflächen zu einem Großteil aus jungen bis mittelalten Nadelwäldern, die Fledermäusen nur wenige Quartiermöglichkeiten und keine guten Jagdlebensräume bieten (BAYLWF 2005, KANOLD ET AL. 2008, MESCHEDE & RUDOLPH 2004). In dieser Region ist der Verlust von struktur- und nahrungsreichen Auwäldern daher besonders bedeutsam.

Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Dezimierung der Überschwemmungsflächen und der naturnahen Auwälder, bedingt durch die Regulierung der Flüsse, sowohl die Nahrungsräume als auch die Quartiermöglichkeiten für die meisten Fledermausarten einschränkt (JONSSON ET AL. 2013, MESCHEDE & RUDOLPH 2004). Allerdings können einzelne Arten (z. B. die Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*) oder der Große Abendsegler (*Nyctalus*

noctula) von einer durch Stauhaltung verursachten Vergrößerung der Wasserflächen, einer verringerten Fließgeschwindigkeit und einer ruhigeren Wasseroberfläche auch profitieren, indem sie diese Flächen als zusätzliche Jagdgebiete nutzen (MESCHEDE & RUDOLPH 2004). Auch ein erhöhter Nährstoffeintrag in das Gewässer kann sich unter Umständen positiv auf die Jagdaktivität einzelner Fledermausarten auswirken (KALCOUNIS-RUEPPELL ET AL. 2007, VAUGHAN ET AL. 1996). Obschon dadurch möglicherweise eine teilweise Kompensation der Lebensraumverluste erfolgen kann, wirkt sich der Verlust an ökologisch funktionsfähigen Auwaldflächen auf die mitteleuropäischen Fledermauspopulationen vermutlich langfristig eher negativ aus. Besonders bedeutsam dürfte dies für die weitwandernden Fledermausarten sein, die während ihrer Migrationen auf diese Lebensräume angewiesen sind (MESCHEDE & RUDOLPH 2004). Da Deutschland für diese Arten eine Übergangsstation auf dem Weg zwischen ihren Sommer- und Winterquartieren bzw. Überwinterungsgebiet ist, besitzt es auch überregionale Bedeutung für die europäischen Fledermauspopulationen, und ihm fällt somit für den Erhalt und die Wiederherstellung der für Fledermäuse wichtigen Fluss- und Auenlebensräume eine hohe Verantwortung innerhalb Europas zu (MESCHEDE & HELLER 2002).

1.2.3 Innauen

Der Inn ist der wasserreichste Fluss Bayerns und mit 517 Kilometern einer der längsten Flüsse der Alpen. Er entspringt im Schweizer Engadin, fließt durch Tirol und den Südosten Bayerns und mündet bei Passau in die Donau. Als Gebirgs- und Gletscherfluss mit einem Einzugsgebiet, das überwiegend in den Alpen liegt, schwankt seine Abflussrate im Jahresverlauf stark, mit einem Maximum zur alpinen Schneeschmelze im Frühling und Sommer. Dabei bringt er große Mengen an Geschiebe und Schwebstoffen mit sich.

Der in der vorliegenden Arbeit untersuchte Abschnitt des Inn zwischen der Gemeinde Kirchbichl südlich von Kufstein und der Gemeinde Soyen nördlich von Wasserburg ist überwiegend begradigt und vollständig staugeregelt. Er besitzt insgesamt sieben Staustufen mit entsprechenden Rückstauräumen (vom Kraftwerk Langkampen bei Kufstein bis zum Kraftwerk Teufelsbruck bei Soyen), die der Energiegewinnung und dem Hochwasserschutz dienen. Der Verlust an Überschwemmungsflächen entlang des Inn beträgt hier größtenteils über 90 % und der ursprüngliche Zustand der

rezenten Flussauen ist deutlich bis sehr stark verändert, vor allem im Bereich zwischen Kufstein und Rosenheim (BRUNOTTE ET AL. 2009). Erst im Flussabschnitt nördlich von Rosenheim besitzt der Inn noch Flussauen die nur gering verändert, jedoch aufgrund der Stauhaltung nicht mehr dynamisch sind. Diese Auen umfassen beispielsweise das Naturschutzgebiet „Vogelfreistätte Innstausee bei Attel und Freiham“ mit Verlandungsflächen und Auwaldbeständen, die Brut-, Rast- und Überwinterungsgebiet für viele Wasservögel bieten. Dieses Naturschutzgebiet ist eingebettet in das FFH-Gebiet „Innauen und Leitenwälder“, das sich von Rosenheim über Wasserburg bis nach Mühldorf am Inn erstreckt und für viele Arten eine regionale Verbindungsachse zwischen den Alpen und dem Alpenvorland darstellt.

1.2.4 Salzachauen

Wie der Inn ist auch die Salzach ein Fluss mit alpinem Charakter und zudem der bedeutendste Nebenfluss des Inn. Sie entspringt in den Kitzbüheler Alpen im Salzburger Land und mündet nach 225 Kilometern zwischen Burghausen (Bayern) und Braunau (Oberösterreich) in den Inn.

Der hier untersuchte Flussabschnitt umfasst einen Teil der unteren Salzach von Hallein (südlich von Salzburg) bis Tittmoning und weist vor allem nördlich von Salzburg einen völlig anderen Flusscharakter auf als der Inn (ANL 1999): Zum Einen ist der Verlust an Überschwemmungsflächen hier mit insgesamt knapp 45 % deutlich geringer als entlang des Inn (BRUNOTTE ET AL. 2009). Zum Andern ist die Salzach zwar seit dem 19. Jahrhundert durchgehend reguliert (ANL 1999), im Gegensatz zum Inn besitzt sie aber zwischen Salzburg und ihrer Mündung in den Inn keinerlei Querbauwerke (MONTAG ET AL. 2003). Damit verfügt sie als einer der letzten nordalpinen Flüsse über eine zusammenhängende ca. 60 km lange, ungestaute Reststrecke ohne energiewirtschaftliche Nutzung (ANL 1999). Hier existiert an beiden Flussufern noch eine ausgedehnte Auenlandschaft, die trotz anthropogener Einflüsse, z. B. durch landwirtschaftliche und forstliche Nutzung, einen sehr arten- und strukturreichen Lebensraumkomplex bildet und zu den bedeutendsten Auen Österreichs gehört (LAZOWSKI 1997). Diese ökologisch durchgängigen und naturnahen Auwaldflächen sind eine wichtige Achse im Biotopverbundsystem des Alpenvorlandes und von landesweiter Bedeutung. Wegen des noch vorhandenen hohen Regenerationspotentials werden sie als sehr wertvoll eingestuft (MONTAG ET

AL. 2003). Dementsprechend sind sie Teil des FFH-Gebietes „Salzach und Unterer Inn“ und bieten auch seltenen Arten, wie z. B. Fischotter und Pirol, ein Zuhause.

In den letzten Jahrzehnten entstand jedoch durch die kanalartige Begradigung der Salzach und den Rückhalt von Geschiebe an den Querbauwerken in ihrem Oberlauf nördlich von Salzburg eine Sohleintiefung des Flussbettes und damit die Gefahr von Sohldurchbrüchen. Um die Flusssohle wieder anzuheben und zu stabilisieren, fanden daher ab 2006 zwischen Salzburg und Laufen/Oberndorf Sanierungsarbeiten statt. Unter anderem wurde durch Beseitigung der Uferlängsverbauungen das Flussbett streckenweise wieder aufgeweitet. Dadurch wird auch die Au wieder enger an den Fluss angebunden, und eine naturnähere Auendynamik kann entstehen. Langfristig bedeutet das für die lokalen Fledermauspopulationen vermutlich eine Verbesserung der Habitatqualität, auch wenn sich das Quartierangebot durch den Verlust von Altbäumen, die unter Umständen wegen Unterspülung der neuen Flusssohle zum Opfer fallen, zunächst auch verschlechtern kann.

1.3 Stillgewässer als Fledermaushabitate

Im Vergleich zu den Inn- und Salzachauen wurden in der vorliegenden Arbeit auch verschiedene Seen im österreichischen und bayerischen Voralpenraum untersucht. Diese natürlichen Seen sind Relikte der Würmeiszeit und prägen das Landschaftsbild entlang des nördlichen Alpenrandes sehr stark.

Durch das Einleiten ungeklärter Abwässer und Düngemittel-Abschwemmungen nahm die Nährstoffkonzentration in vielen österreichischen und bayerischen Voralpenseen nach dem zweiten Weltkrieg rasch zu (Eutrophierung). Um diesem Trend entgegenzuwirken, wurde in den 1960er und 1970er Jahren mit einer Sanierung der Seen durch den Bau von Ringkanalisationen und Kläranlagen begonnen (BMLFUW 2005, STMUG 2013). Aufgrund dieser Sanierungsmaßnahmen gehörten bis 2001 bereits wieder über die Hälfte der großen bayerischen Seen zu den nährstoffärmeren Gewässern (mesotroph oder oligotroph) (LFW 2002). Die zwölf hier untersuchten Seen (siehe Tabelle 2.1, S. 37), die mit einer Fläche von 9 ha bis 661 ha sowohl kleinere als auch große Voralpenseen umfassen und auf einer Höhe von 444 bis 883 m über NN liegen, weisen überwiegend einen eutrophen Zustand auf. Lediglich vier der untersuchten Seen sind oligotroph bzw. mesotroph und damit gering bis mäßig mit Nährstoffen belastet (Hintersteiner See, Walchsee, Wallersee und Wiestalstausee). Auch die natürliche Uferstruktur vieler Seen ist durch

Uferverbauungen mehr oder weniger stark beeinträchtigt (STMUG 2013). Bis auf zwei Ausnahmen (Obinger See und Soyensee) verfügen jedoch alle untersuchten Seen über angrenzende Wälder.

Analog zu Fließgewässern stellen auch Stillgewässer wie Seen prinzipiell hervorragende Jagdhabitats für Fledermäuse dar, da die Larvalentwicklung vieler Fluginsekten im Wasser stattfindet und das Nahrungsangebot für Fledermäuse dort dementsprechend gut ist (VAUGHAN ET AL. 1997, WALSH & HARRIS 1996, WALSH & MAYLE 1991, ZAHN & MAIER 1997). Ein Vorteil von Stillgewässern gegenüber Fließgewässern könnte außerdem die oft ruhigere Wasseroberfläche sein, die zumindest einigen Fledermausarten das Auffinden ihrer Beute mittels Echoortung zu erleichtern scheint (MACKEY & BARCLAY 1989, RYDELL ET AL. 1999, WARREN ET AL. 2000). Neben der Rauigkeit der Wasseroberfläche beeinflussen aber noch viele weitere Faktoren die Eignung von Gewässern (seien es Fließ- oder Stillgewässer) als Jagdhabitats für Fledermäuse entscheidend, beispielsweise der Nährstoffgehalt des Wassers, die Größe der Wasseroberfläche, die Beschaffenheit der Ufervegetation oder die Anbindung des Gewässers an attraktive Landschaftselemente bzw. potentielle Quartiere mittels Leitstrukturen (CIECHANOWSKI 2002, MESCHÉDE & RUDOLPH 2004, VAUGHAN ET AL. 1996, WALSH & MAYLE 1991, WARREN ET AL. 2000, ZAHN & MAIER 1997). Abhängig von diesen kleinräumigen Faktoren können Still- und Fließgewässer demnach im Allgemeinen als vergleichbar gute Jagd- und Rastgebiete für Fledermäuse betrachtet werden (VAUGHAN ET AL. 1997).

Allerdings könnten Fließgewässer als lineare Habitats für wandernde Fledermäuse leichter zu finden sein als Stillgewässer, vor allem wenn sie quer zur Wanderrichtung verlaufen. Um auch Stillgewässer als Rastgebiete finden und nutzen zu können, sind die Tiere eventuell stärker auf ein zufälliges Auffinden dieser kleinflächigeren punktuellen Habitats bzw. auf ihr gutes räumliches Gedächtnis angewiesen. Aufgrund dessen wäre es denkbar, dass Stillgewässer besonders während der Migrationsphasen für wandernde Fledermäuse eine geringere Bedeutung als Jagdhabitats besitzen als Fließgewässer.

1.4 Übersicht Wanderverhalten und Auwaldnutzung bayerischer Fledermausarten

Art	Verbreitung und Quartiernutzung in Bayern	Migrationsverhalten	Jagdhabitat- und Auwaldnutzung
Brandt-fledermaus (<i>Myotis brandtii</i>)	lokal/lückenhaft: in Bayern eher seltene Art, Nachweise im Sommer über ganz Bayern verstreut ^{3,4} ; bevorzugt wald- und gewässerreiche Landschaften ¹ ; Winterverbreitung in Bayern nicht genau bekannt ³ ; Sommerquartiere überwiegend in Spalten an Gebäuden und in Nistkästen ³ ; Überwinterung unterirdisch in frostsicheren Höhlen oder größeren Kellern und Stollen ³	ortstreu/Kurzstreckenwanderer: prinzipiell wanderfähige Art (fakultativer Migrant) ² ; einige kurze Saisonwanderungen bis 40 km und wenige längere Wanderbewegungen bis ca. 300 km (max. 780 km) nachgewiesen ² ; scheint aber insgesamt nicht sehr wanderfreudig, sondern weitgehend ortstreu zu sein ³	bevorzugt auf der Jagd Wälder bzw. Gehölze und stehende Gewässer, ist häufig in Au- und Bruchwäldern, Moor- und Feuchtgebieten anzutreffen ¹
Breitflügel-fledermaus (<i>Eptesicus serotinus</i>)	lokal/lückenhaft: verbreitet vor allem in Nordwestbayern, zudem auch Vorkommen im unteren sowie inneralpiner Inntal, kaum Nachweise aus den bayerischen Voralpen sowie dem voralpinen Hügel- und Moorland ^{3,4} ; im Sommer in spaltenartigen und versteckten Quartieren in und an Gebäuden ³ ; im Winter in unterirdischen Spaltenquartieren (Keller, Höhlen), v. a. nördl. der Donau ³	ortstreu/Kurzstreckenwanderer: insgesamt wohl eher wenig mobile Art ³ ; Distanzen zwischen Sommer- und Winterquartieren meist unter 40 bis 50 km ² ; durch Beringungsstudien dokumentierte Wanderbewegungen in der Regel unter 100 km (max. 330 km) ³	jagt bevorzugt in offenen bzw. halboffenen (parkartigen) Landschaften mit hohem Grünlandanteil (Wiesen und Weiden) ³ ; keine besondere Bevorzugung von Auen und Fließgewässern bekannt
Großer Abendsegler (<i>Nyctalus noctula</i>)	flächig: Bayern ist u. A. Überwinterungsgebiet (Überwinterung in Bäumen und an Gebäuden) ³ ; im Sommer in Bayern fast nur Männchen anwesend (flächig verbreitet) und kaum Fortpflanzungsnachweise ³ ; größte Anzahl an Individuen ist in den Zugzeiten (Frühjahr/Herbst) zu beobachten ³ ; Konzentrationen von Individuen (besonders im Frühjahr/Herbst und Winter) v. a. in Flussniederungen und in größeren Städten ³	Weitstreckenwanderer: Wanderungen um 1000 km (max. 1546 km) zwischen Nordost- und Südwesteuropa (evtl. großräumige Verschiebungen unterschiedlicher Teilpopulationen) ^{2,3} ; auch sesshafte Populationen scheinen vorzukommen ² ; ungeklärt ist, ob Bayern überwiegend Durchzugsland oder Endstation (d. h. Überwinterungsareal) ist ³ ; Migration verläuft allgemein wohl eher in breiter Front statt entlang von Wanderkorridoren ³	jagt bevorzugt im offenen Luftraum über großen eutrophen Stillgewässern und langsam fließenden Flüssen mit deren Auen, dort Nutzung von Baumquartieren im Sommer ³

Art	Verbreitung und Quartiernutzung in Bayern	Migrationsverhalten	Jagdhabitat- und Auwaldnutzung
Großes Mausohr <i>(Myotis myotis)</i>	flächig: im Sommer in ganz Bayern weit verbreitet und häufig ^{3,4} ; Nachweise im Winterhalbjahr fast ausschließlich nördl. der Donau, vermutlich sind auch die Alpen wichtiges Überwinterungsgebiet ^{3,4} ; besiedelt im Sommer hauptsächlich geräumige Dachböden, häufig von Kirchen und Schlössern, Einzeltiere auch in Spaltenquartieren an Gebäuden, Bäumen oder in Höhlen ³ ; Überwinterung vor allem in Höhlen oder künstlichen Untertagequartieren (Keller, Bunker, Kasematten), evtl. auch oberirdisch in Felsspalten u. Ä. ³	Kurzstreckenwanderer: Wanderungen meist über ca. 50 km, zum Teil aber auch bis 250 km (max. 436 km) zwischen Sommer- und Winterquartieren ² ; zurückgelegte Distanzen und die Wanderrichtung sind dabei abhängig von der Verfügbarkeit geeigneter Winterquartiere ² ; in Bayern saisonale Wanderbewegungen aus dem ganzen Land hin zu den Winterquartieren in den höhlenreichen Naturräumen (Frankenalb, Schwäbische Alb und Alpen) ³ ; zu Wochenstuben und anderen Quartieren besteht oft eine ausgeprägte Ortstreue ³	jagt vor allem bodenlebende Beutetiere in mittelalten und alten Laub- und Mischwäldern mit wenig Bodenvegetation (z.T. auch über niedrigen Wiesen und Weiden) ^{1,3} , unterholzreiche Auwälder werden eher gemieden, Wochenstuben liegen allerdings häufig in Flusstälern ^{1,3}
Kleine Bartfledermaus <i>(Myotis mystacinus)</i>	flächig: in Bayern weit verbreitet und häufig, im Sommer Verbreitungsschwerpunkt u. a. südl. der Donau, dritthäufigste Art im voralpinen Hügel- und Moorland ^{3,4} ; Winterquartierfunde fast ausschließlich nördl. der Donau und in den Alpen ³ ; besiedelt im Sommer v. a. Spaltenquartiere in und an Gebäuden ^{1,3} ; Überwinterung unterirdisch in Kellern, Höhlen und Stollen ³	Kurzstreckenwanderer: nur sehr wenige Langstreckenflüge über ca. 100 bis 200 km dokumentiert (max. 625 km, dieser allerdings in einem Zeitraum über neun Jahre) ² ; in Bayern finden vermutlich saisonale Wanderungen zu den unterirdischen Winterquartieren in Mittelgebirgen und Alpen statt ³	sehr flexible Art, bevorzugt gut strukturierte und gehölzreiche Landschaften (offen und halboffen), auch innerhalb von Siedlungen ^{1,3} ; nicht auffallend häufig in Auen vertreten
Mopsfledermaus <i>(Barbastella barbastellus)</i>	lokal/lückenhaft: Sommernachweise verstreut mit Schwerpunkt in Ostbayern, Winternachweise v. a. in Nordbayern und in den Alpen ^{3,4} ; Sommerquartiere in Spalten an Gebäuden und Bäumen (gern hinter abstehender Rinde) ³ ; Überwinterung v. a. in unterirdischen Quartieren aller Art (Keller, Höhlen und Stollen), aber auch Nutzung oberirdischer Winterquartiere nicht ausgeschlossen ³	ortstreu/Kurzstreckenwanderer: weitgehend ortstreu Art bzw. nur gelegentliche kurze Wanderungen (über wenige Kilometer) zwischen den in der Regel nahe beieinander gelegenen Sommer- und Winterquartieren (max. 290 km) ²	jagt fast ausschließlich in Wäldern aller Art, ohne erkennbare Bevorzugung bestimmter Waldtypen und -strukturen (einschließlich Auwälder) ³

Art	Verbreitung und Quartiernutzung in Bayern	Migrationsverhalten	Jagdhabitat- und Auwaldnutzung
<p>Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)</p>	<p>vermutlich flächig: da erst 1997/2001 als eigenständige Art identifiziert sind gesicherte Nachweise noch selten, sie scheint aber eng an gehölzsumstandene Gewässer gebunden³; besiedelt ganzjährig Spaltenquartiere in oder an Gebäuden und im Wald¹</p>	<p>ortstreu/Kurzstreckenwanderer (vermutlich): bislang liegen kaum gesicherte Erkenntnisse über das Migrationsverhalten dieser Art vor¹; zwei Langstreckenflüge über 178 bzw. 775 km konnten bisher dokumentiert werden¹</p>	<p>jagt hauptsächlich an Gewässern und Gehölzen, auwaldartige Habitate bilden vermutlich einen Schwerpunkt-lebensraum^{1,3}</p>
<p>Nordfledermaus (<i>Eptesicus nilssonii</i>)</p>	<p>lokal/lückenhaft: ganzjährig vor allem in den nord- und ostbayerischen Mittelgebirgen und den Alpen bzw. dem Alpenvorland nachgewiesen (überwiegend über 500 mNN), im übrigen Bayern eine eher seltene Art^{3,4}; im Sommer fast ausschließlich in künstlichen Spaltenquartieren an Gebäuden³; Überwinterung meist unterirdisch, bevorzugt in Höhlen und Stollen (kälteresistente Art), in Bayern hauptsächlich nördl. der Donau³</p>	<p>ortstreu/Kurzstreckenwanderer (vermutlich): Wanderverhalten großteils noch unklar³; bisher nur wenige Fernflüge bis ca. 250 km (max. 450 km) dokumentiert, diese stellen wohl eher keine gerichteten Wanderungen zwischen Sommer- und Winterquartier, sondern ein ungerichtetes Umherstreifen dar^{1,2}; vermutlich überwiegend ortstreu mit gelegentlichem Migrationsverhalten^{1,2}</p>	<p>jagt überwiegend in Ortschaften, gern an Straßenlaternen, ansonsten werden wald- und gewässerreiche Landschaften bevorzugt (europaweit v. a. in borealen bzw. montanen Wäldern)^{1,3}</p>
<p>Rauhautfledermaus (<i>Pipistrellus nathusii</i>)</p>	<p>flächig: in ganz Bayern verbreitet, am häufigsten zur Zugzeit im Spätsommer/Herbst zu beobachten: zu dieser Zeit eng an Flussniederungen gebunden^{3,4}; im Winter v. a. in Städten und entlang von Flüssen südl. der Donau (Bayern ist Überwinterungsgebiet)³; Sommernachweise eher selten (vermutlich überwiegend Männchen)³; bevorzugt ganzjährig natürliche Baumquartiere in wald- und gewässerreicher Umgebung, nutzt aber auch Spaltenquartiere in Nistkästen und an Gebäuden^{1,3}</p>	<p>Weitstreckenwanderer: saisonale Wanderungen, häufig über 1000 km (max. 1905 km) zwischen den Fortpflanzungsgebieten in Nordosteuropa und den Überwinterungsgebieten in Südwesteuropa²; zieht vermutlich entlang von Küstenlinien und Flusstälern und überfliegt auch Gebirge wie Alpen und Pyrenäen¹; eine hohe Ortstreue einzelner Individuen während der Zugzeit lässt darauf schließen, dass evtl. jedes Jahr denselben Zugrouten gefolgt wird³; Bayern ist sowohl Durchzugs- als auch Überwinterungsgebiet³</p>	<p>jagt bevorzugt in struktur-, wald- und gewässerreichen Landschaften, z. B. in Feucht- und Auwäldern (Altwasserarme) und an Seeufern (Schilf- und Verlandungs-zonen)^{1,3}; Auwälder entlang großer und mittlerer Flussläufe sind wohl wichtige Rastgebiete während der Migration³</p>
<p>Wasserfledermaus (<i>Myotis daubentonii</i>)</p>	<p>flächig: in ganz Bayern weit verbreitete, meist häufige Art^{3,4}; Sommerquartiere v. a. in Bäumen (auch Nistkästen), bevorzugt in wald- und gewässerreichen Habitaten im Flachland³; im Winter in oft höher gelegenen unterirdischen Spaltenquartieren (v. a. in Kellern und Höhlen in Nordbayern und den Alpen)³</p>	<p>Kurzstreckenwanderer: saisonale Wanderungen über 100-150 km (max. 304 km), in Bayern meist nur 20-50 km^{2,3}; Entfernung und Richtung der Wanderungen abhängig von der Verfügbarkeit der Winterquartiere und Sommerhabitats (fakultativer Migrant)²</p>	<p>jagt hauptsächlich an ruhigen Gewässern jeder Art (Still- und Fließgewässer), auch in Auen³; nimmt Beute auch von der Wasseroberfläche auf³</p>

Art	Verbreitung und Quartiernutzung in Bayern	Migrationsverhalten	Jagdhabitat- und Auwaldnutzung
Zweifarb- fledermaus (<i>Vespertilio murinus</i>)	flächig: in Bayern ganzjährig verstreut, mit Schwerpunkt in Süd- und Ostbayern ^{3,4} ; verstärktes Auftreten im Herbst/Frühling (v. a. in Städten) zu beobachten ³ ; Sommerquartiere in Spalten an Gebäuden ³ ; Winterquartiere unterirdisch oder oberirdisch an Gebäuden (Nachweise bisher sehr selten) ³	Weitstreckenwanderer: kann offensichtlich weite Distanzen zurücklegen (max. 1780 km) ² ; regelmäßige Wanderungen zwischen Sommerquartieren im Nordosten und Winterquartieren im Südwesten Europas erscheinen wahrscheinlich, können jedoch bislang wegen mangelndem Datenmaterial (noch) nicht belegt werden ³ ; evtl. sind auch einige europäische Populationen ortstreu ¹	jagt vor allem im freien Luftraum über offenem Gelände (landwirtschaftl. Nutzflächen, Aufforstungen, Wiesen, Gewässer) und in Siedlungen ^{1,3} ; Gewässer stellen bevorzugte Jagdgebiete dar ³
Zwerg- fledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	flächig: sowohl im Sommer als auch im Winter in ganz Bayern weit verbreitet ^{3,4} ; ausgeprägter „Kulturfolger“: Sommer- und Winterquartiere überwiegend in Spalten an Gebäuden und in Kellern ³	Kurzstreckenwanderer/ortstreu: Migrationsverhalten variabel, in der Regel nur kurze Wanderungen von 10-20 km, vereinzelt aber auch bis zu wenigen 100 km nachgewiesen (max. 1123 km) ² ; in Bayern wohl überwiegend ortstreu Populationen ³	sehr flexible Art, jagt aber bevorzugt an größeren Gewässern, insbesondere Stillgewässern ³ ; nicht auffallend häufig in Auen

Tabelle 1.1: Verbreitung, Migrationsverhalten und Auwaldnutzung bayerischer Fledermausarten (soweit bekannt) (Quellen: ¹DIETZ ET AL. (2007), ²HUTTERER ET AL. (2005), ³MESCHEDE & RUDOLPH (2004), ⁴MESCHEDE & RUDOLPH (2010)).

1.5 Fragestellung und Zielsetzung der vorliegenden Arbeit

Alle in Bayern heimischen Fledermausarten sind nach dem Bundesnaturschutzgesetz streng geschützt und zudem im Anhang IV, einige Arten auch im Anhang II, der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie der Europäischen Union (Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen) aufgelistet. Darüber hinaus ist Deutschland im Jahr 1993 dem „Abkommen zur Erhaltung der europäischen Fledermauspopulationen“ (EUROBATS), einem Regionalabkommen im Rahmen der 1983 in Kraft getretenen Bonner Konvention (Übereinkommen zur Erhaltung wandernder wild lebender Tierarten) beigetreten. Um diesen vertraglichen und gesetzlichen Verpflichtungen gerecht werden und Schutzmaßnahmen sinnvoll umsetzen zu können, ist unter anderem eine möglichst genaue Kenntnis über das Migrationsverhalten europäischer Fledermauspopulationen wichtig. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund, dass Deutschland als Durchzugsland und als Überwinterungsgebiet für einige Arten eine internationale Bedeutung hat (MESCHEDE

& HELLER 2002). Nur bei einem ausreichenden Kenntnisstand auch über kleinräumige Migrationsbewegungen und den Einfluss von lokaler Habitatqualität, beispielsweise des verfügbaren Nahrungs- und Quartierangebotes, können die Bedürfnisse migrierender Fledermäuse im Rahmen infrastruktureller Planungen berücksichtigt werden. Von großem Interesse ist in diesem Zusammenhang die Frage, ob feste Zugrouten existieren, denen die Fledermäuse jedes Jahr beim Wechsel zwischen ihren Sommer- und Winterquartieren folgen (VOIGT ET AL. 2015). Sollte dies der Fall sein, könnten solche Migrationskorridore durchaus entlang von Flusstälern mit ihren Auenlandschaften verlaufen, da diese als lineare Leitstrukturen der Orientierung dienen und gleichzeitig gute Lebensbedingungen bieten. Unter Umständen ziehen die Tiere jedoch nicht jedes Jahr entlang von Korridoren, sondern wandern in breiter Front und konzentrieren sich nur zeitweise in nahrungsreichen Habitaten, um dort zu rasten. In diesem Fall wäre zu erwarten, dass zu den Zugzeiten Stillgewässer ähnlich intensiv von Fledermäusen genutzt werden wie Fließgewässer und Auen.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Bedeutung der Flussläufe von Inn und Salzach als linearen Landschaftselementen im Vergleich zu punktuellen Strukturen wie Stillgewässern im Jahreszyklus der Fledermauspopulationen im nördlichen Voralpenraum zu untersuchen. Insbesondere eine mögliche Funktion der beiden Gebirgsflüsse als Leitlinien oder Rastgebiete während der Migration war von Interesse. Es existieren bereits Hinweise auf das Vorkommen von Wanderbewegungen in dieser Region und auf die große Bedeutung von Auenlebensräumen zu den Zugzeiten (HUTTERER ET AL. 2005, MESCHÉDE & RUDOLPH 2004). Dabei weisen die europäischen Fledermausarten bei der Nutzung ihrer Lebensräume im Jahresverlauf ein ganz unterschiedliches Verhalten auf, so dass auch verschiedene Funktionen der Flussauen von Inn und Salzach denkbar sind: Einigen Arten könnten die Auen als Leitlinien und Orientierungshilfen oder als Rastgebiete auf dem Durchzug in weiter entfernt liegende Lebensräume dienen, anderen als Wanderkorridore zwischen den Sommerlebensräumen im Alpenvorland und ihren Winterquartieren in den Alpen. Ebenfalls denkbar wäre, dass die Auen als produktive und vielfältige Ökosysteme das ganze Jahr über Aktivitätszentren der lokalen Fledermausfauna darstellen. Unter Umständen sind die Auen für oberirdisch überwintende Fledermäuse auch als Überwinterungsgebiete attraktiv: Historisch bedingt liegen Städte und Siedlungen in Deutschland häufig an Flüssen (KÜHN ET AL.

2004), so dass in den Flussauen nicht nur strukturreiche Auwälder, sondern auch unterschiedliche Gebäude den Fledermäusen ein verhältnismäßig gutes Angebot an oberirdischen Quartieren bieten. Zudem sind Flusstäler und Städte oft klimatisch begünstigt (KUTTLER 2004, MESCHEDE & RUDOLPH 2004), was die Flussniederungen für oberirdisch überwinternde Arten auch in Frühjahr und Herbst besonders attraktiv machen könnte.

Um diese Fragen zu untersuchen, wurde eine phänologische Studie durchgeführt. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde die Fledermausaktivität zur Zugzeit im Frühling/Herbst und zur Wochenstubenzeit im Sommer mittels echoakustischer Methoden sowohl in den Flussauen von Inn und Salzach als auch zeitgleich an geeigneten Stillgewässern der Region aufgenommen und miteinander verglichen. Sollten Fledermäuse auf ihren Wanderungen die Flussläufe als Migrationskorridore nutzen und nicht in breiter Front ziehen, wäre zu erwarten, dass sich die Fledermausaktivität zu den Zugzeiten entlang der Flüsse signifikant von derjenigen an Stillgewässern derselben Region unterscheidet.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchungsstandorte

2.1.1 Untersuchungsgebiet

Die in dieser Studie untersuchten Abschnitte der Flusssysteme Inn und Salzach liegen im bayerischen und österreichischen Alpenvorland. Geographisch wird das Untersuchungsgebiet im Norden durch das Ende der Jungmoränenlandschaft des voralpinen Hügel- und Moorlandes mit seinen zahlreichen Seen und seinem dichten Fließgewässernetz begrenzt, im Süden durch die Voralpen. Die mittleren Jahresniederschläge betragen ca. 1 000 mm, die Jahresmitteltemperatur ca. 7,5°C (MESCHEDE & RUDOLPH 2004). Alle untersuchten Standorte liegen auf einer Höhe zwischen 373 und 883 m über NN und erstrecken sich entlang des Inn über eine Fläche von ca. 70 km x 25 km zwischen dem österreichischen Kufstein im Süden und dem oberbayerischen Wasserburg am Inn im Norden. Entlang der Salzach liegen die Untersuchungsstandorte auf einer Fläche von ca. 50 km x 30 km zwischen dem österreichischen Hallein im Süden und dem oberbayerischen Tittmoning im Norden. Politisch ist das Untersuchungsgebiet dem bayerischen Regierungsbezirk Oberbayern sowie den österreichischen Bundesländern Tirol, Salzburger Land und Oberösterreich zuzuordnen.

2.1.2 Standortauswahl

An den Flusssystemen Inn und Salzach wurden zwölf Standortpaare ausgewählt (insgesamt 24 Untersuchungsstandorte). Jedes Standortpaar umfasste jeweils einen Untersuchungsstandort am Fließgewässer (Standorte „A“: Fluss) sowie einen Vergleichsstandort an einem nahegelegenen Stillgewässer (Standorte „B“: See). Die Standortpaare 1 bis 6 sind dabei dem Flusssystem Inn, die Standortpaare 7 bis 12 dem Flusssystem Salzach zuzuordnen (siehe Tabelle 2.1, S. 37 und Abbildung 2.1, S. 38).

Da die Gewässerqualität die Insektendichte und damit das Nahrungsangebot für Fledermäuse beeinflussen kann (ABBOTT ET AL. 2009, RACEY ET AL. 1998, VAUGHAN ET AL. 1996) und auch die Höhenlage in Bezug auf Vorkommen und Aktivität von Fledermäusen eine Rolle spielt (GRINDAL ET AL. 1999, KANUCH & KRISTIN 2006),

wurden beide Faktoren bei der Auswahl der Standortpaare berücksichtigt. Ebenso wurde auf einen ähnlich hohen Anteil an Siedlungs- bzw. Gehölzflächen in der näheren Umgebung der Untersuchungsstandorte geachtet. Die Entfernung zwischen den beiden Standorten eines Standortpaares betrug 4 bis 16 Kilometer. Diese Distanz überschreitet bei den meisten bayerischen Fledermausarten die Größe des Kernjagdgebietes eines Individuums (MESCHÉDE & HELLER 2002) und stellt somit sicher, dass in einer Nacht nicht einzelne Individuen an beiden Standorten eines Standortpaares aufgenommen wurden. Dadurch können die einzelnen Untersuchungsstandorte als räumlich voneinander unabhängige Stichproben betrachtet werden. Gleichzeitig liegen die Standorte innerhalb eines Standortpaares dennoch nah genug beieinander, um Unterschiede im Klima (Niederschläge, Temperatur) grundsätzlich so gering wie möglich zu halten.

2010 Inn			2011 Salzbach		
Nummer	Name	Koordinaten	Nummer	Name	Koordinaten
1A	Nasenbach	N48° 07.861' E12° 15.265'	7A	Tittmoning Nord	N48° 06.261' E12° 44.946'
1B	Soyensee	N48° 06.438' E12° 12.419'	7B	Holzöster See	N48° 03.546' E12° 54.063'
2A	Attel	N48° 01.603' E12° 11.618'	8A	Tittmoning Süd	N48° 03.695' E12° 46.578'
2B	Obinger See	N48° 00.262' E12° 24.654'	8B	Tachinger See	N47° 59.240' E12° 44.931'
3A	Sulmaring	N47° 56.096' E12° 08.912'	9A	Riedersbach	N48° 01.180' E12° 50.852'
3B	Rhinssee	N47° 54.890' E12° 12.690'	9B	Grabensee	N47° 59.009' E13° 05.304'
4A	Rosenheim	N47° 51.138' E12° 08.892'	10A	Laufen	N47° 56.056' E12° 56.366'
4B	Simssee	N47° 51.471' E12° 13.625'	10B	Waginger See	N47° 55.576' E12° 48.370'
5A	Kiefersfelden	N47° 36.487' E12° 12.269'	11A	Salzburg Nord	N47° 51.024' E13° 00.395'
5B	Walchsee	N47° 38.917' E12° 19.833'	11B	Wallersee	N47° 55.362' E13° 12.275'
6A	Kirchbichl	N47° 32.383' E12° 06.859'	12A	Tauglbach	N47° 39.303' E13° 07.286'
6B	Hintersteiner See	N47° 32.633' E12° 12.890'	12B	Wiestalstausee	N47° 45.642' E13° 10.897'

Tabelle 2.1: Untersuchungsstandorte an Flüssen und Seen. Alle Standorte an Fließgewässern wurden mit „A“ gekennzeichnet, die Standorte an Stillgewässern mit „B“.

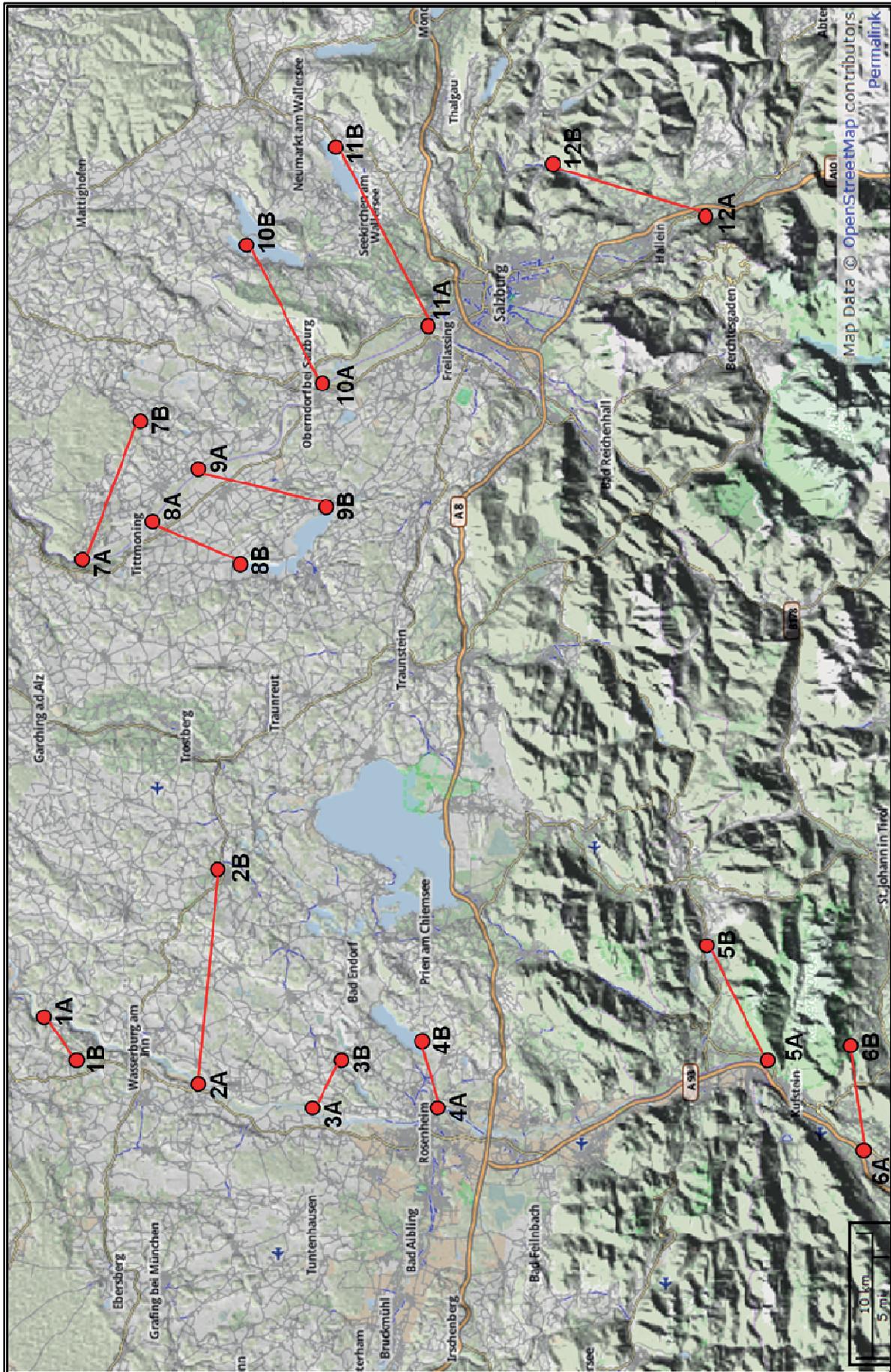


Abbildung 2.1: Übersicht über die ausgewählten Untersuchungsstandorte (für eine detailliertere Darstellung siehe Abbildung 2.2 und Abbildung 2.5).
Quelle Kartenmaterial: OPENSTREETMAP FOUNDATION (2014).

2.2 Datenaufnahme

2.2.1 Aufzeichnung von Lautaufnahmen

Zur Erfassung der Fledermausaktivität wurden die Ultraschallrufe der Fledermäuse mithilfe von automatisierten Lautaufnahmesystemen (*batcorder*, Fa. ecoObs GmbH) als Rufsequenzen in Echtzeit und mit Standardeinstellungen der Geräte (Quality: 20, Threshold: -27 dB, Posttrigger: 400 ms, Critical Frequency: 16 kHz) aufgenommen und digital gespeichert (500 kHz Samplerate, 16 bit Amplitudenauflösung). Der Erfassungszeitraum jeder Aufnahmenacht begann mit Sonnenuntergang und endete bei Sonnenaufgang. An jedem Untersuchungsstandort kamen pro Aufnahmenacht zwei Aufnahmegeräte zum Einsatz, von denen jeweils eines in einem Abstand von ca. 2 bis 4 m vom Ufer des jeweiligen Gewässers entfernt und in einer Höhe von ca. 3 m über dem Boden positioniert wurde (siehe Abbildung 2.4, S. 44). Das zweite Gerät wurde entweder in derselben Entfernung vom Ufer, jedoch in einer Höhe von ca. 15 m (am Flusssystem Inn, siehe Abbildung 2.3, S. 44), oder einige Meter vom Ufer entfernt in bzw. am Rand von Gehölzen (am Flusssystem Salzach, siehe Abbildung 2.10 und Abbildung 2.11, S. 47) aufgestellt (zur unterschiedlichen Positionierung der Lautaufnahmegeräte an den beiden Flusssystemen siehe Kapitel 2.3.3, S. 45).

2.2.2 Durchführung von Netzfängen

Um nähere Informationen zu Geschlecht, Alter und Reproduktionsstatus der Tiere zu erhalten sowie auch Arten zu erfassen, die mittels Lautaufnahmen nur schwer nachzuweisen bzw. zu bestimmen sind, wurden als Ergänzung zu den Lautaufnahmen in jeder Aufnahmenacht zusätzlich Netzfänge mit feinmaschigen Japannetzen durchgeführt. Die Netze wurden bei Einbruch der Dunkelheit in einem Mindestabstand von 30 m zu den Lautaufnahmegeräten aufgestellt und je nach Witterung spätestens beim Einsetzen der Morgendämmerung wieder abgebaut.

Eine naturschutzrechtliche Genehmigung zum Fang von Fledermäusen durch die zuständigen Behörden lag vor (Regierung von Oberbayern: Geschäftszeichen 55.1-8642.1-5-2010, Tiroler Landesregierung: Geschäftszahl U-14.390/6, Salzburger Landesregierung: Geschäftszahl 21301-RI/550/8/5-2011, Oberösterreichische Landesregierung: Geschäftszeichen N10-59-2011-Ps).

2.2.3 Erfassung des Nahrungsangebotes

Da das Nahrungsangebot die Fledermausaktivität beeinflussen kann (ZAHN & MAIER 1997), wurde dieser Parameter in jeder Aufnahmenacht erfasst. Dafür erfolgte eine grobe Abschätzung der Insektdichte durch eine standardisierte Zählung der nachts im Scheinwerferlicht eines LED-Handstrahlers sichtbaren fliegenden Insekten (TAYLOR & O'NEILL 1988). Der LED-Handstrahler (LED Lenser P14, Fa. Zweibrüder Optoelectronics GmbH) wurde dazu mit einheitlicher Fokussierung in einer Höhe von einem Meter parallel zum Boden innerhalb von 30 Sekunden einmal um 360° gedreht und anschließend senkrecht nach oben gerichtet. Alle in diesem Zeitraum angestrahlten fliegenden Insekten wurden gezählt. Dieses Verfahren wurde an jedem Untersuchungsstandort in jeder Aufnahmenacht mehrmals an unterschiedlichen Standpunkten in der näheren Umgebung der Lautaufnahmegeräte durchgeführt (zu den Details im Ablauf siehe Kapitel 2.3.2, S. 41 und Kapitel 2.3.3, S. 45). Aus den auf diese Weise erhaltenen Daten wurde jeweils ein Mittelwert an gezählten Insekten pro Nacht errechnet.

2.2.4 Aufzeichnung der Temperatur

Da auch die Temperatur einen Einfluss auf die Fledermausaktivität hat (VAUGHAN ET AL. 1997) wurde sie in jeder Aufnahmenacht mit Temperatur-Datenloggern (Votcraft DL-100T) mindestens im Stundentakt von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang gemessen. Hierfür wurden die Datenlogger an den Lautaufnahmegeräten befestigt. Aus den so erhaltenen Messwerten konnte eine Durchschnittstemperatur für jede Aufnahmenacht errechnet werden.

2.2.5 Erfassung des Quartierangebotes

Auch das lokale Quartierangebot kann die Fledermausaktivität an einem Standort beeinflussen (SWYSTUN ET AL. 2007). Um diesen Parameter zu erfassen, wurden Geländebegehungen im Winterhalbjahr durchgeführt. Die Quartierdichte wurde mittels standardisierter Transektbegehungen ermittelt, indem um jeden Untersuchungsstandort ein insgesamt 300 m langer Transekt abgegangen wurde. Dabei wurden alle sichtbaren potentiellen Fledermausquartiere an Bäumen (Faulhöhlen, Spechtlöcher, Rinden- und Spaltenquartiere) innerhalb eines Abstandes

von jeweils 10 m rechts und links des Weges und ab einem Meter Höhe über dem Boden gezählt.

2.3 Durchführung

2.3.1 Ablauf

Insgesamt konnten in den Jahren 2010 und 2011 für das vorliegende Projekt 94 Aufnahmenächte durchgeführt werden. Die Datenaufnahme fand im Jahr 2010 an den Standortpaaren 1 bis 6 statt (Flusssystem Inn, siehe Abbildung 2.2, S. 43), und im Jahr 2011 an den Standortpaaren 7 bis 12 (Flusssystem Salzach, siehe Abbildung 2.5, S. 46). Die Aufnahmenächte innerhalb eines Jahres wurden in mehrere Runden unterteilt: eine Runde umfasste dabei je eine Aufnahmenacht pro Untersuchungsstandort am entsprechenden Flusssystem. Erst nach Vollendung einer kompletten Runde wurde mit der Nächsten begonnen.

2.3.2 Versuchsaufbau Flusssystem Inn

Im Jahr 2010 wurden insgesamt 58 Aufnahmenächte durchgeführt. In jeder Nacht fand die Datenerhebung an einem Untersuchungsstandort statt. Die Nächte verteilten sich auf insgesamt fünf Runden, d. h. jeder Untersuchungsstandort aus den Standortpaaren 1 bis 6 (siehe Abbildung 2.2, S. 43) wurde im Laufe des Jahres fünfmal beprobt (Erfassungszeiträume siehe Tabelle 2.2, S. 42). An den beiden Standorten innerhalb eines Standortpaares (Fluss- und Seestandort) fand die Datenerhebung jeweils an zwei aufeinanderfolgenden Nächten statt. Die Erhebung erfolgte nur, wenn am zweiten Abend ähnliche Wetterbedingungen wie am ersten Abend herrschten (d. h. Differenz der Abendtemperatur voraussichtlich $< 5^{\circ}\text{C}$, keine Unterschiede bzgl. erwartetem Niederschlag und erwarteter Windgeschwindigkeit). Die Reihenfolge, in der die einzelnen Standortpaare innerhalb einer Runde beprobt wurden, war zufällig. In jeder Aufnahmenacht waren somit zwei Aufnahmegeräte am selben Untersuchungsstandort im Einsatz, eines der beiden Geräte wurde jeweils in 3 m Höhe, das zweite mit Hilfe eines Fiberglas Teleskopmastes (Spiderbeam 18 m Fiberglasmast, Fa. Spiderbeam GmbH) in 15 m Höhe positioniert, um sowohl tief als auch hoch fliegende Arten erfassen zu können (siehe Abbildung 2.3 und Abbildung 2.4, S. 44). Beide Geräte befanden sich ca. 2 bis 4 m vom Ufer des jeweiligen Gewässers entfernt. Um die Qualität der Lautaufnahmen nicht zu beeinträchtigen,

wurde auf einen ausreichenden Abstand von ca. 3 m zwischen den Mikrofonen und möglicherweise reflektierenden Objekten geachtet. Netzfänge wurden an jedem Standort durchgeführt, eine Erfassung des Nahrungsangebotes fand in jeder Aufnahmenacht einmal pro Stunde statt (beginnend eine Stunde nach Sonnenuntergang bis ca. eine Stunde vor Sonnenaufgang). Wetterbedingt konnte die Datenaufnahme an den Standorten 6A und 6B in der Runde R4-2010 nicht erfolgreich durchgeführt werden. Aufgrund technischer Probleme fielen außerdem die Lautaufnahmegeräte in 15 m Höhe in der Runde R1-2010 am Standortpaar 2 aus.

Erfassungszeitraum	Runde	Anzahl Aufnahmenächte	Jahreszeit	Migrationszeit
26. April – 23. Mai 2010	R1-2010	12	Frühling	ja
04. Juni – 30. Juni 2010	R2-2010	12	Sommer	nein
05. Juli – 02. August 2010	R3-2010	12	Sommer	nein
03. September – 28. September 2010	R4-2010	10	Herbst	ja
06. Oktober – 29. Oktober 2010	R5-2010	12	Herbst	ja

Tabelle 2.2: Erfassungszeiträume im Jahr 2010 am Flusssystem Inn.

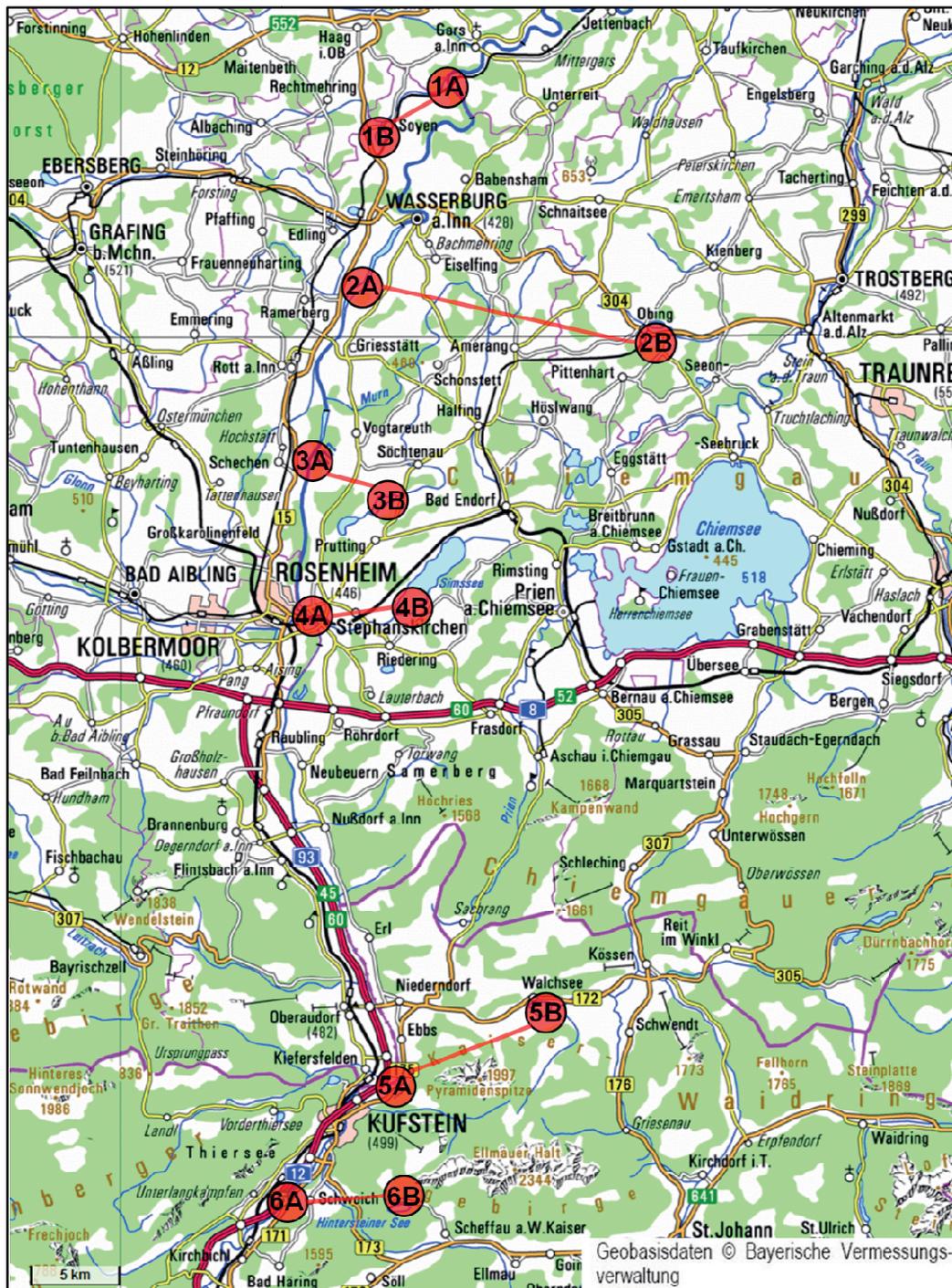


Abbildung 2.2: Ausgewählte Untersuchungsstandorte (1A bis 6B) am Flusssystem Inn im Jahr 2010. Alle Standorte am Fluss wurden mit „A“ gekennzeichnet, die Vergleichsstandorte an Stillgewässern mit „B“. Quelle Kartenmaterial: BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG (2014).



Abbildung 2.3:
Versuchsaufbau 2010
(Standort 2A Attel):
Positionierung von zwei
Lautaufnahmegeräten an
einem Untersuchungs-
standort, jeweils eines in
15 m und eines in 3 m
Höhe (siehe Pfeile).



Abbildung 2.4: Versuchsaufbau 2010 (Standort 3B Rhinssee): Positionierung eines Lautaufnahmegerätes in 3 m Höhe und ca. 2 bis 4 m vom Ufer des Gewässers entfernt.

2.3.3 Versuchsaufbau Flusssystem Salzach

Im Jahr 2011 wurden insgesamt 36 Aufnahmenächte erfolgreich durchgeführt. Aufgrund der Anzahl an verfügbaren Aufnahmegeräten konnten in jeder Aufnahmenacht an zwei Untersuchungsstandorten parallel Daten erhoben werden. Die Nächte verteilten sich auf insgesamt 6 Runden, d. h. jeder der Standorte aus den Standortpaaren 7 bis 12 (siehe Abbildung 2.5, S. 46) wurde im Laufe des Jahres sechsmal beprobt (Erfassungszeiträume siehe Tabelle 2.3, S. 46). Die Reihenfolge innerhalb einer Runde war dabei zufällig. An den beiden Standorten eines Standortpaares fand die Datenerhebung jeweils in derselben Nacht mit je zwei Aufnahmegeräten pro Standort statt, so dass in jeder Aufnahmenacht insgesamt vier Aufnahmegeräte im Einsatz waren. Da in den im Jahr 2010 aufgezeichneten Daten keine zusätzliche Fledermausaktivität in einer Aufnahmehöhe von 15 m gegenüber einer Aufnahmehöhe von 3 m festgestellt werden konnte (ZEUS 2010), wurden im Jahr 2011 alle Aufnahmegeräte in einer Höhe von 3 m positioniert. Eines der beiden Geräte wurde, wie auch im Jahr 2010, am Ufer des jeweiligen Gewässers aufgestellt (siehe Abbildungen 2.6 bis 2.9, S. 47). Das zweite Gerät befand sich in bzw. am Rand von Gehölzbeständen mehrere Meter abseits des Ufers (siehe Abbildung 2.10 und Abbildung 2.11, S. 47), um zusätzlich die Fledermausaktivität in anderen Habitattypen bzw. auch von weniger eng an Gewässer gebundenen Arten erfassen zu können. Um eine gute Qualität der Lautaufnahmen zu gewährleisten, wurde ein Abstand von ca. 3 m zwischen den Mikrofonen und anderen potentiell reflektierenden Oberflächen eingehalten. Netzfänge konnten nur abwechselnd an einem Standort des jeweiligen Standortpaares durchgeführt werden und fanden daher an jedem Standort jeweils einmal in Frühling, Sommer und Herbst statt. Eine Erfassung des Nahrungsangebotes wurde immer an beiden Standorten eines Paares durchgeführt, jeweils einmal im ersten Drittel der Nacht an zehn unterschiedlichen Standpunkten in der näheren Umgebung der Lautaufnahmegeräte. Aufgrund eines technischen Defektes fiel in zwei Aufnahmenächten jeweils das Lautaufnahmegerät in bzw. am Rand von Gehölzbeständen aus (je 1 Nacht in den Runden R3-2011(Standort 7B) und R6-2011 (Standort 9B)).

Erfassungszeitraum	Runde	Anzahl Aufnahmenächte	Jahreszeit	Migrationszeit
05. April – 21. April 2011	R1-2011	6	Frühling	ja
05. Mai – 17. Mai 2011	R2-2011	6	Frühling	ja
21. Juni – 12. Juli 2011	R3-2011	6	Sommer	nein
15. Juli – 28. Juli 2011	R4-2011	6	Sommer	nein
26. August – 01. Oktober 2011	R5-2011	6	Herbst	ja
02. Oktober – 22. Oktober 2011	R6-2011	6	Herbst	ja

Tabelle 2.3: Erfassungszeiträume im Jahr 2011 am Flusssystem Salzach.

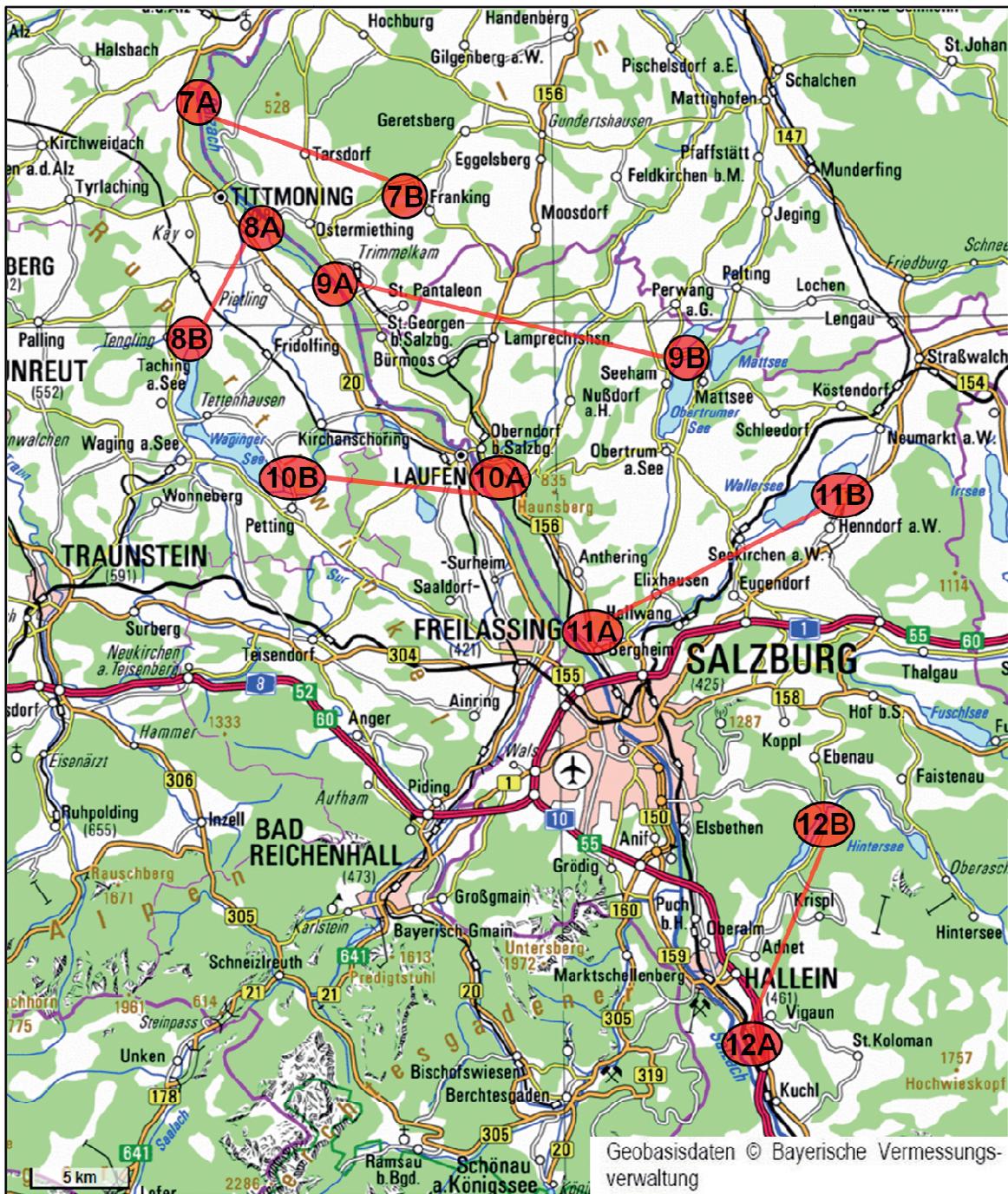


Abbildung 2.5: Ausgewählte Untersuchungsstandorte (7A bis 12B) am Flusssystem Salzach im Jahr 2011. Alle Standorte am Fluss wurden mit „A“ gekennzeichnet, die Vergleichsstandorte an Stillgewässern mit „B“. Quelle Kartenmaterial: BAYERISCHE VERMESSUNGSVERWALTUNG (2014).



Abbildung 2.6: Versuchsaufbau 2011 (Standort 11A Salzburg Nord): Lautaufnahmegerät am Ufer des Flusses.

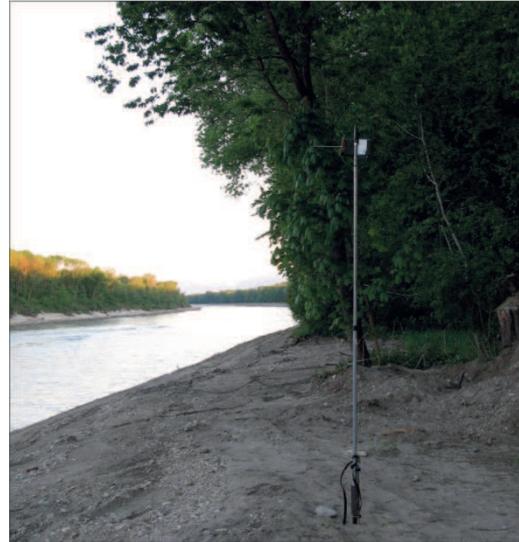


Abbildung 2.7: Versuchsaufbau 2011 (Standort 10A Laufen): Lautaufnahmegerät am Ufer des Flusses.



Abbildung 2.8: Versuchsaufbau 2011 (Standort 7B Holzöster See): Lautaufnahmegerät am Ufer des Stillgewässers.



Abbildung 2.9: Versuchsaufbau 2011 (Standort 12B Wiestalstausee): Lautaufnahmegerät am Ufer des Stillgewässers.



Abbildung 2.10: Versuchsaufbau 2011 (Standort 9A Riedersbach): Lautaufnahmegerät in einem Gehölzbestand einige Meter abseits des Ufers.



Abbildung 2.11: Versuchsaufbau 2011 (Standort 8A Tittmoning Süd): Lautaufnahmegerät am Rand eines Gehölzbestandes einige Meter abseits des Ufers.

2.4 Datenauswertung

2.4.1 Auswertungsverfahren Lautaufnahmen

2.4.1.1 Errechnung der Fledermausaktivität

Die Verwaltung der Lautaufnahmen erfolgte mit Hilfe des Datenbankprogrammes bcAdmin (Version 2.28, Fa. ecoObs GmbH). Eine standardisierte Auswertung der aufgenommenen Rufsequenzen wurde mit Hilfe der Analysesoftware batldent (Version 1.01, Fa. ecoObs GmbH) durchgeführt, das je nach Fledermausart und Qualität der Lautaufnahme eine automatisierte Bestimmung der Rufe auf Art- bzw. Artgruppenniveau durchführt. Anschließend erfolgte mittels bcAnalyse (Version 1.16, Fa. ecoObs GmbH) zusätzlich eine manuelle Überprüfung jeder Rufsequenz, die in die Auswertung mit einbezogen wurde. Die manuelle Überprüfung der Rufsequenzen orientierte sich an einschlägiger Fachliteratur (HAMMER ET AL. 2009, SKIBA 2009).

Auf diese Weise konnte für jede Aufnahmenacht die Zeit mit Fledermausaktivität auf Art- bzw. Artgruppenniveau ermittelt werden. Da einige Rufsequenzen nicht bis auf Art- oder Artgruppenebene bestimmt werden konnten, wurde jede Nacht (von Sonnenunter- bis Sonnenaufgang) in Zeitabschnitte von jeweils 15 Minuten unterteilt und für jeden dieser Zeitabschnitte wurde die Anwesenheit der jeweiligen Fledermausart anhand der aufgenommenen Rufsequenzen überprüft. Sobald mindestens eine Rufsequenz einer Art- bzw. Artgruppe sicher bestimmt werden konnte, wurde sie für den entsprechenden Zeitabschnitt als „bestätigt“ gewertet. In diesen Analyseschritt wurden nur jene Rufsequenzen eines Zeitabschnittes mit einbezogen, die zuvor durch die automatisierte Bestimmung mittels batldent der entsprechenden Art oder einer dieser Art übergeordneten Gruppe zugeordnet worden waren (d. h. nur diese Rufsequenzen kamen in die manuelle Auswertung). Aus der Summe der Zeitabschnitte mit Aktivitätsnachweis wurde anschließend die Aktivität einer Art- bzw. Artgruppe pro Nacht errechnet:

$$\text{Fledermausaktivität in \%} = \frac{\sum \text{Zeitabschnitte einer Nacht mit Aktivitätsnachweis} * 100}{\sum \text{alle Zeitabschnitte einer Nacht}}$$

Die Anzahl der aufgenommenen Rufsequenzen einer Art innerhalb eines Zeitabschnittes spielte dabei für die Auswertung keine Rolle. Vorteil dieser Methode

ist, dass diejenigen Individuen nicht überproportional in die Auswertung mit einfließen, die über einen längeren Zeitraum hinweg in der unmittelbaren Nähe eines Lautaufnahmegerätes jagten. Außerdem mussten nicht eindeutig zu bestimmende Rufe in den meisten Fällen nicht weiter berücksichtigt werden. Darüber hinaus konnte auf diese Weise die im Lauf des Jahres variierende Nachtlänge berücksichtigt werden, aufgrund derer die Gesamtzahl der Zeitabschnitte einer Nacht allein nicht aussagekräftig wäre.

Um Werte für die Fledermausaktivität pro Runde, Jahreszeit oder Standort zu erhalten, wurde aus den Prozentwerten der Fledermausaktivität aller einschlägigen Aufnahmenächte jeweils der Mittelwert gebildet.

2.4.1.2 Artgruppen

Einige Gattungen bzw. Arten konnten mittels Lautaufnahmen entweder nur äußerst selten aufgezeichnet oder nicht sicher voneinander unterschieden werden (z. B. *Plecotus*, *Rhinolophus*, *Hypsugo*, einige Arten der Gattung *Myotis*) und wurden daher nicht gesondert ausgewertet bzw. zu Artgruppen zusammengefasst und gemeinsam analysiert. Artgruppen bildeten jeweils Rauhaut- und Weißbrandfledermaus (*Pipistrellus nathusii* und *Pipistrellus kuhlii*), Wasser-, Bart- und Brandtfledermaus (*Myotis daubentonii*, *Myotis mystacinus* und *Myotis brandtii*) und Kleiner Abendsegler, Zweifarb- und Breitflügelfledermaus (*Nyctalus leisleri*, *Vespertilio murinus* und *Eptesicus serotinus*).

Die Weißbrandfledermaus wurde im Untersuchungsgebiet bislang noch nicht nachgewiesen. Obwohl nicht ganz auszuschließen ist, dass diese Art inzwischen in einigen Städten (Süd)Bayerns vorkommt (MESCHÉDE & RUDOLPH 2010), kann davon ausgegangen werden, dass Lautaufnahmen der Weißbrandfledermaus, wenn überhaupt, nur zu einem äußerst geringen Anteil zur Gesamtaktivität der Artgruppe Rauhaut- und Weißbrandfledermaus beigetragen haben. Daher wird die Weißbrandfledermaus im Folgenden nicht weiter berücksichtigt.

Auch die Brandtfledermaus kommt im Untersuchungsgebiet eher selten vor (siehe Tabelle 1.1, S. 33) und trägt aus diesem Grund vermutlich nur zu einem geringen Anteil zur Gesamtaktivität ihrer Artgruppe bei. In den durchgeführten Netzfängen konnten außerdem Wasserfledermäuse an beiden Flusssystemen häufiger gefangen werden als Bartfledermäuse, so dass die Wasserfledermaus unter Umständen auch in den Lautaufnahmen dieser Artgruppe entsprechend stärker repräsentiert ist.

Ebenso liegen vom Kleinen Abendsegler im Untersuchungsgebiet bislang kaum Artnachweise vor (MESCHEDE & RUDOLPH 2004), so dass er in den aufgezeichneten Lautaufnahmen vermutlich nicht oder nur äußerst selten vertreten ist. Auch er wird daher im Folgenden nicht weiter genannt. Die Zweifarbfledermaus konnte im Untersuchungsgebiet bisher häufiger nachgewiesen werden als die Breitflügelfledermaus (MESCHEDE & RUDOLPH 2004), so dass sie wahrscheinlich auch in den aufgezeichneten Lautaufnahmen stärker repräsentiert ist.

2.4.2 Auswertungsverfahren Nahrungsangebot

Um einen Wert für das Nahrungsangebot pro Aufnahmenacht und Untersuchungsstandort zu erhalten, wurde aus allen Zählungen der entsprechenden Nacht an einem Standort der Mittelwert gebildet.

2.4.3 Auswertungsverfahren Temperaturdaten

Wie für das Nahrungsangebot wurde auch für die Temperaturdaten aus allen Messwerten einer Aufnahmenacht jeweils eine Durchschnittstemperatur pro Nacht und Untersuchungsstandort errechnet.

2.5 Statistische Datenanalyse

Für die gesamte statistische Datenanalyse wurde die Statistiksoftware R 3.1.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2014) verwendet.

2.5.1 Lineare gemischte Modelle

Für die Analyse der Lautaufnahmen, des Nahrungsangebotes und der Temperaturdaten wurden die R-packages lme4 (BATES ET AL. 2014) und lmerTest (KUZNETSOVA ET AL. 2014) verwendet.

Da in der vorliegenden Untersuchung an denselben Untersuchungsstandorten mehrfach Daten erhoben wurden (zeitliche Wiederholungsmessungen), können die einzelnen Stichproben nicht als voneinander unabhängig angenommen werden (CRAWLEY 2007, DORMANN & KÜHN 2009). Wird dieser Umstand in der inferenziellen Datenanalyse nicht entsprechend berücksichtigt, stellt dies eine zeitliche Pseudoreplikation dar (HURLBERT 1984), die aufgrund der hohen Anzahl an residuellen Freiheitsgraden zu falsch signifikanten Ergebnissen führen kann (CRAWLEY 2007).

Um Pseudoreplikationen zu vermeiden, wurden für die statistische Datenanalyse lineare gemischte Modelle (*Linear Mixed Effect Models, LMM*) verwendet. Je ein lineares gemischtes Modell wurde für die kontinuierlichen abhängigen Variablen „Fledermausaktivität in %“ (für jede Art bzw. Artgruppe einzeln), „Nahrungsangebot“ und „Temperatur“ berechnet, basierend auf jeweils einem Wert pro Aufnahmenacht und Untersuchungsstandort ($n = 130$). Unabhängige (kategoriale) Variablen, die als feste Faktoren (*Fixed Effects*) berücksichtigt wurden, waren die „Lage“ des Untersuchungsstandortes (Fluss- oder Seestandort), die „Migrationszeit“ (ja oder nein) und die Interaktion zwischen den beiden Variablen. Die kategoriale unabhängige Variable „Untersuchungsstandort“ (1A bis 12B) wurde als zufälliger Faktor (*Random Effect*) im Modell berücksichtigt. Aufgrund der insgesamt geringen Anzahl an statistischen Tests (neun Fledermausarten bzw. -artgruppen) und des unterschiedlichen Migrationsverhaltens der untersuchten Arten wurde auf eine Korrektur für multiples Testen verzichtet. Ziel der Analyse war es, Unterschiede in der Aktivität einzelner Fledermausarten zwischen den Fluss- und Seestandorten während der Migrations- bzw. Wochenstubenzeit zu erkennen. Dafür wurden am Flusssystem Inn jeweils alle Aufnahmenächte aus den Runden R1-2010, R4-2010 und R5-2010 als „Migrationszeit“ und alle Aufnahmenächte aus den Runden R2-2010 und R3-2010 als „Wochenstubenzeit“ zusammengefasst. Am Flusssystem Salzach wurden alle Aufnahmenächte aus den Runden R1-2011, R2-2011, R5-2011 und R6-2011 zur „Migrationszeit“ und alle Aufnahmenächte aus den Runden R3-2011 und R4-2011 zur „Wochenstubenzeit“ gezählt. Getestet wurde die Nullhypothese „kein Unterschied in der Fledermausaktivität zwischen Fluss- und Seestandorten zur Migrations- bzw. Wochenstubenzeit“. Manche Fledermausarten wurden nur in weniger als 50 % aller Aufnahmenächte aufgezeichnet. In diesen Fällen wurde aufgrund der hohen Anzahl an Nullwerten und der damit einhergehenden geringen Datengrundlage auf eine statistische Analyse mittels linearer gemischter Modelle verzichtet.

Da es sich bei den Daten aus den Lautaufnahmen (Fledermausaktivität in %) um Prozentwerte handelt, wurde vor der Analyse eine Winkeltransformation durchgeführt (QUINN & KEOUGH 2002). Für die Daten des Nahrungsangebotes wurde eine logarithmische Transformation vorgenommen, um Normalverteilung zu erreichen.

2.5.2 Korrelationen nach Spearman

Der Zusammenhang zwischen Fledermausaktivität und Nahrungs- und Quartierangebot bzw. Temperatur wurde mithilfe von Korrelationen nach Spearman (nicht-parametrisches Verfahren für nicht-normalverteilte Daten) untersucht. Korreliert wurde hierfür jeweils die errechnete Fledermausaktivität pro Nacht an einem Untersuchungsstandort mit der durchschnittlichen Anzahl gezählter Insekten und der Durchschnittstemperatur pro Aufnahmenacht bzw. der Anzahl potentieller Quartiere an einem Standort. Da eine Erfassung des Nahrungsangebotes am Flusssystem Salzach (im Gegensatz zum Flusssystem Inn) jeweils nur in der ersten Nachthälfte und nicht über die gesamte Länge der Nacht hinweg stattfand (zur unterschiedlichen Erfassung des Nahrungsangebotes an den beiden Flusssystemen siehe Kapitel 2.3.2, S. 41 und Kapitel 2.3.3, S. 45), sind die Daten der beiden untersuchten Flusssysteme diesbezüglich nicht direkt miteinander vergleichbar. Aus diesem Grund wurde die Analyse zum Nahrungsangebot für die beiden Flusssysteme getrennt durchgeführt.

2.5.3 Wilcoxon-Rangsummen-Tests

Um Unterschiede im Quartierangebot an Fluss- und Seestandorten zu untersuchen, wurden Wilcoxon-Rangsummen-Tests für gepaarte Stichproben verwendet.

3 Ergebnisse

3.1 Nachgewiesene Fledermausarten

Insgesamt konnten in den Jahren 2010 und 2011 an den 24 Untersuchungsstandorten 17 Fledermausarten nachgewiesen werden, davon 12 Arten durch Netzfänge (siehe Tabelle 3.1) und 16 Arten durch Lautaufnahmen (siehe Tabelle 3.2, S. 54).

	1A Nasenbach	1B Soyensee	2A Attel	2B Obinger See	3A Sulmaring	3B Rhinssee	4A Rosenheim	4B Simssee	5A Kieffersfelden	5B Walchsee	6A Kirchbichl	6B Hintersteiner See	7A Tittmoning Nord	7B Holzöster See	8A Tittmoning Süd	8B Tachinger See	9A Riedersbach	9B Grabensee	10A Laufen	10B Waginger See	11A Salzburg Nord	11B Wallersee	12A Tauglbach	12B Wiestalstausee
<i>Barbastella barbastellus</i>	✓				✓																	✓	✓	
<i>Eptesicus nilssonii</i>							✓																	
<i>Myotis daubentonii</i>	✓		✓				✓	✓		✓	✓		✓			✓								✓
<i>Myotis emarginatus</i>																	✓							
<i>Myotis mystacinus/brandtii</i>	✓	✓					✓	✓		✓													✓	
<i>Myotis myotis</i>		✓								✓	✓													
<i>Myotis nattereri</i>		✓	✓					✓																
<i>Nyctalus noctula</i>													✓											
<i>Pipistrellus nathusii</i>								✓																
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>		✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓										
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>							✓		✓	✓														
<i>Plecotus auritus</i>										✓					✓		✓							

Tabelle 3.1: An den einzelnen Untersuchungsstandorten durch Netzfang nachgewiesene Fledermausarten.

	1A Nasenbach	1B Soyensee	2A Attel	2B Obinger See	3A Sulmaring	3B Rhinssee	4A Rosenheim	4B Simssee	5A Kiefernfelden	5B Walchsee	6A Kirchbichl	6B Hintersteiner See	7A Tittmoning Nord	7B Holzöster See	8A Tittmoning Süd	8B Tachinger See	9A Riedersbach	9B Grabensee	10A Laufen	10B Waginger See	11A Salzburg Nord	11B Wallersee	12A Tauglbach	12B Wiestalstausee	
<i>Barbastella barbastellus</i>	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		
<i>Hypsugo savii</i>			✓					✓																	
<i>Eptesicus nilssonii</i>		✓		✓			✓			✓		✓							✓	✓		✓			
<i>Eptesicus serotinus</i>															✓										
<i>Myotis bechsteinii</i>													✓			✓	✓						✓		
<i>Myotis daubentonii</i>	✓	✓	✓				✓	✓		✓		✓	✓			✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓
<i>Myotis emarginatus</i>																									
<i>Myotis mystacinus/brandtii</i>								✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Myotis myotis</i>		✓								✓									✓				✓		
<i>Myotis nattereri</i>													✓			✓				✓		✓			
<i>Nyctalus leisleri</i>																									
<i>Nyctalus noctula</i>	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
<i>Pipistrellus kuhlii</i>																									
<i>Pipistrellus nathusii</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>				✓				✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
<i>Plecotus spec.</i>	✓								✓									✓		✓		✓			
<i>Rhinolophus hipposideros</i>												✓													
<i>Vespertilio murinus</i>				✓																					

Tabelle 3.2: An den einzelnen Untersuchungsstandorten durch Lautaufnahmen nachgewiesene Fledermausarten (entsprechend den "Kriterien für die Wertung von Artnachweisen basierend auf Lautaufnahmen" der bayerischen Koordinationsstellen für Fledermausschutz (HAMMER ET AL. 2009)).

3.2 Lautaufnahmen

Insgesamt konnten in 96 Aufnahmenächten 121 568 Aufnahmesekunden aufgezeichnet werden (entspricht 102 006 Rufsequenzen), davon 46 404 Aufnahmesekunden (39 142 Rufsequenzen) am Flusssystem Inn im Jahr 2010 und 75 164 Aufnahmesekunden (62 864 Rufsequenzen) am Flusssystem Salzach im Jahr 2011. Die durchschnittliche Anzahl an Aufnahmesekunden pro Lautaufnahmegerät und Untersuchungsnacht war am Flusssystem Salzach insgesamt höher als am Flusssystem Inn (siehe Tabelle 3.3), wobei dieser Unterschied hauptsächlich auf der an den Flusstandorten erfassten Fledermausaktivität beruhte. Insgesamt entfiel der größte Teil der Lautaufnahmen auf die Gattungen *Pipistrellus* und *Myotis* (siehe Abbildung 3.1).

	Flussstandorte	Seestandorte	Gesamt
2010 Inn	256	531	393
2011 Salzach	486	573	529

Tabelle 3.3: Durchschnittliche Anzahl an Aufnahmesekunden pro Lautaufnahmegerät und Untersuchungsnacht an den Flusssystemen Inn und Salzach.

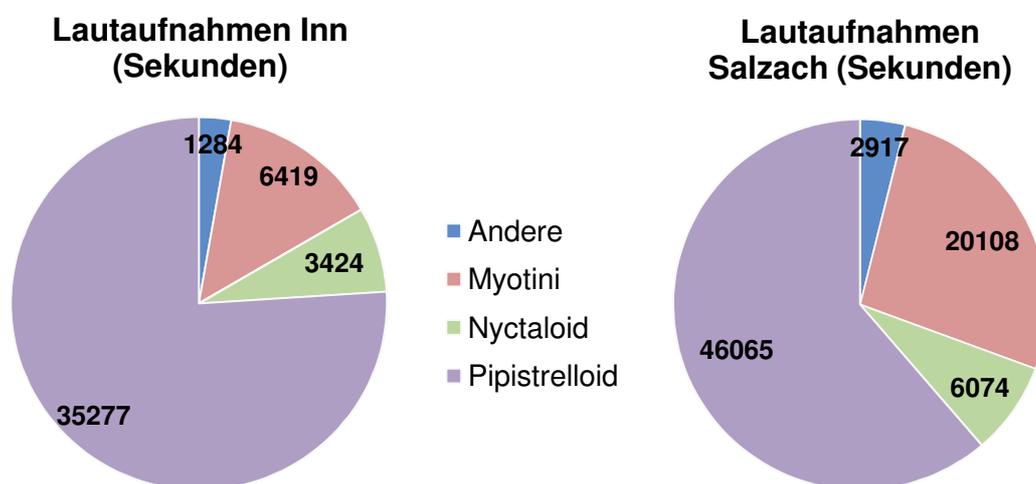


Abbildung 3.1: Aufgezeichnete Lautaufnahmen (in Sekunden) am Flusssystem Inn 2010 (links) und am Flusssystem Salzach 2011 (rechts). Die Gruppe „Myotini“ umfasst die europäischen Arten der Gattung *Myotis*, die Gruppe „Nyctaloid“ umfasst die die europäischen Arten der Gattungen *Nyctalus*, *Eptesicus* und *Vespertilio*, und die Gruppe „Pipistrelloid“ umfasst die europäischen Arten der Gattungen *Pipistrellus* und *Hypsugo* (die Einteilung der Gruppen basiert auf den Ergebnissen der Analysesoftware batIdent (Version 1.01, Fa. ecoObs GmbH), die Fledermausarten mit ähnlichen Rufen unabhängig von ihrem Verwandtschaftsgrad zusammenfasst).

Die Summe der Fledermausaktivität über alle Untersuchungs Nächte hinweg variierte an den einzelnen Untersuchungsstandorten mit einem Minimum von 491 Aufnahmesekunden am Standort 3B Rhinssee und einem Maximum von 22 893 Aufnahmesekunden am Standort 4B Simssee (siehe Abbildung 3.2).

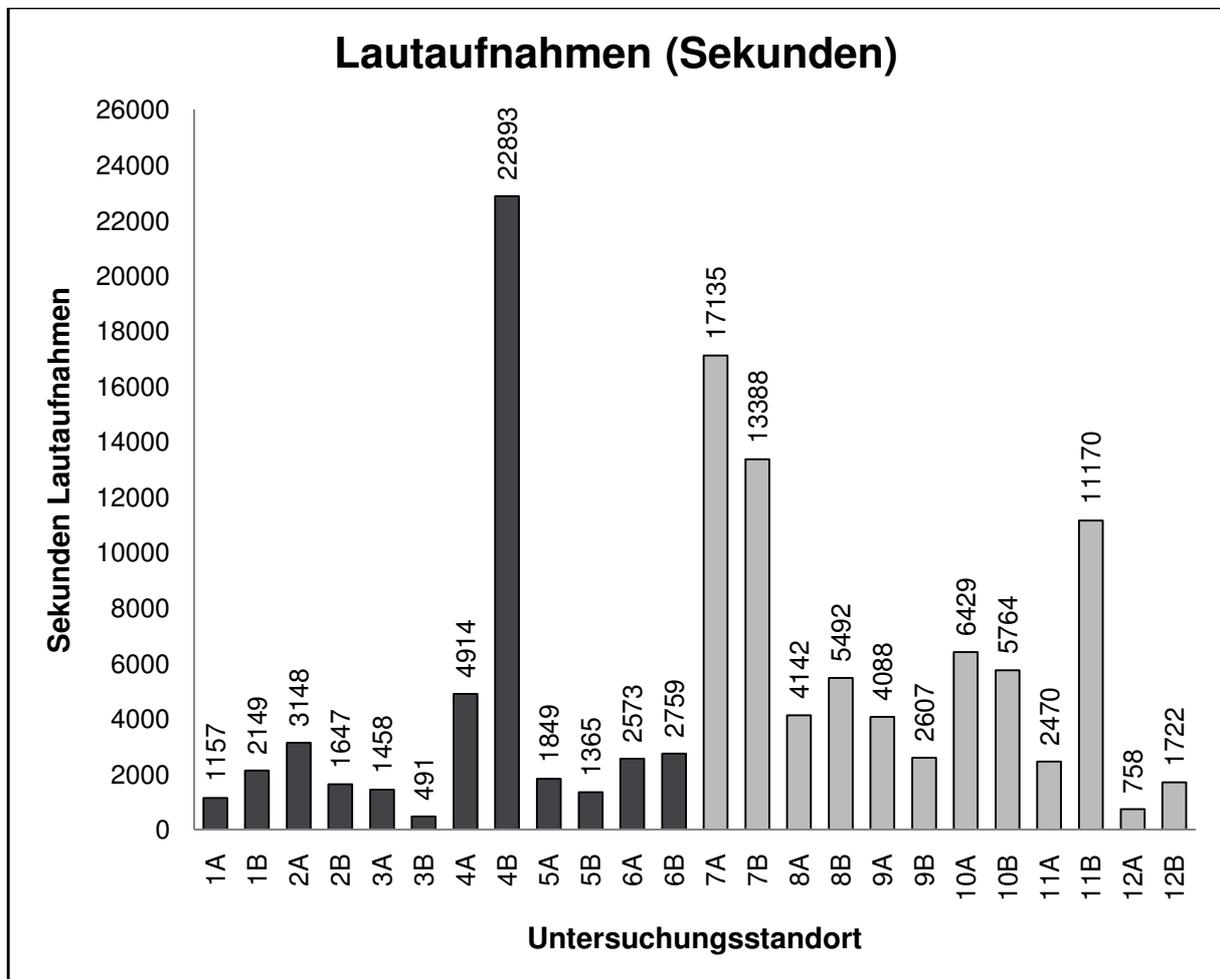


Abbildung 3.2: Verteilung aller Lautaufnahmen (in Sekunden) auf die einzelnen Untersuchungsstandorte an den Flusssystemen Inn (schwarz) und Salzach (grau).

3.3 Netzfänge

Netzfänge wurden in 91 Aufnahmenächten durchgeführt, in 57 Nächten am Flusssystem Inn und in 34 Nächten am Flusssystem Salzach.

Am Flusssystem Inn konnten insgesamt 68 Fledermäuse aus 10 Arten, am Flusssystem Salzach 29 Fledermäuse aus 7 Arten mithilfe feinmaschiger Japannetze gefangen werden (siehe Tabelle 3.4 und Tabelle 3.5, S. 57). Brandt- und Bartfledermäuse (*Myotis brandtii* und *Myotis mystacinus*) konnten nicht in allen Fällen anhand ihrer morphologischen Merkmale mit ausreichender Sicherheit voneinander unterschieden werden und wurden daher als Gruppe zusammengefasst.

Fledermausart	Anzahl gefangener Individuen	Anteil an allen Fängen in % (gerundet)
Brandt- und Bartfledermaus (<i>Myotis brandtii / mystacinus</i>)	14	21
Braunes Langohr (<i>Plecotus auritus</i>)	1	1
Fransenfledermaus (<i>Myotis nattereri</i>)	4	6
Großes Mausohr (<i>Myotis myotis</i>)	6	9
Mopsfledermaus (<i>Barbastella barbastellus</i>)	3	4
Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)	2	3
Nordfledermaus (<i>Eptesicus nilssonii</i>)	1	1
Rauhautfledermaus (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	2	3
Wasserfledermaus (<i>Myotis daubentonii</i>)	23	34
Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	12	18

Tabelle 3.4: Art und Anzahl gefangener Fledermäuse am Flusssystem Inn im Jahr 2010.

Fledermausart	Anzahl gefangener Individuen	Anteil an allen Fängen in % (gerundet)
Brandt- und Bartfledermaus (<i>Myotis brandtii / mystacinus</i>)	1	3
Braunes Langohr (<i>Plecotus auritus</i>)	2	7
Großer Abendsegler (<i>Nyctalus noctula</i>)	1	3
Mopsfledermaus (<i>Barbastella barbastellus</i>)	2	7
Wasserfledermaus (<i>Myotis daubentonii</i>)	20	69
Wimperfledermaus (<i>Myotis emarginatus</i>)	1	3
Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	2	7

Tabelle 3.5: Art und Anzahl gefangener Fledermäuse am Flusssystem Salzach im Jahr 2011.

3.4 Nahrungsangebot

Parallel zu den Lautaufnahmen wurden in allen Aufnahmenächten Daten zum Nahrungsangebot für Fledermäuse erhoben. Zwischen dem erfassten Nahrungsangebot und der errechneten Fledermausaktivität ergab sich in der Regel eine positive Korrelation, d. h. die Fledermausaktivität nahm mit steigender Anzahl gezählter Insekten zu (siehe Tabelle 3.6, S. 58). Während sich dieser Zusammenhang zwischen Nahrungsangebot und Fledermausaktivität in der Migrationszeit bei einigen Arten als signifikant erwies, war dies in der Wochenstubenzeit bei keiner der untersuchten Fledermausarten der Fall.

	2010 Inn				2011 Salzach			
	Migrationszeit		Wochenstubenzzeit		Migrationszeit		Wochenstubenzzeit	
	rho	p-Wert	rho	p-Wert	rho	p-Wert	rho	p-Wert
Rauhautfledermaus (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	0,647	<0,001	0,006	0,978	0,534	<0,001	0,138	0,521
Großer Abendsegler (<i>Nyctalus noctula</i>)	0,525	0,001	0,329	0,117	0,586	<0,001	0,262	0,217
Zweifarb- und Breitflügel fledermaus (<i>Vespertilio murinus / Eptesicus serotinus</i>)	0,476	0,004	0,386	0,063	0,450	0,001	0,112	0,603
Wasser-, Bart- und Brandtfledermaus (<i>Myotis daubentonii / mystacinus / brandtii</i>)	0,546	<0,001	0,052	0,809	0,649	<0,001	0,180	0,4
Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	0,316	0,069	0,056	0,796	0,619	<0,001	-0,119	0,581
Nordfledermaus (<i>Eptesicus nilsonii</i>)	0,284	0,104	0,155	0,471	0,432	0,002	0,078	0,718
Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)	0,479	0,004	-0,309	0,141	0,384	0,007	-0,059	0,784
Mopsfledermaus (<i>Barbastella barbastellus</i>)	0,132	0,457	0,055	0,799	0,430	0,002	0,135	0,530
Großes Mausohr (<i>Myotis myotis</i>)	0,192	0,276	0,082	0,703	0,035	0,816	-0,090	0,674

Tabelle 3.6: Zusammenhang zwischen Nahrungsangebot und Fledermausaktivität (Korrelationen nach Spearman; 2010 Inn: 58 Aufnahmenächte mit je einem Standort (n = 58), 2011 Salzach: 36 Aufnahmenächte mit je zwei Standorten (n = 72); signifikante p-Werte fett gedruckt).

Während die Anzahl gezählter Insekten in beiden Untersuchungsjahren in der Wochenstubenzeit signifikant höher war als in der Migrationszeit, gab es zwischen den Fluss- und Seestandorten der beiden Flusssysteme keine signifikanten Unterschiede im Nahrungsangebot (siehe Tabelle 3.7, Abbildung 3.3 und Abbildung 3.4, S. 60). Aus diesem Grund wurde die Variable „Nahrungsangebot“ in der Analyse der Phänologie einzelner Fledermausarten (siehe Kapitel 3.7, S. 70) trotz signifikanter Korrelationen mit der Aktivität einiger Fledermausarten nicht weiter berücksichtigt.

	2010 Inn			2011 Salzach		
	df	t-Wert	p-Wert	df	t-Wert	p-Wert
Migrationszeit : Wochenstubenzeit	54,0	-7,08	<0,001	68,0	-5,07	<0,001
Flussstandorte : Seestandorte	54,0	0,78	0,4	68,0	-0,36	0,719
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/Fluss	54,0	-4,20	<0,001	68,0	-3,39	0,001
Migrationszeit/Fluss : Migrationszeit/See	54,0	1,49	0,1	68,0	-0,07	0,943
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	54,0	-4,46	<0,001	68,0	-3,84	<0,001
Wochenstubenzeit/Fluss : Migrationszeit/See	54,0	5,56	<0,001	68,0	3,33	0,001
Wochenstubenzeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	54,0	-0,23	0,8	68,0	-0,39	0,696
Migrationszeit/See : Wochenstubenzeit/See	54,0	-5,81	<0,001	68,0	-3,78	<0,001

Tabelle 3.7: Ergebnisse des linearen gemischten Modelles für die Anzahl gezählter Insekten (signifikante p-Werte fett gedruckt).

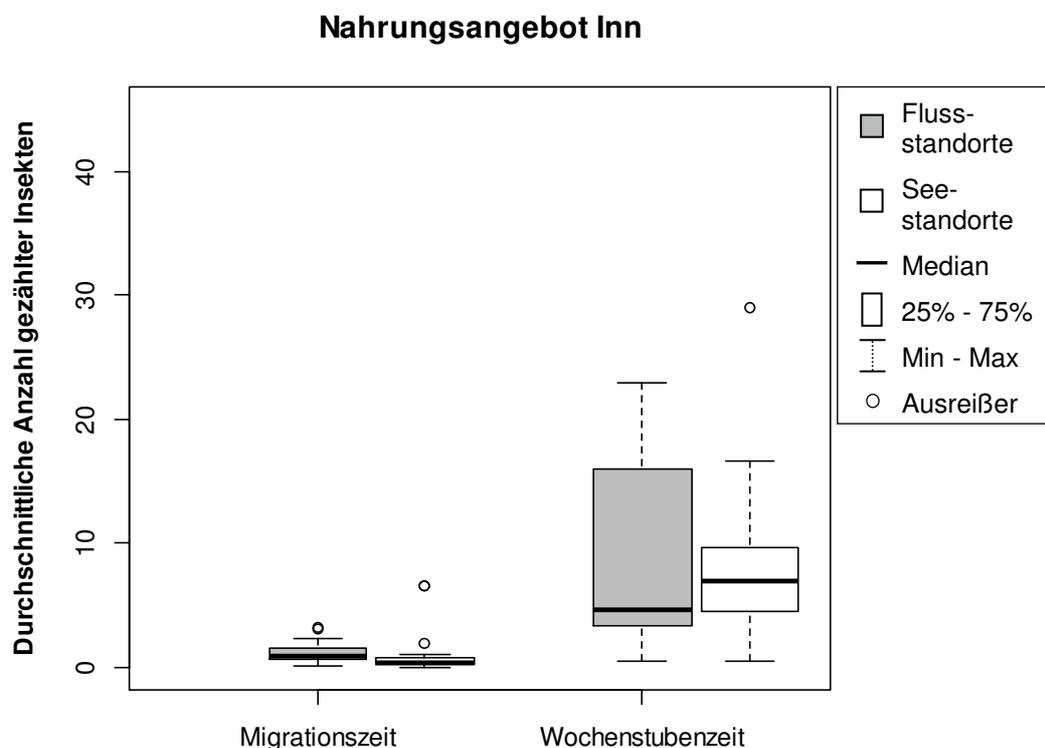


Abbildung 3.3: Box-Whisker-Plot des Nahrungsangebotes an den Fluss- und Seestandorten des Flusssystems Inn.

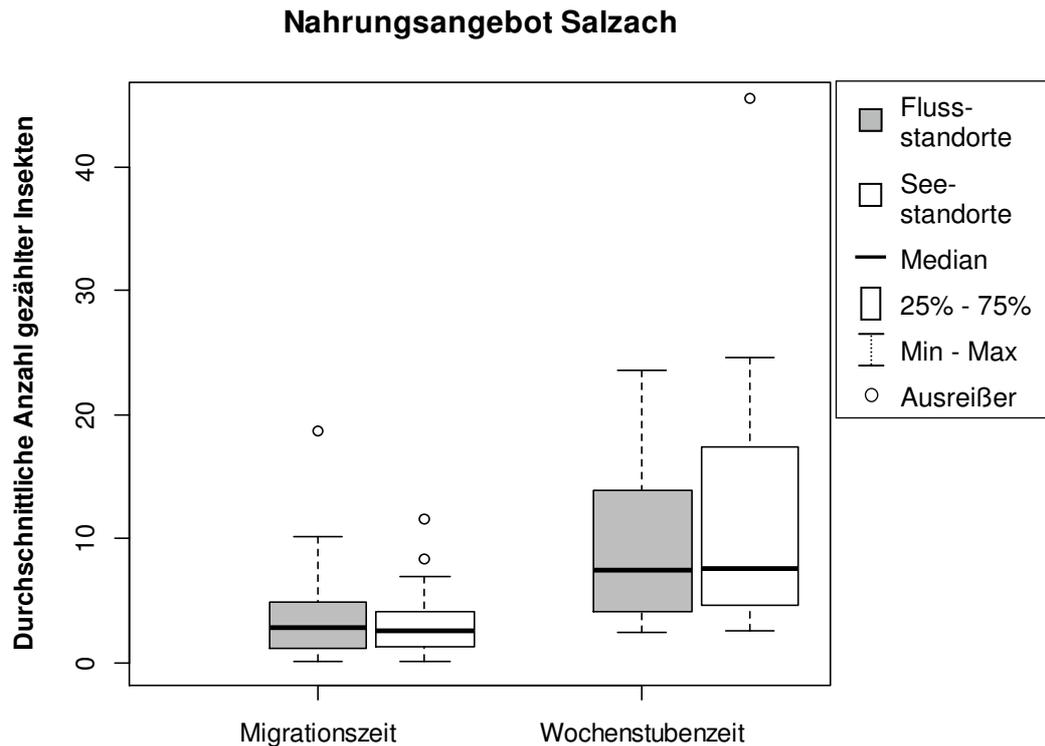


Abbildung 3.4: Box-Whisker-Plot des Nahrungsangebotes an den Fluss- und Seestandorten des Flusssystems Salzach.

Insgesamt schwankte die durchschnittliche Anzahl gezählter Insekten pro Aufnahmenacht zwischen 0 und 46 mit einem Durchschnitt von 5,3 Insekten pro Nacht (4,4 am Flusssystem Inn und 6,1 am Flusssystem Salzach). An beiden Flusssystemen war das Nahrungsangebot im Sommer höher als zu Beginn und Ende der Aufnahmesaison im Frühling und Herbst (siehe Abbildung 3.5 und Abbildung 3.6, S. 61).

Nahrungsangebot Inn

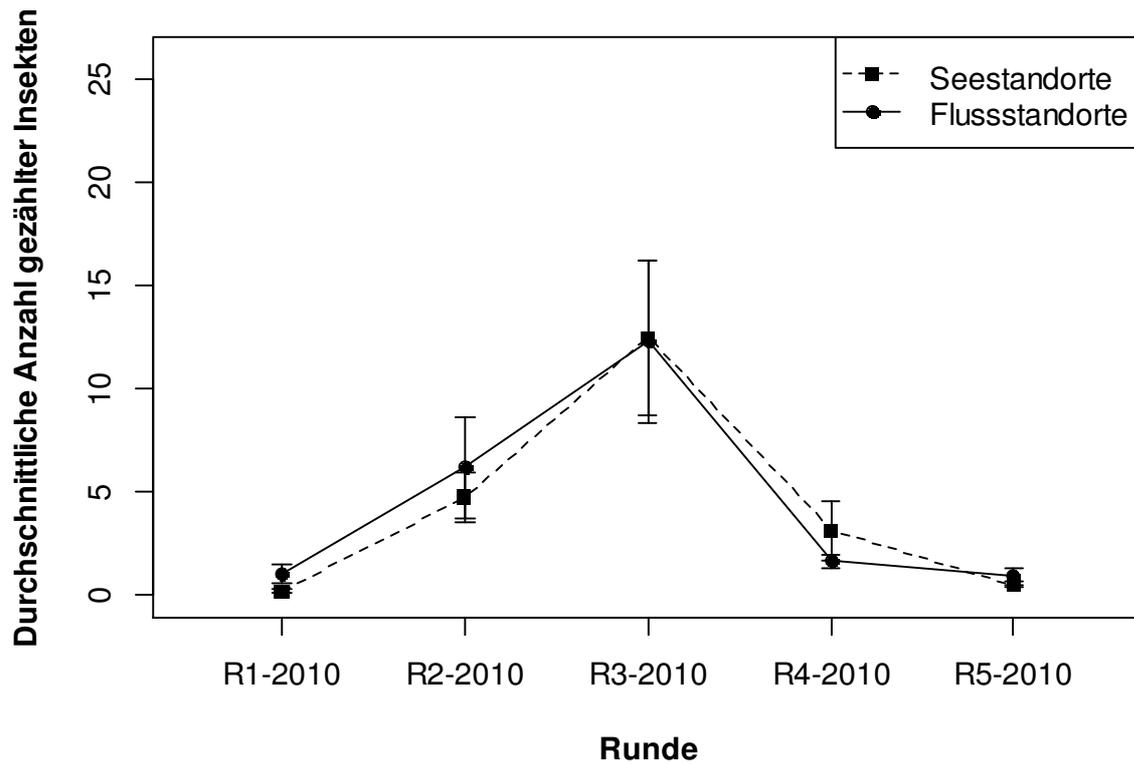


Abbildung 3.5: Vergleich des Nahrungsangebotes an Fluss- und Seestandorten des Flusssystem Inn für die einzelnen Runden (Mittelwerte mit Standardfehlern) (Erfassungszeiträume der einzelnen Runden siehe Tabelle 2.2, S. 42).

Nahrungsangebot Salzach

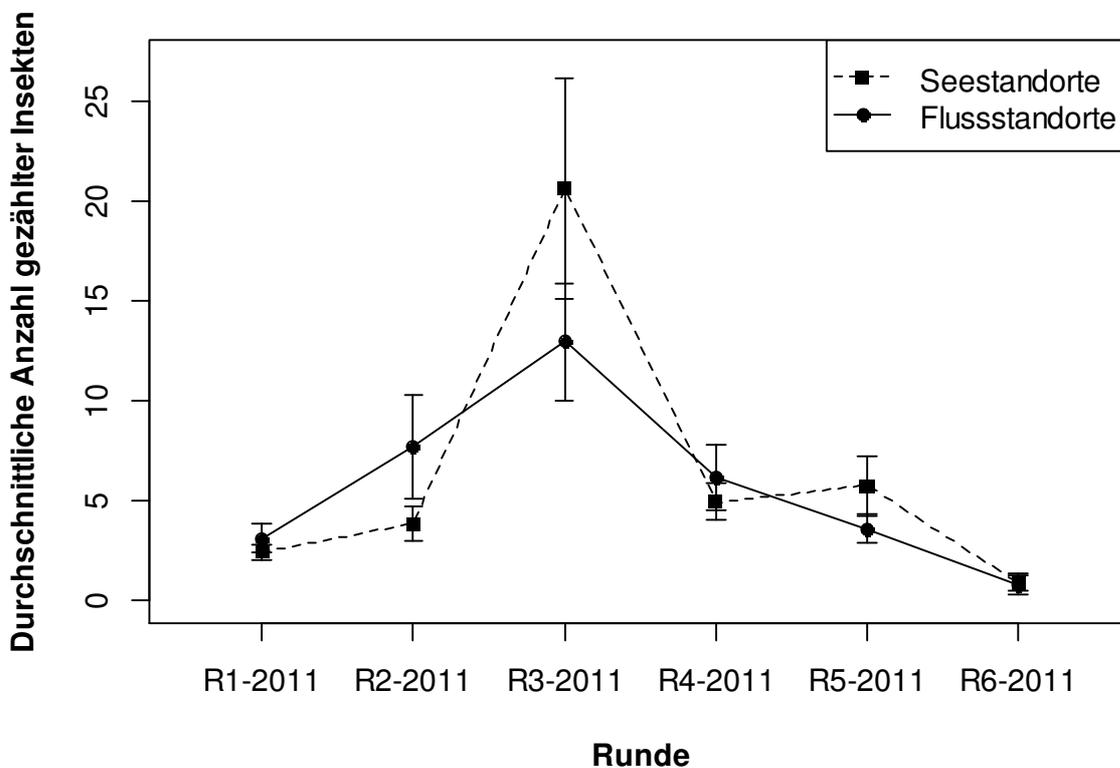


Abbildung 3.6: Vergleich des Nahrungsangebotes an Fluss- und Seestandorten des Flusssystem Salzach für die einzelnen Runden (Mittelwerte mit Standardfehlern) (Erfassungszeiträume der einzelnen Runden siehe Tabelle 2.3, S. 46).

3.5 Temperatur

In 12 von 96 Aufnahmenächten konnten aufgrund technischer Probleme (Ausfall der Temperatur-Datenlogger) keine Temperaturdaten erhoben werden. In allen übrigen Aufnahmenächten korrelierte die durchschnittliche Nachttemperatur während der Migrationszeit bei einigen Fledermausarten signifikant positiv mit der errechneten Fledermausaktivität, d. h. die Fledermausaktivität nahm mit steigender Temperatur zu. In der Wochenstubenzeit dagegen ergab sich bei keiner der untersuchten Fledermausarten eine signifikante Korrelation mit der Nachttemperatur (siehe Tabelle 3.8, S. 63).

	2010 Inn				2011 Salzach			
	Migrationszeit		Wochenstubenzzeit		Migrationszeit		Wochenstubenzzeit	
	rho	p-Wert	rho	p-Wert	rho	p-Wert	rho	p-Wert
Rauhautfledermaus (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	0,722	<0,001	0,269	0,313	0,565	<0,001	-0,117	0,624
Großer Abendsegler (<i>Nyctalus noctula</i>)	0,461	0,006	0,305	0,250	0,430	0,002	0,156	0,512
Zweifarb- und Breitflügel fledermaus (<i>Vespertilio murinus</i> / <i>Eptesicus serotinus</i>)	0,383	0,026	0,412	0,113	0,363	0,011	-0,043	0,857
Wasser-, Bart- und Brandtfledermaus (<i>Myotis daubentonii</i> / <i>mystacinus</i> / <i>brandtii</i>)	0,685	<0,001	-0,110	0,684	0,628	<0,001	-0,099	0,677
Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	0,533	0,001	0,296	0,266	0,670	<0,001	-0,063	0,791
Nordfledermaus (<i>Eptesicus nilsonii</i>)	0,328	0,059	0,173	0,522	0,270	0,063	0,051	0,832
Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)	0,323	0,063	-0,140	0,605	0,396	0,005	-0,278	0,236
Mopsfledermaus (<i>Barbastella barbastellus</i>)	0,127	0,474	0,326	0,217	0,184	0,210	0,139	0,559
Großes Mausohr (<i>Myotis myotis</i>)	0,215	0,222	-0,483	0,058	0,131	0,373	0,234	0,321

Tabelle 3-8: Zusammenhang zwischen Temperatur und Fledermausaktivität (Korrelationen nach Spearman; 2010 Inn: 58 Aufnahmenächte mit je einem Standort - 8 Nächte ohne Temperaturdaten (n = 50), 2011 Salzach: 36 Aufnahmenächte mit je zwei Standorten - 4 Nächte ohne Temperaturdaten (n = 68); signifikante p-Werte fett gedruckt).

Während die durchschnittliche Nachttemperatur in beiden Untersuchungsjahren in der Wochenstubezeit signifikant höher war als in der Migrationszeit, gab es zwischen den Fluss- und Seestandorten der beiden Flusssysteme keine signifikanten Temperaturunterschiede (siehe Tabelle 3.9, Abbildung 3.7 und Abbildung 3.8, S. 65). Aus diesem Grund wurde die Variable „Temperatur“ in der Analyse der Phänologie einzelner Fledermausarten (Kapitel 3.7, S. 70) trotz signifikanter Korrelationen mit der Aktivität einiger Fledermausarten nicht weiter berücksichtigt.

	2010 Inn			2011 Salzach		
	df	t-Wert	p-Wert	df	t-Wert	p-Wert
Migrationszeit : Wochenstubezeit	46,0	-6,48	<0,001	64,0	-4,32	<0,001
Flussstandorte : Seestandorte	46,0	-0,69	0,5	64,0	0,39	0,695
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubezeit/Fluss	46,0	-3,87	<0,001	64,0	-3,23	0,002
Migrationszeit/Fluss : Migrationszeit/See	46,0	0,29	0,8	64,0	0,28	0,778
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubezeit/See	46,0	-5,07	<0,001	64,0	-2,68	0,009
Wochenstubezeit/Fluss : Migrationszeit/See	46,0	4,10	<0,001	64,0	3,46	0,001
Wochenstubezeit/Fluss : Wochenstubezeit/See	46,0	-1,03	0,3	64,0	0,29	0,776
Migrationszeit/See : Wochenstubezeit/See	46,0	-5,30	<0,001	64,0	-2,89	0,005

Tabelle 3.9: Ergebnisse des linearen gemischten Modelles für die durchschnittliche Nachttemperatur (signifikante p-Werte fett gedruckt).

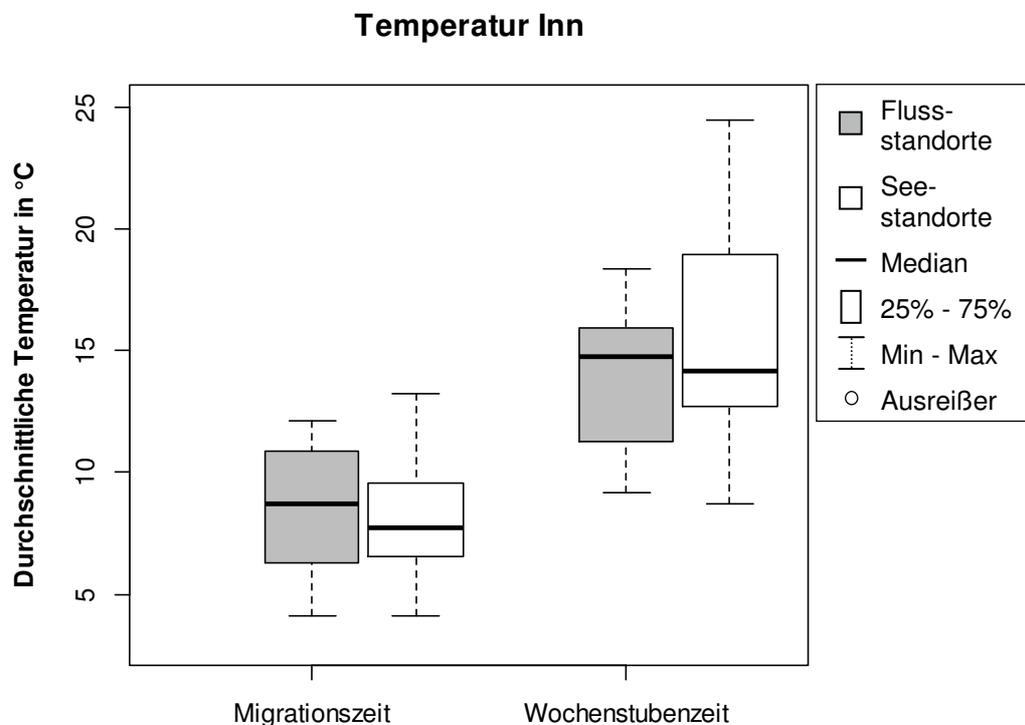


Abbildung 3.7: Box-Whisker-Plot der Temperatur an den Fluss- und Seestandorten des Flusssystems Inn.

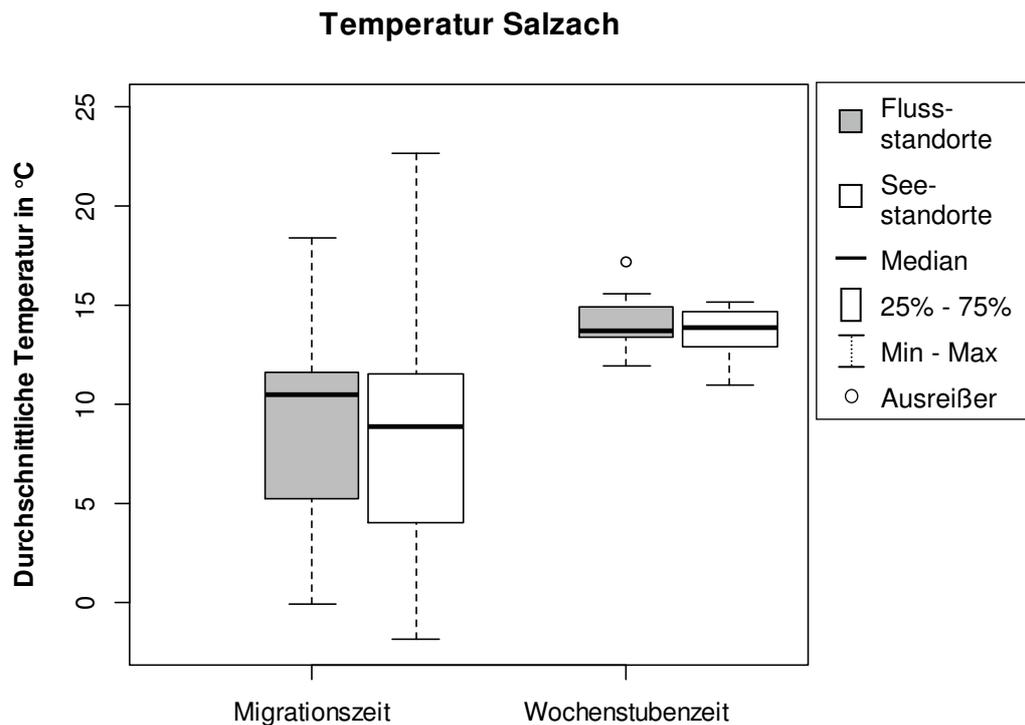


Abbildung 3.8: Box-Whisker-Plot der Temperatur an den Fluss- und Seestandorten des Flusssystemes Salzach.

Insgesamt schwankte die durchschnittliche Nachttemperatur zwischen einem Minimum von $-1,9\text{ °C}$ und einem Maximum von $24,4\text{ °C}$. Die durchschnittliche Temperatur über alle Aufnahmenächte an beiden Flusssystemen hinweg betrug $10,2\text{ °C}$ ($8,9\text{ °C}$ im Frühling, $14,2\text{ °C}$ im Sommer und $8,2\text{ °C}$ im Herbst). Während die Temperatur am Flusssystem Inn im Sommer (Runde R3-2010) ein deutliches Maximum aufwies (siehe Abbildung 3.9, S. 66), erwies sich der Temperaturverlauf am Flusssystem Salzach im Sommer und frühen Herbst (Runden R3-2011 bis R5-2011) als relativ konstant und fiel erst im späten Herbst deutlich ab (siehe Abbildung 3.10, S. 66).

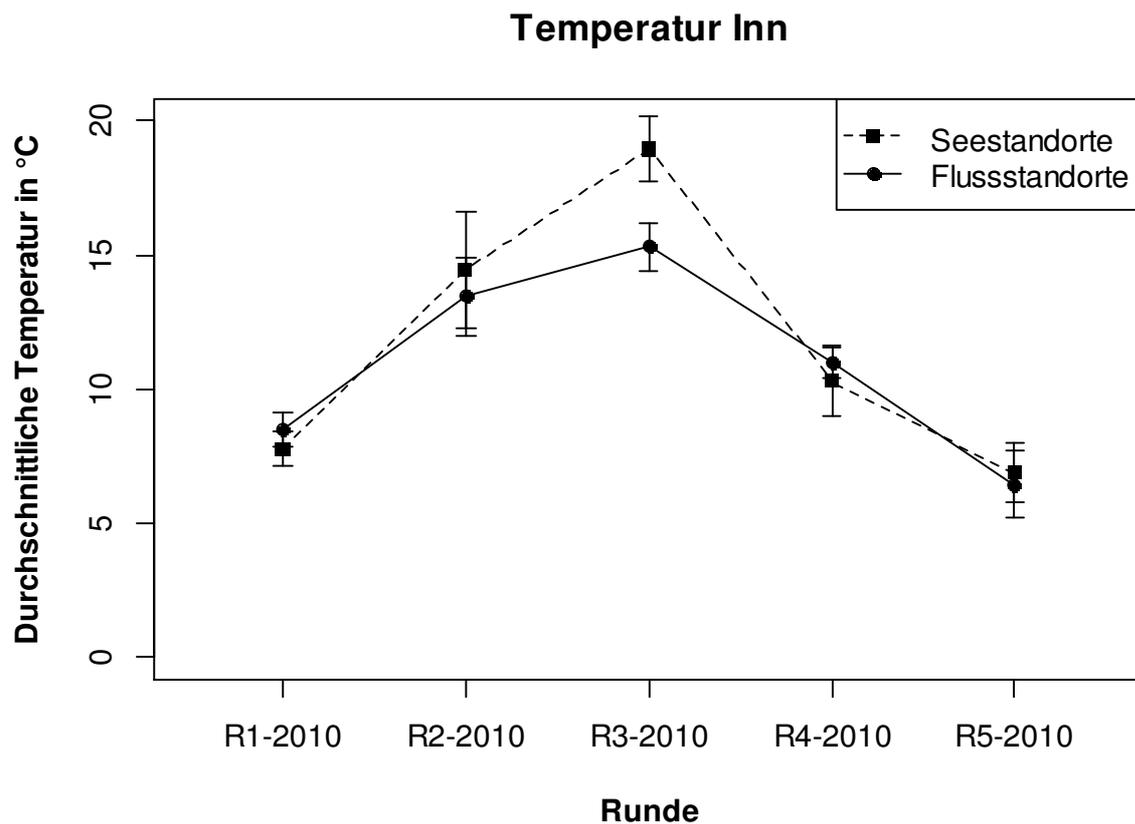


Abbildung 3.9: Verlauf der Temperatur an den Untersuchungsstandorten des Flusssystem Inn über die einzelnen Runden (Mittelwerte mit Standardfehlern) (Erfassungszeiträume der einzelnen Runden siehe Tabelle 2.2, S. 42).

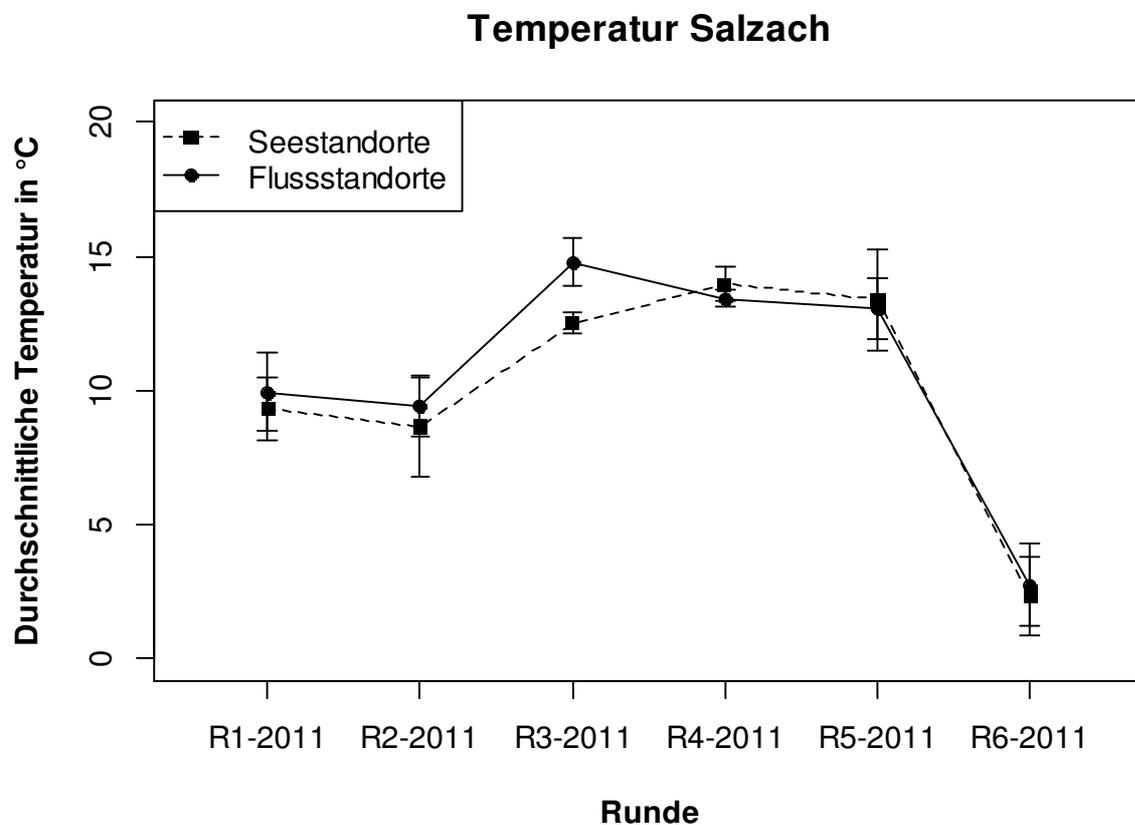


Abbildung 3.10: Verlauf der Temperatur an den Untersuchungsstandorten des Flusssystem Salzach über die einzelnen Runden (Mittelwerte mit Standardfehlern) (Erfassungszeiträume der einzelnen Runden siehe Tabelle 2.3, S. 46).

3.6 Quartierangebot

Eine Erfassung potentieller Baumquartiere für Fledermäuse wurde in der näheren Umgebung jedes Untersuchungsstandortes durchgeführt (siehe Tabelle 3.10). Eine signifikante Korrelation der Gesamtzahl an potentiellen Quartieren pro Untersuchungsstandort mit der errechneten Fledermausaktivität wurde nur beim Großen Abendsegler (*Nyctalus noctula*) am Flusssystem Inn festgestellt (siehe Tabelle 3.11, S. 68).

Untersuchungs- standort	Quartiertyp				Anzahl Gesamt
	Spechtloch	Faulhöhle	Rindenquartier	Spaltenquartier	
1A Nasenbach	1	5	1	1	8
1B Soyensee	2	2	3	0	7
2A Attel	1	6	4	2	13
2B Obinger See	0	0	1	0	1
3A Sulmaring	0	6	1	2	9
3B Rhinssee	3	0	3	2	8
4A Rosenheim	2	16	6	5	29
4B Simssee	1	5	1	3	10
5A Kiefersfelden	1	1	1	0	3
5B Walchsee	0	1	2	2	5
6A Kirchbichl	0	3	4	10	17
6B Hintersteiner See	0	1	1	1	3
7A Tittmoning Nord	8	9	7	0	24
7B Holzöster See	0	2	4	2	8
8A Tittmoning Süd	2	4	1	7	14
8B Tachinger See	0	3	0	0	3
9A Riedersbach	6	2	6	5	19
9B Grabensee	0	3	3	0	6
10A Laufen	4	4	6	3	17
10B Waginger See	0	2	2	0	4
11A Salzburg Nord	4	6	3	2	15
11B Wallersee	0	2	0	2	4
12A Tauglbach	0	0	4	2	6
12B Wiestalstausee	0	0	4	0	4
Summe	35	83	68	51	237

Tabelle 3.10: Anzahl und Art potentieller Fledermausquartiere in der näheren Umgebung der einzelnen Untersuchungsstandorte.

Art	2010 Inn		2011 Salzach		Gesamt	
	rho	p-Wert	rho	p-Wert	rho	p-Wert
Rauhautfledermaus (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	0,368	0,239	-0,381	0,222	0,030	0,891
Großer Abendsegler (<i>Nyctalus noctula</i>)	0,653	0,021	-0,046	0,888	0,369	0,076
Zweifarb- und Breitflügelfledermaus (<i>Vespertilio murinus</i> / <i>Eptesicus serotinus</i>)	0,368	0,239	-0,374	0,231	0,026	0,905
Wasser-, Bart- und Brandtfledermaus (<i>Myotis daubentonii</i> / <i>mystacinus</i> / <i>brandtii</i>)	0,439	0,154	0,300	0,344	0,373	0,072
Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	0,168	0,601	0,335	0,287	0,279	0,187
Nordfledermaus (<i>Eptesicus nilssonii</i>)	-0,146	0,651	-0,462	0,130	-0,238	0,263
Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)	0,028	0,931	0,205	0,524	0,091	0,674
Mopsfledermaus (<i>Barbastella barbastellus</i>)	0,161	0,618	0,445	0,147	0,229	0,282
Großes Mausohr (<i>Myotis myotis</i>)	-0,380	0,223	-0,070	0,830	-0,207	0,331

Tabelle 3.11: Zusammenhang zwischen Quartierangebot und Fledermausaktivität (Korrelationen nach Spearman; je 12 Untersuchungsstandorte pro Flusssystem (n = 12 bzw. 24); signifikante p-Werte fett gedruckt).

An beiden Flusssystemen war in der näheren Umgebung der Flusstandorte eine größere Anzahl an potentiellen Fledermausquartieren zu finden (durchschnittlich 14,5 Quartiere pro Standort; entspricht 73,4 % an allen Quartieren) als in der näheren Umgebung der Seestandorte (durchschnittlich 5,25 Quartiere pro Standort; entspricht 26,6 % an allen Quartieren). Dieser Trend war an beiden Flusssystemen vorhanden (siehe Abbildung 3.11 und Abbildung 3.12, S. 69), am Flusssystem Inn war der Unterschied jedoch nicht signifikant, während er sich am Flusssystem Salzach als signifikant erwies (siehe Tabelle 3.12).

	Anzahl Quartiere/ Flusstandort	Anzahl Quartiere/ Seestandort	p-Wert
2010 Inn	13,2 (9,1)	5,7 (3,3)	0,141
2011 Salzach	15,8 (6,0)	4,8 (1,8)	0,035

Tabelle 3.12: Anzahl an potentiellen Baumquartieren (Mittelwerte mit Standardabweichungen; Werte gerundet) an Fluss- und Seestandorten der Flusssystemen Inn und Salzach mit Ergebnissen des Wilcoxon-Rangsummen-Tests für gepaarte Stichproben (signifikante p-Werte fett gedruckt).

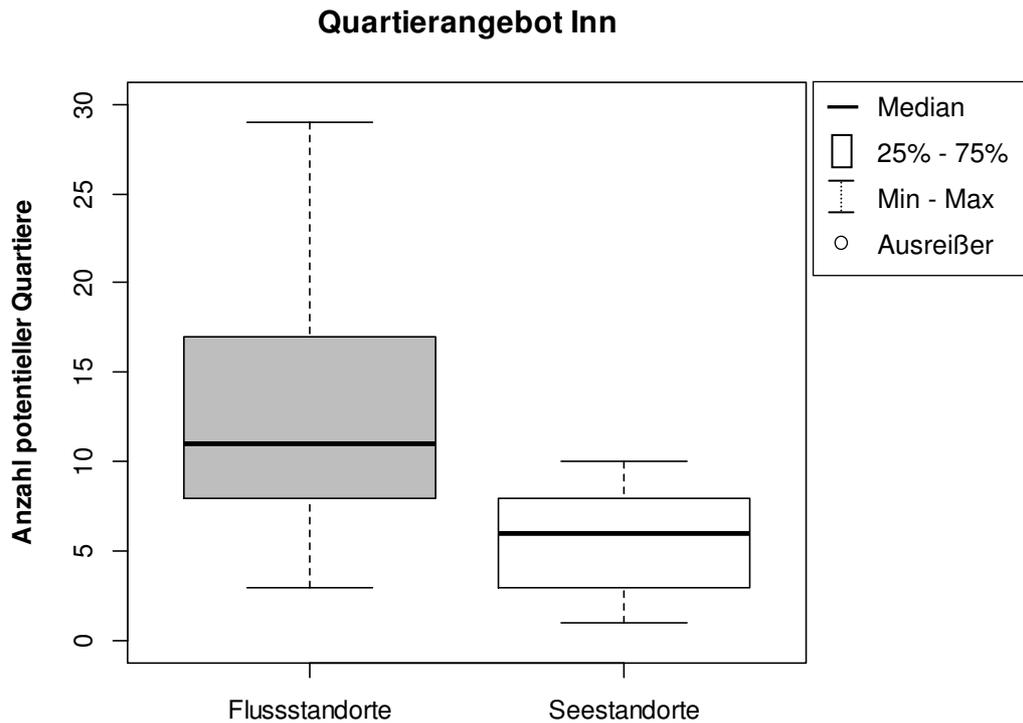


Abbildung 3.11: Box-Whisker-Plot des Angebotes an potentiellen Baumquartieren an den Fluss- und Seestandorten des Flusssystemes Inn.

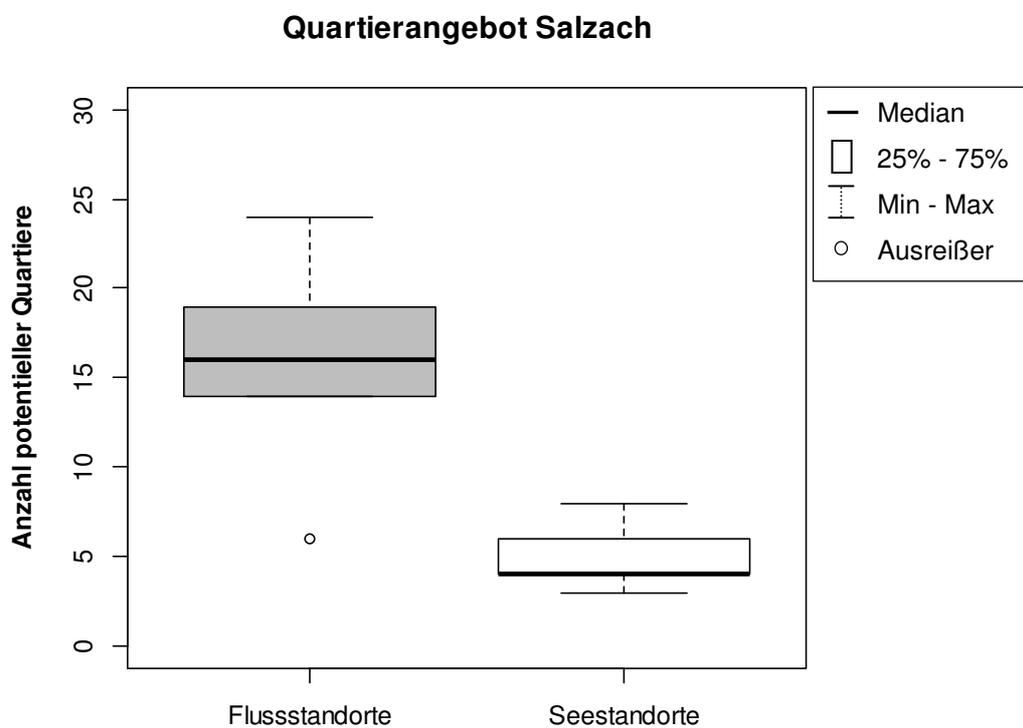


Abbildung 3.12: Box-Whisker-Plot des Angebotes an potentiellen Baumquartieren an den Fluss- und Seestandorten des Flusssystemes Salzach.

3.7 Phänologie der Fledermausaktivität

3.7.1 Übersicht

Um die Bedeutung der Auen für einzelne Fledermausarten zu untersuchen, wurde die errechnete Fledermausaktivität (basierend auf den aufgezeichneten Lautaufnahmen) von insgesamt neun Fledermausarten bzw. -artgruppen genauer analysiert (zur Auswahl der Fledermausarten bzw. -artgruppen siehe Kapitel 2.4.1.2, S. 49). Während sich einige Arten generell an den Seestandorten öfter nachweisen ließen (Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*), Artgruppe Zweifarb- und Breitflügel-Fledermaus (*Vespertilio murinus* / *Eptesicus serotinus*), Nordfledermaus (*Eptesicus nilssonii*)), wurden Andere an den Flussstandorten häufiger aufgezeichnet (Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*)) (siehe Tabelle 3.13, S. 72). Zwischen den beiden untersuchten Flusssystemen unterschied sich die Phänologie mancher Arten zum Teil deutlich (Großer Abendsegler (*Nyctalus noctula*), Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*), Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*), Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*), Großes Mausohr (*Myotis myotis*)), während sie sich bei anderen Arten ähnelte (Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*), Nordfledermaus (*Eptesicus nilssonii*)).

Statistisch signifikante Aktivitätsunterschiede zwischen Fluss- und Seestandorten bzw. zwischen Migrations- und Wochenstubenzeit wurden bei insgesamt fünf der neun untersuchten Arten bzw. Artgruppen festgestellt: bei der Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) (siehe Abbildung 3.14, S. 75), dem Großen Abendsegler (*Nyctalus noctula*) (siehe Abbildung 3.17, S. 78), der Artgruppe Wasser-, Bart- und Brandtfledermaus (*Myotis daubentonii* / *mystacinus* / *brandtii*) (siehe Abbildung 3.23, S. 84), der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) (siehe Abbildung 3.26, S. 87) und der Nordfledermaus (*Eptesicus nilssonii*) (siehe Abbildung 3.29, S. 90). Bei drei Fledermausarten wurde aufgrund der hohen Anzahl an Aufnahmenächten ohne Aktivitätsnachweis keine statistische Analyse mittels linearer gemischter Modelle durchgeführt: der Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*) am Flusssystem Inn, sowie der Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) und dem Großen Mausohr (*Myotis myotis*) (jeweils an beiden Flusssystemen).

In der Migrationszeit wurde eine signifikant höhere Fledermausaktivität entlang der Flussläufe nur beim Großen Abendsegler (*Nyctalus noctula*) am Flusssystem Inn beobachtet, was sich jedoch nicht von der Phänologie in den Sommermonaten

unterschied. Die Rauhaufledermaus (*Pipstrellus nathusii*) dagegen zeigte generell im Sommer eine signifikant höhere Aktivität an den Seestandorten, während sich in der Migrationszeit keine signifikanten Unterschiede zwischen Fluss- und Seestandorten feststellen ließen.

Betrachtet man die Gesamtaktivität der analysierten Fledermausarten gemeinsam (siehe Abbildung 3.13, S. 73), wurden in den Sommermonaten an beiden Flusssystemen die Seestandorte leicht bevorzugt, während die Flussstandorte im Frühjahr und Herbst an Bedeutung gewannen. Dieser Zusammenhang war am Flusssystem Inn deutlicher zu erkennen als am Flusssystem Salzach.

	Anteil Nächte mit Aktivitätsnachweis [%]		Durchschnittliche Aktivität/Nacht [%] (Mittelwert mit Standardabweichung)						Min – Max Aktivität/Nacht [%]	
	Inn	Salzach	Inn			Salzach			Inn	Salzach
			Fluss	See	Fluss	See	Fluss	See		
Rauhautfledermaus (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	94,8	86,1	21,8 (21,8)	30,5 (26,7)	25,3 (27,3)	43,0 (29,1)	0 - 100	0 - 98		
Großer Abendsegler (<i>Nyctalus noctula</i>)	69,0	79,2	12,6 (13,5)	3,7 (4,7)	8,8 (10,4)	11,4 (12,8)	0 - 45	0 - 48		
Zweifarb- und Breitflügel-fledermaus (<i>Vespertilio murinus</i> / <i>Eptesicus serotinus</i>)	60,3	75,0	6,7 (11,7)	8,8 (12,9)	7,1 (10,2)	11,7 (11,6)	0 - 52	0 - 53		
Wasser-, Bart- und Brandfledermaus (<i>Myotis daubentonii</i> / <i>mystacinus</i> / <i>brandtii</i>)	93,1	95,8	28,2 (26,1)	31,8 (26,7)	50,0 (30,2)	48,9 (28,5)	0 - 88	0 - 95		
Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	94,8	94,4	38,6 (33,0)	43,9 (30,5)	43,3 (31,9)	43,9 (27,1)	0 - 97	0 - 100		
Nordfledermaus (<i>Eptesicus nilsonii</i>)	50,0	62,5	3,1 (5,3)	6,4 (11,2)	4,6 (6,8)	8,6 (13,1)	0 - 44	0 - 64		
Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)	19,0	73,6	2,6 (6,3)	1,1 (3,3)	18,8 (23,8)	12,4 (19,1)	0 - 22	0 - 93		
Mopsfledermaus (<i>Barbastella barbastellus</i>)	32,8	47,2	2,3 (4,3)	3,8 (9,2)	5,4 (5,8)	1,5 (2,5)	0 - 38	0 - 18		
Großes Mausohr (<i>Myotis myotis</i>)	15,5	16,7	0,5 (1,8)	2,4 (6,3)	1,3 (2,7)	0,2 (0,8)	0 - 25	0 - 10		

Tabelle 3.13: Übersicht über die erfasste Fledermausaktivität an den Flusssystemen Inn und Salzach, basierend auf der errechneten Fledermausaktivität (alle Werte gerundet; zur Methodik siehe Kapitel 2.4.1.1, S. 48).

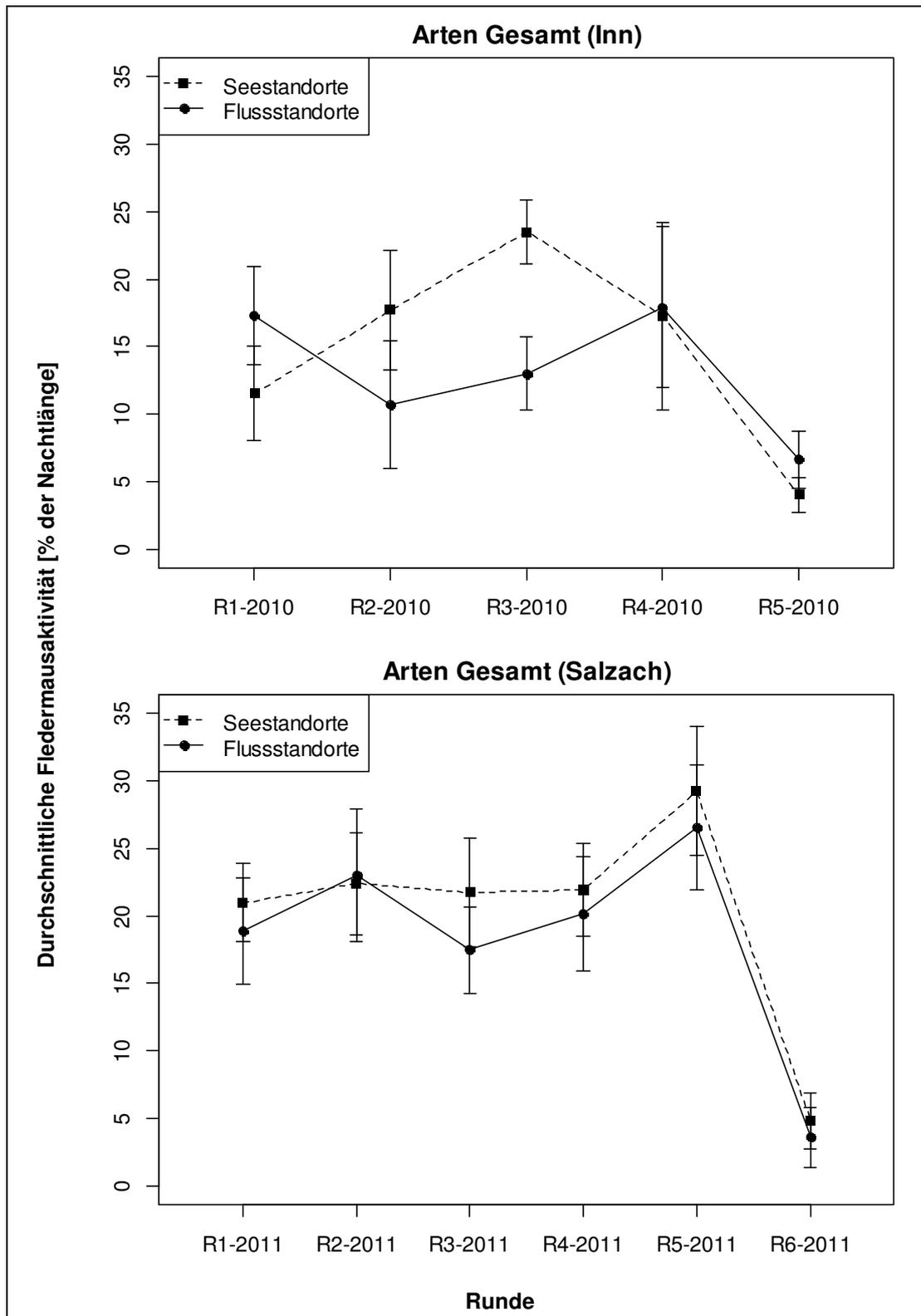


Abbildung 3.13: Gesamtaktivität aller analysierten Fledermausarten an den Flusssystemen Inn (oben) und Salzach (unten) in den einzelnen Runden (Mittelwerte mit Standardfehlern).

3.7.2 Weitstreckenwandernde Fledermausarten

3.7.2.1 *Pipistrellus nathusii*

Die Phänologie der Rauhautfledermaus erwies sich an beiden Flusssystemen als auffallend ähnlich: Während die Tiere an den Flusstandorten in der Migrationszeit deutlich intensiver jagten als in der Wochenstubenzeit (Inn: $p = 0,003$; Salzach: $p = 0,002$), konnte ein solcher Aktivitätsunterschied an den Seestandorten nicht nachgewiesen werden (siehe Tabelle 3.14 und Abbildung 3.14, S. 75). In der Wochenstubenzeit bevorzugten die Rauhautfledermäuse die Seestandorte gegenüber den Flusstandorten (Inn: $p = 0,018$; Salzach: $p = 0,007$), während sich in der Migrationszeit die Aktivität zwischen Fluss- und Seestandorten nicht signifikant unterschied. Insgesamt war die durchschnittliche Aktivität pro Aufnahmenacht an den Seestandorten länger als an den Flusstandorten, und die Rauhautfledermaus wurde während der Migrationszeit generell häufiger aufgezeichnet als während der Wochenstubenzeit, jedoch erwiesen sich diese Unterschiede nur am Flusssystem Salzach als signifikant.

	2010 Inn			2011 Salzach		
	df	t-Wert	p-Wert	df	t-Wert	p-Wert
Migrationszeit : Wochenstubenzeit	44,2	1,01	0,319	58,0	2,66	0,010
Flusstandorte : Seestandorte	10,2	-1,20	0,256	11,1	-2,60	0,025
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/Fluss	44,2	3,15	0,003	58,0	3,17	0,002
Migrationszeit/Fluss : Migrationszeit/See	14,4	0,60	0,557	14,8	-1,25	0,230
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	16,7	-0,58	0,570	22,9	-0,64	0,531
Wochenstubenzeit/Fluss : Migrationszeit/See	16,7	-1,54	0,143	22,9	-3,65	0,001
Wochenstubenzeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	19,0	-2,60	0,018	31,3	-2,88	0,007
Migrationszeit/See : Wochenstubenzeit/See	44,2	-1,72	0,092	58,0	0,59	0,556

Tabelle 3.14: Ergebnisse des linearen gemischten Modelles für die Rauhautfledermaus (signifikante p-Werte fett gedruckt).

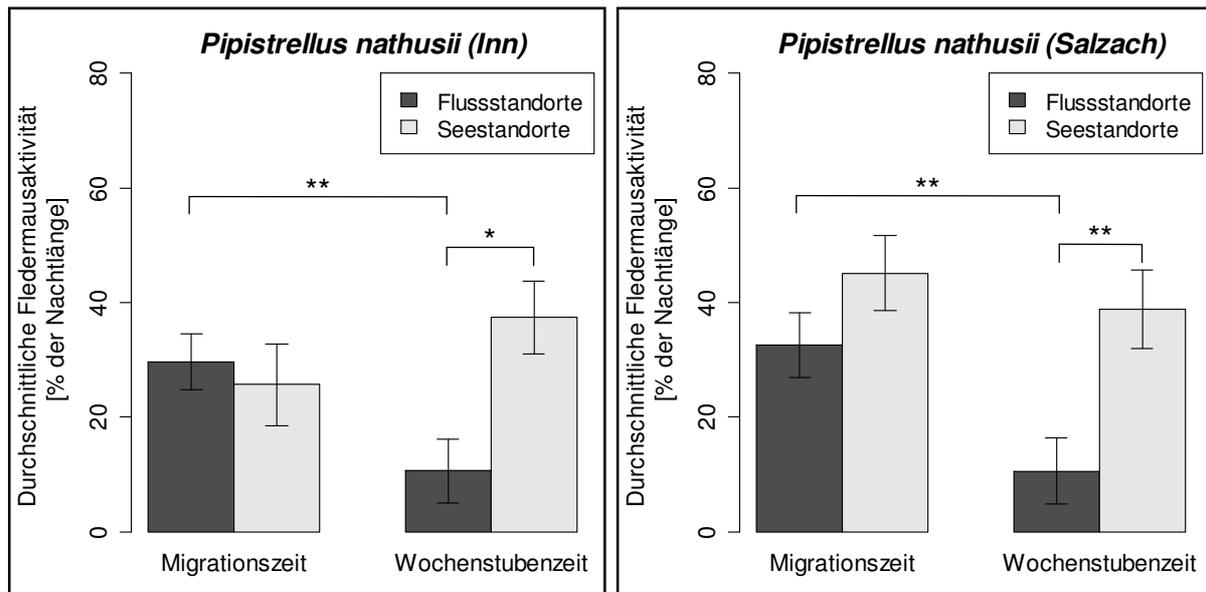


Abbildung 3.14: Aktivität der Rauhaufledermaus (Mittelwerte mit Standardfehlern) während der Migrations- und Wochenstubenzeit an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (links) und Salzach (rechts) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

Grundsätzlich konnte die Rauhaufledermaus sehr häufig nachgewiesen werden: am Flusssystem Salzach zwar insgesamt in etwas weniger Aufnahmenächten als am Flusssystem Inn, dagegen war an der Salzach die Fledermausaktivität in den Nächten mit Aktivitätsnachweis mit durchschnittlich 39,6 % etwas höher als am Inn mit durchschnittlich 27,6 %. In beiden Jahren wurde die Art an allen untersuchten Standorten aufgezeichnet. Über den gesamten Jahresverlauf hinweg erwies sich die Aktivität der Rauhaufledermaus als relativ konstant mit jeweils einem leichten Aktivitätsmaximum im frühen Herbst (Runden R4-2010 und R5-2011) und einem leichten Minimum in den Sommermonaten (Runden R3-2010 und R3-2011) (siehe Abbildung 3.15, S. 76). Eine durchschnittlich höhere Aktivität an den Seestandorten im Vergleich zu den Flussstandorten wurde am Flusssystem Inn nur im Sommer (Runden R2-2010 und R3-2010) aufgenommen (siehe Abbildung 3.16 links, S. 77), während am Flusssystem Salzach bis auf den späten Herbst (Runde R6-2011) das ganze Jahr über die Fledermausaktivität an den Seestandorten gegenüber der Aktivität an den Flussstandorten überwog (siehe Abbildung 3.16 rechts, S. 77). Dennoch war eine Verschiebung hin zu einer höheren Aktivität an den Flussstandorten im Frühjahr und Herbst in beiden Untersuchungs Jahren erkennbar (siehe Abbildung 3.16, S. 77).

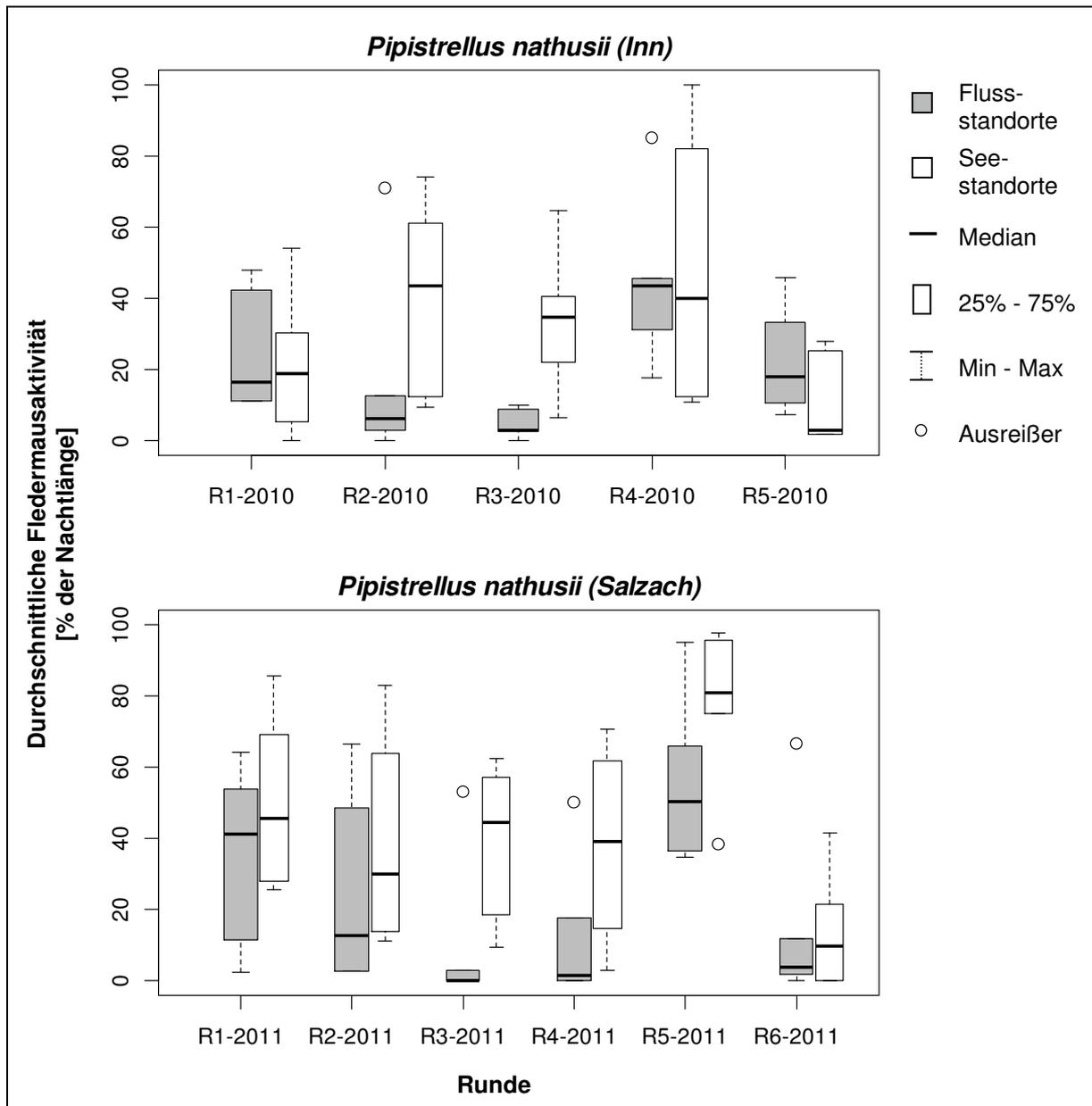


Abbildung 3.15: Box-Whisker-Plots der Aktivität der Rauhaufledermaus im Jahresverlauf an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (oben) und Salzach (unten) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

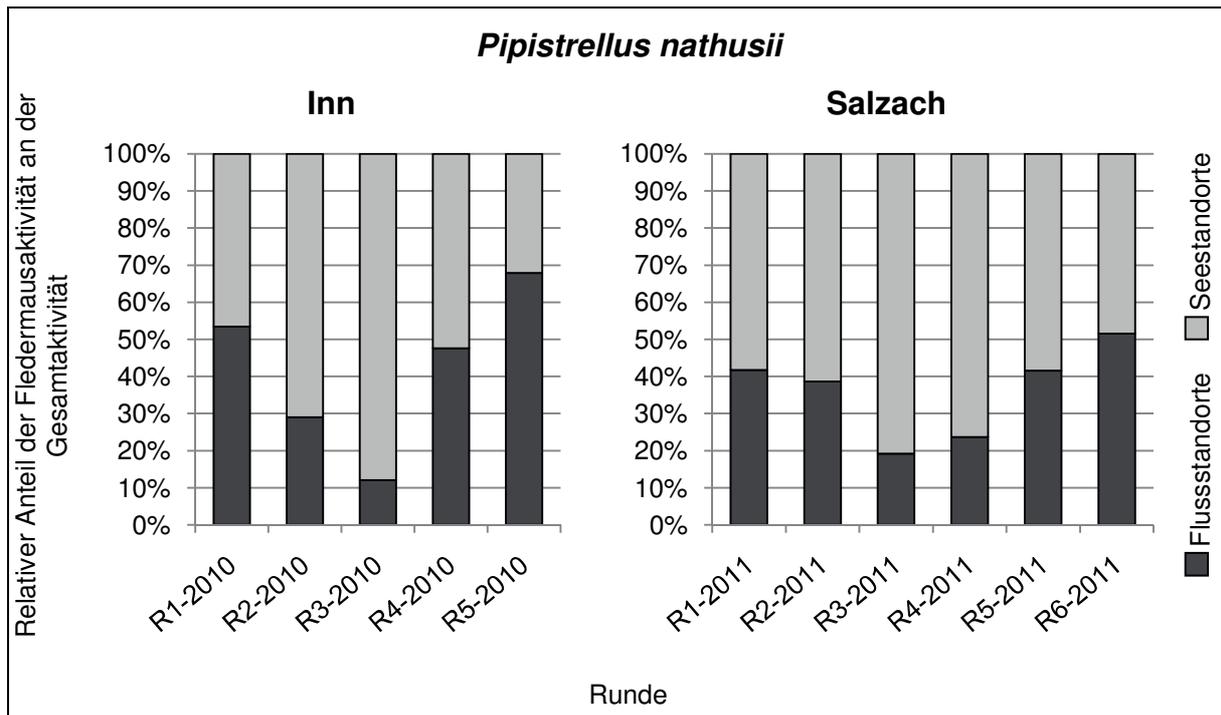


Abbildung 3.16: Relative Anteile der Aktivität der Rauhaufledermaus an den Flusssystemen Inn (links) und Salzach (rechts) im Jahresverlauf. Dargestellt ist das Verhältnis der Mittelwerte aller Nächte einer Runde jeweils für Fluss- und Seestandorte (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität), normiert auf 100% Gesamtaktivität je Runde.

3.7.2.2 *Nyctalus noctula*

Der Große Abendsegler zeigte an beiden Flusssystemen ein unterschiedliches Aktivitätsmuster: Während er am Inn sowohl in der Migrations- als auch in der Wochenstubenzeit an den Flussstandorten signifikant häufiger aufgezeichnet wurde als an den Seestandorten (Migrationszeit: $p = 0,035$; Wochenstubenzeit: $p = 0,033$), war die Aktivität an den Fluss- und Seestandorten der Salzach das ganze Jahr über relativ ausgeglichen (siehe Tabelle 3.15 und Abbildung 3.17, S. 78). Generell war am Inn, im Gegensatz zur Salzach, die durchschnittliche Aktivität pro Aufnahmenacht während der Wochenstubenzeit signifikant länger als während der Migrationszeit ($p = 0,007$).

	2010 Inn			2011 Salzach		
	df	t-Wert	p-Wert	df	t-Wert	p-Wert
Migrationszeit : Wochenstubenzeit	44,3	-2,81	0,007	58,0	-0,23	0,8
Flussstandorte : Seestandorte	10,4	2,71	0,021	11,1	-0,59	0,6
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/Fluss	44,3	-2,11	0,041	58,0	0,14	0,9
Migrationszeit/Fluss : Migrationszeit/See	16,3	2,31	0,035	14,5	-0,28	0,8
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	19,7	0,77	0,453	22,1	-0,62	0,5
Wochenstubenzeit/Fluss : Migrationszeit/See	19,7	3,80	0,001	22,1	-0,36	0,7
Wochenstubenzeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	23,1	2,26	0,033	30,1	-0,67	0,5
Migrationszeit/See : Wochenstubenzeit/See	44,3	-1,87	0,068	58,0	-0,47	0,6

Tabelle 3.15: Ergebnisse des linearen gemischten Modelles für den Großen Abendsegler (signifikante p-Werte fett gedruckt).

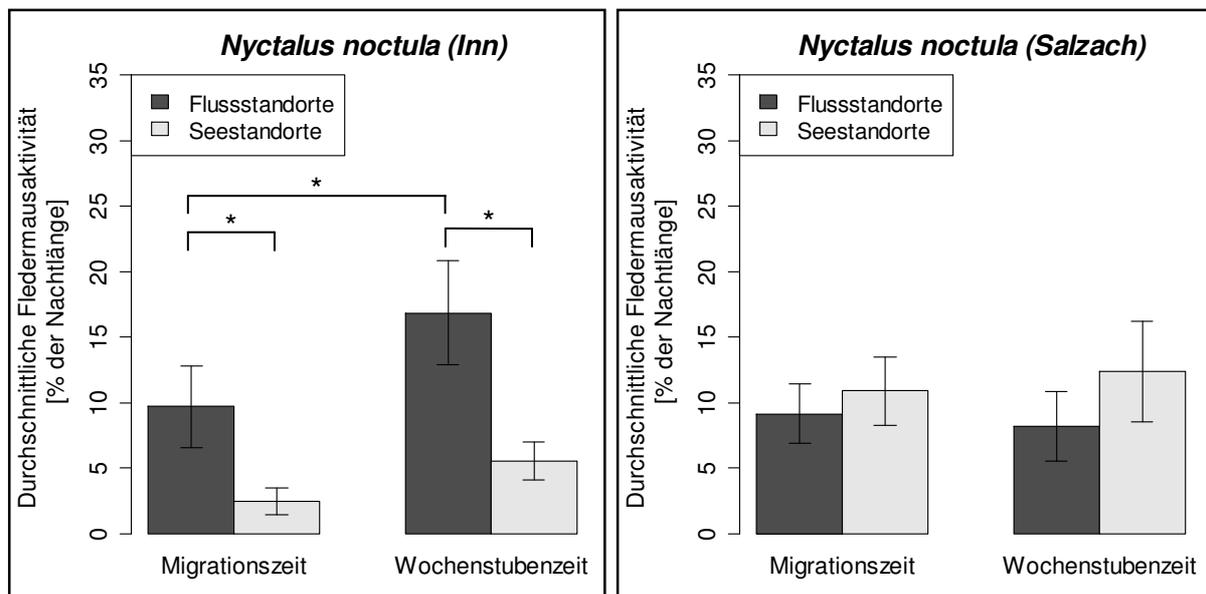


Abbildung 3.17: Aktivität des Großen Abendseglers (Mittelwerte mit Standardfehlern) während der Migrations- und Wochenstubenzeit an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (links) und Salzach (rechts) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

Mit einer durchschnittlichen Fledermausaktivität von 11,9 % in allen Aufnahmenächten mit Aktivitätsnachweis am Inn und 12,8 % an der Salzach kam der Große Abendsegler an beiden Flusssystemen etwa gleich häufig vor. Über den gesamten Jahresverlauf hinweg betrachtet lagen die Aktivitätsmaxima der Art in beiden Untersuchungsjahren etwas versetzt: am Flusssystem Inn im Spätsommer und Frühherbst (Runden R3-2010 und R4-2010), am Flusssystem Salzach dagegen schon im späten Frühjahr und im Frühsommer (Runden R2-2011 und R3-2011) (siehe Abbildung 3.18, S. 79). Während der Große Abendsegler an den Flussstandorten des Inn das ganze Jahr über deutlich intensiver jagte als an den Seestandorten, überwog die Aktivität an den Flussstandorten der Salzach nur im Frühling und im frühen Herbst (Runden R1-2011 und R5-2011) leicht gegenüber der Aktivität an den Seestandorten (siehe Abbildung 3.19, S. 80). Beiden Flusssystemen

gemeinsam war dagegen eine sehr leichte Verschiebung hin zu einer etwas höheren Aktivität an den Flussstandorten im Frühjahr und Herbst (mit Ausnahme von Runde R6-2011), jedoch erwies sich diese Verschiebung als äußerst gering.

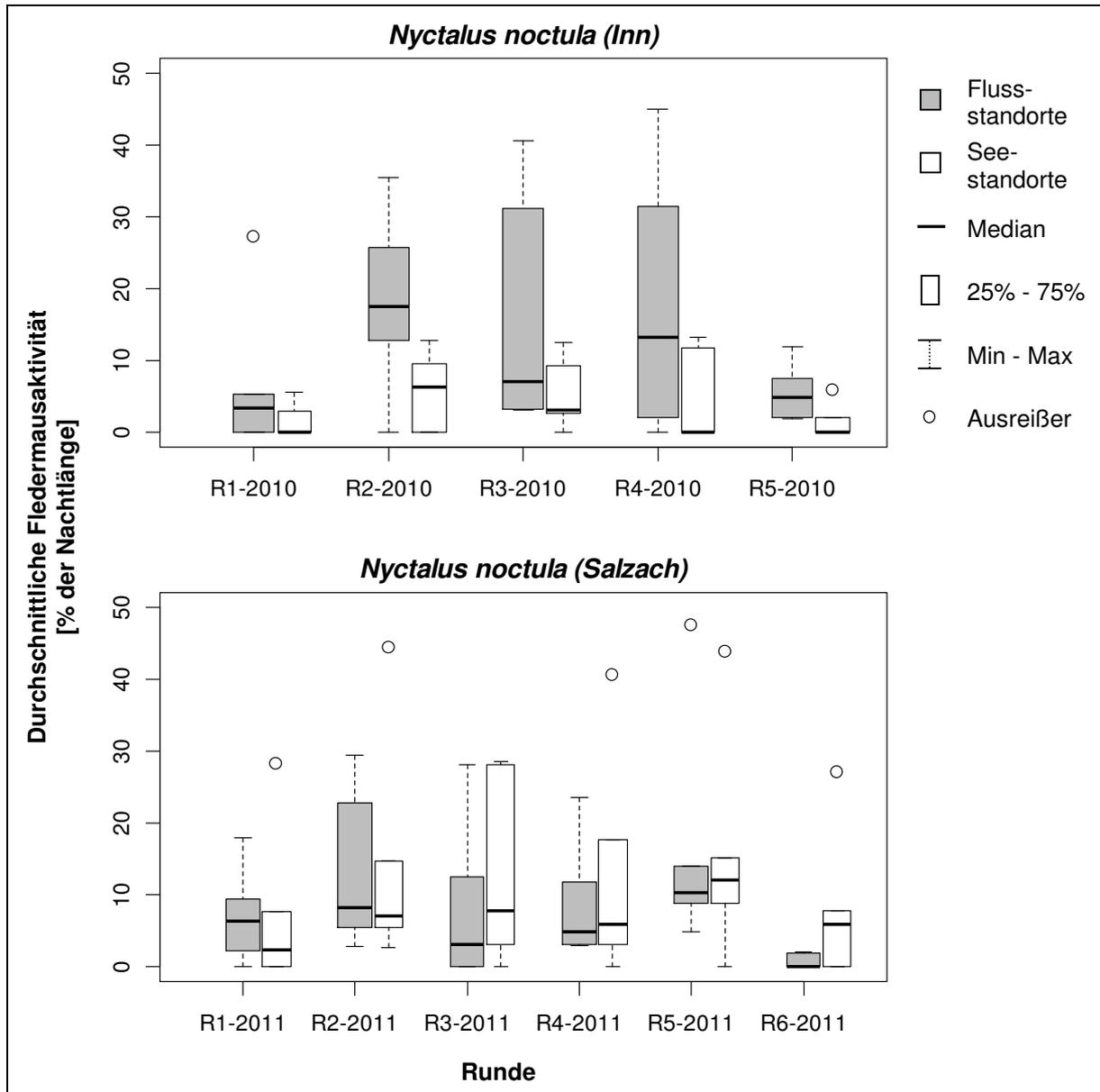


Abbildung 3.18: Box-Whisker-Plots der Aktivität des Großen Abendseglers im Jahresverlauf an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (oben) und Salzach (unten) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

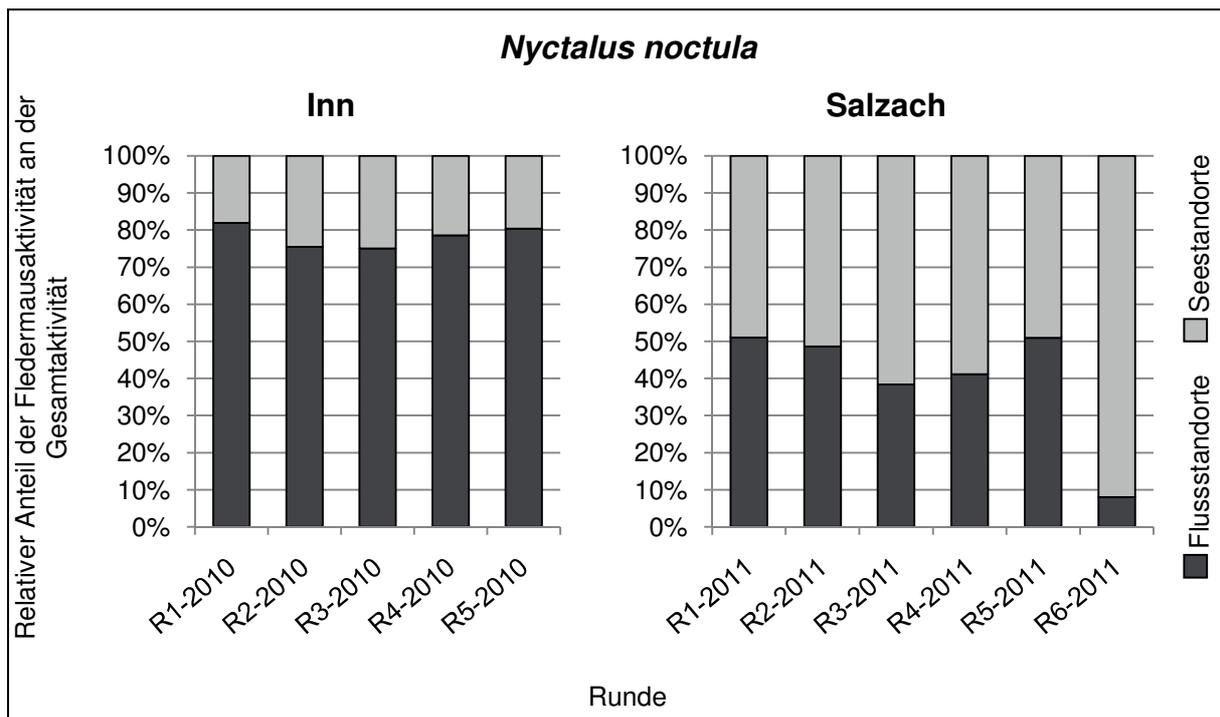


Abbildung 3.19: Relative Anteile der Aktivität des Großen Abendseglers an den Flusssystemen Inn (links) und Salzach (rechts) im Jahresverlauf. Dargestellt ist das Verhältnis der Mittelwerte aller Nächte einer Runde jeweils für Fluss- und Seestandorte (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität), normiert auf 100% Gesamtaktivität je Runde.

3.7.2.3 *Vespertilio murinus* / *Eptesicus serotinus*

Bei der Artgruppe Zweifarben- und Breitflügel-Fledermaus konnten keine signifikanten Aktivitätsunterschiede zwischen den Fluss- und Seestandorten an Inn und Salzach nachgewiesen werden (siehe Tabelle 3.16, S. 81). Zwar wurden am Inn in der Wochenstubenzeit die Seestandorte intensiver bejagt, während in der Migrationszeit die Flussstandorte leicht bevorzugt wurden (siehe Abbildung 3.20 links, S. 81), jedoch waren die entsprechenden Aktivitätsunterschiede nicht signifikant. An der Salzach dagegen erwies sich die durchschnittliche Fledermausaktivität pro Aufnahmenacht sowohl zur Migrations- als auch zur Wochenstubenzeit an den Seestandorten als etwas länger als an den Flussstandorten (siehe Abbildung 3.20 rechts, S. 81). Insgesamt wurde die Artgruppe am Flusssystem Inn während der Wochenstubenzeit signifikant häufiger erfasst als während der Migrationszeit ($p = 0,04$), was am Flusssystem Salzach nicht der Fall war.

	2010 Inn			2011 Salzach		
	df	t-Wert	p-Wert	df	t-Wert	p-Wert
Migrationszeit : Wochenstubenzzeit	43,9	-2,12	0,04	58,0	0,01	0,99
Flussstandorte : Seestandorte	9,9	-0,52	0,62	11,9	-1,96	0,07
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzzeit/Fluss	43,9	-0,95	0,35	58,0	0,54	0,59
Migrationszeit/Fluss : Migrationszeit/See	19,4	0,09	0,93	18,2	-1,16	0,26
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzzeit/See	24,8	-1,74	0,10	32,0	-1,47	0,15
Wochenstubenzzeit/Fluss : Migrationszeit/See	24,8	0,93	0,36	32,0	-1,48	0,15
Wochenstubenzzeit/Fluss : Wochenstubenzzeit/See	30,1	-0,83	0,41	44,3	-1,74	0,09
Migrationszeit/See : Wochenstubenzzeit/See	43,9	-2,04	0,05	58,0	-0,53	0,60

Tabelle 3.16: Ergebnisse des linearen gemischten Modelles für Zweifarb- und Breitflügelfledermaus (signifikante p-Werte fett gedruckt).

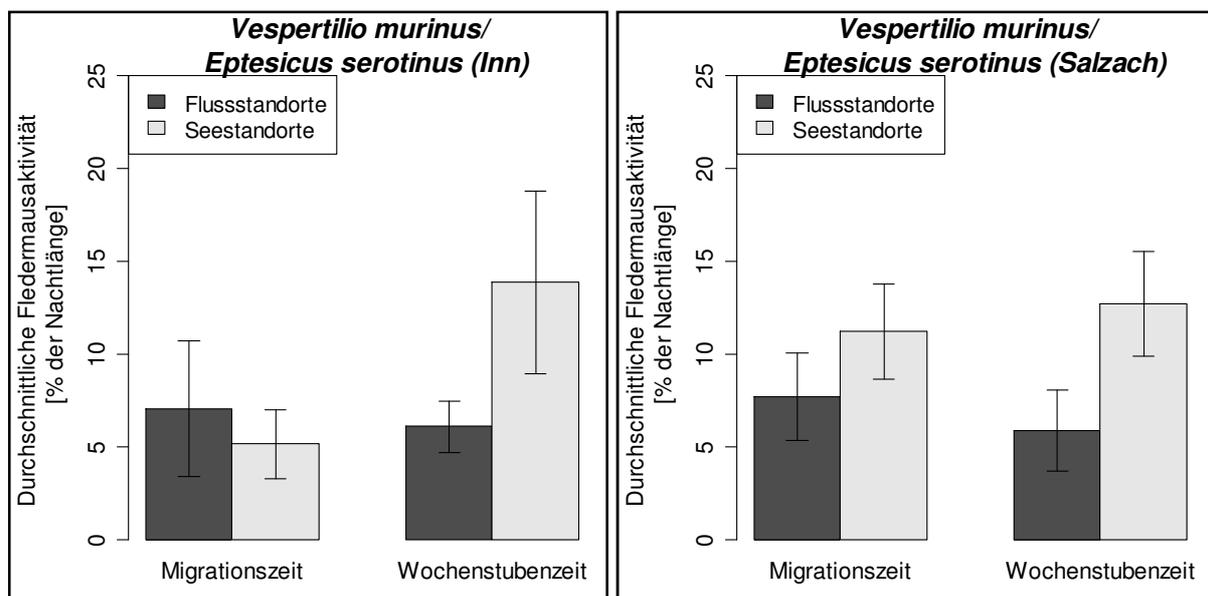


Abbildung 3.20: Aktivität der Artgruppe Zweifarb- und Breitflügelfledermaus (Mittelwerte mit Standardfehlern) während der Migrations- und Wochenstubenzzeit an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (links) und Salzach (rechts) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

Mit einer durchschnittlichen Fledermausaktivität von 12,8 % in allen Aufnahmenächten mit Aktivitätsnachweis am Inn und 12,5 % an der Salzach jagte die Artgruppe Zweifarb- und Breitflügelfledermaus an beiden Flusssystemen ähnlich häufig. Auch konnte sie in beiden Untersuchungsjahren an allen Standorten nachgewiesen werden. Im Jahresverlauf erwies sich die Phänologie an den beiden Flusssystemen jedoch als unterschiedlich: Am Inn war ein generelles Aktivitätsmaximum im Sommer und im frühen Herbst (Runden R3-2010 und R4-2010) zu beobachten (siehe Abbildung 3.21 oben, S. 82). Zudem überwog hier in den Sommermonaten (Runden R2-2010 und R3-2010) und im späten Herbst (Runde R5-2010) die Aktivität an den Seestandorten, während im Frühjahr (Runde R1-2010) und im frühen Herbst (Runde R4-2010) die Flussstandorte intensiver bejagt wurden (siehe Abbildung 3.22 links, S. 83). Im Gegensatz dazu erwies sich die an

der Salzach erfasste Fledermausaktivität vom Frühling bis in den frühen Herbst hinein als relativ konstant und fiel erst im späten Herbst (Runde R6-2011) deutlich ab (siehe Abbildung 3.21 unten, S. 82). Auch wurden hier, abgesehen vom frühen Herbst (Runde R5-2011), die Seestandorte das ganze Jahr über intensiver bejagt als die Flussstandorte (siehe Abbildung 3.22 rechts, S. 83).

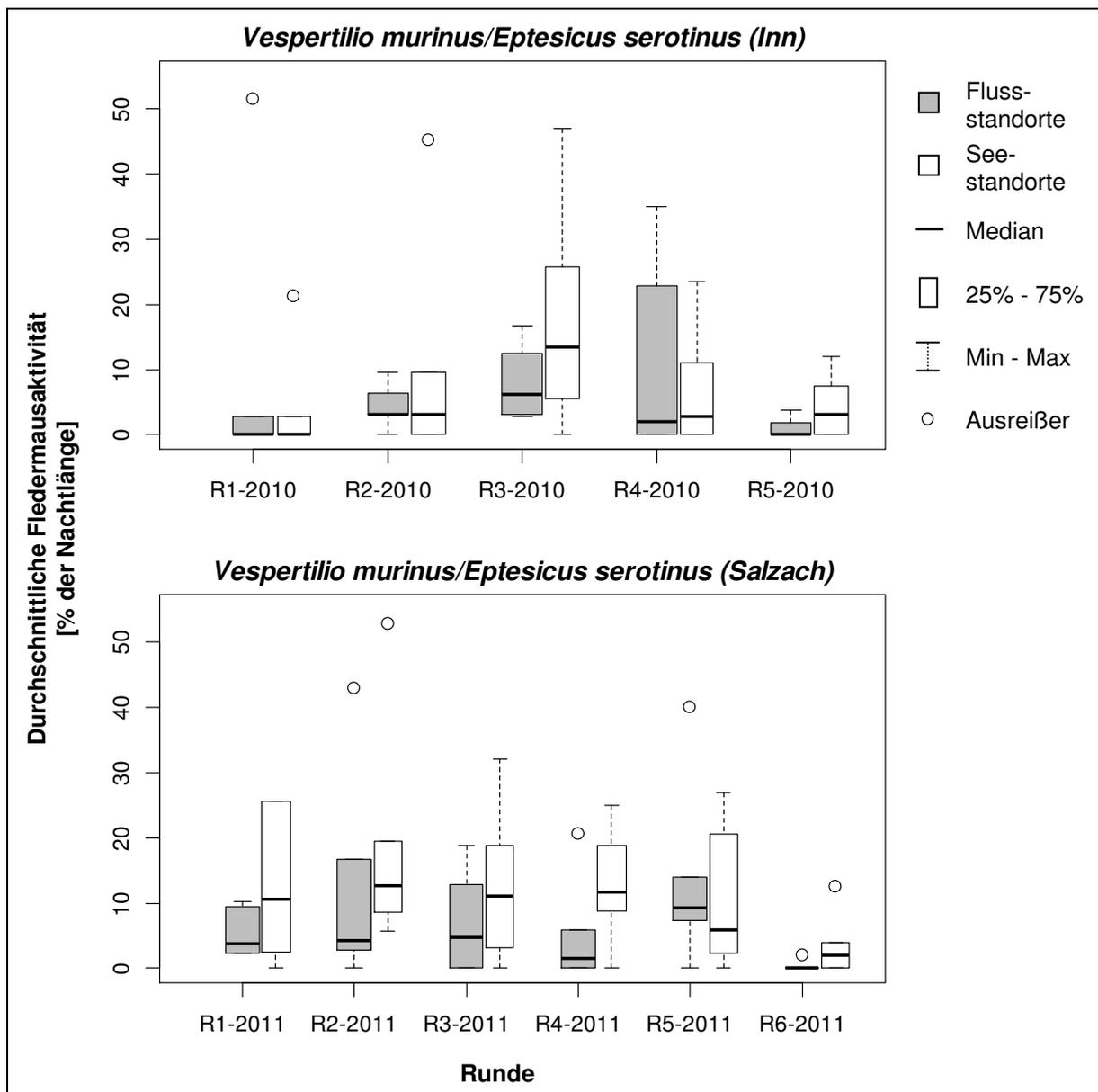


Abbildung 3.21: Box-Whisker-Plots der Aktivität der Artgruppe Zweifarb- und Breitflügelfledermaus im Jahresverlauf an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (oben) und Salzach (unten) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

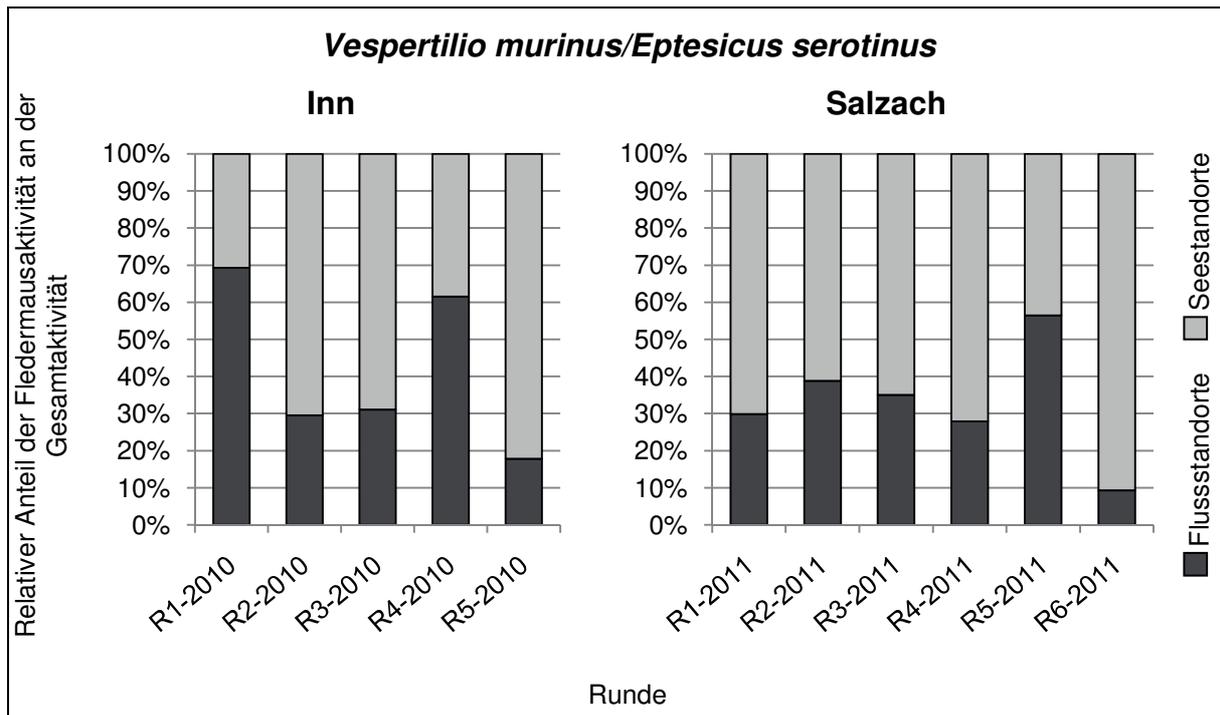


Abbildung 3.22: Relative Anteile der Aktivität der Artgruppe Zweifarb- und Breitflügelfledermaus an den Flusssystemen Inn (links) und Salzach (rechts) im Jahresverlauf. Dargestellt ist das Verhältnis der Mittelwerte aller Nächte einer Runde jeweils für Fluss- und Seestandorte (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität), normiert auf 100% Gesamttaktivität je Runde.

3.7.3 Kurzstreckenwandernde und ortstreue Fledermausarten

3.7.3.1 *Myotis daubentonii* / *mystacinus* / *brandtii*

Bei der Artgruppe Wasser-, Bart- und Brandtfledermaus gab es an den Flusstandorten des Inn zwischen Migrations- und Wochenstubenzeit keinen Unterschied in der durchschnittlichen Aktivität pro Aufnahmenacht, jedoch jagte die Artgruppe an den Seestandorten während der Wochenstubenzeit signifikant länger als während der Migrationszeit ($p = 0,04$; siehe Tabelle 3.17 und Abbildung 3.23, S. 84). Im Gegensatz dazu war die Fledermausaktivität an den Fluss- und Seestandorten der Salzach sowohl während der Migrationszeit als auch während der Wochenstubenzeit sehr ausgeglichen, jedoch wurde die Artgruppe während der Wochenstubenzeit insgesamt signifikant häufiger aufgezeichnet als während der Migrationszeit ($p = 0,01$).

	2010 Inn			2011 Salzach		
	df	t-Wert	p-Wert	df	t-Wert	p-Wert
Migrationszeit : Wochenstubenzeit	44,5	-1,56	0,13	58,0	-2,66	0,01
Flussstandorte : Seestandorte	10,5	-0,59	0,57	12,3	0,17	0,87
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/Fluss	44,5	-0,10	0,92	58,0	-1,94	0,06
Migrationszeit/Fluss : Migrationszeit/See	17,2	0,32	0,76	20,3	0,08	0,94
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	20,9	-1,36	0,19	37,0	-1,71	0,10
Wochenstubenzeit/Fluss : Migrationszeit/See	20,9	0,38	0,71	37,0	1,96	0,06
Wochenstubenzeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	24,7	-1,22	0,23	50,2	0,16	0,88
Migrationszeit/See : Wochenstubenzeit/See	44,5	-2,11	0,04	58,0	-1,82	0,07

Tabelle 3.17: Ergebnisse des linearen gemischten Modelles für die Artgruppe Wasser-, Bart- und Brandfledermaus (signifikante p-Werte fett gedruckt).

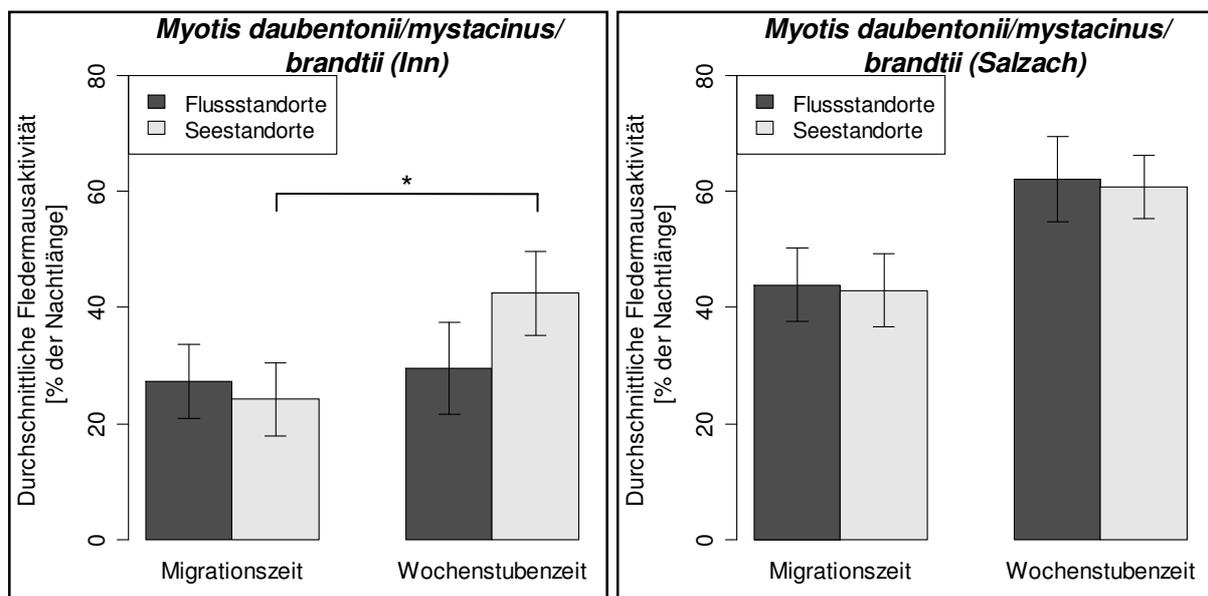


Abbildung 3.23: Aktivität der Artgruppe Wasser-, Bart- und Brandfledermaus (Mittelwerte mit Standardfehlern) während der Migrations- und Wochenstubenzeit an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (links) und Salzach (rechts) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

Mit einer durchschnittlichen Fledermausaktivität von 32,2 % am Flusssystem Inn bzw. 51,6 % am Flusssystem Salzach (bezogen auf alle Aufnahmenächte mit Aktivitätsnachweis) gehörte die Artgruppe Wasser-, Bart- und Brandfledermaus zu den am häufigsten aufgezeichneten Fledermausarten und wurde auch an allen Untersuchungsstandorten nachgewiesen. Während sich am Flusssystem Inn jeweils im Frühling und Hochsommer (Runden R1-2010 und R3-2010) ein Aktivitätsmaximum abzeichnete (siehe Abbildung 3.24 oben, S. 85), war am Flusssystem Salzach vom späten Frühjahr bis in den frühen Herbst hinein (Runden R2-2011 bis R5-2011) eine gleichbleibend intensive Jagdaktivität zu beobachten (siehe Abbildung 3.24 unten, S. 85). Auch war an der Salzach der Anteil der Fledermausaktivität an Fluss- und Seestandorten das ganze Jahr über relativ ausgeglichen, während am Inn eine leichte Verschiebung hin zu einer etwas höheren

Aktivität an den Flusstandorten im Frühjahr und Herbst erkennbar war (siehe Abbildung 3.25, S. 86).

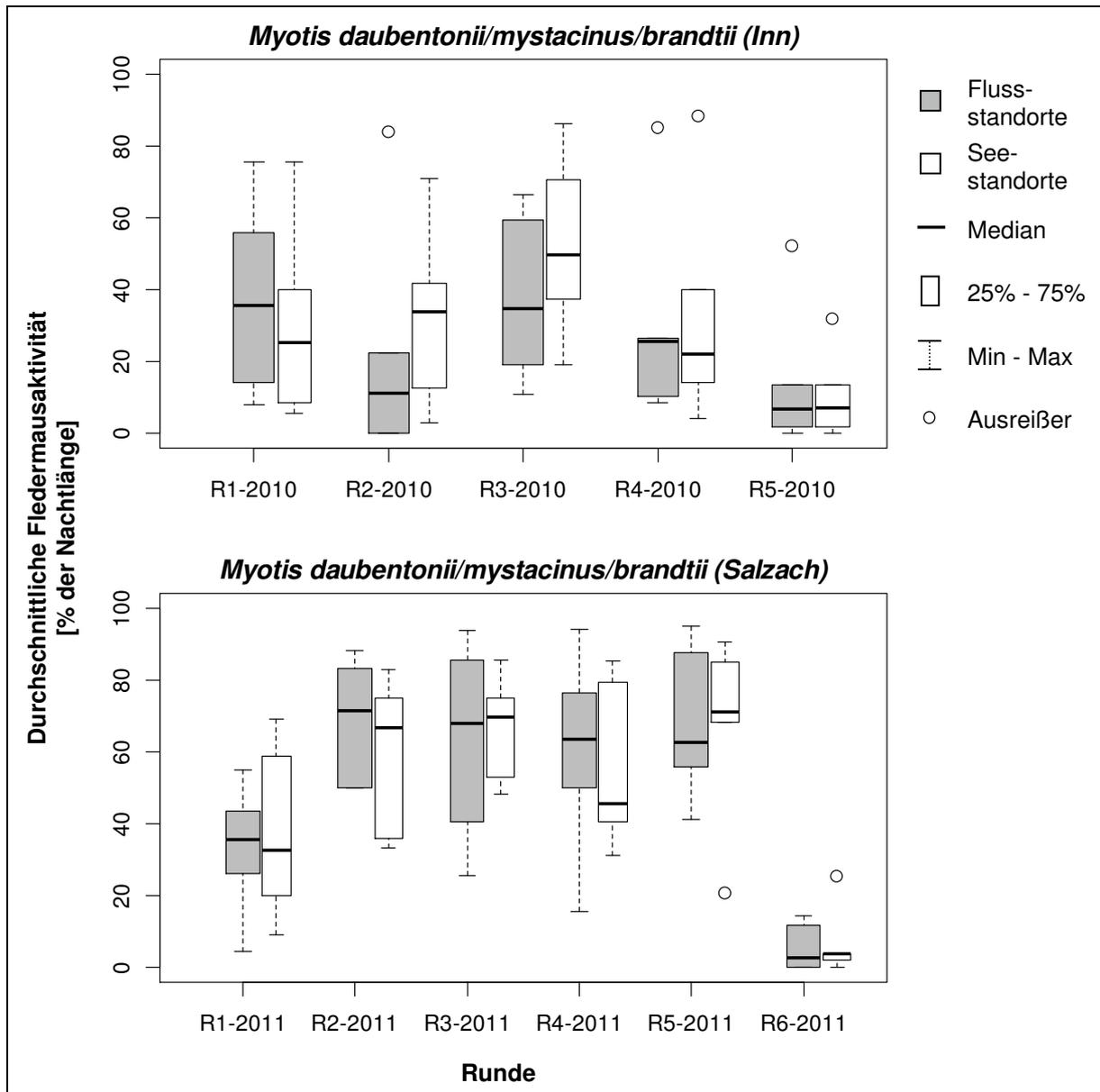


Abbildung 3.24: Box-Whisker-Plots der Aktivität der Artgruppe Wasser-, Bart- und Brandtfledermaus im Jahresverlauf an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (oben) und Salzach (unten) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

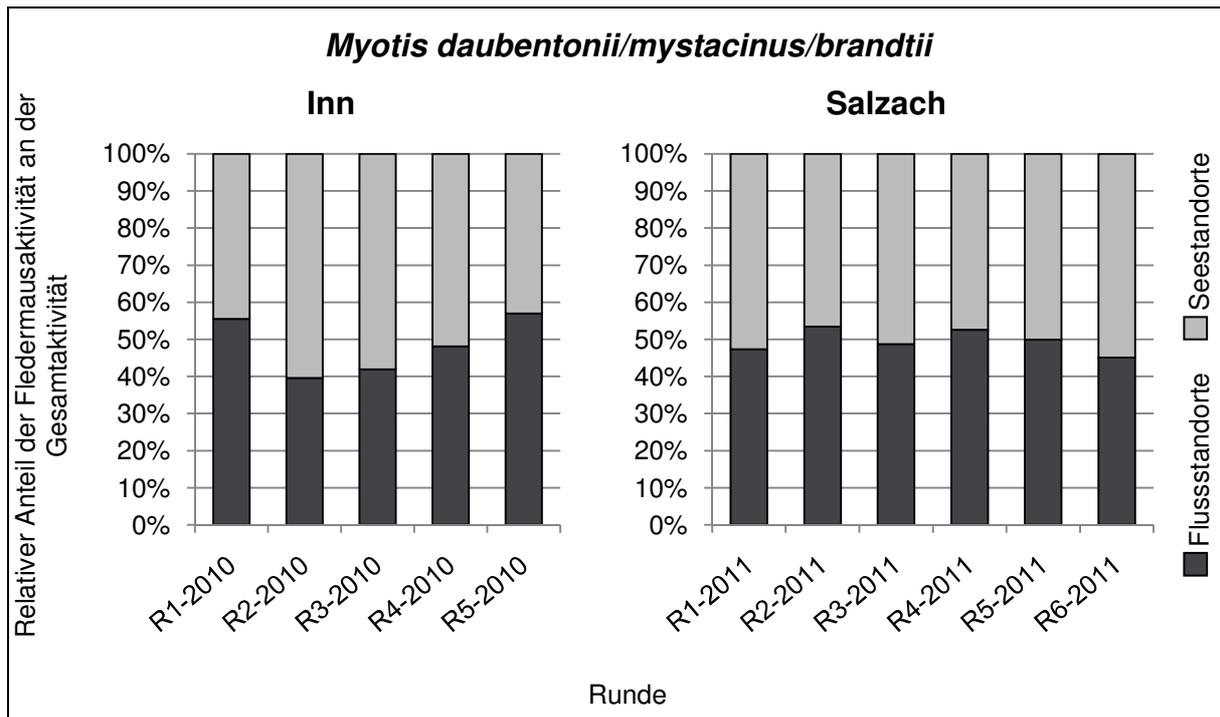


Abbildung 3.25: Relative Anteile der Aktivität der Artgruppe Wasser-, Bart- und Brandtfledermaus an den Flusssystemen Inn (links) und Salzach (rechts) im Jahresverlauf. Dargestellt ist das Verhältnis der Mittelwerte aller Nächte einer Runde jeweils für Fluss- und Seestandorte (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität), normiert auf 100% Gesamttaktivität je Runde.

3.7.3.2 *Pipistrellus pipistrellus*

Auch bei der Zwergfledermaus war an beiden Flusssystemen eine unterschiedliche Phänologie zu beobachten (siehe Tabelle 3.18 und Abbildung 3.26, S. 87): An den Seestandorten des Inn jagte die Art während der Wochenstubenzeit pro Aufnahmenacht signifikant länger als während der Migrationszeit ($p = 0,01$), wohingegen es an den Flussstandorten des Inn keinen signifikanten Aktivitätsunterschied zwischen Migrations- und Wochenstubenzeit gab. Innerhalb der Wochenstubenzeit bevorzugten die Zwergfledermäuse die Seestandorte gegenüber den Flussstandorten ($p = 0,04$). Im Gegensatz dazu erwies sich die Fledermausaktivität an den Fluss- und Seestandorten der Salzach sowohl während der Migrationszeit als auch während der Wochenstubenzeit als äußerst ausgeglichen.

	2010 Inn			2011 Salzach		
	df	t-Wert	p-Wert	df	t-Wert	p-Wert
Migrationszeit : Wochenstubenzeit	44,6	-1,41	0,16	58,0	-1,32	0,2
Flussstandorte : Seestandorte	10,7	-0,94	0,37	11,6	0,10	0,9
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/Fluss	44,6	0,67	0,51	58,0	-1,33	0,2
Migrationszeit/Fluss : Migrationszeit/See	21,3	0,87	0,40	16,8	-0,32	0,8
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	27,3	-1,63	0,12	28,5	-0,74	0,5
Wochenstubenzeit/Fluss : Migrationszeit/See	27,3	0,19	0,85	28,5	0,90	0,4
Wochenstubenzeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	32,8	-2,10	0,04	39,5	0,39	0,7
Migrationszeit/See : Wochenstubenzeit/See	44,6	-2,67	0,01	58,0	-0,53	0,6

Tabelle 3.18: Ergebnisse des linearen gemischten Modelles für die Zwergfledermaus (signifikante p-Werte fett gedruckt).

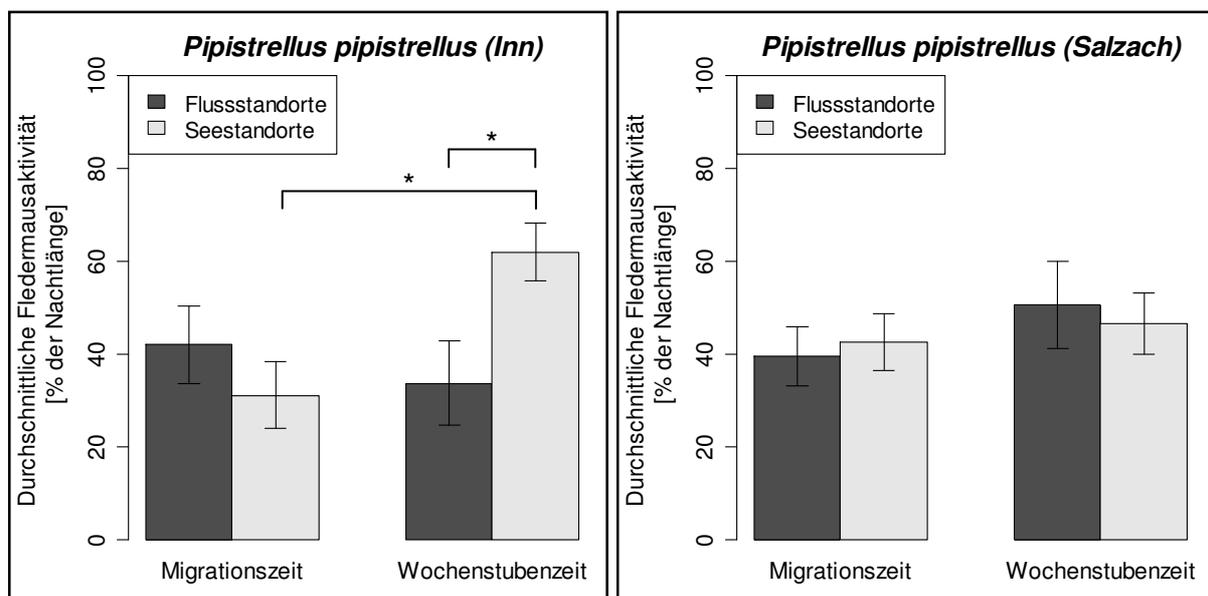


Abbildung 3.26: Aktivität der Zwergfledermaus (Mittelwerte mit Standardfehlern) während der Migrations- und Wochenstubenzeit an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (links) und Salzach (rechts) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

Insgesamt wurde die Zwergfledermaus mit einer durchschnittlichen Aktivität von 43,5 % in allen Aufnahmenächten mit Aktivitätsnachweis am Inn und 46,2 % an der Salzach an beiden Flusssystemen ähnlich häufig aufgezeichnet. Sie wurde an allen untersuchten Standorten nachgewiesen. Im Jahresverlauf betrachtet stieg die Aktivität an den Seestandorten des Inn vom Frühjahr (Runde R1-2010) bis zum Spätsommer (Runde R3-2010) deutlich an, um dann bis zum späten Herbst (Runde R5-2010) wieder abzufallen (siehe Abbildung 3.27 oben, S. 88). An den Flussstandorten des Inn zeigte die Zwergfledermaus dagegen ein anderes Aktivitätsmuster: Hier jagte sie im Frühjahr (Runde R1-2010) sehr intensiv, während die Aktivität vom Sommer bis zum Frühherbst (Runde R2-2010 bis R4-2010) in etwa konstant blieb und anschließend im späten Herbst wieder relativ gering ausfiel. Dadurch war eine Verschiebung hin zu einer höheren Aktivität an den

Flussstandorten im Frühjahr und Herbst erkennbar (siehe Abbildung 3.28 links, S. 89). An der Salzach dagegen verteilte sich die Aktivität der Zwergfledermaus nicht nur relativ gleichmäßig auf Fluss- und Seestandorte, sondern auch über den gesamten Jahresverlauf hinweg auf die einzelnen Runden (siehe Abbildung 3.27 unten). Nur im Monat Oktober (Runde R6-2011) zeigte sich ein ausgeprägtes Aktivitätsminimum.

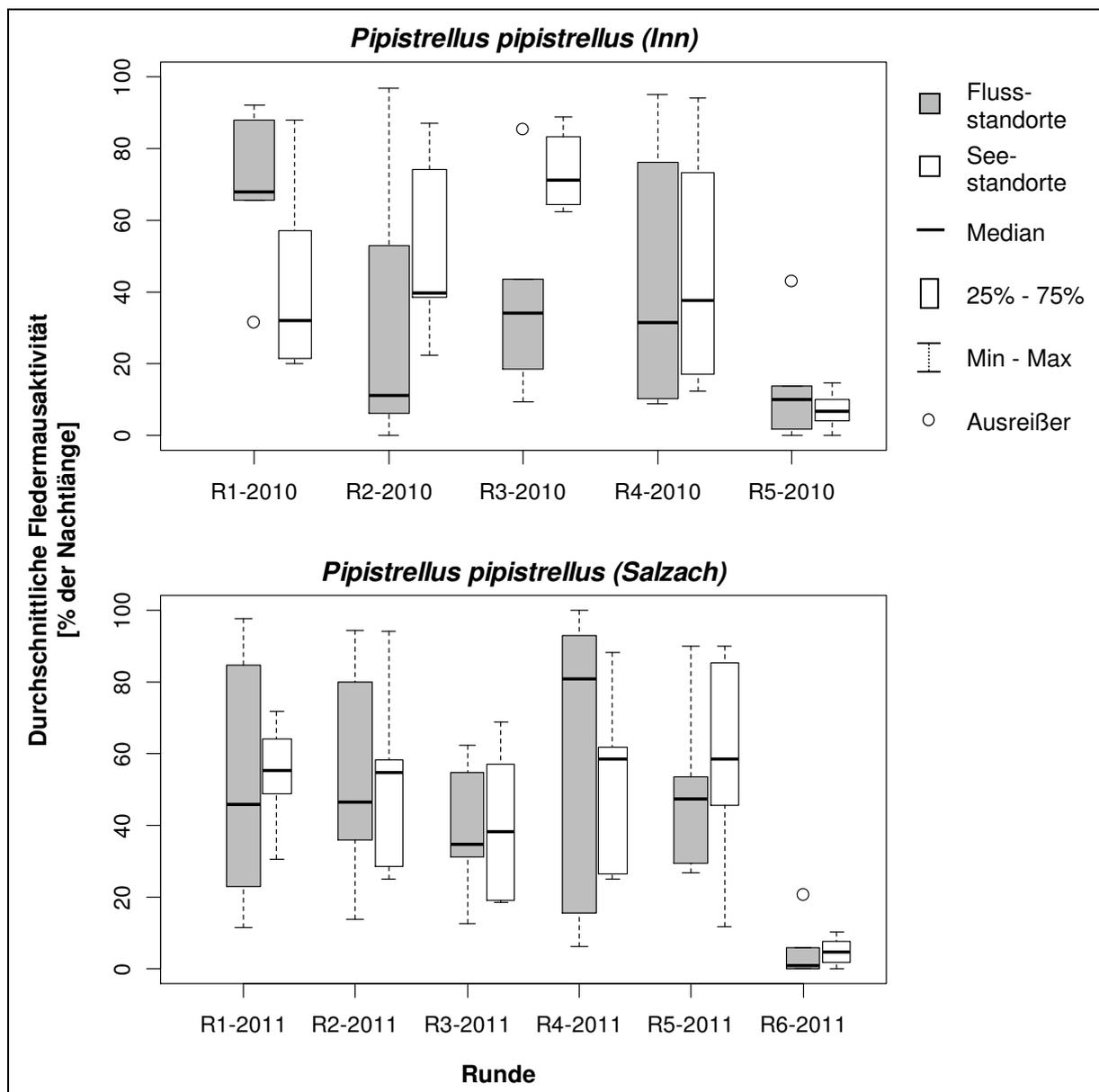


Abbildung 3.27: Box-Whisker-Plots der Aktivität der Zwergfledermaus im Jahresverlauf an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (oben) und Salzach (unten) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

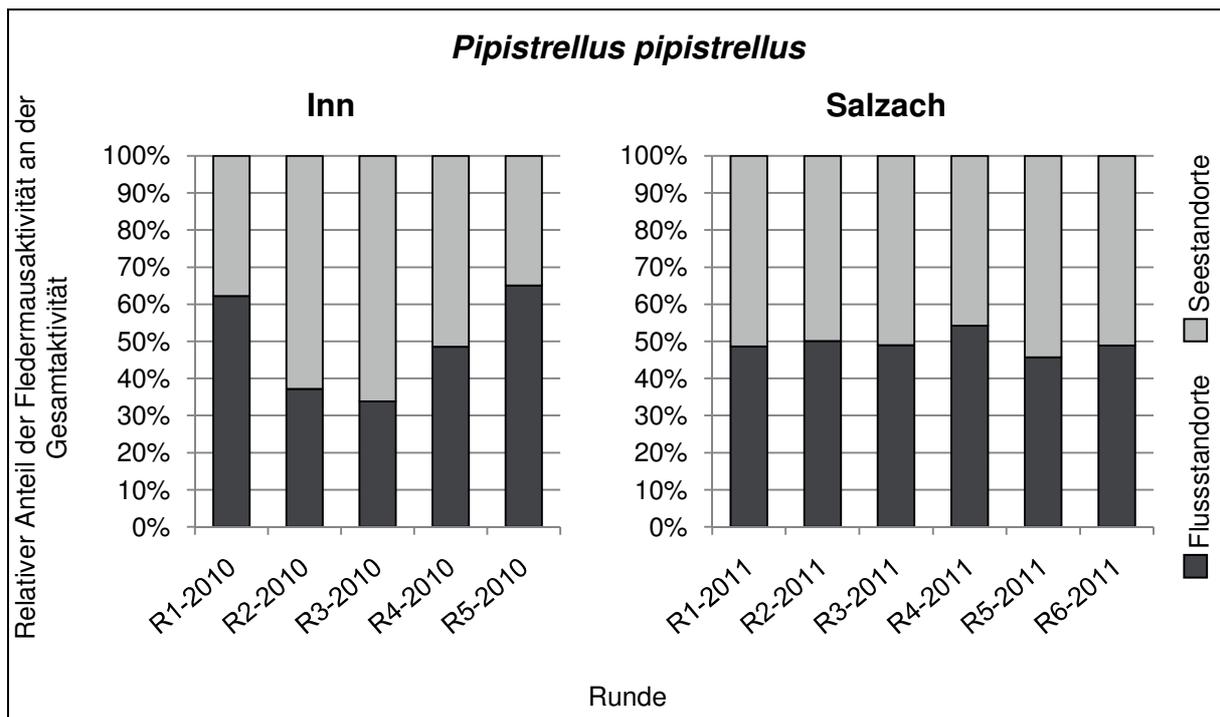


Abbildung 3.28: Relative Anteile der Aktivität der Zwergfledermaus an den Flusssystemen Inn (links) und Salzach (rechts) im Jahresverlauf. Dargestellt ist das Verhältnis der Mittelwerte aller Nächte einer Runde jeweils für Fluss- und Seestandorte (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität), normiert auf 100% Gesamtaktivität je Runde.

3.7.3.3 *Eptesicus nilssonii*

Die Nordfledermaus zeigte an beiden Flusssystemen in der Wochenstubenzeit eine Bevorzugung der Seestandorte gegenüber den Flussstandorten (Inn: $p = 0,05$; Salzach: $p = 0,009$), während sie in der Migrationszeit Fluss- und Seestandorte beider Flusssysteme ähnlich intensiv bejagte (siehe Tabelle 3.19 und Abbildung 3.29, S. 90). Insgesamt war die durchschnittliche Fledermausaktivität pro Aufnahmenacht in beiden Untersuchungsjahren während der Migrationszeit deutlich kürzer als während der Wochenstubenzeit (Inn: $p = <0,001$; Salzach: $p = 0,004$).

	2010 Inn			2011 Salzach		
	df	t-Wert	p-Wert	df	t-Wert	p-Wert
Migrationszeit : Wochenstubenzeit	44,7	-3,98	<0,001	68,0	-2,96	0,004
Flussstandorte : Seestandorte	10,9	-1,81	0,10	68,0	-2,20	0,032
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/Fluss	44,7	-1,92	0,06	68,0	-0,55	0,586
Migrationszeit/Fluss : Migrationszeit/See	24,9	-0,47	0,64	68,0	-0,01	0,990
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	32,5	-4,07	<0,001	68,0	-3,64	<0,001
Wochenstubenzeit/Fluss : Migrationszeit/See	32,5	1,46	0,15	68,0	0,54	0,594
Wochenstubenzeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	38,9	-2,02	0,05	68,0	-2,68	0,009
Migrationszeit/See : Wochenstubenzeit/See	44,7	-3,71	<0,001	68,0	-3,63	<0,001

Tabelle 3.19: Ergebnisse des linearen gemischten Modelles für die Nordfledermaus (signifikante p-Werte fett gedruckt).

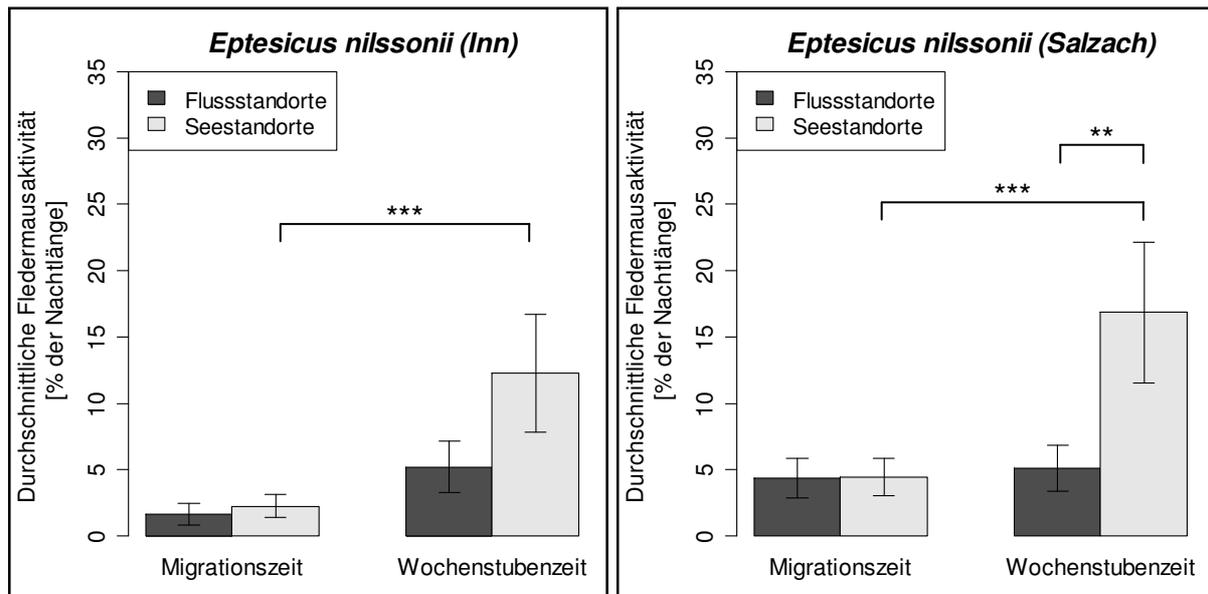


Abbildung 3.29: Aktivität der Nordfledermaus (Mittelwerte mit Standardfehlern) während der Migrations- und Wochenstubenzeit an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (links) und Salzach (rechts) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

Mit einer durchschnittlichen Aktivität von 10,5 % in allen Aufnahmenächten mit Aktivitätsnachweis kam die Nordfledermaus am Flusssystem Salzach insgesamt etwas häufiger vor als am Flusssystem Inn mit durchschnittlich 9,5 % Aktivität pro Aufnahmenacht. Im späten Herbst (Oktober) konnte im gesamten Untersuchungsgebiet nur ein einziger Nachweis der Nordfledermaus erbracht werden (Runde R5-2010) (siehe Abbildung 3.30 oben, S. 91). Am Flusssystem Inn überwog die Aktivität in den Sommermonaten (Runden R2-2010 und R3-2010) generell gegenüber der Aktivität im Frühjahr und Herbst (siehe Abbildung 3.30 oben, S. 91). Außerdem jagte die Nordfledermaus am Inn, abgesehen vom frühen Herbst (Runde R4-2010), das ganze Jahr über an den Seestandorten intensiver als an den Flussstandorten (siehe Abbildung 3.31 links, S. 92). Im Gegensatz dazu wies die Phänologie der Nordfledermaus am Flusssystem Salzach zwei Aktivitätsmaxima auf: einmal im späten Frühjahr (Runde R2-2011) und einmal im Spätsommer (R4-2011) (siehe Abbildung 3.30 unten, S. 91). Während im späten Frühjahr und im frühen Herbst (Runden R2-2011 und R5-2011) die Aktivität der Nordfledermaus an den Flussstandorten der Salzach gegenüber den Seestandorten überwog (siehe Abbildung 3.31 rechts, S. 92), verteilte sie sich das restliche Jahr über in entgegengesetzter Weise auf Fluss- und Seestandorte.

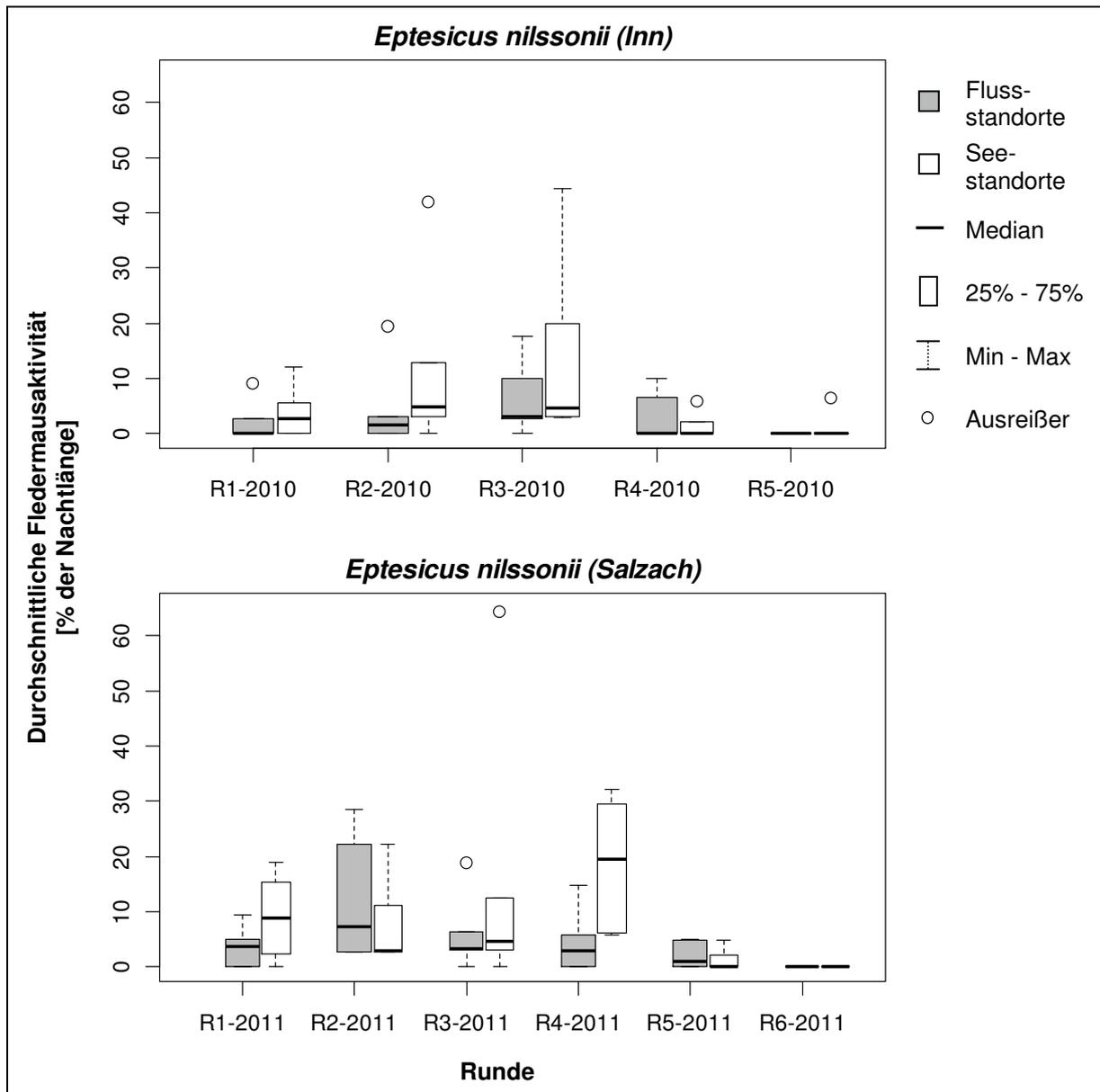


Abbildung 3.30: Box-Whisker-Plots der Aktivität der Nordfledermaus im Jahresverlauf an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (oben) und Salzach (unten) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

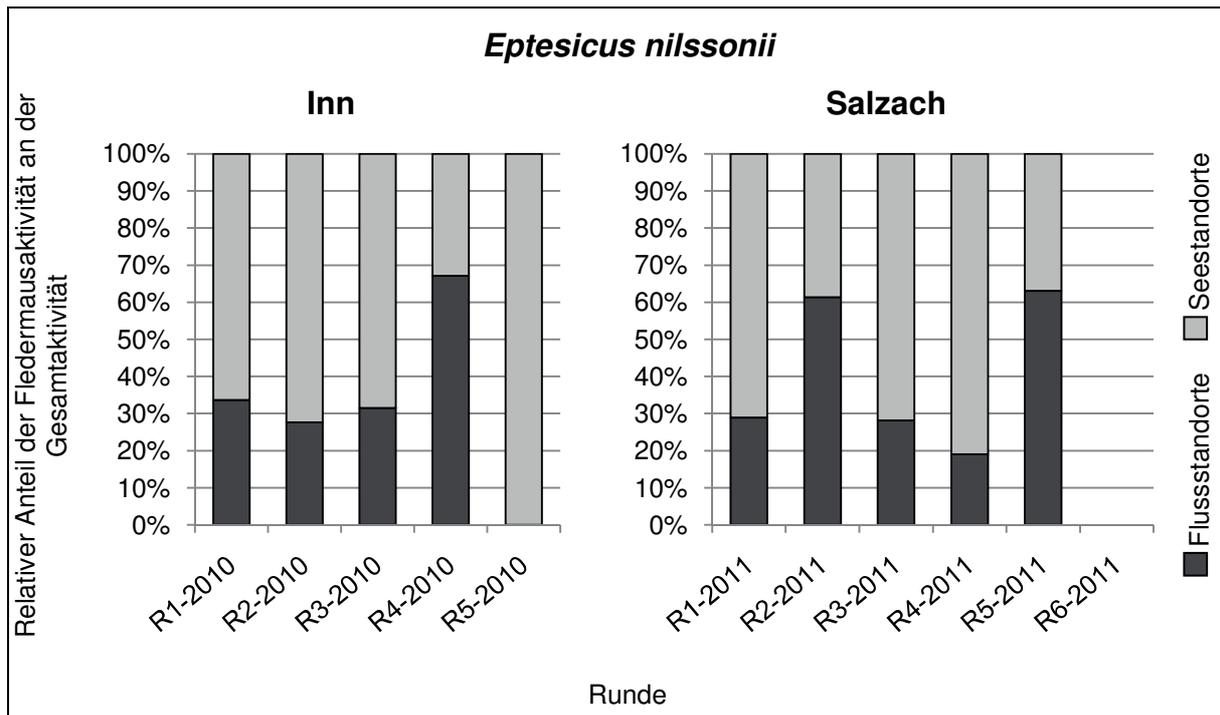


Abbildung 3.31: Relative Anteile der Aktivität der Nordfledermaus an den Flusssystemen Inn (links) und Salzach (rechts) im Jahresverlauf. Dargestellt ist das Verhältnis der Mittelwerte aller Nächte einer Runde jeweils für Fluss- und Seestandorte (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität), normiert auf 100% Gesamtaktivität je Runde.

3.7.3.4 *Pipistrellus pygmaeus*

Die Mückenfledermaus wurde sowohl am Inn als auch an der Salzach an den Flussstandorten etwas häufiger nachgewiesen als an den Seestandorten (siehe Abbildung 3.32, S. 93). Ein statistisch signifikanter Aktivitätsunterschied zwischen den Fluss- und Seestandorten der Salzach konnte jedoch nicht festgestellt werden (siehe Tabelle 3.20, S. 93). Am Flusssystem Inn wurde aufgrund der hohen Anzahl an Aufnahmenächten ohne Aktivitätsnachweis (81 % aller Nächte) eine statistische Auswertung der Daten nicht durchgeführt.

	2010 Inn			2011 Salzach		
	df	t-Wert	p-Wert	df	t-Wert	p-Wert
Migrationszeit : Wochenstubenzeit	-	-	-	58,0	0,93	0,4
Flussstandorte : Seestandorte	-	-	-	10,3	0,62	0,5
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/Fluss	-	-	-	58,0	0,01	1,0
Migrationszeit/Fluss : Migrationszeit/See	-	-	-	11,1	0,30	0,8
Migrationszeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	-	-	-	12,8	0,89	0,4
Wochenstubenzeit/Fluss : Migrationszeit/See	-	-	-	12,8	0,28	0,8
Wochenstubenzeit/Fluss : Wochenstubenzeit/See	-	-	-	14,7	0,85	0,4
Migrationszeit/See : Wochenstubenzeit/See	-	-	-	58,0	1,31	0,2

Tabelle 3.20: Ergebnisse des linearen gemischten Modelles für die Mückenfledermaus (am Flusssystem Inn wurde aufgrund der hohen Anzahl an Aufnahmenächten ohne Aktivitätsnachweis keine statistische Analyse der Daten durchgeführt).

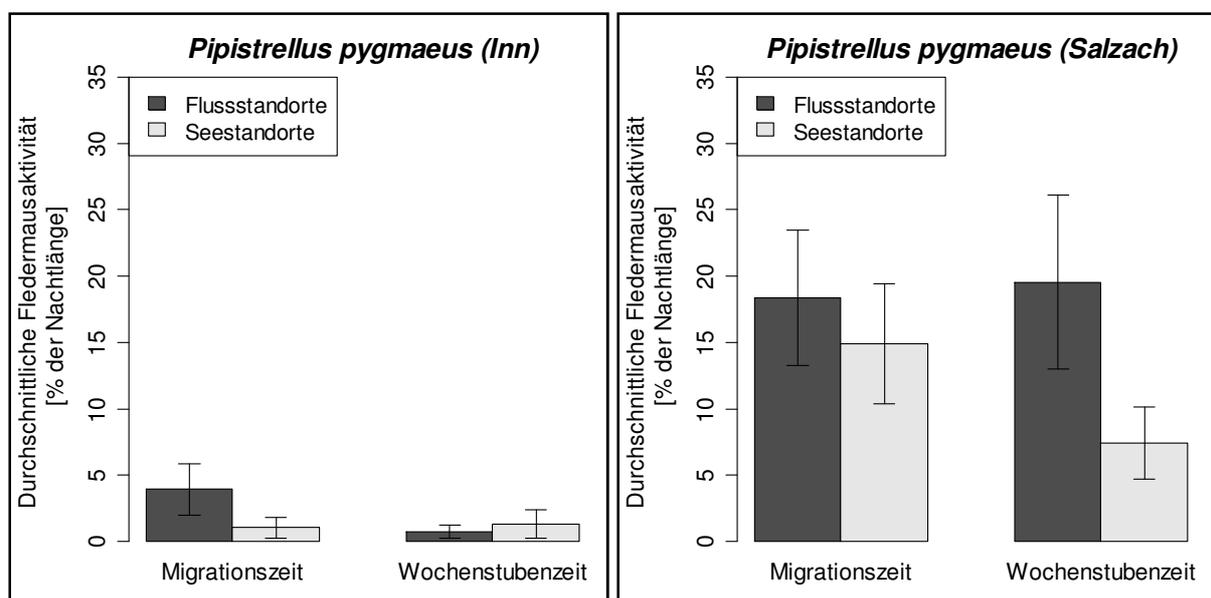


Abbildung 3.32: Aktivität der Mückenfledermaus (Mittelwerte mit Standardfehlern) während der Migrations- und Wochenstubenzeit an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (links) und Salzach (rechts) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

Mit einer durchschnittlichen Aktivität von 9,8 % in allen Aufnahmenächten mit Aktivitätsnachweis kam die Mückenfledermaus am Flusssystem Inn insgesamt eher selten vor und wurde an der Hälfte aller Untersuchungsstandorte in keiner der Aufnahmenächte nachgewiesen. Am Flusssystem Salzach dagegen war die Art mit einer durchschnittlichen Aktivität von 21,2 % in allen Nächten mit Aktivitätsnachweis deutlich häufiger vertreten und kam zudem an allen untersuchten Standorten vor. In beiden Untersuchungsjahren konnten im Jahresverlauf keine ausgeprägten Aktivitätsmaxima festgestellt werden (siehe Abbildung 3.33, S. 94). An der Salzach überwog die Aktivität der Mückenfledermaus im Frühjahr und Sommer an den Flussstandorten (Runden R1-2011 bis R4-2011), während sie sich im Herbst

(Runden R5-2011 und R6-2011) gleichmäßig auf Fluss- und Seestandorte verteilte (siehe Abbildung 3.34 rechts, S. 95).

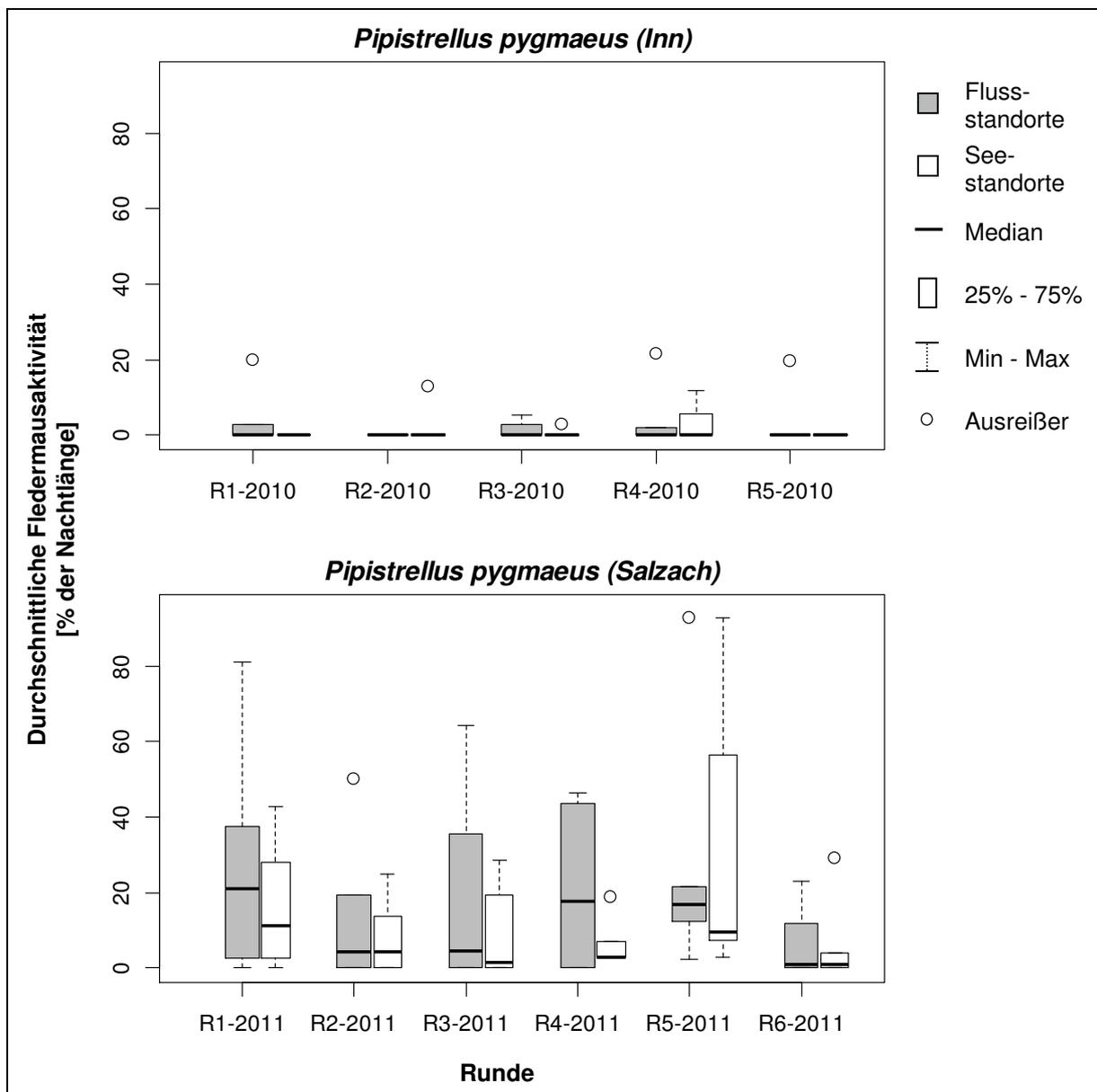


Abbildung 3.33: Box-Whisker-Plots der Aktivität der Mückenfledermaus im Jahresverlauf an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (oben) und Salzach (unten) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

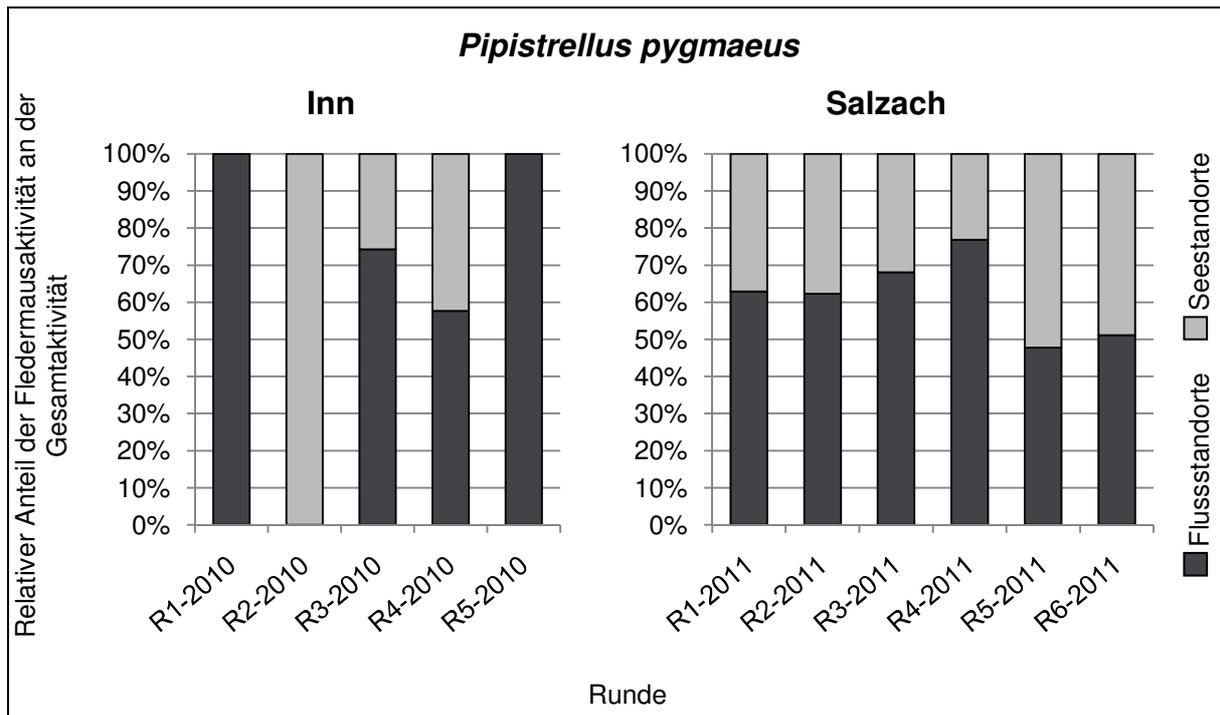


Abbildung 3.34: Relative Anteile der Aktivität der Mückenfledermaus an den Flusssystemen Inn (links) und Salzach (rechts) im Jahresverlauf. Dargestellt ist das Verhältnis der Mittelwerte aller Nächte einer Runde jeweils für Fluss- und Seestandorte (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität), normiert auf 100% Gesamtaktivität je Runde.

3.7.3.5 *Barbastella barbastellus*

Während die Mopsfledermaus am Inn sowohl in der Migrations- als auch in der Wochenstubenzeit die Seestandorte intensiver bejagte, wurden an der Salzach jeweils die Flussstandorte bevorzugt (siehe Abbildung 3.35, S. 96). Da die Anzahl an Aufnahmenächten ohne Aktivitätsnachweis an beiden Flusssystemen relativ hoch war (Inn: 67,2 %; Salzach: 52,8 %), wurde keine statistische Auswertung der Daten durchgeführt.

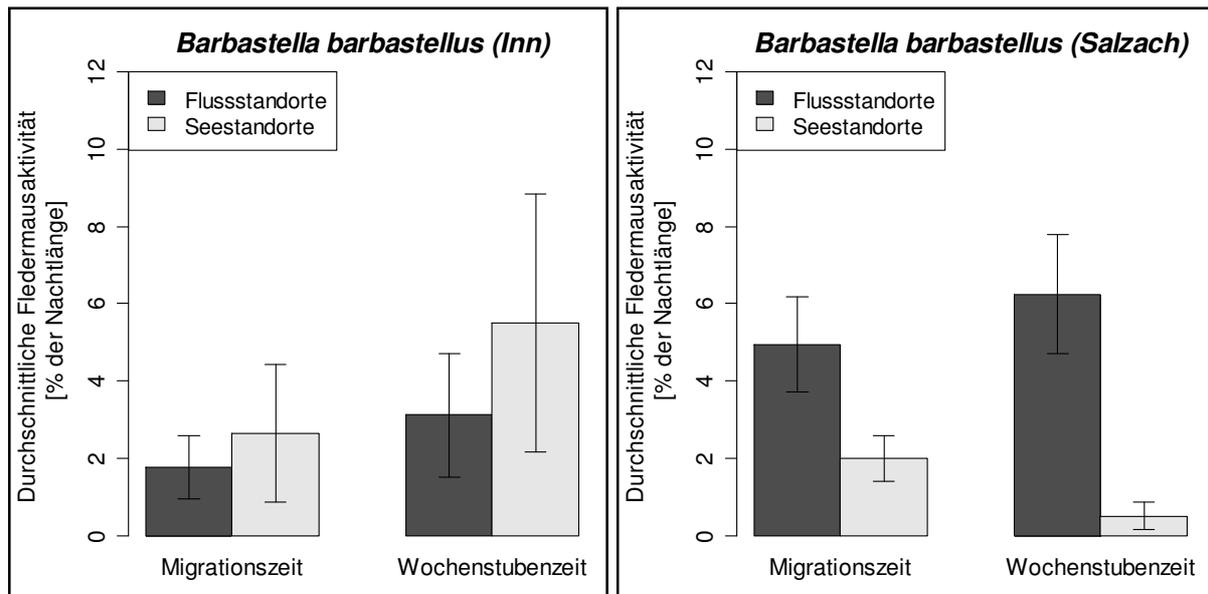


Abbildung 3.35: Aktivität der Mopsfledermaus (Mittelwerte mit Standardfehlern) während der Migrations- und Wochenstubenzeit an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (links) und Salzach (rechts) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

Insgesamt gehörte die Mopsfledermaus zu den eher selten erfassten Arten: Die durchschnittliche Fledermausaktivität lag am Flusssystem Inn in allen Aufnahmenächten mit Aktivitätsnachweis bei 9,4 %, an der Salzach bei 7,3 %. Am Flusssystem Inn wurde die Mopsfledermaus am häufigsten im Hochsommer (Runde R3-2010) aufgezeichnet (siehe Abbildung 3.36 oben, S. 97), während sich am Flusssystem Salzach die aufgezeichnete Fledermausaktivität relativ gleichmäßig über den gesamten Jahresverlauf verteilte (siehe Abbildung 3.36 unten, S. 97). Im späten Herbst (Runden R5-2010 und R6-2011) war in beiden Untersuchungsjahren eine außerordentlich niedrige Aktivität zu verzeichnen. Auch konnte die Mopsfledermaus nicht an allen Untersuchungsstandorten nachgewiesen werden: Am Flusssystem Inn wurde sie an vier von zwölf Standorten in keiner der Aufnahmenächte erfasst, an der Salzach galt dies für zwei von zwölf Standorten.

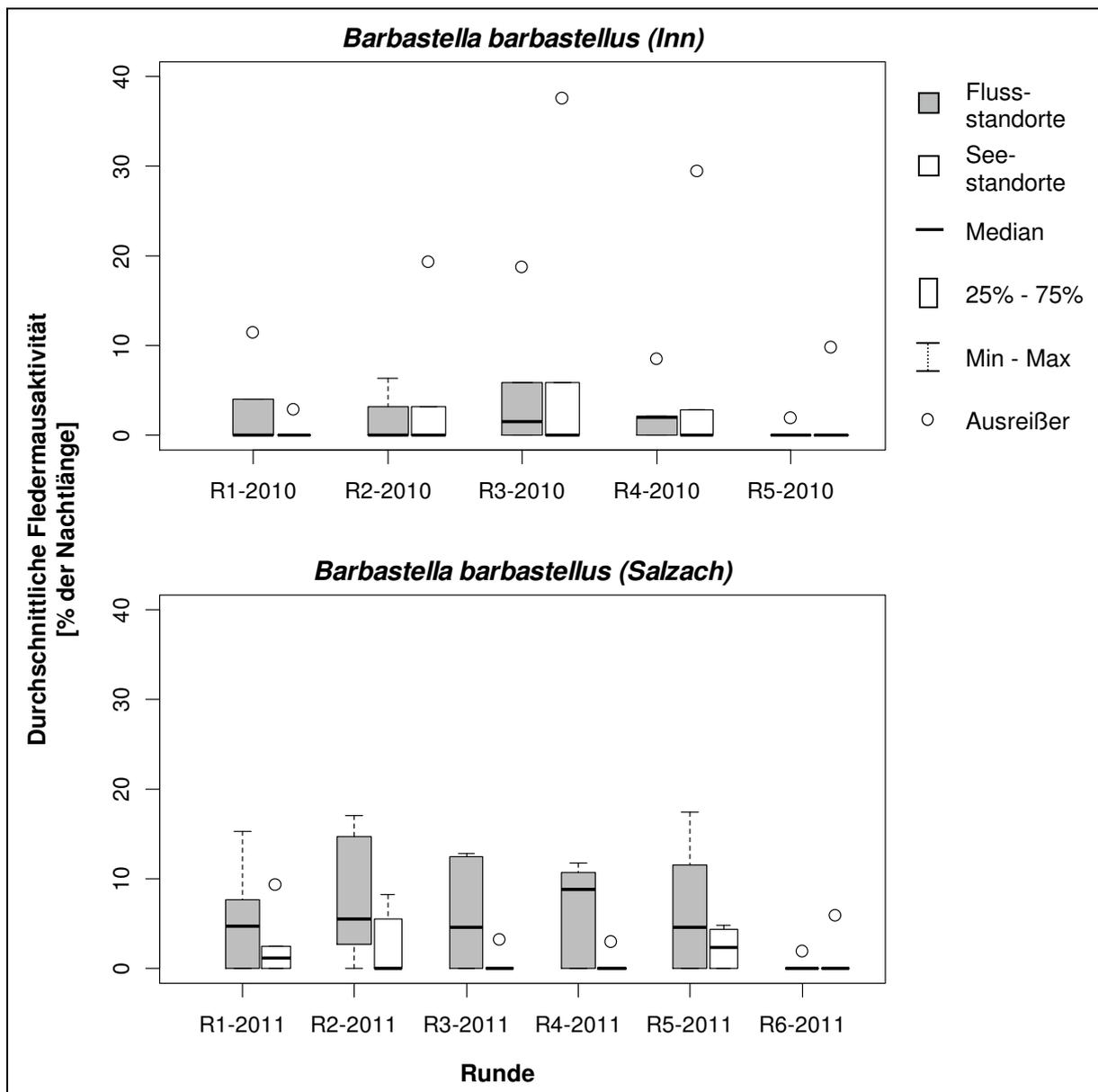


Abbildung 3.36: Box-Whisker-Plots der Aktivität der Mopsfledermaus im Jahresverlauf an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (oben) und Salzach (unten) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

3.7.3.6 *Myotis myotis*

Das Große Mausohr trat im Untersuchungsgebiet nur sporadisch auf: Am Inn wurde es am häufigsten während der Wochenstubenzeit an den Seestandorten erfasst, während es an der Salzach sowohl zur Migrations- als auch zur Wochenstubenzeit die Flussstandorte etwas intensiver bejagte (siehe Abbildung 3.37, S. 98). Aufgrund der hohen Anzahl an Aufnahmenächten ohne Aktivitätsnachweis (Inn: 84,5 %; Salzach: 83,3 %) wurde eine statistische Auswertung der Daten nicht durchgeführt.

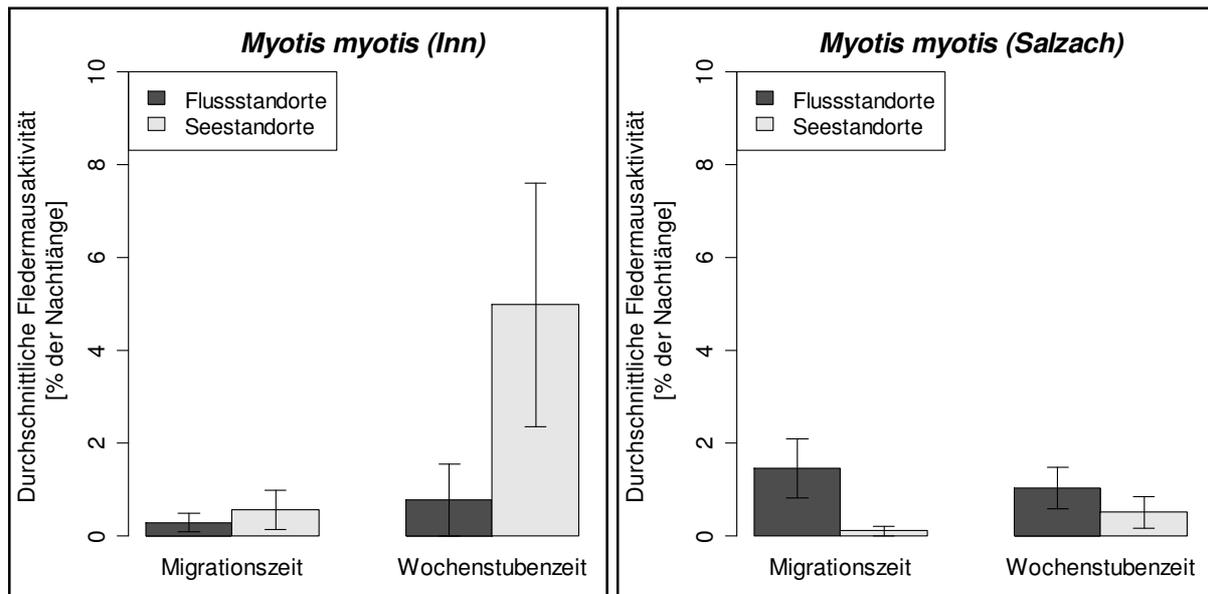


Abbildung 3.37: Aktivität des Großen Mausohrs (Mittelwerte mit Standardfehlern) während der Migrations- und Wochenstubenzeit an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (links) und Salzach (rechts) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

Mit einer durchschnittlichen Fledermausaktivität von 9,3 % in allen Nächten mit Aktivitätsnachweis am Inn und 4,6 % an der Salzach gehörte das Große Mausohr zu denjenigen Arten, die insgesamt eher selten aufgezeichnet wurden. Auch konnte es im ersten Untersuchungsjahr nur an vier von zwölf Aufnahmestandorten nachgewiesen werden, im zweiten Untersuchungsjahr dagegen an der Hälfte aller Aufnahmestandorte. Im Jahresverlauf betrachtet war die durchschnittliche Fledermausaktivität pro Aufnahmenacht in beiden Jahren im Sommer (Runden R2-2010, R3-2010, R3-2011 und R4-2011) am längsten, an der Salzach zusätzlich bereits im späten Frühjahr (Runde R2-2011) (siehe Abbildung 3.38, S. 99). Dagegen fiel die Aktivität im zeitigen Frühjahr (Runden R1-2010 und R1-2011) und im Herbst (Runden R4-2010, R5-2010, R5-2011 und R6-2011) jeweils äußerst gering aus.

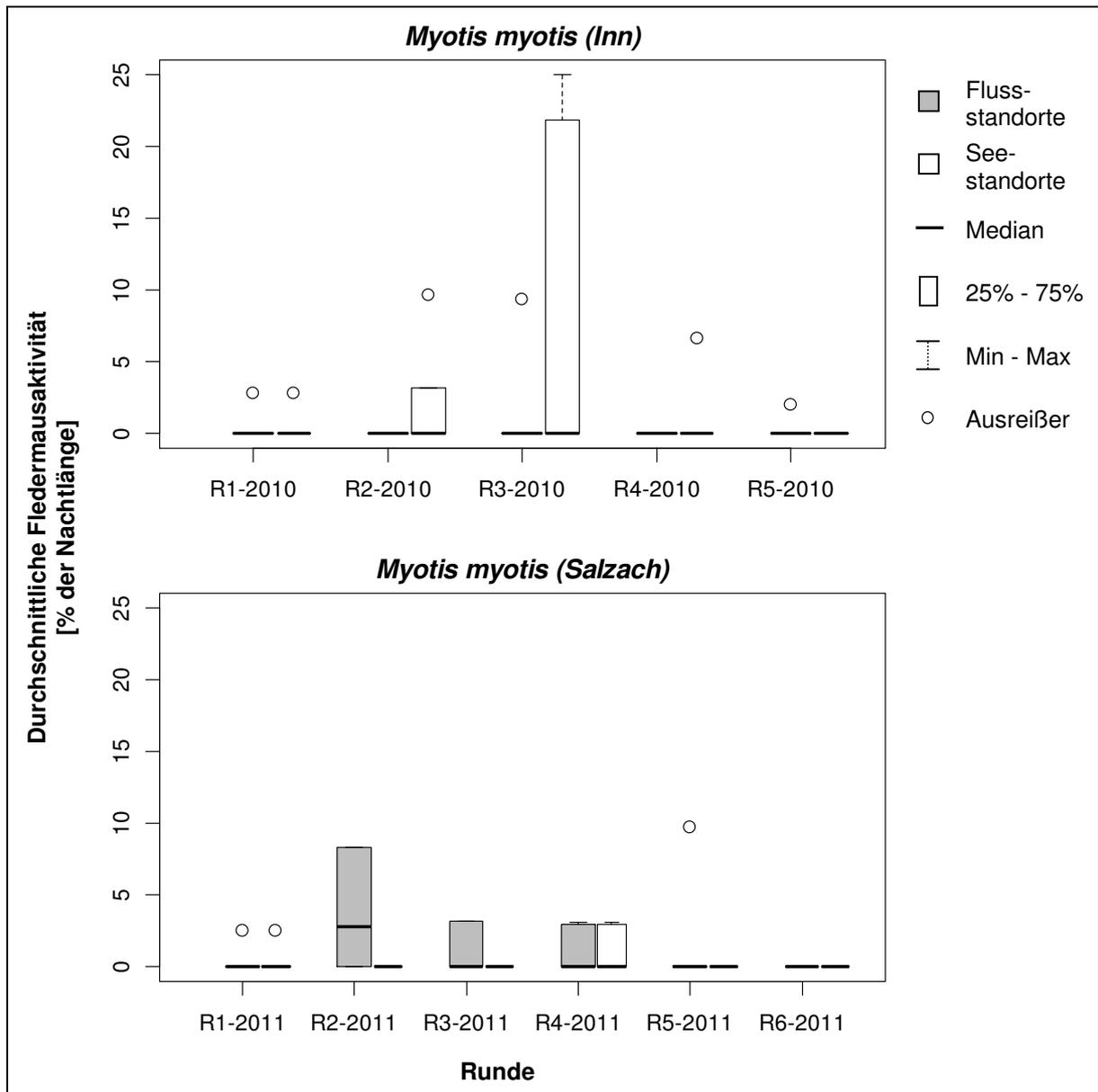


Abbildung 3.38: Box-Whisker-Plots der Aktivität des Großen Mausohrs im Jahresverlauf an Fluss- und Seestandorten der Flusssysteme Inn (oben) und Salzach (unten) (basierend auf der errechneten Fledermausaktivität).

4 Diskussion

4.1 Methodendiskussion

4.1.1 Möglichkeiten und Grenzen der akustischen Fledermauserfassung

Da die Echoortungsrufe jeder Fledermausart in ihrem zeitlichen Frequenz- und Amplitudenverlauf über artspezifische Charakteristika verfügen, ist eine Artidentifikation von Fledermäusen anhand von Lautaufnahmen in vielen Fällen möglich (BARATAUD 2015, O'FARRELL ET AL. 1999, SIMMONS ET AL. 1979, SKIBA 2009). Auf diese Weise können mittels akustischem Monitoring große Mengen an Daten beispielsweise zur geographischen Verbreitung, der Habitatnutzung oder der Populationsentwicklung einzelner Fledermausarten erhoben werden, ohne die Tiere dabei stören zu müssen (AHLEN & BAAGOE 1999).

Allerdings lassen sich nicht alle Fledermausarten anhand ihrer Echoortungsrufe gleich gut bzw. sicher identifizieren, da die intraspezifische Variabilität der Rufe sehr groß ist und sich das Rufrepertoire einzelner Arten zum Teil stark überschneidet (BARCLAY 1999, OBRIST 1995, PARSONS & JONES 2000, WALTERS ET AL. 2012). So werden beispielsweise im freien Luftraum von vielen Arten eher lange und schmalbandige Laute genutzt, in einer hindernisreichen Umgebung wird dagegen auf kürzere und stärker frequenzmodulierte Rufe umgeschaltet (SCHNITZLER & KALKO 2001). Auch die Anwesenheit von Artgenossen kann eine Veränderung in den Rufparametern einzelner Individuen bewirken (OBRIST 1995, ULANOVSKY ET AL. 2004). Außerdem werden im Verlauf von Detektion und Annäherung an ein Beutetier bei nahezu allen Fledermausarten Frequenzmodulation, Rufdauer und Wiederholungsrate auf ähnliche Art und Weise an die jeweilige Situation angepasst (BARCLAY 1999, SCHNITZLER & KALKO 2001). Weitere Probleme können bei der Auswertung der Lautaufnahmen entstehen. Eine mangelhafte Aufnahmequalität, verursacht z. B. durch Störgeräusche, Echos oder eine Überlappung von Lauten, kann eine korrekte Vermessung aufgenommener Rufe verhindern und dadurch zu Fehlbestimmungen führen. Auch werden durch die atmosphärische Abschwächung hohe Frequenzen stärker gedämpft als niedrige, so dass viele Rufe nicht vollständig aufgezeichnet werden (GRIFFIN 1971, LAWRENCE & SIMMONS 1982).

Einige dieser Probleme konnten in der vorliegenden Untersuchung vermieden werden, da aufgrund der Auswertung auf 15-Minuten-Basis (siehe Kapitel 2.4.1.1,

S. 48) nicht alle aufgezeichneten Lutaufnahmen in die Analyse mit einbezogen wurden, sondern in den meisten Fällen auf qualitativ hochwertige Rufe mit eindeutigen Rufparametern zurückgegriffen werden konnte. Denjenigen Arten, die anhand der Rufparameter nicht sicher voneinander unterschieden werden konnten, wurden entweder nicht in die Auswertung mit einbezogen oder es wurde nur eine Auswertung auf Artgruppenniveau durchgeführt.

Insgesamt ist ein akustisches Monitoring allein nicht unbedingt ausreichend, um Größe und Artspektrum von Fledermauspopulationen abzuschätzen und eine umfassende Bestandsaufnahme durchzuführen. Relevant ist dabei unter anderem die unterschiedliche Erfassungswahrscheinlichkeit einzelner Arten, verursacht durch artspezifisch unterschiedliche Ruflautstärken und -frequenzen (JAKOBSEN ET AL. 2013). So musste in Kauf genommen werden, dass z. B. die im Untersuchungsgebiet heimischen Fledermausarten Braunes Langohr (*Plecotus auritus*) und Kleine Hufeisennase (*Rhinolophus hipposideros*) aufgrund ihrer leisen bzw. hochfrequenten Echoortungsrufe nicht in die Untersuchung mit einbezogen werden konnten.

Sofern die genannten Fehlerquellen berücksichtigt werden, bietet die akustische Erfassung jedoch eine effiziente und zuverlässige Möglichkeit, im Rahmen phänologischer Studien die Fledermausaktivität an unterschiedlichen Standorten und in verschiedenen Habitaten zu vergleichen (VAUGHAN ET AL. 1997). Daher war sie als Methode für die vorliegende Untersuchung gut geeignet.

4.1.2 Ergänzende Netzfänge

Da sich manche Fledermausarten anhand ihrer morphologischen Merkmale einfacher unterscheiden lassen als anhand ihrer Echoortungsrufe (z. B. einige Vertreter der Gattung *Myotis*) und zudem die Erfassungswahrscheinlichkeit im akustischen Monitoring für einzelne Arten sehr unterschiedlich ist, kann mit Hilfe von Netzfängen das akustisch erfasste Artspektrum ergänzt werden (KUENZI & MORRISON 1998). Besonders aufschlussreich ist die Durchführung von Netzfängen zur Untersuchung der Populationsstruktur an einem Standort, da Daten zu Geschlecht, Alter und Reproduktionsstatus der Tiere ausschließlich durch Netzfänge erhoben werden können (KUENZI & MORRISON 1998). Diese Daten können auch in der Migrationsforschung genutzt werden, um beispielsweise geschlechtsbasierte Unterschiede im Migrationsverhalten zu untersuchen (PERRY ET AL. 2010).

Für Schlussfolgerungen zu diesen Fragen erwies sich der Fangerfolg in der vorliegenden Untersuchung jedoch als zu gering. Es ist bekannt, dass die Durchführung von Netzfängen nicht an allen Standorten effizient ist: In den gemäßigten Breiten kann ein guter Fangerfolg oft nur an bekannten Flugwegen und vor den Hangplätzen von Fledermäusen oder an kleineren Gewässern erzielt werden (KUNZ & BROCK 1975). Da die Auswahl der Untersuchungsstandorte in der vorliegenden Studie jedoch primär auf eine gute akustische Erfassung ausgerichtet war, erwiesen sich nicht alle Standorte für Netzfänge als optimal geeignet. Wie sich in einer Studie von LARSEN ET AL. (2007) zeigte, sind viele Fledermäuse außerdem in der Lage die Netze wahrzunehmen und ihnen auszuweichen. Besonders in Jagdhabitaten, wo auch die Netzfänge dieser Studie durchgeführt wurden, ist daher kein allzu großer Fangerfolg zu erwarten: Auf der Suche nach Beute orten die Tiere intensiv, so dass viele von ihnen die Netze rechtzeitig erkennen können.

Jedoch kann unter Umständen die Artzusammensetzung der Netzfänge bei der Interpretation von parallel dazu aufgezeichneten Lautaufnahmen helfen. So wurden beispielsweise in dieser Studie deutlich mehr Wasserfledermäuse (*Myotis daubentonii*) als Bart- bzw. Brandtfledermäuse (*Myotis mystacinus* bzw. *brandtii*) gefangen. Da diese Arten anhand ihrer Echoortungsrufe nicht sicher voneinander unterschieden werden konnten, wurden sie in der akustischen Analyse als Artgruppe zusammengefasst. Aus dem Verhältnis des Fangerfolges dieser Arten zueinander lässt sich abschätzen, wie stark sie jeweils auch in der akustischen Erfassung repräsentiert sein könnten.

Darüber hinaus ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch Netzfänge eine selektive Methode der Fledermauserfassung darstellen: Manche Arten jagen in großer Höhe im freien Luftraum und bewegen sich damit außerhalb der Reichweite der Netze (O'FARRELL & GANNON 1999). Auch sind hochfrequent rufende Arten eher in der Lage, die feinmaschigen Netze wahrzunehmen und ihnen auszuweichen als niederfrequent rufende Arten (BERRY ET AL. 2004). Dementsprechend sind Netzfänge allein zur Erhebung eines vollständigen Artinventars oder zur Abschätzung von Habitatnutzung oder Populationsentwicklungen meist nicht ausreichend, als Ergänzung zu einem akustischen Monitoring dagegen durchaus sinnvoll.

4.1.3 Insektenzählungen

Bislang existieren mehrere Studien, die einen positiven Zusammenhang zwischen der Fledermausaktivität und dem verfügbaren Nahrungsangebot bei insektivoren Fledermausarten belegen (ALMENAR ET AL. 2013, CIECHANOWSKI ET AL. 2007, DE JONG & AHLÉN 1991, KUSCH ET AL. 2004, MÜLLER ET AL. 2012). Die Erfassung des Nahrungsangebotes erfolgte in diesen Studien überwiegend mit Hilfe von Licht-, Klebe- oder Malaise-Fallen. Im Gegensatz dazu wurde in der vorliegenden Untersuchung, wie auch in einer Studie von TAYLOR & O'NEILL (1988), auf eine einfachere Methode der Insektenzählung mittels LED-Handstrahler zurückgegriffen (siehe Kapitel 2.2.3, S. 40). Der große Vorteil dieser Methode ist ihre einfache und kostengünstige Anwendung, zudem werden keine Insekten getötet. Auch werden durch die kurze Beleuchtungsdauer von ca. 30 Sekunden an einem Standort keine zusätzlichen Insekten angelockt, so dass die Datenaufnahme in unmittelbarer Nähe zu den Lautaufnahmegeräten stattfinden kann, ohne die parallel laufende Aufzeichnung der Fledermausaktivität zu beeinflussen. Auf diese Weise kann das tatsächlich für Fledermäuse verfügbare Nahrungsangebot an einem Untersuchungsstandort in einem kleinräumigen Maßstab gut abgeschätzt werden. Dies ist besonders wichtig, da Fledermäuse als hoch mobile Tiere in der Lage sind, zeitlich und räumlich begrenzt auftretende Beutevorkommen flexibel auszubeuten (DE JONG & AHLÉN 1991). So konnten beispielsweise ZAHN & MAIER (1997) in einer Studie im oberbayerischen Inn-Chiemsee-Hügelland feststellen, dass die Jagdaktivität nicht nur im Lauf des gesamten Untersuchungszeitraumes mit zunehmender Insektendichte anstieg, sondern sich auch bei kurzfristigen Schwankungen des Nahrungsangebotes an einer Untersuchungsstelle in entsprechender Weise veränderte. Durch die hier gewählte Methode der Insektenzählung mittels LED-Handstrahler konnte eine zeitlich und räumlich eng an die Aufzeichnung der Fledermausaktivität gebundene Erfassung der Insektendichte gut umgesetzt werden. Als Ergebnis wurde in den vorliegenden Daten, übereinstimmend mit einem Großteil bereits existierender Studien, in vielen Fällen ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen der errechneten Fledermausaktivität und der Anzahl an Insekten festgestellt (siehe Kapitel 3.4, S. 57). Bei einzelnen Fledermausarten hingegen war aufgrund ihres Jagdverhaltens mit der verwendeten Methode nicht mit einer Korrelation zwischen Nahrungsangebot und Jagdaktivität zu rechnen und wurde auch tatsächlich nicht festgestellt. Beispiel hierfür

ist das Große Mausohr (*Myotis myotis*), das vor allem bodenlebende Beutetiere jagt (siehe Tabelle 1.1, S. 33), während mittels LED-Handstrahler ausschließlich fliegende Insekten erfasst werden.

Die hier genutzte Methode kommt demnach bei einer ausreichend hohen Anzahl an Stichproben mit einem verhältnismäßig geringen Aufwand zu erwartungsgemäßen bzw. ähnlichen Ergebnissen wie verschiedene andere Methoden zur Abschätzung der Nahrungsgrundlage. Allerdings ist zu beachten, dass sie keinerlei Rückschlüsse auf Art, Größe oder Biomasse der für Fledermäuse verfügbaren Insekten zulässt. Sie eignet sich also nur für eine grobe Abschätzung des Nahrungsangebotes, was für die Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung jedoch ausreichend war.

4.2 Standortparameter

4.2.1 Nahrungsangebot in Flussauen und an Stillgewässern

Das in dieser Studie erfasste Nahrungsangebot für Fledermäuse ähnelt im Jahresverlauf weitgehend den Ergebnissen einer vergleichbaren Studie von BONTADINA ET AL. (2008) im Schweizer Voralpenland: Das beste Angebot an Insekten bestand für die Tiere während der Wochenstubenzeit im Hochsommer, das schlechteste im zeitigen Frühjahr und im Herbst. Vor diesem Hintergrund lässt sich auch die bei vielen Arten festgestellte, signifikant positive Korrelation zwischen der Fledermausaktivität und der Anzahl an Beutetieren in den Migrationsphasen erklären, die in der Wochenstubenzeit bei keiner der untersuchten Arten festgestellt wurde: In Zeiten generell knapper Nahrungsressourcen, wie im Frühjahr und Herbst, reagieren die Tiere vermutlich besonders stark auf zeitlich und räumlich begrenzt auftretende Beutevorkommen. In diesem Zeitraum könnte das Nahrungsangebot für einige Arten sogar einen limitierenden Faktor darstellen, wie es beispielsweise in einer Studie von ZAHN ET AL. (2007B) in Oberbayern bereits für das Große Mausohr (*Myotis myotis*) gezeigt wurde. In den Sommermonaten dagegen verfügen die untersuchten Gewässerhabitate durchgängig über eine ausgezeichnete Nahrungsgrundlage, so dass die Fledermäuse dann weniger stark auf kurzfristige Schwankungen reagieren. Zudem könnten vor allem die Weibchen stärker an das nähere Umfeld ihrer Wochenstuben gebunden und daher in der Wahl ihrer Jagdhabitate weniger flexibel sein.

Signifikante Unterschiede im Nahrungsangebot zwischen Fluss- und Seestandorten konnten weder am Flusssystemen Inn noch am Flusssystem Salzach festgestellt

werden. Ein solches Ergebnis ist nicht weiter überraschend, da Fließ- und Stillgewässer nicht zuletzt aufgrund ihres vergleichbaren Nahrungsangebotes als ähnlich gute Jagdhabitats für insektivore Fledermausarten gelten. Welcher der beiden Gewässertypen im Einzelnen attraktiver für die Tiere ist, kann von vielfältigen, oft auch zeitlich und räumlich eng begrenzten Faktoren abhängen, beispielsweise dem Vorkommen und der Beschaffenheit der Ufervegetation, der Jahreszeit, dem Nährstoffgehalt des Wassers oder der Rauigkeit und Größe der Wasseroberfläche (KUSCH ET AL. 2004, MACKEY & BARCLAY 1989, VAUGHAN ET AL. 1996, WALSH & MAYLE 1991, ZAHN & MAIER 1997). So kann es zu bestimmten Jahreszeiten zu einem lokalen Massenschlupf einzelner Fluginsektenarten kommen, deren Larvalentwicklung zuvor im Wasser stattfand (DE JONG & AHLÉN 1991). Auch sind beispielsweise Flusstäler oft klimatisch begünstigt, wodurch sich dort die Insektenfauna und damit die Nahrungsgrundlage für Fledermäuse schon etwas früher im Jahr entwickeln kann als andernorts. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Fledermausaktivität in Flussauen und an Stillgewässern möglichst unabhängig von solchen räumlich und zeitlich begrenzten Einflussfaktoren miteinander vergleichen zu können. Die Ergebnisse der Insektenzählungen belegen, dass in Bezug auf das vorhandene Nahrungsangebot tatsächlich eine gute Vergleichbarkeit von Fluss- und Seestandorten erreicht werden konnte. Eventuelle Unterschiede in der aufgezeichneten Fledermausaktivität zwischen Fließ- und Stillgewässern können dementsprechend im Großen und Ganzen nicht auf Unterschiede im Nahrungsangebot zurückgeführt werden.

4.2.2 Temperatur im Jahresverlauf

Wie beim Nahrungsangebot zeigte sich auch in den Temperaturdaten während der Migrationszeit bei einigen Fledermausarten eine signifikant positive Korrelation zwischen Fledermausaktivität und Temperatur, was in der Wochenstubenzeit nicht der Fall war. Demnach scheinen kleinere Temperaturschwankungen in der warmen Jahreszeit für die untersuchten Fledermausarten keine große Bedeutung zu besitzen, während sie im Frühjahr und Herbst durchaus eine Rolle spielen. Besonders auffallend ist dabei der starke Temperaturabfall im Oktober des Jahres 2011, der sich auch in der Gesamtaktivität aller analysierten Fledermausarten deutlich widerspiegelt.

4.2.3 Einfluss von Landschaftsparametern auf die Fledermausaktivität an den Untersuchungsstandorten

Es ist bekannt, dass neben dem verfügbaren Nahrungsangebot und klimatischen Faktoren wie z. B. der Temperatur auch viele kleinräumige landschaftliche Faktoren die Fledermausaktivität an einem Standort beeinflussen können (DIXON 2012, KALDA ET AL. 2015, LESINSKI ET AL. 2000, MEHR ET AL. 2011). Um solche Faktoren nicht unberücksichtigt zu lassen, wurde im Rahmen dieses Projektes von PRUMMER (2012) eine ergänzende Studie über verschiedene Landschaftsparameter an den ausgewählten Untersuchungsstandorten durchgeführt. Die erfassten Parameter waren der Anteil an Siedlungs- und Waldflächen in einem Radius von 4 Kilometern um die untersuchten Standorte sowie die Entfernung zur nächsten Stadt.

Für die Berechnung der Flächenanteile von Siedlungs- und Waldflächen wurden digitale Luftbilder mit einer Mindestauflösung von 1 m verwendet. Im Luftbild wurde um jeden Untersuchungsstandort ein konzentrischer Kreis mit einem Radius von 4 km gelegt, der mit einem Gitterraster mit einer Zellengröße von 1 ha verschnitten wurde. Anschließend wurden alle Rastereinheiten zusammengezählt auf denen entweder Gebäude oder Waldflächen erkennbar waren (wobei Mehrfachzählungen möglich waren). Der Flächenanteil der beiden Landschaftsparameter an einem Untersuchungsstandort wurde als Prozentwert der gezählten Rastereinheiten zur Gesamtzahl aller Rastereinheiten ausgedrückt (siehe Abbildung 4.1 und Abbildung 4.2, S. 107). Im Durchschnitt aller Untersuchungsstandorte betrug der Flächenanteil an Siedlungen im 4 km Radius 16,2 % und an Wald 28,9 % (siehe Tabelle 4.1, S. 109). Der Anteil an Siedlungsflächen war an den Flussstandorten signifikant höher als an den Seestandorten (Wilcoxon-Rangsummen-Test für gepaarte Stichproben; $p = 0,034$), bei den Waldflächen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

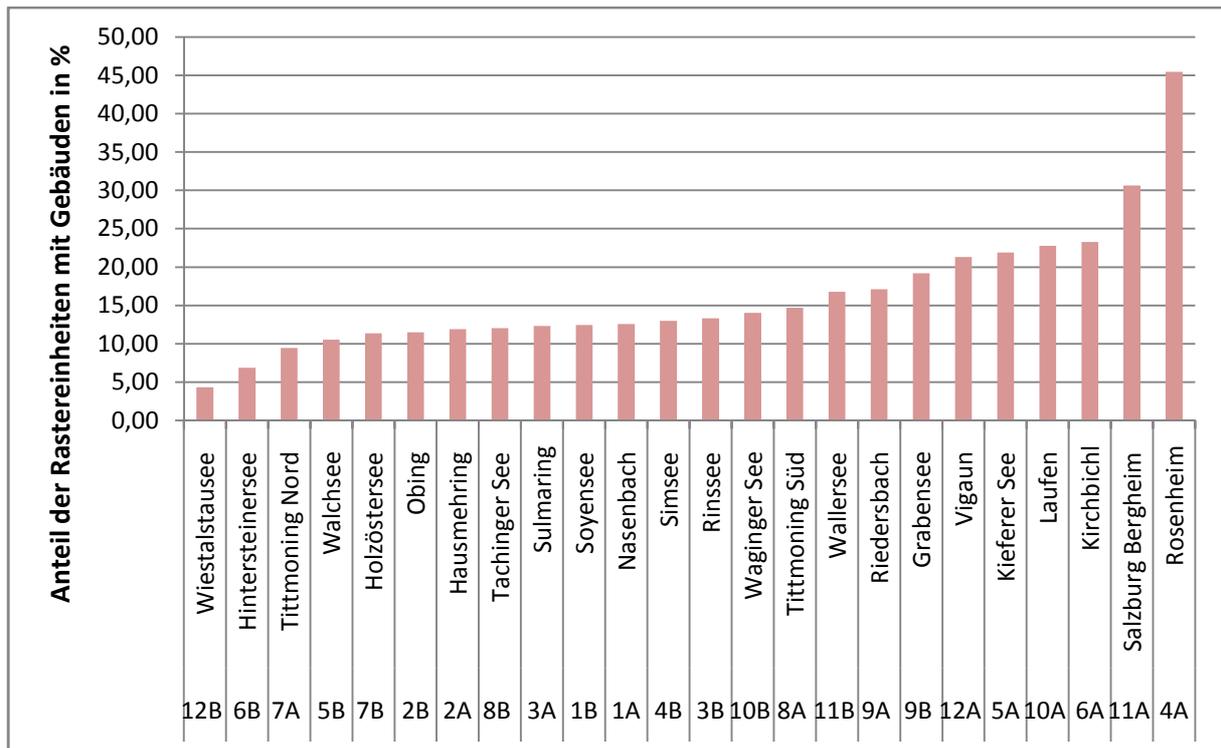


Abbildung 4.1: Anteil der Rastereinheiten mit Gebäuden an den verschiedenen Standorten (Grafik aus (PRUMMER 2012)).

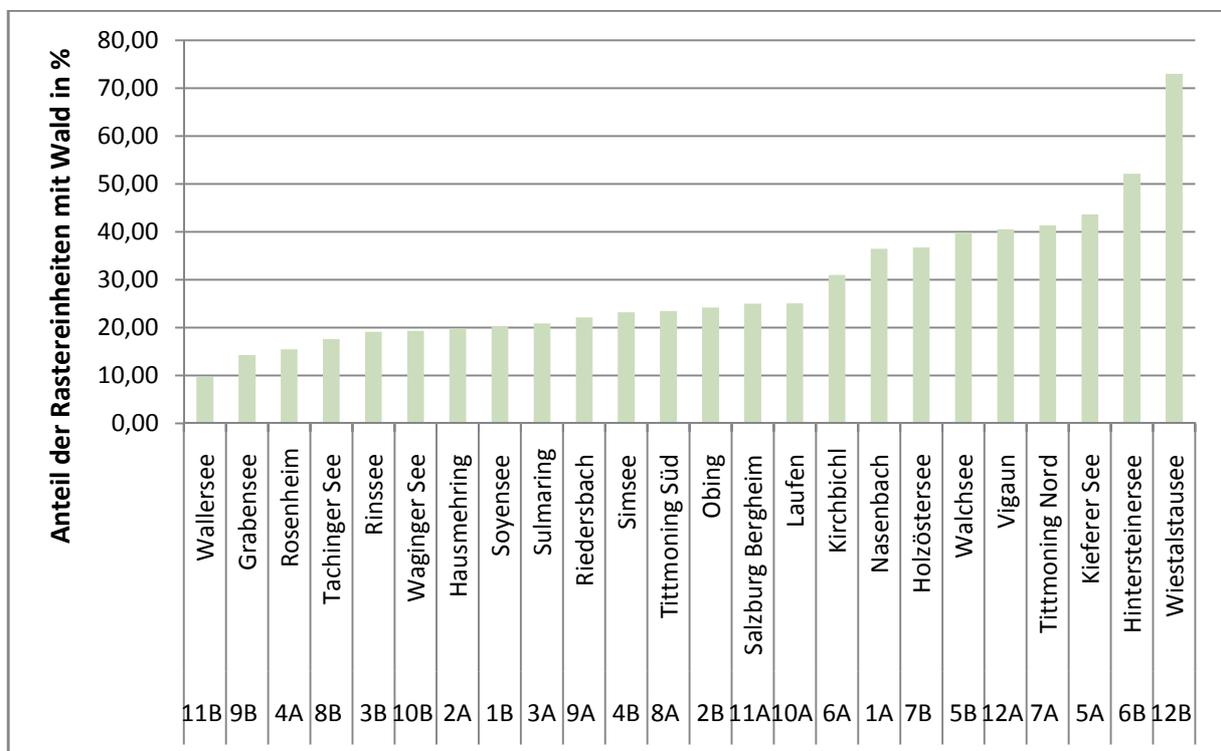


Abbildung 4.2: Anteil der Rastereinheiten mit Wald an den verschiedenen Standorten (Grafik aus (PRUMMER 2012)).

Um die Entfernung eines Untersuchungsstandortes zur nächsten Stadt zu messen, wurde mittels GoogleEarth dessen Distanz zum nächsten Stadtzentrum in Kilometern bestimmt. Berücksichtigt wurden hierfür alle Siedlungen mit politischem Stadtstatus und einer Mindestanzahl von 4 500 Einwohnern. Dies traf in der vorliegenden Untersuchung auf die Städte Wasserburg, Trostberg, Rosenheim, Kufstein, Tittmoning, Laufen, Salzburg und Hallein zu. Die durchschnittliche Entfernung aller Untersuchungsstandorte zur nächsten Stadt betrug 7,4 km (siehe Abbildung 4.3 und Tabelle 4.1, S. 109). Die Standorte an den Flüssen lagen im Schnitt signifikant näher an den nächsten Stadtzentren als die Standorte an den Seen (Wilcoxon-Rangsummen-Test für gepaarte Stichproben; $p = 0,002$).

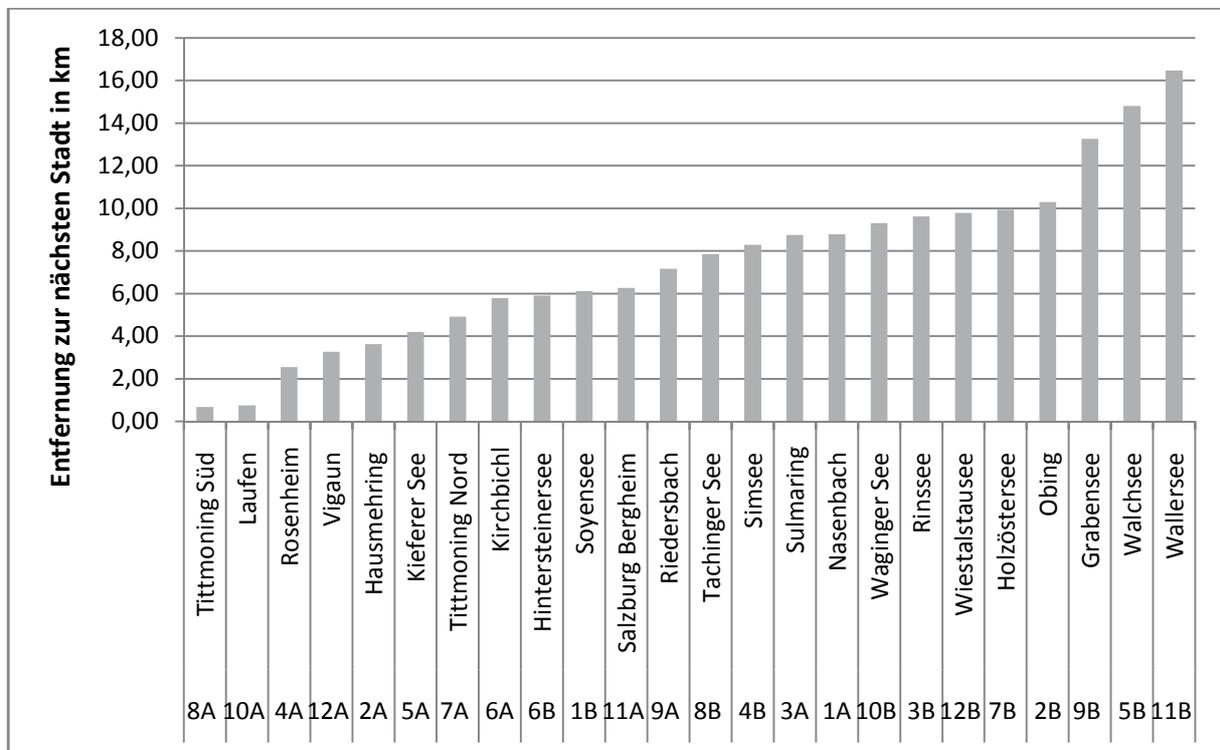


Abbildung 4.3: Entfernung der Untersuchungsstandorte zur nächstgelegenen Stadt (Grafik aus (PRUMMER 2012)).

Eine signifikante Korrelation der erfassten Landschaftsparameter mit der Aktivität einzelner Fledermausarten konnte mittels partieller Korrelationen nach Spearman und einer anschließender Holms-Korrektur für multiples Testen nicht nachgewiesen werden (siehe Tabelle 4.1, S. 109). Von einem deutlichen Einfluss der untersuchten Landschaftsparameter auf die Fledermausaktivität an den Untersuchungsstandorten kann demnach nicht ausgegangen werden.

Untersucher Landschaftsparameter	Durchschnitt aller Standorte (Mittelwerte mit Standard- abweichung)	Signifikanter Unterschied zwischen Fluss- und Seestandorten?	Signifikante Korrelationen mit der errechneten Fledermausaktivität?
Anteil an Siedlungsflächen um die Untersuchungs- standorte	16,2 % (8,4 %)	Anteil an den Flussstandorten signifikant höher	nein
Anteil an Waldflächen um die Untersuchungs- standorte	28,9 % (14 %)	nein	nein
Entfernung der Untersuchungsstandorte zur nächsten Stadt	7,4 km (3,9 km)	Entfernung der Seestandorte signifikant weiter	nein

Tabelle 4.1: Übersicht über die Ergebnisse von PRUMMER (2012) bezüglich der Landschaftsparameter an den ausgewählten Untersuchungsstandorten. Auf Signifikanz der Daten wurde mittels Wilcoxon-Rangsummen-Tests für gepaarte Stichproben (Unterschiede zw. Fluss- und Seestandorten) und partiellen Korrelationen nach Spearman mit anschließender Holms-Korrektur (Zusammenhänge zw. Landschaftsparametern und Fledermausaktivität) getestet.

Der Einfluss von Siedlungsflächen auf die Fledermausaktivität wird in der Literatur kontrovers diskutiert. DUCHAMP & SWIHART (2008) beispielsweise erkannten bei der Mehrzahl der von ihnen untersuchten Arten in Indiana, USA, einen negativen Zusammenhang zwischen der Artenvielfalt und dem Anteil an Siedlungsflächen an den untersuchten Standorten. Bei zwei Arten jedoch, die besonders an die Jagd im offenen Luftraum angepasst sind (*Eptesicus fuscus* und *Lasiurus borealis*), zeigte sich eine umgekehrte Präferenz. Das ähnelt den Ergebnissen von MEHR ET AL. (2011) in Bayern: die Autoren untersuchten das Vorkommen von Fledermäusen in der Aktivitätsphase von April bis Oktober im Zusammenhang mit Landnutzung und Klima. Sie konnten feststellen, dass vor allem der Große Abendsegler (*Nyctalus noctula*) und die Rohrfledermaus (*Pipistrellus nathusii*), beides Jäger des offenen Luftraumes, eine deutliche Präferenz für Gebiete mit einem hohen Anteil an Siedlungsflächen zeigten. COLEMAN & BARCLAY (2013) hingegen konnten in der kanadischen Prärie um Calgary, Alberta, keinen Einfluss von Siedlungen auf die Fledermausaktivität feststellen. HALE ET AL. (2012) fanden darüber hinaus innerhalb von Siedlungsgebieten einen negativen Zusammenhang zwischen der Fledermausaktivität und einer zunehmenden Bevölkerungsdichte. Vermutlich kommt es also nicht nur auf die jeweilige Fledermausart, sondern vor allem auch auf die Qualität von Siedlungsflächen an, inwieweit diese auf Fledermäuse anziehend wirken oder nicht. So stellte beispielsweise LESINSKI ET AL. (2000) fest, dass Baumbestände und Flussufer im Jagdrevier die Fledermausdichte stärker beeinflussten als die Entfernung zum nächsten Stadtzentrum.

Da das Untersuchungsgebiet in der vorliegenden Studie hauptsächlich von kleineren Ortschaften sowie sogenannten Streusiedlungen geprägt ist und damit über eine gute Qualität für Fledermäuse verfügt, wäre hier ein positiver Einfluss von Siedlungsflächen auf die eine oder andere Fledermausart zu erwarten gewesen. Ein solcher wurde allerdings nicht festgestellt. Das könnte daran liegen, dass zwischen den einzelnen Untersuchungsstandorten der Anteil an Siedlungsflächen eine relativ geringe Streuung aufwies, was bei der Auswahl der Standorte ursprünglich auch beabsichtigt war. Dementsprechend ähnelten sich unter Umständen die untersuchten Standorte in Bezug auf den Landschaftsparameter „Siedlung“ so stark, dass dessen Einfluss auf die Fledermausaktivität von anderen Faktoren überlagert wurde. Da jedoch alle Flusstandorte zusammen einen signifikant höheren Anteil an Siedlungsflächen in ihrer unmittelbaren Umgebung aufwiesen als die Seestandorte, lässt sich ein Einfluss von Siedlungsflächen auf die Fledermausaktivität in der vorliegenden Arbeit, obschon keine signifikante Korrelation mit der Fledermausaktivität festgestellt wurde, nicht gänzlich ausschließen.

Auch der Landschaftsparameter „Wald“ korrelierte entgegen der Erwartungen nicht signifikant mit der Fledermausaktivität. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass mittels der analysierten Luftbilder keine Aussagen über die Baumartenzusammensetzung, die Altersverteilung oder die forstwirtschaftliche Nutzung der vorhandenen Waldflächen getroffen werden konnten. Diese Faktoren sind für Fledermäuse jedoch von großer Bedeutung, da sie sowohl die Nahrungsverfügbarkeit und damit die Qualität eines Waldes als Jagdhabitat, als auch die Verfügbarkeit geeigneter Quartiere stark beeinflussen (FUENTES-MONTEMAYOR ET AL. 2013, MESCHÉDE & HELLER 2002, RUSSO ET AL. 2010). Es ist also durchaus möglich, dass der Flächenanteil allein ohne zusätzliches Wissen über die Qualität einer Waldfläche in Bezug auf die zu erwartende Fledermausaktivität nicht sehr aussagekräftig ist und somit auch dieser Landschaftsparameter in der vorliegenden Untersuchung von anderen Einflussfaktoren überlagert wurde.

4.2.4 Vorhandenes Quartierangebot an den Untersuchungsstandorten

Da mittels der durchgeführten Rasteranalyse (siehe Kapitel 4.2.3, S. 106) keine Aussage über die Qualität der Waldflächen in der näheren Umgebung der Untersuchungsstandorte getroffen werden konnte, wurden zusätzlich Transektbegehungen zur Ermittlung des Quartierangebotes durchgeführt.

Berücksichtigt wurden hierbei alle sichtbaren potentiellen Fledermausquartiere an Bäumen.

Natürliche Baumquartiere entstehen vermehrt in strukturreichen Wäldern mit einem hohen Laub- bzw. Totholzanteil, die ein bestimmtes Mindestbestandsalter erreicht haben (MESCHÉDE & HELLER 2002). Solche ökologisch wertvollen Wälder haben für Fledermäuse häufig nicht nur eine wichtige Funktion als Quartierstandort, sondern bieten aufgrund ihres größeren Insektenreichtums auch eine gute Nahrungsgrundlage (MÜLLER & BRANDL 2009). Auf diese Weise können sich einzelne Wälder in ihrer Qualität als Fledermauslebensraum unabhängig von ihrem Flächenanteil deutlich voneinander unterscheiden (CRAMPTON & BARCLAY 1998, JUNG ET AL. 2012, RUSSO ET AL. 2010). Kleine Waldflächen mit einer guten Qualität können sich folglich durchaus positiver auf die Fledermausaktivität auswirken als große Waldflächen mit einer schlechten Qualität, so dass der Faktor „Qualität“ den in der Rasteranalyse ermittelten Faktor „Flächenanteil“ überlagern könnte. Da in der vorliegenden Studie alle untersuchten Standorte an Gewässern lagen und damit generell über eine gute Nahrungsgrundlage für Fledermäuse verfügten, könnte dem vorhandenen Quartierangebot eine besondere Bedeutung zukommen. Ein positiver Zusammenhang zwischen der erfassten Fledermausaktivität und der Anzahl potentieller Quartiere an den Untersuchungsstandorten war also zu erwarten.

Ein solcher Zusammenhang konnte jedoch nur beim Großen Abendsegler (*Nyctalus noctula*) an den Untersuchungsstandorten des Flusssystems Inn festgestellt werden. Dies liegt unter Umständen daran, dass das Quartierangebot jeweils nur entlang eines Transektes in einem dem Untersuchungsstandort nahe gelegenen Waldstück erfasst wurde. Der durchgeführten Datenaufnahme kommt daher eher ein stichprobenartiger Charakter zu, und sie kann nicht als eine umfassende Erhebung der Quartierdichte in einem bestimmten Radius um die untersuchten Standorte gewertet werden. Zudem sind Fledermäuse hoch mobile Tiere, die oft mehrere Kilometer zwischen ihren Quartieren und ihren Jagdhabitaten zurücklegen (DIETZ ET AL. 2007). Es kann also nicht ausgeschlossen werden, dass die mittels Lautaufnahmen erfassten Fledermäuse auch unbekannte Quartiere in weiter entfernten liegenden Waldflächen als den hier untersuchten nutzten.

4.3 Beobachtete Jahresphänologien

4.3.1 Weitstreckenwandernde Fledermausarten

4.3.1.1 *Pipistrellus nathusii*

Bei der Rauhautfledermaus wurde zur Migrationszeit kein signifikanter Aktivitätsunterschied zwischen den Flussauen und den Stillgewässern festgestellt, während in den Sommermonaten die Stillgewässer deutlich bevorzugt wurden. Vergleicht man also die Fledermausaktivität zwischen Migrations- und Wochenstubenzeit, scheinen die untersuchten Flussauen zur Zugzeit durchaus eine bedeutendere Rolle für diese Art zu spielen: Die Fließgewässer wurden in der Migrationszeit intensiver bejagt als in der Wochenstubenzeit, während sich die Aktivität an den Stillgewässern das ganze Jahr über nicht signifikant veränderte. Wie wichtig Auen als Nahrungshabitate für Rauhautfledermäuse im Untersuchungsgebiet generell sind, scheint also je nach Jahreszeit zu variieren. Während im Sommer Flussauen gegenüber vergleichbaren Jagdhabitaten keine besondere bzw. sogar eine eher untergeordnete Rolle zu spielen scheinen, nehmen sie während der Migrationsphasen im Frühjahr und Herbst offensichtlich eine bedeutendere Stellung ein.

Insgesamt war die Rauhautfledermaus im Untersuchungsgebiet während der Migrationszeit häufiger anzutreffen als während der Wochenstubenzeit. Dies passt zu Beobachtungen, nach denen die Art in Bayern zu den Zugzeiten im Frühjahr und Herbst stärker in Erscheinung tritt als zur Reproduktionszeit im Sommer (PETERMANN 2011). In der Literatur wird zudem über geschlechtsspezifische Unterschiede im Migrationsverhalten der Rauhautfledermaus berichtet und davon ausgegangen, dass die Weibchen den Sommer in nahrungsreichen Habitaten im nördlichen Europa verbringen, während die Männchen zumindest zum Teil im Winterquartier oder im Durchzugsgebiet in Südwesteuropa bleiben (GEBHARD 1997, HELVERSEN & WEID 1990, JARZEMBOWSKI 2003). Eine eindeutige Aussage über das Geschlechterverhältnis im Untersuchungsgebiet kann die vorliegende Studie aufgrund des geringen Fangerfolges zwar nicht treffen, jedoch deuten die vorliegenden Daten an, dass auch im Sommer eine bedeutende Anzahl von Rauhautfledermäusen im Untersuchungsgebiet anwesend ist. Dies widerspricht der Annahme, dass ein Großteil der Tiere Bayern zur Wochenstubenzeit verlässt und stellt möglicherweise einen Hinweis auf eine Ausweitung des Reproduktionsgebietes

der Art nach Südwesteuropa dar, worauf auch die Entdeckung der ersten Wochenstubenkolonie der Rauhaufledermaus in Bayern im Jahr 2000 hindeutet (ZAHN ET AL. 2002).

4.3.1.2 *Nyctalus noctula*

Beim Großen Abendsegler war an beiden Flusssystemen eine leichte Verschiebung hin zu einem etwas höheren Aktivitätsanteil an den Flusstandorten im Frühjahr und Herbst erkennbar, jedoch erwiesen sich die entsprechenden Unterschiede in der Fledermausaktivität als nicht signifikant. Auch konnte am Inn zwar eine deutliche Konzentration des Großen Abendseglers in den Flussniederungen beobachtet werden, jedoch fand diese ganzjährig statt und war nicht auf die Zugzeiten im Frühjahr und Herbst beschränkt. Im Gegensatz dazu wurden an der Salzach Fluss- und Seestandorte das ganze Jahr über ähnlich intensiv bejagt. Nach den Daten der vorliegenden Studie kann demnach nicht davon ausgegangen werden, dass der Große Abendsegler im Untersuchungsgebiet während der Zugzeit die Flussläufe mit ihren Auen gegenüber ähnlichen Habitaten wie Stillgewässern bevorzugt und sie als Leitlinien nutzt. Dies stimmt mit den Beobachtungen aus einer groß angelegten Untersuchung von WEID (2002) überein, die eine Orientierung während des Zuges entlang von Leitlinien nicht bestätigen konnte und daher eine Migration dieser Art eher in breiter Front als entlang von Korridoren nahelegt. Jedoch war die Aktivität des Großen Abendseglers insgesamt in beiden Untersuchungsjahren während der Migrationszeit nicht höher als während der Wochenstubenzeit, am Inn sogar signifikant niedriger. Dies spricht entweder generell gegen einen Zuzug migrierender Abendsegler in das Untersuchungsgebiet, was mit Literaturangaben übereinstimmen würde, deren Beobachtungen zufolge sich am unmittelbaren Nordalpenrand und in den angrenzenden Alpentälern ein Durchzug des Großen Abendseglers nicht andeutet (WEID 2002). In einem solchen Fall könnten die Tiere bereits in weiter nördlich gelegenen Regionen Bayerns überwintern. Möglicherweise findet im Untersuchungsgebiet aber auch eine großräumige Verschiebung einzelner mitteleuropäischer Teilpopulationen statt (MESCHÉDE & RUDOLPH 2004), deren Wanderbewegungen sich räumlich überlappen. In einem solchen Fall könnten Migrationen des Großen Abendseglers mit Hilfe phänologischer Beobachtungen nur schwer nachvollzogen werden. Andererseits könnten die Tiere aber auch in größerer Höhe und damit außerhalb der Reichweite der Lautaufnahmegeräte ziehen, so dass

sie in der vorliegenden Untersuchung nicht erfasst wurden. Ebenso ist nicht auszuschließen, dass es sich im Untersuchungsgebiet um überwiegend sesshafte Teilpopulationen des Großen Abendseglers handelt.

Als Nahrungshabitate scheinen die Innauen für den Großen Abendsegler das ganze Jahr über eine besondere Bedeutung zu besitzen, während die Salzachauen offensichtlich keine wichtigeren Jagdhabitate darstellen als die umliegenden Stillgewässer. Das am Inn beobachtete Aktivitätsmuster passt zur bislang bekannten Verbreitung der Art in Bayern, wonach Konzentrationen von Individuen unter anderem in Flussniederungen auftreten (siehe Tabelle 1.1, S. 33). Damit übereinstimmend berichtet auch WEID (2002) über auffallend spärliche Nachweise des Großen Abendseglers an den großen südbayerischen Seen und vermutet mögliche Gründe dafür in deren guter Wasserqualität und dem dadurch niedrigeren Nahrungsangebot. Da in der vorliegenden Studie an Fluss- und Seestandorten jedoch keine signifikanten Unterschiede im Nahrungsangebot festgestellt wurden, kann die geringere Fledermausaktivität an den Stillgewässern nicht auf diesen Faktor zurückgeführt werden. Zudem wies der Große Abendsegler an den Stillgewässern der Salzach das ganze Jahr über eine ähnlich intensive Jagdaktivität auf wie in den Salzachauen selbst. Die unterschiedliche Phänologie an den beiden Flusssystemen Inn und Salzach spiegelt dagegen die bislang bekannte Quartiernachweise des Großen Abendseglers wider: Analog zur erfassten Fledermausaktivität wurden in den Städten am Inn bislang mehr Quartiere dieser Art nachgewiesen als an der Salzach (MESCHEDE & RUDOLPH 2004).

4.3.1.3 *Vespertilio murinus* / *Eptesicus serotinus*

Eventuell stattfindende Wanderbewegungen entlang der Flussläufe konnten auch innerhalb der Artgruppe Zweifarb- und Breitflügelfledermaus nicht nachgewiesen werden: Zwar waren Zweifarb- und Breitflügelfledermäuse am Inn zur Zugzeit etwas häufiger in den Auen anzutreffen, während sie in der Wochenstubenzeit die Stillgewässer bevorzugten, jedoch waren die Aktivitätsunterschiede nicht signifikant. Zudem wurden an der Salzach fast das ganze Jahr über die Stillgewässer intensiver bejagt. Generell ist über das Wanderverhalten beider Arten noch relativ wenig bekannt, nach bisherigem Wissen scheint es jedoch recht unterschiedlich zu sein (siehe Tabelle 1.1, S. 33): Die Breitflügelfledermaus ist vermutlich eine eher wenig mobile Art und von einer besonderen Bevorzugung von Auen und Fließgewässern ist

nichts bekannt. Demgegenüber stellen bei der Zweifarbfledermaus Gewässer bevorzugte Jagdhabitats dar, und regelmäßige Wanderungen über weite Distanzen erscheinen wahrscheinlich (HUTTERER ET AL. 2005). In Bayern wurde die Art bislang verstärkt im Frühling und Herbst insbesondere in Städten beobachtet (MESCHEDE & RUDOLPH 2004). Demnach wäre im Untersuchungsgebiet eine unterschiedliche Phänologie der beiden Arten zu erwarten. Generell ist anzunehmen, dass in den vorliegenden Daten Lautaufnahmen der Zweifarbfledermaus zu einem deutlich höheren Anteil vertreten sind als solche der Breitflügelfledermaus, da von letzterer Art im Untersuchungsgebiet weniger Quartiere bekannt sind und sie dort auch sonst bisher seltener nachgewiesen wurde (MESCHEDE & RUDOLPH 2004, 2010). Dennoch könnte die beobachtete Phänologie der Artgruppe durch Aufnahmen der Breitflügelfledermaus beeinflusst worden sein. Die Tatsache, dass eventuell stattfindende Wanderbewegungen der Zweifarbfledermaus in den vorliegenden Daten nicht nachgewiesen wurden, könnte also auch auf die unterschiedliche Ökologie der beiden Arten zurückzuführen sein. Für eine eindeutige Aussage müssten daher Zweifarb- und Breitflügelfledermaus getrennt analysiert werden, was jedoch aufgrund ihres ähnlichen Rufdesigns nicht möglich war.

Im Allgemeinen bevorzugte die Artgruppe Zweifarb- und Breitflügelfledermaus eher die untersuchten Stillgewässer gegenüber den Flussauen, jedoch erwies sich der beobachtete Aktivitätsunterschied an keinem der beiden Flusssysteme als signifikant.

4.3.2 Kurzstreckenwandernde und ortstreue Fledermausarten

4.3.2.1 *Myotis daubentonii* / *mystacinus* / *brandtii*

Während die Aktivität der Artgruppe Wasser-, Bart- und Brandtfledermaus an den Fluss- und Seestandorten der Salzach das ganze Jahr über nahezu ausgeglichen war, war am Inn eine leichte Verschiebung hin zu einem etwas höheren Aktivitätsanteil an den Flusstandorten im Frühjahr und Herbst erkennbar. Demnach scheinen die Innauen für diese Artgruppe im Verhältnis zu den untersuchten Stillgewässern während der Zugzeit eine etwas größere Bedeutung zu besitzen als während der Wochenstubenzeit. Jedoch waren die Aktivitätsunterschiede zwischen den Innauen und den nahegelegenen Stillgewässern im Jahresverlauf relativ gering, so dass eine Funktion des Inn als Leitlinie und Wanderkorridor für Wasser-, Bart- und Brandtfledermäuse aufgrund der beobachteten Phänologie nicht belegt werden kann. Im Gegensatz zum Inn wurden die Fluss- und Seestandorte der Salzach das ganze

Jahr über ähnlich intensiv bejagt. Die Salzachauen scheinen für die Artgruppe also ganzjährig keine größere Rolle zu spielen als vergleichbare Habitats in der näheren Umgebung.

Insgesamt zeigte sich in der erfassten Aktivität der Artgruppe kein großer Unterschied zwischen den untersuchten Fluss- und Seestandorten. Den Flussaunen scheint als Nahrungshabitats also generell keine größere Bedeutung zuzukommen als vergleichbaren Stillgewässern. Dies entspricht dem bisherigen Wissenstand über die Wasserfledermaus: Sie gilt im Allgemeinen als anpassungsfähige Art, die opportunistisch jagt und dabei ruhige Gewässer jeglicher Art bevorzugt (DIETZ ET AL. 2007). Dagegen ist die Bartfledermaus bei der Nahrungssuche sehr viel weniger an Gewässer gebunden und weist ein ausgesprochen vielfältiges Nahrungsspektrum auf (DIETZ ET AL. 2007). Beide Arten beuten Insektenvorkommen je nach ihrer Verfügbarkeit flexibel aus (DIETZ ET AL. 2007, MESCHEDE & RUDOLPH 2004). Das entspricht weitgehend den Daten der vorliegenden Untersuchung: In Zeiten generell knapper Nahrungsressourcen, d. h. den Migrationsphasen, zeigte sich eine hoch signifikante Korrelation zwischen der Fledermausaktivität und dem Nahrungsangebot. Daraus lässt sich schließen, dass die Unterschiede zwischen den hier untersuchten Gewässertypen für die Jagdaktivität der Artgruppe eine eher untergeordnete Rolle spielen, wohingegen die kleinräumige Verfügbarkeit von Beutetieren einen großen Einfluss besitzt.

4.3.2.2 *Pipistrellus pipistrellus*

Eine ähnliche Phänologie wie Wasser-, Bart- und Brandtfledermaus zeigte auch die Zwergfledermaus. Am Inn war zwar eine leichte Verschiebung hin zu einem etwas höheren Aktivitätsanteil an den Flusstandorten im Frühjahr und Herbst erkennbar, was auch für diese Art eine besondere Bedeutung der Innauen während der Zugzeit nahelegt. Jedoch waren die entsprechenden Aktivitätsunterschiede im Jahresverlauf zu gering, um signifikant zu sein. Dagegen scheinen die Salzachauen für Zwergfledermäuse ganzjährig nicht attraktiver zu sein als die Stillgewässer der näheren Umgebung. Insgesamt konnte an keinem der beiden Flusssysteme ein signifikanter Aktivitätsunterschied zwischen der Zugzeit und der Wochenstubezeit festgestellt werden, genauso wenig wie eine allgemeine Bevorzugung eines bestimmten Gewässertyps. Dies entspricht weitgehend dem aktuellen Wissenstand zur Zwergfledermaus: Demnach gilt sie in Bayern als relativ ortstreu (MESCHEDE &

RUDOLPH 2004), so dass ein großräumiger Zuzug migrierender Tiere in das Untersuchungsgebiet nicht zu erwarten ist. Auch scheint die Zwergfledermaus generell größere Gewässer als Jagdhabitats zu bevorzugen, ohne dabei auffallend häufig in Flussauen vertreten zu sein (siehe Tabelle 1.1, S. 33).

Im Allgemeinen gilt die Zwergfledermaus hinsichtlich ihrer Nahrungswahl als Generalist und kann als relativ früh ausfliegende Art die hohe Insektdichte in der Abenddämmerung effektiv nutzen (MESCHÉDE & RUDOLPH 2004). Dementsprechend zeigte sich in den Daten der vorliegenden Untersuchung während der Migrationsphasen auch eine hoch signifikante Korrelation zwischen dem Nahrungsangebot und der erfassten Fledermausaktivität. Zudem ist die Zwergfledermaus in Bezug auf ihre Quartierwahl ein ausgesprochener Kulturfolger (siehe Tabelle 1.1, S. 33). Ein Zusammenhang zwischen der Fledermausaktivität und der Entfernung zur nächsten Stadt bzw. dem Anteil an Siedlungsflächen um die Untersuchungsstandorte wäre also besonders bei dieser Art zu erwarten, konnte in der Analyse von PRUMMER (2012) allerdings nicht nachgewiesen werden. Berücksichtigt man jedoch, dass die Streuung des Parameters „Siedlungsfläche“ zwischen den untersuchten Standorten eher gering ausfiel (PRUMMER 2012), könnte der Einfluss dieses Faktors durch den Einfluss des Nahrungsangebotes überlagert worden sein. Es scheint also, dass die Aktivität der Zwergfledermaus in der vorliegenden Studie eher vom aktuell verfügbaren Nahrungsangebot beeinflusst wurde, das sich in den Flussauen und an den untersuchten Stillgewässern nicht signifikant voneinander unterschied.

4.3.2.3 *Eptesicus nilssonii*

Die Nordfledermaus zeigte in beiden Untersuchungsjahren während der Wochenstubezeit eine signifikant höhere Aktivität als während der Migrationszeit, im Spätherbst (Oktober) war sie mit nur einem einzigen Artnachweis im gesamten Untersuchungsgebiet kaum noch anzutreffen. In den Sommermonaten wurde sie an den Stillgewässern von Inn und Salzach deutlich häufiger nachgewiesen als an den Flussläufen, jedoch gewannen die Flussauen vor allem im Herbst etwas an Bedeutung. Insgesamt scheinen für diese Art die Inn- und Salzachauen im Vergleich zu Stillgewässern also keine übergeordnete Rolle als Nahrungshabitats zu spielen. Die beobachtete Phänologie deutet jedoch darauf hin, dass die Nordfledermaus im Untersuchungsgebiet hauptsächlich im Sommer anwesend ist, was der bislang

bekanntem Verbreitung in Südostbayern entspricht (MESCHEDE & RUDOLPH 2004, 2010). Die fehlende Nachweise im Spätherbst könnten auf eine Abwanderung hindeuten, die in beiden Untersuchungsjahren bis Ende September abgeschlossen zu sein scheint. Ob und wie weit die Nordfledermaus tatsächlich wandert ist noch unklar, sie wird als vermutlich überwiegend ortstreue Art mit gelegentlichem Migrationsverhalten beschrieben (siehe Tabelle 1.1, S. 33). Auch wo die Winterquartiere des Großteils der bayerischen Populationen liegen ist noch nicht geklärt (PETERMANN 2011). Die wenigen bisher erfassten Winterquartiere befinden sich überwiegend in unterirdischen Quartieren wie Höhlen und Stollen nördlich der Donau, Nachweise aus den Alpen sind dagegen äußerst selten (MESCHEDE & RUDOLPH 2004, 2010). Ob im Untersuchungsgebiet zur Zugzeit tatsächlich Wanderbewegungen der Nordfledermaus in Richtung Alpen stattfinden ist also fraglich.

4.3.2.4 *Pipistrellus pygmaeus*

Die Mückenfledermaus wurde erst im Jahr 1997 bzw. 2001 als eigenständige Art identifiziert und die Kenntnisse über ihr Migrationsverhalten sind noch gering (siehe Tabelle 1.1, S. 33). Generell scheint sie einen eng an Gewässer und Gehölze gebundenen Jagdflug aufzuweisen, so dass auwaldartige Habitate vermutlich einen Schwerpunktlebensraum bilden (siehe Tabelle 1.1, S. 33). Eine leichte Bevorzugung der Flussauen gegenüber den untersuchten Stillgewässern war auch in der vorliegenden Untersuchung festzustellen, jedoch konnte diese Beobachtung nicht statistisch abgesichert werden. Hinweise auf eventuell stattfindende Wanderbewegungen wurden nicht festgestellt.

4.3.2.5 *Barbastella barbastellus*

Die Aktivität der Mopsfledermaus verteilte sich am Inn relativ gleichmäßig auf Fluss- und Seestandorte, so dass die Innauen ganzjährig keine größere Bedeutung als Nahrungshabitate zu besitzen scheinen als andere Gewässer. Im Gegensatz dazu war die Aktivität an der Salzach fast das ganze Jahr über in den Auen deutlich höher als an den nahegelegenen Stillgewässern, was eine besondere regionale Bedeutung der Salzachauen für die Mopsfledermaus nahe legt. Im Allgemeinen jagt die Art fast ausschließlich in Wäldern ohne erkennbare Bevorzugung bestimmter Waldtypen oder -strukturen und bezieht im Sommer gern Spaltenquartiere an Bäumen (siehe

Tabelle 1.1, S. 33). Die größere Attraktivität der Salzachauen für die Mopsfledermaus könnte demnach dadurch erklärt werden, dass in den Salzachauen ein signifikant höheres Angebot an Baumquartieren festgestellt wurde als an den nahegelegenen Stillgewässern, was für das Flusssystem Inn nicht galt. Aussagen zum Wanderverhalten der Mopsfledermaus können dagegen aufgrund der geringen Datenlage aus der vorliegenden Untersuchung nicht abgeleitet werden, obschon die Art zu Wanderungen in der Lage zu sein scheint (siehe Tabelle 1.1, S. 33).

4.3.2.6 *Myotis myotis*

Das Große Mausohr konnte an nur wenigen Untersuchungsstandorten wiederholt aufgezeichnet werden. Auffallend war, dass sich in der unmittelbaren Umgebung von mindestens zwei dieser Standorte bekannte Wochenstubenquartiere des Großen Mausohrs befanden. Es ist also anzunehmen, dass die in dieser Studie aufgezeichnete Aktivität des Großen Mausohrs in erster Linie von der Existenz geeigneter Quartiere in der näheren Umgebung der Untersuchungsstandorte abhing, während die Lage der Untersuchungsstandorte an einem bestimmten Gewässertyp keine Rolle spielte. Aussagen zum Wanderverhalten des Großen Mausohrs können aufgrund dessen nicht abgeleitet werden, jedoch spiegeln die Daten die in der Literatur angegebene mangelnde Bedeutung von Auwäldern für diese Art wider.

4.4 Bedeutung der Inn- und Salzachauen für die Migration von Fledermäusen

Die Rauhautfledermaus (*Pipstrellus nathusii*) und der Große Abendsegler (*Nyctalus noctula*) ziehen zwischen ihren Sommer- und Winterlebensräumen über weite Strecken quer durch Europa, wobei sie auch zu Alpenüberquerungen in der Lage zu sein scheinen (WIDERIN & JERABEK 2014, ZINGG & BONTADINA 2016). Das am nördlichen Alpenrand gelegene Untersuchungsgebiet gehört bekanntermaßen zur Überwinterungsregion dieser weitstreckenwandernden Fledermausarten und könnte auch eine Rolle als Durchzugsgebiet spielen. Da sowohl Rauhautfledermaus als auch Großer Abendsegler oberirdisch in Spaltenquartieren an Bäumen und Gebäuden überwintern, ist ihre Verbreitung in dieser Jahreszeit systematisch nur schwer zu erfassen. Dennoch existieren in Bayern Winternachweise beider Arten, vor allem aus Städten (MESCHÉDE & RUDOLPH 2004, 2010). Wenn das Untersuchungsgebiet also als Überwinterungsareal der Tiere einen Endpunkt in ihren

jährlichen Wanderungen darstellt, könnten die Fledermäuse durchaus direkt in den Flussniederungen überwintern, da hier das Angebot an geeigneten oberirdischen Quartieren häufig besonders gut ist. Auf der anderen Seite könnte Bayern für einige Populationen auch ein Durchzugsgebiet auf ihrer Reise sein. In diesem Fall könnten die Flusstäler von Inn und Salzach beim Überqueren der Alpen als großräumige Orientierungshilfen und Leitlinien dienen oder bei einem Zug in breiter Front als Rastgebiete fungieren. In beiden Fällen wäre ein Konzentrationseffekt in den Auen während der Migrationsphasen zu erwarten.

Die Ergebnisse der vorliegenden phänologischen Untersuchung geben keine eindeutige Antwort darauf, welche Rolle Inn- und Salzachauen für die Rauhautfledermaus während der Migrationsphasen spielen: Zwar war zur Zugzeit kein signifikanter Aktivitätsunterschied zwischen den Flussauen und den untersuchten Stillgewässern festzustellen, was eher für eine Funktion beider Gewässertypen als Rastgebiete auf einem Zug in breiter Front sprechen würde. Vergleicht man aber die Verteilung der Fledermausaktivität auf Fluss- und Seestandorte in der Migrationszeit mit derjenigen in der Wochenstubenzeit, wird deutlich, dass die zusätzliche Aktivität während der Migrationsphasen zu einem Großteil auf die Flussauen entfällt. Diese zusätzliche Aktivität könnte einen Zuzug migrierender Rauhautfledermäuse widerspiegeln, die sich auf die Flussläufe konzentrieren und sie somit als Leitlinien und Wanderkorridore nutzen. Der fehlende Aktivitätsunterschied zwischen Flussauen und Stillgewässern während der Migrationszeit wäre in einem solchen Fall durch die Aktivität ganzjährig anwesender Tiere zu erklären, die das Zugeschehen überlagert. Dies ist besonders zu berücksichtigen, da in den Sommermonaten vor allem an den Stillgewässern des Untersuchungsgebietes eine unerwartet hohe Aktivität von Rauhautfledermäusen aufgezeichnet wurde, was auf eine nicht unerhebliche Anzahl dort übersommernder Tiere hinweist. Da der in den Flussauen beobachtete Konzentrationseffekt in beiden Untersuchungsjahren im zeitigen Frühjahr und im späten Herbst am deutlichsten ausfiel, scheint zudem auch eine Überwinterung in den Flussauen der Region naheliegend, wie sie z. B. von PETERMANN (2011) vermutet wird. Insgesamt erscheint also eine Funktion der Flussauen als Überwinterungsgebiet für Rauhautfledermäuse wahrscheinlich, wobei sich darüber hinaus eine Nutzung als Leitlinie und Wanderkorridor durch zuwandernde Tiere andeutet.

Beim Großen Abendsegler zeichnet sich dagegen ein gänzlich anderes Bild ab: Wanderbewegungen dieser Art sind basierend auf den phänologischen Daten der vorliegenden Studie nicht erkennbar, genauso wenig wie ein Zuzug von Tieren zur Überwinterung. Somit ist eine besondere Bedeutung der untersuchten Abschnitte von Inn- und Salzachauen im Migrationsgeschehen des Großen Abendseglers nicht erkennbar, die Innauen können allerdings von Frühling bis Herbst eindeutig als Aktivitätszentrum betrachtet werden.

Ähnliches gilt für die Artgruppe Zweifarb- und Breitflügel-Fledermaus (*Vespertilio murinus* und *Eptesicus serotinus*): Im Untersuchungsgebiet wurde die Artgruppe im Frühling und Herbst nicht signifikant häufiger nachgewiesen als in den Sommermonaten, und auch Wanderbewegungen konnten nicht beobachtet werden. Dies legt die Vermutung nahe, dass die Flusstäler am nördlichen Alpenrand für die Artgruppe keine wesentliche Rolle als Überwinterungsgebiete oder Wanderkorridore spielen, unter Umständen überwintern die Tiere schon in weiter nördlich gelegenen Regionen Bayerns.

Von einigen Fledermausarten wird vermutet, dass sie den Sommer in den nahrungsreichen Ebenen des oberbayerischen Voralpenlandes verbringen und im Winter in die Alpen ziehen, um dort in unterirdischen, frostgeschützten Höhlen zu überwintern. Meist handelt es sich dabei um sogenannte Mittel- oder Kurzstreckenwanderer. Von den in dieser Arbeit genauer betrachteten Spezies trifft dies am ehesten auf die Gruppe Wasser-, Bart- und Brandtfledermaus (*Myotis daubentonii* / *mystacinus* / *brandtii*) und eventuell auf die Nordfledermaus (*Eptesicus nilssonii*) zu. Während über die Sommergebietverbreitung dieser Arten im Alpenvorland einiges bekannt ist, existieren für eine mögliche Überwinterung in den Alpen nur wenige Hinweise (MESCHEDE & RUDOLPH 2004). Dieses Wissensdefizit dürfte allerdings eher auf einer mangelhaften Bearbeitungsintensität in dieser Region beruhen als auf einer tatsächlichen Abwesenheit der Tiere. Denn obwohl unterirdisch überwinternde Arten in der Regel einfacher zu finden sind als oberirdisch überwinternde, gilt dies nicht unbedingt auch in den Höhlen der Kalkalpen: Diese sind witterungsbedingt oft nicht oder nur sehr schwer begehbar, woraus eine geringe Kontrolltätigkeit und damit eine niedrige Dichte an Winterquartierfunden in den höheren Lagen resultiert (MESCHEDE & RUDOLPH 2004). Eine Funktion von Inn- und Salzachauen als Wanderkorridor wäre also für die mittel- und kurzstreckenwandernden Arten durchaus denkbar, konnte anhand der vorliegenden

Daten jedoch nicht nachgewiesen werden. Speziell bei der Nordfledermaus deutet sich zwar eine Abwanderung aus dem Untersuchungsgebiet von Herbst bis Frühjahr an, ob die Tiere über kurze Strecken entlang der Flussläufe in Richtung Alpen in noch unbekannte Winterquartiere ziehen, geht aus den vorliegenden Daten jedoch nicht hervor.

Im Gegensatz zu Wasser-, Bart- und Nordfledermäusen gelten die bayerischen Populationen der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) als relativ ortstreu, obwohl diese Art generell auch zu kurzen Wanderungen in der Lage zu sein scheint (siehe Tabelle 1.1, S. 33). Obschon die Daten der vorliegenden Studie eine besondere Bedeutung der Innauen während der Zugzeiten nahelegen, ist eine Nutzung des Flusses als Wanderkorridor in Richtung Alpen bei dieser Art nach bisherigem Kenntnisstand also kaum zu erwarten. Auch ist die Überwinterung der Zwergfledermaus im Untersuchungsgebiet nicht auf unterirdische Quartiere im Alpenraum beschränkt, sondern erfolgt oft oberirdisch, bevorzugt an Gebäuden (MESCHÉDE & RUDOLPH 2004). Demnach könnten Zwergfledermäuse, ähnlich den Raufledermäusen, die Flussniederungen in Bayern vor allem als Überwinterungsgebiete nutzen. Tatsächlich gehen die meisten Winterquartierfunde der Zwergfledermaus in Bayern auf Gebäude zurück, oft in Flussniederungen und größeren Städten (MESCHÉDE & RUDOLPH 2004). Es ist also durchaus denkbar, dass sich Zwergfledermäuse als ausgeprägte Kulturfolger im Frühjahr und Herbst in den Innauen konzentrieren, um in den dort gelegenen Siedlungen in oberirdischen Spaltenquartieren zu überwintern und vor bzw. nach dem Winterschlaf noch für einen gewissen Zeitraum in der Nähe ihrer Winterquartiere verbleiben. Dennoch sind auch andere Erklärungen für die am Inn beobachtete Phänologie nicht gänzlich auszuschließen: So könnten sich die Tiere beispielsweise unabhängig von der Zugrichtung an den Flussläufen orientieren, um ihre Winterquartiere in flussnah gelegenen Städten und Siedlungen zu erreichen. An der Salzach dagegen wurde bei der Zwergfledermaus zu keiner Jahreszeit eine Bevorzugung der Auen gegenüber den nahegelegenen Stillgewässern festgestellt, so dass die Salzachauen für diese Art weder als Überwinterungsgebiet noch als Orientierungshilfe eine besondere Rolle zu spielen scheinen.

Bei der Mücken- und der Mopsfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus* und *Barbastella barbastellus*) sowie dem Großen Mausohr (*Myotis myotis*) erwies sich die Datenlage als relativ dünn. Dennoch scheint sich besonders bei den Salzachauen für die

Mücken- und die Mopsfledermaus ganzjährig eine Funktion als Aktivitätszentrum anzudeuten, was für die Innauen in deutlich geringerem Umfang nur bei der Mückenfledermaus zu beobachten war.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung, dass Inn- und Salzachauen nicht grundsätzlich als Migrationskorridore für Fledermäuse zu betrachten sind. Lediglich bei der Rauhaufledermaus deutet sich eine Nutzung der Flussläufe als Leitlinien an. Dies unterstützt die These, dass potentielle Wanderbewegungen eines Großteils der untersuchten Fledermausarten im Untersuchungsgebiet eher in breiter Front verlaufen, und die Tiere in der Lage sind, gute Nahrungshabitate unabhängig von einer großräumigen Anbindung an lineare Landschaftselemente aufzusuchen und zu nutzen. Abgesehen davon könnten sowohl die Auwälder selbst als auch flussnah gelegene Städte und Siedlungen für einige Arten eine besondere Bedeutung als Überwinterungsgebiete besitzen.

4.5 Einstufung von Inn- und Salzachauen als Nahrungshabitate für Fledermäuse

Die Inn- und Salzachauen scheinen sich in ihrer Bedeutung als Nahrungshabitate für die lokale Fledermausfauna durchaus zu unterscheiden: Die durchschnittliche Aktivität pro Aufnahmenacht und Lautaufnahmegerät über alle Fledermausarten hinweg fiel am Flusssystem Salzach deutlich höher aus als am Flusssystem Inn (siehe Tabelle 3.3, S. 55). Besonders auffällig war, dass diese Differenz fast ausschließlich auf der unterschiedlichen Fledermausaktivität in den Flussauen beruhte, während die Aktivität an den Stillgewässern der beiden Flusssysteme relativ ähnlich ausfiel. Über alle Arten hinweg betrachtet scheint den Salzachauen als Nahrungshabitat für Fledermäuse demnach eine größere Bedeutung zuzukommen als den Innauen. Dies ist unter Umständen dadurch zu erklären, dass die Salzachauen über weite Strecken einen deutlich geringeren Verlust an Überschwemmungsflächen aufweisen als die rezenten Auen entlang des Inn und im Vergleich mit diesen bislang noch über eine ausgedehnte Auenlandschaft mit einem strukturreichen Lebensraumkomplex verfügen. In Übereinstimmung damit wurde in der vorliegenden Untersuchung in den Salzachauen auch ein etwas höheres Quartierangebot erfasst als in den Innauen, was die bessere Qualität der Auwaldflächen entlang der Salzach widerspiegelt. Allerdings erwies sich die Nutzung der Flussniederungen bei den einzelnen Fledermausarten auch als sehr

unterschiedlich und konnte sich im Jahresverlauf durchaus verändern, wie es z. B. bei der Flughörnchenfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) der Fall war.

Insgesamt fiel die durchschnittliche Fledermausaktivität an den Seestandorten höher aus als an den Flussstandorten. Abgesehen von wenigen Fledermausarten wie dem Großen Abendsegler (*Nyctalus noctula*), der Mücken- oder der Mopsfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus* und *Barbastella barbastellus*), kann also aufgrund der Datenlage der vorliegenden Studie nicht davon ausgegangen werden, dass die untersuchten Flussabschnitte in ihrem aktuellen Zustand für die lokale Fledermausfauna generell eine bedeutendere Funktion als Nahrungshabitate besitzen als nahegelegene Stillgewässer. Dies ist nicht unbedingt verwunderlich, da Still- und Fließgewässer im Allgemeinen als vergleichbar gute Jagdhabitate für Fledermäuse eingestuft werden. Zudem weisen die untersuchten Flussauen, vor allem entlang des Inn, einen relativ stark durch anthropogene Nutzung veränderten Zustand auf, was in der Regel mit einem Verlust an strukturreichen Auwaldflächen einhergeht und somit die Attraktivität der Flussauen für Fledermäuse verringert. Diese Ergebnisse lassen sich jedoch nicht verallgemeinern: Vor allem in Regionen, die arm an natürlichen Stillgewässern sind, könnten aus Mangel an Alternativen durchaus auch weniger naturnahe Auen noch eine bedeutende Rolle als Nahrungshabitate für die lokale Fledermausfauna spielen.

Im Jahresverlauf betrachtet fällt auf, dass an beiden Flusssystemen während der Migrationszeit bei vielen Arten eine signifikant positive Korrelation zwischen Fledermausaktivität und Nahrungsangebot bestand, die während der Wochenstubenzeit nicht zu beobachten war. Dies betont die generell große Bedeutung nahrungsreicher Jagdhabitate für Fledermäuse zu diesen Jahreszeiten.

4.6 Hinweise für die Landschaftsplanung

Eingriffe in die Landschaft, wie z. B. der Bau von Verkehrsstraßen oder Windkraftanlagen, können für Fledermäuse eine Gefährdung darstellen (BRINKMANN ET AL. 2011, CRYAN & BARCLAY 2009, GAISLER ET AL. 2009, KIEFER ET AL. 1995, LESINSKI 2008, LESINSKI ET AL. 2011, RYDELL ET AL. 2010). Da das Echoortungssystem der Tiere vor allem nach vorne ausgerichtet ist und zudem nur über eine relativ geringe Reichweite verfügt, ist es nicht dafür geeignet, schnell herannahende Objekte frühzeitig zu erkennen (DIETZ & KIEFER 2014). Daher stirbt in Deutschland jährlich eine Vielzahl von Fledermäusen nicht nur durch direkte Kollisionen mit Fahrzeugen

oder den Rotorblättern von Windkraftanlagen (KIEFER ET AL. 1995, RICHARZ 2000, RYDELL ET AL. 2010, VOIGT ET AL. 2015), sondern auch an tödlichen Verletzungen innerer Organe, die durch die kurzfristigen, starken Luftdruckunterschiede im Nahbereich von Fahrzeugen oder Rotorblättern verursacht werden (Barotrauma) (BAERWALD ET AL. 2008). Durch ihre niedrige Fortpflanzungsrate und die hohe Lebenserwartung ist es für Fledermäuse jedoch schwierig, Populationsverluste durch eine Erhöhung der Reproduktion wieder auszugleichen (ZAHN ET AL. 2014). Hinzu kommt, dass die Mortalität durch Straßenverkehr und Windkraft vermutlich weniger selektiv wirkt als viele natürliche Mortalitätsursachen, so dass unter anderem auch für die Populationsentwicklung wichtige, vitale Individuen betroffen sind (HÖTKER ET AL. 2005). Daher müssen in Deutschland bei entsprechenden Eingriffen in die Landschaft die Belange des Fledermausschutzes im Rahmen von Genehmigungsverfahren berücksichtigt werden.

Von Kollisionen mit Windenergieanlagen sind deutschlandweit besonders wandernde Fledermausarten betroffen, mit einer hohen Anzahl an Schlagopfern während der Zugphasen im Spätsommer und Anfang Herbst (RYDELL ET AL. 2010, VOIGT ET AL. 2015, ZAHN ET AL. 2014). Aufgrund dessen besteht die Befürchtung, dass der Bau von Windkraftanlagen Migrationsrouten wandernder Fledermäuse unterbrechen und so die Konnektivität zwischen Sommer- und Winterquartieren schwächen kann (CRYAN 2011, VOIGT ET AL. 2015). Auch Verkehrsstraßen können eine Barrierewirkung auf Fledermäuse ausüben: es gibt Beobachtungen, dass manche Arten das Überqueren von Straßen meiden oder Umwege in Kauf nehmen, um sie an geeignet erscheinenden Stellen zu passieren (KERTH & MELBER 2009, RICHARZ 2000, ZURCHER ET AL. 2010). Sowohl für Windkraftanlagen als auch für Verkehrsstraßen gilt, dass an Standorten in der Nähe ergiebiger Jagdgebiete, wie in Wäldern und an Gewässern, besonders viele Todesfälle zu verzeichnen sind (GAISLER ET AL. 2009, MEDINAS ET AL. 2013, ZAHN ET AL. 2014). Durch die potentielle Funktion von Flussläufen als Wanderkorridore und die allgemein gute Eignung von Auwäldern als Jagdhabitate können sich Bauvorhaben in Flusstälern für wandernde Fledermäuse also besonders ungünstig auswirken.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie lässt sich allerdings nicht generell auf die Existenz von Migrationsachsen entlang der Flüsse Inn und Salzach schließen. Einzig bei der Rauhaufledermaus (*Pipistrellus nathusii*) könnte sich eine Funktion der Flusstäler als Wanderkorridore andeuten, so dass auf diese Art bei der

Standortauswahl für Windkraftanlagen bzw. der Planung von Straßenverläufen entsprechend sorgfältig geachtet werden sollte. Auffallend war zudem bei vielen Fledermausarten der enge Zusammenhang zwischen Aktivität und Nahrungsangebot während der Zugzeit. Dies lässt vermuten, dass die Tiere im Untersuchungsgebiet während dieses Zeitraumes besonders stark auf die Existenz nahrungsreicher Jagdhabitats angewiesen sind. Für den Bau von Windkraftanlagen bedeutet dies beispielsweise, dass die potentiellen Auswirkungen auf Fledermäuse vor dem Hintergrund regionaler und saisonaler Unterschiede für jeden Standort einzeln untersucht und beurteilt werden sollten (ZAHN ET AL. 2014). Da ein Zug auf breiter Front für einige Arten, wie z. B. den Großen Abendsegler (*Nyctalus noctula*), nicht unwahrscheinlich ist, kann ein Vorkommen dieser Arten während der Migrationszeit an den meisten Standorten nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden, insbesondere wenn sich Standorte in der Nähe nahrungsreicher Jagdhabitats befinden.

4.7 Fazit

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Bedeutung von Flussauen als Leitlinien und Nahrungshabitats für Fledermäuse im nördlichen Voralpenraum zu untersuchen. Da es in Mitteleuropa bislang nicht gelungen ist, die Wanderungen einzelner Individuen mittels Radio- oder Satellitentelemetrie über einen längeren Zeitabschnitt kontinuierlich zu verfolgen, wurde als Untersuchungsmethode die echoakustische Erfassung der Fledermausaktivität im Rahmen einer phänologischen Studie gewählt. Zwar ist die Artbestimmung anhand von Lautaufnahmen bei einigen Fledermausarten nicht zweifelsfrei möglich, dennoch bietet die akustische Erfassung eine effiziente und zuverlässige Methode, die Fledermausaktivität in verschiedenen Habitats miteinander zu vergleichen. Auch die verwendete Methode der Insektenzählung mittels LED-Handstrahler erwies sich als geeignet für die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit. Einzig bei den Netzfängen konnte nicht der erhoffte Fangerfolg erzielt werden, so dass Rückschlüsse auf die Populationsstruktur im Untersuchungsgebiet nicht möglich waren.

Bei der Auswahl der Untersuchungsstandorte konnte im Allgemeinen eine gute Vergleichbarkeit zwischen Fluss- und Seestandorten erzielt werden: Bei den erfassten Parametern Nahrungsangebot, Temperatur, Anteil an Waldflächen in der näheren Umgebung der Standorte und am Flusssystem Inn auch im Quartierangebot

ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Fluss- und Seestandorten. Nur im Anteil an Siedlungsflächen in der näheren Umgebung der Untersuchungsstandorte bzw. deren Entfernung zur nächsten Stadt und im Quartierangebot am Flusssystem Salzach unterschieden sich Fluss- und Seestandorte signifikant. Ersteres ist darauf zurückzuführen, dass Städte in Deutschland historisch bedingt häufig an Flüssen liegen, so dass ein höherer Siedlungsanteil an den Flusstandorten nicht gänzlich vermieden werden konnte, letzteres spiegelt unter Umständen die noch vorhandenen naturnahen Auwaldflächen entlang der Salzach wider. Insgesamt gesehen ließen sich die Seestandorte jedoch durchaus als Vergleichsstandorte zu den Flusstandorten heranziehen.

Je nach Art scheinen Inn- und Salzachauen im Jahreszyklus der Fledermäuse eine unterschiedliche Bedeutung zu besitzen: Bei der Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) deutet sich eine Nutzung der Flusläufe als Leitlinien und Wanderkorridore an, während die vorliegenden Daten bei den übrigen untersuchten Fledermausarten eher für die Annahme eines auf breiter Front verlaufenden Zuges sprechen. Manchen Arten könnten die Flussniederungen auch als Überwinterungsgebiete dienen (z. B. der Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*)), während sie bei anderen Arten ganzjährig Aktivitätszentren darstellen (z. B. beim Großen Abendsegler (*Nyctalus noctula*)). Insgesamt ergaben sich im Vergleich von Fließ- und Stillgewässern bei den meisten Fledermausarten keine eindeutigen Präferenzen für einen bestimmten Gewässertyp, über alle Arten hinweg betrachtet war jedoch eine leichte Bevorzugung der Stillgewässer gegenüber den Fließgewässern zu beobachten. Vermutlich wurde die erfasste Fledermausaktivität an den Untersuchungsstandorten von anderen Variablen stärker beeinflusst als von ihrer Lage an einem bestimmten Gewässertyp, z. B. dem kleinräumig vorhandenen Nahrungsangebot oder der Verfügbarkeit geeigneter Quartiere in der näheren Umgebung. Vergleicht man Inn- und Salzachauen miteinander, scheinen die Salzachauen insgesamt eine größere Bedeutung als Nahrungshabitate für die lokale Fledermausfauna zu besitzen als die Innauen.

Referenzen

Abbott I.M., Sleeman D.P., Harrison S. (2009): Bat activity affected by sewage effluent in Irish rivers. *Biological Conservation* 142, 2904-2914.

Ahlen I., Baagoe H.J. (1999): Use of ultrasound detectors for bat studies in Europe: experiences from field identification, surveys and monitoring. *Acta Chiropterologica* 1, 137-150.

Ahlen I., Baagoe H.J., Bach L. (2009): Behavior of Scandinavian Bats during Migration and Foraging at Sea. *Journal of Mammalogy* 90, 1318-1323.

Aldridge H.D.J.N., Brigham R.M. (1988): Load Carrying and Maneuverability in an Insectivorous Bat: A Test of The 5% "Rule" of Radio-Telemetry. *Journal of Mammalogy* 69, 379-382.

Alerstam T., Hedenström A., Akesson S. (2003): Long-distance migration: evolution and determinants. *Oikos* 103, 247–260.

Almenar D., Aihartza J., Goiti U., Salsamendi E., Garin I. (2013): Hierarchical patch choice by an insectivorous bat through prey availability components. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 67, 311-320.

Amelon S.K., Dalton D.C., Millspaugh J.J., Wolf S.A. (2009): Radiotelemetry: Techniques and Analysis. In: Kunz T.H. & Parsons S. (Ed.): Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats, 57-77. *The John Hopkins University Press*: Baltimore.

ANL (1999): Natur- und Kulturräum Inn-Salzach - Nachhaltige Nutzung. *Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege - Laufener Seminarbeiträge 5/99*: Laufen.

ARGOS (2015): User's Manual. *CLS/Service Argos*: Toulouse.

Arnold A., Scholz A., Storch V., Braun M. (1996): Zur Rauhauffledermaus (*Pipistrellus nathusii* Keyserling & Blasius, 1839) in den nordbadischen Rheinauen. *carolinea* 54, 149-158.

Baerwald E.F., Barclay R.M.R. (2009): Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. *Journal of Mammalogy* 90, 1341-1349.

Baerwald E.F., D'Amours G.H., Klug B.J., Barclay R.M.R. (2008): Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology* 18, 695-696.

Baker G.B., Lumsden L.F., Dettmann E.B., Schedvin N.K., Schulz M., Watkins D., Jansen L. (2001): The effect of forearm bands on insectivorous bats (Microchiroptera) in Australia. *Wildlife Research* 28, 229–237.

Barataud M. (2015): Acoustic Ecology of European Bats: Species Identification, Study of Their Habitats and Foraging Behaviour. *Biotope, Mèze; Muséum national d'Histoire naturelle (Inventaires & biodiversité): Paris.*

Barbour R.W., Davis W.H., Hassell M.D. (1966): The Need of Vision in Homing by *Myotis sodalis*. *Journal of Mammalogy* 47, 356-357.

Barclay R.M.R. (1991): Population Structure of Temperate Zone Insectivorous Bats in Relation to Foraging Behaviour and Energy Demand. *Journal of Animal Ecology* 60, 165-178.

Barclay R.M.R. (1999): Bats Are Not Birds: A Cautionary Note on Using Echolocation Calls to Identify Bats: A Comment. *Journal of Mammalogy* 80, 290-296.

Bates D., Maechler M., Bolker B., Walker S. (2014): lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and S4. *R package version 1.1-7*: <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>.

Bayerische Vermessungsverwaltung (2014): BayernAtlas, Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung. <http://geoportal.bayern.de/bayernatlas/> / http://vermessung.bayern.de/file/pdf/7203/Nutzungsbedingungen_Viewing.pdf.

BayLWF (2005): Die zweite Bundeswaldinventur 2002: Ergebnisse für Bayern. LWF Wissen 49. *Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft*: Freising.

Ben-David M., Flaherty E.A. (2012): Stable isotopes in mammalian research: a beginner's guide. *Journal of Mammalogy* 93, 312-328.

Berry N., O'Connor W., Holderied M.W., Jones G. (2004): Detection and Avoidance of Harp Traps by Echolocating Bats. *Acta Chiropterologica* 6, 335-346.

Bisson I.-A., Safi K., Holland R.A. (2009): Evidence for Repeated Independent Evolution of Migration in the Largest Family of Bats. *PLoS ONE* 4, e7504.

BMLFUW (2005): Trophie - Gütebild der großen natürlichen Seen Österreichs. *Bundesamt für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*: Wien.

Bontadina F., Beck A., Biollaz F., Brossard C., Dietrich A., Dobner M., Eicher C., Frey-Ehrenbold A., Krainer K., Loercher F., Maerki K., Mattei-Roesli M., Mixanig H., Plank M., Vorauer A., Wegleitner S., Widerin K., Wieser D., Wimmer B., Reiter G. (2015): Massive bat migration across the Alps: Implications for wind energy development. In: Köppel J. & Schuster E. (Ed.): Book of Abstracts. Conference on Wind energy and Wildlife impacts (CWW 2015), March 10-12, 2015, 21: Berlin, Germany.

Bontadina F., Schmied S.F., Beck A., Arlettaz R. (2008): Changes in Prey Abundance Unlikely to Explain the Demography of a Critically Endangered Central European Bat. *Journal of Applied Ecology* 45, 641-648.

Boonman A., Bar-On Y., Cvikel N., Yovel Y. (2013): It's not black or white - on the range of vision and echolocation in echolocating bats. *Frontiers in Physiology* 4.

Boshamer J.P.C., Bekker J.P. (2008): Nathusius' pipistrelles (*Pipistrellus nathusii*) and other species of bats on offshore platforms in the Dutch sector of the North Sea. *Lutra* 51, 17-36.

Bowen G.J., Wassenaar L.I., Hobson K.A. (2005): Global application of stable hydrogen and oxygen isotopes to wildlife forensics. *Oecologia* 143, 337-348.

Bowlin M.S., Bisson I.-A., Shamoun-Baranes J., Reichard J.D., Sapir N., Marra P.P., Kunz T.H., Wilcove D.S., Hedenström A., Guglielmo C.G., Akesson S., Ramenofsky M., Wikelski M. (2010): Grand Challenges in Migration Biology. *Integrative and Comparative Biology*, 1–19.

Bridge E.S., Thorup K., Bowlin M.S., Chilson P.B., Diehl R.H., Fléron R.W., Hartl P., Kays R., Kelly J.F., Robinson W.D., Wikelski M. (2011): Technology on the Move: Recent and Forthcoming Innovations for Tracking Migratory Birds. *BioScience* 61, 689-698.

Brigham R.M. (1995): Riparian habitat and its importance for roosting and foraging by insectivorous bats. In: Morgan K.H. & Lashmar M.A. (Ed.): Riparian habitat management and research: a special publication of the Fraser River action plan, 57-72. *Canadian Wildlife Service*.

Brinkmann R., Behr O., Niermann I., Reich M. (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum Bd. 4. *Cuvillier Verlag*: Göttingen.

Britzke E.R., Loeb S.C., Hobson K.A., Romanek C.S., Vonhof M.J. (2009): Using Hydrogen Isotopes to Assign Origins of Bats in the Eastern United States. *Journal of Mammalogy* 90, 743-751.

Brunotte E., Dister E., Günther-Diringer D., Koenzen U., Mehl D. (2009): Flussauen in Deutschland. Erfassung und Bewertung des Auenzustandes. *Bundesamt für Naturschutz*: Bonn.

Buchler E.R., Childs S.B. (1982): Use of the Post-Sunset Glow as an Orientation Cue by Big Brown Bats (*Eptesicus fuscus*). *Journal of Mammalogy* 63, 243-247.

Burland T.M., Wilmer J.W. (2001): Seeing in the dark: molecular approaches to the study of bat populations. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society* 76, 389-409.

Childs S.B., Buchler E.R. (1981): Perception of simulated stars by *Eptesicus fuscus* (Vespertilionidae): A potential navigational mechanism. *Animal Behaviour* 29, 1028-1035.

Ciechanowski M. (2002): Community structure and activity of bats (Chiroptera) over different water bodies. *Mammal Biology* 67, 276–285.

Ciechanowski M., Zając T., Biłas A., Dunajski R. (2007): Spatiotemporal variation in activity of bat species differing in hunting tactics: effects of weather, moonlight, food abundance, and structural clutter. *Canadian Journal of Zoology* 85, 1249-1263.

Coleman J.L., Barclay R.M.R. (2013): Prey availability and foraging activity of grassland bats in relation to urbanization. *Journal of Mammalogy* 94, 1111-1122.

Cope J.B., Koontz K., Churchwell E. (1960): Notes on Homing of Two Species of Bats, *Myotis lucifugus* and *Eptesicus fuscus*. *Proceedings of the Indiana Academy of Science* 70, 270-274.

Crampton L.H., Barclay R.M.R. (1998): Selection of Roosting and Foraging Habitat by Bats in Different-Aged Aspen Mixedwood Stands. *Conservation Biology* 12, 1347-1358.

Crawley M.J. (2007): The R Book. *John Wiley & Sons, Ltd*: Chichester.

Cryan P.M. (2003): Seasonal Distribution of Migratory Tree Bats (*Lasiurus* and *Lasionycteris*) in North America. *Journal of Mammalogy* 84, 579-593.

Cryan P.M. (2011): Wind turbines as landscape impediments to the migratory connectivity of bats. *Environmental Law* 41, 355-370.

Cryan P.M., Barclay R.M.R. (2009): Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy* 90, 1330-1340.

Cryan P.M., Bogan M.A., Altenbach J.S. (2000): Effect of elevation on distribution of female bats in the Black Hills, South Dakota. *Journal of Mammalogy* 81, 719-725.

- Cryan P.M., Bogan M.A., Rye R.O., Landis G.P., Kester C.L. (2004):** Stable hydrogen isotope analysis of bat hair as evidence for seasonal molt and long-distance migration. *Journal of Mammalogy* 85, 995-1001.
- Cryan P.M., Brown A.C. (2007):** Migration of bats past a remote island offers clues toward the problem of bat fatalities at wind turbines. *Biological Conservation* 139, 1-11.
- Cryan P.M., Diehl R.H. (2009):** Analyzing Bat Migration. In: Kunz T.H. & Parsons S. (Ed.): Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats, 476-488. *The Johns Hopkins University Press*: Baltimore.
- Cryan P.M., Veilleux J.P. (2007):** Migration and use of autumn, winter, and spring roosts by tree bats. In: Lacki M.J., Hayes J.P. & Kurta A. (Ed.): Bats in forests, 153-175. *Johns Hopkins University Press*: Baltimore, Maryland.
- Cvikel N., Berg K.E., Levin E., Hurme E., Borissov I., Boonman A., Amichai E., Yovel Y. (2015):** Bats Aggregate to Improve Prey Search but Might Be Impaired when Their Density Becomes Too High. *Current Biology* 25, 206-211.
- Davis R. (1966):** Homing Performance and Homing Ability in Bats. *Ecological Monographs* 36, 201-237.
- de Jong J., Ahlén I. (1991):** Factors Affecting the Distribution Pattern of Bats in Uppland, Central Sweden. *Holarctic Ecology* 14, 92-96.
- Dechmann D.K.N., Wikelski M., Varga K., Yohannes E., Fiedler W., Safi K., Burkhard W.-D., O'Mara M.T. (2014):** Tracking Post-Hibernation Behavior and Early Migration Does Not Reveal the Expected Sex-Differences in a "Female-Migrating" Bat. *PLoS ONE* 9, e114810.
- Dietz C., Dietz I., Ivanova T., Siemers B.M. (2006):** Effects of forearm bands on horseshoe bats (Chiroptera: Rhinolophidae). *Acta Chiropterologica* 8, 523-535.
- Dietz C., Helversen O.v., Nill D. (2007):** Handbuch der Fledermäuse Europas und Nordwestafrikas. *Kosmos Verlag*: Stuttgart.

Dietz C., Kiefer A. (2014): Die Fledermäuse Europas - kennen, bestimmen, schützen. *Kosmos Verlag*: Stuttgart.

Dixon M.D. (2012): Relationship between land cover and insectivorous bat activity in an urban landscape. *Urban Ecosystems* 15, 683-695.

Dondini G., Rutkowski T., Vergari S., Wojtaszyn G. (2012): Long distance migration of female Leisler's bat (*Nyctalus leisleri*) from Italy to Poland. *Hystrix the Italian Journal of Mammalogy* 23, 93–94.

Dormann C.F., Kühn I. (2009): Angewandte Statistik für die biologischen Wissenschaften.

Downs N.C., Racey P.A. (2006): The use by bats of habitat features in mixed farmland in Scotland. *Acta Chiropterologica* 8, 169-185.

Duchamp J.E., Swihart R.K. (2008): Shifts in bat community structure related to evolved traits and features of human-altered landscapes. *Landscape Ecology* 23, 849-860.

Ehleringer J.R., Bowen G.J., Chesson L.A., West A.G., Podlesak D.W., Cerling T.E. (2008): Hydrogen and oxygen isotope ratios in human hair are related to geography. *PNAS* 105, 2788–2793.

Eisentraut M. (1934): Markierungsversuche bei Fledermäusen. *Zeitschrift für Morphologie und Ökologie der Tiere* 28, 553-560.

Eklöf J. (2003): Vision in echolocating bats. Dissertation. *Göteborg University*.

Ellison L.E. (2008): Summary and Analysis of the U.S. Government Bat Banding Program. *U.S. Geological Survey: Open-File Report 2008-1363*: Virginia.

Esberard C.E.L., Lima I.P.d., Nobre P.H., Althoff S.L., Jordao-Nogueira T., Dias D., Carvalho F., Fabian M.E., Sekiama M.L., Sobrinho A.S. (2011): Evidence of vertical migration in the Ipanema bat *Pygoderma bilabiatum* (Chiroptera: Phyllostomidae: Stenodermatinae). *Zoologia* 28, 717–724.

Estok P. (2007): Seasonal changes in the sex ratio of *Nyctalus* species in north-east Hungary. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 53, 89–95.

Ewing W.G., Studier E.H., O'Farrell M.J. (1970): Autumn fat deposition and gross body composition in three species of *Myotis*. *Comparative Biochemistry and Physiology* 36, 119-129.

Fenton M.B. (1992): Bats. *Facts on File*: New York.

Fiedler W. (2009): New technologies for monitoring bird migration and behaviour. *Ringling & Migration* 24, 175–179.

Findley J.S., Jones C. (1964): Seasonal Distribution of the Hoary Bat. *Journal of Mammalogy* 45, 461-470.

Fleming T.H., Eby P. (2003): Ecology of bat migration. In: Kunz T.H. & Fenton M.B. (Ed.): Bat ecology, 156-208. *University of Chicago Press*: Chicago.

Fleming T.H., Nunez R.A., Sternberg L.d.S.L. (1993): Seasonal changes in the diets of migrant and non-migrant nectarivorous bats as revealed by carbon stable isotope analysis. *Oecologia* 94, 72-75.

Fuentes-Montemayor E., Goulson D., Cavin L., Wallace J.M., Park K.J. (2013): Fragmented woodlands in agricultural landscapes: The influence of woodland character and landscape context on bats and their insect prey. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 172, 6-15.

Fukui D., Murakami M., Nakano S., Aoi T. (2006): Effect of emergent aquatic insects on bat foraging in a riparian forest. *Journal of Animal Ecology* 75, 1252-1258.

Furmankiewicz J., Kucharska M. (2009): Migration of Bats along a Large River Valley in Southwestern Poland. *Journal of Mammalogy* 90, 1310–1317.

Gaisler J., Chytil J. (2002): Mark-recapture results and changes in bat abundance at the cave of Na Tuoldu, Czech Republic. *Folia Zoologica* 51, 1-10.

Gaisler J., Rehak Z., Bartonicka T. (2009): Bat casualties by road traffic (Brno-Vienna). *Acta Theriologica* 54, 147-155.

Gebhard J. (1997): Fledermäuse. *Birkhäuser Verlag*: Basel.

Glasby L., Yarnell R.W. (2013): Evaluation of the performance and accuracy of Global Positioning System bug transmitters deployed on a small mammal. *European Journal of Wildlife Research* 59, 915–919.

Greif S., Borissov I., Yovel Y., Holland R.A. (2014): A functional role of the sky's polarization pattern for orientation in the greater mouse-eared bat. *Nature Communications* 5:4488.

Griffin D.R. (1936): Bat Banding. *Journal of Mammalogy* 17, 235-239.

Griffin D.R. (1970): Migrations and Homing of Bats. In: Wimsatt W.A. (Ed.): *Biology of Bats*, 233-264. *Academic Press Inc.*: New York.

Griffin D.R. (1971): The importance of atmospheric attenuation for the echolocation of bats (Chiroptera). *Animal Behaviour* 19, 55-61.

Grindal S.D., Morissette J.L., Brigham R.M. (1999): Concentration of bat activity in riparian habitats over an elevational gradient. *Canadian Journal of Zoology* 77, 972-977.

Hagen E.M., Sabo J.L. (2011): A landscape perspective on bat foraging ecology along rivers: does channel confinement and insect availability influence the response of bats to aquatic resources in riverine landscapes? *Oecologia* 166, 751-760.

Hale J.D., Fairbrass A.J., Matthews T.J., Sadler J.P. (2012): Habitat Composition and Connectivity Predicts Bat Presence and Activity at Foraging Sites in a Large UK Conurbation. *PLoS ONE* 7.

Hammer M., Zahn A., Markmann U. (2009): Kriterien für die Wertung von Artnachweisen basierend auf Lautaufnahmen.

- Hassell M.D., Harvey M.J. (1965):** Differential Homing in *Myotis sodalis*. *American Midland Naturalist* 74, 501-503.
- Hedenström A. (2009):** Optimal Migration Strategies in Bats. *Journal of Mammalogy* 90, 1298-1309.
- Helversen O.v., Weid R. (1990):** Die Verbreitung einiger Fledermausarten in Griechenland. *Bonner Zoologische Beiträge* 41, 9-22.
- Herreid C.F., Davis R.B., Short H.L. (1960):** Injuries Due to Bat Banding. *Journal of Mammalogy* 41, 398-400.
- Herrera M.L.G. (1997):** Evidence of altitudinal movements of *Leptonycteris curasoae* (Chiroptera: Phyllostomidae) in Central Mexico. *Revista Mexicana de Mastozoología* 2, 116-118.
- Hickey M.B.C. (1992):** Effect of Radiotransmitters on the Attack Success of Hoary Bats, *Lasiurus cinereus*. *Journal of Mammalogy* 73, 344-346.
- Hobson K.A. (1999):** Tracing origins and migration of wildlife using stable isotopes: a review. *Oecologia* 120, 314-326.
- Hobson K.A., Atwell L., Wassenaar L.I. (1999):** Influence of drinking water and diet on the stable-hydrogen isotope ratios of animal tissues. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96, 8003–8006.
- Hodgkison R., Balding S.T., Zubaid A., Kunz T.H. (2004):** Temporal Variation in the Relative Abundance of Fruit Bats (Megachiroptera: Pteropodidae) in Relation to the Availability of Food in a Lowland Malaysian Rain Forest. *Biotropica* 36, 522–533.
- Holland R. (2009):** Blind as a Bat? The Sensory Basis of Orientation and Navigation at Night. In: Berthoz A. & Christen Y. (Ed.): *Neurobiology of "Umwelt": How Living Beings Perceive the World*, 125-139. *Springer Verlag*: Berlin Heidelberg.
- Holland R.A. (2007):** Orientation and navigation in bats: known unknowns or unknown unknowns? *Behavioral Ecology and Sociobiology* 61, 653-660.

Holland R.A., Borissov I., Siemers B.M. (2010): A nocturnal mammal, the greater mouse-eared bat, calibrates a magnetic compass by the sun. *PNAS* 107, 6941-6945.

Holland R.A., Kirschvink J.L., Doak T.G., Wikelski M. (2008): Bats Use Magnetite to Detect the Earth's Magnetic Field. *PLoS ONE* 3(2).

Holland R.A., Thorup K., Vonhof M.J., Cochran W.W., Wikelski M. (2006): Bat orientation using Earth's magnetic field. *Nature* 444, 702.

Holland R.A., Wikelski M. (2009): Studying the Migratory Behavior of Individual Bats: Current Techniques and Future Directions. *Journal of Mammalogy* 90, 1324-1329.

Holzhaider J., Zahn A. (2001): Bats in the Bavarian Alps: species composition and utilization of higher altitudes in summer. *Mammalian Biology* 66, 144-154.

Hötker H., Thomsen K.-M., Köster H. (2005): Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse. BfN-Skripten 142. *Bundesamt für Naturschutz*: Bonn - Bad Godesberg.

Hughes P.M., Rayner J.M.V. (1991): Addition of Artificial Loads to Long-Eared Bats *Plecotus Auritus*: Handicapping Flight Performance. *The Journal of Experimental Biology* 161, 258-298.

Hurlbert S.H. (1984): Pseudoreplication and the Design of Ecological Field Experiments. *Ecological Monographs* 54, 187-211.

Hutterer R., Ivanova T., Meyer-Cords C., Rodrigues L. (2005): Bat Migrations in Europe. A Review of Banding Data and Literature. *Bundesamt für Naturschutz*: Bonn.

Ibanez C., Guillen A., Agirre-Mendi P.T., Juste J., Schreur G., Cordero A.I., Popa-Lisseanu A.G. (2009): Sexual Segregation in Iberian Noctule Bats. *Journal of Mammalogy* 90, 235-243.

Jakobsen L., Brinkløv S., Surlykke A. (2013): Intensity and directionality of bat echolocation signals. *Frontiers in Physiology* 4.

Jarzembowski T. (2003): Migration of the Nathusius' pipistrelle *Pipistrellus nathusii* (Vespertilionidae) along the Vistula Split. *Acta Theriologica* 48, 301–308.

Jonsson M., Deleu P., Malmqvist B. (2013): Persisting effects of river regulation on emergent aquatic insects and terrestrial invertebrates in upland forests. *River Research and Applications* 29, 537-547.

Jung K., Kaiser S., Böhm S., Nieschulze J., Kalko E.K.V. (2012): Moving in three dimensions: effects of structural complexity on occurrence and activity of insectivorous bats in managed forest stands. *Journal of Applied Ecology* 49, 523-531.

Kalcounis-Rueppell M.C., Payne V.H., Huff S.R., Boyko A.L. (2007): Effects of wastewater treatment plant effluent on bat foraging ecology in an urban stream system. *Biological Conservation* 138, 120-130.

Kalda O., Kalda R., Liira J. (2015): Multi-scale ecology of insectivorous bats in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 199, 105-113.

Kanold A., Rohrmann N., Müller J. (2008): Einflussfaktoren auf das Baumhöhlenangebot und dessen Auswirkungen auf die Arten und Dichten von Höhlenbrütern in Bergwäldern. *Ornithologischer Anzeiger* 47, 116-129.

Kanuch P., Kristin A. (2006): Altitudinal distribution of bats in the Poľana Mts area (Central Slovakia). *Biologia* 61, 605-610.

Kays R., Crofoot M.C., Jetz W., Wikelski M. (2015): Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet. *Science* 348.

Kays R., Tilak S., Crofoot M., Fountain T., Obando D., Ortega A., Kuemmeth F., Mandel J., Swenson G., Lambert T., Hirsch B., Wikelski M. (2011): Tracking Animal Location and Activity with an Automated Radio Telemetry System in a Tropical Rainforest. *The Computer Journal* 54, 1931-1948.

Kerth G., Melber M. (2009): Species-specific barrier effects of a motorway on the habitat use of two threatened forest-living bat species. *Biological Conservation* 142, 270-279.

Kiefer A., Merz H., Rackow W., Roer H., Schlegl D. (1995): Bats as traffic casualties in Germany. *Myotis* 32/33, 215-220.

Kuenzi A.J., Morrison M.L. (1998): Detection of Bats by Mist-Nets and Ultrasonic Sensors. *Wildlife Society Bulletin* 26, 307-311.

Kühn I., Brandl R., Klotz S. (2004): The flora of German cities is naturally species rich. *Evolutionary Ecology Research* 6, 749-764.

Kunz T.H., Brock C.E. (1975): A comparison of mist nets and ultrasonic detectors for monitoring flight activity of bats. *Journal of Mammalogy* 56, 907-911.

Kurta A., Murray S.W. (2002): Philopatry and Migration of banded Indiana Bats (*Myotis sodalis*) and Effects of Radio Transmitters. *Journal of Mammalogy* 83, 585-589.

Kusch J., Weber C., Idelberger S., Koob T. (2004): Foraging habitat preferences of bats in relation to food supply and spatial vegetation structures in a western European low mountain range forest. *Folia Zoologica* 53, 113-128.

Kuttler W. (2004): Stadtklima. *UWSF - Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie* 16, 187-199.

Kuznetsova A., Brockhoff P.B., Christensen R.H.B. (2014): lmerTest: Tests for random and fixed effects for linear mixed effect models (lmer objects of lme4 package). *R package version 2.0-11*: <http://CRAN.R-project.org/package=lmerTest>.

Larsen R.J., Boegler K.A., Genoways H.H., Masefield W.P., Kirsch R.A., Pedersen S.C. (2007): Mist netting bias, species accumulation curves, and the rediscovery of two bats on Montserrat (Lesser Antilles). *Acta Chiropterologica* 9, 423-435.

Lawrence B.D., Simmons J.A. (1982): Measurements of atmospheric attenuation at ultrasonic frequencies and the significance for echolocation by bats. *Journal of the Acoustical Society of America* 71, 585-590.

Lazowski W. (1997): Auen in Österreich - Vegetation, Landschaft und Naturschutz. *Umweltbundesamt Österreich: Wien.*

Lesinski G. (2008): Linear landscape elements and bat casualties on roads - an example. *Annales Zoologici Fennici* 45, 277-280.

Lesinski G., Fuszara E., Kowalski M. (2000): Foraging areas and relative density of bats (Chiroptera) in differently human transformed landscapes. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 65, 129-137.

Lesinski G., Sikora A., Olszewski A. (2011): Bat casualties on a road crossing a mosaic landscape. *European Journal of Wildlife Research* 57, 217-223.

LfW (2002): Flüsse und Seen in Bayern - Gewässer-Qualität 2001. *Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: München.*

Lindecke O., Voigt C.C., Petersons G., Holland R.A. (2015): Polarized skylight does not calibrate the compass system of a migratory bat. *Biology Letters* 11, 20150525.

Lundy M., Montgomery I. (2010): Summer habitat associations of bats between riparian landscapes and within riparian areas. *European Journal of Wildlife Research* 56, 385–394.

MacAyeal L.C., Riskin D.K., Swartz S.M., Breuer K.S. (2011): Climbing flight performance and load carrying in lesser dog-faced fruit bats (*Cynopterus brachyotis*). *The Journal of Experimental Biology* 214, 786-793.

Mackey R.L., Barclay R.M.R. (1989): The influence of physical clutter and noise on the activity of bats over water. *Canadian Journal of Zoology* 67, 1167-1170.

McCracken G.F., Safi K., Kunz T.H., Dechmann D.K.N., Swartz S.M., Wikelski M. (2016): Airplane tracking documents the fastest flight speeds recorded for bats. *Royal Society Open Science* 3.

McGuire L.P., Boyle W.A. (2013): Altitudinal migration in bats: evidence, patterns, and drivers. *Biological Reviews* 88, 767-786.

McGuire L.P., Fenton M.B., Guglielmo C.G. (2013): Phenotypic flexibility in migrating bats: seasonal variation in body composition, organ sizes and fatty acid profiles. *The Journal of Experimental Biology* 216, 800-808.

McGuire L.P., Guglielmo C.G. (2009): What Can Birds Tell Us about the Migration Physiology of Bats? *Journal of Mammalogy* 90, 1290-1297.

McGuire L.P., Guglielmo C.G., Mackenzie S.A., Taylor P.D. (2012): Migratory stopover in the long-distance migrant silver-haired bat, *Lasiurus noctivagus*. *Journal of Animal Ecology* 81, 377-385.

McGuire L.P., Jonasson K.A., Guglielmo C.G. (2014): Bats on a Budget: Torpor-Assisted Migration Saves Time and Energy. *PLoS ONE* 9, e115724.

Medinas D., Marques J.T., Mira A. (2013): Assessing road effects on bats: the role of landscape, road features, and bat activity on road-kills. *Ecological Research* 28, 227-237.

Mehr M., Brandl R., Hothorn T., Dziöck F., Förster B., Müller J. (2011): Land use is more important than climate for species richness and composition of bat assemblages on a regional scale. *Mammalian Biology* 76, 451-460.

Meschede A., Fuchs D., Bach L., Bach P., Biedermann M., Blohm T., Bontadina F., Dietz M., Fuß A., Geiger-Roswora D., Hammer M., Harbusch C., Hensle E., Hutterer R., Jokisch S., Körber H., Krättli H., Mayer F., Michalczyk C., Moeschler P., Ohlendorf B., Petermann R., Reiter G., Schorcht W., Stiefel D., Stutz H.-P.B., Straube M., Teige T., Vierhaus H., Voigt C.C., Wegleitner S., Wohlgemuth R., Zahn A., Zöphel U. (2015): Phenology of migrating bats crossing

Central Europe. *Poster at 4th International Berlin Bat Meeting*, 13-15. March 2015, Berlin.

Meschede A., Heller K.-G. (2002): Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Wäldern unter besonderer Berücksichtigung wandernder Arten. *Bundesamt für Naturschutz*: Bonn.

Meschede A., Rudolph B.-U. (2004): Fledermäuse in Bayern. *Ulmer Verlag*: Stuttgart.

Meschede A., Rudolph B.-U. (2010): 1985 – 2009: 25 Jahre Fledermausmonitoring in Bayern. *Bayerisches Landesamt für Umwelt*: Augsburg.

Miller G.S. (1897): Migration of Bats on Cape Cod, Massachusetts. *Science* 5, 541-543.

Milner-Gulland E.J., Fryxell J.M., Sinclair A.R.E. (2011): Animal Migration - A Synthesis. *Oxford University Press*: Oxford.

Mohr C.E. (1972): The Status of Threatened Species of Cave-Dwelling Bats. *National Speleological Society* 34, 33-47.

Montag O., Neubacher G., Strauch M., Tiss M., Pfeiffer-Vogl P., Weißmair W. (2003): Natur und Landschaft - Leitbilder für Oberösterreich Band 4: Raumeinheit Salzachtal. *Amt der Oö. Landesregierung*: Linz.

Moreno-Valdez A., Grant W.E., Honeycutt R.L. (2000): A simulation model of Mexican long-nosed bat (*Leptonycteris nivalis*) migration. *Ecological Modelling* 134, 117–127.

Moreno-Valdez A., Honeycutt R.L., Grant W.E. (2004): Colony Dynamics of *Leptonycteris nivalis* (Mexican Long-Nosed Bat) Related to Flowering Agave in Northern Mexico. *Journal of Mammalogy* 85, 453-459.

Moussy C., Hosken D.J., Mathews F., Smith G.C., Aegerter J.N., Bearhop S. (2013): Migration and dispersal patterns of bats and their influence on genetic structure. *Mammal Review* 43, 183–195.

Mueller H.C., Emlen J.T. (1957): Homing in Bats. *Science* 126, 307-308.

Müller J., Brandl R. (2009): Assessing biodiversity by remote sensing in mountainous terrain: the potential of LiDAR to predict forest beetle assemblages. *Journal of Applied Ecology* 46, 897-905.

Müller J., Mehr M., Bässler C., Fenton M.B., Hothorn T., Pretzsch H., Klemmt H.-J., Brandl R. (2012): Aggregative response in bats: prey abundance versus habitat. *Oecologia* 169, 673-684.

Naef-Daenzer B., Früh D., Stalder M., Wetli P., Weise E. (2005): Miniaturization (0.2 g) and evaluation of attachment techniques of telemetry transmitters. *The Journal of Experimental Biology* 208, 4063-4068.

Naiman R.J., Decamps H., Pollock M. (1993): The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications* 3, 209-212.

Neubaum D.J., Neubaum M.A., Ellison L.E., O'Shea T.J. (2005): Survival and Condition of Big Brown Bats (*Eptesicus fuscus*) after Radiotagging. *Journal of Mammalogy* 86, 95-98.

Neubaum D.J., O'Shea T.J., Wilson K.R. (2006): Autumn Migration and Selection of Rock Crevices as Hibernacula by Big Brown Bats in Colorado. *Journal of Mammalogy* 87, 470-479.

Neuweiler G. (1993): Biologie der Fledermäuse. *Thieme Verlag*: Stuttgart.

O'Farrell M.J., Gannon W.L. (1999): A Comparison of Acoustic versus Capture Techniques for the Inventory of Bats. *Journal of Mammalogy* 80, 24-30.

O'Farrell M.J., Miller B.W., Gannon W.L. (1999): Qualitative Identification of Free-Flying Bats Using the Anabat Detector. *Journal of Mammalogy* 80, 11-23.

O'Shea T.J. (1976): Fat Content in Migratory Central Arizona Brazilian Free-Tailed Bats, *Tadarida brasiliensis* (Molossidae). *The Southwestern Naturalist* 21, 321-326.

O'Mara M.T., Wikelski M., Dechmann D.K.N. (2014): 50 years of bat tracking: device attachment and future directions. *Methods in Ecology and Evolution* 5, 311-319.

Obrist M.K. (1995): Flexible bat echolocation: the influence of individual, habitat and conspecifics on sonar signal design. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 36, 207-219.

OpenStreetMap Foundation (2014): Hike & Bike Map © OpenStreetMap-Mitwirkende. <http://hikebikemap.org/> / www.openstreetmap.org/copyright.

Parsons S., Jones G. (2000): Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *Journal of Experimental Biology* 203, 2641-2656.

Perry A.E., Beckett G. (1966): Skeletal Damage as a Result of Band Injury in Bats. *Journal of Mammalogy* 47, 131-132.

Perry R.W., Carter S.A., Thill R.E. (2010): Temporal Patterns in Capture Rate and Sex Ratio of Forest Bats in Arkansas. *The American Midland Naturalist* 164, 270-282.

Petermann R. (2011): Fledermausschutz in Europa II. In Beschlüsse der 5. und 6. EUROBATS-Vertragsstaatenkonferenzen und Berichte zum Fledermausschutz in Deutschland 2003-2009. BfN-Skripten 296. *Bundesamt für Naturschutz*: Bonn - Bad Godesberg.

Petersons G. (2004): Seasonal migrations of north-eastern populations of Nathusius' bat *Pipistrellus nathusii* (Chiroptera). *Myotis* 41-42, 29-56.

Petit E., Mayer F. (2000): A population genetic analysis of migration: the case of the noctule bat (*Nyctalus noctula*). *Molecular Ecology* 9, 683-690.

Popa-Lisseanu A.G., Sörgel K., Luckner A., Wassenaar L.I., Ibanez C., Kramer-Schadt S., Ciechanowski M., Görföl T., Niermann I., Beuneux G., Myslajek R.W., Juste J., Fonderflick J., Kelm D.H., Voigt C.C. (2012): A Triple-Isotope Approach to Predict the Breeding Origins of European Bats. *PLoS ONE* 7.

Popa-Lisseanu A.G., Voigt C. (2009): Bats on the Move. *Journal of Mammalogy* 90, 1283-1289.

Prummer J. (2012): Der Einfluss von Siedlungsgebieten auf die Jagdaktivität von Fledermäusen. Diplomarbeit. *Ludwig-Maximilians-Universität München*.

Quinn G.P., Keough M.J. (2002): Experimental Design and Data Analysis for Biologists. *Cambridge University Press: Cambridge*.

R Development Core Team (2014): R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria: <http://www.R-project.org>*.

Racey P.A. (1998): The importance of the riparian environment as a habitat for British bats. In: Dunstone N. & Gorman M. (Ed.): Behaviour and Ecology of Riparian Mammals, 69-91. *Cambridge University Press: Cambridge*.

Racey P.R., Swift S.M., Rydell J., Brodie L. (1998): Bats and insects over two Scottish rivers with contrasting nitrate status. *Animal Conservation* 1, 195-202.

Reiter G., Widerin K. (2014): Fledermaus-Migration im Alpenraum - Teilprojekt Salzburg. *Unpublizierter Endbericht der Koordinationsstelle für Fledermausschutz und -forschung in Österreich (KFFÖ): Leonding*.

Richarz K. (2000): Auswirkungen von Verkehrsstrassen auf Fledermäuse. *Laufener Seminarbeiträge* 2/00, 71-84.

Richter H.V., Cumming G.S. (2006): Food availability and annual migration of the straw-colored fruit bat (*Eidolon helvum*). *Journal of Zoology* 268, 35–44.

Roberts B.J., Catterall C.P., Eby P., Kanowski J. (2012): Long-Distance and Frequent Movements of the Flying-Fox *Pteropus poliocephalus* : Implications for Management. *PLoS ONE* 7, e42532.

Roeleke M., Blohm T., Kramer-Schadt S., Yovel Y., Voigt C.C. (2016): Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Scientific Reports* 6.

Rojas-Martinez A., Valiente-Banuet A., Arizmendi M.d.C., Alcantara-Eguren A., Arita H.T. (1999): Seasonal distribution of the long-nosed bat (*Leptonycteris curasoae*) in North America: does a generalized migration pattern really exist? *Journal of Biogeography* 26, 1065-1077.

Russo D. (2002): Elevation affects the distribution of the two sexes in Daubenton's bats *Myotis daubentonii* (Chiroptera: Vespertilionidae) from Italy. *Mammalia* 66, 543-551.

Russo D., Cistrone L., Garonna A.P., Jones G. (2010): Reconsidering the importance of harvested forests for the conservation of tree-dwelling bats. *Biodiversity and Conservation* 19, 2501-2515.

Russo D., Jones G. (2003): Use of foraging habitats by bats in a Mediterranean area determined by acoustic surveys: conservation implications. *Ecography* 26, 197-209.

Rydell J., Bach L., Dubourg-Savage M.-J., Green M., Rodrigues L., Hedenström A. (2010): Bat Mortality at Wind Turbines in Northwestern Europe. *Acta Chiropterologica* 12, 261-274.

Rydell J., Miller L.A., Jensen M.E. (1999): Echolocation constraints of Daubenton's Bat foraging over water. *Functional Ecology* 13, 247-255.

Schmidt A. (2004): Beitrag zum Ortsverhalten der Rauhhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) nach Beringungs- und Wiederfundergebnissen aus Nordost-Deutschland. *Nyctalus* 3, 269-294.

Schnitzler H.-U., Kalko E.K.V. (2001): Echolocation by Insect-Eating Bats. *BioScience* 51, 557-569.

Scott S.J., McLaren G., Jones G., Harris S. (2010): The impact of riparian habitat quality on the foraging and activity of pipistrelle bats (*Pipistrellus* spp.). *Journal of Zoology* 280, 371-378.

Seddon P.J., Maloney R.F. (2004): Tracking wildlife radio-tag signals by light fixed-wing aircraft. (ed. Conservation D.o.). *Department of Conservation Technical Series 30*: Wellington, New Zealand.

Seidman V.M., Zabel C.J. (2001): Bat Activity along Intermittent Streams in Northwestern California. *Journal of Mammalogy* 82, 738-747.

Serra-Cobo J., Lopez-Roig M., Marques-Bonet T., Lahuerta E. (2000): Rivers as possible landmarks in the orientation flight of *Miniopterus schreibersii*. *Acta Theriologica* 45(3), 347-352.

Serra-Cobo J., Sanz-Trullen V., Martinez-Rica J.P. (1998): Migratory movements of *Miniopterus schreibersii* in the north-east of Spain. *Acta Theriologica* 43, 271-283.

Simmons J.A., Fenton M.B., O'Farrell M.J. (1979): Echolocation and Pursuit of Prey by Bats. *Science* 203, 16-21.

Skiba R. (2009): Europäische Fledermäuse. *Westarp Wissenschaften: Hohenwarsleben*.

Smith E., Goodpaster W. (1957): Homing in Nonmigratory Bats. *Science* 127, 644.

Stilz W.-P., Schnitzler H.-U. (2012): Estimation of the acoustic range of bat echolocation for extended targets. *Journal of the Acoustical Society of America* 132, 1765–1775.

StMUG (2013): Wasserland Bayern - Nachhaltige Wasserwirtschaft in Bayern. *Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit*: München.

Stones R.C., Branick L.P. (1969): Use of Hearing in Homing by Two Species of *Myotis* Bats. *Journal of Mammalogy* 50, 157-160.

Suba J., Petersons G., Rydell J. (2012): Fly-and-forage strategy in the bat *Pipistrellus nathusii* during autumn migration. *Acta Chiropterologica* 14, 379-385.

Sullivan A.R., Bump J.K., Kruger L.A., Peterson R.O. (2012): Bat-cave catchment areas: using stable isotopes (δD) to determine the probable origins of hibernating bats. *Ecological Applications* 22, 1428–1434.

Swystun M.B., Lane J.E., Brigham R.M. (2007): Cavity roost site availability and habitat use by bats in different aged riparian cottonwood stands. *Acta Chiropterologica* 9, 183-191.

Taylor R.J., O'Neill M.G. (1988): Summer Activity Patterns of Insectivorous Bats and Their Prey in Tasmania. *Australian Wildlife Research* 15, 533-539.

Tian L., Lin W., Zhang S., Pan Y. (2010): Bat Head Contains Soft Magnetic Particles: Evidence From Magnetism. *Bioelectromagnetics* 31, 499-503.

Timm R.M. (1989): Migration and molt patterns of red bats, *Lasiurus borealis* (Chiroptera: Vespertilionidae), in Illinois. *Bulletin of the Chicago Academy of Sciences* 14, 1–7.

Tsoar A., Nathan R., Bartan Y., Vyssotski A., Dell’Omo G., Ulanovsky N. (2011): Large-scale navigational map in a mammal. *PNAS* 108, 718–724.

Tuttle M.D., Stevenson E. (1977): An Analysis of Migration as a Mortality Factor in the Gray Bat Based on Public Recoveries of Banded Bats. *American Midland Naturalist* 97, 235-240.

Ulanovsky N., Fenton M.B., Tsoar A., Korine C. (2004): Dynamics of Jamming Avoidance in Echolocating Bats. *Proceedings of the Royal Society B* 271, 1467-1475.

Vaughan N., Jones G., Harris S. (1996): Effects of sewage effluent on the activity of bats (Chiroptera: Vespertilionidae) foraging along rivers. *Biological Conservation* 78, 337-343.

- Vaughan N., Jones G., Harris S. (1997):** Habitat use by bats (chiroptera) assessed by means of a broad-band acoustic method. *Journal of Applied Ecology* 34, 716-730.
- Verboom B., Huiteima H. (1997):** The importance of linear landscape elements for the pipistrelle *Pipistrellus pipistrellus* and the serotine bat *Eptesicus serotinus*. *Landscape Ecology* 12, 117-125.
- Voigt C.C., Helbig-Bonitz M., Kramer-Schadt S., Kalko E.K.V. (2014):** The third dimension of bat migration: evidence for elevational movements of *Miniopterus natalensis* along the slopes of Mount Kilimanjaro. *Oecologia* 174, 751-764.
- Voigt C.C., Lehnert L.S., Petersons G., Adorf F., Bach L. (2015):** Wildlife and renewable energy: German politics cross migratory bats. *European Journal of Wildlife Research* 61, 213-219.
- Voigt C.C., Lindecke O., Schönborn S., Kramer-Schadt S., Lehmann D. (2016):** Habitat use of migratory bats killed during autumn at wind turbines. *Ecological Applications* 26, 771-783.
- Voigt C.C., Sörgel K., Suba J., Keiss O., Petersons G. (2012):** The insectivorous bat *Pipistrellus nathusii* uses a mixed-fuel strategy to power autumn migration. *Proceedings of the Royal Society B* 279, 3772-3778.
- Wallraff H.G. (2004):** Avian olfactory navigation: its empirical foundation and conceptual state. *Animal Behaviour* 67, 189-204.
- Walsh A.L., Harris S. (1996):** Foraging habitat preferences of vespertilionid bats in Britain. *Journal of Applied Ecology* 33, 508-518.
- Walsh A.L., Mayle B.A. (1991):** Bat activity in different habitats in a mixed lowland woodland. *Myotis* 29, 97-104.
- Walters C.L., Freeman R., Collen A., Dietz C., Fenton M.B., Jones G., Obrist M.K., Puechmaille S.J., Sattler T., Siemers B.M., Parsons S., Jones K.E. (2012):** A continental-scale tool for acoustic identification of European bats. *Journal of Applied Ecology* 49, 1064-1074.

- Wang Y., Pan Y., Parsons S., Walker M., Zhang S. (2007):** Bats respond to polarity of a magnetic field. *Proceedings of the Royal Society B* 274, 2901–2905.
- Warren R.D., Waters D.A., Altringham J.D., Bullock D.J. (2000):** The distribution of Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*) and pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*) (Vespertilionidae) in relation to small-scale variation in riverine habitat. *Biological Conservation* 92, 85-91.
- Weid R. (2002):** Untersuchungen zum Wanderverhalten des Abendseglers (*Nyctalus noctula*) in Deutschland. In: Meschede A., Heller K.-G. & Boye P. (Ed.): Ökologie, Wanderungen und Genetik von Fledermäusen in Wäldern - Untersuchungen als Grundlage für den Fledermausschutz, 233-257. *Bundesamt für Naturschutz*: Bonn.
- Weller T.J., Castle K.T., Liechti F., Hein C.D., Schirmacher M.R., Cryan P.M. (2016):** First Direct Evidence of Longdistance Seasonal Movements and Hibernation in a Migratory Bat. *Scientific Reports* 6.
- Widerin K., Jerabek M. (2014):** Fledermausnachweise am Kalser Törl. *Ber. nat.-med. Ver. Salzburg* 17, 33-42.
- Wikelski M., Kays R.W., Kasdin N.J., Thorup K., Smith J.A., Swenson G.W. (2007):** Going wild: what a global small-animal tracking system could do for experimental biologists. *The Journal of Experimental Biology* 210, 181-186.
- Wilcove D., Wikelski M. (2008):** Going, Going, Gone: Is Animal Migration Disappearing? *PLoS Biology* 6, 1361-1364.
- Wilkinson G.S., Fleming T.H. (1996):** Migration and evolution of lesser long-nosed bats *Leptonycteris curasoae*, inferred from mitochondrial DNA. *Molecular Ecology* 5, 329-339.
- William T.C., Williams J.M. (1970):** Radio tracking of homing and feeding flights of a neotropical bat, *Phyllostomus hastatus*. *Animal Behaviour* 18, 302-309.
- Williams T.C., Williams J.M. (1967):** Radio Tracking of Homing Bats. *Science* 155, 1435-1436.

Williams T.C., Williams J.M., Griffin D.R. (1966): Visual Orientation in Homing Bats. *Science* 152, 677.

Wiltschko R., Wiltschko W. (2012): Magnetoreception. In: Lopez-Larrea C. (Ed.): Sensing in Nature, 126-141. *Springer Verlag: New York.*

Wiltschko W., Wiltschko R. (2005): Magnetic orientation and magnetoreception in birds and other animals. *Journal of Comparative Physiology A* 191, 675–693.

Wunder M.B. (2012): Determining geographic patterns of migration and dispersal using stable isotopes in keratins. *Journal of Mammalogy* 93, 360-367.

Zahn A., Gelhaus M., Zahner V. (2007a): Die Fledermausaktivität in unterschiedlichen Waldtypen, an Gewässern und im Offenland - eine Untersuchung auf der Herreninsel im Chiemsee (Bayern). *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung* 179, 173-178.

Zahn A., Hartl B., Henatsch B., Keil A., Marka S. (2002): Erstnachweis einer Wochenstube der Rauhauffledermaus (*Pipistrellus nathusii*) in Bayern. *Nyctalus* 8, 187-190.

Zahn A., Lustig A., Hammer M. (2014): Potenzielle Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Fledermauspopulationen. *ANLiegen Natur* 36.

Zahn A., Maier S. (1997): Jagdaktivität von Fledermäusen an Bächen und Teichen. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 62, 1-11.

Zahn A., Rodrigues L., Rainho A., Palmeirim J.M. (2007b): Critical times of the year for *Myotis myotis*, a temperate zone bat: roles of climate and food resources. *Acta Chiropterologica* 9, 115-125.

Zeus V. (2010): Vergleich zweier Aufnahmehöhen bei der akustischen Erfassung von Fledermäusen in Jagdhabitaten. Masterarbeit. *Technische Universität München.*

Zingg P.E., Bontadina F. (2016): Migrating bats cross top of Europe. *PeerJ Preprints* 4.

Zurcher A.A., Sparks D.W., Bennett V.J. (2010): Why the Bat Did Not Cross the Road? *Acta Chiropterologica* 12, 337-340.

Danksagung

Sehr herzlich möchte ich mich bei PD Dr. Andreas Zahn dafür bedanken, dass er mir diese Promotion ermöglicht und sie so hervorragend betreut hat. Besonders wertvoll waren für mich seine zahlreichen Ideen und sein stetiges Interesse am Fortgang meiner Arbeit sowie die geduldigen Korrekturen. Auch auf seine praktische Unterstützung bei der Organisation von Ausrüstung und Feldarbeit konnte ich mich immer verlassen.

Bei Prof. Dr. Herwig Stibor bedanke ich mich ebenfalls sehr herzlich für die Übernahme des Zweitgutachtens.

Dr. Guido Reiter und der gesamten Koordinationsstelle für Fledermausschutz und -forschung in Österreich (KFFÖ) verdanke ich viele hilfreiche Tipps und Ratschläge.

Ein großes Dankeschön für die tatkräftige Unterstützung geht auch an alle Helfer bei der Feldarbeit: Veronika Zeus, Julia Prummer, Simone Reichenbach, Anna Richter, Stefan Dietl, Agnes Gerges, Simon Ammermüller, Jasmin Müller und André Gerges. Sie alle haben mit mir auch die längsten Nächte klaglos und gut gelaunt durchgestanden und alle Widrigkeiten gemeistert. Ohne ihre unermüdliche Einsatzbereitschaft und Ausdauer wäre ein so reibungsloser Ablauf der Feldarbeit nicht möglich gewesen.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich auch bei Maria Jerabek, Familie Ammermüller und Familie Putzhammer für das Bereitstellen von Unterkunft und Verpflegung. Auch Familie Widerin, Marianne Heinisch und das Pfadfinderdorf Zellhof (Herr Kronberger) haben uns Unterschlupf gewährt. Dass wir jederzeit auch kurzfristig aufgenommen wurden hat uns die Datenaufnahme sehr erleichtert. Maria Jerabek hat mich darüber hinaus auch bei der Organisation der Feldarbeit an der Salzach tatkräftig unterstützt.

Unverzichtbare Hilfe bei der Statistik habe ich von Christian Lederer, Prof. Dr. Alex Bruckner, Dr. Wolfgang Forstmeier und Dr. Martin Daumer erhalten. Vielen Dank für das Eindenken in meine Daten und das geduldige Beantworten meiner Fragen.

Darüber hinaus danke ich Familie Maier vom Campingplatz Soyen, dem Kajak Club Rosenheim (Herr Schneider), Familie Rogl vom Hintersteiner See, Familie Zirps vom Holzöster See und Maria Mertin vom Walchsee dafür, dass wir auf ihrem Gelände Daten erheben durften. Der ÖBF AG - Forstverwaltung Abtenau danke ich darüber hinaus für die freundliche Zusammenarbeit.

Dieses Projekt wurde finanziell unterstützt vom Elitenetzwerk Bayern (Graduiertenstipendium), EUROBATS (Projects Initiative) und Bat Conservation International (International Student Research Scholarship). Vielen Dank, ohne diese Förderungen wäre eine Realisierung des Projektes nicht möglich gewesen.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass meine Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte Hilfsmittel angefertigt worden ist.

Die vorliegende Dissertation wurde weder ganz, noch teilweise bei einer anderen Prüfungskommission vorgelegt.

Ich habe noch zu keinem früheren Zeitpunkt versucht, eine Dissertation einzureichen oder an einer Doktorprüfung teilzunehmen.

München, den 27.03.17

Michaela Gerges