

Abschlussbericht für die Vorlage bei der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Forstliche Maßnahmen zur Verbesserung von Jagdlebensräumen von Fledermäusen

Verfasst von

Tobias Aschoff
Institut f. Waldwachstum
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Marc Holderied,
Ulrich Marckmann und
Volker Runkel
Lehrstuhl für Zoologie II
Universität Erlangen – Nürnberg

Aktenzeichen:
22437

Projektbeginn:
01.07.2005

Laufzeit:
1 Jahr

Inhalt

1. Zusammenfassung	- 7 -
2. Anlass und Zielsetzung des Projektes	- 10 -
3. Arbeitsschritte und Methoden	- 11 -
3.1. Beobachtung der allgemeinen Fledermausaktivität	- 12 -
3.2. Forstliche Beschreibung der Beobachtungsflächen	- 15 -
3.3. Beobachtung der Fledermausaktivität in verschiedenen Höhengschichten	- 19 -
3.3.1. Erfassung der Fledermausaktivität	- 19 -
3.3.2. Extraktion und Beschreibung von Strukturparametern der Standorte	- 22 -
3.4. Ermittlung von Flugbahnen der Fledermäuse	- 24 -
3.5. Datenerfassung und Auswertung Laserscanning	- 28 -
4. Ergebnisse	- 34 -
4.1. Allgemeine Fledermausaktivität im Ebracher Forst	- 34 -
4.1.1. Detektorbegehungen	- 34 -
4.1.2. Automatische Erfassung	- 35 -
4.1.3. Artweise Betrachtung der Ergebnisse	- 36 -
4.1.4. Zusammenfassung der wichtigsten Fledermausarten und ihre Strukturnutzung	- 40 -
4.2. Fledermausaktivität in verschiedenen Höhengschichten	- 42 -
4.2.1. Vegetationsstruktur der Standorte	- 42 -
4.2.2. Fledermausaktivität an den Standorten	- 45 -
4.2.3. Fledermausaktivität in Abhängigkeit Höhe und Struktur	- 46 -
4.3. Distanzverhalten der Fledermäuse	- 49 -
4.4. Kleinräumige forstliche Veränderungen im Habitat	- 54 -
5. Diskussion	- 55 -
5.1. Raumnutzung durch Fledermäuse	- 55 -
5.2. Bedeutung der Ergebnisse für die Forstwirtschaft	- 57 -
5.2.1. Der "Optimale Fledermauswald"	- 57 -
5.2.2. Bewirtschaftungsformen	- 59 -
5.2.3. Fledermausschutz im Rahmen eines angepassten Z-Baum Konzeptes	- 60 -
5.2.4. Allgemein förderliche Maßnahmen	- 64 -
6. Öffentlichkeitsarbeit	- 67 -
7. Fazit	- 68 -
8. Literatur	- 69 -

Anhang

1. Schriftliche Ausarbeitung des Vortrags „Terrestrische Laserscanner zur Untersuchung von Jagdlebensräumen von Fledermäusen“ gehalten bei den 5. Oldenburger 3D-Tagen (01.02 – 02.02.2006) (Auszug aus Tagungsband)

Abbildungen

- Abbildung 1. Die Karte gibt eine Übersicht über die im Rahmen des geförderten Projekts untersuchten Standorte, sowie die im Rahmen der Promotion von Volker Runkel genutzten Standorte, deren Daten mit in die Bewertung eingehen. Die gesamte schwarz umrandete Fläche wurde 2003 mit Fledermausdetektoren begangen. - 12 -
- Abbildung 2. Bereits im Rahmen der Promotion von Volker Runkel wurden solche Strukturen unterschieden, die sich durch physikalische Parameter für jagende Fledermäuse unterscheiden können. Diese entsprechen in der Regel Phasen der natürlichen Waldentwicklung oder entstehen durch entsprechende Bewirtschaftung. Für die Beschreibung der Standorte wurden diese ins Projekt übernommen. - 13 -
- Abbildung 3. Beobachtungsfläche 1 – ‚Waldweg‘ - 15 -
- Abbildung 4. Beobachtungsfläche 2 – ‚Plenterartiger Wald‘ - 16 -
- Abbildung 5. Beobachtungsfläche 3 – ‚Lichtung‘ - 16 -
- Abbildung 6. Beobachtungsfläche 5 – ‚Waldrand‘ - 17 -
- Abbildung 7. Beobachtungsfläche 6 – ‚Zerfallsphase‘ - 17 -
- Abbildung 8. Beobachtungsfläche 7 – ‚Hallenwald‘ - 18 -
- Abbildung 9. Beobachtungsfläche 8 – ‚Fichtenwald‘ / ‚Rückegasse‘ - 18 -
- Abbildung 10. Abbildung 1.: Schemazeichnung der Teleskopstangeinstallation am Baum zum Hochziehen der Mikrofonkette - 20 -
- Abbildung 11. Schnitte durch die Voxel-Räume. A: ‚Hallenwald‘, B: ‚Lichtung‘, C: ‚Zerfallsphase‘, D: ‚Plenterartiger Wald‘. Die Schnitte sind jeweils 40m breit und 10m tief. - 21 -
- Abbildung 12. Horizontalschnitte (A und B) bzw. Vertikalschnitte (C und D) durch einen Voxel-Raum. Die grau eingezeichneten Zonen sollen verschiedene Raumnutzungsstrategien verdeutlichen. A und C zeigen die potentiellen Flugräume einer Art die bevorzugt in einem bestimmten Abstand an Strukturen jagt. B und D dagegen stellen die Aufenthaltsgebiete bei gleichmäßiger Nutzung des Raumes ab einem bestimmten Minimalabstand zur Vegetation dar. - 22 -
- Abbildung 13. Bildhafte Darstellung eines Arrays. An den Enden eines auf dem Kopf stehenden, T-förmigen Rundrohrgerüsts ist jeweils ein Mikrophon installiert. Diese ermöglichen, zusammen mit dem Zentralmikrophon, die Aufzeichnung der Rufe und die Berechnung der Position der Fledermaus zum Rufzeitpunkt (aus Reh, 2006). - 24 -
- Abbildung 14. Standort ‚Waldweg‘, Blickrichtung von Ebrach kommend in Richtung Wald. Zu sehen sind die beiden aufgebauten und bereits ausgerichteten Arrays, sowie im Hintergrund einige, der als Bezugsreferenz für die späteren Laserscans dienenden Holzpflocke (aus Reh, 2006). - 25 -
- Abbildung 15. Fotografie des Weges am Standort ‚Waldrand‘. Am linken Bildrand sieht man die sehr dichte Waldrandvegetation, ganz rechts im Schatten ist eine ähnlich dichte Hecke. In der Bildmitte steht das fertig aufgestellt Tarnnetz (9 x 6 m) bei einer der letzten Verengungsstufen. Ganz rechts erkennt man Zweige und Stoffbänder mit denen verhindert wurde, dass Fledermäuse durch die breitere Schneise auf der abgewandten Seite des Netzes flogen. - 26 -
- Abbildung 16. Übersicht über die lasergescannten Beobachtungsflächen im Ebracher Forst. In der ersten Messkampagne (36. KW 2005) sind 48

- Laserscans, in der zweiten Messkampagne (17. KW 2006) sind 32 Laserscans aufgenommen worden..... - 28 -
- Abbildung 17. Schnitt durch einen Voxel-Raum. Dargestellt sind leere (Weiß), unbeobachtete (Schwarz) und gefüllte (Farbverlauf Rot bis Grün) Würfel. Der Farbverlauf zeigt die radialen Distanzen der leeren Würfel zum nächsten gefüllten Würfel (ermittelt mit Distanz-Transformation). - 30 -
- Abbildung 18. Schnitt durch die gescannten Punktwolken der Beobachtungsfläche ‚Waldrand‘ mit eingeblendeten Flugbahnen der Aufnahmenacht 8 vom 31.07.2005. Das zweidimensionale Raumprofil ist quer zur Forststraße und der Hauptflugrichtung der Fledermäuse gelegt. Die 31 Flugbahnen liegen in der Mitte des offenen Profils. - 31 -
- Abbildung 19. Falschfarben Entfernungsbild am ‚Waldrand‘. Das Bild beschreibt den Blick einer realen Fledermaus aus der Position und Richtung, die an dieser Stelle mittels der Mikrofonarrays beobachtet wurde. Das Blickfeld hat einen Öffnungswinkel von 180 Grad, wodurch sich eine Bildgröße von 180 x 180 Pixel (bei einer Auflösung von 1 Grad/Pixel in horizontaler wie auch vertikaler Richtung) ergibt. - 32 -
- Abbildung 20. Die aus der Promotion vorliegenden Ergebnisse der Detektorbegehungen wurden mit Hilfe eines GIS-Systems ausgewertet. Basierend auf einem 50m*50m Raster wurden die Kontakte für jeden Rasterquadranten ermittelt und mit Hilfe einer Farbkodierung dargestellt. (siehe auch Abbildung 21) - 34 -
- Abbildung 21. Artendichte für jeden Rasterquadranten (siehe Promotion Runkel) auf einem 50m*50m Raster. (siehe auch Abbildung 20) - 35 -
- Abbildung 22. Bei Zusammenfassung aller Aktivität, d.h. ohne Unterscheidung der einzelnen Arten, ergibt sich die abgebildete Verteilung auf die einzelnen, untersuchten Strukturen. Der Eschenbruch (EE) und der Waldweiher (Wk) wurden nur in zwei Nächten während allgemein hoher Aktivitätszeiten untersucht und sind daher vermutlich überbewertet. Die Struktur Kürzel sind in der nächsten Abbildung aufgeschlüsselt. - 36 -
- Abbildung 23. Für die einzelnen unterschiedenen Arten wurde je Struktur die relative Dichte (Aktivitätszeit in Sekunden / Aufnahmenächte) ermittelt und vergleichend abgebildet. - 38 -
- Abbildung 24. Je Fledermausart wurde an Hand der Dichte die prozentualen Aktivitätsanteile je untersuchter Struktur berechnet und über die Fläche der Fledermaussilhouette kodiert. Die Matrix zeigt sowohl die Nutzung der Strukturen durch einzelne Fledermausarten als auch die Diversität an den einzelnen Strukturen. Durch grüne Umrandungen sind besonders wichtige Standorte, durch rote wenig genutzte hervorgehoben. - 41 -
- Abbildung 25. Struktur des Standortes ‚Hallenwald‘. A und B zeigen vertikale Schnitte durch die Distanzmatrix in Höhe der Mikrofonkette (in Rot). Der Radius des Raumes um die Mikrofone, der in die Strukturauswertung einging, ist im Horizontalschnitt (C, 12,5m Höhe) eingezeichnet. Der Profilplot D zeigt die resultierende Verteilung der Voxel auf Entfernungsklassen. Rot sind die Ober- und Untergrenzen der Mikrofon-schichten eingefügt. - 43 -
- Abbildung 26. Struktur des Standortes ‚Lichtung‘. A und B zeigen vertikale Schnitte durch die Distanzmatrix in Höhe der Mikrofonkette (in Rot). Der

	Radius des Raumes um die Mikrofone, der in die Strukturauswertung einging, ist im Horizontalschnitt (C, 12,5m Höhe) eingezeichnet. Der Profilplot D zeigt die resultierende Verteilung der Voxel auf Entfernungsklassen. Rot sind die Ober- und Untergrenzen der Mikrofon-schichten eingefügt. - 43 -
Abbildung 27.	Struktur des Standortes ‚Plenterartiger Wald‘. A und B zeigen vertikale Schnitte durch die Distanzmatrix in Höhe der Mikrofonkette (in Rot). Der Radius des Raumes um die Mikrofone, der in die Strukturauswertung einging, ist im Horizontalschnitt (C, 12,5m Höhe) eingezeichnet. Der Profilplot D zeigt die resultierende Verteilung der Voxel auf Entfernungsklassen. Rot sind die Ober- und Untergrenzen der Mikrofon-schichten eingefügt. - 44 -
Abbildung 28.	Struktur des Standortes ‚Zerfallsphase‘. A und B zeigen vertikale Schnitte durch die Distanzmatrix in Höhe der Mikrofonkette (in Rot). Der Radius des Raumes um die Mikrofone, der in die Strukturauswertung einging, ist im Horizontalschnitt (C, 12,5m Höhe) eingezeichnet. Der Profilplot D zeigt die resultierende Verteilung der Voxel auf Entfernungsklassen. Rot sind die Ober- und Untergrenzen der Mikrofon-schichten eingefügt. - 44 -
Abbildung 29.	Mittlere Nutzung der vier Untersuchungsstandorte durch die Arten/Gattungen - 46 -
Abbildung 30.	Höhenverteilung der Aktivitäten an den vier Standorten. Den Diagrammen sind die prozentualen Anteile der Flugraumzonen hinterlegt; sie entsprechen den Darstellungen in den Grafiken 4-7. - 47 -
Abbildung 31.	Mittlere relative Dichte in Abhängigkeit von der Höhe - 48 -
Abbildung 32.	Darstellung der am Standort ‚Zerfallsphase‘ erfassten Flugbahnen. Links in Aufsicht. Rechts in Seitenansicht. Jeder Ortungsruf wird als Viereck dargestellt, einzelne Rufe des gleichen Individuums sind von gleicher Farbe und durch Linien miteinander verbunden. Die Position der Arrays sind durch weiße Würfel dargestellt. Zu sehen ist die diffuse Verteilung der Bahnen sowohl in der Höhe (3-17m) als auch in der Fläche (15x12m) (AUS REH, 2006)..... - 50 -
Abbildung 33.	Prozentsatz der Individuen die den Flugkorridor benutzen als Funktion der Verengungsstufe. Es wurde unterteilt in Mopsfledermaus, Zwergfledermaus und alle Myotis. 246 Bahnen wurden ausgewertet. Die bei den Verengungsstufenklassen angegebenen Distanzwerte entsprechend den Abständen zwischen der Hecke und dem Tarnnetz. Die Flugschneisenbreite ist die gesamte Wegbreite abzüglich dieses Wertes. - 54 -
Abbildung 34.	Die räumliche Verteilung der Z-Bäume und die zeitliche Staffelung der Endnutzung wirkt sich auf die Vielfalt der für Fledermäuse wichtigen Strukturen aus. Die ungünstigste Konstellation ist eine homogene Anordnung und Altersstruktur der Z-Bäume - 62 -
Abbildung 35.	Die kleinflächige Strukturvielfalt hängt stark von der Flächengröße und Maßnahme der Endnutzung ab. Während durch schlagweise, gleichzeitige Endnutzung von Z-Bäumen größerflächig, homogene Bereiche entstehen, erlaubt die Femelung die Schaffung eines kleinflächigen Strukturmosaiks. - 63 -

Tabellen

Tabelle 1.	Übersicht der Erfassungsächte mit der Mikrofonkette.....	- 20 -
Tabelle 2.	Übersicht über die extrahierten Strukturparameter jeder Mikrofon-schicht.	- 23 -
Tabelle 3.	Übersicht der Klassifizierten Würfel der Beobachtungsfläche „Plenterartiger Wald“. Der gewählte Ausschnitt hat eine horizontale Ausdehnung von 20 x 20 m. Die Höhe des Voxel-Raum ist 30 m, wobei die untere Grenze auf Höhe des Scannerzentrum liegt (Höhe 0) und somit keine Bodenstruktur beinhaltet. Die Würfel haben eine Kantenlänge von 10 cm. Zur Klassifikation ist $S_n=10$ und $S_p=0.2$ gewählt.....	- 33 -
Tabelle 4.	Akustisch nachgewiesene Taxa und deren Gruppierung für die weiteren Analysen zur Höhenverteilung	- 45 -
Tabelle 5.	Verteilung der 352 im Sommer 2005 aufgezeichneten Flugbahnen auf die verschiedenen angetroffenen Fledermausarten.	- 50 -

1. Zusammenfassung

Wald als Lebensraum von Fledermäusen muss neben einer ausreichenden Anzahl von Quartieren auch geeignete Jagdlebensräume bieten. Da die Waldstrukturen als Jagdlebensraum von Fledermäusen bisher nicht umfassend untersucht sind, ist es notwendig diese Strukturen festzustellen um sie dauerhaft vorzuhalten oder auch erst zu schaffen.

Um die Fragestellung der räumlichen Verteilung der Waldstrukturen in Zusammenhang mit dem Flugverhalten von Fledermäusen zu untersuchen, wird eine räumliche Erfassung der Fledermausaktivität und der Strukturverteilung des Waldes durchgeführt. Mit speziellen akustischen Apparaturen werden die Fledermausarten erfasst, die Aktivität der Fledermausarten ermittelt und einzelne Flugbahnen der Fledermäuse vermessen. Für die Ermittlung der Waldstrukturen werden terrestrisch erfasste Laserscandaten verwendet.

Im Naturwaldreservat Waldhaus (Steigerwald) sind, auf Basis im Vorfeld vorhandener Untersuchungen der Fledermausaktivität, 8 Beobachtungsflächen ausgewählt worden, die eine hohe Artendichte und eine hohe Aktivität aufwiesen. Es wurde weiterhin Augenmerk darauf gerichtet möglichst verschiedenartige Flächen in Bezug auf Waldstruktur und Alterstufen auszuwählen. Für die Ableitung von dreidimensionalen Raummodellen wurden auf den Beobachtungsflächen terrestrische Laserscandaten erhoben. Für einige der Beobachtungsflächen ist die Fledermausaktivität in verschiedenen Höhenstufen untersucht worden. Die Ermittlung einzelner Fledermausflugbahnen wurde vordergründig auf den Beobachtungsflächen durchgeführt, die lineare Strukturen wie Wegränder aufweisen.

Die Strukturbeschreibung der Beobachtungsflächen auf denen die Fledermausaktivität in Abhängigkeit der Höhe ermittelt wurde erfolgt mit Voxel-Raum Modellen, die aus den gescannten Laserdaten abgeleitet sind. Die Voxel-Raum Modelle beschreiben den untersuchten Raum durch klassifizierte diskrete Elemente. Für das Modell sind aneinander liegende, rasterförmig angeordnete Würfel mit 20 cm Kantenlänge ausgewählt.

In den Abstandswerten zwischen den als Leer klassifizierten Würfel zu den nächsten Würfeln die als Gefüllt klassifiziert sind, wird die Struktur des offenen zur Verfügung stehenden Fugraums quantitativ erfassbar. Durch die räumliche Zuordnung dieses potentiellen Flugraumes zu der höhenabhängigen Fledermausaktivität wird eine direkte Ableitung der Nutzung der verschiedenen Strukturen durch die Fledermäuse möglich.

Die Aufnahmen einzelner Fledermausflugbahnen erfolgte in der Saison 2005 und 2006. Im Jahr 2006 wurde ein Experiment durchgeführt, bei dem die Flugschneise entlang eines Weges schrittweise verkleinert wurde. Das Distanzverhalten der Fledermäuse der einzelnen Flugbahnen wird durch den räumlichen Verschnitt der Flugbahnen mit den Laserdaten untersucht.

Die Ableitungen der allgemeinen Fledermausaktivität zeigte einen hohen Artenreichtum und eine hohe Aktivität im Buchen-Hallenwald, an den Randstrukturen (Waldrand, Waldweg) und auf Lichtungen. Im Gegensatz dazu war die Diversität in jüngeren bzw. dichteren Waldbereichen sehr gering und beschränkt auf einzelne

Arten der Gattung *Myotis*. Schirmschlagflächen und plenterartige Bereiche wurden mit Ausnahme der Mopsfledermaus dennoch von allen Arten genutzt.

Wird die Aktivität in Abhängigkeit der Flughöhe der Fledermäuse und der Struktur des Waldes untersucht, lässt sich für alle Taxa feststellen, dass die Aktivität in und über der Kronenschicht (ab 20m) im Mittel aller Standorte geringer war, als unter den Kronen. Je lückiger das Kronendach war, desto stärker wurden auch höhere Schichten genutzt. Sehr deutlich wird dies, wenn man den ‚Hallenwald‘ (Kronendach geschlossen, Unterschicht sehr licht) mit dem Standort ‚Plenterartiger Wald‘ (durch gestuftes Kronendach Oberschicht sehr licht) vergleicht.

Aus den Untersuchungen der einzelnen Fledermausflugbahnen zeigt sich, dass auf einer zugewachsenen Rückegasse mit einer Verengung von weniger als 1m, die Engstelle von fast allen Fledermäusen auf einer offenen ‚Ausweichroute‘ umflogen wurde. Lediglich besonders manövrierfähige Fledermausarten folgten ihrem geradlinigen Weg. Nach Entfernen der Engstelle nutzte ein Grossteil der Fledermäuse wieder geradlinig die freie Schneise, was zeigt dass Flugschneisen die Zugänglichkeit des Waldes für verschiedene Arten unterschiedlich stark beeinträchtigen.

Im Experiment der Saison 2006 zeigte sich eine eindeutige Abnahme der Nutzung durch die Fledermäuse bei einer Verkleinerung der Schneisenbreite. Es wurde beobachtet, dass die verschiedenen Fledermausarten bei verschiedenen Schneisenbreiten den Flugkorridor verließen und Ausweichrouten benutzten. Für die besonders bedrohte Mopsfledermaus ergab sich, dass im Wald lineare Schneisen mit einer Breite von minimal 2.5 m bereitgestellt werden müssen, um die Habitatzugänglichkeit zu ermöglichen. Insgesamt zeigt sich, dass lineare Strukturen die Zugänglichkeit des Waldes für verschiedene Arten unterschiedlich stark beeinflusst.

Aus der Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt sich, dass die für Mitteleuropa typischen Buchenurwälder, die ein Mosaik aus Optimalstadien (Buchenhallenwald), Zerfallsstadien (lückiger Kronenschicht) und Heranwachsstadien (mehrschichtiger Aufbau), den optimalen „Fledermauswald“ darstellen.

Für Wirtschaftswälder leitet sich ab, dass relevante Fledermauslebensräume auch ökonomisch sinnvoll am ehesten mit einem Z-Baum Nutzungskonzept nachhaltig vorgehalten werden können, worin einige Anforderungen der Fledermäuse zu berücksichtigen sind. Die besonderen Anforderungen sind eine geringe Anzahl Z-Bäume, von den Z-Bäumen sollten bei der Zielstärkennutzung 10 Ewigkeitsbäume ausgeschrieben und aus der Nutzung genommen werden, Zwischenfelder als "dynamische Inseln" sich selbst überlassen und möglichst nicht genutzt werden, zu regelmäßige Verteilung der Z-Bäume vermieden werden, die Endnutzung der Z-Bäume gruppenweise und zeitlich gestaffelte erfolgen und Niederdurchforstungen unter Gruppen von älteren Z-Bäumen durchgeführt werden.

Abgeleitete, allgemein förderliche Maßnahmen für einen effektiven Fledermausschutz in Wäldern sind wertvolle Altholzbestände zu erhalten, geeignete Biotopbäume auszuzeichnen und deren dauerhafte Vorhaltung sicherzustellen, Biotopbaum-Inseln ("Gammelecken") zu schaffen, keinen großflächigen, einschichtigen, jungen Wald zu schaffen und "Sonderstrukturen", wie Waldwege und Schneisen geeigneter Breite offen zu halten.

Die für das Projekt geplanten Ziele wurden erreicht. Auf Anfrage zeigte sich der Forstbetrieb Ebrach, insbesondere dessen Leiter Ulrich Mergner, bereit, die Ergebnisse in die aktuelle Bewirtschaftung mit einfließen zu lassen. Zur Zeit wird in einer engeren Kooperation eine Einarbeitung unserer Maßnahmen in das "Naturschutzkonzept für den Forstbetrieb Ebrach" (der den Großteil des Steigerwaldes umfasst) durchgeführt, welches ab 2007 Einzug in die forstliche Praxis haben wird. Ebenso soll dieses intern im Betrieb Bayerische Staatsforste und auch extern Verbreitung finden und Modellcharakter haben.

Insgesamt sieht dieses Modell auch ein Z-Baum Konzept vor, das auch der Bereitstellung des Holzes als nachwachsenden Rohstoff Rechnung trägt. Im Dialog wurden und werden weitere wichtige Aspekte erarbeitet. Des Weiteren wird in Zukunft auch eine enge Zusammenarbeit des Forstbetriebs mit Naturschützern der Region durchgeführt. Als Auftaktveranstaltung findet am 19.10.2006 ein erstes Treffen mit dem Thema "Natur- und Artenschutz im Forstbetrieb Ebrach" statt, bei dem auch wir teilnehmen werden.

2. Anlass und Zielsetzung des Projektes

Ziel des Vorhabens ist es, mit Hilfe von dreidimensionalen Daten zur Waldstruktur und zum Jagdverhalten von Fledermäusen Maßnahmen zum Erhalt und zur Schaffung von Fledermaushabitaten in Wäldern abzuleiten und beispielhaft umzusetzen.

Die fortwährende Nutzung durch den Menschen hat einen starken Einfluss auf den Wald als Lebensraum für viele Tierarten. Schon seit längerem wird vermutet, dass sich durch die Waldbewirtschaftung die Quartierangebote für Fledermäuse verringert haben. Bis jetzt sind die Auswirkungen des Fehlens von entsprechenden Waldstrukturen für Jagdlebensräume von Fledermäusen nicht umfassend untersucht. Aus diesem Grund ist es notwendig, festzustellen, auf welche Waldstrukturen Fledermäuse für die Jagd angewiesen sind, um diese Strukturen dauerhaft vorzuhalten oder auch erst zu schaffen. Da Analysen dieser Jagdstrukturen bislang kaum vorhanden sind, soll das im Folgenden vorgestellte Vorhaben einen Beitrag dazu leisten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Ableitung von forstlichen Maßnahmen. Da hierfür nicht nur die Baumartenzusammensetzung, sondern auch die dreidimensionale Struktur des Habitats genauer untersucht werden müssen, sollen für derartige Untersuchungen die räumlichen Daten der Vegetationsstruktur als auch der Fledermausaktivität in allen drei Dimensionen erfasst werden. Der Lehrstuhl für Zoologie II der Universität Erlangen-Nürnberg beschäftigt sich mit der Untersuchung der Lebensweise von Fledermäusen durch moderne und nichtinvasive bioakustische Erfassungsmethoden. So verfügt der Lehrstuhl über Apparaturen zur automatischen Erfassung der Ultraschallrufe der Fledermäuse. Mittels derer kann eine Einschätzung der Aktivität sowie eine Rekonstruktion der Flugbahnen erfolgen. Das Institut für Waldwachstum der Universität Freiburg führt Untersuchungen zur Steuerung des Waldwachstums durch und leitet Bauminventurdaten aus terrestrisch erfassten Laserscandaten ab. Diese Form der forstlichen Datenerfassung ist derzeit ein aktuelles Forschungsgebiet. Mit diesen Daten ist es möglich, sehr genau Strukturen in Wäldern zu analysieren und mit Parametern zu beschreiben und so eine dreidimensionale Darstellung der Vegetation sowie Steuerungsgrößen für das Waldwachstum abzuleiten. Die Kombination dieser verschiedenartigen Forschungsschwerpunkte ermöglicht es, ein durchgängiges Konzept zum Schutz von Jagdlebensräumen von Fledermäusen in Wäldern aufzustellen, indem Fledermaushabitate untersucht und forstliche Handlungsanweisungen abgeleitet werden.

3. Arbeitsschritte und Methoden

Das Untersuchungsgebiet des Projektes liegt im Naturwaldreservat Waldhaus (Steigerwald), im bayerischen Forstamt Ebrach im Distrikt X Abteilung 5,6,7. Das gewählte Gebiet ist durch alte Buchen- und Buchen-Eichenmischbestände mit hohem Totholzanteil geprägt. Zum Teil sind auch jüngere Buchenrein-, Fichten- und Mischbestände zu finden. Im Gebiet sind geschotterte Forststraßen und Rückegassen, die lineare Schneisen bilden, vorhanden.

Für die Durchführung des Projektes wurden 8 Flächen mit erhöhter Fledermausaktivität ausgewählt. Die einzelnen Beobachtungsflächen befinden sich in Beständen verschiedener Waldentwicklungsphasen und unterscheiden sich daher deutlich in den Waldstrukturen (siehe Kapitel 3.2 „Forstliche Beschreibung der Beobachtungsflächen“).

Im Naturwaldreservat Steigerwald ist eine Vielzahl an Fledermausarten zu finden. Zur Ermittlung der vorkommenden Arten und zur Untersuchung der Aktivität der Fledermäuse im Gebiet wurden akustische Ortungssysteme eingesetzt mit denen Rufsequenzen fliegender Fledermäuse aufgenommen worden sind.

Auf einigen der gewählten Beobachtungsflächen wird für eine höhenabhängige Untersuchung der Fledermausaktivität Mikrofone an senkrecht aufgehängten Ketten verwendet. Die so erfassten akustischen Daten lassen eine geschichtete Untersuchung der Fledermausaktivität zu (siehe Kapitel 3.3 „Beobachtung der Fledermausaktivität in verschiedenen Höhenschichten“).

Zur präzisen Untersuchung des Flugverhaltens einzelner Individuen werden mit speziellen 2x4 Kanal Tonrekordern hochgenaue dreidimensionale Einzelflugbahnen jagender Fledermäuse ermittelt (siehe Kapitel 3.4 „Ermittlung von Flugbahnen der Fledermäuse“).

Zur Untersuchung der räumlichen Struktur des Bewuchses der Beobachtungsflächen wurde terrestrisches Laserscanning eingesetzt (siehe Kapitel 3.5 „Datenerfassung und Auswertung Laserscanning“). Aus den aufgenommenen dreidimensionalen Daten werden zusammen mit den Daten zur Aktivität der Fledermäuse die genutzten Flugräume untersucht.

3.1. Beobachtung der allgemeinen Fledermausaktivität

Für die Analyse der von Fledermäusen für die Jagd genutzten Waldstrukturen lagen bereits Daten von Erfassungen aus den Jahren 2003 und 2004 vor, die im Rahmen zweier Promotionen gesammelt worden waren. Im Sommer 2005 wurde die reguläre Datenerhebung für die Promotion von Volker Runkel durch zusätzliche Erfassungen für das geförderte Projekt ergänzt.

Datengrundlage 2003 - Detektorerfassung

Aus dem Zeitraum Mai bis August 2003 standen Aktivitätsinformationen aus insgesamt 32 Nächten zur Verfügung, in denen jeweils zwei Personen quasi-zufällige Detektortranssekte für die Dauer von drei Stunden ab Sonnenuntergang im Untersuchungsgebiet zurückgelegt haben. Es kamen Heterodyn-Detektoren mit integrierter Zeitdehnerfunktionalität zum Einsatz (PETERSSON D240x), Aufnahmen wurden im Feld auf MiniDisc gespeichert (SONY MZ-R501). Alle Aufnahmen, insgesamt 454, wurden später an einem Computer digitalisiert und auf Gattungsniveau analysiert (AVISOF T SASLAB Pro 4.x). Bei der Gattung *Pipistrellus* wurden auch die drei anwesenden Arten diskriminiert.

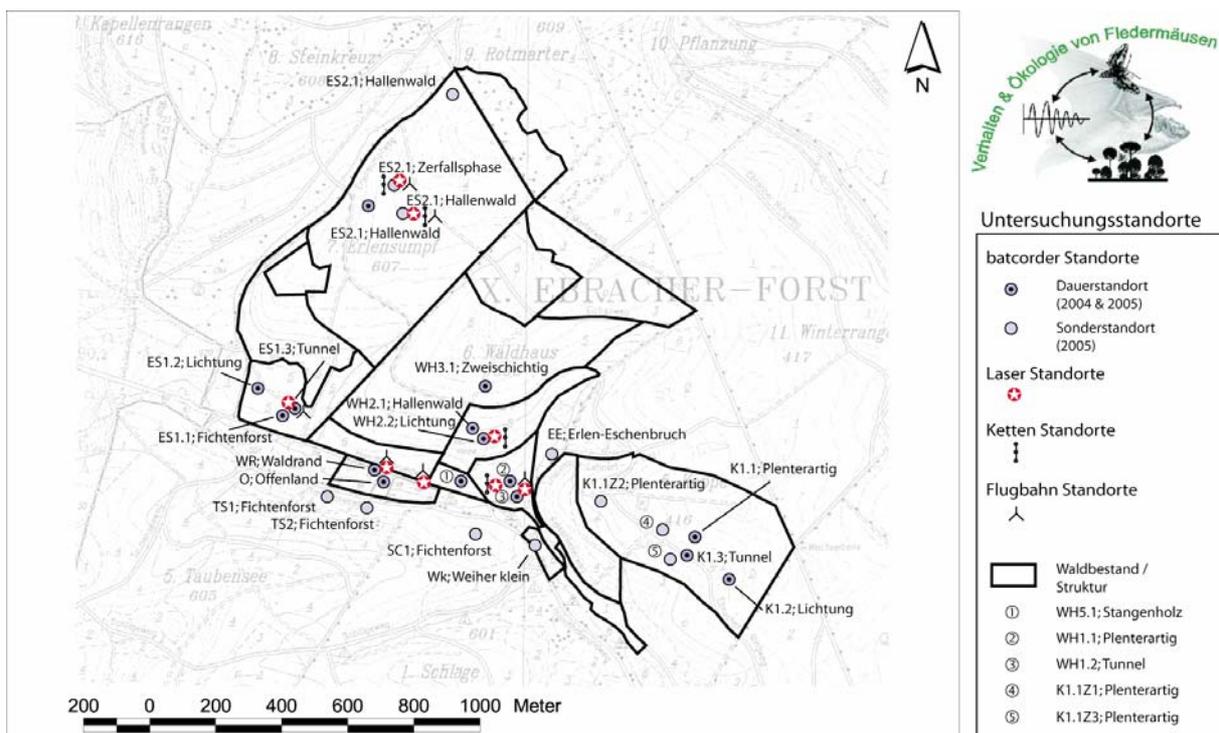


Abbildung 1. Die Karte gibt eine Übersicht über die im Rahmen des geförderten Projekts untersuchten Standorte, sowie die im Rahmen der Promotion von Volker Runkel genutzten Standorte, deren Daten mit in die Bewertung eingehen. Die gesamte schwarz umrandete Fläche wurde 2003 mit Fledermausdetektoren begangen.

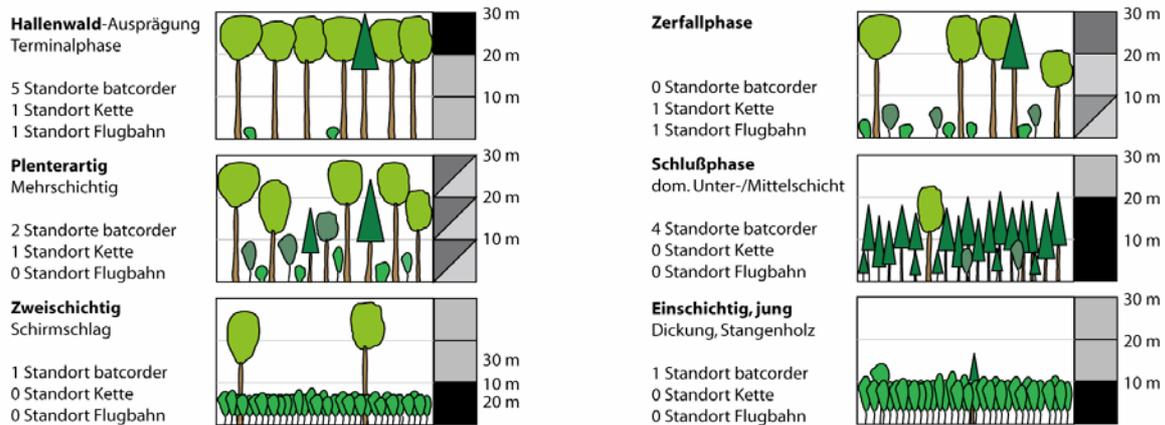
Datengrundlage 2004 bis 2005 - automatische Erfassung

Die Aktivitätserfassung in den Sommern 2004 und 2005 wurde mit speziellen Aufnahmegeräten durchgeführt, die von Volker Runkel und Ulrich Marckmann im Rahmen ihrer Promotionen entwickelt worden waren und im Folgenden als batcorder bezeichnet sind. Diese weltweit einzigartigen Geräte führen eine Online-Analyse des

anliegenden Mikrofonsignals durch und unterscheiden Fledermausrufe von anderen Schallereignissen. Befindet sich eine Fledermaus im Erfassungsbereich, wird eine hochqualitative Aufnahme (500 kS/s, 16 bit) gestartet, die beim Verschwinden des rufenden Tiers gestoppt wird. Somit liegen von allen detektierten Fledermäusen Aufenthaltsdauern am untersuchten Standort vor. Diese Technik wird ausführlich in der Dissertation von Volker Runkel diskutiert (unveröffentlicht).

Im Zeitraum Juni bis September 2004 konnten in insgesamt 21 Nächten fünf batcorder simultan eingesetzt werden (75 Erfassungen gesamt), von Mai 2005 bis Oktober 2005 bis zu acht Geräte in über 40 Nächten (200 Erfassungen). An vier von fünfzehn Dauerbeobachtungsstandorten, die im Rahmen der Promotion von Volker Runkel untersucht wurden, konnten im Rahmen des geförderten Projektes Flugbahn- und Laserdaten erhoben werden (‚Waldweg‘, ‚Waldrand‘, ‚Fichtenwald‘, ‚Lichtung‘).

Untersuchte Waldstrukturen



Untersuchte Sonderstrukturen

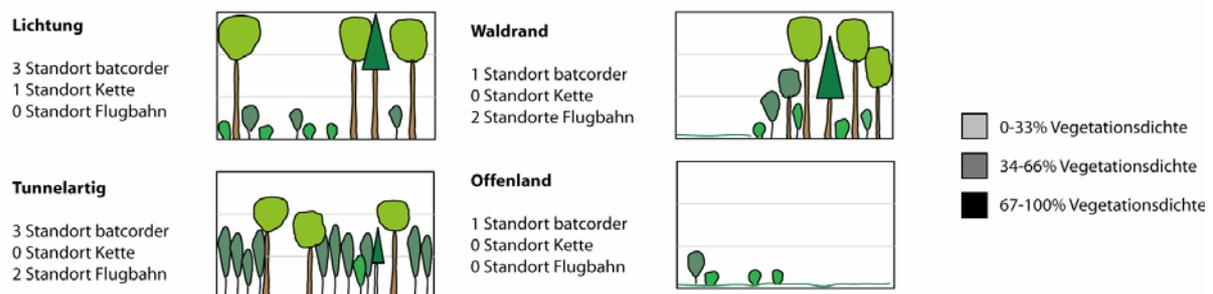


Abbildung 2. Bereits im Rahmen der Promotion von Volker Runkel wurden solche Strukturen unterschieden, die sich durch physikalische Parameter für jagende Fledermäuse unterscheiden können. Diese entsprechen in der Regel Phasen der natürlichen Waldentwicklung oder entstehen durch entsprechende Bewirtschaftung. Für die Beschreibung der Standorte wurden diese ins Projekt übernommen.

Mit den batcordern konnten insgesamt über 24.000 Aufnahmen von Fledermausereignissen verzeichnet und in die Analyse eingegeben werden. Mittels einer speziell entwickelten Software (Volker Runkel, bcAdmin) konnten diese automatisch vermessen und diskriminiert werden. Die statistische Analyse mittels des randomForest-Verfahrens (BREIMAN, 2001; BREIMAN ET AL., 1983) erlaubte die sichere Trennung von Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*), Mückenfledermaus (*P. pygmaeus*), Rauhaufledermaus (*P. nathusii*), Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*), Großem Mausohr (*Myotis myotis*) und der Fransenfledermaus (*M.*

nattereri). Nicht auf Artniveau konnten die Gattungen *Nyctalus* und *Plecotus* getrennt werden. Außerdem gelang auf Grund zahlreicher unbekannter Ruftypen die Trennung der kleinen und mittelgroßen *Myotis*-Arten nicht mit entsprechender Sicherheit, daher wurden für die Aktivitätsermittlung Bechsteinfledermaus (*M. bechsteini*), Brandtfledermaus (*M. brandtii*), Kleine Bartfledermaus (*M. mystacinus*) und Wasserfledermaus (*M. daubentonii*) zu einer Gruppe zusammengefasst, die im Weiteren als *Myotis "rest"* bezeichnet wird.

Die Erfassungsstandorte (im Rahmen der Promotion, deren Ergebnisse mit ins Projekt einfließen konnten) waren so gewählt worden, dass die im Gebiet vorhandenen, unterscheidbaren und typischen Waldstrukturen wenigstens einmal, wenn möglich mehrfach in der Untersuchung repräsentiert waren. Es konnten zwei Hallenwaldstandorte, zwei mehrschichtige Aufnahmestellen, ein Waldbereich in Stangenholz-Ausprägung (einschichtig, jung), ein Fichtenforst (schwaches Baumholz, Schlussphase), ein zweischichtiger Bestand, drei Lichtungen (in verschiedenen strukturierten Wäldern), drei Waldwegstandorte, eine Waldrandlokalität sowie ein Offenlandstandort im ca. zweiwöchigem Turnus untersucht werden. Zusätzlich zu diesen fünfzehn Dauerbeobachtungsstandorten wurden im Sommer 2005 im Rahmen des durchgeführten Projekts weitere, als Sonderstandorte bezeichnete Flächen, besampelt. Es handelte sich dabei um drei Aufnahmeorte in schlagreifem Fichtenforst (Schluß-/Reifephase) sowie weitere Aufnahmestandorte in plenterartigen Beständen, im Hallenwald und in einem Eschenbruchwald. An diesen wurde während des Zeitraums Mitte Juni bis Anfang August eine Erfassung in einer oder wenigen Nächten durchgeführt. Die Standorte sind in der Abbildung 1 dargestellt, die untersuchten Strukturen sind beispielhaft in Abbildung 2 gezeigt.

Für die Bewertung der Strukturnutzung wurde die relative Fledermausdichte je Art und Struktur berechnet. Diese ergibt sich aus der Anzahl Sekunden mit Fledermausaktivität dividiert durch die Anzahl der Erfassungsnächte je Struktur. Für die Projektergebnisse wurde keine Differenzierung der aufgezeichneten Sequenzen vorgenommen, d.h. Transferflug, Jagdereignisse sowie soziale Interaktion gehen in die Ergebnisse gleichwertig ein.

Es ist außerdem zu beachten, dass im Gegensatz zu den Dauerbeobachtungsstandorten an den Sonderstandorten nur in Monaten mit hoher Fledermausaktivität Erfassungen durchgeführt wurden. Die Dichten werden unter Umständen an diesen Standorten überbewertet, da Erfassungen in Fledermaus-armen Monaten fehlen!

3.2. Forstliche Beschreibung der Beobachtungsflächen

Auf Basis der Beobachtungen und der Analyse der allgemeinen Fledermausaktivität wurden 8 Beobachtungsflächen im Ebracher Forst ausgewählt (siehe auch Übersicht in Abbildung 16).

Beobachtungsfläche 1 – ‚Waldweg‘

Eichen - Buchen Mischbestand, mit ca. 145 jährigen Eichen-Altholz im Herrschenden. Im Unterstand sind Buchen aller Altersklassen vom Stangen- bis mittleren Baumholz vorhanden. Dem Bestand ist Ahorn einzeln beigemischt. Der Kronenschlussgrad ist geschlossen bis gedrängt. Buchen-Naturverjüngung ist vorhanden.



Abbildung 3. Beobachtungsfläche 1 – ‚Waldweg‘

Beobachtungsfläche 2 – ‚Plenterartiger Wald‘

Ein ca. 170 jähriger, lockerer Eichen - Buchen Mischbestand mit vereinzelt Waldkiefern. Hainbuchen befinden sich in der zweiten Baumschicht. Es ist stehendes und liegendes Totholz zu finden, vereinzelt ist ca. 15-jährige Buchen-Naturverjüngung vorhanden.



Abbildung 4. Beobachtungsfläche 2 – ‚Plenterartiger Wald‘

Beobachtungsfläche 3 – ‚Lichtung‘

Buchenreinbestand mit ca. 150 - 300 jährigen Buchen im Herrschenden. Ca. 30 - 60 / 80 jähriges schwaches bis starkes Buchen-Baumholz. Der Kronenschlussgrad ist licht bis geschlossen. Buchen-Naturverjüngung ist vorhanden.



Abbildung 5. Beobachtungsfläche 3 – ‚Lichtung‘

Beobachtungsfläche 4 und 5 – ‚Waldrand‘

Diese zwei Plots befinden sich auf einem Weg, der am Waldrand entlangführt. Auf der einen Seite des Wegs bilden Hainbuchen, Eichen und Kiefern sowie einige Sträucher den Waldrand. Die andere Seite ist zum größten Teil durch eine ca. sechs Meter hohe Hecke aus Schwarzdorn, Hartriegel und Traubenkirsche begrenzt.



Abbildung 6. Beobachtungsfläche 5 – ‚Waldrand‘

Beobachtungsfläche 6 – ‚Zerfallsphase‘

Ein ca. 145-jähriger Buchenreinbestand mit lockerem Kronenschlussgrad. Der Plot ist durch eine im Durchmesser ca. 30 m große, vergraste Lücke gekennzeichnet, die durch Windwurf entstanden ist. Buchen-Naturverjüngung (ungefähr 15-jährig) ist neben liegendem Totholz auf dem Waldboden zu finden.



Abbildung 7. Beobachtungsfläche 6 – ‚Zerfallsphase‘

Beobachtungsfläche 7 – ‚Hallenwald‘

Ca. 145-jähriger Buchen-Altholz Reinbestand mit lockerem Kronenschlussgrad. Naturverjüngung ist vereinzelt vorhanden.



Abbildung 8. Beobachtungsfläche 7 – ‚Hallenwald‘

Beobachtungsfläche 8 – ‚Fichtenwald‘ / ‚Rückegasse‘

Ca. 40-jähriges schwaches bis mittleres Fichten-Baumholz. In geringer soziologischer Stellung ist Buche, Esche, Linde, Kirsche und Douglasie einzeln beigemischt. Der Kronenschlussgrad ist locker. Es gibt keine Naturverjüngung.



Abbildung 9. Beobachtungsfläche 8 – ‚Fichtenwald‘ / ‚Rückegasse‘

3.3. Beobachtung der Fledermausaktivität in verschiedenen Höhengschichten

Die Fledermauserfassung mit der Mikrofonkette wurde an den vier Standorten ‚Plenterartiger Wald‘, ‚Zerfallsphase‘, ‚Hallenwald‘ und ‚Lichtung‘ durchgeführt. Weitere Standorte am Waldrand und an einem Waldweg, die eigentlich auch untersucht werden sollten (für den Letzteren wurden auch Laserdaten erhoben), wurden letztlich aus Sicherheitsaspekten nicht genutzt. Die Teleskopstange in der Baumkrone hätte für Spaziergänger (insbesondere Kinder) ein Sicherheitsrisiko darstellen können, da die Seile, mit denen sie hochgezogen und in ihrer Stellung fixiert werden, vom Boden aus zugänglich sind.

Alle Standorte liegen im Naturschutzgebiet „Waldhaus“ (siehe Abbildung 1). Die Standorte wurden so ausgewählt, dass sie sich deutlich in ihrer Struktur/Schichtung unterscheiden und repräsentativ sind im Sinne, dass sie in natürlichen Waldphasen und in bewirtschafteten Wäldern ähnlich auftreten (siehe Kapitel 3.2 „Forstliche Beschreibung der Beobachtungsflächen“).

3.3.1. Erfassung der Fledermausaktivität

Die Daten zur Fledermausaktivität in verschiedenen Höhengschichten wurden von Ulrich Marckmann im Rahmen seiner Doktorarbeit ermittelt. Hierzu wurde von ihm eine Apparatur entwickelt und eingesetzt, die simultan Signale von bis zu acht Mikrofonen gleichzeitig erfassen kann. Eine Schaltung am Boden transformiert die Signale mittels einer Nulldurchgangsanalyse, wodurch die Datentiefe auf 1bit reduziert wird. Die Daten werden dann in Echtzeit mit einer Samplerate von 500 kHz über eine schnelle Samplekarte eines Mini-PCs eingelesen und gespeichert. Die Erfassung über den Zeitraum einer ganzen Nacht ist so möglich.

Um die Mikrofone, die entlang eines Trageseils in 5m Abstand befestigt sind, an den zu untersuchenden Waldstandorten bis in den Baumkronenbereich (und am besten darüber hinaus) hinauf ziehen zu können, wurden von Baumsteigern in den Baumkronen Teleskopstangen fest installiert, die maximal 13m ausfahrbar waren. An den Enden der Teleskopstangen wurde das Seil mit den Mikrofonen hochgezogen. Abbildung 10 zeigt schematisch die Anbringung der Teleskopstange in einer Baumkrone. Die Spitze der Teleskopstange lag nach der Anbringung je nach Standort in 30 – 35m Höhe. Da das unterste Mikrofon immer in einer Höhe von 2,5m hing, konnten 6 bzw. 7 Mikrofone (‚Plenterartiger Wald‘ und ‚Zerfallsphase‘ bzw. ‚Hallenwald‘ und ‚Lichtung‘) eingesetzt werden.

Im Frühsommer 2005 erfolgte die Anbringung einer Teleskopstange am Standort ‚Zerfallsphase‘. Da die Werkstatt des Instituts für Zoologie die benötigten Vorrichtungen zur Anbringung weiterer Teleskopstangen am Stamm nicht mehr kurzfristig in der Saison fertig stellen konnten, wurden die übrigen drei Standorte im Folgejahr untersucht.

Ein Problem ergab sich am ersten Standort trotz hochgeschirmter Kabel aus starken Störungen der Mikrofonkette durch Langwellensender. Diese Störungen, die sich an den langen Datenkabeln einkoppelten, traten erst am Untersuchungsstandort in Ebrach auf. Weder bei Probeläufen in Erlangen, noch in Costa Rica, wo Ulrich Marckmann die Mikrofonkette in seiner Diplomarbeit verwendet hatte, gab es ähnlich starke Störungen. Das Problem konnte bis Ende Juli 2005 durch Umbau der

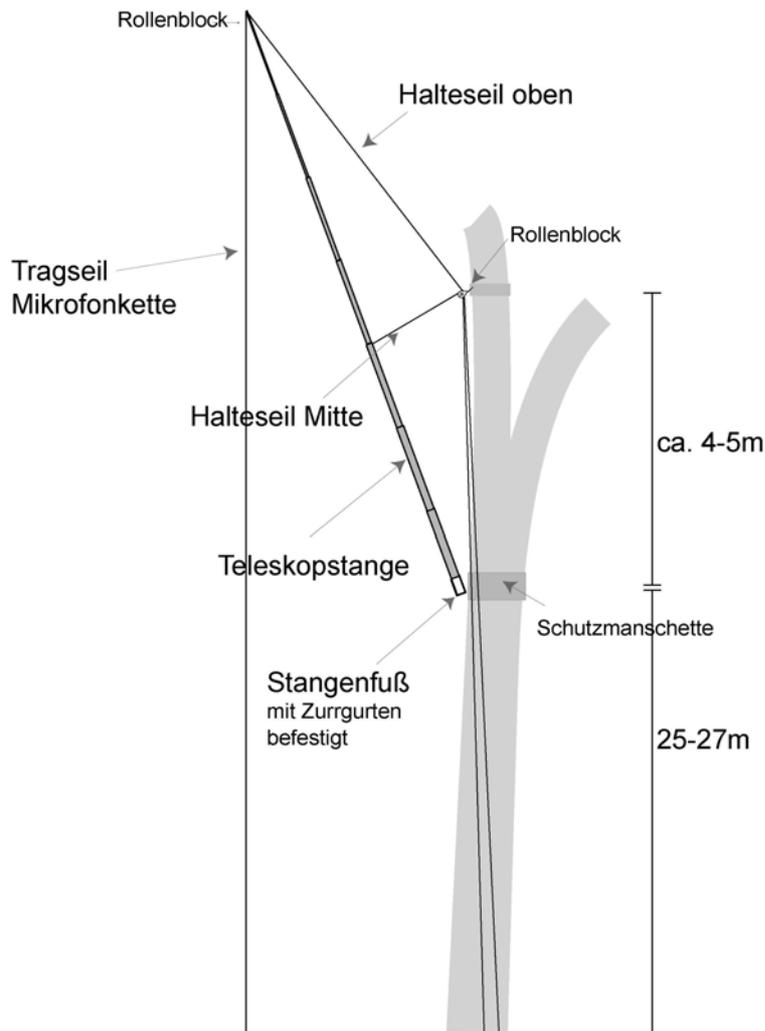


Abbildung 10. Abbildung 1.: Schemazeichnung der Teleskopstangeinstallation am Baum zum Hochziehen der Mikrofonkette

Vorverstärker und differentielle Datenleitung behoben werden. Alle Daten, die vorher erhoben worden waren, sind jedoch unbrauchbar. Damit die Daten vergleichbar sind, wurde im Folgejahr in einem ähnlichen Zeitraum erfasst.

Insgesamt gehen in die Auswertung 15 Erfassungsächte ein. Die folgende Tabelle zeigt die einzelnen Termine:

‚Zerfallsphase‘	‚Hallenwald‘	‚Lichtung‘	‚Plenterartiger Wald‘
27.07.2005	02.07.2006	01.07.2006	04.07.2006
04.08.2005	16.07.2006	05.07.2006	10.07.2006
11.08.2005	17.07.2006	18.07.2006	11.07.2006
16.08.2005		19.07.2006	
		23.07.2006	

Tabelle 1. Übersicht der Erfassungsächte mit der Mikrofonkette.

Pro Nacht fielen ca. 14-16 GigaByte Daten an. Ein Programm (*Preselect*, Volker Runkel) durchsuchte zuerst die Daten auf Stücke mit potentiellen Fledermausrufen. Findet es Signale mit mindestens 14kHz und einer Länge von >0,5ms schneidet es diese Sequenzen für die spätere Analyse heraus.

Die weitere Analyse der Rufsequenzen erfolgte mit einem in LabView (National Instruments) geschriebenen Programm. Dieses findet und vermisst automatisch Rufe in den Sequenzen und ermittelt durch eine Kreuzkorrelation die Laufzeitunterschiede zu den Mikrofonen und dadurch Höhe des Tieres.

Theoretisch lässt sich die genaue Höhe und Entfernung zur Mikrofonkette berechnen, wenn Rufe an mindestens drei Mikrofonen aufgezeichnet werden. Diese Werte sind jedoch recht fehlerbehaftet, da die Abstände der Mikrofone im hängenden Zustand am Besten millimetergenau eingemessen werden müssen, was nicht durchführbar war. Durch die relativ große Entfernung der Mikrofone voneinander, wurden viele Sequenzen auch häufig nur von einem oder zwei Mikrofonen in ausreichender Qualität aufgezeichnet. Deshalb wurden die Rufe jeweils nur der Höhenklasse des Mikrofonen zugeordnet, an dem sie zuerst auftrafen.

Die Art-/Gattungszuordnung der Rufe erfolgte manuell. Eine automatische statistische Analyse ist bisher nicht möglich, da die Rufe durch die Datenreduktion nur sehr bedingt mit den analog aufgenommenen Referenzaufnahmen des Instituts zu vergleichen sind. Eine Artzuordnung war problemlos möglich bei den drei Arten der Gattung *Pipistrellus* (Rauhaut-, Zwerg- und Mückenfledermaus) der Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) sowie dem Großen Mausohr (*Myotis myotis*). Für die übrigen im Gebiet vorkommenden Arten lagen für fundierte vergleichende Analysen zu wenige sicher bestimmte Sequenzen vor, weshalb sie auf Gattungsniveau zusammengefasst wurden.

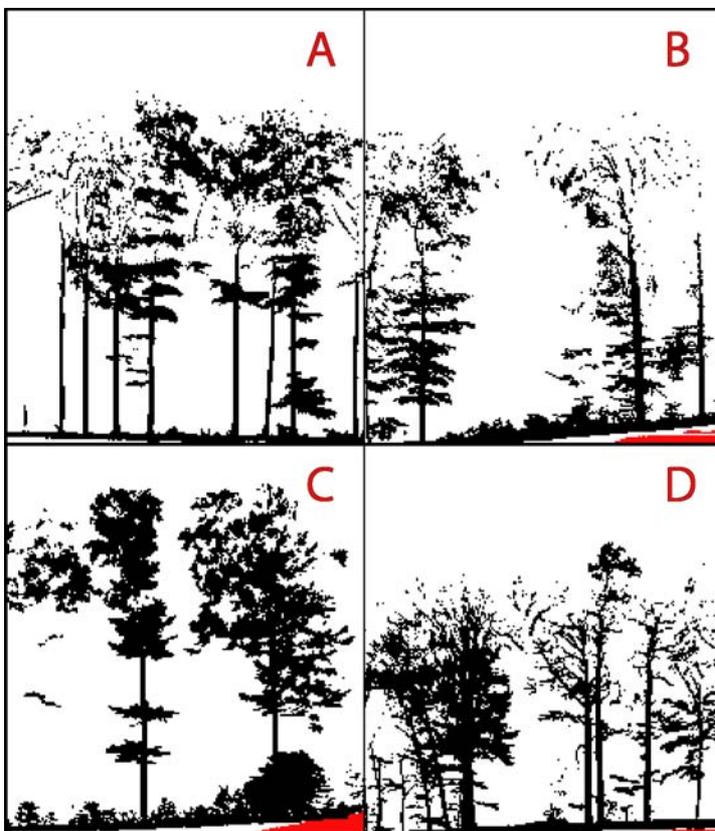


Abbildung 11. Schnitte durch die Voxel-Räume. A: ‚Hallenwald‘, B: ‚Lichtung‘, C: ‚Zerfallsphase‘, D: ‚Plenterartiger Wald‘. Die Schnitte sind jeweils 40m breit und 10m tief.

3.3.2. Extraktion und Beschreibung von Strukturparametern der Standorte

Um die Vegetationsstruktur an den Standorten zu beschreiben und zu parametrisieren, wurden mit dem Programm VoxelRaum (Tobias Aschoff) Voxel-Räume mit einer Grundfläche von 40 mal 40m und einer Voxelgröße von 0,2m erstellt. Die Höhe wurde abhängig vom Standort gewählt. Die Abbildung 11 zeigt exemplarisch Profildiagramme die aus Schnitten der Voxel-Räume erstellt wurden.

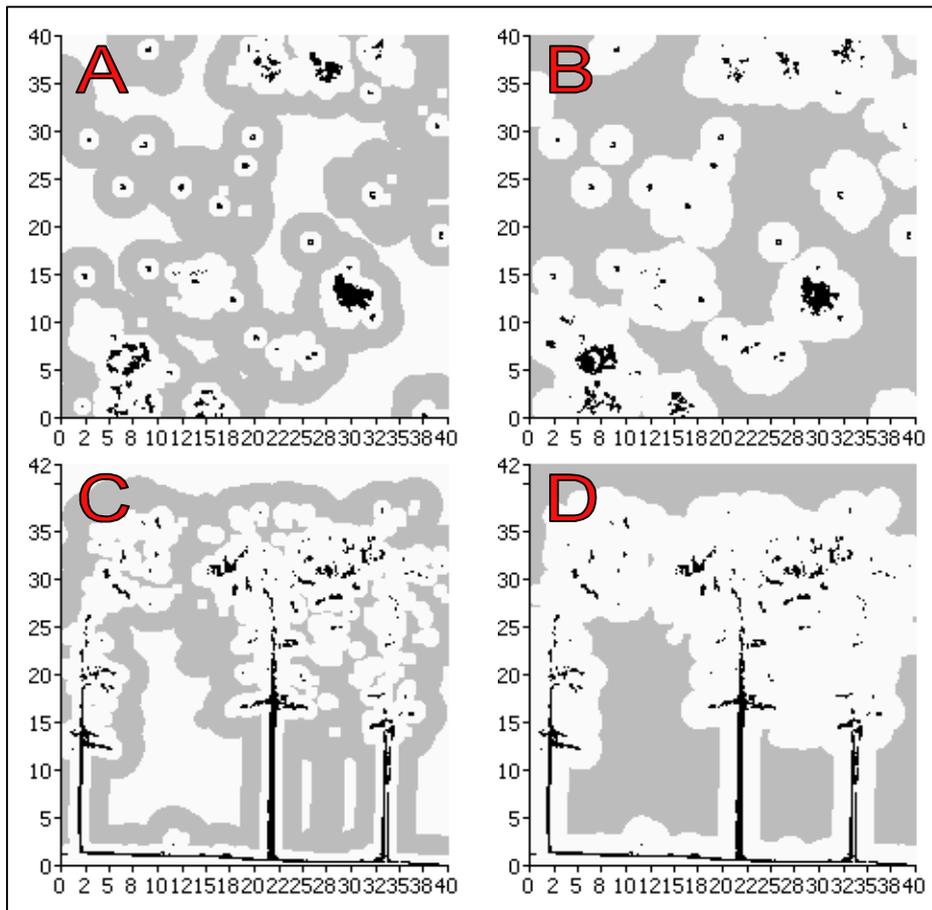


Abbildung 12. Horizontalschnitte (A und B) bzw. Vertikalschnitte (C und D) durch einen Voxel-Raum. Die grau eingezeichneten Zonen sollen verschiedene Raumnutzungsstrategien verdeutlichen. A und C zeigen die potentiellen Flugräume einer Art die bevorzugt in einem bestimmten Abstand an Strukturen jagt. B und D dagegen stellen die Aufenthaltsgebiete bei gleichmäßiger Nutzung des Raumes ab einem bestimmten Minimalabstand zur Vegetation dar.

Für die Erstellung der Voxel-Räume wurden die Laserscandaten verwendet, die im unbelaubten Zustand gemacht wurden, da ansonsten gerade in dichteren Beständen die untere Vegetationsschicht verhindert, dass auch die obersten Baumkronen erfasst werden. Nur der Voxel-Raum für die ‚Zerfallsphase‘ basiert auf Daten aus der Vegetationsperiode. Man erkennt in der Grafik gut, dass die Kronen teilweise nur sehr lückenhaft durch Voxel abgedeckt sind. Dies liegt daran, dass die Trefferwahrscheinlichkeit für dünne Strukturen wie unbelaubte Zweige mit der Entfernung geringer wird.

Will man die Fledermausaktivität z.B. mit dem Volumen der Vegetation in einer Höhengschicht korrelieren, darf man deshalb nicht die Anzahl gefüllter Voxel als Maß nehmen. Im Folgenden wurde stattdessen als Vegetationsmaß die Treffervoxel und

alle Voxel im Umkreis von weniger als 0,4m um Treffer herangezogen. Diese Zone bildet das Kronenvolumen zusammenhängend ab, wodurch sich die (nur noch relative) Vegetationsdichte zwischen den Höhen wieder vergleichen lässt. Aus den Voxel-Räumen wurde eine Distanzmatrix erstellt (siehe Kapitel 3.5 „Datenerfassung und Auswertung Laserscanning“).

Jedem Voxel wird die Entfernung zur nächsten Struktur zugeordnet. Die Menge aller Voxel (und damit das Volumen) mit einer bestimmten Entfernung zu Strukturen wurde verwendet, um den Flugraum, der den Fledermäusen zur Verfügung steht, zu beschreiben und entscheidende Parameter zu finden.

Die Extraktion von Flugraumparametern aus der Distanzmatrix erfolgte mit einem in LabView (National Instruments) geschriebenen Programm. Es wurde nicht der gesamte Voxel-Raum betrachtet, sondern nur der Raum in einem Umkreis von 10m um die Mikrofonkette. Die Entfernung ergab sich aus der mittleren Reichweite der Mikrofone für die unterschiedlichen Arten.

Neben der Menge an Vegetation pro Schicht, wurde aus der Distanzmatrix der Mittelwert der Entfernung aller Luftvoxel zu Strukturen bestimmt.

Nimmt man an, dass sich die Ökologischen Nischen von Fledermausarten dahingehend unterscheiden, dass sie unterschiedlich dicht an Vegetation jagen können (SIEMERS & SCHNITZLER, 2004) sollten die Arten Flugräume in einer bestimmten Entfernung bevorzugen. Deshalb wurden die Volumina verschiedener Entfernungszonen extrahiert. Weiterhin ist vorstellbar, dass die Tiere ab einer bestimmten kritischen Entfernung den gesamten zur Verfügung stehenden Luftraum nutzen. Abbildung 12 verdeutlicht potentielle Raumnutzungsstrategien und resultierende Flugräume.

Insgesamt wurden für jede Höhenschicht folgende Variablen extrahiert:

Abkürzung	Erläuterung
MitE	Mittelwert der Strukturentfernung in m aller Voxel mit mind. 40cm Abstand zum nächsten Treffer
AbwmaxMit	Abweichung in m des Mittelwerts vom maximalen Mittelwert am Standort
Vol>1	Volumen in m ³ aller Voxel mit minimal 1m Abstand zur nächsten Struktur
Vol>2	Volumen in m ³ aller Voxel mit minimal 2m Abstand zur nächsten Struktur
Vol>3	Volumen in m ³ aller Voxel mit minimal 3m Abstand zur nächsten Struktur
Vol>5	Volumen in m ³ aller Voxel mit minimal 5m Abstand zur nächsten Struktur
Vol3-5	Volumen in m ³ aller Voxel mit einem Abstand von 3m bis <5m zur nächsten Struktur
Vol2-3	Volumen in m ³ aller Voxel mit einem Abstand von 2m bis <3m zur nächsten Struktur
Vol1-2	Volumen in m ³ aller Voxel mit einem Abstand von 1m bis <2m zur nächsten Struktur
Vol0,4-1	Volumen in m ³ aller Voxel mit einem Abstand von 0,4m bis <1m zur nächsten Struktur
Vol<0,4	Volumen in m ³ aller Voxel mit einem Abstand von <0,4m zur nächsten Struktur
Höhe	Höhe des Mikrofons der untersuchten Schicht
Standort	Als Faktor

Tabelle 2. Übersicht über die extrahierten Strukturparameter jeder Mikrofonschicht.

3.4. Ermittlung von Flugbahnen der Fledermäuse

Echoortende Fledermäuse erzeugen Ultraschalllaute und orientieren sich anhand der von Objekten in der Umgebung zur Fledermaus zurückgeworfenen Echos (z.B. Vegetation, Grund, fliegenden Beutetiere). Im Laufe der Evolution haben sich dabei Lauttypen herausgebildet, die besonders gut zur echoakustischen Ortung geeignet sind: Die meisten Fledermausarten verwenden aus konvergenten Informationsbedürfnissen heraus recht ähnliche Rufe, die alle bei einer hohen Frequenz im Ultraschall beginnen und dann innerhalb weniger Millisekunden zu deutlich tieferen Frequenzen abfallen (Frequenzsweep). Unter Ausnutzung dieser besonderen Eigenschaft der Fledermauslaute haben wir eine Methode zur akustischen Lokalisation der Schallquelle -sprich der ortenden Fledermaus- entwickelt. Sie nutzt aus, dass ein Fledermausruf mehrere im Habitat verteilte Mikrofone zu jeweils leicht unterschiedlichen Zeitpunkten erreicht, die von der Distanz der Fledermaus zu jedem einzelnen Mikrofon abhängen. Kennt man die genauen Standorte der Mikrofone, lässt sich aus diesen Ankunftszeitpunkten der genaue Ort der Fledermaus zum Zeitpunkt des Rufens triangulieren. Jeder einzelne Ruf führt dabei zu einer eigenständigen Ortung. Da fliegende Fledermäuse mehrmals pro Sekunde rufen, fügen sich die Einzelortungen perlschnurartig zur Flugbahn der Fledermaus zusammen. In Kombination mit den aus den Laserscans errechneten Raummodellen der Waldstruktur können so ganz neuartige präzise Analysen der Raumnutzung durchgeführt werden.

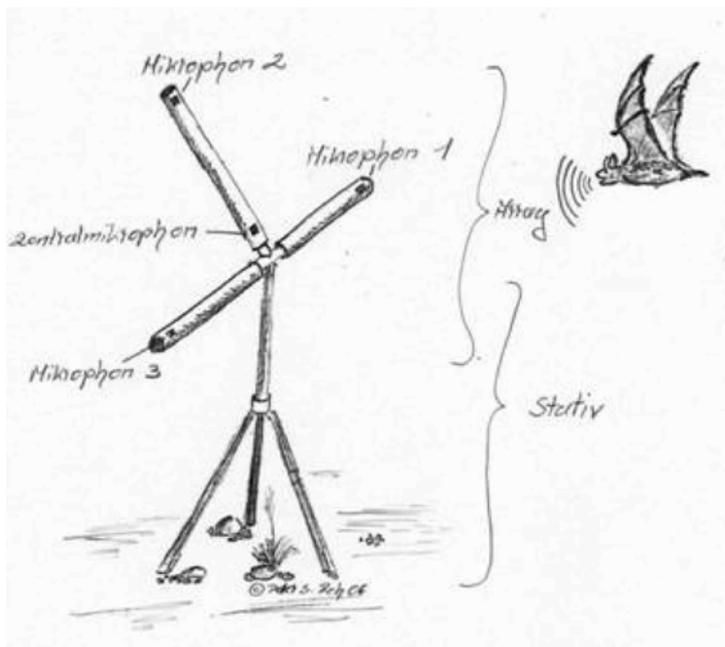


Abbildung 13. Bildhafte Darstellung eines Arrays. An den Enden eines auf dem Kopf stehenden, T-förmigen Rundrohrgerüsts ist jeweils ein Mikrofon installiert. Diese ermöglichen, zusammen mit dem Zentralmikrofon, die Aufzeichnung der Rufe und die Berechnung der Position der Fledermaus zum Rufzeitpunkt (aus Reh, 2006).

Die im Forstamt Ebrach zum Einsatz gekommene Apparatur zur akustischen Flugbahnverfolgung besteht aus acht Mikrofonen, die in zwei sternförmigen Vierergruppen (Arrays) angeordnet sind (Abbildung 13). Bei optimalem Aufbau dieser Arrays sollten die Fledermäuse nur wenig oder günstigstenfalls gar nicht gestört werden, so dass das unbeeinflusste, natürliche Verhalten erfasst werden kann. Im

Freiland werden die Arrays an jedem Tag so aufgebaut und ausgerichtet, dass sie die fliegenden Fledermäuse möglichst vollständig erfassen (Abbildung 14). Dabei liegt die Erfassungsreichweite für die im Forstamt Ebrach angetroffenen Fledermausarten bei maximal etwa 20m. Der nachmittägliche Aufbau, die Ausrichtung und die Kalibrierung der Mikrofone im Freiland beanspruchen jeweils mehrere Stunden. Im Wald permanent angebrachte Holzpflocke dienten dazu, die Flugbahnen und die aus den Laserscans errechneten Raummodelle ins selbe Koordinatensystem zu überführen. Bei jedem Aufbau wurden zu diesem Zweck die Distanzen von den Zentralmikrofonen zu den Holzpflocken mittels eines kleinen tragbaren Laserdistanzmessgerätes ermittelt.

Die Ankunftszeitpunkte der Rufe an den jeweiligen Mikrofonen werden über die Methode der so genannten Kreuzkorrelation mit einer Genauigkeit von 2 μ s ermittelt. Die resultierende Ortungsgenauigkeit liegt im Bereich eines Zentimeters, verschlechtert sich aber mit steigender Distanz.



Abbildung 14. Standort ‚Waldweg‘, Blickrichtung von Ebrach kommend in Richtung Wald. Zu sehen sind die beiden aufgebauten und bereits ausgerichteten Arrays, sowie im Hintergrund einige, der als Bezugsreferenz für die späteren Laserscans dienenden Holzpflocke (aus Reh, 2006).

Die Flugbahnen wurden anschließend geglättet, fehlende Ortungen (etwa weil der Ruf zu leise war) wurden hinzuinterpoliert. Die Artbestimmung erfolgte anhand der Rufaufnahmen, war aber nicht immer eindeutig bis auf Artniveau möglich (vgl. unten). Da neben dem Ort auch der Zeitpunkt der Rufaussendung bekannt ist, lässt sich die momentane Fluggeschwindigkeit ermitteln. Zusätzlich lassen sich anhand dieser Daten auch besondere Analysen der Echoortungslaute durchführen, wie zum Beispiel die Berechnung der produzierten Rufflautstärke, darauf aufbauend eine Abschätzung der Echoortungsreichweite und schließlich eine Abschätzungen der nicht unbedeutenden fluggeschwindigkeitsbedingten, durch den Doppler-Effekt auftretenden Ortungsfehler.



Abbildung 15. Fotografie des Weges am Standort ‚Waldrand‘. Am linken Bildrand sieht man die sehr dichte Waldrandvegetation, ganz rechts im Schatten ist eine ähnlich dichte Hecke. In der Bildmitte steht das fertig aufgestellt Tarnnetz (9 x 6 m) bei einer der letzten Verengungsstufen. Ganz rechts erkennt man Zweige und Stoffbänder mit denen verhindert wurde, dass Fledermäuse durch die breitere Schneise auf der abgewandten Seite des Netzes flogen.

Während in der Saison 2005 Peter Reh als Diplomarbeit an fünf Standorten das Verhalten aller dort fliegenden Fledermausarten vergleichend erfasste, befasste sich Thomas Wanner in seiner Diplomarbeit im Frühjahr und Sommer 2006 mit einem Experiment an vornehmlich einem einzigen Standort (‚Waldrand‘). In diesem Experiment sollte die minimale Schneisenbreite bestimmt werden, welche die unterschiedlichen Arten noch bereit sind zu durchfliegen. Aufgrund aerodynamischer Überlegungen zur Manövrierfähigkeit, sollten sich hierbei deutliche artspezifische Unterschiede zeigen. Das Experiment war folgendermaßen aufgebaut: Am Standort ‚Waldrand‘ flogen nach den Erkenntnissen des Sommers 2005 alle interessanten Arten in hinreichender Anzahl. Alle Arten folgten jedoch einem sehr einheitlichen Korridor genau über der Wegmitte. Das lässt sich anhand einer Besonderheit der Echoorientierung erklären: Je weiter entfernt ein Hindernis ist, desto länger dauert es bis dessen Echos die Fledermaus erreicht. Die sehr leisen Echos von Beutinsekten werden von solchen so genannten Clutter-Echos (von der Hintergrundvegetation) aber verdeckt. Durch einen gleichmäßig großen Abstand zu allen Seiten maximiert die Fledermaus das überlappungsfreie Fenster, in welchem sie Beuteechos ungehindert, also ohne Maskierung durch Vegetationsechos, zu orten vermag. Da dies für alle Arten gleichermaßen gilt, kann es nicht verwundern, dass alle denselben mittigen Korridor benutzten. Das Experiment bestand nun darin, durch ein entlang

des Weges aufgespanntes, 9 x 6 m großes Tarnnetz die Schneisenbreite Nacht für Nacht kontinuierlich zu verringern (siehe Abbildung 15), und festzuhalten, welche Arten bis zu welcher Schneisenbreite die verengte Stelle noch durchflogen. Erst dies spiegelt die artspezifische Bereitschaft zu engeren Habitatsituationen wider und kann die Basis für planerische Maßnahmen zum Fledermausschutz durch Habitatstrukturierung bilden.

Der gesamte Aufbau vor Ort dauerte jeweils zwischen 4,5 und 6 h am Nachmittag. Der Abbau nach Mitternacht beanspruchte über eine Stunde. An- und Abfahrt dauerten je 1 h. Obwohl selbst leichte Böen das Netz umwerfen konnten und trotz des klimatisch überaus ungünstigen Augusts gelang es Herrn Wanner an über 50 Abenden im Feld zu sein. Zwar war die Fledermausaktivität insbesondere im Juli recht gering, trotzdem konnte er bislang über 500 Einzelbahnen erfassen.

Schließlich wurden im Winter 05/06 an zwei Standorten (‚Waldweg‘ und ‚Fichtenwald‘) in eine Flugschneise einwachsende Zweige entfernt, die Hindernisse für den freien Flug der Fledermäuse darstellten. Im Sommer 2006 wurde überprüft, ob sich das Flugverhalten dadurch veränderte.

3.5. Datenerfassung und Auswertung Laserscanning

Im Projektgebiet sind auf 8 Beobachtungsflächen mit erhöhter Fledermausaktivität Laserscans in 2 Messkampagnen aufgenommen worden (36. KW 2005 und 17. KW 2006, siehe Abbildung 16). Bei der ersten Messkampagne sind im belaubten Zustand alle 8 Beobachtungsflächen gescannt worden. Bei der zweiten Messkampagne sind auf 5 der 8 Beobachtungsflächen im unbelaubten Zustand wiederholt Laserscans aufgenommen worden.

Alle Beobachtungsflächen wurden von mehreren Aufbauten aus eingescannt. Die jeweiligen Aufbauten wurden so angeordnet, dass es möglichst geringe Abschattungen im Untersuchungsbereich gab. Die Anzahl der Aufbauten pro Versuchsfläche richtet sich nach der Größe der Fläche und der Dichte des vorherrschenden Bewuchses und liegt zwischen 4 und 9 Aufbauten pro Versuchsfläche. In der ersten Kampagne wurden insgesamt 48, in der zweiten Kampagne wurden insgesamt 32 Laserscans aufgenommen. Verwendet wurde das Lasermesssystem Imager 5003 von Zoller & Fröhlich (ZOLLER & FRÖHLICH, 2005).

Jeder Laserscan einer Beobachtungsfläche stellt zunächst einen eigenen Datensatz in einem eigenen Koordinatensystem dar. Um die verschiedenen Koordinatensysteme in ein einheitliches Koordinatensystem zu überführen, werden die Laserscans einer Fläche registriert. Dazu wurden künstliche Messmarken aus Papier verwendet, die für die Dauer der Aufnahme der Laserscans angebracht, in den Laserscans gut sichtbar und eindeutig identifizierbar sind. Während des Scannvorgangs wurden die Messmarken tachymetrisch vermessen. Im Nachhinein wurden die Daten jedes einzelnen Laserscans mittels einer 6 Parameter Transformation in das Koordinatensystem, das von den Messmarken aufgespannt wird, transformiert (THIES ET AL., 2003).

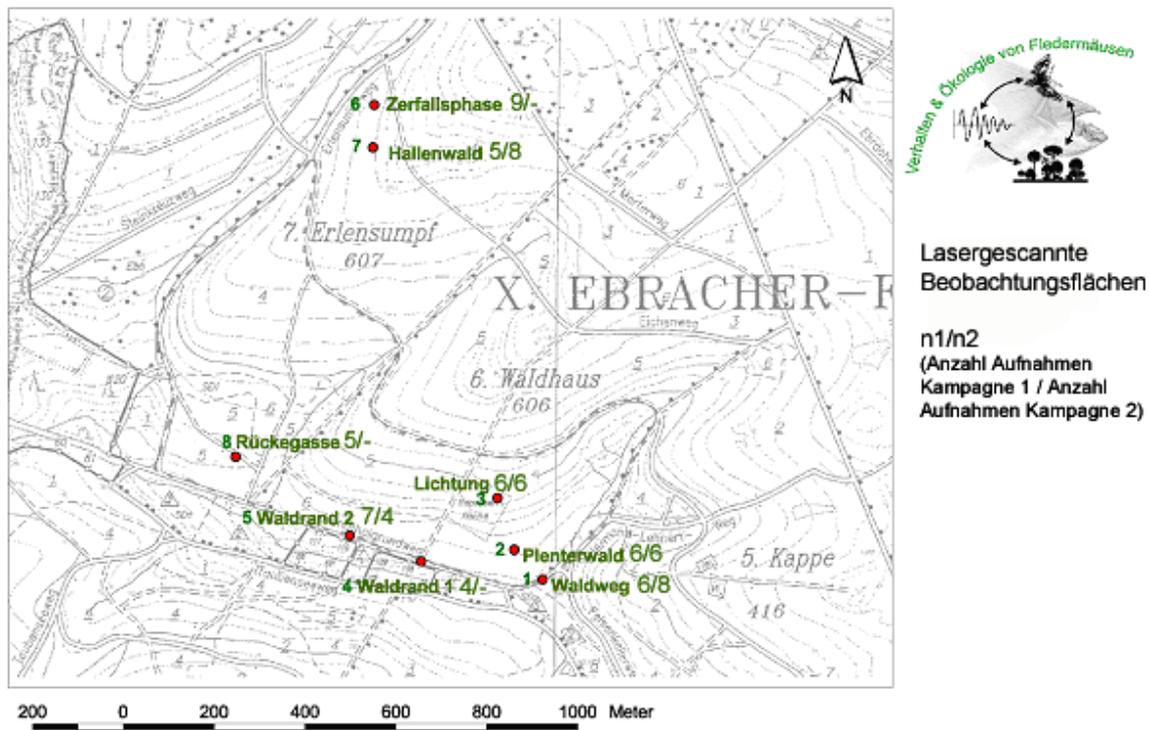


Abbildung 16. Übersicht über die lasergescannten Beobachtungsflächen im Ebracher Forst. In der ersten Messkampagne (36. KW 2005) sind 48 Laserscans, in der zweiten Messkampagne (17. KW 2006) sind 32 Laserscans aufgenommen worden.

Die gescannten Punktwolken haben die Eigenschaft, dass die Punktdichte auf den Objekten von der Entfernung zwischen dem Scanner und dem Objekt abhängen. Die Objekte mit einer kürzeren Distanz zum Scanner haben eine höhere Punktdichte als Objekte mit einer längeren Distanz. Hinzu kommt, dass Objekte, die im Schatten anderer Objekte liegen, vom Scanner nicht „gesehen“ und somit nicht aufgenommen werden. Durch weitere Aufbauten des Scanners werden die abgeschatteten Bereiche möglichst beseitigt, zumindest aber minimiert. Eine Differenzierung ob in einem Bereich kein Objekt vorhanden ist oder dieser Bereich vom Laserscanner nicht „eingesehen“ wurde, kann aus den gescannten Punktwolken zunächst nur schwer abgeleitet werden.

Um das Problem der ungleichmäßigen Punktverteilung zu minimieren, wird für die Untersuchung der dreidimensionalen Raumstruktur die Punktwolken der Laserscans in einen Voxel-Raum transformiert. Die Dimension und Lage des Voxel-Raum ist von der gescannten Fläche und der beobachteten Fledermausaktivität abhängig. Der definierte Raum ist mit regelmäßig angeordneten, gleichgroßen, aneinander liegenden Würfeln gefüllt, deren Position durch die 3 Indexkoordinaten ijk definiert ist (GORTE UND WINTERHALDER, 2004). Für jeden dieser Würfel werden die Parameter Treffer- und Fehlschussanzahl aus den Punktwolken der Laserscans abgeleitet. Der Parameter Trefferanzahl entspricht der Anzahl von gescannten Punkten innerhalb des Würfels. Der Parameter Fehlschussanzahl ergibt sich durch die Analyse des Laserstrahlweges vom Scanner zum Reflexionspunkt. Die Würfel durch die ein Laserstrahl ging, die aber keinen Reflexionspunkt für diesen Laserstrahl enthalten, haben sozusagen einen Durchschuss. Die Anzahl von Durchschüssen durch einen Würfel ist gleich dem Wert des Parameters Fehlschussanzahl.

Durch das Verhältnis zwischen Trefferanzahl und Fehlschussanzahl eines Würfels ergibt sich der abgeleitete Parameter Reflexionswahrscheinlichkeit $P_{Ref}(ijk)$ für den Würfel ijk . Die Berechnung der Reflexionswahrscheinlichkeit für den Würfel ijk erfolgt nach HÄHNEL ET AL. (2003)

$$P_{Ref}(ijk) = \frac{n_{Hits}(ijk)}{n_{Hits}(ijk) + n_{Miss}(ijk)}$$

wobei $n_{Hits}(ijk)$ die Trefferanzahl und $n_{Miss}(ijk)$ die Fehlschussanzahl des Würfel ijk ist.

Der Wertebereich für die Reflexionswahrscheinlichkeit ist -1 und 0.0 bis 1.0. Im Fall dass es kein Treffer und kein Fehlschuss im Würfel ijk gibt ist $P_{Ref}(ijk) = -1$. Wenn es keinen Treffer gibt ist $P_{Ref}(ijk) = 0$. Wenn es keinen Fehlschuss gibt ist $P_{Ref}(ijk) = 1$. Bei den Fällen dass es sowohl Treffer als auch Fehlschüsse gibt ist $0 < P_{Ref}(ijk) < 1$.

Jeder Würfel des Voxel Raum ist in eine der Klassen Beobachtet und Unbeobachtet eingeteilt. Die Klassifizierung erfolgt über den Schwellwert S_n für die Summe aus Trefferanzahl und Fehlschussanzahl des Würfels. Wenn $n_{Hits}(ijk) + n_{Miss}(ijk) > S_n$ ist, wird der Würfel als beobachtet, ansonsten als unbeobachtet klassifiziert.

Jeder beobachtete Würfel wiederum wird über den Schwellwert S_p für die Reflexionswahrscheinlichkeit in eine der Klassen Leer und Gefüllt eingeteilt. Wenn $S_p > P_{Ref}(ijk)$ ist, wird der beobachtete Würfel als leer, ansonsten als gefüllt klassifiziert.

Für eine Beschreibung der Verteilungsstruktur der Objekte wird eine Distanz-Transformation durchgeführt (Abbildung 17). Bei der Distanz-Transformation wird für jeden als Leer klassifizierten Würfel die Distanz zum nächst liegenden als gefüllt klassifizierten Würfel berechnet. Die obere Grenze des Wertebereiches der so ermittelten Distanzen entsprechen der maximalen Größe des vorhandenen Freiraumes. Eine gedachte Kugel mit dem Radius dieser Größe passt mindestens einmal in den als Leer klassifizierten Bereich des Voxel-Raum hinein. Im Histogramm der Distanzwerte wird zusätzlich zur Größe des maximalen Freiraums die Häufigkeitsverteilung der vorhandenen Freiräume ersichtlich.

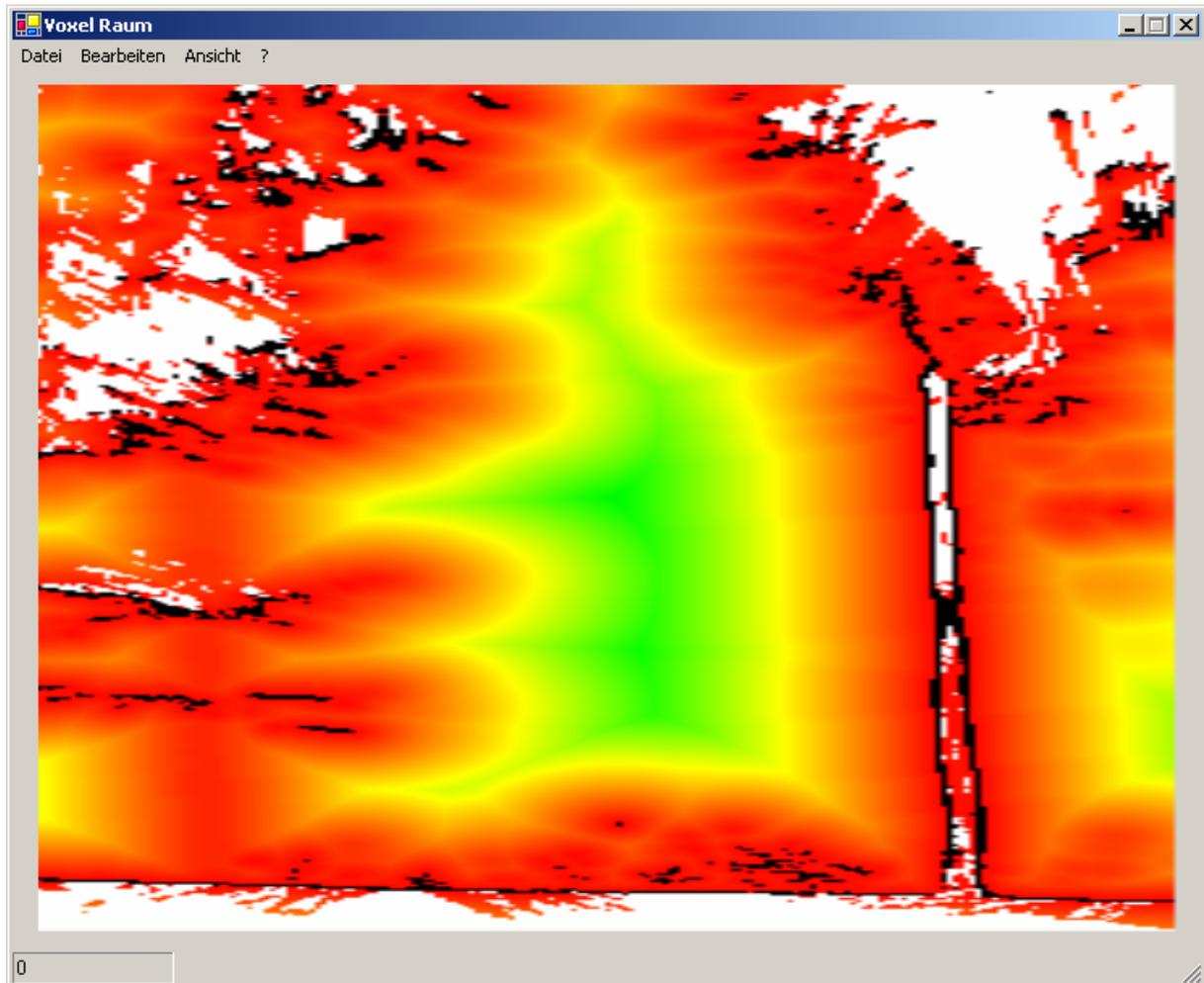


Abbildung 17. Schnitt durch einen Voxel-Raum. Dargestellt sind leere (Weiß), unbeobachtete (Schwarz) und gefüllte (Farbverlauf Rot bis Grün) Würfel. Der Farbverlauf zeigt die radialen Distanzen der leeren Würfel zum nächsten gefüllten Würfel (ermittelt mit Distanz-Transformation).

Für die Untersuchung des vorhandenen Flugraums der Fledermäuse werden als erste „einfache“ Auswertung Schnitte durch die gescannten Punktwolken gelegt (siehe Abbildung 18). Für jeden der dreidimensionalen Punkte einer Flugbahn werden drei Schnitte berechnet. Die Lage der drei Schnitte ist so gewählt, dass sich der dreidimensionalen Punkt P_i der Flugbahn im Zentrum des Schnittes befindet.

Für die Definition der Ausrichtung der Schnittebenen wird die Flugrichtung \overrightarrow{FR} und die Zenitrichtung \overrightarrow{ZR} verwendet. Die Flugrichtung ergibt sich aus der Projektion des Flugvektor \overrightarrow{FV} in die horizontale Ebene, d.h. die Flugrichtung \overrightarrow{FR} entspricht dem

Flugvektor mit dem Wert 0.0 als Z-Koordinate. Der Flugvektor \overrightarrow{FV} berechnet sich nach

$$\overrightarrow{FV} = \overrightarrow{OP_{i+1}} - \overrightarrow{OP_i}$$

mit $\overrightarrow{OP_i}$ als Ortsvektor zum dreidimensionalen Punkt der Flugbahn und $\overrightarrow{OP_{i+1}}$ als Ortsvektor zum nachfolgenden Punkt der Flugbahn. Die Zenitrichtung ist als Vektor $\overrightarrow{ZR} = (0 \ 0 \ 1)^T$ definiert.

Zwei der drei Schnittebenen sind vertikal ausgerichtet. Davon liegt eine längs und eine quer zur Flugrichtung. Die Schnittebene vertikal längs zur Flugrichtung wird durch die Vektoren \overrightarrow{ZR} und \overrightarrow{FR} aufgespannt. Die Schnittebene vertikal quer zur Flugrichtung wird durch die Vektoren \overrightarrow{ZR} und $\overrightarrow{ZR} \times \overrightarrow{FR}$ aufgespannt. Die dritte Schnittebene ist horizontal ausgerichtet. Sie wird durch die Vektoren \overrightarrow{FR} und $\overrightarrow{ZR} \times \overrightarrow{FR}$ aufgespannt.

Zur Ermittlung des Abstandsverhaltens der Fledermäuse werden in den Schnitten Kreissegmente vom Zentrum aus, was der Position der Fledermaus entspricht, aufgespannt. Die Segmente haben einen Öffnungswinkel von 45 Grad und sind in Flugrichtung ausgerichtet. Für jedes dieser Segmente wird der minimale Abstand zu den gescannten Punkten berechnet. Im vertikal ausgerichteten Schnitt wird von diesen Segmenten abgewichen und lediglich der minimale radiale Abstand um die Fledermausposition ermittelt.

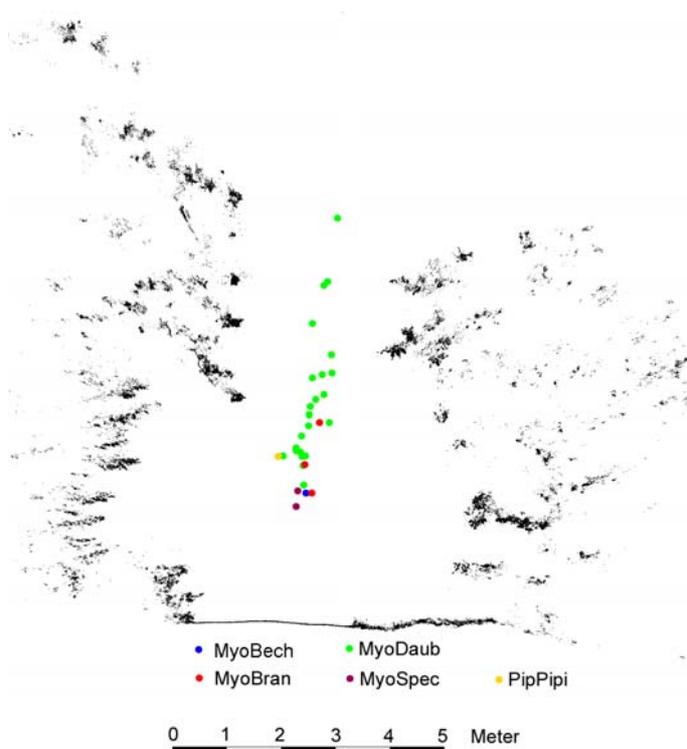


Abbildung 18. Schnitt durch die gescannten Punktwolken der Beobachtungsfläche ‚Waldrand‘ mit eingeblendeten Flugbahnen der Aufnahmenacht 8 vom 31.07.2005. Das zweidimensionale Raumprofil ist quer zur Forststraße und der Hauptflugrichtung der Fledermäuse gelegt. Die 31 Flugbahnen liegen in der Mitte des offenen Profils.

Über die Betrachtung der Schnittebenen hinaus werden die „Blicke“ der Fledermäuse in den abgeleiteten Voxel Raum berechnet. Das Blickbild wird als quadratische Plattkarte mit einem konstanten Winkelunterschied zwischen den Pixeln einer Zeile und einer Spalte erstellt. In der Abbildung 19 ist der Blick einer realen Fledermaus als Entfernungsbild dargestellt.

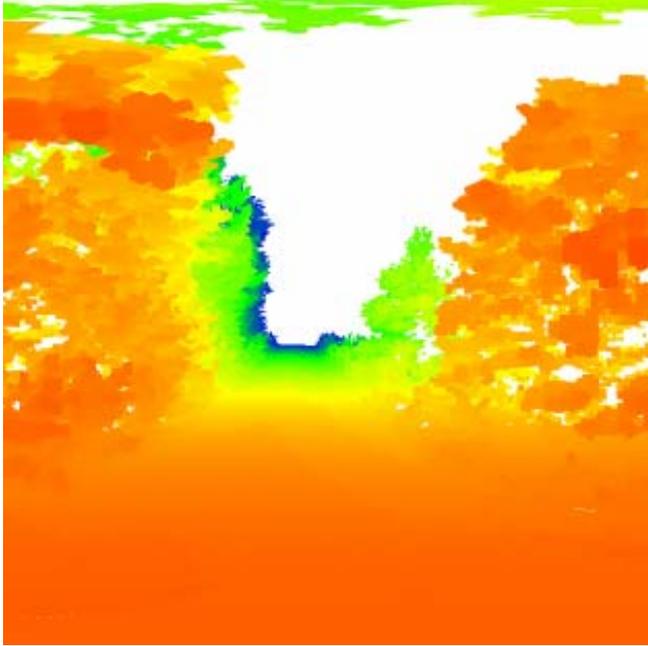


Abbildung 19. Falschfarben Entfernungsbild am ‚Waldrand‘. Das Bild beschreibt den Blick einer realen Fledermaus aus der Position und Richtung, die an dieser Stelle mittels der Mikrofonarrays beobachtet wurde. Das Blickfeld hat einen Öffnungswinkel von 180 Grad, wodurch sich eine Bildgröße von 180 x 180 Pixel (bei einer Auflösung von 1 Grad/Pixel in horizontaler wie auch vertikaler Richtung) ergibt.

Vergleich Sommer – Winter Scans

Die Größe des vom Laserscanner abgedeckten Bereiches ist abhängig von der Dichte und der Belaubung des Bewuchses. Bereiche die nicht vom Scanner einsichtbar sind werden auch nicht in den aufgenommen Daten abgebildet. Gerade in den höher gelegenen Kronen kommt es zu größeren nicht einzusehenden Räumen, da die unteren Äste die Sicht behindern.

Für eine Untersuchung des Flugverhaltens ist die Frage der Zuverlässigkeit von Modellen aus Laserdaten von grundlegender Bedeutung. Gerade wenn es um den potenziellen Flugraum geht muss die Frage beantwortet werden ob ein Bereich leer ist wenn keine Scanpunkte darin sind, oder ob dieser Bereich einfach nur nicht einzusehen ist.

Die aus den Laserdaten abgeleiteten klassifizierten Voxel-Raum Modelle teilen die definierten Würfel in die Klassen Unbeobachtet, Leer und Gefüllt. Die Menge und Verteilung der unbeobachteten Würfel dient dabei als Anhaltspunkt für die Größe und der Lage der Bereiche die nicht einsichtbar sind. Es ist anzunehmen, dass die unbeobachteten Bereiche der Winter Aufnahmen kleiner sind als die der Sommer Aufnahmen, sowie dass der unbeobachtete Anteil mit zunehmender Höhe größer wird. Der Vergleich des Voxel-Raum aus den Winter Aufnahmen mit dem Voxel-Raum aus den Sommer Aufnahmen der Beobachtungsfläche ‚Plenterartiger Wald‘ bestätigt diese Annahme. Für einen Bereich von 20 x 20 x 30 m Ausdehnung ergeben sich bei den Sommer Aufnahmen 23.4 % des Raumes als unbeobachtet

klassifizierte Bereiche. Im Voxel-Raum resultierend aus dem Winter Aufnahmen ist der Anteil der unbeobachteten Bereiche lediglich 2.1 %. Die Verteilung der unbeobachteten Bereiche in Abhängigkeit von der Höhe zeigt, dass bei den höher gelegenen Bereichen der Sommer Aufnahmen der unbeobachtete Anteil sehr stark zunimmt. (siehe Tabelle 3)

Klassifizierung der Würfel	Anzahl Würfel (Sommer Scans 2005)	Anteil an gesamten VR	Anzahl Würfel (Winter Scans 2006)	Anteil an gesamten VR
Unbeobachtet	2802330	23.4 %	250718	2.1 %
Leer	8818233	73.7 %	11592524	96.9 %
Gefuellt	339437	2.8 %	116758	1.0 %
Unbeobachtete Würfel	Anzahl Würfel	Anteil an Schicht	Anzahl Würfel	Anteil an Schicht
Höhe 0	78	0.2 %	70	0.2 %
Höhe 10	526	1.3 %	126	0.3 %
Höhe 20	12227	30.6 %	2156	5.4 %
Höhe 30	30790	77.0 %	837	2.1 %

Tabelle 3. Übersicht der Klassifizierten Würfel der Beobachtungsfläche ‚Plenterartiger Wald‘. Der gewählte Ausschnitt hat eine horizontale Ausdehnung von 20 x 20 m. Die Höhe des Voxel-Raum ist 30 m, wobei die untere Grenze auf Höhe des Scannerzentrum liegt (Höhe 0) und somit keine Bodenstruktur beinhaltet. Die Würfel haben eine Kantenlänge von 10 cm. Zur Klassifikation ist $S_n=10$ und $S_p=0.2$ gewählt.

4. Ergebnisse

4.1. Allgemeine Fledermausaktivität im Ebracher Forst

4.1.1. Detektorbegehungen

(Daten aus Promotion von Volker Runkel bereitgestellt)

Die mobile Erfassung mittels Detektoren erlaubte die flächendeckende Untersuchung der Fledermausaktivität. Es konnten Bereiche mit sehr hoher Aktivitätsdichte, d.h. hohe Kontaktzahl und hohe Artenzahl, ermittelt werden (siehe Abbildung 20 und Abbildung 21). Daneben gab es aber auch viele Waldbereiche, in denen selten oder niemals Fledermäuse detektiert wurden. Insbesondere waren diese jüngere, dichte Wälder (Dickung und Stangenholz). Jedoch konnte auch hier Aktivität festgestellt werden, wenn es über den jungen Bäumen ein Netz von Überhältern gab (insbesondere Waldhaus 3, zentraler Bereich des Untersuchungsgebiets). Die beobachtete Aktivität im Wald lässt auf Quartiere in den älteren, Hallenwaldartig ausgeprägten Bereichen schließen. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass die Fledermausdichte negativ logarithmisch mit der Walddichte (Stammzahl / ha) korreliert ist (ohne Abbildung). Ein ähnliches Ergebnis konnte HERR (1998) für australische Waldfledermäuse ermitteln.

Auf Biotopebene ergab sich auch eine hohe Bedeutung des Waldweihers (nicht Mopsfledermaus!), des Waldrands und der Offenfläche. Der Waldweiher wurde jedoch aus methodischen Gründen bei der automatischen Erfassung der Sommer 2004 und 2005 nur wenig berücksichtigt.

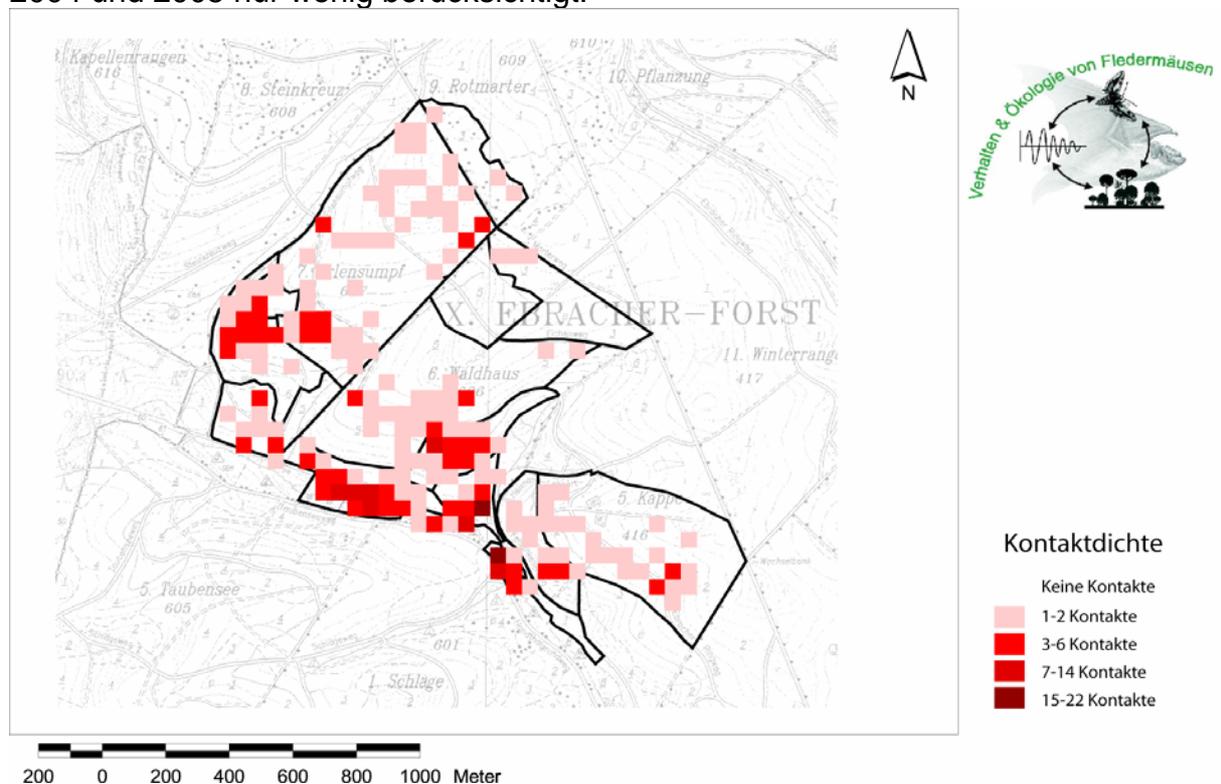


Abbildung 20. Die aus der Promotion vorliegenden Ergebnisse der Detektorbegehungen wurden mit Hilfe eines GIS-Systems ausgewertet. Basierend auf einem 50m*50m Raster wurden die Kontakte für jeden Rasterquadranten ermittelt und mit Hilfe einer Farbkodierung dargestellt. (siehe auch Abbildung 21)

4.1.2. Automatische Erfassung

(Daten aus Promotion + Erfassungen im Rahmen des Projekts)

Nach Analyse der Ergebnisse der mobilen Erfassung waren für eine stationäre Aktivitätsaufnahme in den Jahren 2004 und 2005 Standorte für die zur Verfügung stehenden batcorder ausgewählt worden. Mittels der automatischen Aufnahmegeräte gelang eine quantitative und qualitative Erfassung der Fledermausaktivität.

Zu beachten ist, dass in Abbildung 23 drei der Strukturen durch helle Balken gekennzeichnet sind. Die Standorte Eschenbruch (EE) und Waldweiher (Wk) wurden nur insgesamt zweimal besampelt, und geben eine überschätzte Aktivität wieder, in den Fichtenforst (Fi) gehen außerdem Daten aus dem Juni bis Juli 2005 ein, die an Sonderstandorten erfasst wurden und führen ebenso u.U. zu einer Überschätzung der Aktivität.

Es ergaben sich teils deutliche Unterschiede in der Nutzung der vorhandenen Waldstrukturen zwischen den Arten, die Ergebnisse der Detektoruntersuchung konnten größtenteils bestätigt werden. Insgesamt zeigte sich eine recht gleichmäßige Nutzung der älteren Waldstrukturen (HW), sehr wenig Aktivität wurde in jungen, einschichtigen Waldbereichen (Stangenholz, ST), in plenterartigen Beständen (PW) und über dem Offenland (O) verzeichnet. Randstrukturen (WR, TN) und Lichtungen (LI) wurden ebenso von vielen Arten rege auch zur Jagd genutzt (siehe Abbildung 22).

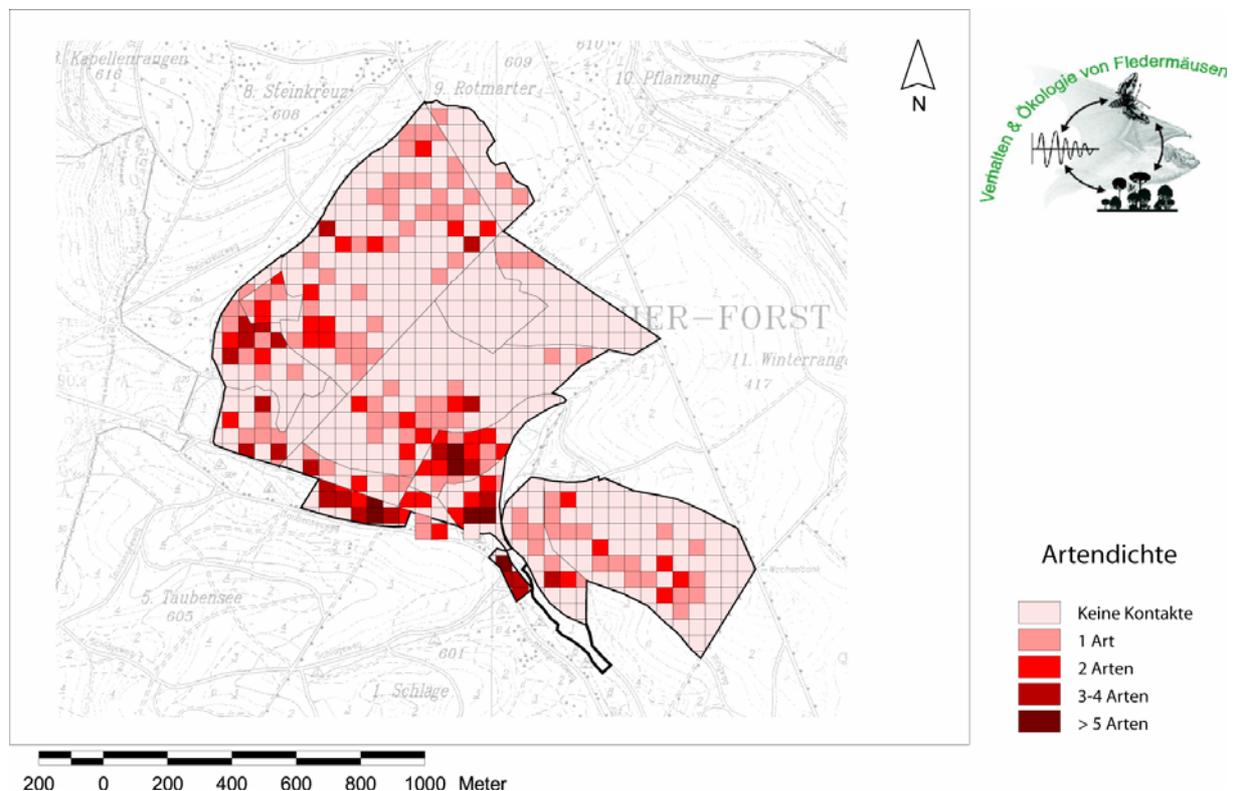


Abbildung 21. Artendichte für jeden Rasterquadranten (siehe Promotion Runkel) auf einem 50m*50m Raster. (siehe auch Abbildung 20)

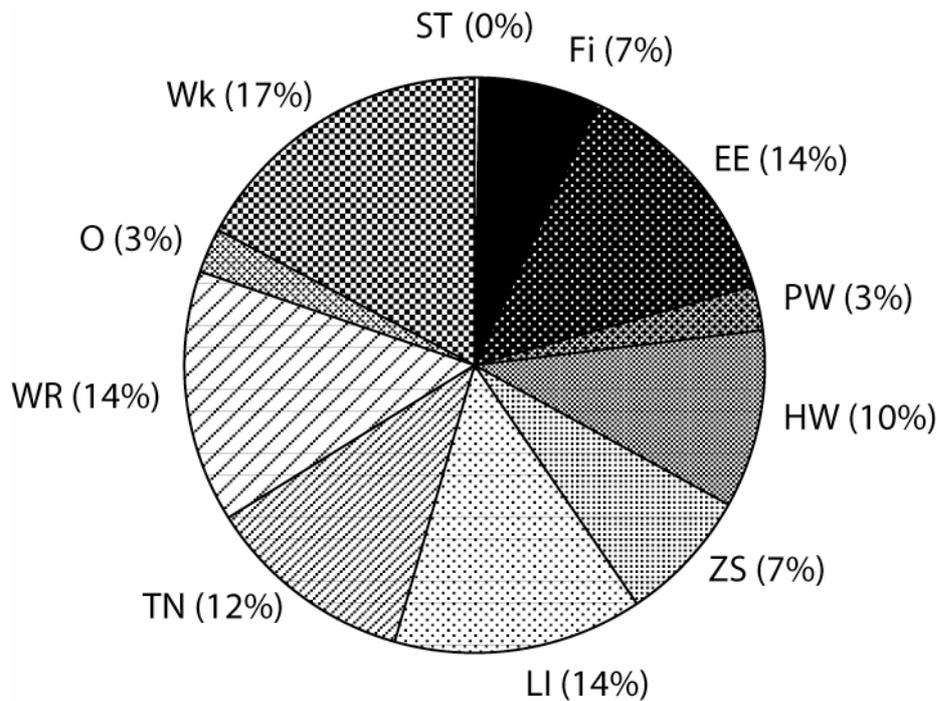


Abbildung 22. Bei Zusammenfassung aller Aktivität, d.h. ohne Unterscheidung der einzelnen Arten, ergibt sich die abgebildete Verteilung auf die einzelnen, untersuchten Strukturen. Der Eschenbruch (EE) und der Waldweiher (Wk) wurden nur in zwei Nächten während allgemein hoher Aktivitätszeiten untersucht und sind daher vermutlich überbewertet. Die Strukturkürzel sind in der nächsten Abbildung aufgeschlüsselt.

Auch in einschichtige, ältere Fichtenforste (Fi) und zweischichtige Bereiche (ZS) gelangen teilweise zahlreiche Aufnahmen von Fledermäusen (*Myotis*, bzw. *Myotis* und *Pipistrellus*), wobei die Aktivität in den beiden Untersuchungsjahren stark unterschiedlich war.

Auch der untersuchte Eschenbruchwald (EE) und der Waldweiher (Wk) wurden gut genutzt, es sei aber nochmals auf das vorher genannte Problem der geringen Besampelung hingewiesen.

Bei der Betrachtung wurde nur die Präferenz der Fledermäuse berücksichtigt, bedingt durch die Fläche, in der die einzelnen Strukturen vorliegen, kann sich die Tragkraft dieser teils stark unterscheiden.

4.1.3. Artweise Betrachtung der Ergebnisse

Mopsfledermaus

Als sehr selektiv hat sich die Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) erwiesen (Abbildung 23a). Sie nutzte bevorzugt Waldränder und Waldwege, konnte aber auch im Hallenwald und über Lichtungen (im Hallenwald gelegen!) nachgewiesen werden. Die zeitlichen Aktivitätsmuster (nicht gezeigt, Promotion V. Runkel) legen nahe, dass die Mopsfledermaus im Wald ihre Sommerquartiere (Wochenstuben) bezieht und von dort ausgehend im schnellen Flug entlang von Randstrukturen jagt. Dabei legt sie vermutlich große Strecken zurück. Diese Sichtweise wird von den gefundenen besonders hohen Fluggeschwindigkeiten unterstützt. Im Verlauf der Nacht nahm ihre

Dichte stark ab, da sie bei großräumiger Jagd möglicherweise das Gebiet verlassen hat. Aus anderen Studien (Telemetrie) in Nordbayern (MELBER, UNVERÖFFENTLICHT) ist bekannt, dass Mopsfledermäuse verschiedene Jagdgebiete nutzen, die auch in größerer Entfernung (4 bis 10 Kilometer) zueinander liegen können.

Gattung *Myotis*

Großes Mausohr

Das Große Mausohr *Myotis myotis* zeigte eine sehr restriktive Nutzung der vorhandenen Waldstrukturen, sie konnte beinahe nur im Hallenwald nachgewiesen werden (Abbildung 23b). Da diese Art bevorzugt Laufkäfer jagt, die sie vom Boden erbeutet, stellen die Buchenhallenwälder, deren Boden meist gänzlich vegetationsfrei ist, optimale Jagdhabitats dar. Daneben wurde sie mit niedriger Dichte auch in plenterartigen Wäldern detektiert, auch dort gibt es Bereiche mit nur wenig ausgeprägter Bodenvegetation. Alternativ kann sie aber auch Beutetiere von Blättern abgreifen (gleaning), hierzu bietet sich der lückig strukturierte, plenterartig ausgeprägte Wald an.

Kleine und mittelgroße *Myotis*-Arten

Die Gruppe *Myotis "rest"* nutzte bevorzugt Randstrukturen (WR, TN), wurde aber auch in allen anderen Waldstrukturen regelmäßig erfasst (Abbildung 23d). Insbesondere stellte sie die einzigen Arten, die den Fichtenforst (nur 2005) sehr rege genutzt haben. Sie zeigen damit auch eine Ausnahme in Bezug auf die mit dem Detektor festgestellte Abhängigkeit von Walddichte und Fledermausdichte. Im zweischichtigen Bestand war sie nur im Sommer 2004 in hoher Dichte festgestellt worden, 2005 konnte sie dort kaum detektiert werden.

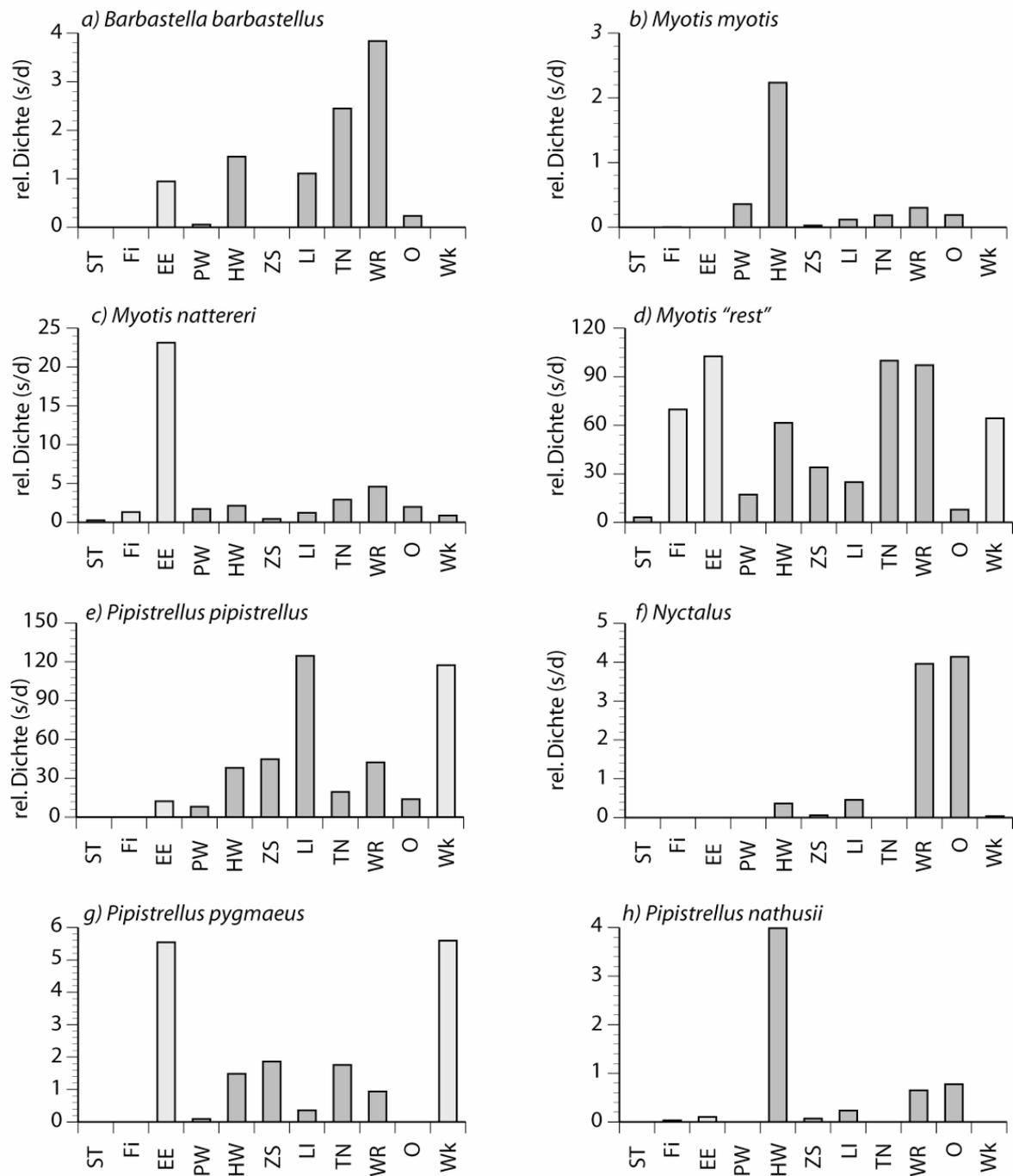
Fransenfledermaus

Die Fransenfledermaus *Myotis nattereri* wurde sehr häufig im Eschenbruchwald erfasst, jedoch nutzte sie die anderen Strukturen ähnlich häufig wie die Gruppe der kleinen und mittleren *Myotis*-Arten (Abbildung 23c). Auch sie wurde im Fichtenforst, aber auch in mehrschichtigen Wäldern regelmäßig detektiert. *M. nattereri* gilt als typischer *gleaner*, zu diesen zählen Fledermäuse, die Beute auch von Vegetation greifen können. Durch ihre Wendigkeit und dieses Jagdverhalten profitiert sie unter Umständen von vegetationsreicheren Waldabschnitten.

Gattung *Pipistrellus*

Zwei Vertreter der Gattung *Pipistrellus* - Mücken- und Zwergfledermaus - erwiesen sich bezüglich der genutzten Strukturen als wenig spezialisiert. Beide konnten zwar bevorzugt an einigen wenigen Strukturen nachgewiesen werden, nutzen aber mit Ausnahme der jungen bzw. dichten Wälder alle Strukturen mehr oder minder regelmäßig.

Nutzung der vorhandenen Strukturen durch Fledermäuse



Strukturlegende

ST	Stangenholz; einschichtig, jung	Fi	Fichtenforst; Reife-/Schlußphase
EE	Erlenbruchwald	PW	Plenterartig; mehrschichtig
HW	Hallenwald; einschichtig, alt	ZS	Zweischichtig; Großschirm Schlag
LI	Lichtung	TN	Tunnelartig; Waldweg
WR	Waldrand	O	Offenland
Wk	kleiner Waldweiher		

Abbildung 23. Für die einzelnen unterschiedenen Arten wurde je Struktur die relative Dichte (Aktivitätszeit in Sekunden / Aufnahmenächte) ermittelt und vergleichend abgebildet.

Die Zwergfledermaus *P. pipistrellus* zeigte im Gegensatz zu ihrer Schwesternart eine starke Präferenz für Lichtungen, außerdem nutzte sie Hallenwald, zweischichtigen Wald (nur 2004) und den Waldrand häufig (Abbildung 23e). Auch über Waldwegen, dem Offenland sowie in plenterartigen Wäldern wurde sie regelmäßig nachgewiesen.

Die nah-verwandte Mückenfledermaus *P. pygmaeus* zeigte Präferenzen für Hallenwälder, zweischichtige Bestände (nur 2004), Waldwege und den Waldrand (Abbildung 23g).

Bei Betrachtung der räumlichen Verteilung der beiden genannten Arten (nicht abgebildet), zeigte sich eine geringe Überlappung in Bezug auf die genutzten Standorte. Die Aktivitätsschwerpunkte lagen von einander getrennt, meisten Kontakt hatten beide Arten am ‚Waldrand‘ und auf den Waldwegen.

Weiterhin scheint auch die Rauhaufledermaus *P. nathusii* sehr gezielt den Hallenwald zu nutzen, an anderen Strukturen wurde sie beinahe nicht erfasst (Abbildung 23h). Jedoch hält sich diese Art im Sommer nur in geringer Dichte in Bayern auf und bezieht hier in Wäldern bevorzugt Winterquartiere in Baumhöhlen, die wiederum im alten Hallenwald am zahlreichsten sind. Ihre Aktivität in den Sommermonaten war nur sehr gering, u.U. wurde sie im Wald nur nahe der Quartiere erfasst und hat dann weiter entfernte Jagdgebiete auch außerhalb des Waldes bezogen, dies würde sich durch ihre Aktivität am Waldrand und Offenland erklären lassen. Ebenso ist es möglich, dass die anwesenden Tiere auf dem Zug zu weiter südwestlich gelegenen Quartieren waren und daher in dieser Zeit nur im Hallenwald bei Verlassen oder Aufsuchen von Zwischenquartieren häufiger erfasst worden waren.

Gattung *Nyctalus*

Beide heimische Arten dieser Gattung wurden primär über dem Offenland und dem Waldrand nachgewiesen (Abbildung 23f). Es handelt sich um typische Jäger im freien Luftraum und sie werden an offenen Stellen leichter nachgewiesen, da die Rufe nicht durch Vegetation vom Mikrofon "abgehalten" werden. Durch ihre Befähigung zum schnellen Streckenflug nutzen sie die Landschaft opportunistisch für die Jagd. Dieses Jagdverhalten führt auch dazu, dass sie wohl geschlossene Waldstrukturen wenig oder gar nicht bei der Jagd nutzen und einzig beim Quartieraus- und -einflug im Wald erscheinen. Dadurch kann die Aktivität im Hallenwald und über Lichtungen erklärt werden.

4.1.4. Zusammenfassung der wichtigsten Fledermausarten und ihre Strukturnutzung

Die Abbildung 24 zeigt eine Übersicht der Aktivität von Fledermausarten mit direktem Waldbezug. Es wurden die Gattung *Nyctalus* und *P. nathusii* herausgenommen. Je Art wurde die prozentuale Verteilung der Aktivität auf die unterschiedenen Strukturen ermittelt und in einer Matrix abgebildet. Die Fläche der Fledermaus spiegelt den Nutzungsanteil wieder. Neben den Randstrukturen (Waldrand, Waldweg) und Lichtungen erwiesen sich der Hallenwald als artenreich und viel genutzt. Im Gegensatz dazu war die Diversität in jüngeren bzw. dichteren Waldbereichen sehr gering und beschränkt auf einzelne Arten der Gattung *Myotis*. Schirmschlagflächen und plenterartige Bereiche wurden mit Ausnahme der Mopsfledermaus dennoch von allen Arten genutzt.

Nutzung vorhandener Strukturen

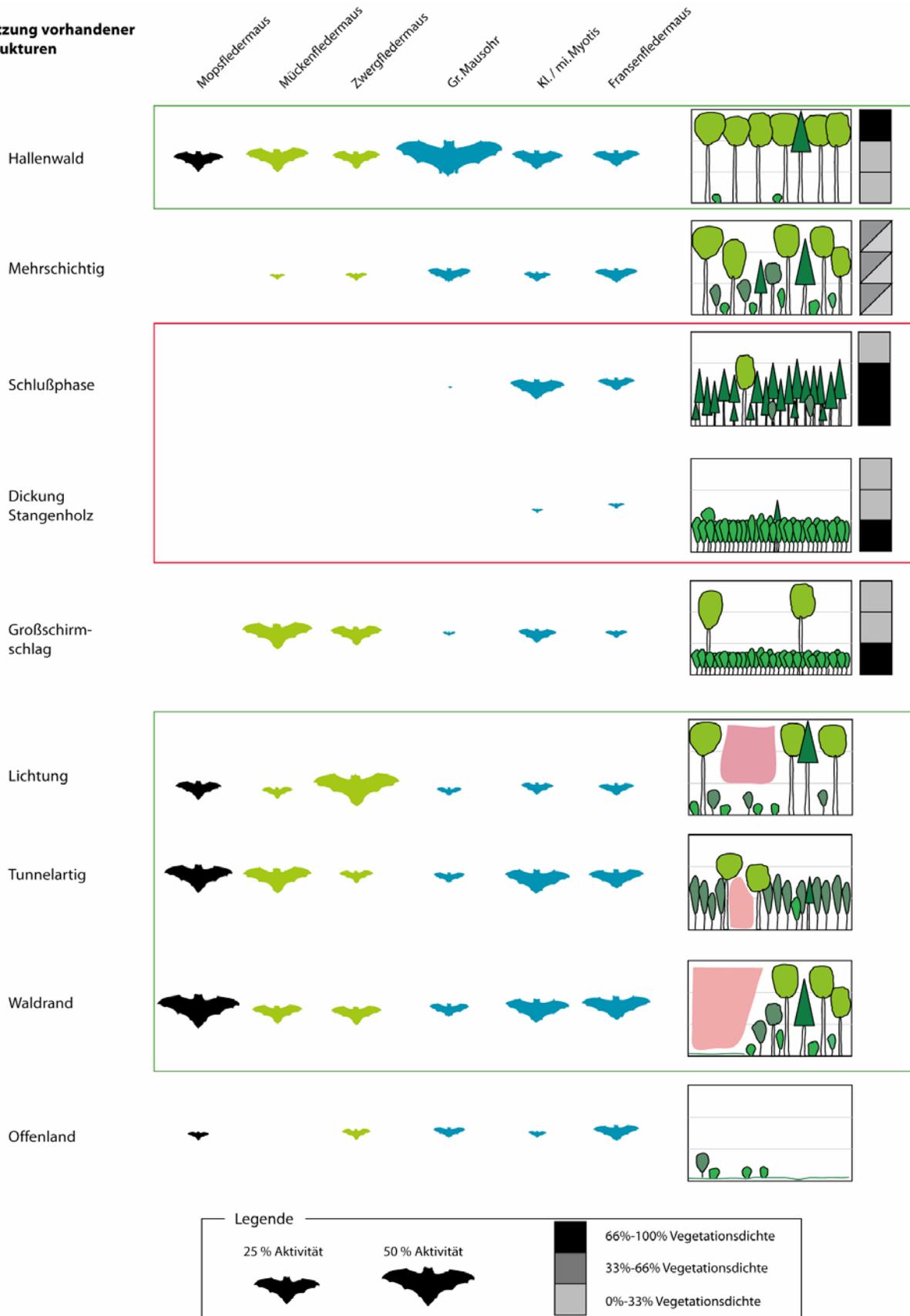


Abbildung 24. Je Fledermausart wurde an Hand der Dichte die prozentualen Aktivitätsanteile je untersuchter Struktur berechnet und über die Fläche der Fledermaussilhouette kodiert. Die Matrix zeigt sowohl die Nutzung der Strukturen durch einzelne Fledermausarten als auch die Diversität an den einzelnen Strukturen. Durch grüne Umrandungen sind besonders wichtige Standorte, durch rote wenig genutzte hervorgehoben.

4.2. Fledermausaktivität in verschiedenen Höhenschichten

4.2.1. Vegetationsstruktur der Standorte

Die Abbildung 25 bis Abbildung 28 zeigen Schnitte durch die errechneten Distanzräume der Standorte in der Ebene der Mikrofonkette. Weiterhin ist der prozentuale Anteil der Entfernungszonen über die Höhe dargestellt.

Es zeigt sich, dass die dreidimensionale Struktur der Räume mittels der Scans sehr gut erfasst werden konnte. Es gibt nur sehr wenige unbeobachtete Voxel. Am schlechtesten ist die Datenlage in den höheren Schichten der ‚Zerfallsphase‘. Dies war der einzige Standort, bei dem Scandaten aus der Vegetationsperiode verwendet wurden.

Bei allen Standorten außer dem Standort ‚Plenterartiger Wald‘ liegt die maximale erfasste Kronenhöhe zwischen 35-40m. Dies entspricht den Abschätzungen der örtlichen Förster.

Die obere Baumkronengrenze ist an den Standorten durch das oberste Mikrofon verschieden gut abgedeckt: am besten im ‚Plenterartiger Wald‘ und am schlechtesten in der ‚Zerfallsphase‘.

Die Schichtung der Struktur an den Standorten führt zur einer sehr variablen und charakteristischen Ausprägung der Flugräume. Generell kann man die Untersuchungsflächen wie folgt von *clutter*-reich zu *clutter*-arm anordnen:

‚Plenterartiger Wald‘ ⇒ ‚Hallenwald‘ ⇒ ‚Lichtung‘ ⇒ ‚Zerfallsphase‘.

‚Lichtung‘ und ‚Zerfallsphase‘ ähneln sich in ihrer Ausprägung. Bei der ‚Zerfallsphase‘ treten jedoch bis zu 7m hohe Verjüngungskegel auf, und die Flugräume sind im Gegensatz zur ‚Lichtung‘ netzartig verbunden.

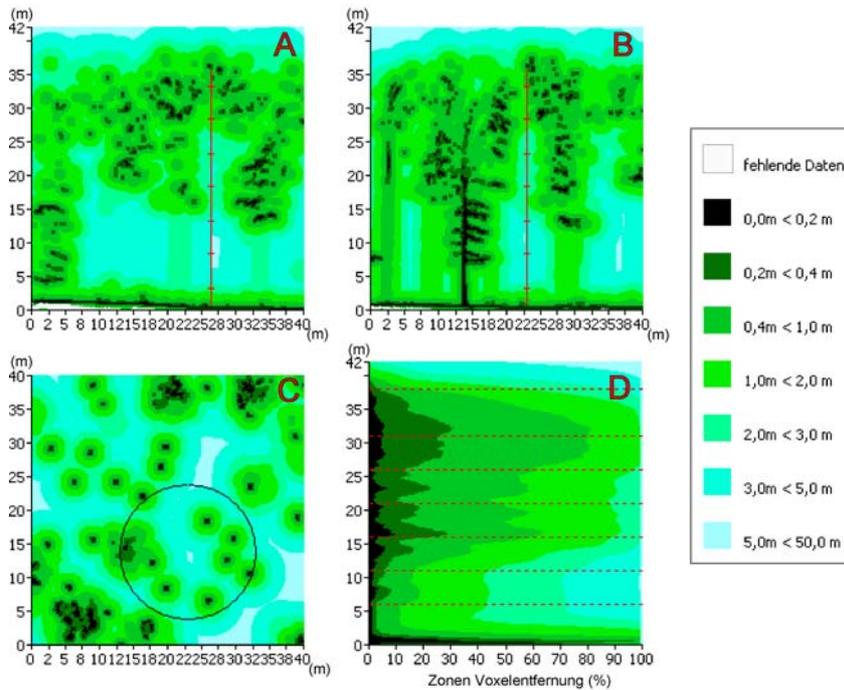


Abbildung 25. Struktur des Standortes ‚Hallenwald‘. A und B zeigen vertikale Schnitte durch die Distanzmatrix in Höhe der Mikrofonkette (in Rot). Der Radius des Raumes um die Mikrofone, der in die Strukturauswertung einging, ist im Horizontalschnitt (C, 12,5m Höhe) eingezeichnet. Der Profilplot D zeigt die resultierende Verteilung der Voxel auf Entfernungsklassen. Rot sind die Ober- und Untergrenzen der Mikrofonsschichten eingefügt.

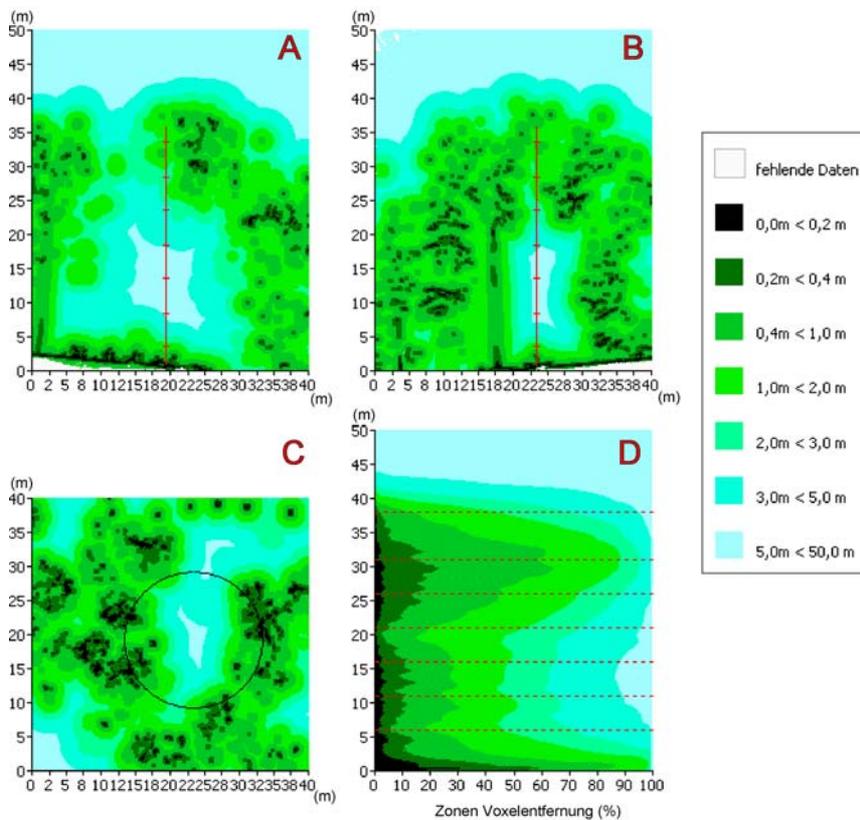


Abbildung 26. Struktur des Standortes ‚Lichtung‘. A und B zeigen vertikale Schnitte durch die Distanzmatrix in Höhe der Mikrofonkette (in Rot). Der Radius des Raumes um die Mikrofone, der in die Strukturauswertung einging, ist im Horizontalschnitt (C, 12,5m Höhe) eingezeichnet. Der Profilplot D zeigt die resultierende Verteilung der Voxel auf Entfernungsklassen. Rot sind die Ober- und Untergrenzen der Mikrofonsschichten eingefügt.

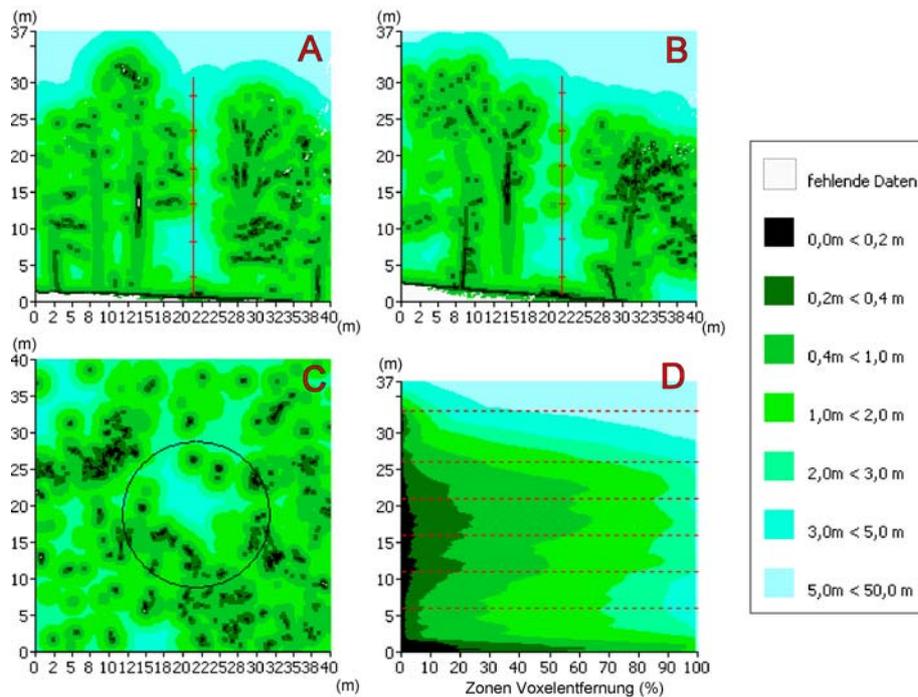


Abbildung 27. Struktur des Standortes ‚Plenterartiger Wald‘. A und B zeigen vertikale Schnitte durch die Distanzmatrix in Höhe der Mikrofonkette (in Rot). Der Radius des Raumes um die Mikrofone, der in die Strukturauswertung einging, ist im Horizontalschnitt (C, 12,5m Höhe) eingezeichnet. Der Profilplot D zeigt die resultierende Verteilung der Voxel auf Entfernungsklassen. Rot sind die Ober- und Untergrenzen der Mikrofonsschichten eingefügt.

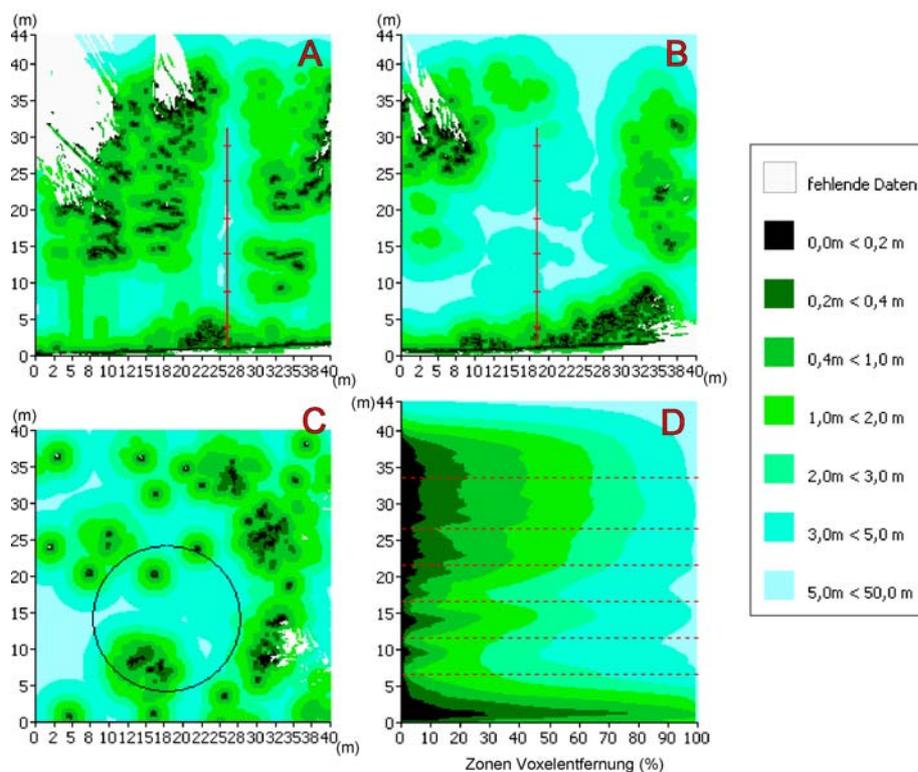


Abbildung 28. Struktur des Standortes ‚Zerfallsphase‘. A und B zeigen vertikale Schnitte durch die Distanzmatrix in Höhe der Mikrofonkette (in Rot). Der Radius des Raumes um die Mikrofone, der in die Strukturauswertung einging, ist im Horizontalschnitt (C, 12,5m Höhe) eingezeichnet. Der Profilplot D zeigt die resultierende Verteilung der Voxel auf Entfernungsklassen. Rot sind die Ober- und Untergrenzen der Mikrofonsschichten eingefügt.

4.2.2. Fledermausaktivität an den Standorten

Im ‚Hallenwald‘ konnten 678 Aufnahmen, an der ‚Lichtung‘ 893 Aufnahmen, auf dem Standort ‚Plenterartiger Wald‘ 169 Aufnahmen und in der ‚Zerfallsphase‘ 294 Aufnahmen gemacht werden. Diese Rufsequenzen haben eine Gesamtdauer von 4375 Sekunden. Die Fledermausaktivität wird im Folgenden als relative Dichte angegeben, die sich aus der Aufnahmezeit in Sekunden pro Untersuchungsstunde errechnet. Insgesamt konnten Rufe von mindestens 12 Arten belegt werden. Da von manchen dieser Arten nur wenige Sequenzen vorlagen, oder nur ein kleiner Teil der Aufnahmen einer Gattung auf Artniveau bestimmt werden konnte, wurden die Auswertungen mit den in Tabelle 4 gezeigten zusammengefassten Gruppen durchgeführt.

Die relative Dichte der Taxa an den Untersuchungsstandorten ist in Abbildung 29 dargestellt. Es zeigt sich, dass fast alle Taxa den dichten Standort ‚Plenterartiger Wald‘ meiden. Insbesondere *Barbastella barbastellus* und die Gattung *Nyctalus* zeigen eine deutliche, mit der allgemeinen Dichte der Standorte korrelierte Aktivitätsabnahme. Nur *Myotis myotis* mied die lückigen Strukturen der ‚Zerfallsphase‘ und der ‚Lichtung‘ und bevorzugte die geschlossenen Waldstandorte. Der Rest der Gattung *Myotis* sowie insbesondere die Arten der Gattung *Pipistrellus* zeigen extreme Aktivitätspeaks an einzelnen Standorten. Hier lagen anscheinend neben der Struktur weitere (funktionale oder stochastische) Faktoren vor, die die Raumnutzung beeinflussten. Die starke Bevorzugung des Standorts ‚Hallenwald‘ durch *Pipistrellus nathusii* unterstützt die Beobachtungen von Volker Runkel und werden dort diskutiert (siehe Kapitel 4.1 „Allgemeine Fledermausaktivität im Ebracher Forst“). Auch die starke Aktivität von *Pipistrellus pygmaeus* auf der ‚Lichtung‘ wird durch die batcorder Daten erklärt. Die Art nutzt nur ein sehr eng umgrenztes Gebiet im Kerngebiet des Naturwaldreservates „Waldhaus“, in dem die ‚Lichtung‘ liegt. Des Weiteren beobachtete Volker Runkel, dass sich die beiden Arten *Pipistrellus pygmaeus* und *Pipistrellus pipistrellus* vermutlich aus Konkurrenzgründen „aus dem Wege gehen“.

Bestimmungsniveau	Zusammengefasste Gruppe
<i>Barbastella barbastellus</i>	<i>Barbastella barbastellus</i>
<i>Myotis myotis</i>	<i>Myotis myotis</i>
<i>Myotis bechsteinii</i>	<i>Myotis spec.</i>
<i>Myotis nattereri</i>	
<i>Myotis daubentonii</i>	
<i>Myotis brandtii/mystacinus</i>	
<i>Myotis spec.</i>	
<i>Nyctalus leisleri</i>	
<i>Nyctalus noctula</i>	
<i>Nyctalus spec.</i>	
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>
<i>Pipistrellus nathusii</i>	<i>Pipistrellus nathusii</i>
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>
<i>Pipistrellus spec.</i>	<i>Pipistrellus spec.</i>
<i>Plecotus spec.</i>	<i>Plecotus spec.</i>

Tabelle 4. Akustisch nachgewiesene Taxa und deren Gruppierung für die weiteren Analysen zur Höhenverteilung

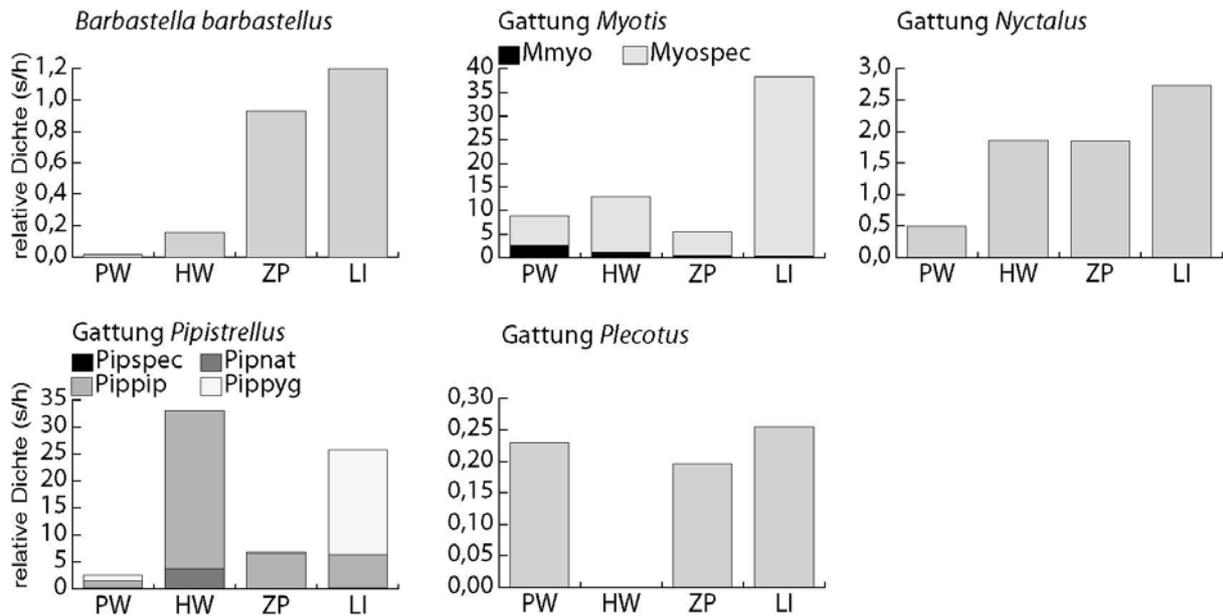


Abbildung 29. Mittlere Nutzung der vier Untersuchungsstandorte durch die Arten/Gattungen

4.2.3. Fledermausaktivität in Abhängigkeit Höhe und Struktur

Schaut man sich die Aktivität der Taxa in den einzelnen Höhenschichten der Standorte an (Abbildung 30), so fällt auf, dass von allen Gattungen/Arten die vegetationsarmen Schichten bevorzugt genutzt werden. Hinsichtlich der Vegetationsparameter waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen zu erkennen. Jedoch zeigen die Taxa deutliche Unterschiede in der Höhennutzung. Es deutet sich die generelle Bevorzugung bestimmter Höhenschichten an.

Mittelt man für Arten über alle Standorte die Aktivität in den Höhenschichten, ergeben sich charakteristische Verteilung (siehe Abbildung 31).

Das Mausohr flog grundsätzlich nur in der Unterschicht bis 10m. *Barbastella barbastella* nutzt Unter- und Mittelschicht. Dies ist interessant, da verschiedentlich postuliert wurde, dass gerade diese Art über den Baumkronen jagt. Dies geht hauptsächlich auf Beobachtungen von SIERRA (1999) in 6-8m hohen (!) Kiefernwäldern an Alpenhängen zurück.

Dies kann zumindest für das Untersuchungsgebiet ausgeschlossen werden, da von dieser recht laut rufenden Art nicht eine Sequenz am obersten Mikrofon aufgenommen wurde. Dagegen wurde bei Abendseglern und Zwergfledermäusen häufig verstärkte Jagd im Kronenbereich aufgezeichnet. Diese Tiere konnte man auch bei Dämmerung in der ‚Zerfallsphase‘ und an der ‚Lichtung‘ zwischen den Kronen fliegen sehen. Die Gattung *Pipistrellus* war hinsichtlich der Höhennutzung besonders plastisch. Im ‚Hallenwald‘ flogen die Tiere tief, während sie an der ‚Lichtung‘ mittlere Bereiche bevorzugten und in der ähnlich strukturierten ‚Zerfallsphase‘ sogar die Oberschicht bevorzugten. Auch das lückige Kronendach am Standort ‚Plenterartiger Wald‘ wurde von ihnen ebenso wie von Tieren der Gattungen *Nyctalus* und *Myotis* genutzt. Diese Gattung flog zwar schwerpunktmäßig in der Unterschicht, war jedoch in geringerer Dichte immer bis in die Kronenschicht anzutreffen. Hier wäre interessant zu wissen, ob sich innerhalb der Gattung die Arten stark unterscheiden.

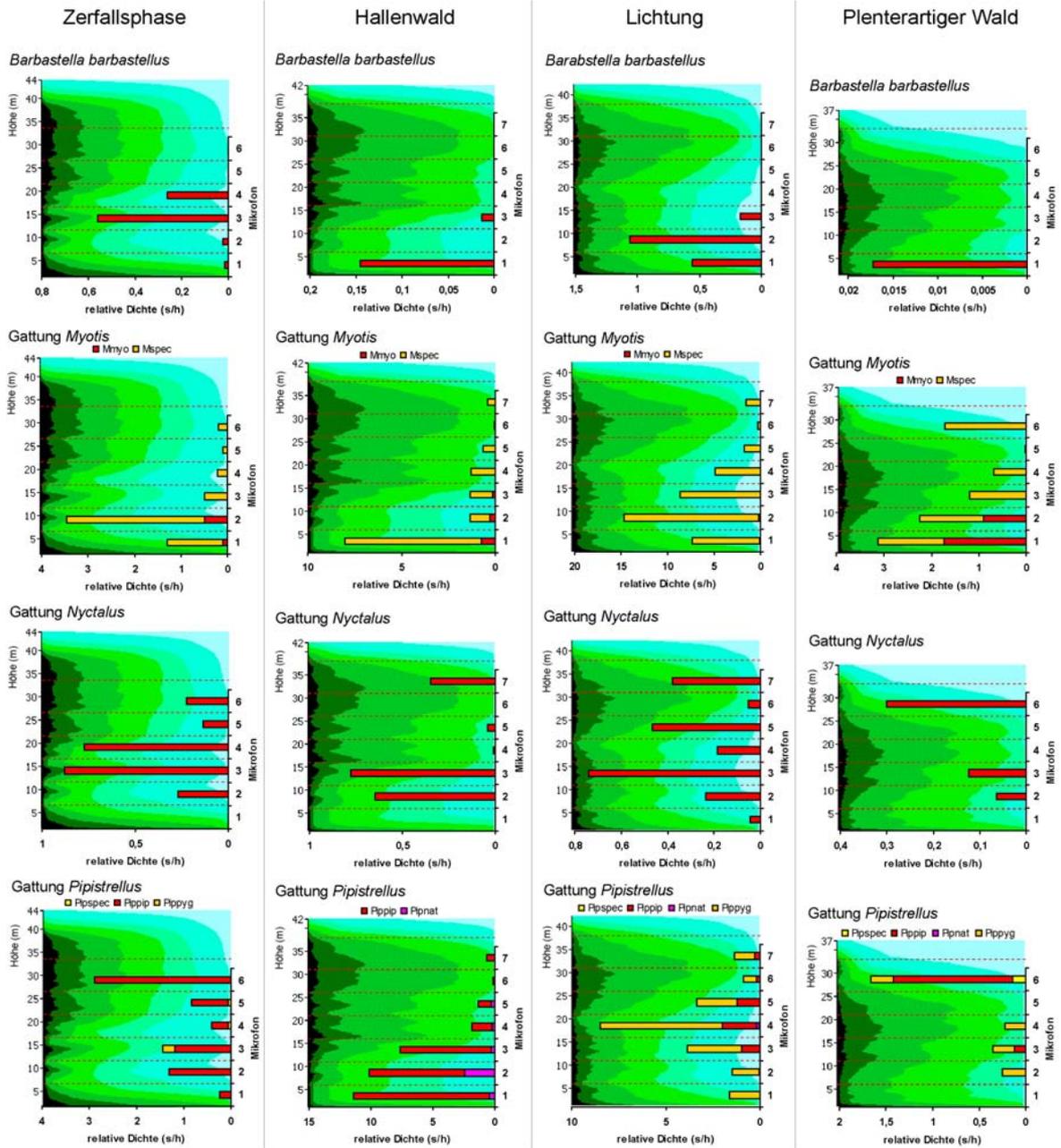


Abbildung 30. Höhenverteilung der Aktivitäten an den vier Standorten. Den Diagrammen sind die prozentualen Anteile der Flugraumzonen hinterlegt; sie entsprechen den Darstellungen in den Grafiken 4-7.

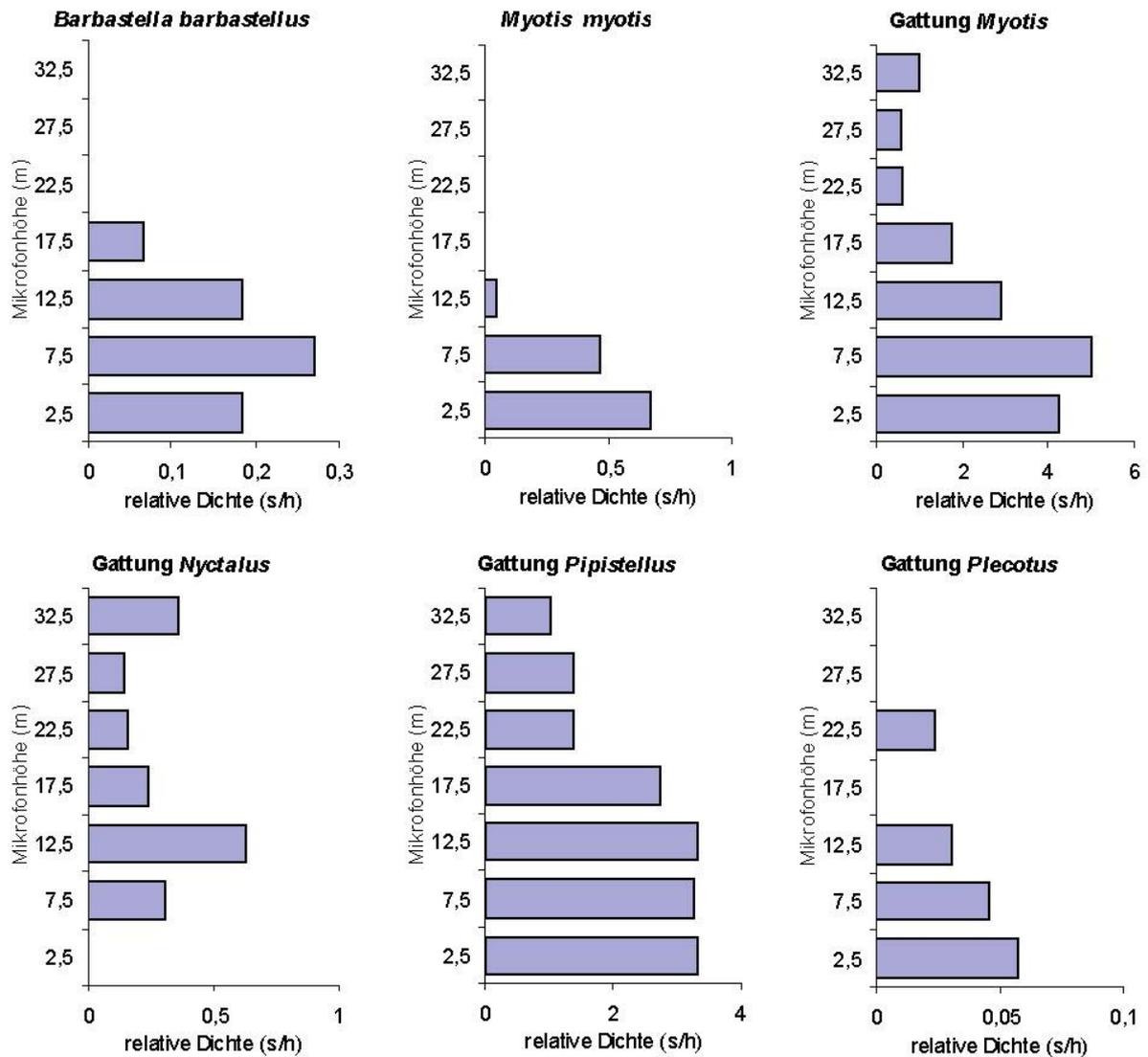


Abbildung 31. Mittlere relative Dichte in Abhängigkeit von der Höhe

Zusammenfassend lässt sich für alle Taxa feststellen, dass die Aktivität in und über der Kronenschicht (ab 20m) im Mittel aller Standorte geringer war, als unter den Kronen. Je lückiger das Kronendach war, desto stärker wurden auch höhere Schichten genutzt. Sehr deutlich wird dies, wenn man den ‚Hallenwald‘ (Kronendach geschlossen, Unterschicht sehr licht) mit dem Standort ‚Plenterartiger Wald‘ (durch gestuftes Kronendach Oberschicht sehr licht) vergleicht.

4.3. Distanzverhalten der Fledermäuse

Die verschiedenen im Wald vorkommenden Fledermausarten unterscheiden sich in ihrer Größe und ihrer Flügelform. Solche Unterschiede gehen oft mit besonderen Strategien beim Beutefang einher: Während die meisten Arten (wie der Abendsegler, die Zwergfledermäuse oder die Mopsfledermaus) ausschließlich fliegende Insekten erbeuten, gibt es im Wald auch einige Spezialisten, wie die Fransenfledermaus, die auch Radnetzspinnen aus deren Netzen fängt, die Langohrfledermäuse, die auf der Vegetation sitzende Insekten anhand deren Laufgeräuschen erkennen und fangen oder das Große Mausohr, welches Laufkäfer anhand deren Raschelgeräusche in der Laubstreu finden und erbeuten kann. Jede dieser Beutefangstrategien stellt ganz unterschiedliche Erfordernisse an das Flugvermögen. Ein Jäger im offenen Luftraum sollte mit möglichst wenig Energieaufwand fliegen können und schnell große Strecken auf der Suche nach Beutetieren abpatrouillieren können. Er kann auf eine besonders hohe kleinräumige Wendigkeit verzichten. Die Langohrfledermäuse hingegen müssen ganz außergewöhnlich wendig sein, um nahe an der Vegetation zu fliegen und Beute von Blättern abzulesen. Da ihre Beutetiere viel häufiger sind ist ihre Fähigkeit zum kostengünstigen Streckenflug viel weniger gut ausgebildet. Solcherlei Unterschiede im Jagdverhalten schlagen sich in der Flügelform nieder, die bestimmt, mit welcher Geschwindigkeit eine Fledermausart besonders effizient fliegt, und wie manövrierfähig sie ist. Schnelle Patrouillenflüge und wendiger kleinräumiger Flug sind dabei unvereinbare Extreme.

Für die Waldnutzung der verschiedenen Fledermausarten lässt sich also vorhersagen, dass schnell fliegende Arten, die ihre Beute im offenen Luftraum erjagen, aufgrund ihrer eingeschränkten Manövrierfähigkeit dichtere Waldstrukturen nicht befliegen und damit jagdlich nicht nutzen können. Die in diesem Zusammenhang besonders interessante Art ist die Mopsfledermaus, die bekanntermaßen einen solch rasanten Flugstil pflegt, aber völlig an den Wald als Jagdlebensraum gebunden ist. Sie ist zugleich die am stärksten bedrohte Fledermausart in Deutschland. Wir wollen in diesem Projektabschnitt im Detail untersuchen, wie sich ihr Raumnutzungsverhalten von dem anderer Arten unterscheidet und welche Mindestabstände sie zur Vegetation einhält, um daraus abzuleiten, ob die heutige Waldstruktur ihren Erfordernissen an das Jagdhabitat ausreichend entgegen kommt.

Im Sommer 2005 wurde im Rahmen der Diplomarbeit von Peter Reh an fünf ausgewählten Standorten das Raumnutzungsverhalten aller dort vorkommenden Fledermausarten erfasst (siehe Abbildung 32). Der Sommer zeichnete sich leider durch ausgeprägte Schlechtwetterphasen und bei schönem Wetter durch häufige abendliche Regenfällen aus. Da die eingesetzte Technik zur Flugbahnverfolgung sehr empfindlich auf Wind reagiert und bei Regen nicht eingesetzt werden kann lag die Anzahl der erfolgreichen Beobachtungsnächte bei lediglich 14. Dennoch ergab sich daraus die erfreulich hohe Zahl von 352 Flugbahnen von 11 verschiedenen Fledermausarten. Die Arten wurden anhand ihrer oft arttypischen Echoortungslaute angesprochen. Manche Arten wie das Graue und das Braune Langohr und die Kleine und Große Bartfledermaus können so nicht getrennt werden. Wasserfledermäuse, Bartfledermäuse und Bechsteinfledermäuse rufen manchmal ununterscheidbar. Solche Sequenzen wurden zu der Gruppe *Myotis spec.* zusammengefasst, die aber wohl am häufigsten Bartfledermäuse enthalten dürfte.

Die aufgezeichneten Flugbahnen verteilen sich wie folgt auf die einzelnen Arten:

Art	Wissenschaftlicher Name	Anzahl Bahnen
Mopsfledermaus	<i>Barbastella barbastellus</i>	50
Bechsteinfledermaus	<i>Myotis bechsteinii</i>	28
Kleine und Große Bartfledermaus	<i>Myotis mystacinus & brandtii</i>	73
Wasserfledermaus	<i>Myotis daubentoni</i>	75
Großes Mausohr	<i>Myotis myotis</i>	1
Fransenfledermaus	<i>Myotis nattereri</i>	1
Nicht identifizierbare Myotis	<i>Myotis spec.</i>	81
Kleiner Abendsegler	<i>Nyctalus leisleri</i>	1
Rauhautfledermaus	<i>Pipistrellus nathusii</i>	1
Zwergfledermaus	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	32
Mückenfledermaus	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	6
Langohrfledermaus	<i>Plecotus spec.</i>	3

Tabelle 5. Verteilung der 352 im Sommer 2005 aufgezeichneten Flugbahnen auf die verschiedenen angetroffenen Fledermausarten.

Echte Fangmanöver sowie ‚unsaubere‘ Bahnen die aus zu großem Abstand aufgenommen waren, wurden nicht für die genaue Analyse des Raumnutzungsverhaltens herangezogen, sodass letztlich 241 Bahnen zur Verfügung standen. Abbildung 32 zeigt exemplarisch für den Standort ‚Zerfallsphase‘ die aufgenommenen Flugbahnen. Es handelt sich um je eine Bartfledermaus, Wasserfledermaus, Großes Mausohr und Langohrfledermaus. Außerdem flogen 6 Zwergfledermäuse und eine unbestimmbare *Myotis*.

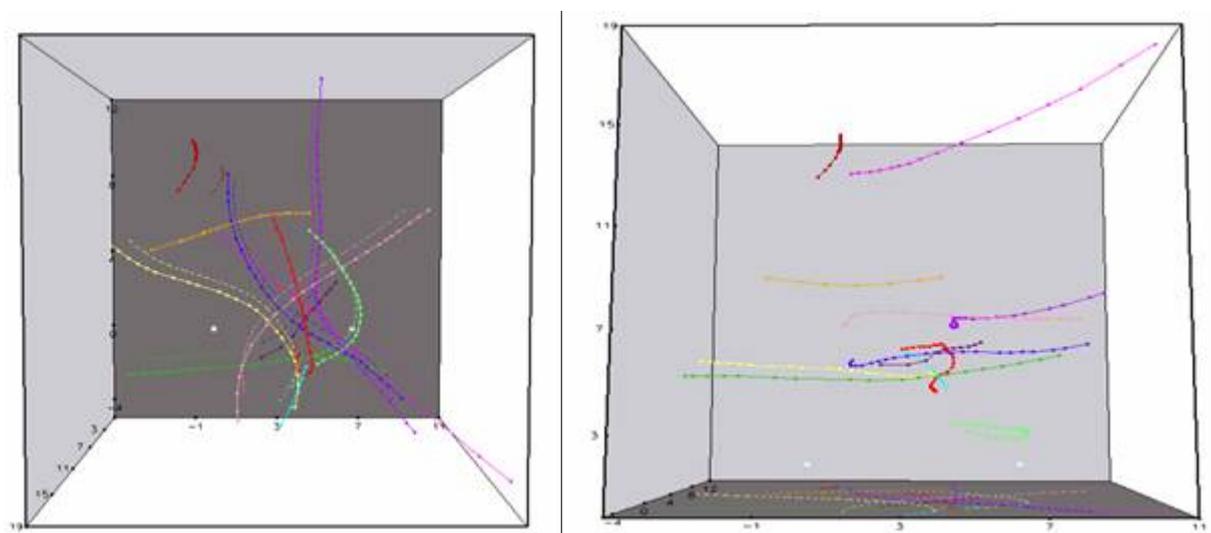


Abbildung 32. Darstellung der am Standort ‚Zerfallsphase‘ erfassten Flugbahnen. Links in Aufsicht. Rechts in Seitenansicht. Jeder Ortungsruf wird als Viereck dargestellt, einzelne Rufe des gleichen Individuums sind von gleicher Farbe und durch Linien miteinander verbunden. Die Position der Arrays sind durch weiße Würfel dargestellt. Zu sehen ist die diffuse Verteilung der Bahnen sowohl in der Höhe (3-17m) als auch in der Fläche (15x12m) (AUS REH, 2006).

Fluggeschwindigkeiten

An dieser Stelle muss angemerkt werden, dass Flugbahnverfolgung eine aufwändige und deshalb sehr wenig verbreitete Untersuchungsmethode ist, weshalb in dieser Arbeit von manchen Arten (z.B. Mopsfledermaus, Bechsteinfledermaus, Langohrfledermaus) die überhaupt ersten Fluggeschwindigkeitsmessungen präsentiert werden.

Alle Fledermäuse flogen zwischen 2,5 und 10 m/s schnell. Die Fluggeschwindigkeiten der verschiedenen Arten zeigten ein auffälliges Muster: Einige Arten flogen beständig schneller als andere, was einen Einfluss der unterschiedlichen Flügelmorphologie vermuten lässt. In diesem Vergleich war die Mopsfledermaus immer die schnellste und flog im Mittel zwischen 6-8 m/s (21-29 km/h) und erreichte sogar teilweise 36 km/h. Ähnlich schnell war der (in dieser Studie seltene) Kleinabendsegler mit im Mittel 8 m/s. Die Bechsteinfledermaus war meist die langsamste Art mit im Mittel 4,6-6,2 m/s. Die Langohrfledermäuse flogen mit ca. 5,5 m/s vergleichsweise schnell, was zeigt, dass wir sie nicht beim schwirrenden Suchflug vor der Vegetation, sondern eher beim Wechsel zwischen zwei Jagdstandorten beobachtet hatten. Besonders interessant aber noch völlig unverstanden ist bislang, weshalb an manchen Abenden alle Arten bis zu 2 m/s schneller flogen als an anderen.

Es zeigen sich also deutlich artspezifische Unterschiede der Fluggeschwindigkeit selbst im gleichen Habitat. Die große Relevanz solcher Fluggeschwindigkeitsunterschiede für das Raumnutzungsverhalten wird deutlich, wenn man bedenkt, dass die zum Kurvenflug aufzubringenden Zentripetalkräfte mit dem Quadrat der Fluggeschwindigkeit anwachsen, und die entstehenden zusätzlichen Beschleunigungen selbst bei mittleren Kurvenradien schnell in Bereiche kommen, in denen ein Bruch der Flügel droht. Schnell fliegende Arten müssen schon deshalb größeren Abstand zur Umgebung halten, um im Gefahrenfall ausreichend Platz für ein Ausweichmanöver zu haben. Nun ist jedoch Fledermausflügel nicht gleich Fledermausflügel und durch den folgenden Vergleich soll quantifiziert werden, welche (Sicherheits-)Abstände die verschiedenen Fledermausarten denn tatsächlich im Freiland einhalten.

Raumnutzungsverhalten von Fledermäusen

Zum Erfassen des Abstandsverhaltens der Fledermausarten wurden jeweils drei Schnitte durch die räumlichen Laserscandaten gelegt. Die gewählten Schnittebenen liegen horizontal, vertikal längs und vertikal quer zur Flugrichtung und ergeben ein zweidimensionales profilähnliches Abbild der durchschnittlichen Objektflächen. Daraus werden die Abstände zu den vorhandenen Objekten ermittelt. So werden artspezifische Unterschiede im Abstandsverhalten der Tiere erkennbar, was Rückschlüsse auf die artspezifischen Erfordernisse an freien Flugraum erlaubt.

Flughöhe

Fast alle Fledermausarten nutzten den durch den Bau des Waldes zur Verfügung stehenden Höhenbereich vollständig aus und flogen zwischen 1 m und 14 m über Grund. Auch in größerer Höhe sind in höheren Wäldern Fledermäuse vorhanden (vgl. Ergebnisse zur Flughöhenverteilung mittels Mikrofonkette), sie lassen sich jedoch mit den hier eingesetzten bodennahen Mikrofonen nicht mehr erfassen. Interessanterweise flog gerade die besonders gefährdete Mopsfledermaus ausschließlich niedrig zwischen 1,8 und 3,8 m Höhe.

Seitliches Abstandsverhalten

Die gepoolte Analyse aller Standorte erbrachte zwar eindeutiges Abstandsverhalten, allerdings ließen sich keinerlei artspezifische Unterschiede erkennen. Es zeigte sich, dass alle Arten sehr ähnliche seitliche Mindestabstände von 1-1,5 m halten. Lediglich die Bartfledermäuse flogen regelmäßig auch bis auf 30 cm an die Vegetation heran. Damit konnten in der Gesamtsicht die Erwartung artspezifischer Unterschiede im Abstandsverhalten aufgrund ungleicher Manövrierfähigkeit nicht bestätigt werden. Die Ursache für diesen Befund liegt nach jetzigem Kenntnisstand daran, dass die ausgewählten Standorte den Fledermausarten ‚nicht alles abverlangten‘, und somit artspezifische Unterschiede prinzipiell nicht aufgedeckt werden konnten. In Abbildung 32 liegen die Bahnen recht willkürlich im Raum, was daran liegt, dass eben weit mehr als der minimal benötigte Flugraum zur Verfügung stand. Dies wurde auf andere Art und Weise auch am ‚Waldrand‘ deutlich, wo alle Arten recht genau über der Mitte des Weges flogen. Zum Aufdecken artspezifischer Unterschiede hätte man eine ganze Serie unterschiedlich breiter Wegschneisen untersuchen müssen um die von jeder Art gerade noch genutzte Wegschneisenbreite festzustellen. Diese Vorgehensweise ist aus Zeitgründen und in Ermangelung geeigneter Schneisen mit ausreichender Fledermausaktivität nicht durchführbar. Aus diesem Grund wurde in der Saison 2006 oben beschriebenes Experiment mit einer kontinuierlichen Schneisenverengung durchgeführt, über das unten ausführlich berichtet wird.

Doch bei genauerer Analyse lässt sich auch aus den Daten des Jahres 2005 einiges schließen: Im Gegensatz zum Standort ‚Waldrand‘ mit Wegbreiten deutlich über 4 m, wo auch alle wenig wendigen schnellen Arten flogen, fällt bei den maximal 2 m breiten Rückegassen im Fichtenforst auf, dass nur die wenigsten Arten der Gattung *Myotis* flogen. Das ist ein deutlicher Hinweis auf einen Ausschluss weniger manövrierfähiger Arten. Interessanterweise war die Rückegasse an einer Stelle durch einwachsende Äste zusätzlich auf weniger als 1 m verengt. Diese Engstelle wurde von fast allen Fledermäusen auf einer offeneren ‚Ausweichroute‘ umflogen, die durch eine Durchforstung direkt neben der Verengung entstanden war. Lediglich die bekanntermaßen besonders manövrierfähige Fransenfledermaus *Myotis nattereri* verfolgte ihren geradlinigen Weg selbst durch diese Engstelle hindurch. Diesen Sommer wurde die Verengung entfernt, und es zeigte sich, dass nun auch andere Arten (Bartfledermäuse) wieder geradlinig die jetzt freie Schneise nutzen. Allerdings folgten einige Individuen weiterhin der Ausweichroute, was sich wohl am besten durch Traditionsbildung erklären lässt. Das langsame Zuwachsen solcher Flugschneisen kann demnach die Zugänglichkeit des Waldes für verschiedene Arten unterschiedlich stark beeinträchtigen. Es lassen sich also bereits aus den Daten des ersten Jahres durchaus Hinweise auf artspezifisches Abstandsverhalten gewinnen.

Experiment: Flugschneisenverengung

Im Jahr 2006 führte Thomas Wanner als Diplomarbeit das oben beschriebene Experiment zur Flugschneisenverengung durch. Im Rahmen dieses Projektes konnte er weit über 500 Flugbahnen verschiedener Arten erfassen. Diese Arbeit ist noch nicht abgeschlossen. Einige Daten sind in die nachfolgend gezeigten Ergebnisse noch nicht eingearbeitet. Weitere Analysen etwa unter Einbeziehung der Distanzmatrizen oder von frontalen Distanzbildern fehlen noch. Auch die Veränderungen bei der Fluggeschwindigkeit und im Ortungsverhalten in Reaktion auf die Schneisenverengung fehlen bislang. Die wichtigsten Ergebnisse liegen jedoch bereits vor: die artspezifische Neigung durch einen verengten Korridor zu fliegen.

Zunächst lässt sich feststellen, dass sich der von den Fledermäusen genutzte Korridor tatsächlich durch eine Verengung der Flugschneise verschieben lässt, und

zwar so, dass alle Arten weiterhin genau in der Mitte des nunmehr freien Bereiches flogen. Dieses Ergebnis ist bereits an sich ein zwar erwarteter aber wissenschaftlich interessanter Befund. Tendenziell lässt sich feststellen, dass bei geringerer Schneisenbreite die Fluggeschwindigkeit ab- und die Häufigkeit der Rufe zunahm. Ein bestimmter Prozentsatz jeder Art folgte auch ohne Verengung nicht dem Korridor über dem Weg, sondern zog es vor deutlich höher und seitlich versetzt über der Hecke zu fliegen. Der Anteil durch den Korridor fliegender Individuen lag bei der Gattung *Myotis* (bislang nicht weiter aufgetrennt) bei 89% bei der Mopsfledermaus bei 93% aber bei der Zwergfledermaus bei lediglich 71%. In Abbildung 33 lässt sich erkennen, dass bei zunehmender Verengung, d.h. engerer Flugschneise, ein immer geringerer Prozentsatz den Korridor benutzt und mehr Individuen nach oben ausweichen, wie es auch unserer Erwartung entsprach. Besonders interessant ist hierbei, dass tatsächlich die drei unterschiedenen Gruppen unterschiedliche minimale Schneisenbreiten zeigten: 50% der Mopsfledermäuse waren zwischen Verengungsstufe 2 und 3 erreicht. Damit waren sie –ganz erwartungsgemäß für die schnellsten Flieger- die ersten die den Korridor verließen. Obwohl die exakte Auswertung noch fehlt entspricht dies einer minimalen Schneise von etwa 2,5 m. Als nächstes verließen die Zwergfledermäuse die verengte Flugschneise und zwar zu 50% knapp über der Verengungsstufe 3, was grob einer minimalen Schneisenbreite von 2 m entspricht. Als letztes verschwanden auch die manövrierfähigsten Arten der Gattung *Myotis* die Flugschneise und zwar genau zwischen den Verengungsstufen 3 und 4, was etwa 1,5 m Schneisenbreite entsprechen dürfte. Damit wurden unsere Vorhersagen glänzend bestätigt. Zuerst die schnellfliegenden Mopsfledermäuse, dann die etwas langsameren aber an den offenen Luftraum gebundenen Zwergfledermäuse und schließlich die vegetationsnahe jagenden *Myotis*. Bei weiteren Auswertungen wird sich zeigen, ob auch innerhalb der Gattung *Myotis* eine weitere Auftrennung etwa zwischen Arten des offenen Luftraums und solchen die Insekten von der Vegetation ablesen besteht. Als Ergebnis dieses zeitaufwändigen Experimentes lässt sich also klar ein artspezifisches Abstandsverhalten belegen. Für die besonders bedrohte Mopsfledermaus heißt dies, dass im Wald lineare Schneisen mit einer Breite von wenigstens 2,5 m bereitgestellt werden müssen, um die Habitatzugänglichkeit zu erhöhen. Das gilt wie gesagt nur für lineare Strukturen. Ob ihr die wohl deutlich anspruchsvollere Manövrieraufgabe innerhalb gewundener Flugschneisen im Wald oder im Kronendach bei ebenso geringen Schneisenbreiten gelingt darf bezweifelt werden und die Beantwortung erfordert weitere Untersuchungen.

Prozentualer Anteil der Durchflüge für die verschiedenen Verengungsstufen

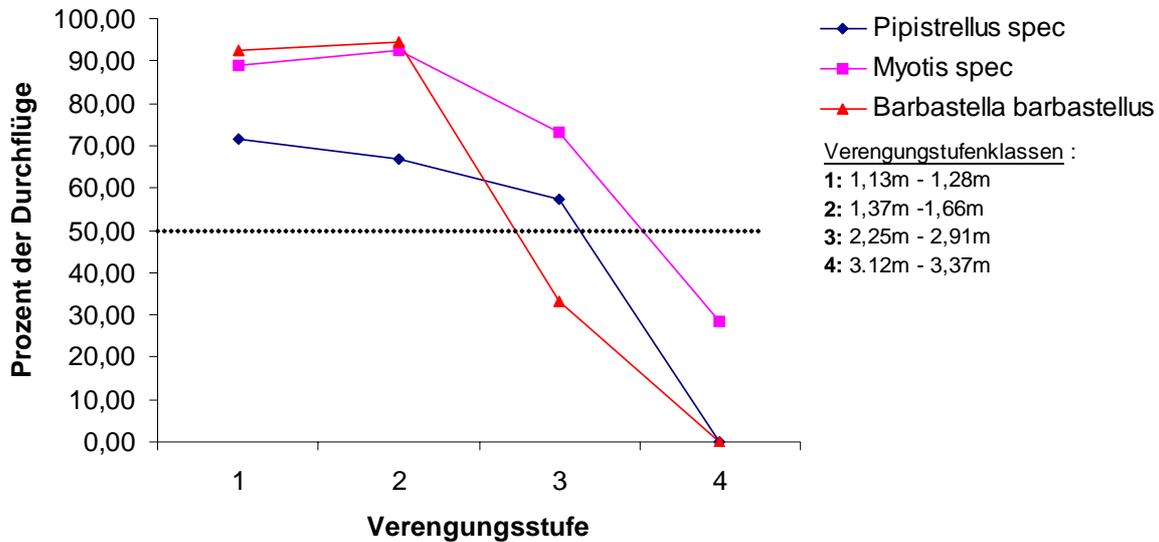


Abbildung 33. *Prozentsatz der Individuen die den Flugkorridor benutzen als Funktion der Verengungsstufe. Es wurde unterteilt in Mopsfledermaus, Zwergfledermaus und alle Myotis. 246 Bahnen wurden ausgewertet. Die bei den Verengungsstufenklassen angegebenen Distanzwerte entsprechen den Abständen zwischen der Hecke und dem Tarnnetz. Die Flugschneisenbreite ist die gesamte Wegbreite abzüglich dieses Wertes.*

4.4. Kleinräumige forstliche Veränderungen im Habitat

Hierzu bleibt festzuhalten, dass an beiden Stellen an denen Hindernisse aus bestehenden Flugschneisen entfernt wurden, sich das Flugverhalten gemäß den Erwartungen veränderte: Im Fichtenforst flogen nun auch wieder Bartfledermäuse geradlinig entlang der verbreiterten Rückegasse. Am Standort ‚Waldweg‘ war ein dominanter Buchenast entfernt worden, der den Flugkorridor deutlich nach unten verschob. Alle Arten erniedrigten ihre Flughöhe um ihn zu unterfliegen. Die Mopsfledermaus schaltete zusätzlich auf die für diese Art typischen Ortungslaute um, die nur in nächster Nähe zu Hindernissen gezeigt werden. Nach Entfernen des Astes verschwanden erwartungsgemäß sowohl die Ausweichreaktionen als auch die Änderung des Echoortungsverhaltens. Damit ist exemplarisch erneut gezeigt, dass geeignete kleinräumige Veränderungen, die Habitatzugänglichkeit verändern können.

5. Diskussion

5.1. Raumnutzung durch Fledermäuse

Die Anwesenheit von Fledermäusen in einem Lebensraum hängt von diversen Faktoren ab. Neben großräumigen Einflüssen, wie zum Beispiel dem Klima einer Region, wirkt sich insbesondere die Verfügbarkeit von Quartieren und nahrungsreichen Habitaten auf die Raumnutzung der Handflügler aus. Dabei spielen saisonale Effekte, z.B. kurzfristige, durch Wetter bedingte Massenvermehrung von Insekten oder die Verfügbarkeit von Quartieren mit geeignetem Mikroklima, eine große Rolle.

Bedingt durch die Manövrierfähigkeit und das Design der Ortungsrufe einzelner Arten hat bei kleinräumiger Betrachtung die Strukturierung der potenziell nutzbaren Biotope einen direkten und starken Einfluss auf die Anwesenheit von Fledermäusen. Da verschiedene Fledermausarten sich deutlich durch die Flügelmorphologie und die genutzten Echoortungslaute unterscheiden (NORBERG & RAYNER, 1987) wird angenommen, dass die physikalische Struktur der genutzten Habitats wesentlich zu einer ökologischen Einnischung beiträgt (SCHNITZLER & KALKO, 2001).

Da gerade Wälder eine Vielfalt unterschiedlicher dichter vertikaler und horizontaler Teilhabitate aufweisen können, und ca. 20 einheimische Fledermausarten Wälder in unterschiedlicher Intensität zur Jagd nutzen (MESCHÉDE & HELLER, 2000), war die Annahme, dass die Arten insbesondere deutliche Präferenzen in Hinblick auf die Vegetationsdichte und somit des zur Verfügung stehenden Flugraumes zeigen.

Um die Artendiversität auch in wirtschaftlich genutzten Wäldern langfristig zu erhalten bzw. zu steigern, müssen unter Umständen sehr unterschiedliche Strukturen berücksichtigt werden.

Bisher war es nur bedingt möglich, die Nutzung verschiedener Teilhabitate durch Fledermäuse zu quantifizieren und die räumliche Struktur dieser Jagdräume sinnvoll zu erfassen und zu beschreiben. Für das vorliegende Projekt konnten mit Hilfe der Laserscans zum ersten Mal die dreidimensionale Struktur mit der Fledermausaktivität verschnitten werden.

Die Schritte zur Untersuchung einer räumlichen Einnischung waren wie folgt:

1. Schritt: Vergleich horizontal abgrenzbarer Waldstrukturen und Quantifizierung der Fledermausaktivität mittels der batcorder.
2. Schritt: Auswahl relevanter Waldstrukturen und Quantifizierung der Aktivität in verschiedenen Höhenschichten mittels der Mikrofonkette.
3. Analyse des genauen Flugverhaltens an Waldstrukturen mittels der Flugbahnapparatur.
4. Verschneidung der mit den Lasern erfassten räumlichen Struktur der Standorte mit den Aktivitätsdaten der Mikrofonkette und den Daten zum Flugverhalten.
5. Analyse, inwieweit die festgestellten Unterschiede in der Raumnutzung durch physikalische bzw. funktionale Aspekte der Teillebensräume erklärt werden können.

Die Ergebnisse sind ziemlich eindeutig und lassen sich einfach zusammenfassen:

- Fledermäuse brauchen Platz! In allen genutzten Teilhabitaten bevorzugten alle untersuchten Arten Flugräume mit möglichst großer Entfernungen zu Vegetationsstrukturen.
- Es wurden Unterschiede hinsichtlich des minimalen Abstandes zu Vegetationsstrukturen, den ein Flugraum bieten muss, festgestellt. Diese Minimalabstände entsprechen den aus der Flügelmorphologie und dem Jagdverhalten abgeleiteten Erwartungen. Es konnte aber für die Arten keine maximale Abstandsgrenze festgestellt werden. Diese mag es geben, sie liegt aber wahrscheinlich außerhalb forstlich relevanter Bereiche (große Lichtungen, parkartig strukturierte Landschaften).
- Die Unterschiede, die zwischen den Arten in der Raumnutzung beobachtet wurden, sind wohl hauptsächlich auf funktionale Komponenten der Teilhabitate zurückzuführen. (Bevorzugung linearer Strukturen, bestimmter Höhenschichten, offener oder geschlossener Kronenschicht, bevorzugte Beuteinsekten).

Schon die Ergebnisse der Detektorbegehungen zeigten, dass die Fledermausdichte in Beständen negativ logarithmisch mit der Stammzahl korreliert ist. In den lichten Altholzbeständen des Naturwaldreservates waren die höchste Individuen- und Artendichte anzutreffen. Dies wurde auch durch die Daten der batcorder-Standorte unterstützt. Hier zeigte sich, dass vom alten Hallenwald über einen plenterartigen Bereich im Naturwaldreservat, einen mehrschichtigen Wirtschaftswald, einen jungen Altersklassenwald (schwaches Baumholz) hin zu Stangenholz eine rapide Abnahme der Fledermausaktivität und –diversität zu verzeichnen war. Als erstes fiel die Mopsfledermaus aus, die (außer Sonderstrukturen) nur die Hallenwaldbereiche nutzte. Auch Arten der Gattung *Pipistrellus* wurden schon in den mehrschichtigen Beständen rar. Im schwachen Baumholz verschwand das Mausohr und im Stangenholz waren auch die Bartfledermäuse und die Fransenfledermäuse nur noch Zufallsbeobachtungen. Ähnliches war auf Waldwegen zu beobachten. Breite und hohe Waldwege wurden, wie der Hallenwald, intensiv von Mopsfledermaus, den *Pipistrellus*- und *Myotis*-Arten (außer dem Mausohr) bejagt. Engere Rückegassen wurden jedoch nur noch von den Letzteren genutzt. Diese unterschiedlichen Toleranzgrenzen entsprechen sehr gut den Beobachtungen mit der Flugbahnapparat. Alle Arten bevorzugten über dem ‚Waldweg‘ denselben, von Vegetation möglichst entfernten Flugkorridor. Eine Verengung des Flugraumes führte auch zuerst zum Ausfall der Mopsfledermaus; die kleinen *Myotis*-Arten erwiesen sich als am resistentesten.

Die Auswertung der Höhennutzung zeigte, dass insbesondere die Mopsfledermaus und das Mausohr und mit Einschränkungen auch die anderen *Myotis*-Arten nicht in oder über den Kronen jagten. Sind also Unter- und Mittelschicht zu dicht (durch hohe Stammzahlen oder Verjüngung), können diese Arten in Wäldern nur noch Sonderstrukturen wie Waldwege oder Lichtungen nutzen.

Lücken-, und Lichtungsstrukturen wurden von allen Arten in unterschiedlicher Intensität genutzt, sofern sie sich bis in die untersten Schichten erstreckten. Insbesondere profitieren von ihnen die *Pipistrellus*-Arten, die hier Aktivitätsschwerpunkte zeigten. Sie nutzen im Gegensatz zu den oben genannten Arten an den Kettenstandorten das gesamte Höhenprofil, wenn geeignete freie Flugräume vorhanden waren. In der Dämmerung konnten sie auf Lichtungen und in netzartig verbundenen Lückensystemen (Zerfallsphase, Schirmschläge) häufig jagend zwischen den Kronen beobachtet werden. Im geschlossenen Kronenbereich am

Kettenstandort ‚Hallenwald‘ fand jedoch (auch oberhalb der Kronen) keine nennenswerte Jagd statt. Nur die Abendsegler waren hier vereinzelt über den Kronen aufgenommen worden. Diese Arten bevorzugten am deutlichsten die Flugräume in höheren Vegetationsschichten. Obwohl sie als einzige häufiger auch über den Kronen flogen, scheint dieser Raum im Vergleich z.B. zum Waldrand oder Offenland für die Jagd keine wichtige Rolle zu spielen. Auf der ‚Lichtung‘ und in der ‚Zerfallsphase‘ wurden Kleinabendsegler interessanterweise bevorzugt in mittlerer Höhe aufgenommen und durch Beobachtung auch Jagdverhalten nachgewiesen.

Man kann aufgrund der Ergebnisse die Arten grob in drei Gruppen unterteilen.

- **Gruppe 1:** Arten, die nur die offenen unteren Regionen der Wälder nutzen. Für sie sind lichte Unter- und Mittelschicht oder Sonderstrukturen in diesem Bereich wichtig. In diese Gruppe fallen die spezialisiertesten (und naturschutzfachlich wichtigsten) Arten: *Barbastella barbastellus*, *Myotis myotis* und mit Einschränkungen die **mittleren und kleinen Myotis-Arten** einschließlich der Bechsteinfledermaus. Die Bartfledermäuse zeigen schon Übergänge zur nächsten Gruppe. Ein entscheidender Unterschied zwischen den beiden typischen Arten ist, dass die Mopsfledermaus mit 6-8 m/s sehr schnell flog, während das Große Mausohr mit 5 m/s eher langsam unterwegs war, was weitere nicht aufgedeckte manövrierfähigkeitsbedingte Habitatzugänglichkeitsunterschiede vermuten lässt. Wahrscheinlich ist die Bevorzugung offenerer Waldhabitate beim Großen Mausohr eher eine Folge der arttypischen Jagd nach Laufkäfern in der Laubstreu, wohingegen die Mopsfeldermaus durch ihren schnellen tiefen Flug tatsächlich aus strukturellen Gründen solch offene Strukturtypen benötigt.
- **Gruppe 2:** Arten, die alle lichten Strukturen sowohl im geschlossenen Bestand als auch in der Kronenschicht nutzen können. Diese Arten sind die deutlichsten Generalisten. Sie sind auch außerhalb der Wälder häufige und opportunistische Arten: *Pipistrellus pipistrellus*, *Pipistrellus pygmaeus* und evtl. die Gattung *Plecotus*. Von den leise rufenden Langohren liegen jedoch nur unzureichende Daten vor. Diese Arten flogen langsam bis mittelschnell.
- **Gruppe 3:** Arten die bevorzugt Freiräume in höheren Vegetationsbereichen und im Kronenbereich nutzen. Sie sind am wenigsten tolerant gegenüber zu dichten Wäldern und jagen auch großteils außerhalb geschlossener Wälder. Es sind dies die beiden Arten der Gattung *Nyctalus*; in anderen Naturräumen vielleicht auch *Eptesicus*. Der Kleinabendsegler (*Nyctalus leisleri*) war im Mittel die schnellstfliegende Art in Ebrach.

5.2. Bedeutung der Ergebnisse für die Forstwirtschaft

5.2.1. Der "Optimale Fledermauswald"

In Mitteleuropa existieren keine vom Menschen unbeeinflussten Buchenurwälder mehr. Wie deren zeitlich-räumliche Struktur aussehen könnte, wurde mit dem Buchenurwaldmodell BEFORE (RADEMACHER et al., 2004) untersucht. Die Ergebnisse dieser Simulation zeigen zusammen mit den Erkenntnissen des vorliegenden Projektes, dass Buchenurwälder, die ein Mosaik aus Optimalstadien (Buchenhallenwald), Zerfallsstadien (lückiger Kronenschicht) und Heranwachs-

stadien (mehrschichtiger Aufbau) bilden, wohl den optimalen "Fledermauswald" darstellen.

Die potentiell natürliche Vegetation Mitteleuropas zeigt eine Dominanz der Buchenwaldgesellschaften. Im Schatten der mächtigen Kronen wachsen dann kaum andere Pflanzen, der Flugraum unter den Kronen ist sehr frei. Hoher und freier Flugraum unter den Kronen der alten Bäume mit einem Kronenansatz in 15 bis 25 Metern Höhe und einem großem Kronendurchmesser dient den meisten Arten als Jagdraum. Durch einzelne Baumfallereignisse entstehen lückige Kronenschichten, in die jüngere Buchen sehr schnell wieder hineinwachsen können und dadurch den Hallencharakter erhalten. Nur bei großflächigen Fallereignissen, wie z.B. durch Stürme bedingt, entstehen freie Flächen, die dann im Zeitraum von 100 bis 150 Jahren wieder in einen hallenartigen Buchenwald übergehen. Diese Prozesse führen zu einem recht reichem Strukturmosaik, das sich aus Hallenwald, kleinen und großen Lichtungen mit Randstrukturen und heranwachsenden, inhomogenen und mehrschichtigen Wäldern zusammensetzt. Das Verhalten der untersuchten Arten zeigte, dass genau diese Strukturen genutzt werden, es ließen sich Gruppen definieren, die an einzelne zeitliche Phasen der Entwicklung optimal angepasst waren. Allen war gemein, dass dichte Wälder nicht genutzt werden, solche können in natürlichen Buchenwäldern nur sehr kleinflächig gefunden werden und spielten daher vielleicht niemals eine besondere Rolle.

Die natürlichen "Ur-" Wälder bieten neben den Jagdlebensräumen die für Fledermäuse besonders wichtigen Quartierverbünde aus, d.h. ein dichtes Netz an verfügbaren Quartieren. Diese müssen, wie mittlerweile bekannt ist, nicht nur in Form von Baumhöhlen vorliegen, sondern auch als Spalten, die von vielen Arten bevorzugt werden. Auf Grund des hohen Baumalters war im Untersuchungsgebiet in den alten Beständen das beste Quartierangebot zu finden, neben Baumhöhlen (Specht, Fäulnis) lagen auch zahlreiche Spaltenquartiere (abstehende Rinde, Risse, ...) vor, was durch die Anwesenheit der Mopsfledermaus, der Gattung *Pipistrellus* und der beiden Bartfledermausarten bestätigt wurde. Diese sind typische Bewohner von solchen engen Spaltenquartieren. Durch eine hohe Quartierdichte können viele Arten und Individuen solche Wälder besiedeln, was bereits seit längerem bekannt ist. Fehlen die Quartiere auf großer Fläche, werden Fledermäuse bei sonst geeigneter Waldstruktur fehlen oder nur in sehr geringer Dichte auftreten.

Daraus folgt, dass bei uns sehr alten, hallenartig ausgeprägten Wäldern ein extremer Stellenwert als Lebensraum für Fledermäuse zukommt. Bestehen solche Wälder bereits, sollte diesen als Keimzellen ein ausreichender Schutzstatus gegeben werden, bis "neue Fledermauswälder" entstehen können. Lücken verschiedener Größe - *gaps* oder ein Netz an Überhängen, sowie größere Lichtungen - sind ebenso empfehlenswert und sollten im Rahmen der Bewirtschaftung entstehen. In bewirtschafteten Bereichen ist zusätzlich der Erhalt von Altholzinseln, Biotopbäumen und Ewigkeitsbäumen für die dauerhafte Verfügbarkeit von Quartieren zu gewährleisten.

5.2.2. Bewirtschaftungsformen

Diese Forderungen stehen teilweise im Gegensatz zur aktuellen Bewirtschaftung von Wäldern, sie lassen insbesondere ökonomische Aspekte außer Acht, die für die Bereitstellung des nachwachsenden Rohstoffes Holz von Bedeutung sind. Die Forstwirtschaft unterscheidet verschiedene Bewirtschaftungskonzepte, die die Waldstruktur und Waldentwicklung prägen und Ziele der Holzproduktion sowie der Schaffung ökologischer und sozialer Werte dienen. In der üblichen Hochwaldbewirtschaftung werden Schlagweiser Hochwald und zweihiebige Hochwaldformen unterschieden, ergänzt durch Formen der Zielstärkennutzung.

Schlagweiser Hochwald

Einschichtige Buchen-Altersklassenwälder werden nach 120 bis 140 Jahren endgenutzt. In dieser Phase haben sie eine Hallenwald-artige Ausprägung und sind somit geeignete Fledermauswälder. Bei der Produktion von Wertholz wurde bei der Buche Schirmschlag durchgeführt, um Verjüngung auf großer Fläche in gleichem Alter nachzuziehen. Wird die Fläche unregelmäßig (Gruppen-/Horstweise) aufgelichtet, spricht man von einer Femelung, mittels derer Schatten- und Lichtbaumarten zusammen genutzt werden können. Eine der Femelung ähnliche Bewirtschaftungsform ist der Saumschlag, bei dem entlang von Streifen der Wald eingeschlagen wird und "streifenweise" verjüngt wird. Diese Konzepte haben als Gemeinsamkeit, dass auf mehr oder minder großer Fläche gleichaltriger, einschichtiger Wald entsteht. Die Art und die Dauer der Endnutzung haben wesentlichen Einfluss auf die Nutzbarkeit des Waldes durch die verschiedenen Fledermausarten in dieser Zeit. Eine Entnahme weniger Stämme wie sie beispielsweise bei der Zielstärkennutzung stattfindet schafft dagegen Lückensysteme mit lichtungsartigen Strukturen. Bleiben genügend Überhälter dauerhaft stehen (als Biotopbäume), ist dieser Bestand auch in der Verjüngungsphase für Fledermäuse noch eingeschränkt nutzbar. Ansonsten zeichnen sich heranreifende Altersklassenwälder während der ersten 50 bis 80 Jahre durch eine dichte und Fledermaus-unfreundliche Struktur aus. Dadurch entstehen lange Phasen, die von Fledermäusen nicht oder nur wenig genutzt werden können.

Als naturnahes Waldbewirtschaftungskonzept wurde in den letzten Jahren verstärkt die Plenterung hervorgehoben, bei der Bäume Einzelstammweise endgenutzt werden. Diese Nutzungsform führt zu mehrschichtigen und auf kleiner Fläche stark strukturierten Wäldern. Ob diese Bewirtschaftungsform in Buchenwäldern, die zur Hallenwaldbildung neigen, wirklich dauerhaft durchführbar ist, ist umstritten. Gut ist sie dagegen als Ausprägung von Mischwäldern durchzuführen. Eine Plenternutzung der reinen Lehre bildet großflächig inhomogene Strukturen und gerade Hallenwaldartige Bereiche fehlen im Regelfall. Dafür zeichnen sich aber Ober- und Mittelschicht durch lückigere Strukturen aus.

Zweihiebige Hochwaldformen

Bei diesen wird Holz in zwei Altersklassen produziert, grob wird unterschieden, ob alte und junge Bäume etwa gleichmäßig vorliegen oder ob die jüngere Baumschicht überwiegt (Überhälterbetrieb). Bei erster Form überwiegen zweischichtige Wälder mit mitteldichter Ober- und Mittelschicht. Zweitere Form führt über längere Zeiträume zu Wäldern mit sehr lückiger Kronenschicht und dichter Unter- bzw. Mittelschicht. Diese

Formen eignen sich für die meisten Fledermäuse nur in geringem Maße.

Z-Baum-Konzept

Seit vielen Jahren wird insbesondere für Buchenwälder, aber auch für andere Laub- und Nadelwälder eine Bewirtschaftungsform diskutiert, die zu Zeit stark präferiert wird. Es handelt sich dabei um das Konzept der Z-Baum-Bewirtschaftung. Dabei werden bereits frühzeitig so genannte Zukunftsbäume (Z-Bäume) ausgewählt, die in den Durchforstungsmaßnahmen besonders gefördert werden. Damit wird sich auf wenige Bäume auf der Fläche konzentriert. So muss weniger Aufwand für forstliche Maßnahmen betrieben werden und gleichzeitig wird auch auf einer geringeren Fläche eingegriffen, wodurch mehr Platz für andere "Aufgaben" bleibt. Durch eine regelmäßige Bedrängerentnahme können in einem kurzen Zeitraum dicke und wertvolle Stämme produziert werden. Die Zielstärkennutzung erfolgt bei Buche in diesen Beständen bereits ab einem Alter von 100 Jahren. In Abhängigkeit der durchgeführten Verjüngungsmaßnahmen (Schlagweise, Femelung, Plenterung) entstehen ähnliche Waldstrukturen, wie bereits im vorherigen Abschnitt besprochen. Die Durchführung dieses Konzepts findet sehr verschieden statt, große Unterschiede gibt es z.B. bei der Anzahl Z-Bäume je Hektar, der Nutzung der Zwischenfelder und der zeitlichen Abfolge der Nutzung. Dementsprechend können die Bestandsstrukturen vielgestaltig ausgeprägt sein. Zur langfristigen Entwicklung dieser Bestände gibt es derzeit wenig Erfahrungswerte. Generell werden solche Bestände inhomogenere Strukturen in der Unter- und Mittelschicht aufweisen, als gleichaltrige Altersklassenwälder. Dafür können sie im Gegensatz zu diesen nachhaltig verschiedene, von Fledermäusen nutzbare Strukturen vorhalten.

5.2.3. Fledermausschutz im Rahmen eines angepassten Z-Baum Konzeptes

Wir sehen, dass die relevanten Fledermauslebensräume in Wirtschaftswäldern am ehesten im Rahmen der Z-Baum Nutzung berücksichtigt werden können. Hierbei sind jedoch einige Anforderungen zu berücksichtigen, die im nachfolgenden Abschnitt ausgearbeitet werden.

Das im Folgenden vorgestellte Konzept ist angelehnt an die Gegebenheiten im Steigerwald, es sollte jedoch möglich sein, Anpassungen durchzuführen, die seinen Einsatz auch in anderen Wäldern ermöglichen. Um dies zu erleichtern, werden die Maßnahmen bzw. Ansätze möglichst so beschrieben, dass eine Übernahme dieser in andere Wälder möglich ist. Natürlich wird eine flächendeckende Umsetzung nicht immer gehen oder auch ökonomisch sinnvoll sein, möglicherweise bestehen stark konkurrierende Ansprüche anderer Tier- oder Pflanzenarten, so dass das von uns entwickelte Konzept nur als Leitfaden dienen soll, der es dem Förster ermöglicht, Teillebensräume von Fledermäusen zu verbessern. Viele der Forderungen decken sich mit den Erkenntnissen aus dem F+E Vorhaben „Biologische Vielfalt und Forstwirtschaft – Naturschutzstandards für die Bewirtschaftung von Buchenwäldern im nordostdeutschen Tiefland“ (LUTHARDT, 2004), wobei wir die Bedeutung hallenwaldartiger Bereiche sehr viel höher einschätzen.

Mit einem angepassten Z-Baum-Konzept kann in der Theorie das Problem der nachhaltigen Vorhaltung benötigter (Sonder-) Strukturen und Jagdgebiete mit einer ökonomisch sinnvollen Bewirtschaftung zusammengeführt werden. Die Kerninhalte des entwickelten Konzepts sind wie folgt definiert, wobei hier primär auf die

ökologisch bedeutenden Punkte eingegangen wird:

- geringe Anzahl Z-Bäume (bei Buche max. 50 je ha)
- von den Z-Bäumen sollten bei der Zielstärkennutzung 10 Ewigkeitsbäume je ha ausgeschrieben und aus der Nutzung genommen werden
- Zwischenfelder als "dynamische Inseln" sich selbst überlassen und möglichst nicht nutzen (Prozess-Schutz); Entstehung von wertvollen Baum-/Totholzstrukturen
- zu regelmäßige Verteilung der Z-Bäume vermeiden
- Gruppenweise und zeitlich gestaffelte Endnutzung der Z-Bäume, d.h. nicht zu kleinflächige und nicht zu großflächige gleichaltrige Z-Baum Verbände
- Niederdurchforstung unter Gruppen von älteren Z-Bäumen, um hallenwaldartige Bereiche zu schaffen

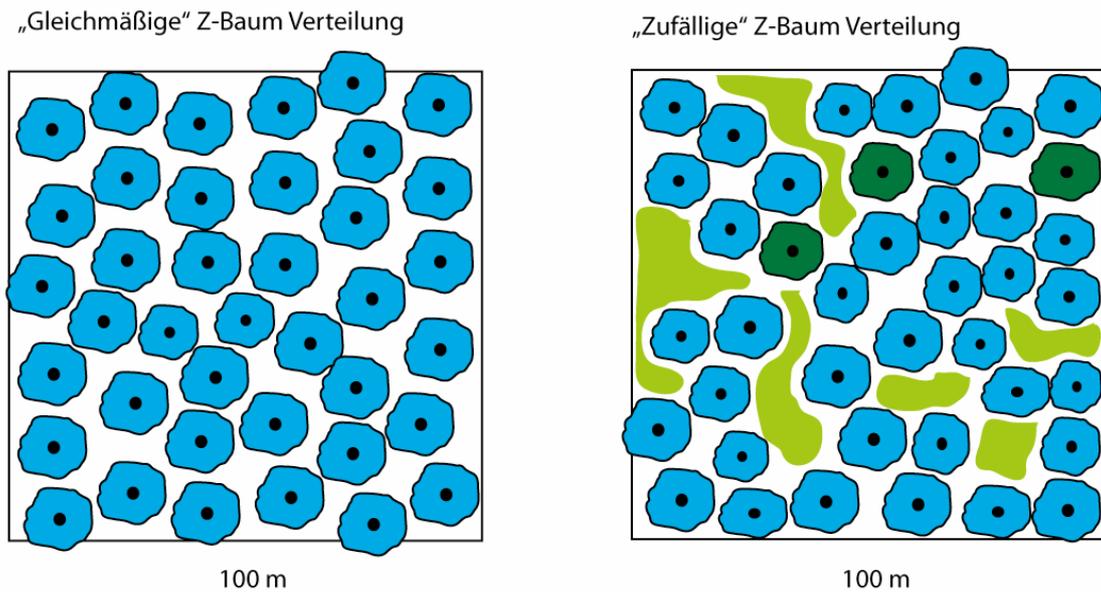
Geringe Anzahl Z-Bäume, Ewigkeitsbäume und Prozess-Schutz

In stärker ökonomisch orientierten Forsten werden derzeit 60 bis 100 Z-Bäume je ha präferiert. Unser Konzept sieht jedoch nur 50 Z-Bäume je ha (Buche!) vor, hiervon sollen 10 je ha bei der Endnutzung als Ewigkeitsbäume belassen werden. Diese können sich zu wertvollstem Altholz entwickeln und so Quartiere für verschiedene Baumbrüter und Fledermäuse bieten. Solche Ewigkeitsbäume können über lange Zeit bestehen und damit wichtige Strukturen vorhalten und die Waldentwicklung über lange Zeit "begleiten". Durch die geringe Anzahl von Z-Bäumen ist ausreichend Fläche für eine sich selbstüberlassene und dynamisch entwickelnde Vegetation in den Zwischenfeldern vorhanden. Diese sind aus verschiedenen Gründen wertvoll. Durch die ungestört ablaufende Entwicklung in den Zwischenräumen (Prozess-Schutz) können u.a. potenzielle Quartierbäume (Sonderstrukturen!) entstehen. Sie fördern generell die Diversität von Fauna und Flora und somit auch der Beutetiere der Fledermäuse (Lichttraumprofil!). Grenzen solche Strukturen an hallenwaldartige Bereiche, können sich innere Randstrukturen bilden. Bei der Endnutzung gleichaltriger Z-Baum Bestände bilden Ewigkeitsbäume und "dynamische Inseln" ein Strukturnetz in der Ober- und Mittelschicht, das von Fledermäusen genutzt werden kann.

Nicht zu regelmäßige Verteilung der Z-Bäume

Neben einer geringeren Anzahl Z-Bäume hat eine zufällige, also nicht gleichmäßige Verteilung dieser auf der Fläche Vorteile. Beim Umbau bestehender Bestände wird schon natürlicherweise eine ungleichmäßige Verteilung geeigneter Z-Baumanwärter vorliegen. Der Vorteil dieser unregelmäßigen Verteilung ist, dass so die Strukturvielfalt zusätzlich erhöht wird. In manchen Bereichen stehen Z-Bäume dichter beisammen, es können sich hier großflächigere, hallenwaldartige Strukturen ausbilden (z.B. vegetationsfreie Korridore unter den Z-Bäumen). Daneben gibt es Bereiche, in denen sich durch den lockeren Stand der Z-Bäume eine dichtere Vegetation in den Zwischenfeldern entwickeln kann. Die nach einer Zieldurchmesserernte erfolgte Verjüngung kann bei geringem Alter der jungen Bäume oder Sträucher eine Lichtungsartige Struktur annehmen, die von vielen Fledermausarten genutzt wurde. Durch die unregelmäßige Verteilung der Z-Bäume können überhaupt erst Zwischenfelder entstehen, auf denen Bäume bis in die Kronenschicht wachsen können, ohne dass sie als Bedränger entnommen werden. Zwischen diesen und den umlichteten Z-Bäumen entstehen Flugräume, die wiederum von manchen Fledermausarten genutzt werden können.

Gleichzeitige Endnutzung der Z-Bäume - ca. 40 Z-Bäume je Hektar



Gestaffelte Endnutzung der Z-Bäume (Plenterartig) - ca. 40 Z-Bäume je Hektar

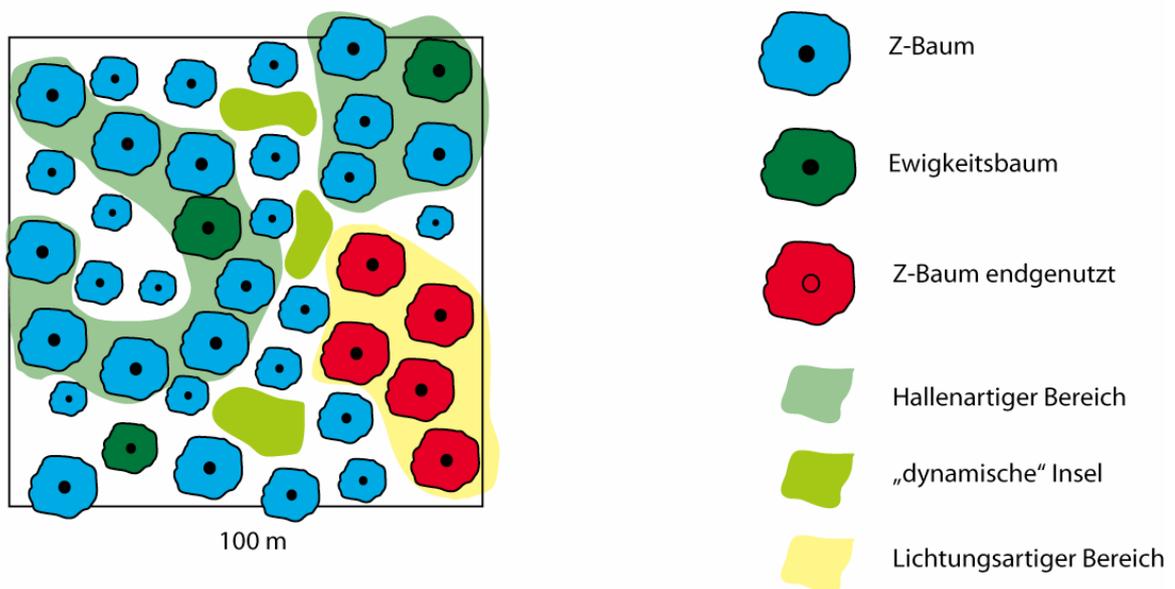


Abbildung 34. Die räumliche Verteilung der Z-Bäume und die zeitliche Staffelung der Endnutzung wirkt sich auf die Vielfalt der für Fledermäuse wichtigen Strukturen aus. Die ungünstigste Konstellation ist eine homogene Anordnung und Altersstruktur der Z-Bäume

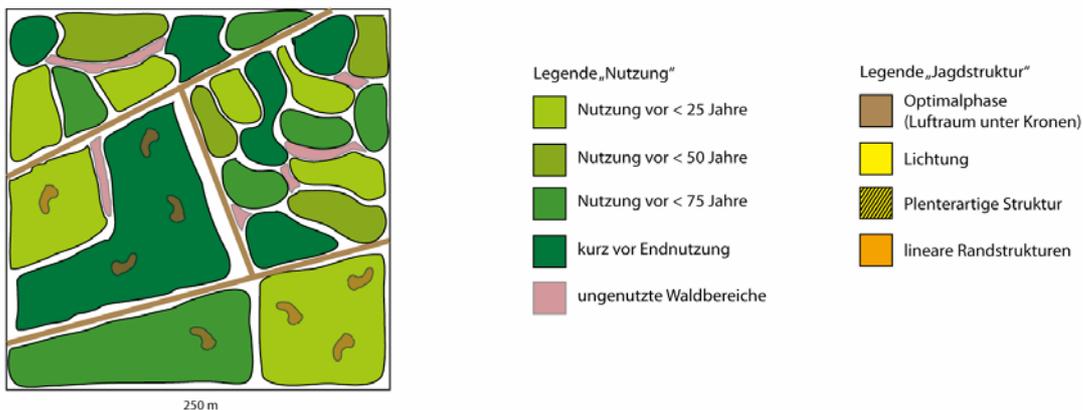
Gruppenweise, zeitlich gestaffelte Endnutzung der Z-Bäume

Die weiterführende Behandlung des Bestandes nach der ersten Endnutzung ist entscheidend wie und ob der so geschaffene Strukturreichtum erhalten wird. Um die für Fledermäuse wichtige Strukturiertheit, d.h. Hallenwaldartig verknüpfte Bereiche, vegetationsreiche, lückige Abschnitte und Biotop- und Ewigkeitsbäume dauerhaft vorzuhalten, kommen verschiedene Vorgehensweisen in Frage. Diese unterscheiden sich primär an Hand der gleichzeitig genutzten Fläche.

Die Endnutzung der Z-Bäume kann z.B. auf Bestandsebene gleichzeitig oder Einzelbaumweise erfolgen, durch die unterschiedlichen Bestandsalter liegen dann verschiedene Strukturen jeweils in großer Fläche vor. Um eine höhere Strukturiertheit zu erzielen, bietet sich als Alternative auch eine Femel- oder Plenterartige Endnutzung an.

Durch eine zeitlich gestaffelte Entnahme der Z-Bäume entstehen plenterartig gestufte Bestände. Dadurch kommt es zu einer starken, kleinflächigen Strukturierung. Wird statt einer Einzelstammentnahme femelartig endgenutzt, ist das entstehende Mosaik von verschiedenen Strukturen großflächiger. Dies entspricht eher den Nutzungsmustern der Fledermäuse. Unter Horsten von 70 bis 100 Jahre alten Z-Bäumen bilden sich Hallenwaldartige Korridore. Drohen diese zuzuwachsen, sollten sie mittels Niederdurchforstungen freigehalten werden. Dazwischen bilden sich entsprechend des Baumalters verschieden hohe und vegetationsreiche Bereiche, deren Grenzen sich z.B. wieder als Randstrukturen innerhalb des Waldes erweisen können. Durch die Gruppenweise Entnahme von Z-Baum-Horsten entstehen großflächigere Lückensysteme, die den Arten der höheren Vegetationsschichten Flugraum bieten.

Schlagweise (großflächige Endnutzung) vs. Plenterung/Femelung und dadurch bedingte Strukturvielfalt und Dimension



Durch Bewirtschaftung entstehende Jagdstrukturen

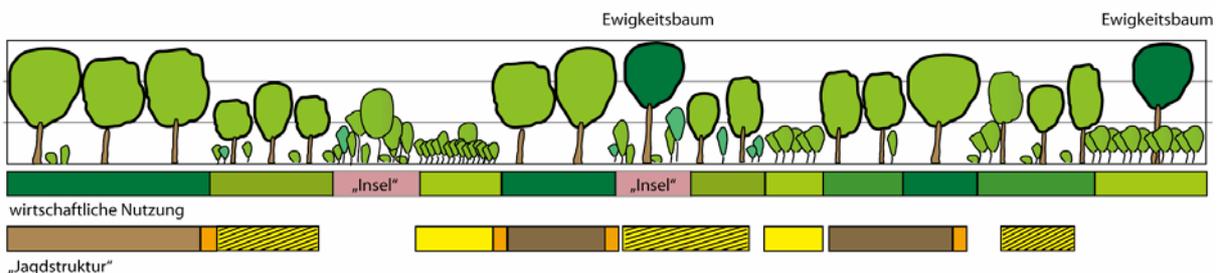


Abbildung 35. Die kleinflächige Strukturvielfalt hängt stark von der Flächengröße und Maßnahme der Endnutzung ab. Während durch schlagweise, gleichzeitige Endnutzung von Z-Bäumen größerflächig, homogene Bereiche entstehen, erlaubt die Femelung die Schaffung eines kleinflächigen Strukturmosaiks.

5.2.4. Allgemein förderliche Maßnahmen

- Wertvolle Altholzbestände erhalten
- Auszeichnung geeigneter Biotopbäume und deren dauerhafte Vorhaltung
- "Gammelecken", Biotopbaum-Inseln schaffen
- kein großflächig einschichtiger, junger Wald
- "Sonderstrukturen"

Wertvolle Altholzbestände erhalten

Alte Waldbereiche, die als Refugien für Fledermäuse und als Keimzellen bei der Besiedelung umgebauter Waldbereiche dienen können, sollten auf jeden Fall erhalten werden. Im Bayerischen Staatsforst z.B. liegen insgesamt nur 4% der Fläche als >140 Jahre alte Wälder mit natürlicher Baumzusammensetzung vor, nur noch ca. 1% der Staatswaldfläche liegt in Form von >180 Jahre alten Buchenbeständen bzw. >300 Jahre alten Eichenbeständen vor. Durch ein spezielles Naturschutzkonzept der Bayerischen Staatsforste (NEFT 2006) sollen diese unter Schutz gestellt werden und möglichst eine Hiebruhe eingehalten werden. Auf Grund der geringen Fläche spielen diese ökonomisch keine große Rolle, können jedoch ökologisch als Keimzellen und Rückzugsgebiete seltener Tierarten und derer Populationen dienen. Auch in anderen Bundesländern kann durch solch eine Maßnahme ein Netz an Rückzugsgebieten geschaffen werden, dass eine Wiederbesiedlungen neu gewonnener "Fledermauswälder" ermöglichen kann. Bestehen sie derzeit noch nicht, ist es sinnvoll, solche "Urwälder" auf kleinerer Fläche in allen größeren Waldgebieten zu etablieren.

Auszeichnung geeigneter Biotopbäume und deren dauerhafte Vorhaltung, "Gammelecken" schaffen

Wie gezeigt haben die Bereiche des Waldes mit vielen Quartieren eine hohe Bedeutung für Fledermäuse. Dies gilt besonders für Quartiere in alten Bäumen. An einem einzigen alten Bäumen können sich mit der Zeit Dutzende potentielle Fledermausquartiere, wie z.B. Faul- und Spechthöhlen, Stammrisse und abstehende Rinde entwickeln. Diese Quartiere sind Großteils Alterungsmerkmale, dass heißt sie existieren in dieser Quantität und Qualität nicht in jüngeren Beständen (FLADE et al., 2004). Vergleicht man Quartierbäume in Althölzern und jungen Beständen, kann man sinnbildlich von „Fledermaus-Hochhäusern“ und „-Gartenlauben“ sprechen.

Bereits seit längerer Zeit werden in Wirtschaftswäldern Biotopbäume mit Quartierstrukturen ausgezeichnet und dem natürlichen Alterungsprozess überlassen. In der Praxis sind dies jedoch häufig bereits geschwächte, dünne Bäume, die nach kurzer Zeit ausfallen. Wir sehen es daher als zwingend erforderlich an, insbesondere ältere, länger lebende Bäume (BHD > 40cm) unter den Biotopbaumschutz zu stellen. Zusätzlich sollten vitale Altholzanzwarter in jedem Bestand als Ewigkeitsbäume ausgezeichnet und dauerhaft auf der Fläche vorgehalten werden. Insbesondere das oben vorgeschlagene Z-Baum Konzept ermöglicht die Ausweisung von Bäumen mit einem BHD von über 40cm zu Biotop- oder Ewigkeitsbäumen, wenn diese in ausreichend dimensionierten Zwischenfeldern stehen oder als Z-Bäume in solche überführt werden können.

Stehen in einzelnen Bereichen eines ökologisch weniger wertvollen Waldes potenzielle Biotopbäume, also z.B. vorgeschädigte Überhälter, dann empfiehlt es

sich, diese Bäume zusammen mit einigen Nachbarbäumen (6-7) stehen zu lassen und als Biotopbäume auszuzeichnen. Dadurch erhält man ein kleines Refugium, das sich dann ähnlich wie die von uns geforderten "dynamischen Inseln" entwickeln kann. Diese Maßnahme verbessert weniger den Jagdlebensraum der Fledermaus, sondern soll vielmehr die nachhaltige Schaffung von Quartieren ermöglichen. Diese kleinen Strukturen können sich zu quartierreichen Minihallenwäldern entwickeln.

Kein großflächig, einschichtiger, junger Wald

Nachdem sich klar gezeigt hat, dass alle Fledermausarten dichte und junge Wälder nicht nutzen, sollte bei der Bestandsverjüngung möglichst auf die Schaffung großflächig junger Wälder verzichtet werden. Durch einfache Maßnahmen wie z.B. das Belassen von Überhältern oder eine verzögerte Endnutzung kann vermieden werden, dass große Bestandsflächen schlagartig und über lange Zeit für Fledermäuse ausschliessen.

"Sonderstrukturen"

Die vorliegenden Ergebnisse haben gezeigt, dass Sonderstrukturen im Wald, d.h. insbesondere lineare Randstrukturen und Lichtungen, von vielen Arten rege genutzt wurden. Im Rahmen der Bewirtschaftung ist es möglich, lokal solche Strukturen gezielt zu fördern, falls sie nicht bereits vorhanden sind.

Waldwege

Für die wirtschaftliche Nutzung des Waldes müssen Wege gebaut werden bzw. sie liegen bereits in teils hoher Dichte vor - im Untersuchungsgebiet machten diese ca. 8-10% der Fläche aus (bei einer Wegbreite von 10 Meter, d.h. tatsächlicher Weg und zusätzliche Streifen entlang des Wegrandes). Die für den Holztransport genutzten Wege zeichnen sich meist dadurch aus, dass sie für den LKW-Verkehr gesichert werden. Dazu werden hereinragende Äste oder Bäume rechtzeitig herausgenommen.

Anhand der Ergebnisse der untersuchten Flugbahnen zeigte sich, dass die einzelnen Arten unterschiedlich tolerant auf Verengungen des Flugraumes reagieren. Ist der Vegetationsfreie Luftraum breit (4 Meter oder breiter) und hoch (4-5 Meter oder höher), kann er durch alle Arten, insbesondere auch durch die Mopsfledermaus genutzt werden. Ab einer lichten Breite von weniger als 3 Metern nimmt die Nutzung ab, bei unter 2 Metern Breite können nur noch Arten der Gattung *Myotis* diese Struktur sinnvoll nutzen. Eine mögliche Lebensraumverbesserung ist es daher, dass lineare Strukturen, d.h. Wege, aber auch Rückegassen dementsprechend angelegt und offen gehalten werden, so dass sie ausreichend freien Luftraum bieten. Insbesondere die sehr seltene Mopsfledermaus kann hiervon profitieren. Im Rahmen der Bestandspflege, die in Abhängigkeit der Bewirtschaftungsform sehr intensiv sein kann, können Maßnahmen ergriffen werden, um Rückegassen, die häufig schnell wieder zuwachsen, offen zu halten. Da es sich hierbei im Regelfall um eine rein ökologische Maßnahme ohne ökonomischen Nutzen handelt, muss der jeweilige Forstbetrieb entscheiden, wie stark solche Maßnahmen sinnvoll durchzuführen sind. Es müssen nicht alle engeren Wegstrukturen so behandelt werden, bereits ein kleiner Anteil würde Fledermäusen jedoch verbesserte Lebensbedingungen schaffen. In Waldgebieten ohne hallenwaldartige Bestände sind Waldwege die einzigen Strukturelemente, die eine ähnliche physikalische Struktur aufweisen und Jagdlebensräume für die besonders zu beachtenden Arten der Gruppe 1

(Mopsfledermaus, Großes Mausohr, mit Einschränkungen die anderen Arten der Gattung *Myotis*).

Lichtungen / Zerfallsartige Lücken im Kronendach

Meist entstehen verschieden große Lichtungen sowie netzartige Lückenstrukturen im Kronendach im Rahmen der regulären Waldbewirtschaftung, z.B. im Zuge der Endnutzung (Einzelstammentnahme, Femelung, Schlagweise Endnutzung). Durch eine verzögerte Endnutzung (60 Jahre) werden über einen längeren Zeitraum solche Strukturen vorgehalten. Sie dienen insbesondere den Arten der oben definierten Gruppen 2 und 3. Ebenso verursachen natürliche Ereignisse, z.B. Windwurf oder Schneebruch, Lichtungsartige Strukturen. Es bietet sich an, solche natürlich entstanden Flächen sich selbst zu überlassen, und so längerfristig eine Lückenstruktur, die von vielen Fledermausarten genutzt werden kann, zu erhalten. Durch z.B. Besonnung oder Vorschädigung können an den Rändern solcher Lichtungen Quartierbäume entstehen, deren Bedeutung für Fledermäuse unumstritten sind.

6. Öffentlichkeitsarbeit

Es gibt eine Projekt Homepage unter der Webadresse <http://www.fledermaeuse.uni-freiburg.de/>.

Bei den 5. Oldenburger 3D-Tagen (01.02 – 02.02.2006) wurde vom IWW der Universität Freiburg ein Vortrag mit dem Titel „Terrestrische Laserscanner zur Untersuchung von Jagdlebensräumen von Fledermäusen“ gehalten. Der Schwerpunkt des Vortrages lag auf der Methodik der Auswertung der Laserdaten. Die schriftliche Fassung des Vortrages ist im Tagungsband veröffentlicht.

Bei der Allgemeinen Forst Zeitschrift (AFZ) ist ein Artikel mit dem Titel „Untersuchung der Jagdlebensräume von Fledermäusen in Wäldern mit Hilfe von Laserscannern und Akustischen Ortungssystemen zur Flugbahnverfolgung“ vom IWW und vom Lehrstuhl für Zoologie II eingereicht. Die AFZ erreicht eine große Anzahl von Lesern in der Forstpraxis, in der Forstverwaltung und in der Forstwissenschaft. Der Artikel stellt das Projekt vor, die Methodiken der Untersuchungen und zeigt erste Ableitungen der Bedürfnisse an Flugraum von Fledermäusen im Wald.

Im Rahmen eines Kurzbeitrags im Fernsehmagazin "La Vita" des Bayerischen Rundfunks konnte das Projekt vorgestellt werden. Dies war eingebettet in einen Beitrag über den Betriebsleiter Ulrich Mergner - "Der Mann, der denn Steigerwald retten will".

Außerdem fanden bereits Dreharbeiten für einen weiteren Beitrag im Rahmen einer Tier- und Natursendung statt, die 2007 im Bayerischen Fernsehen gezeigt werden soll.

Veröffentlichungen:

Aschoff, T., Holderied, M.W. und Spiecker, H. 2006: Terrestrische Laserscanner zur Untersuchung von Wäldern als Jagdlebensräume für Fledermäuse. In: Luhmann, T. und Müller, C. (Hrsg.): Photogrammetrie - Laserscanning - Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2006. Herbert Wichmann Verlag. Heidelberg. 280 - 287.

Eingereicht bei AFZ am 29.08.2006:

Aschoff, T., Spiecker, H. und Holderied, M.W.: Untersuchung der Jagdlebensräume von Fledermäusen in Wäldern mit Hilfe von Laserscannern und Akustischen Ortungssystemen zur Flugbahnverfolgung.

7. Fazit

Die für das Projekt geplanten Ziele, d.h. die Verschneidung von Fledermausaktivität mit typischen Waldstrukturen und die daraus resultierende Ableitung forstlicher Maßnahmen zur Verbesserung von Lebensräumen der Fledermausfauna wurden erreicht. Auf Anfrage zeigte sich der Forstbetrieb, insbesondere dessen Leiter Ulrich Mergner, bereit, die Ergebnisse in die aktuelle Bewirtschaftung mit einfließen zu lassen. Im Moment wird in einer engeren Kooperation eine Einarbeitung unserer Maßnahmen in das "Naturschutzkonzept für den Forstbetrieb Ebrach" durchgeführt, welches ab 2007 Einzug in die forstliche Praxis haben wird. Ebenso soll dieses intern im Betrieb Bayerische Staatsforste und auch extern Verbreitung finden und Modellcharakter haben.

Insgesamt sieht dieses Modell auch ein Z-Baum Konzept vor, insofern war es leicht unsere Vorschläge einzuarbeiten. Im Dialog wurden weitere wichtige Aspekte erarbeitet, unter anderem soll im Steigerwald der Aushieb von Protzen unterbleiben, damit sich aus diesen supervitalen Bäumen besonders wichtige Biotopbäume für Fledermäuse und für Mulmhöhlenbewohnende Insekten (Eremit) entwickeln können. Des Weiteren wird in Zukunft auch eine enge Zusammenarbeit des Forstbetriebs mit Naturschützern der Region durchgeführt. Als Auftaktveranstaltung findet am 19.10.2006 ein erstes Treffen mit dem Thema "Natur- und Artenschutz im Forstbetrieb Ebrach" statt, bei dem auch wir teilnehmen.

8. Literatur

Breiman, L. (2001). "Random Forests." *Machine Learning* 45(1): 5-32.

Breiman, L., J. H. Friedmann, R. A. Olshen & C. J. Stone (1983). *Classification and Regression Trees*, Wadsworth.

Flade M., Möller G., Schumacher H. & Winter S. (2004): Anforderungen an eine naturschutzgerechte Buchenwaldbewirtschaftung. *Brandenburgische Forstnachrichten*. 109 (13): 6-15.

Gorte B. & Winterhalder D. (2004): Reconstruction of Laser-Scanned Trees Using Filter Operations in the 3D Raster Domain. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVI, Part 8/W2.

Hähnel D., Triebel R., Burgard W. & Thrun S (2003): Map Building with Mobile Robots in Dynamic Environments. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. Taipei. Taiwan.

Herr, A. (1998). Aspects of the ecology of insectivorous forest-dwelling bats (Microchiroptera) in the western slopes of the Australian alps PhD-Thesis Charles Sturt University

Luthardt M.-E. (2004): Forstwirtschaft und Naturschutz: Gemeinsame Aktivitäten zum Schutz der Buchenwälder im nordostdeutschen Tiefland. *Brandenburgische Forstnachrichten*. 109 (13): 1-5.

Meschede A. & Heller K.-G. (2000). *Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Wäldern*. Bonn-Bad Godesberg, Bundesamt für Naturschutz.

Neft R. (2006): Bedeutung des Natur- und Artenschutzes in der Unternehmensphilosophie der Bayerischen Staatsforsten. *Buchenwald Naturschutzfachtagung*, Ebrach.

Norberg U. M., & Rayner J. M. V. (1987): Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 316: 335–427

Rademacher C., Neuert C., Grundmann V., Wissel C., Grimm V. (2004): Reconstructing spatiotemporal dynamics of central European natural beech forests: the rule-based model BEFORE. *Forest Ecology and Management* 194, 349–368.

Reh P. S. (2006): Dreidimensionale Erfassung des Raumnutzungsverhaltens von Fledermäusen als Planungsbasis für fledermausförderliche forstliche Maßnahmen. *Diplomarbeit am Lehrstuhl für Zoologie II der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg*. (Juni 2006)

Schnitzler H.U., Kalko E.K.V. (2001): Echolocation behavior of insect-eating bats. *BioScience* 51:557-569

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

Sierro A. (1999) : Habitat selection by barbastelle bats (*Barbastella barbastellus*) in the swiss Alps (Valais). *J. Zool. London.* 248: 429-432

Thies M., Aschoff T. & Spiecker H. (2003): Terrestrische Laserscanner im Forst. *AFZ-DerWald.* 22/2003

Zoller+Fröhlich (2005): <http://www.zf-laser.com/> (accessed 01.12.2005)