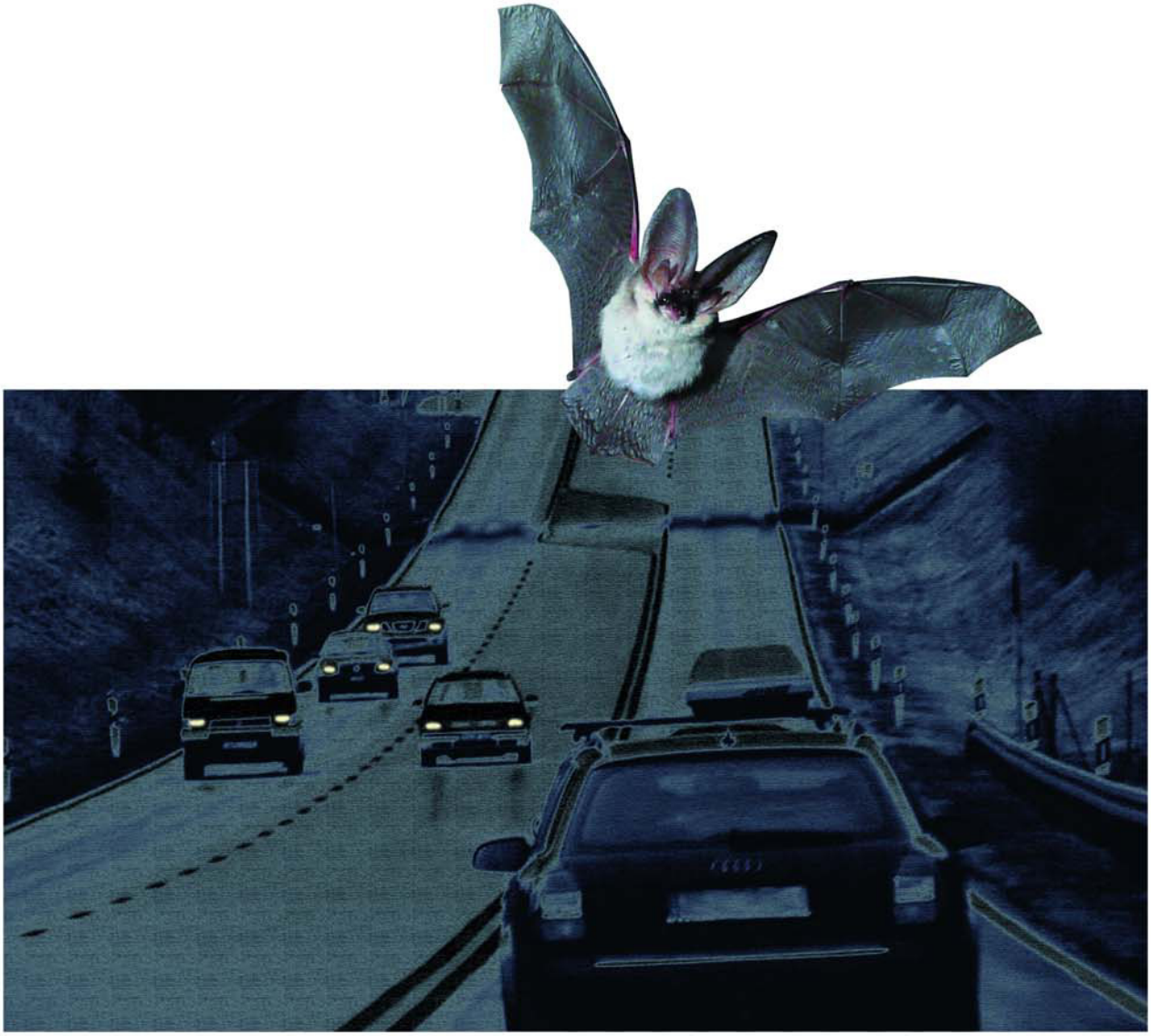
Fledermäuse und Verkehr

Gutachten

Schlussbericht



FuE Vorhaben des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur
FuE-Nr 02.0256/2004/LR

Februar 2014

Fledermäuse und Verkehr

Quantifizierung und Bewältigung verkehrsbedingter Trennwirkungen auf Fledermauspopulationen als Arten des Anhangs der FFH-Richtlinie

Gutachten

Forschungsbericht FE-Nr. 02.0256/2004/LR

im Auftrag des

Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung

Schlussfassung Februar 2014

Dr. Björn Siemers
EBERHARD KARLS UNIVERSITÄT TÜBINGEN

Dr. Gerald Kerth
ZOOLOGISCHES INSTITUT
UNIVERSITÄT ZÜRICH

Dr. jur. Tobias Hellenbroich
(Rechtswiss. Beratung)
AACHEN

Dr. Jochen Lüttmann
FÖA
LANDSCHAFTSPLANUNG GmbH

Dipl.-Biol. Malte Fuhrmann
BG NATUR

Fledermäuse und Verkehr

Quantifizierung und Bewältigung verkehrsbedingter Trennwirkungen auf Fledermauspopulationen als Arten des Anhangs der FFH-Richtlinie

FE Projekt-Nummer 02.0256/2004/LR

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Referat StB 13
Robert-Schuman-Platz 1
53175 Bonn (Deutschland)

Projektbetreuung: Dr. Udo Tegethof (Bundesanstalt für Straßenwesen, BAST)
Dipl.-Ing. Andreas Wehner-Heil (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI, Ref. StB13)

Auftragnehmer (aktuelle Adressen):

Dipl.-Biol. Malte Fuhrmann
Beratungsgesellschaft NATUR GbR
Taunusstraße 6 - 56357 Oberwallmenach
Tel.: ++49 (0)677 295151, Email: fuhrmann@bgnatur.de

Dipl.-Ing. Dr. Jochen Lüttmann
FÖA Landschaftsplanung GmbH
Auf der Redoute 12 - 54296 Trier
Tel.: ++49 (0)651 910480, Email: info@foea.de

Dr. jur. Tobias Hellenbroich
Rechtsanwalt, Aachen
Rochusstraße 18 - 52062 Aachen
Tel.: ++49 (0)241 44 53 863, Email: thellen@gmx.de

Prof. Dr. Gerald Kerth,
Angewandte Zoologie und Naturschutz
J.-S.-Bach-Str. 11/12 - 17489 Greifswald
Tel.: +49 (0)3834 86-4100, Email: gerald.kerth@uni-greifswald.de

PD Dr. Björn Siemers († 23. Mai 2012)
Sensory Ecology Group
Max Planck Institute for Ornithology - 82319 Seewiesen

Projektleitung: Dr. Jochen Lüttmann (FÖA Landschaftsplanung GmbH)

Zitiervorschlag:
ARGE Fledermäuse und Verkehr, Lüttmann, J., Fuhrmann, M., Hellenbroich, T., Kerth, G., Siemers, S. et al. (2014): Zerschneidungswirkungen von Straßen und Schienenverkehr auf Fledermäuse. Quantifizierung und Bewältigung verkehrsbedingter Trennwirkungen auf Fledermauspopulationen als Arten des Anhangs der FFH-Richtlinie. Schlussbericht Dezember 2013 – FuE-Vorhaben 02.0256/2004/LR des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung. 331 S. – Bonn/Trier.

Anfragen und Korrespondenz sind bitte zu richten an das
Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Referat StB 13 Umwelttechnik im Straßenbau (Ref-StB13@bmvbs.bund.de)
oder an
FÖA Landschaftsplanung GmbH (info@foea.de).

Die Langfassung des Schlussberichtes kann von der Internetseite des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadt-entwicklung heruntergeladen werden. www.bmvbs.de

Februar 2014

Mitarbeit / Danksagung:

Diese Arbeit war nur möglich aufgrund des außerordentlichen Engagements vieler Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Ihnen und dem forschungsbegleitenden Arbeitskreis danken wir hierfür. Die Autoren danken insbesondere allen nachgenannten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für ihre engagierte und geduldige Mitarbeit während vieler Untersuchungsnächte, oft unter harten und manchmal nicht ungefährlichen Rahmenbedingungen am Straßenrand. Herrn Dr. Mattias Herrmann (ÖKOLOG) wird gedankt für die Bereitstellung von Untersuchungsergebnissen von telemetrierten Tieren in Altrich / Eifel und die unkomplizierte Zusammenarbeit im Gelände.

Forschungsbegleitender Arbeitskreis:
BOR Sabine Attermeyer, Innenministerium Baden-Württemberg, Abteilung Straßenwesen
LD Albrecht Schlierer, Innenministerium Baden-Württemberg, Abteilung Straßenwesen (bis 2005)
Dr. Michael Below, Deutsche Bahn AG/Bahn-Umwelt-Zentrum, Berlin
Dipl.-Ing. Dirk Bernotat, Bundesamt für Naturschutz, Leipzig
Dipl.-Ing. Florian Mayer, Bundesamt für Naturschutz, Leipzig (zeitweise)
Dipl.-Biol. Marita Böttcher, Bundesamt für Naturschutz, Leipzig (zeitweise)
Dipl.-Biol. Harro Herzberg, Niedersächsische Behörde für Straßenbau und Verkehr (ab 2008)
BOR Friedhelm Küster, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Bonn (bis 2005)
Dipl.-Ing. Helmut Schneider, Landesbetrieb Straßen und Verkehr Rheinland-Pfalz, Koblenz
BOR Eckhard Roll, Eisenbahnbundesamt, Außenstelle Köln
Dipl.-Biol. Claudia Sterzing, Deutsche Bahn AG/Bahn-Umwelt-Zentrum, Berlin (zeitweise)
BORin Gesa Schwoon, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Bonn (bis 2007)
Dr. Yvonne Walther, Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiesbaden
Dipl.-Ing. Andreas Wehner-Heil, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn (ab 2007)
Dr. Udo Tegethof, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Bearbeitung:
Arbeitsgruppe Siemers:
Dr. Björn Siemers, Max Planck Institute for Ornithology, Seewiesen/Starnberg († 23. Mai 2012)
Dipl.-Biol. Andrea Schaub, Zool. Inst. der Uni Tübingen, Tübingen
Arbeitsgruppe Kerth:
Dr. Gerald Kerth/Dept. Ecology & Evolution University of Lausanne
Dipl.-Biol. Markus Melber, Universität Würzburg
Arbeitsgruppe FÖA Landschaftsplanung:
Anja Altmeyer
Dipl.-Biol. Birgit Gessner
Dipl.-Biol. Christine Hellwag
Dipl.-Biol. Ina Neubauer
Dipl.-Ing. (FH) Jutta Kusenbach
Dipl.-Lök. Moritz Klußmann
Dr. Jochen Lüttmann
Dipl.-Umweltwiss. Karsten Schittek
Dipl.-Biol. Sylvia Stephan
Dipl.-Biol. Rudolf Uhl
Manfred Weishaar
Rechtswissenschaftliches Gutachten:
Dr. jur. Tobias Hellenbroich, Aachen

Mitarbeit an Geländearbeiten und Auswertung:

Christina Ascherl
Jörg Bettendorf
Sonja Boda
Dipl.-Biol. Karl-Georg Gessner
Kai Stöhr
Dipl.-Ing. (FH) Sylvia Voigt
Roswitha Weishaar
Julia Regnery
Manuel Gessner
Lars Bollherst
Christian Bossung
Esther Cyrus
Isabel Gessner
Alexander Freiberg
Katja Herrmann
Anne Müller
David Norta
Susanne Panzer
Stefan Pfaffmann
Rüdiger Reichel
Elisa Roth-Walraf
Volker Schmidt
Elisabeth Stenert
Nana Wix
Dipl.-Ing. Werner Zachay

Bericht- / Textgestaltung / Graphik:

Dipl.- Geogr. Ute S. Winter
Christiane Thur M.A.
Gerlinde Jakobs
Anja Knippel
Kerstin Servatius
Clara Neu

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung und Forschungskonzeption 1

2 Wirkungen von Schall und Licht 5

2.1 Störungen durch Schall 5

2.1.1 Einführung, Zielsetzung 5

2.1.2 Material und Methoden 6

2.1.2.1 Methodik der Analyse von Beutegeräuschen 6

2.1.2.2 Methodik der Verkehrsschallerfassung im Freiland. 7

2.1.2.3 Methodik der Verhaltensuntersuchungen zur Beeinträchtigung von Fledermäusen und deren Jagderfolg durch Verkehrsschall 8

2.1.2.3.1 Experiment 1: Meiden Fledermäuse Lärm? 9

2.1.2.3.2 Experiment 2: Beeinträchtigt Verkehrslärm den Beutedetektionserfolg? 11

2.1.2.4 Statistik 13

2.1.3 Ergebnisse 13

2.1.3.1 Analyse von Beutegeräuschen 13

2.1.3.2 Verkehrsschallerfassung im Freiland 15

2.1.3.3 Verhaltensuntersuchungen 18

2.1.3.3.1 Experiment 1: Meiden Fledermäuse Lärm? 18

2.1.3.3.2 Experiment 2: Beeinträchtigt Verkehrslärm den Beutedetektionserfolg? 20

2.1.4 Diskussion 23

2.1.4.1 Methodenkritische Auseinandersetzung 23

2.1.4.2 Wirkung von verkehrsbedingtem Schalleinfluss auf das Jagdverhalten und die Jagdeffizienz 23

2.2 Störungen durch Licht 27

2.2.1 Einführung, Zielsetzung 27

2.2.2 Material und Methoden 28

2.2.2.1 Kurzabriss Methode (Lektüre reicht, um die Ergebnisse zu verstehen) 28

2.2.2.2 Details zur Methode 28

2.2.3 Ergebnisse 30

2.2.4 Diskussion 34

3 Zerschneidungswirkung von Bahnstrecken auf Fledermausflugaktivität 35

3.1 Einleitung 35

3.2 Material und Methoden 36

3.2.1 Untersuchungen im Großraum Rhein-Main 36

3.2.2 Untersuchungsgebiet ICE-Hochgeschwindigkeitstrasse Fulda - Würzburg bei Zellingen. 40

3.2.3 Untersuchungsgebiet EW (Elzer Wald) 43

3.2.4 Untersuchungsgebiet KB (Kamp-Bornhofen) 44

3.3 Ergebnisse 46

3.3.1 Vergleich bahnnaher und bahnferner Waldränder im Großraum Rhein-Main 46

3.3.2 Untersuchungen im Gebiet Zellingen (ZE) 49

3.3.2.1 Vergleich bahnnaher und bahnferner Untersuchungsflächen 49

3.3.2.2 Wirkung der Zugpräsenz / -absenz 52

3.3.2.3 Einfluss des Insektenangebotes 53
3.3.3 Untersuchungen im Gebiet Elzer Wald (EW) 54
3.3.4 Untersuchungen im Gebiet Kamp-Bornhofen (KB) 55
3.4 Diskussion 56
3.4.1 Methodenkritische Auseinandersetzung 56
3.4.2 Einfluss anlagenbedingter Faktoren an Bahnstrecken auf die Fledermausaktivität 57
3.4.3 Einfluss betriebsbedingter Faktoren an Bahnstrecken auf die Fledermausaktivität 58
4 Zerschneidungswirkungen von Autobahnen auf Bechstein- und Mopsfledermäuse 60
4.1 Einführung, Zielsetzung 60
4.2 Material und Methoden 61
4.2.1 Untersuchungsgebiete und untersuchte Tiere 61
4.2.1.1 Untersuchungsgebiet Autobahn A3 - Würzburg 61
4.2.1.2 Untersuchungsgebiete Altrich (Autobahn A60/A1) und Gindorf (Autobahn A60) in der Eifel 62
4.2.2 Erfassung biometrischer Daten, populationsgenetische Analysen (Untersuchungsgebiet Würzburg) 65
4.2.3 Erfassung der Quartiernutzung im Bereich der Autobahn mit Hilfe von Kastenkontrollen 66
4.2.4 Erfassung der Jagdgebiete im Bereich der Autobahn mit Hilfe von Radiotelemetrie 67
4.3 Ergebnisse im Bereich der Autobahn A3 - Würzburg 70
4.3.1 Verteilung nächtlicher Aufenthaltsgebiete in Abhängigkeit vom Verlauf der Autobahn 70
4.3.2 Besiedlung von Fledermauskästen in Abhängigkeit vom Verlauf der Autobahn 77
4.3.3 Querungsverhalten im Bereich der Unterführung Schenkensee 78
4.3.4 Bestandsgrößen autobahnnaher und autobahnferner Kolonien 78
4.3.5 Populationsgenetische Analysen 79
4.3.5.1 Abwanderungsverhalten der Männchen 79
4.3.5.2 Koloniegründung der Weibchen 80
4.3.5.3 Genetische Diversität von autobahnnahen und autobahnfernen Kolonien 80
4.3.6 Diskussion der Ergebnisse an der Autobahn A3 – Würzburg 81
4.3.6.1 Methodenkritische Auseinandersetzung 81
4.3.6.2 Einfluss autobahnbedingter Zerschneidungswirkungen auf das Überleben der Bechstein- und Mopsfledermauskolonien 82
4.4 Ergebnisse im Bereich der Autobahn A60/A1 (Eifel) 86
4.4.1 Verteilung nächtlicher Aufenthaltsgebiete in Abhängigkeit vom Verlauf der Autobahnen 86
4.4.2 Abhängigkeit der Querungen von der Gradiente der Autobahnen 91
4.4.3 Diskussion der Ergebnisse an den Autobahnen A60 und A1 – Eifel 96
4.4.3.1 Methodenkritische Auseinandersetzung 96
4.4.3.2 Nachweisbarkeit autobahnbedingter Zerschneidungswirkungen 97
4.4.3.3 Vermeidbarkeit von Zerschneidungswirkungen durch Querungshilfen 98
5 Reaktion von Fledermäusen auf einen Autobahn-Ausbau und Bauaktivitäten an der Autobahn A3 99

5.1 Einführung, Zielsetzung ... 99

5.2 Material und Methoden ... 100

5.2.1 Untersuchungsgebiete und untersuchte Tiere ... 100

5.2.2 Erfassung der Quartiernutzung im Bereich der Autobahn mit Hilfe von Kastenkontrollen ... 101

5.2.3 Erfassung der Jagdgebiete im Bereich der Autobahn mit Hilfe von Radiotelemetrie ... 102

5.2.4 Einfluss von Bautätigkeiten an Unterführungen, Kleintierdurchlässen und einer Grünbrücke ... 102

5.3 Ergebnisse ... 104

5.3.1 Verteilung nächtlicher Aufenthaltsgebiete in Abhängigkeit vom Verlauf der Autobahn ... 104

5.3.2 Besiedlung von Fledermauskästen in Abhängigkeit vom Verlauf der Autobahn ... 106

5.3.3 Netzfänge ... 107

5.3.4 Bioakustische Erfassungen ... 108

5.3.5 Bestandsgrößen autobahnnaher und autobahnferner Kolonien ... 110

5.3.6 Populationsgenetische Analysen ... 112

5.4 Diskussion ... 114

5.4.1 Methodenkritische Auseinandersetzung ... 114

5.4.2 Einfluss der Baumaßnahmen auf die Raumnutzung der Bechstein- und Mopsfledermauskolonien ... 114

5.4.3 Einfluss der Baumaßnahmen auf das Überleben der Bechstein- und Mopsfledermauskolonien ... 116

5.4.4 Annahme neuer Querungshilfen ... 117

6 Gefährdung von Fledermäusen durch Kollision ... 118

6.1 Gefährdung von Fledermäusen an Straßen, Einflussfaktoren ... 118

6.1.1 Einleitung ... 118

6.1.2 Methoden ... 118

6.1.2.1 Transektzählungen ... 118

6.1.2.2 Ergänzender Untersuchungsansatz: Totfundsuche ... 122

6.1.3 Ergebnisse ... 122

6.1.4 Diskussion ... 131

6.1.4.1 Methodenkritische Auseinandersetzung ... 131

6.1.4.2 Wie viele Fledermäuse fliegen im Straßenraum und wie viele sind kollisionsgefährdet? ... 132

6.1.4.3 Sind bestimmte Arten stärker kollisionsgefährdet als andere? ... 134

6.1.4.4 Welchen Einfluss haben das Straßenbegleitgrün und das landschaftliche Umfeld? ... 135

6.1.4.5 Welchen Einfluss hat die Straßengradiente? ... 137

6.1.4.6 Ziehen Insekten Fledermäuse in den Verkehrsraum? ... 137

6.2 Gefährdung von Fledermäusen auf Bahnstrecken durch Kollisionen ... 139

6.2.1 Einleitung ... 139

6.2.2 Methoden ... 139

6.2.2.1 Untersuchungsgebiete ... 139

6.2.2.2 Transektuntersuchung ... 141

6.2.2.3 Totfundsuche 142
6.2.2.4 Einzelfalluntersuchungen mittels Detektor und IR-Kamera 142
6.2.2.5 Statistische Auswertung 143
6.2.3 Ergebnisse 143
6.2.3.1 Ergebnis der Totfundsuche 143
6.2.3.2 Auftreten und Aktivität von Fledermäusen im Trassenbereich 144
6.2.3.3 Aktivität von Fledermäusen im Bahntunnel 145
6.2.3.4 Verhalten von Fledermäusen an Engpasssituationen 148
6.2.4 Diskussion 149

7 Fledermausquartiere in Talbrücken und Tunnel – Bedeutung und Gefährdung / Optimierung 152

7.1 Einführung 152

7.2 Material und Methoden 152

7.2.1 Auswahl der Untersuchungsobjekte 152
7.2.2 Kontrollen zur Fledermauspräsenz in Brücken und Tunnel 153
7.2.3 Literaturauswertung 156

7.3 Ergebnisse 158

7.3.1 Talbrücken an Straßen– und Eisenbahnstrecken 158
7.3.1.1 Nutzung von Brücken durch Fledermäuse 158
7.3.1.2 Funktion der Brücken für Fledermäuse 161
7.3.1.3 Besiedlungslimitierende Faktoren in Brücken 164
7.3.1.4 Klimatische Eigenschaften der Hangplätze von Fledermäusen in und an Brücken 168
7.3.2 Tunnel 176
7.3.2.1 Nutzung von Tunnel durch Fledermäuse 176
7.3.2.2 Vertiefende Untersuchungen in und am Tunnel 179
7.3.2.3 Beeinträchtigungen von Fledermausvorkommen in Tunnel – Ergebnisse von Literaturrecherche und Befragungen 183

7.4 Diskussion 184

7.4.1 Methodenkritische Auseinandersetzung 184
7.4.2 Bedeutung von Talbrücken für Fledermäuse 184
7.4.3 Bedeutung von Tunnel für Fledermäuse 187
7.4.4 Gefährdungspotenzial und Handlungsbedarf bei Fledermausvorkommen in Talbrücken und Tunnel 189

8 Wirksamkeit von Vermeidungsmaßnahmen 194

8.1 Autobahnunterführungen und technische Brücken als Querungsmöglichkeiten für Fledermäuse 194

8.1.1 Einführung 194
8.1.2 Methoden 194
8.1.2.1 Probeflächen 194
8.1.2.2 Untersuchungsgeräte 200
8.1.3 Ergebnisse: Nutzung von Unterführungsbauwerken 202
8.1.3.1 Vergleich der Nutzung unterschiedlich weiter Unterführungsbauwerke 202
8.1.3.2 Nutzungsunterschiede bei Unterführungsbauwerken 203

8.1.3.3 Meideverhalten bei engen Unterführungen 207
8.1.4 Ergebnisse: Nutzung straßenüberspannender technischer Bauwerke als Überflugmöglichkeiten 208
8.1.4.1 Nutzung von Überführungsbauwerken 208
8.1.4.2 Meideverhalten an Überführungsbauwerken (Wirtschaftswegebrücken) 209
8.1.5 Diskussion 210
8.1.5.1 Allgemeine methodenkritische Auseinandersetzung 210
8.1.5.2 Wirksamkeit von Unterführungen und Bachdurchlässen als Querungsmöglichkeit für Fledermäuse 211
8.1.5.3 Wirksamkeit von unbegrünten straßenüberspannenden Bauwerken als Querungsmöglichkeit für Fledermäuse 216

8.2 Grünbrücken als Querungshilfen für Fledermäuse 219
8.2.1 Einführung 219
8.2.2 Methoden 219
8.2.3 Ergebnisse 222
8.2.3.1 Nutzung der „Brücken“ 222
8.2.3.2 Funktionale Unterschiede 224
8.2.3.3 Abhängigkeit der Nutzung von Brückenbreite und Vegetationsstruktur 225
8.2.3.4 Auswirkungen einer nachträglichen Begrünung einer Wirtschaftswegbrücke 227
8.2.4 Diskussion 228
8.2.4.1 Allgemeine methodenkritische Auseinandersetzung 228
8.2.4.2 Wirksamkeit von straßenüberspannenden Querungshilfen 230

8.3 Wände und Zäune als Leit- und Sperreinrichtungen für Fledermäuse 232
8.3.1 Einführung 232
8.3.2 Methoden 234
8.3.3 Ergebnisse 237
8.3.3.1 Verhalten an Leit- und Sperreinrichtungen 239
8.3.3.2 Leitwirkung von Wänden und Schutzzäunen 241
8.3.4 Diskussion 242
8.3.4.1 Methodenkritischen Auseinandersetzung 242
8.3.4.2 Wirksamkeit von Schutzzäunen und -wänden als Leit- und Sperreinrichtungen 243

9 Berücksichtigung der rechtlichen Verpflichtungen zum Fledermausschutz in Verfahren der Straßenplanung und der Planung von Schienenverkehrswegen 246

9.1 Einführung, rechtlicher Rahmen 246
9.1.1 Zu beachtendes Schutzregime, rechtliche Verpflichtungen 246
9.1.2 Artenschutzrechtliche Regelungen der §§ 44, 45 BNatSchG 247
9.1.3 Regelungen des FFH-Gebietsschutzes nach § 34 BNatSchG 248
9.1.4 Verhältnis Artenschutz und Gebietsschutz 249
9.1.5 Rechtliche Anforderungen nach Eingriffsregelung und Verhältnis zum Artenschutz 249
9.1.6 Rechtliche Anforderungen nach weiteren Vorschriften des Naturschutzrechtes und des Umwelthaftungsrechtes 250
9.1.7 Synergien 251

9.2 Hinweise zur fledermauskundlich - spezifischen Ausfüllung der unbestimmten Rechtsbegriffe 252
9.2.1 Bestandserfassung, Untersuchungstiefe 252
9.2.2 Eintreten erheblicher Beeinträchtigungen nach gebietsschutzrechtlichen Kriterien 253
9.2.3 Eintreten der artenschutzrechtlichen Verbotstatbestände 256
9.2.3.1 Notwendigkeit fallbezogener Beurteilung, „naturschutzfachliche Einschätzungsprärogative“ 256
9.2.3.2 Verbot Tiere zu verletzen oder zu töten oder ihre Entwicklungsformen zu beschädigen oder zu zerstören 257
9.2.3.3 Erhebliche Störung der lokalen Population insbesondere während bestimmter Zeiten ..259
9.2.3.4 Beschädigen und Zerstören von Fortpflanzungs- und Ruhestätten 260
9.2.4 Günstiger Erhaltungszustand 262
9.2.5 Lokale Population 263
9.2.6 Erhalt der ökologischen Funktion der Fortpflanzungs- und Ruhestätten im räumlichen Zusammenhang 265
9.2.7 Fachliche Aspekte der naturschutzrechtlichen Ausnahmemöglichkeiten von den Verboten nach § 45 Abs. 7 BNatSchG 266

9.3 Maßnahmen zur Vermeidung von erheblichen Beeinträchtigungen sowie zur Verhinderung des Verbotseintritts 267

9.4 Umgang mit Prognoseunsicherheiten: Risikomanagement 269

10 Synthese 271

10.1 Intention und Belastbarkeit der Synthese, Beurteilung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes 271

10.2 Methodischer Fehlerquellen im Rahmen der Bewertung von Flächenverlusten und Funktionsbeeinträchtigungen 272

10.3 Wirkungen von Bau, Anlage und Betrieb von Straßen und Bahntrassen auf Fledermäuse 273
10.3.1 Baubedingte / temporäre Störungen und Entzug von Habitaten 273
10.3.1.1 Störwirkungen 274
10.3.1.2 Baubedingtes Versperren von Flugwegen 274
10.3.2 Anlage- und betriebsbedingte Barriere-/ Zerschneidungswirkungen 275
10.3.3 Störungen durch Lärm- und Lichtwirkungen 277
10.3.3.1 Lärm / Schall 277
10.3.3.2 Lichtwirkungen 279
10.3.4 Betriebsbedingte Fallenwirkung, Tierkollisionen 281
10.3.4.1 Wirkungen 281
10.3.4.2 Intrinsische kollisionsbeeinflussende Faktoren 281
10.3.4.3 Extrinsische kollisionsbeeinflussende Faktoren 283
10.3.4.4 Quantifizierung der Mortalität und Einfluss des Kollisionstodes auf den Erhaltungszustand der Population 284

10.4 Wirksame Maßnahmen zur Vermeidung von Beeinträchtigungen 286
10.4.1 Der Begriff „Wirksamkeit“, Einschätzung der Wirksamkeit von Maßnahmen 286
10.4.2 Zeitraum bis zur Annahme neuer Querungshilfen 288

10.4.3 Vermeidungs- bzw. Schadensbegrenzungsmaßnahmen 289
10.4.4 Ergänzende Maßnahmen 291
10.5 Risikomanagement 293
10.5.1 Definition, Arbeitsschritte, Methodenprobleme 293
10.5.2 Beschreibung des Monitorings 296
11 Weiterer Forschungsbedarf, Weiterentwicklung der bestehenden Ansätze 298
12 Literaturverzeichnis 299

1 Zielsetzung und Forschungskonzeption

Bei der Artengruppe Fledermäuse besteht ein besonders großes Defizit an Wissen über die Auswirkungen von Straßen- und Schienenverkehrswegen. Dies ist aus Sicht von Naturschutz und Verkehrswegeplanung besonders kritisch zu bewerten, da (fast) alle deutschen Fledermausarten bedroht und dem strengen Schutz nach der FFH-Richtlinie (Anhang IV und tlw. II) unterworfen sind. Insofern bestehen besondere rechtliche Verpflichtungen zur Problemanalyse und -bewältigung für alle europäischen resp. in Deutschland vorkommenden Fledermausarten.

Über die Wirkungen von Straßen und Bahnanlagen auf Fledermausarten ist bis heute vergleichsweise wenig systematisch geforscht worden (KRULL et al. 1991, KIEFER & SANDER 1993, BLAKE et al. 1994, ROER 1995, HAENSEL & RACKOW 1996, FUHRMANN & KIEFER 1996, LEMAIRE & ARTHUR 1999, HECK & BARZ 2000, BAFALUY 2000, RUSSEL et al. 2009, KEIL et al. 2005, BACH & MÜLLER-STIEß 2005, WRAY et al. 2006, CAPO et al. 2006, LESINSKI 2007, 2008), vielfach waren die Daten zur Straßenökologie in der Vergangenheit eher Nebenprodukte projektbezogener Untersuchungen und in den wenigsten Fällen lagen problemorientierte systematische Ansätze zu Grunde. Deswegen müssen Bewertungen bislang v.a. auf der Grundlage von Einzelfallstudien und Erfahrungswissen vorgenommen werden, was in der Literatur auch kritisch beklagt wird (u. a. RICHARZ 2000, ALTRINGHAM 2008). Unter denselben Einschränkungen stehen die bisherigen Planungsleitfäden und Hinweise (HIGHWAYS AGENCY 1999a, 2008, AG QUERUNGSHILFEN 2003, LIMPENS et al. 2005, BRINKMANN et al. 2008, FGSV 2008). Aufgrund der besonderen Biologie von Fledermäusen können Orientierungswerte bezüglich der von ihnen tolerierten Belastungen durch Straßen auch nicht aus Untersuchungen an anderen Säugetier- resp. Wirbeltiergruppen abgeleitet werden. Werte, über die bezüglich der Belastung von Tierarten in Fachkreisen teilweise Konsens besteht (zuletzt z.B. GARNIEL et al. 2007), sind auf die ökologisch sehr speziell eingenischten Fledermäuse nicht übertragbar.

Vor diesem Hintergrund hatte das Bundesministerium für Verkehr (BMV bzw. BMVBS, Ref. StB13) im Jahr 2004 ein Forschungsprojekt mit dem Schwerpunkt empirische Wirkungsforschung ausgelobt und im März 2005 vergeben. Als vorrangige Untersuchungsinhalte wurden die Themen in das Zentrum der Forschung gestellt, bei denen besonders gravierende Wissensdefizite gesehen wurden. Als Felder für empirische Untersuchungen hob der Forschungsgeber in seiner Aufgabenbeschreibung hervor:

- Lärmbeeinflussung durch Straßen und Schienenverkehr auf Fledermäuse (Auswirkungen auf benachbarte Bestände, Auswirkungen im Bereich der Ortungsfrequenzen, Korrelation zwischen Fledermausdichte und Schallimmission).
- Raumnutzungsverhalten von Fledermauspopulationen an Verkehrstrassen
- Kollisionsgefährdung durch den Straßen- und Bahnverkehr (Verhalten beim Überqueren von Verkehrstrassen, Art und Häufigkeit der Nutzung von Trassenseitenräumen als Nahrungshabitate).

Auf der Basis von empirischen Untersuchungen (sowie unter Nutzung der einschlägigen Literatur) sollten die anlage- und betriebsbedingten Effekte von Straßen und Bahnwegen dargestellt und Ansätze gesucht werden, die die Erheblichkeit der Effekte in Bezug auf die Arten und Populationen im Wirkungsraum bewerten. Weiterhin sollten Angaben zur Wirksamkeit möglicher Gegenmaßnahmen bzw. Vermeidungsmaßnahmen, insbesondere von Querungshilfen gemacht werden.

Die Bewertung der Wirkungen, der Umgang mit den Erkenntnisdefiziten und die Bewältigung der damit zusammenhängen-den Problemstellungen (z.B. mittels Fledermausüberflughilfen) stellen die größten inhaltlichen und rechtlichen Anforderungen bei der Planung dar. Zugleich verursachen sie Planungszeitverzögerungen und hohe Kosten. Deswegen verfolgt das Forschungsvorhaben auch das Ziel, auf der Basis der Erkenntnisse der Wirkungsforschung die Entwicklung/Ableitung kon-sensfähiger Metho-

den und Regeln zur Umsetzung der Anforderungen des UVPG, der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung und der artenschutzrechtlichen Regelungen des BNatSchG und des Europarechts bezüglich der nach FFH-RL besonders geschützten Fledermausarten weiter zu treiben.

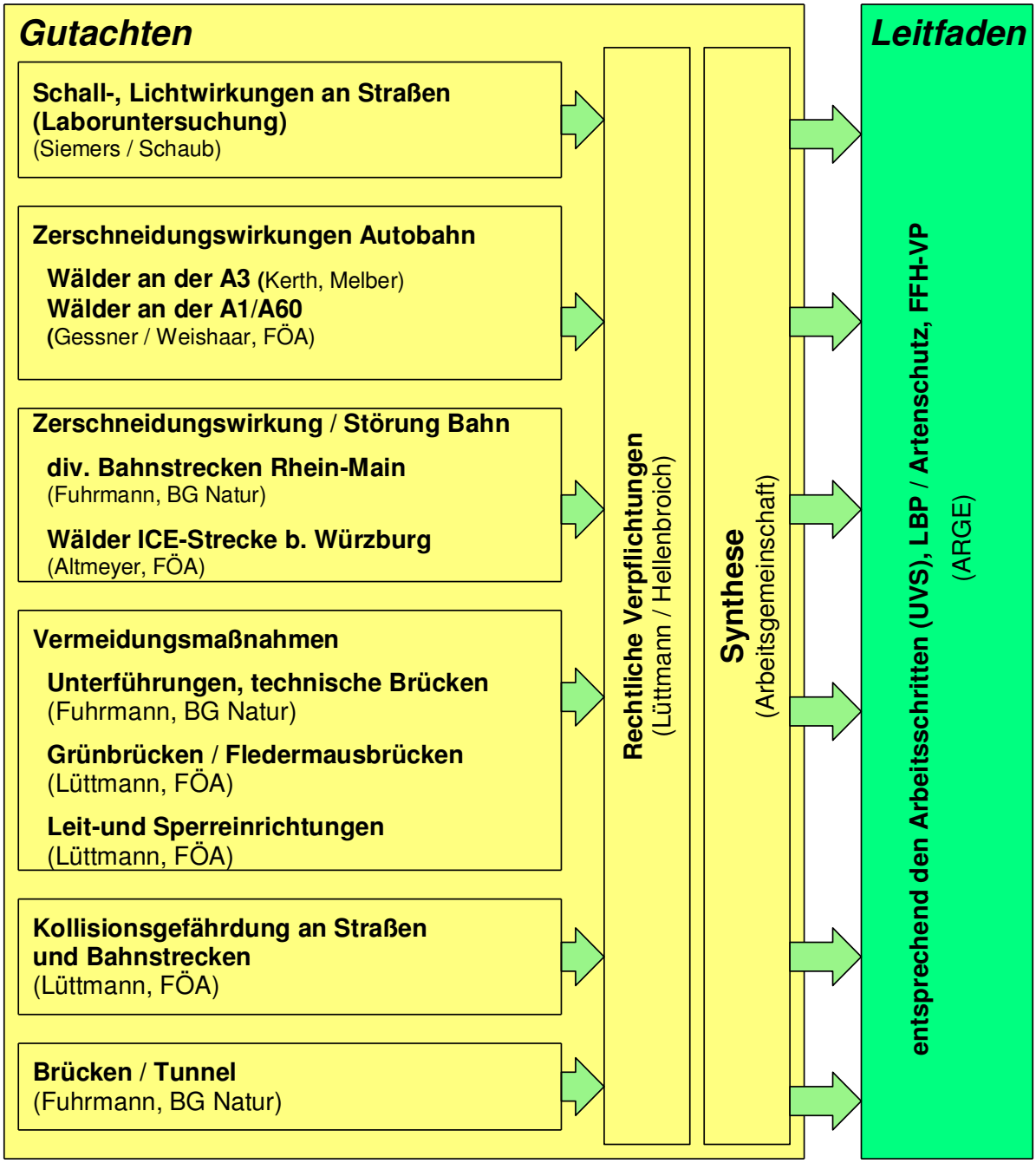


Abbildung 1-1: Modularer Aufbau des Forschungsvorhabens

Das Forschungsvorhaben wurde entsprechend den umfassenden Anforderungen modular aufgebaut

- Mittels labor-experimenteller Verhaltensuntersuchungen an möglicherweise besonders lärm- und lichtempfindlichen Fledermäusen wurden die möglichen Beeinträchtigungen von Fledermäusen durch Schall- und Lichtimmissionen untersucht (Kap. 2).
- Zerschneidungswirkungen und Störungen durch Anlage und Betrieb von Bahnstrecken wurden an Hochgeschwindigkeits-Zugstrecken und Altanlagen untersucht (Kap. 3).
- Zerschneidungswirkungen und weitere Komplexwirkungen (Barrierewirkungen, Jagdgebietsbeeinträchtigungen, Störungen) durch Anlage und Betrieb von Autobahnen wurden im Populationskontext unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen untersucht (Kap. 4)
    - an einer großflächige Wälder querenden Autobahn
    - an Autobahnen unterschiedlichen Alters, die fragmentierte Feld-Wald-Landschaften queren.
- Reaktionen von Fledermäusen auf die mit dem Ausbau der A3 verbundenen Bauaktivitäten wurden im Populationskontext untersucht (Kap. 5).
- Das Ausmaß des Kollisionstodes bzw. die Fallenwirkung von Straßen und Bahnstrecken wurden unter Geländebedingungen abgeschätzt und beeinflussende Faktoren ermittelt (Kap. 6).
- Die Quartier-Bedeutung und das Gefährdungspotenzial talüberspannender Brücken und Tunnelbauten (Bahn und Straße) werden durch Befragungen und empirische Untersuchungen ermittelt (Kap 7).
- Die Wirksamkeit von Vermeidungsmaßnahmen wurde an bestehenden Bauwerken untersucht und mit weiteren Literaturdaten verglichen (Kap. 8)
    - Wirksamkeit von Unterführungen, (Bach-)Durchlässen und (technischen) Wegbrücken als Querungshilfen
    - Wirksamkeit von begrünten Überführungen/Grünbrücken als Querungshilfen
    - Wirksamkeit von Wänden und Zäunen als Leit- und Sperreinrichtungen.
- Die rechtliche Aufarbeitung formuliert die Anforderungen und Grenzen der nach europäischen und nationalrechtlichen Normen bestehenden Verpflichtungen der Vorhabenträger zum Fledermausschutz (Kap. 9). Zentrale Fragen sind der rechtlich geschuldete Untersuchungsumfang bzw. die geschuldete Prognosesicherheit und die für die Bewertung der artenschutzrechtlichen Verbotstatbestände und gebietsschutzrechtlichen Beeinträchtigung heranzuziehenden Maßstäbe. Während der Bearbeitung des Forschungsprojektes wurde die nationale Naturschutz-Gesetzgebung durch die Neufassung des „Besonderen Artenschutzes“ im Bundesnaturschutzgesetz im November 2007, die zur Umsetzung der Art. 12-16 FFH-RL diente, grundlegend neu ausgerichtet. In vorliegendem Forschungsbericht werden die Anforderungen, insbesondere im Hinblick auf die aktuelle obergerichtliche Rechtsprechung und die entsprechenden Auslegungen, formuliert.
- Die im vorliegenden Bericht dargestellte Synthese stellt die Aufbereitung resp. Zusammenfassung der Erkenntnisse unter planerischen Gesichtspunkten dar (Kap. 10).

Die Darstellung legt in Verbindung mit den rechtlichen Anforderungen die Grundlage für eine „Handreichung für den Planer“, die als eigenständiges Papier („Arbeitshilfe“) erarbeitet wurde.

Im vorliegenden Forschungsbericht werden die Ergebnisse im Laufe der Projektjahre 2005-2009 dargestellt (Stand Mai 2010)[1]. Anschließend (bis zum hier vorliegenden Stand 12/2013) wurden lediglich redaktionelle Änderungen und Ergänzungen vorgenommen.

Die Arbeitshilfe als planerische Aufbereitung und Bewertung nutzt den uns zugänglichen Gesamtpool der Ergebnisse und bezieht weitere Daten und Angaben Dritter ein. Die Arbeitshilfe wird vom BMVBS als eigenständige Unterlage veröffentlicht.

[1] Die juristische Begleitung des Forschungsprojektes durch Dr. jur. Hellenbroich konzentrierte sich auf übergeordnete Aspekte, v. a. die Klärung der Anwendungsbereiche und Verpflichtungen der nationalen und europäischen Normen. Diese Ergebnisse sind in einem Zwischenbericht 04/2007 dokumentiert.

2 Wirkungen von Schall und Licht

2.1 Störungen durch Schall

2.1.1 Einführung, Zielsetzung

Fledermäuse orientieren sich mit Hilfe von Echoortung (GRIFFIN & GALAMBOS 1941; aktuelle Übersicht in SCHNITZLER et al. 2003). Viele Fledermausarten detektieren und lokalisieren auch ihre Beuteinsekten anhand von deren Echos. Es ist jedoch für Fledermäuse aus echoakustischen und hörphysiologischen Gründen sehr schwierig, wenn nicht unmöglich, Insekten direkt auf dem Substrat (Blattwerk, Gras, offenes Erdreich) mit Echoortung als Beute zu erkennen, weil die Insektenechos von den zeitlich überlappenden Substratechos akustisch maskiert werden (ARLETTAZ et al. 2001; SCHNITZLER & KALKO 2001; SIEMERS & SCHNITZLER 2004). Daher nutzen Fledermausarten, die Beute direkt vom Substrat absammeln, oft eine andere Beutedetektionsstrategie: Sie lauschen auf Lauf- und Fluggeräusche ihrer Beuteinsekten, um sie zu finden. Zur Raumorientierung und auch zur Kontrolle des Landeanflugs beim Beutefang verwenden auch diese Arten Echoortung. Das Lauschen auf Beutegeräusche als Jagdstrategie wird im Gegensatz zur aktiven Echoortung als „passiv akustische Beutedetektion“ bezeichnet. Unter den in Deutschland heimischen Fledermäusen sind v.a. die Langohrfledermäuse (*Plecotus* spec.) und die beiden FFH-Anhang II-Arten Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*) und Großes Mausohr (*Myotis Myotis*) auf passiv akustische Beutedetektion spezialisiert (siehe KOLB 1961; ANDERSON & RACEY 1991, ARLETTAZ et al. 2001, SIEMERS & GÜTTINGER 2006; SIEMERS & SWIFT 2006). Vor diesem Hintergrund stand als zentrales Ziel die Beantwortung der Frage an, ob Schallimmissionen einer Autobahn oder eines Zuges die leisen bis sehr leisen Raschelgeräusche der Fledermausbeute so stark akustisch maskieren können, dass der Jagderfolg der Fledermäuse dadurch gemindert oder gar unmöglich gemacht wird. Alternativ wäre denkbar, dass die von den Fledermäusen genutzten Frequenzspektren außerhalb des von Straßenverkehr und Zügen emittierten Geräuschfrequenzbandes liegen. Dieses Forschungsziel wurde durch die Kombination von drei Forschungsansätzen erreicht:

1) Akustische Analyse von Beutegeräuschen
2) Breitbandige Messung von Verkehrsschall
3) Verhaltensexperimentelle Untersuchung zur Beeinträchtigung von Fledermäusen und deren Jagderfolg durch Verkehrsschall

Teilergebnisse der Beutegeräuschanalysen finden sich publiziert in GOERLITZ et al. (2008) und Teilergebnisse der Verhaltensexperimente in SCHAUB et al. (2008).

2.1.2 Material und Methoden

Anmerkung: Technische Details, die für Spezialisten relevant, für Leser ohne Ausbildung in Akustik oder Statistik aber u.U. schwer einzuordnen sind, werden im nachfolgenden Methodenteil und wo zutreffend auch im Ergebnisteil in Klammern angegeben. Der Fließtext ist so abgefasst, dass diese Angaben in Klammern ohne Verlust überlesen werden können, wenn das generelle Vorgehen und die Kernaussagen, nicht aber die technischen Details von Interesse sind.

2.1.2.1 Methodik der Analyse von Beutegeräuschen

Das erste Ziel des Projektes war es, Laufgeräusche typischer Beutearthropoden des Großen Mausohres auf verschiedenen typischen Substraten zu erfassen. Dazu wurden sechs Laufkäfer (Carabus monilis) an der Universität Tübingen in Haltung genommen (Körperlänge ca. 2,5 cm). Laufkäfer dieser Größe stellen eine wichtige Beute des Großen Mausohres dar (BAUEROVA 1978; SIEMERS & GÜTTINGER 2006). Sie werden von den Fledermäusen auf gut zugänglichen Böden erbeutet (ARLETTAZ 1996, 1999). Entsprechend wurden für die akustischen Aufnahmen drei typische Bodenbedeckungen ausgewählt, die in Jagdgebieten von Mausohren häufig sind: laubbedeckter Waldboden, frisch gemähte Wiese und offenes Erdreich. Als Substrat für die Aufnahmen wurden im Freiland jeweils 50 cm mal 50 cm große Stücke ausgestochen und in Plastikschalen gleichen Ausmaßes ins Labor verbracht (Abbildung 2-1). Um den Einfluss verschiedener Witterungsbedingungen auf die Arthropodenlaufgeräusche zu messen, wurden alle Substrate jeweils im trockenen und angefeuchteten Zustand verwendet. Zur standardisierten Anfeuchtung diente eine Gießkanne mit Sprühkopf (250 ml Wasser vor Versuchsbeginn) und eine Pflanzensprühflasche (Nachbefeuchtung ca. alle 15 min während des Versuches). Insgesamt resultierten daraus sechs Aufnahmebedingungen: Laubstreu trocken, Laubstreu feucht, Erdreich trocken, Erdreich feucht, Wiese trocken, Wiese feucht.

Die Aufnahmen wurden in einer für akustische Messungen ausgelegten Kabine an der Universität Tübingen durchgeführt. Die Krabbelgeräusche wurden aus 10 cm Distanz mittels eines besonders empfindlichen, geeichten Messmikrofons erfasst, digitalisiert und auf Computerfestplatte abgelegt (½“ Low noise Microphone System Type 40HH, G.R.A.S., Holte, Dänemark; A/D-Wandler: PCTape, Eigenbau Lehrstuhl Tierphysiologie Tübingen; Tastrate 192 kHz, 16-bit Tiefe, digitales Anti-Aliasing). Für jedes Individuum und jede der sechs Aufnahmebedingungen wurden mindestens zehn Aufnahmen erstellt; insgesamt wurden über 500 Laufsequenzen aufgezeichnet (wav-files). Um tieffrequente Störsignale zu eliminieren, wurden die Aufnahmen bei 1 kHz hochpassgefiltert. Die Analyse der Aufnahmen erfolgte automatisiert in Matlab (6.5, Release 13, The Math Works, Inc.). Ziel war es, Parameter zu extrahieren, die quantifizieren, wie laut die Laufgeräusche sind und bei welchen Frequenzen die Hauptenergie liegt. Dazu wurde für jede Aufnahme die Stelle mit der höchsten Amplitude (im Folgenden: PEAK) und der amplitudenstärkste 100 ms Abschnitt (im Folgenden max. RMS; RMS von root mean square) ermittelt. Für beide wurde anschließend der Frequenzgehalt bestimmt (Fast Fourier Transformation, FFT; 256 Punkte, Hann Fenster). Um die Frequenzen zu bestimmen, die die Laufgeräusche dominieren, wurde für die resultierenden Spektren jeweils die -6 dB Bandbreite berechnet. Die -6 dB Bandbreite ist der Bereich der Frequenzen, die höchstens 6 dB weniger Energie haben als die Frequenz mit der höchsten Energie.

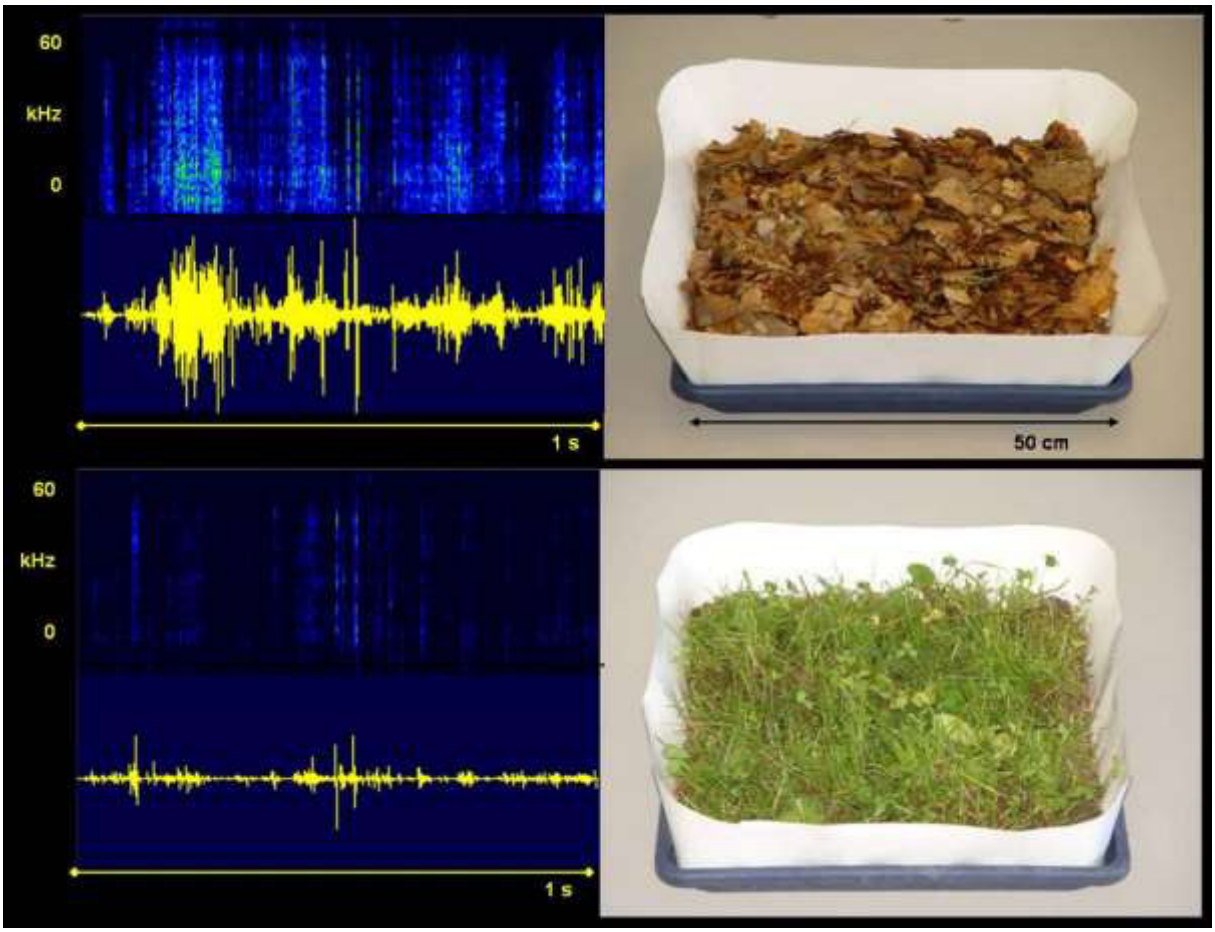


Abbildung 2-1: Beispiele für Laufgeräusche von Carbus monilis auf trockener Laubstreu (oben) und Wiese (unten). Links jeweils oben Spektrogrammdarstellung (Frequenzen in kHz), darunter Oszillogramm (Lautstärke; ohne Einheit) und Zeitsignal (eine Sekunde), rechts die verwendete Laufarena.

2.1.2.2 Methodik der Verkehrsschallerfassung im Freiland.

Das zweite Ziel des Projektes war es, breitbandige, ungewichtete Messungen von Verkehrsgeräuschen durchzuführen, die vom menschlichen Audiobereich bis in den Ultraschallbereich hineinreichen. Schalldruckpegelmessungen, wie sie zur Beurteilung der Lärmimmission in Wohngebieten durchgeführt werden, sind für die Abschätzung der Maskierungswirkung von Verkehrsschall für Fledermäuse nicht hinreichend, weil sie nur den menschlichen Hörbereich abdecken und zudem meist dB A gewichtet sind (Gewichtung der Amplituden über das menschliche Audiogramm). Diese in großem Umfang bei den einschlägigen Behörden vorliegenden Messungen liefern Schalldruckpegeldaten lediglich für den Bereich bis ca. 16 kHz. Wir führten zur Ergänzung dieses breiten, aber auf die hier zu bearbeitende Fragestellung nicht zugeschnittenen Datensatzes Schallmessungen durch, mit dem Ziel zu klären, ob Verkehrsschall auch Ultraschallanteile enthält.

Zur Erfassung der Schallemissionen an Autobahnen wurden Messungen an zwei Standorten der Autobahn A8 zwischen den Anschlussstellen Aichelberg und Kirchheim Teck durchgeführt. Schallemissionen von Zügen wurden in Abstimmung mit dem Eisenbahnbundesamt (EBA) für die beiden Zugtypen ICE und Dieseltraktion gemessen. Die ICE-Aufnahmen wurden an der ICE-Trasse Stuttgart - Mannheim im Streckenabschnitt Vaihingen - Illingen durchgeführt. Messdaten für Dieseltraktionszüge wurden an

der Ammertalbahn (Tübingen - Herrenberg) zwischen den Haltestellen Tübingen - West und Unterjesingen - Sandäcker erhoben. Die Mikrofonpositionen an der Autobahn wurden in Absprache mit den Schallphysikern von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) so gewählt, dass sie zum einen eine Verschneidung unserer Daten mit den behördlichen Standardmessungen erlauben (7,5 m, 15 m, und 25 m) und zum anderen für Fledermäuse ökologisch relevante Höhen über Grund erfassen. Es wurden zwei Mikrofonhöhen über Grund gewählt: vornehmlich 1,5 m, was in etwa der Suchflughöhe des Großen Mausohrs entspricht und wo möglich auch 4 m, was eine typische Jagdflughöhe vieler an Vegetationskanten und im freien Luftraum jagender Fledermausarten ist (z.B. Zwergfledermaus). Diese beiden Höhen wurden in den Entfernungen 7,5 m, 15 m, und 25 m zur Mitte des rechten Fahrbahnstreifens erfasst. An Zugtrassen wurde in 1,5 m Höhe und in den Entfernungen 7,5 m, 15 m, und 25 m zum Gleis gemessen. Es kamen zwei Mikrofontypen der Firma G.R.A.S. (Holte, Dänemark) zum Einsatz (ein ½“ Low noise Microphone System HH 40, sowie ein ¼“ Free field Microphone System BF 40; ersteres nur für 1,5 m Messhöhe). Der Vergleichbarkeit und Übersichtlichkeit halber beschränken wir uns daher für die Ergebnisabbildungen in diesem Bericht auf die Aufnahmehöhe von 1,5 m, was der Jagdflughöhe der in unseren Verhaltensexperimenten untersuchten Modellart *Myotis Myotis* entspricht. An der Autobahn wurden die vorbeifahrenden Fahrzeuge mit einer Videokamera synchron zu den Schallaufnahmen erfasst (Kameratyp: Sanyo VCB-3572IRP; Objektiv: Computar M0518 (4,8 mm F 1,8); Sychronisationseinheit Eigenbau Lehrstuhl Tierphysiologie Tübingen, Synchronisations-genauigkeit < 50 ms). Damit waren eine fahrzeuggenaue Zuordnung der Schallemissionen und eine Abschätzung der Fahrzeuggeschwindigkeit möglich. Es wurden nur Aufnahmen in die Analyse einbezogen, die eindeutig einem einzelnen, auf der rechten Spur und damit in definiertem Abstand zum Mikrofon vorbeifahrenden Fahrzeug zugeordnet werden konnten. Zeitgleiche Vorbeifahrten mehrerer Fahrzeuge wurden verworfen. In den Autobahnaufnahmen wurden die Fahrzeugkategorien LKW (> 3,5 t) und PKW unterschieden.

Die Analyse der Aufnahmen erfolgte automatisiert in Matlab (6,5 Release 13, The Math Works, Inc.). Für jede Aufnahme wurde die höchste Amplitude für ein gleitendes 500 ms-Fenster (max. RMS) bestimmt. Damit ließ sich standardisiert der lauteste Teil einer Vorbeifahrt erfassen. Anschließend wurde der Frequenzgehalt dieser Signalabschnitte ermittelt (PSD: power spectral density; dt.: spektrale Leistungsdichte). Aus dem Pool der über 1200 aufgezeichneten Fahrzeugvorbeifahrten an der A8 wurden für die Ergebnisabbildungen in diesem Bericht 555 Aufnahmen so ausgewählt, dass LKW und PKW je ca. 50 % der Daten ausmachen.

2.1.2.3 Methodik der Verhaltensuntersuchungen zur Beeinträchtigung von Fledermäusen und deren Jagderfolg durch Verkehrsschall

Verhaltensexperimente erscheinen uns als sinnvolles wissenschaftliches Vorgehen, um quantitative Aussagen über den Einfluss von verkehrsbedingten Schallimmissionen auf das Jagdverhalten und den Jagderfolg von Fledermäusen zu erhalten, die als Grundlage für die Bestimmung von Erheblichkeitsschwellen dienen können. Da solche Verhaltensexperimente sehr zeitaufwendig sind, war es von vornherein nicht möglich, alle planungsrelevanten Fledermausarten zu bearbeiten. Daher wurde das Große Mausohr (*Myotis Myotis*) als Modellart für diese Verhaltensuntersuchungen ausgewählt. Es ist hier besonders geeignet, weil es weit verbreitet und sehr mobil ist und als “FFH-Art“ (Anhang II und IV FFH-RL) in Planungsvorhaben häufig eine gewichtige Rolle spielt. Das Mausohr kann als typischer Vertreter der ökologischen Gruppe (Gilde) passiv akustisch jagender Beute, vom Substrat aufnehmender Fledermausarten gelten (KOLB 1961; BAUEROVA 1978; ARLETTAZ 1996, 1999; ARLETTAZ et al. 2001, SIEMERS & GÜTTINGER 2006) und somit Rückschlüsse auch auf andere Arten dieser Gruppe erlauben.

Die Untersuchungen wurden mit neun jungen, männlichen Großen Mausohren durchgeführt, die mit Ausnahmegenehmigung des Regierungspräsidiums Freiburg aus den Wochenstubenquartieren Ettenheim und Welschensteinach entnommen und an der Universität Tübingen in Haltung genommen worden waren. Wir haben mit diesen Tieren zwei Verhaltensexperimente durchgeführt. Das erste adressiert die Frage, ob Große Mausohren auf dem Jagdflug intensiven Lärm meiden, wenn sie die Wahl haben. Das zweite Experiment ist auf die Frage abgestellt, ob Verkehrslärm den Jagderfolg von Großen Mausohren beeinträchtigt.

2.1.2.3.1 Experiment 1: Meiden Fledermäuse Lärm?

In diesem Wahlexperiment haben wir untersucht, ob Fledermäuse Lärm meiden. Die Experimente wurden in einem großen Flugraum (13 m x 6 m, Höhe 2 m) an der Universität Tübingen durchgeführt. An einem Ende des Flugraumes wurden durch eine Trennwand zwei annähernd gleichgroße Kompartimente geschaffen (Abbildung 2-2). In jedem Kompartiment standen den Fledermäusen sechs, auf dem Boden liegende, Landeplattformen zur Verfügung. Jeweils zwei davon enthielten in einer Petrischale 4 g lebende Mehlwürmer (ca. 40 Mehlwürmer). Jedes der Kompartimente konnte computergesteuert über einen Lautsprecher beschallt werden (Swans Bändchenlautsprecher RT2h, Verstärker WPA 600 Pro; externes Soundboard RME Fireface 800, D/A-Wandlung mit 192 kHz Tastrate). Pro Versuch war jeweils eines der Kompartimente das Stimuluskompartiment (Schallsignal kontinuierlich wiedergegeben), das andere das Kontrollkompartiment (kein Schallsignal). Im Stimuluskompartiment war es also „laut“, im Kontrollkompartiment deutlich leiser. Die Trennwand und die Richtcharakteristik der Lautsprecher erzeugten eine Schalldruckpegeldifferenz zwischen Stimulus- und Kontrollkompartiment von ca. 17 dB.

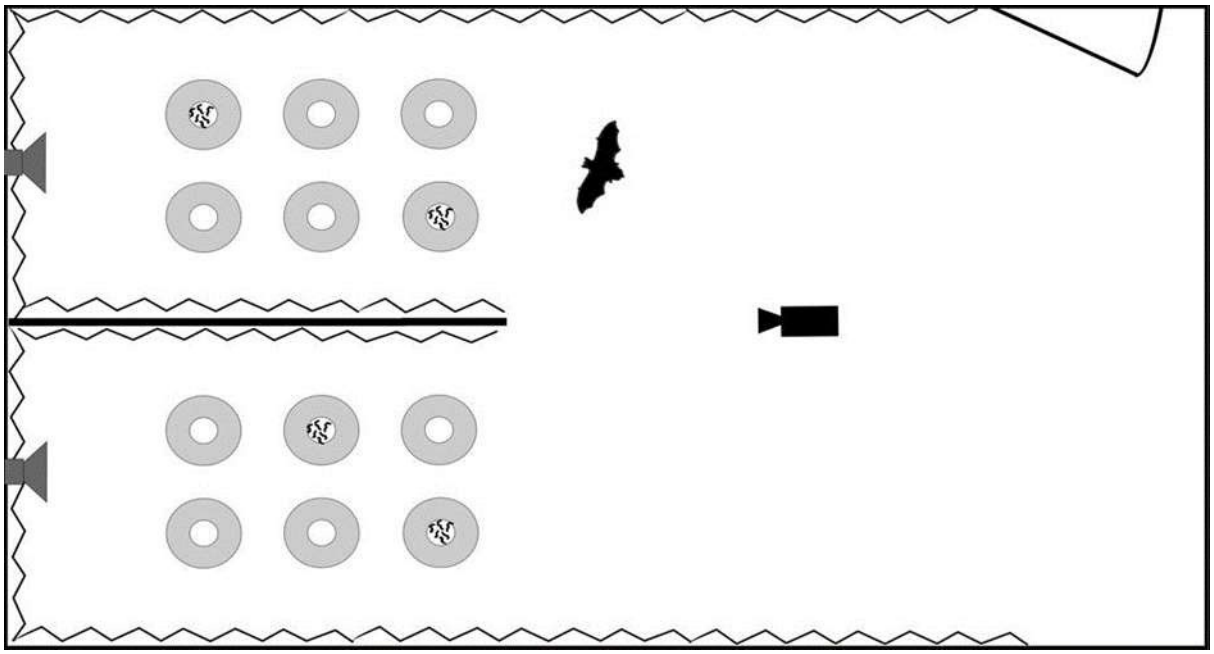


Abbildung 2-2: Versuchsaufbau für Experiment 1

Es kamen drei Stimulustypen zum Einsatz (Abbildung 2-3): Stille, aufgenommener Autobahnlärm mit kurzen Lücken zwischen einzelnen Vorbeifahrten („transienter Verkehr“) und digital generiertes, kontinuierliches breitbandiges Rauschen. Autobahnlärm und das generierte Rauschen wurden auf dieselbe Lautstärke (RMS-Amplitude für das amplitudenstärkste 500 ms Fenster) normiert. Das erzeugte einen

Schalldruckpegel von ca. 82 dB SPL[2] über der Mitte der sechs Landeplattformen (SdB02 sound level meter 01 dB-Stell, MVI technologies group; Frequenzgewichtung linear; für Stimulus generiertes Rauschen). Die Grundidee des Versuches war zu testen, ob die Tiere in Abhängigkeit vom präsentierten akustischen Stimulus mehr Jagdzeit im leiseren Kontrollkompartiment und weniger im lauteren Stimuluskompartiment verbringen. Bei Präsentation des Stimulus „Stille“ wäre eine gleichmäßige Nutzung beider Kompartimente zu erwarten (entsprechend 50 % Jagdzeit im Stimuluskompartiment und ebenfalls 50 % im Kontrollkompartiment).

Jeder Fledermaus wurde pro Versuchstag je einer der drei Stimuli in einem der beiden Kompartimenten vorgespielt. Insgesamt wurde jedem Tier jeder Stimulus in jedem der beiden Kompartimente gleich häufig präsentiert (sog. balanciertes Versuchsdesign). Die Reihenfolge wurde zufallsverteilt gewählt, um Reihenfolgeneffekte zu vermeiden (sog. pseudorandomisiertes Versuchsdesign). Die Versuche fanden bei Dunkelheit statt. Das Flug- und Beutefangverhalten des Tieres wurde unter Infrarotbeleuchtung auf Video aufgezeichnet. Der Versuch wurde beendet, wenn die Fledermaus 45 Mehlwürmer gefangen hatte (max. 15 pro Plattform) oder, wenn das nicht eintrat, nach spätestens 20 min. Die Videos wurden anschließend analysiert und mittels einer digitalen Ereigniserfassung Verhaltensparameter extrahiert. In diesem Bericht zeigen wir die Daten für die beiden Verhaltensparameter prozentuale Jagdzeit im Stimuluskompartiment (100 % ist hier die Jagdzeit in beiden Kompartimenten; Zeit außerhalb der Kompartimente ist nicht berücksichtigt) und Prozentsatz der Fangereignisse im Stimuluskompartiment. Die Versuche wurden in insgesamt drei jeweils achttägigen Versuchsblocks durchgeführt. Für jeden Block wurde jeweils ein anderer Rausch-, Verkehrs- und Stille-Stimulus verwendet.

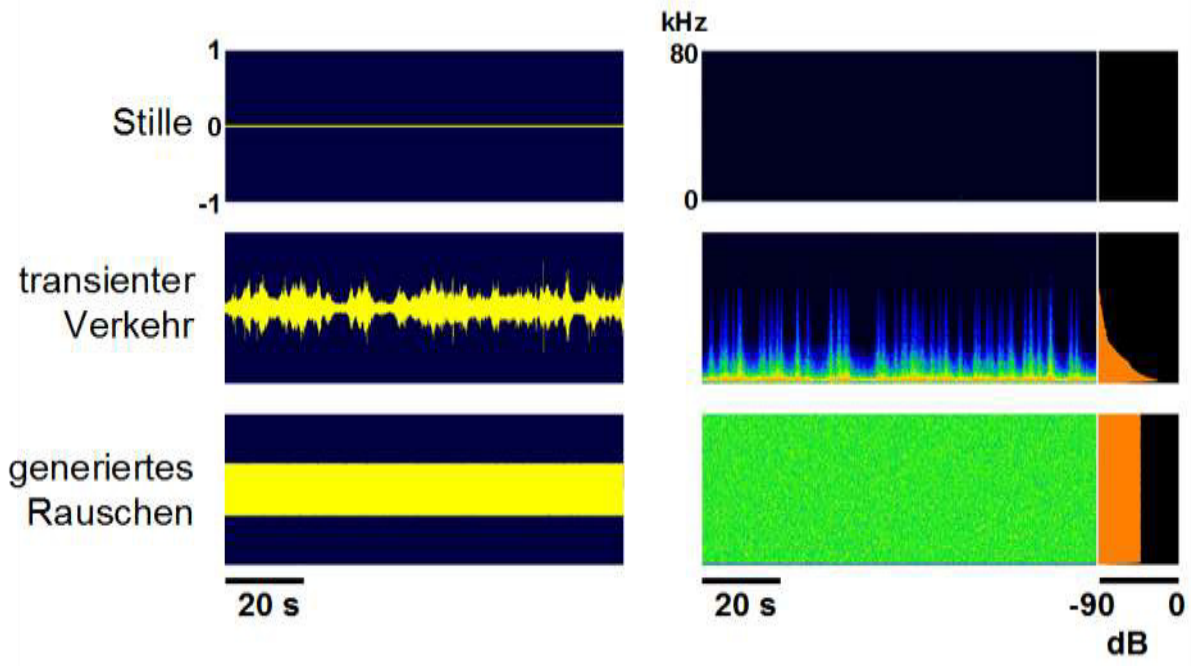


Abbildung 2-3: Stimuli für Experiment 1 (links Zeitsignal, rechts Spektrogrammdarstellung und gemitteltes Spektrum (orange) (Prinzipdarstellungen)

[2] dB SPL Dezibel Sound Pressure Level. Schalldruckpegel eines Schallereignisses. Die Angabe von dB SPL ist ungewichtet, d.h. sie ist– im Gegensatz zu dB (A) – unabhängig von dem vom menschlichen Ohr hörbaren Frequenzbereich und daher nicht direkt mit dB (A) vergleichbar.

2.1.2.3.2 Experiment 2: Beeinträchtigt Verkehrslärm den Beutedetektionserfolg?

In diesem Experiment haben wir untersucht, wie sich Lärmpegel, wie sie in unterschiedlichen Distanzen zu einer Autobahntrasse vorliegen, auf die Beutedetektion von Großen Mausohren auswirken. In dem großen Flugraum (13 m x 6 m, Höhe 2 m) an der Universität Tübingen haben wir ein idealisiertes Mausohrjagdgebiet aufgebaut. Dazu wurden 64 Landeplattformen zu einem 8 x 8 Feld gruppiert (Abbildung 2-4). In der Mitte jeder Plattform befand sich eine Petrischale, in der den Fledermäusen abgetötete und daher geräuschlose Mehlwürmer als Belohnung angeboten werden konnten. In jede Petrischale war ein kreisrundes Loch gestanzt worden, unter dem sich ein, in der Plattform verborgener, Lautsprecher befand. Aus jeweils einem der 64 Lautsprecher wurde von einem Computer das Laufgeräusch eines Laufkäfers (*Carabus monilis*) abgespielt (Sennheiser Kopfhörerlautsprecher HD 555/595; externes Soundboard RME Fireface 800, D/A-Wandlung mit 192 kHz Tastrate; Laufsubstrat feuchtes Laub als typisches und in der Amplitude intermediäres Laufsubstrat). Die Fledermäuse hatten pro Versuchsdurchgang 1 min Zeit, die Plattform zu finden, aus der das Raschelgeräusch kam und sich dort die Belohnung aus der Petrischale zu holen. Das Verhalten der Tiere wurde auf Video aufgezeichnet (s.o.). Aus den Aufzeichnungen wurde ermittelt, ob die Mausohren innerhalb des 1-min-Zeitfensters auf der richtigen Plattform gelandet sind. Für die erfolgreichen Detektionen haben wir außerdem die Suchzeit gemessen. Diese war definiert als Zeit zwischen Beginn des Experiments und Landung auf der richtigen Plattform. Es ist anzunehmen, dass die Suchzeit näherungsweise umgekehrt proportional zur Detektionsdistanz ist, also zu der Distanz, aus der eine Fledermaus das Beutegeräusch maximal hören kann. Es ist weiterhin zu vermuten, dass die Detektionsdistanz wiederum die Sucheffizienz eines Mausohrs im Freiland bestimmt.

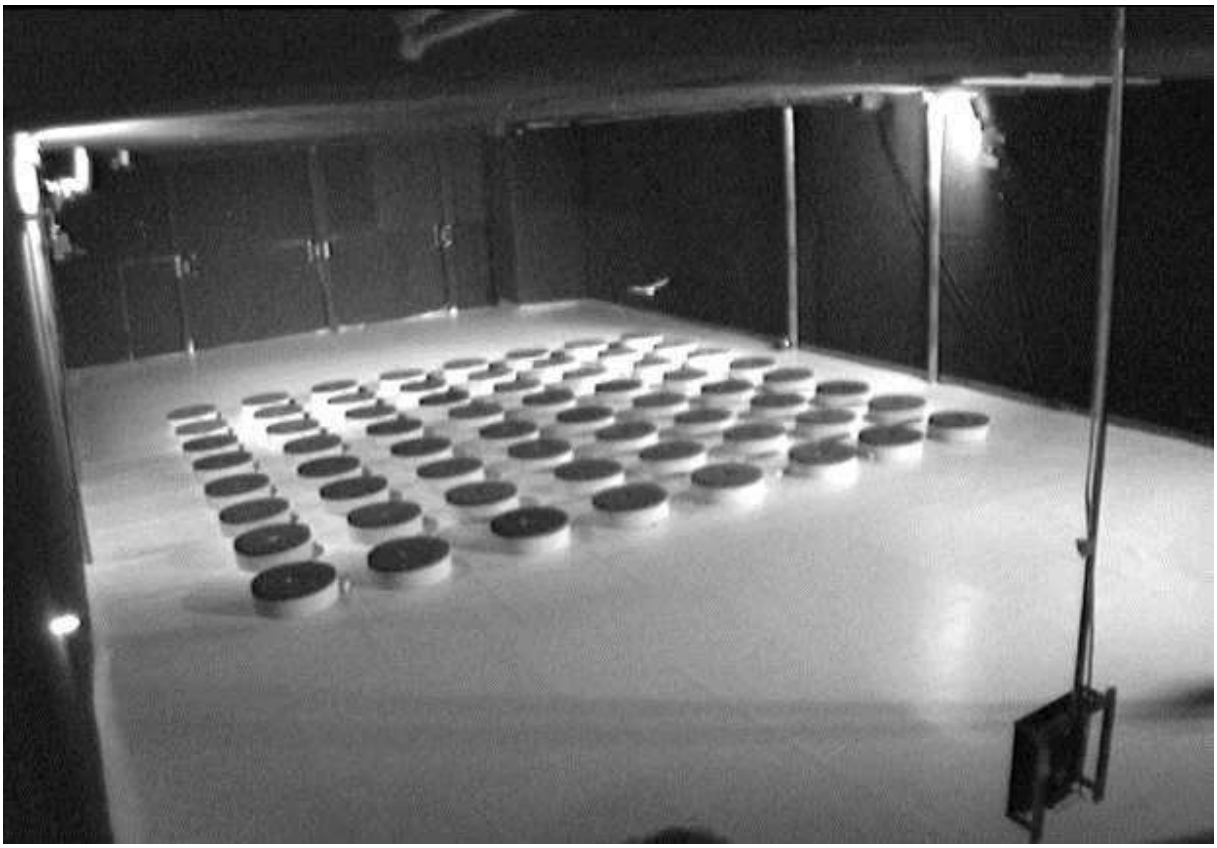


Abbildung 2-4: Videoaufnahme des Flugraumes mit dem 8 x 8 Feld der 64 Landeplattformen für Experiment 2. Im Hintergrund fliegt eine Fledermaus; im Vordergrund hängt einer, an der Rückwand hängen drei der insg. sechs Lautsprecher zur Beschallung des Feldes.

Mit Hilfe dieses Experimentalaufbaus haben wir den Detektionserfolg der Tiere unter verschiedenen Intensitäten und Typen von Hintergrundlärm gemessen. Dieser wurde mit sechs Swans Bändchenlautsprechern (s.o.) von den beiden Querseiten des Flugraumes auf das Plattformfeld eingeschallt. Um eine Referenz für eine ungestörte Situation zu erhalten, haben wir leere Soundfiles vorgespielt (Stimulustyp „Stille“). Im Hauptexperiment haben wir außerdem Stimuli vorgespielt, die in Frequenzgehalt und Amplitude den folgenden Trassenentfernungen entsprechen: 7,5 m, 15 m, 25 m, 35 m und 50 m, jeweils von der Mitte des rechten Fahrbahnstreifens (Abbildung 2-5). Die Stimuli wurden unter Verwendung unserer empirisch erhobenen Frequenz- und Pegelmessungen an Autobahnen digital generiert (Adobe Audition 1.5). Frequenz und Amplitude der generierten Stimuli wurden so gewählt, dass sie dem Mittel der jeweils lautesten 500 ms einer Fahrzeugvorbeifahrt entsprachen. Wir verwendeten kontinuierliche Signale, um die Maskierungswirkung während einer Vorbeifahrt zu messen. Die Ergebnisse müssen dann mit den jeweiligen Verkehrsdichten, der in Frage stehenden existierenden oder geplanten Autobahn verrechnet werden.

In einem Kontrollexperiment haben wir unsere generierten Stimuli validiert. Dazu wurde den Tieren neben dem kontinuierlichen 15 m - Stimulus aus dem Hauptexperiment und Stille außerdem zwei Stimuli real aufgenommenen Autobahnlärms, entsprechend 15 m Trassenentfernung (kontinuierlich und mit Lücken), präsentiert. Der Stimulus mit Lücken („transienter Verkehr“) war eine unveränderte Originalaufnahme mit kurzen Pausen zwischen einzelnen Vorbeifahrten. Für den kontinuierlichen Stimulus haben wir aus dieser Aufnahme die Lücken herausgeschnitten.

Jedem der acht Tiere wurde in Haupt- und Kontrollexperiment in zufälliger Reihenfolge jeder Stimulustyp jeweils 64-mal präsentiert (8 Tiere x 10 Stimulustypen x 64 Wiederholungen = 5120 Versuchsdurchläufe). Dabei wurde aus jeder Landeplattform genau einmal das Krabbelgeräusch vorgespielt, d.h., das Versuchsdesign war voll balanciert. Die Experimente wurden im Dunkeln unter Infrarot Beleuchtung durchgeführt.

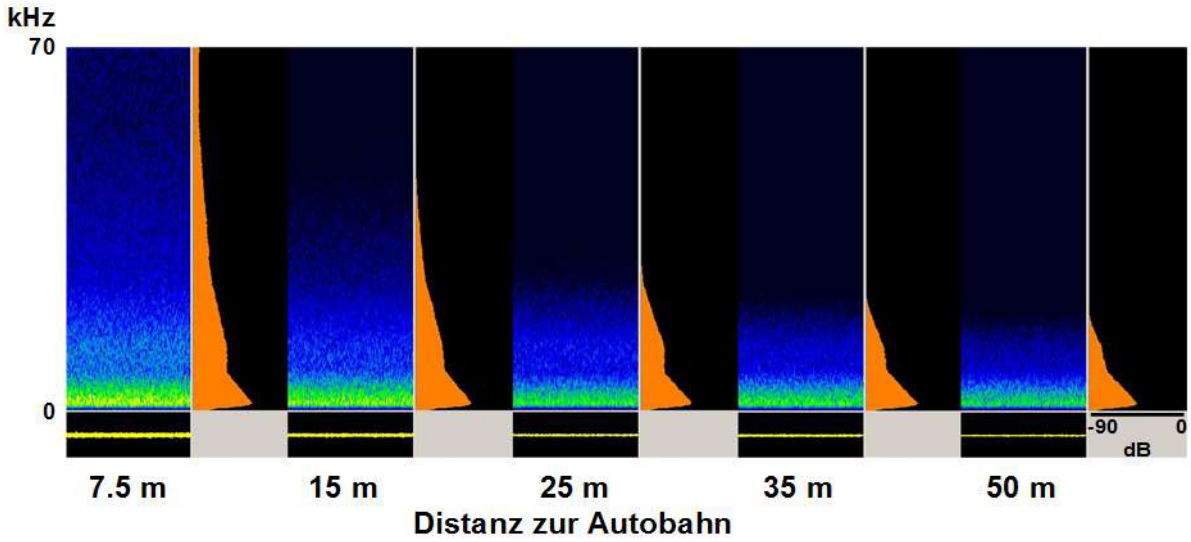


Abbildung 2-5: Stimuli für Experiment 2; oben Spektrogrammdarstellung und gemitteltes Spektrum (orange), unten Zeitsignal

2.1.2.4 Statistik

Die Datenaufbereitung erfolgte in Excel 2002/2003 (MS Windows), die anschließende statistische Analyse in SYSTAT 10 (SPSS Inc.) und SPSS 14.0 (SPSS Inc.).

Verhaltensdaten pro Tier und Versuchstyp wurden gemittelt; die individuellen Mittelwerte wurden als Basis für die beschreibende und schließende Statistik verwandt, die in diesem Bericht dargestellt ist. Prozentwerte aus Experiment 1 wurden wie folgt Arcussinus-transformiert, um sie einer Normalverteilung anzunähern und parametrische Tests verwenden zu können (ZAR 1999, S. 278, Gl. 13.5):

$$p' = \arcsin \sqrt{p}$$

wobei p der zu transformierende Prozentwert/100 ist (Wertebereich 0 bis 1).

Verhältniswerte aus Experiment 2 wurden folgendermaßen transformiert, um eine Normalverteilung anzunähern (ZAR 1999, S. 280, Gl. 13.8):

$$p' = \frac{1}{2}\left[\arcsin\sqrt{\frac{X}{n+1}} + \arcsin\sqrt{\frac{X+1}{n+1}}\right]$$

wobei X die Anzahl der erfolgreichen Detektionen und n die Anzahl der Versuchsdurchläufe ist.

2.1.3 Ergebnisse

2.1.3.1 Analyse von Beutegeräuschen

Die Laufgeräusche der untersuchten Laufkäfer sind Serien kurzer, relativ leiser, sehr breitbandiger Klickgeräusche, die erzeugt werden, wenn das Insekt mit Beinen oder Körper das Substrat berührt oder – im Fall der Laubstreu – Blätter gegeneinander verschiebt (Beispiele in Abbildung 2-1). Statistische Analysen der knapp 500 Laufgeräuschaufnahmen haben gezeigt, dass sowohl das Laufsubstrat, als auch die Befeuchtung einen hoch signifikanten Einfluss auf beide Amplitudenparameter hatten (Tabelle 2-1b). Die erzeugten Amplituden nahmen von Laubstreu über Wiese zu Erdreich ab. Sie waren für jedes Substrat im befeuchteten Zustand niedriger als im trockenen. Die Messwerte wurden jeweils 10 cm über dem laufenden Käfer erhoben. In der typischen Suchflughöhe von Mausohrfledermäusen bei ca. 1 m sind die Werte rechnerisch 20 dB niedriger anzunehmen (geometrische Abschwächung: Verzehnfachung des Abstandes entspricht 20 dB Differenz im Schalldruckpegel). In dieser Höhe über Grund wären also die PEAK-Amplituden für das lauteste Substrat, trockenes Laub, bei ca. 52 dB SPL und die max. RMS-Amplitude bei 27 dB SPL anzunehmen (vgl. Mittelwerte inTabelle 2-1a). Für das leiseste Substrat, feuchtes Erdreich, lägen die PEAK-Amplituden bei ca. 32 dB SPL und die max. RMS-Amplitude bei lediglich 0 dB SPL. Der letztgenannte Wert liegt im Bereich der Hörschwelle vieler Fledermausarten (SCHMIDT 2002) und wird daher für die Tiere - wenn überhaupt - nur in sehr geräuscharmer Umgebung detektierbar sein.

Tabelle 2-1: Einfluss von Laufsubstrat und Befeuchtung auf die Amplituden der Laufgeräusche typischer Mausohrbeute

a) Erhobene Messwerte zur Charakterisierung der Laufgeräuschamplituden

Substrat	Zustand	PEAK [dB SPL]	max. RMS (100 ms Fenster) [dB SPL]	Stichprobenumfang Tiere	Aufnahmen
Erdreich	feucht	51,1 ± 2,9	20,8 ± 2,0	6	80
	trocken	54,0 ± 1,0	27,9 ± 1,5	6	82
Wiese	feucht	54,6 ± 1,3	26,2 ± 1,1	6	83
	trocken	59,1 ± 2,3	31,6 ± 2,2	6	86
Laubstreu	feucht	60,2 ± 1,2	34,0 ± 1,9	6	75
	trocken	71,6 ± 1,7	47,1 ± 1,5	6	81
Aufnahmen gesamt					487

b) Statistische Analyse mit repeated measures ANOVA (Laufkäfer Carabus monilis, 6 Individuen, 10 bis 20 Wiederholungen pro Tier und jede der sechs Aufnahmebedingungen).

Einfluss		PEAK [dB SPL]	max. RMS
Substrat	F (df)	255,09 (2, 478)	560,87 (2, 478)
	P	< 0,0001	< 0,0001
Befeuchtung	F (df)	167,48 (1, 478)	441,99 (1, 478)
	P	< 0,0001	< 0,0001

Zur Definition der Amplitudenparameter siehe Methodenteil. Tabelliert sind Mittelwerte 2. Ordnung und die zugehörigen Standardabweichungen.

Der Frequenzgehalt der Raschelgeräusche reichte von ca. 2 kHz bis weit hinein in den Ultraschallbereich (Tabelle 2-2). Die Hauptenergie (-6 dB Bandbreite) der höchsten Einzelklicks (PEAK) lag, mit gewissen Variationen zwischen den Laufsubstraten, zwischen 10 bis 20 und ca. 35 kHz. Für die amplitudenstärksten 100 ms Fenster je Aufnahme war die Hauptenergie zwischen ca. 2 und 42 kHz (Gesamtmittelwert über alle Substrate; die zu hohen Frequenzen können durch den bei ca. 50 kHz einbrechenden Frequenzgang des Messmikrofons beeinflusst sein).

Tabelle 2-2: Frequenzgehalt der Laufgeräusche typischer Mausohrbeute (Laufkäfer *Carabus monilis)*

Substrat	Grenzfrequenzen für -6 dB Bandbreite [kHz]	um PEAK	max. RMS
Erdreich	untere	19,8 ± 12,3	1,9 ± 5,4
	obere	38,1 ± 13,5	58,7 ± 33,1
Wiese	untere	16,0 ± 11,3	2,4 ± 2,7
	obere	35,7 ± 16,4	46,1 ± 22,8
Laubstreu	untere	9,8 ± 7,9	2,1 ± 1,7
	obere	24,9 ± 13,5	18,8 ± 10,7

Tabelliert sind die obere und untere Grenzfrequenz als Mittelwerte 1. Ordnung (gepoolt über alle Aufnahmen aller sechs Käfer je Aufnahmesituation, jeweils trocken und feucht) mit Standardabweichungen. Stichprobenumfang wie in Tabelle 2-1.

2.1.3.2 Verkehrsschallerfassung im Freiland

Aufnahme und Analyse von Schallemissionen an der Autobahn und an Zugtrassen haben für beide verwendeten Mikrofontypen übereinstimmend ergeben, dass Verkehrsschall Ultraschallanteile mit Energien ≥ 20 dB SPL bis ca. 50 kHz enthält (Messpunkte 7,5 m seitlich der Trasse; Abbildung 2-6 bis Abbildung 2-9). Die Schallemissionen des ICE (Abbildung 2-8) liegen weit über den Schallintensitäten (grob 10 dB) von Autobahn und Dieseltraktion. Der Frequenzgehalt und die Energieverteilung über die Frequenzen sind jedoch für alle drei Verkehrsarten in erster Nährung als ähnlich zu bezeichnen. Es ist ersichtlich, dass generell die tiefen Frequenzen wesentlich mehr Energie enthalten als die hohen. Von 2 kHz auf 50 kHz zeigt sich übereinstimmend ein Amplitudenabfall von ca. 50 dB. Wie für den Hörschallbereich bekannt und gut dokumentiert, haben unsere Messungen auch für den Ultraschallbereich gezeigt, dass Schallemissionen von LKWs bei gleicher Aufnahmedistanz höhere Pegel haben als Schallemissionen von PKWs (grafisch nicht dargestellt). Weiterhin ist klar zu erkennen und aus akustischer Perspektive zu erwarten, dass die Schallenergie mit größer werdender Aufnahmedistanz sinkt (vergleiche Trassendistanzen 7,5 m, 15 m und 25 m in Abbildung 2-6 bis Abbildung 2-9). Aufgrund der frequenzspezifischen atmosphärischen Abschwächung sollte der Dämpfungsverlust für hohe Frequenzen stärker sein als für niedrige. Dieses Phänomen spiegelt sich ebenfalls deutlich in unseren Aufnahmen wider. Bei einer Aufnahmedistanz von 25 m sinkt der Ultraschallanteil bereits bei ca. 30 kHz unter 25 dB SPL ab und damit unter die Aufnahmeempfindlichkeit des ¼“ Mikrofons (Abbildung 2 6 „Systemrauschen“). Theoretische Überlegungen und empirische Messungen lassen den Schluss zu, dass mit zunehmender Distanz von der Trasse der Ultraschallanteil stark absinkt.

Sowohl für Autobahnenlärm als auch für Schallemissionen durch Züge zeigt sich, dass im trassennahen Bereich Schallemissionen in einem Frequenzband auftreten, die mit dem Hauptfrequenzbereich der Laufgeräusche der Fledermausbeute (s.o.) weitgehend deckungsgleich sind. Zusammenfassend und schematisiert ist dieser Überlapp in Abbildung 2-10 dargestellt. Maskierungseffekte durch Verkehrsschall sind aus akustischer und hörphysiologischer Sicht für passiv akustisch beutesuchende Fledermausarten folglich gut denkbar (Übersicht zu Maskierung durch Verkehrslärm v.a. bei Vögeln in BRUMM & SLABBEKOORN 2005; zu Maskierungphänomenen bei Fledermäusen, allerdings v.a. im Echoortungskontext, siehe u.a. GRIFFIN & GRINNELL 1958; MOHL & SURLYKKE 1989; MOSS & SCHNITZLER 1995; HÜBNER & WIEGREBE 2003).

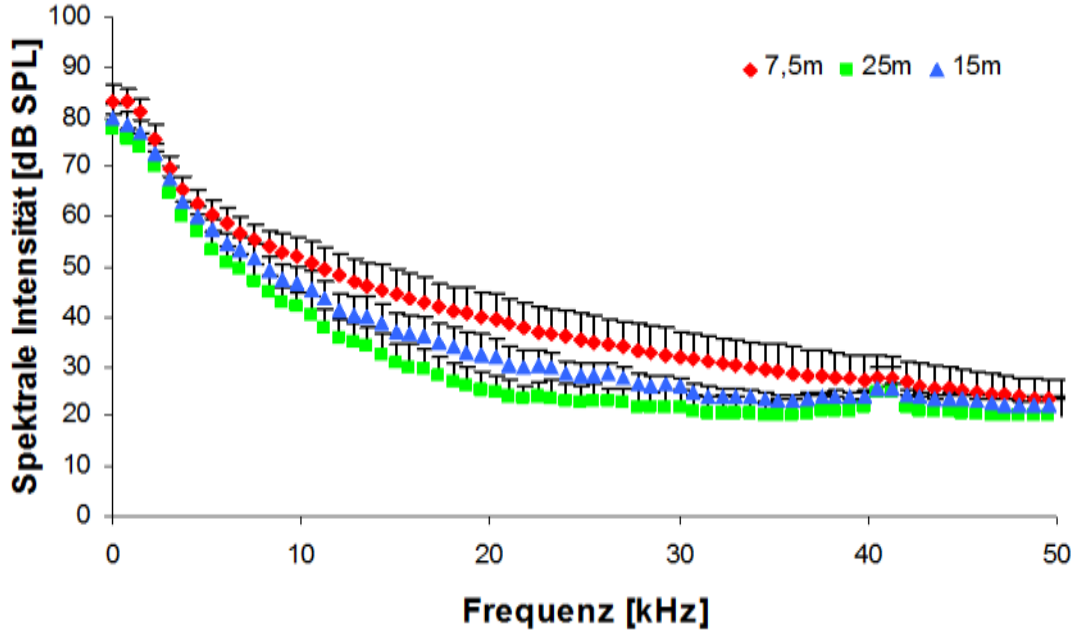


Abbildung 2-6: **An Autobahnen gemessene Schallemission, 1/4 Zoll Mikrofon; n (7,5m Trassendistanz) = 111, n (15m) = 85, n (25m) = 87; MW + STABW; horizontale schwarze Linie: Grenze der Aufnahmeempfindlichkeit des Mikrofons (Systemrauschen)**

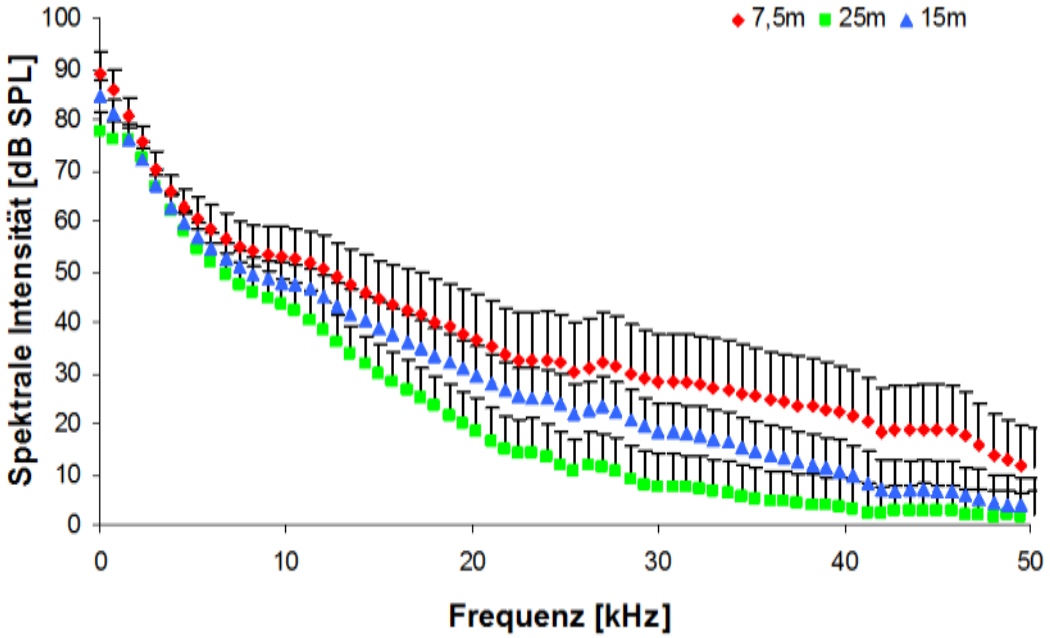


Abbildung 2-7: **An Autobahnen gemessene Schallemission, 1/2 Zoll Mikrofon; n (7,5m Trassendistanz) = 117, n (15m) = 92, n (25m) = 63; MW + STABW**

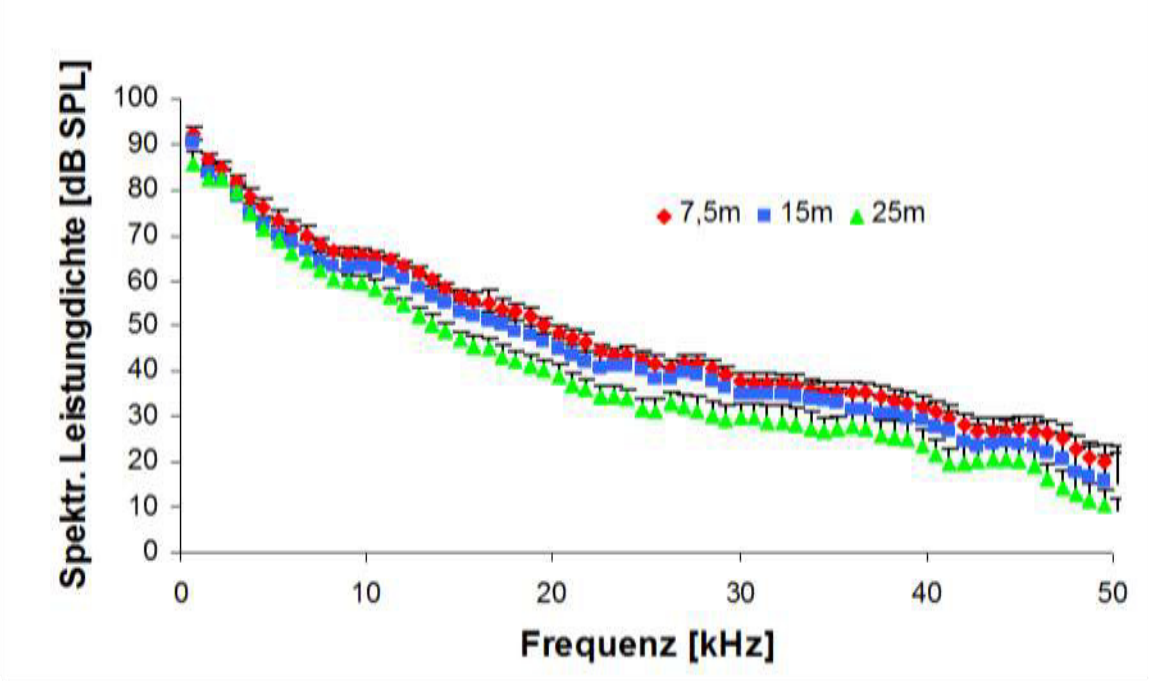


Abbildung 2-8: **An ICE-Trasse gemessene Schallemission, 1/2 Zoll Mikrofon; n (7,5m Trassendistanz) = 11, n (15m) = 11, n (25m) = 9; MW + STABW**

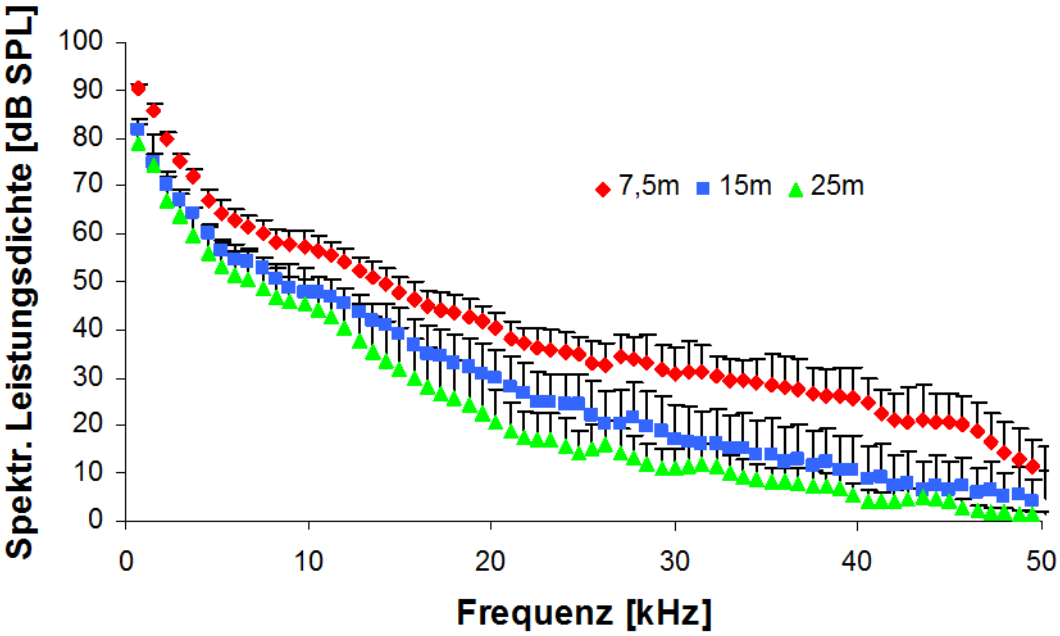


Abbildung 2-9: **An mit Diesellok befahrenen Trassen gemessene Schallemission (Dieseltraktion), 1/2 Zoll Mikrofon; n (7,5m Trassendistanz) = 10, n (15m) = 7, n (25m) = 11; MW + STABW**

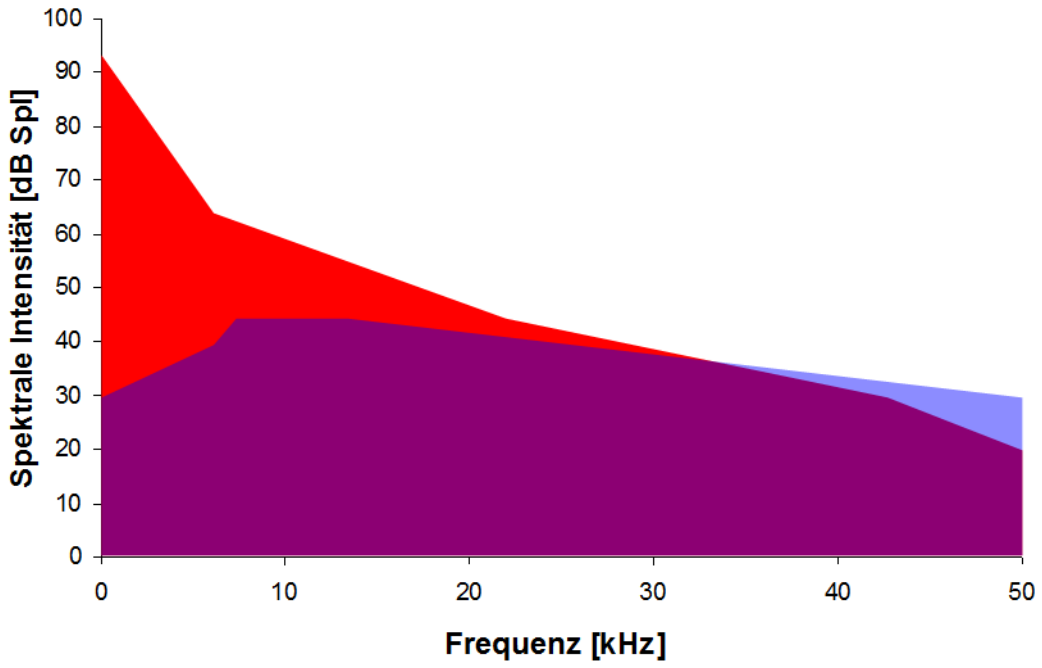


Abbildung 2-10: Schematisierte Abbildung zur potenziellen Maskierung von Käferlaufgeräuschen durch Verkehrslärm (vereinfacht). Rot: Bereich des Verkehrslärms (7,5m Trassendistanz); blau: Bereich der Laufgeräusche; violett: Überlappungsbereich

2.1.3.3 Verhaltensuntersuchungen

2.1.3.3.1 Experiment 1: Meiden Fledermäuse Lärm?

Ziel des Experiments war zu klären, ob Mausohren in einer Wahlsituation starken Lärm, insbesondere Verkehrslärm meiden. Meidung wird hier als statistische Größe definiert und bedeutet nicht, dass die Fledermäuse einen bestimmten Bereich gar nicht aufsuchen. Den jagenden Mausohren wurde an jedem der Versuchstage entweder Stille, Verkehrslärm (ca. 15 m Trassenentfernung) oder digital generiertes Rauschen vorgespielt (Abbildung 2-3). In die Auswertung gehen Daten für sieben Fledermäuse aus je 24 Versuchstagen mit über 6.000 Beutefanghandlungen ein.

Der Stimulustyp hatte einen signifikanten Einfluss auf die Flugzeit im Stimuluskompartiment (Abbildung 2-11; repeated measures ANOVA, $F_{2,12} = 31{,}55$, $p < 0{,}001$). Ebenso beeinflusste der Stimulustyp die prozentuale Anzahl der Fangereignisse im Stimuluskompartiment (Abbildung 2 12; repeated measures ANOVA, $F_{2,12} = 35{,}98$, $p < 0{,}001$).

Wie erwartet verwendeten die Tiere beim Stimulus „Stille“ etwa 50 % ihrer Flug- und Suchzeit auf das Stimuluskompartment (Abbildung 2-11) und entsprechend 50 % auf das in diesem Fall ebenso leise Kontrollkompartiment. Ähnliches gilt für den Prozentsatz der Beutefänge (Abbildung 2-12). Wenn digital generiertes Rauschen gespielt wurde, verwendeten die Fledermäuse lediglich knapp 20 % der Suchzeit (Abbildung 2-11) auf das Stimuluskompartment. Nur knapp unter 10 % der Beutefänge ereigneten sich dort (Abbildung 2-12). Das Rauschen verursachte ein sehr deutliches Meiden des Stimuluskompartiments und eine klare Aktivitätsverlagerung auf das leisere Kontrollkompartiment. Das zeigt klar, dass breitbandiger, lauter Schall einen Einfluss auf das Jagdverhalten von Mausohrfledermäusen hat. Der Verkehrslärm führte ebenfalls zu einem Meideverhalten. Wie in den Abbildungen ersichtlich, lag Ver-

kehrslärm in seiner Einflussintensität zwischen dem Stimulus „Stille“ (kein Einfluss) und digital generiertem Rauschen (sehr starker Einfluss). Paarweise Vergleiche zeigen, dass Verkehrslärm signifikant stärker gemieden wurde als Stille (Statistik in Tabelle 2-3). Das Meideverhalten gegenüber dem digital generierten Rauschen war wiederum signifikant stärker als gegenüber Verkehrslärm (Statistik in Tabelle 2-3).

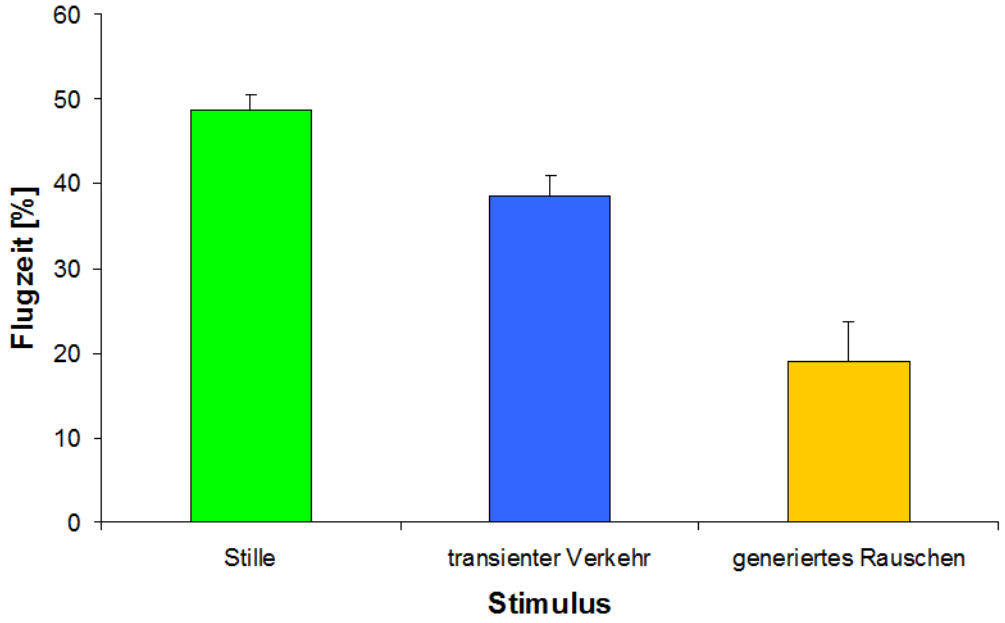


Abbildung 2-11: Flugzeit im Stimuluskompartiment (Experiment 1); MW + Standardfehler

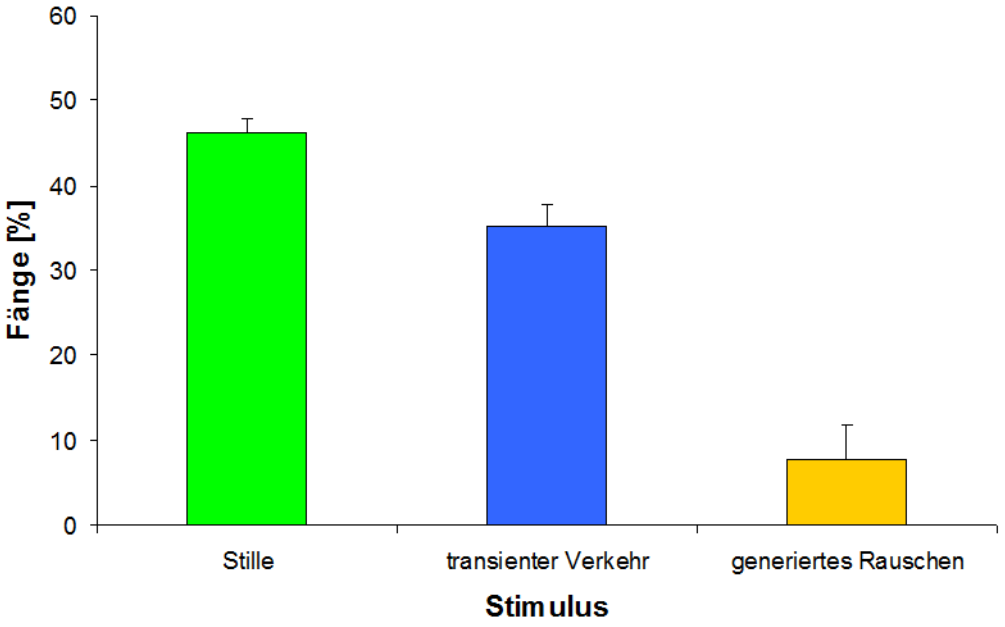


Abbildung 2-12: Fänge im Stimuluskompartiment (Experiment 1); MW + Standardfehler

Tabelle 2-3: Experiment 1, Ergebnisse von post-hoc durchgeführten gepaarten t-tests

Paarvergleich	Flugzeit im Stimuluskompartiment		Fangereignisse im Stimuluskompartiment	
	t_6	P*	t_6	P*
Stille - Verkehr	3,39	0,045	3,68	0,03
Stille - Rauschen	6,05	0,003	6,24	0,003
Verkehr - Rauschen	5,73	0,003	5,99	0,003

* Aufgrund multipler Vergleiche wurden die P-Werte Bonferroni-korrigiert (x 3).

Gleichlaufende Ergebnisse wurden in einem weiteren Teilexperiment erzielt, in dem die Trennwand zwischen den Kompartimenten eine Durchflugsmöglichkeit ließ (8 Versuchstage pro Tier). Da dieses Experiment lediglich bestätigenden Charakter hat, werden die Daten hier nicht im Detail gezeigt.

2.1.3.3.2 Experiment 2: Beeinträchtigt Verkehrslärm den Beutedetektionserfolg?

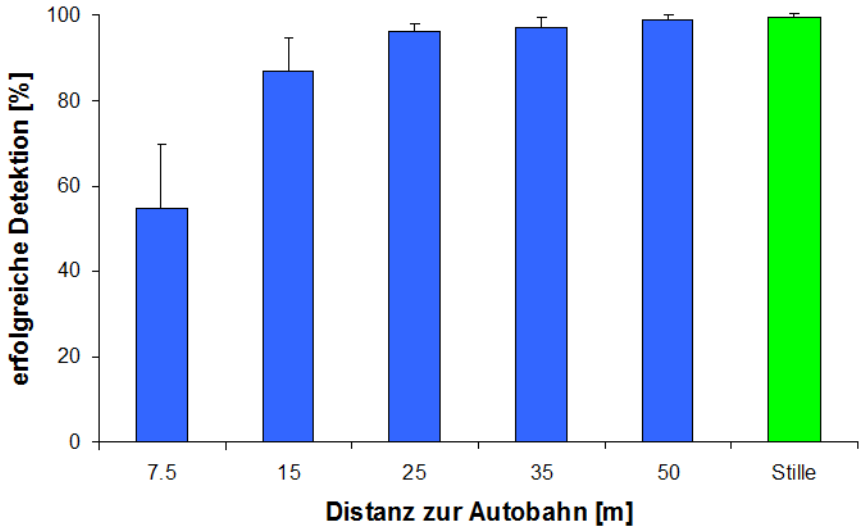
Ziel des Experiments war zu untersuchen, ob und wenn ja bei welchen Trassendistanzen Verkehrslärm den Beutedetektionserfolg von Mausohren beeinträchtigt. In die Auswertung des Haupt- und des Kontrollexperimentes gehen über 5.000 Versuchsdurchläufe mit acht Tieren ein. Abbildung 2-5 zeigt die zur Simulation verschiedener Trassendistanzen verwendeten Stimulustypen. Das Hauptexperiment ergab klar, dass Verkehrslärm den Beutedetektionserfolg gegenüber einer Situation ohne Lärmeintrag signifikant erniedrigt. Das gilt sowohl für die erfolgreiche Detektion der richtigen Landeplattform innerhalb des 1-min-Zeitfensters (Abbildung 2-13, repeated measures ANOVA, $F_{5,35} = 85,71$, $p < 0,001$) als auch für die Suchzeit (Abbildung 2-14, repeated measures ANOVA, $F_{5,35} = 157,5$, $p < 0,001$). Der Beutedetektionserfolg innerhalb des 1-min-Zeitfensters liegt bei Stille bei annähernd 100 % und sinkt bei 7,5 m Trassendistanz auf 54,6 %. Dieser Wert liegt immer noch weit über dem Zufallsniveau von 100/64 = 1,6 %. Die Detektionsleistung bei 25 m und 35 m Trassenentfernung ist zwar signifikant schlechter als die bei Stille (Statistik in Tabelle 2-4), aber der Unterschied zwischen den Mittelwerten ist sehr gering und beträgt weniger als 4 %. Die durchschnittliche Suchzeit bei Stille betrug 5,2 s. Sie stieg bei abnehmender Trassendistanz kontinuierlich bis auf 24,6 s bei 7,5 m. Paarweise Vergleiche zeigen, dass der Beutedetektionserfolg innerhalb des 1-min-Zeitfensters ab einer Trassendistanz von 50 m nicht mehr signifikant von Stille abweicht (Statistik in Tabelle 2-4).

Tabelle 2-4: Experiment 2, Hauptexperiment, Ergebnisse von post-hoc durch-geführten gepaarten t-Tests.

Stille *versus*	**Erfolgreiche Detektion**		**Suchzeit**	
	t_7	P*	t_7	P*
7,5m	-12,95	< 0,005	20,87	< 0,005
15m	-5,76	< 0,005	19,21	< 0,005
25m	-7,69	< 0,005	10,75	< 0,005
35m	-3,91	0,03	11,89	< 0,005
50m	-1,49	0,9, nicht signifikant	9,9	< 0,005

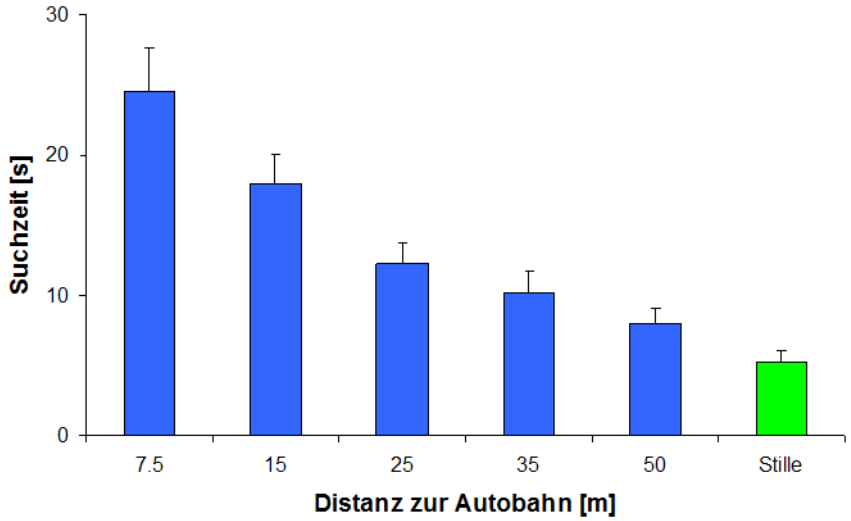
* Aufgrund multipler Vergleiche wurden die P-Werte Bonferroni-korrigiert (x 5).

Die Suchzeit ist jedoch auch bei 50 m Trassendistanz noch signifikant und um einen Faktor von 1,5 höher als bei Stille (Statistik in Tabelle 2-4).



Distanz [m]	Detektion [%] MW
7,5	54,64
15	86,59
25	95,89
35	96,86
50	98,82
Stille	99,41

Abbildung 2-13: Erfolgreiche Detektion der korrekten Plattform im 1-min Zeitfenster; MW + Standardabweichung (Experiment 2, Hauptexperiment)



Distanz [m]	Suchzeit [s] MW
7,5	24,54
15	18,01
25	12,20
35	10,20
50	7,98
Stille	5,20

Abbildung 2-14: Suchzeit vom Beginn der Präsentation des Stimulus bis zur Landung auf der korrekten Plattform; MW + Standardabweichung (Experiment 2, Hauptexperiment)

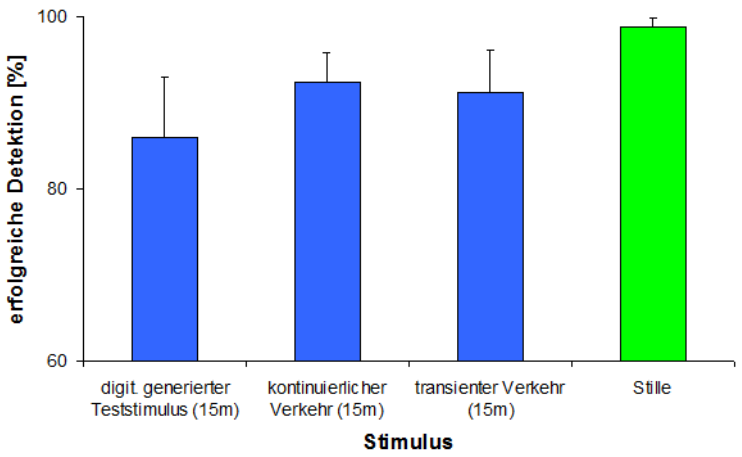
Das Kontrollexperiment hat die Gültigkeit unserer digital generierten Verkehrslärm-Teststimuli bestätigt (Abbildung 2-15; Abbildung 2-16). In diesem Kontrollexperiment haben wir den Verhaltenseinfluss des digital generierten 15 m-Teststimulus aus dem Hauptexperiment verglichen mit dem Einfluss von aufgenommenem, „echtem“ Verkehrslärm. Zunächst ist festzustellen, dass die Werte des Hauptexperimentes im Kontrollexperiment sehr gut reproduziert sind (vgl. Stille und den digital generierten 15 m-Teststimulus in Abbildung 2-13 und Abbildung 2-14 *versus* Abbildung 2-15 und Abbildung 2-16), was für eine gewisse Robustheit des gewählten verhaltensexperimentellen Ansatzes spricht. Der Stimulustyp beeinflusst Beutedetektionserfolg und Suchzeit signifikant (repeated measures ANOVA, erfolgreiche Detektion im 1-min-Zeitfenster: $F_{3,21} = 17{,}45$, $p < 0{,}001$, Abbildung 2-15; Suchzeit $F_{3,21} = 82{,}53$, $p < 0{,}001$, Abbildung 2-16). Der Beutedetektionserfolg innerhalb des 1-min-Zeitfensters erscheint bei dem digital generierten Verkehrslärm-Teststimulus etwas geringer als bei aufgenommenem, kontinuier-

lichem und transientem Verkehr (Abbildung 2-15); dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant (Statistik in Tabelle 2-5). Die Suchzeit ist bei dem digital generierten Teststimulus signifikant höher als bei transientem und etwa gleichhoch wie bei kontinuierlichem aufgenommenem Verkehrslärm (Abbildung 2-16, Statistik in Tabelle 2-5).

Tabelle 2-5: Experiment 2, Kontrollexperiment, Ergebnisse von post-hoc durchgeführten gepaarten t-tests

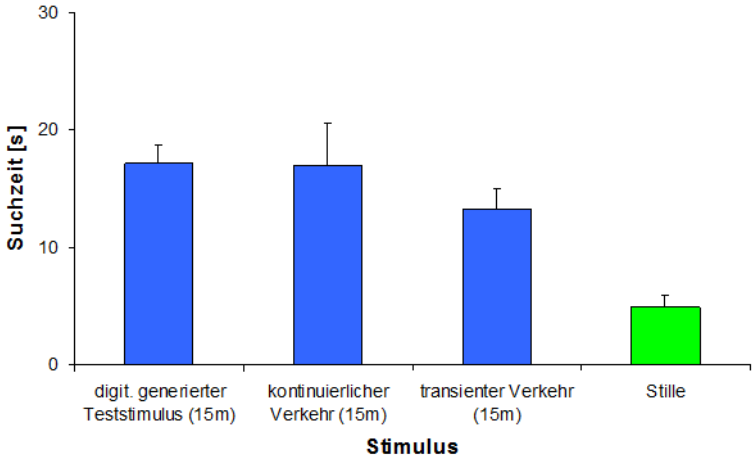
Teststimulus (15m) *versus*	**Erfolgreiche Detektion**		**Suchzeit**	
	t_7	P*	t_7	P*
kontinuierl. Verkehr	-2,39	0,144 (nicht signifikant)	0,15	1 (nicht signifikant)
transienter Verkehr	-1,61	0,453 (nicht signifikant)	6,83	< 0,003
Stille	-6,33	< 0,003	25,01	< 0,003

* Aufgrund multipler Vergleiche wurden die P-Werte Bonferroni-korrigiert (x 3).



Stimulus	Detektion [%] MW
generiert	85,94
kont. Verkehr	92,38
trans. Verkehr	91,21
Stille	98,83

Abbildung 2-15: Erfolgreiche Detektion der korrekten Plattform im 1-min Zeitfenster; MW + Standardabweichung (Experiment 2, Kontrollexperiment.



Stimulus	Suchzeit [s] MW
generiert	17,16
kont. Verkehr	17,01
trans. Verkehr	13,33
Stille	4,92

Abbildung 2-16: Suchzeit vom Beginn der Präsentation des Stimulus bis zur Landung auf der korrekten Plattform; MW + Standardabweichung (Experiment 2, Kontrollexperiment)

2.1.4 Diskussion

2.1.4.1 Methodenkritische Auseinandersetzung

Wir haben zur Ermittlung des Lärmeinflusses auf Jagdverhalten und Jagderfolg einen laborexperimentellen Ansatz gewählt, weil dieser es erlaubt, gezielt die zu untersuchenden Parameter zu variieren und alle anderen Parameter unverändert zu lassen. Im Freiland unterscheiden sich zwischen verschiedenen Probeflächen nicht nur der Lärmpegel, sondern auch andere Faktoren mit Einfluss auf die Nutzung durch Fledermäuse, wie z.B. Beutevorkommen, Prädationsgefahr, Konkurrenz mit anderen Fledermäusen etc. Für eine Analyse des reinen Lärmeinflusses müssten diese Faktoren gemessen und herausgerechnet oder durch das Versuchsdesign ausgeglichen werden. Das hier gewählte, experimentelle Vorgehen erlaubt eine wesentlich direktere Messung von Schallwirkungen auf das Fledermausjagdverhalten. Es stellt sich aber die Frage nach der Übertragbarkeit der gewonnenen Daten auf die Freilandsituation. Unsere Experimente adressierten die sensorische Leistungsfähigkeit von Fledermäusen bei der Aufgabe, Insektenraschelgeräusche bei unterschiedlichem Hintergrundschall zu detektieren und zu lokalisieren. Wissenschaftliche Messungen von sensorischen Fähigkeiten von Tieren, so auch von Fledermäusen, werden üblicherweise im Labor durchgeführt (z.B. MOHL & SURLYKKE 1989; MOSS & SCHNITZLER 1995; SCHMIDT 2002; HÜBNER & WIEGREBE 2003; SIEMERS & PAGE 2009). Es ist davon auszugehen, dass die sinnesphysiologisch bedingten Fähigkeiten (Schwellen etc.) zumindest bei freilanderfahrenen Tieren durch die Gefangenschaftssituation nicht verändert werden. Verhaltensdaten zu sensorischen Grundlagen der Beutedetektion, die an Fledermäusen in kurzzeitiger Gefangenschaft erhoben wurden, lieferten gute Vorhersagen zur (bereits bekannten) Habitatwahl und zum Nahrungsspektrum im Freiland (SIEMERS & SCHNITZLER 2004; SIEMERS & SWIFT 2006). Einschränkend muss gesagt werden, dass im wissenschaftlich engen Sinn die hier vorliegenden Daten selbstverständlich nur für die im Experiment verwendeten Hintergrundgeräusche und Raschelgeräuschamplituden gelten. Letztere sind abhängig von Insektengröße und Substrat (SIEMERS & GÜTTINGER 2006; GOERLITZ & SIEMERS 2007). Für die (Planungs-)Praxis können die Daten u.E. aber eine Richtung weisen.

Des Weiteren stellt sich die Frage nach der Übertragbarkeit, der für das Große Mausohr erhobenen Ergebnisse, auf andere Fledermausarten. Es ist davon auszugehen, dass andere Fledermausarten, die ebenfalls Beute „passiv akustisch“, also anhand von Beutegeräuschen, detektieren, in ähnlicher Weise von Verkehrslärm in der Detektionsfähigkeit beeinflusst werden können wie die Mausohren. In Deutschland sind dies die Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii)* und die Langohrfledermäuse (Gattung *Plecotus*). Diese Arten fangen neben bodenlaufenden Arthropoden auch fliegende Insekten, v.a. Nachtfalter, an der Vegetationskante. Die Flattergeräusche flügelschlagender Insekten in Vegetation sind, ähnlich wie Laufgeräusche, Serien breitbandiger Klickgeräusche (siehe Abb. 1 in SIEMERS et al. 2007). Eine Übertragbarkeit ist mit Blick auf die sich stellenden planerischen Aufgaben nach unserer Auffassung daher gegeben (zur Relevanz im Bezug zur Jagdgebietsgröße siehe unten).

2.1.4.2 Wirkung von verkehrsbedingtem Schalleinfluss auf das Jagdverhalten und die Jagdeffizienz

Die breitbandigen Verkehrsschallmessungen im Freiland haben gezeigt, dass sowohl Autobahn- als auch Zugschallemissionen vom menschlichen Hörbereich bis in den Ultraschall hineinreichen. Vergleiche mit dem, in kontrollierten Labormessungen ermittelten, Hauptfrequenzbereich der Laufgeräusche der Fledermausbeute, haben ergeben, dass sich die beiden Frequenzbänder weitgehend überlappen. Weitere, mit den hier vorgestellten Befunden gut übereinstimmende Messungen von Insektenlaufgeräuschen finden sich in SIEMERS & GÜTTINGER (2006), GOERLITZ & SIEMERS (2007) sowie GOERLITZ et al. (2008). Die starke Überlappung der Frequenzbänder von Verkehrsschall und Beutegeräu-

schen erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass, wie eingangs als Arbeitshypothese ausgeführt, Verkehrsschall zumindest im trassennahen Bereich die passiv akustische Beutedetektion für Fledermäuse durch Maskierungseffekte erschwert.

Die Ergebnisse des Verhaltensexperimentes 1 zeigen klar, dass beutesuchende Mausohrfledermäuse sehr lauten, breitbandigen Schall meiden. Das gilt für Schallemissionen einer Autobahn, in noch stärkerem Maße aber für noch kontinuierlichere und breitbandigere Geräusche. Da dieses Meideverhalten auch im vierten der je achttägigen Experimentalblöcke noch zu beobachten war, ist zumindest eine sehr schnelle Gewöhnung an den Schall und eine Tolerierung beim Jagdflug unwahrscheinlich. Während diese Daten eindeutig einen Einfluss von breitbandigem Schall auf das Jagdverhalten und die Jagdgebietswahl belegen, kann aus Experiment 1 nicht zwingend geschlossen werden, dass speziell die Jagdeffizienz schallbedingt verringert war. Ebenso kommen zur Erklärung des Meideverhaltens als Ursachen eine u.U. verringerte Detektierbarkeit von Prädatoren, schallbedingter Stress oder auch verminderte Orientierungsfähigkeit mit Echoortung in Betracht. Für die letztgenannte Erklärung gibt es allerdings keinerlei Hinweise. Das unverändert sichere Flug-, Manövrier- und Landeverhalten der Fledermäuse, auch beim wirkungsintensivsten Stimulus, dem digital generierten Rauschen, sprechen eher dafür, dass die Raumorientierung mit Echoortung nicht wesentlich beeinträchtigt war. Donald Griffin, der Entdecker der Echoortung, hat bereits in einem klassischen Experiment gezeigt, dass Langohrfledermäuse auch bei intensiven Hintergrundgeräuschen zwischen aufgespannten dünnen Drähten hindurch fliegen können, die nur ein sehr schwaches Echo zurückwerfen (GRIFFIN & GRINELL 1958). Vorwissen der Fledermäuse über die Frequenzzeitstruktur der zu erwartenden Echos und ausgeprägtes Richtungshören spielen bei dieser Verhaltensleistung wahrscheinlich eine Rolle. Grundlegend ist aber eine Maskierung von Echos durch breitbandigen Lärm möglich und verhaltensexperimentell messbar (GRIFFIN & GRINELL 1958; MOHL & SURLYKKE 1989).

Das im Laborexperiment klar nachgewiesene Lärmmeideverhalten legt nahe, dass Mausohren und wahrscheinlich andere „passiv akustisch“ jagende Arten auch im Freiland sehr lärmintensive, trassennahe Bereiche zur Beutesuche graduell meiden. Einerseits mag daraus eine Minderung der Habitatqualität erwachsen, andererseits würde Lärmmeideverhalten das Kollisionsrisiko jagender Fledermäuse mit Fahrzeugen verringern. Die im Experiment verwendeten Verkehrslärmstimuli entsprechen ungefähr einer Trassenentfernung von 15 m. Ab welcher Trassenentfernung kein Meideverhalten mehr auftritt, kann aus den vorliegenden Daten nicht geschlossen werden.

Verhaltensexperiment 2 zeigt, dass Lärmpegel, wie sie trassennah auftreten, den Jagderfolg von „passiv akustisch“ ihre Beute detektierender Fledermäuse vermindern. Sehr trassennah (7,5 m) sinkt der Detektionserfolg im 1 min Zeitfenster auch bei diesem, eher groben Maß um 45 % gegenüber der Kontrollsituation. Bei Betrachtung der erfolgreichen Detektionsereignisse innerhalb des experimentell gewählten 1 min Zeitfensters war dieser Effekt ab 50 m Trassenentfernung nicht mehr signifikant von der Kontrollbedingung (Stille) verschieden und bereits ab 25 m nur 3.5 Prozentpunkte schlechter als bei Stille. Da die Detektionsleistung im willkürlich gewählten 1 min Zeitfenster wie nachfolgend ausgeführt der Freilandsituation weniger entspricht als eine aus der gemessenen Suchzeit abgeleitete Sucheffizienz, beziehen wir im Folgenden unsere Wirkungsabschätzungen für das Freiland auf die Suchzeitmessungen.

Im Gegensatz zu unseren Flugraumbedingungen kreisen jagende Mausohren im Freiland nämlich typischerweise nicht für eine ganze Minute über einem 6 x 13 m Areal, sondern patrouillieren geradlinig durch ihr Jagdgebiet (R. GÜTTINGER, mündlich). Da ist es entscheidend für die Sucheffizienz, über welche Distanz eine Fledermaus das Beutegeräusch maximal hören kann. Wie im Methodenteil angesprochen, ist anzunehmen, dass die Detektionsdistanz annäherungsweise umgekehrt proportional zur, in unserem Experiment gemessenen, Suchzeit ist. Die Suchzeit war auch bei 50 m noch gut 150 % gegenüber der Kontrollbedingung erhöht (Abbildung 2-14). Die Zunahme der mittleren Suchzeit um

knapp 3 s von 5,2 s auf 8 s mag auf den ersten Blick vernachlässigbar gering erscheinen. Ob ein Mausohr links und rechts seines Jagdflugweges einen Käfer über 1,5 m oder nur über 1 m Distanz rascheln hören kann, verringert jedoch die akustisch absuchbare Fläche deutlich. In grober Abschätzung ist es folglich denkbar, dass auch in 50 m Trassendistanz die Sucheffizienz der Mausohren auf ca. 65 % gegenüber der Kontrollbedingung vermindert ist. Für 25 m Trassendistanz ergibt sich entsprechend eine Erhöhung auf 235 % Suchzeit (5,2 s *versus* 12,2 s). Die Sucheffizienz wäre in analoger Abschätzung auf ca. 43 % verringert (100/235 = 43). Alle weiteren Werte sind in Tabelle 2-6 aufgeführt.

Tabelle 2-6: Zusammenfassung der Suchzeiten für verschiedene Trassenentfernungen und daraus abgeleitete Sucheffizienzen, jeweils bezogen auf die Kontrollsituation (Stille)

Distanz [m]	Suchzeit [s]	Suchzeitverlängerung [%]	Sucheffizienz [%]
7,5	24,54	471,87	21,19
15	18,01	346,33	28,87
25	12,20	234,57	42,63
35	10,20	196,14	50,98
50	7,98	153,46	65,17
Stille	5,20	100	100

Eine grafische Extrapolation unserer Verhaltensdaten ergibt, dass der in unserem Experiment gemessene Maskierungseffekt, zwischen 60 und 65 m Trassendistanz auf Kontrollniveau (Stille) absinken müsste. Es ist uns wichtig zu betonen, dass dieser Wert bisher nicht empirisch abgesichert ist! Allerdings mag der Hintergrundpegel auch in Fledermausjagdgebieten, die fern von Verkehrstrassen liegen, durch natürliche Geräusche (Tierrufe, Wind etc.) höher liegen als in der Kontrollsituation in unserem Flugraum. Vor diesem Hintergrund scheint es uns vertretbar anzunehmen, dass relevante Effekte eines verkehrsbedingten Lärmeintrages, der den Versuchsbedingungen entspricht, auf den Beutedetektionserfolg auf einen Korridor von 60 m Breite beiderseits der Verkehrstrasse beschränkt sind (siehe Einschränkungen unter 2.1.4.1). Vor Übertrag dieser Wirk- bzw. Effektschwelle auf Geländebedingungen muss allerdings noch eine Anpassung an die Verkehrsdichte im Hinblick auf die zeitliche Eigenschaft der Schallimmission erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass der tatsächlich an einer Straße herrschende Schall einerseits diskontinuierlicher ist als der von uns simulierte, andererseits kontinuierlicher als z.B. der Schall von Zügen, die Minuten bis Stunden aufeinanderfolgen.

Das Kontrollexperiment innerhalb von Experiment 2 hat gezeigt, dass kontinuierliche Stimuli einen stärkeren Maskierungseffekt auf die Detektion von Beutegeräuschen haben, als Stimuli mit kurzen Amplitudenabfällen, z.B. zwischen zwei vorbeifahrenden Fahrzeugen. Übereinstimmend haben HÜBNER & WIEGREBE (2003) für die Falsche Vampirfledermaus (*Megaderma lyra*) einen Einfluss der Zeitstruktur eines maskierenden Hintergrundgeräusches auf Detektion von Raschelgeräuschen gefunden. Entsprechend geht von einer stark befahrenen Autobahn eine kontinuierlichere und damit stärkere Maskierungswirkung aus, als von einer schwach befahrenen. Wie im Ergebnisteil dargestellt, sind sich die Schallemissionen von Zugtrassen und Autobahnen bei grober Betrachtung ähnlich. Während einer Zugvorbeifahrt sind also ähnliche Beeinträchtigungen der Beutedetektion zu erwarten, wie hier gemessen. In der Zeit zwischen zwei Vorbeifahrten ist selbstverständlich keine Maskierungswirkung zu erwarten. Um die zeitliche Dimension in die Abschätzung der Schallwirkungen auf das Fledermausjagdverhalten einzubeziehen, muss daher die Verkehrsdichte mit berücksichtigt werden. Unser Experiment simuliert, wie im Methodenteil erläutert, die Maskierungssituation während einer Fahrzeugvorbeifahrt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Messungen von Beutelaufgeräuschen und Verkehrsschall sowie die Verhaltensexperimente gleichlaufend starke Hinweise liefern für eine Beeinträchtigung des

Jagderfolges „passiv akustisch“ jagender Fledermäuse durch Verkehrsschall. Sehr deutliche Schallwirkungen treten bei Trassenentfernungen von 7,5 und 15 m auf. Wirkungen auf die Suchzeit und damit die Sucheffizienz sind - unter den Rahmenbedingungen des Versuchs - bei 50 m noch nachweisbar und bis zumindest 60 m zu vermuten. Ob diese Wirkungen erhebliche Beeinträchtigungen zur Folge haben, hängt von ihrer zeitlichen Relation zur nächtlichen Jagdflugdauer und damit von der Verkehrsdichte ab. Wie im Methodenteil dargestellt, haben wir im Experiment kontinuierliche Signale verwendet, um die Maskierungswirkung während einer Vorbeifahrt zu messen. Vor Übertragung auf Geländebedingungen sind Anpassungen erforderlich, die wie folgt vorgenommen werden könnten:

In erster Annäherung könnte man folgendermaßen zu einer Abschätzung gelangen: Wir nehmen konservativer Weise an, dass, von einem konkreten Fledermausaufenthaltspunkt neben der Autobahn aus gesehen, die gemessene Markierungswirkung pro Fahrzeugvorbeifahrt für 2 s anhält. Das würde die Hauptenergie auch vor und nach dem Spitzenpegel berücksichtigen. Vereinfachend nehmen wir an, dass Fahrzeuge nacheinander und nicht gleichzeitig vorbeifahren, was bei nächtlichem, nicht zu hohem Verkehrsaufkommen vertretbar sein dürfte. Für eine konkrete Autobahn berechnet man dann die durch Vorbeifahrten erzeugte "Lärmzeit" als Prozentanteil der Gesamtzeit und multipliziert diesen mit der experimentell ermittelten Verminderung des Detektionserfolges:

Beispiel:
Für einen Straßenneubau werden 500 Vorbeifahrten pro Stunde prognostiziert. Das ergibt 500 Fahrz. x 2 s = 1000 s "Lärmzeit"/Stunde und damit 28% "Lärmzeit". Entsprechend wäre keine Schallwirkung für die verbleibenden 72% der Nachtzeit zu erwarten.

Experimentell ermittelt ist für die, in Planungsverfahren wichtige, Trassendistanz von 25 m, eine Suchzeiterhöhung auf 235% (Abbildung 2-14) und daraus abgeleitet eine Verringerung der Sucheffizienz auf ca. 43% abgeschätzt (s. weiter oben in diesem Abschnitt und Tabelle 2-6). Gewichtet mit der "Lärmzeit" würde sich bei diesem einfachen Rechenansatz für das konkrete Jagdgebiet 25 m von der fraglichen Trasse folgende Abschätzung ergeben:

Genereller Ansatz: Zeit ohne Lärm + (Lärmzeit x Detektionsleistung unter Schalleintrag).

Für das Beispiel 25 m Trassenentfernung bei 500 Vorbeifahrten pro Stunde folgt eine Sucheffizienz von: 72% + (28% x 43%) = 84%.

Entsprechend ergibt sich in einem weiteren Beispiel für 800 Vorbeifahrten pro Stunde 44% Lärmzeit. In einer Trassendistanz von z.B. 15 m wäre dann mit folgender Sucheffizenz zu rechnen:

56% + (44% x 29%) = 69%.

Weitere Werte für andere Verkehrsdichten und Trassenentfernungen lassen sich mit Hilfe der in Tabelle 2-6 gelisteten Sucheffizienzen analog errechnen.

Die Beispiele skizzieren einen sehr einfachen Rechenansatz. Wegen der Komplexität der beteiligten Faktoren, kann die „Erheblichkeit“ direkt weder aus den Labormessungen noch aus den Geländewerten ermittelt werden, sondern muss jeweils im Abgleich mit konkreten Straßendaten/Planungsdaten gefunden werden. Die den Verhaltensexperimenten zugrunde gelegten akustischen Messdaten beziehen sich auf eine Offenlandsituation ohne Vegetation zwischen Trasse und Messpunkt. Die hier abgeleiteten Aussagen sind insofern aus Naturschutzsicht als konservativ einzustufen, da Vegetationsdeckung die Schallwirkung eher vermindern würde. Wie oben angesprochen (2.1.4.1) beeinflussen Faktoren wie Beuteverfügbarkeit die Attraktivität eines Gebietes für Fledermäuse. Die Nahrungssituation kann natürlich durch einen Trassenneubau ebenfalls verändert werden, was aber nicht Gegenstand der hier bearbeiteten Forschungsfrage ist. Die vorliegenden Ergebnisse erlauben eine Abschätzung der lärmbedingten Veränderung der Sucheffizienz bei gleich bleibenden anderen Einflussgrößen.

Für die Planungspraxis ist zudem entscheidend, welcher Anteil des Jagdgebiets eines Tieres durch eine Verkehrstrasse gequert und damit in seiner Qualität gemindert wird. Das Große Mausohr hat große Aktionsräume (AUDET1990; GÜTTINGER et al. 2001) und daher ist es unwahrscheinlich, dass das gesamte Jagdgebiet eines Individuums innerhalb eines 60 m Störstreifens beiderseits entlang einer (geplanten) Verkehrstrasse liegt. Wahrscheinlicher ist ein derartiges Szenario für die wesentlich kleinräumiger jagenden Bechstein- und Langohrfledermäuse (KERTH et al. 2001b; KIEFER 2004).

2.2 Störungen durch Licht

2.2.1 Einführung, Zielsetzung

Mit über 1100 Arten sind die Fledertiere die nach den Nagetieren artenreichste Säugetierordnung (SIMMONS 2005). Die über 925 Fledermausarten haben Anpassungen an eine Vielzahl von Nahrungsnischen evolviert und können als die ökologisch diverseste Säugergruppe bezeichnet werden. Bezüglich ihrer Aktivitätsrhythmik sind die Fledermäuse jedoch bemerkenswert homogen eingenischt: sie sind fast ausnahmslos nachtaktiv. Ihr Echoortungssystem ermöglicht den Fledermäusen sich bei völliger Dunkelheit zu orientieren (SCHNITZLER et al. 2003). Selbstverständlich funktioniert es aber auch bei Tage und kann nicht per se als Grund für die beinahe exklusive Nachtaktivität gesehen werden. In der Literatur werden verschiedene Hypothesen diskutiert, die erklären sollen, warum keine (rein) tagaktiven Fledermäuse evolviert sind (SPEAKMAN 1990; SPEAKMAN 1991). Eine erwähnenswerte Hypothese geht von Konkurrenz mit tagaktiven Vögeln aus (RYDELL & SPEAKMAN 1995), die ähnliche Nahrungsnischen nutzen wie Fledermäuse und bei Tage aufgrund ihres gut ausgebildeten Sehsinnes wohl konkurrenzüberlegen sind. Die am besten belegte Hypothese besagt, dass Prädationsgefahr (Raubdruck) durch tagaktive Greifvögel die Fledermäuse in der Nachtaktivität hält. Bei Tageslicht können die Greife dank ihres hervorragenden Sehsinnes die Fledermäuse über große Distanzen detektieren und in schnellem Flug attackieren. Obwohl Fledermäuse keineswegs blind sind (EKLÖF 2003), können sie herannahende Greifvögel sicherlich wesentlich später sehen, als sie von diesen gesehen werden. Auf dem „Radarschirm“ der Echoortung erscheint ein Greifvogel erst ab ca. 10 bis maximal 40 m Entfernung (HOLDERIED & VON HELVERSEN 2003) und das nur, wenn er direkt von vorne angreift. Nun werden immer wieder einzelne, bei Tag fliegende, Fledermäuse gesehen. SPEAKMANN (1991) hat 420 solcher Beobachtungen von britischen Hobby-Naturkundlern ausgewertet und konnte zeigen, dass diese tagaktiven Einzeltiere ein höheres Mortalitätsrisiko haben, als Fledermäuse bei ihrer typischen nächtlichen Aktivität. Hauptgrund für diesen Unterschied waren tatsächlich Angriffe durch Taggreifvögel.

Tagaktivität scheint also für Fledermäuse mit erheblichen Risiken verbunden. Eine adäquate Verhaltensstrategie zur Vermeidung von Tagaktivität ist, bei hellem Licht das Quartier nicht zu verlassen bzw. hell erleuchtete Areale zu meiden. Tatsächlich koppeln Fledermäuse ihren abendlichen Quartierausflug an den Sonnenuntergang (z.B. SIEMERS et al. 1999), so dass sie immer bei ähnlichen Lichtintensitäten ausfliegen (DUVERGE et al. 2000). Wenn die Ausflugöffnung am Quartier gebäudebewohnender Fledermäuse angestrahlt wird, was z.B. bei Kirchen zur Verschönerung des nächtlichen Stadtbildes geschehen kann, verzögert sich der Ausflug erheblich (BOLDOGH et al. 2007). Starke Beleuchtung könnte sogar zur Kolonieauflösung führen (ebd.). Auf Explorationsflügen in einem Flugraum landen Fledermäuse bei Licht wesentlich häufiger als bei Dunkelheit (SPEAKMAN 1991), was der Autor der zitierten Studie als Prädationsvermeidungsverhalten interpretiert.

Nächtliche Beleuchtung von Städten und Straßen bringt als „Lichtverschmutzung“ (light pollution) erhebliche negative Konsequenzen für die Tierwelt und natürliche ökosystemare Prozesse mit sich (LONGCORE & RICH 2004; NAVARA & NELSON 2007). Für die Verkehrsplanung ergibt sich die konkrete Frage, ob jagende Fledermäuse durch Scheinwerferlicht oder Straßenbeleuchtung gestört werden. Wir haben ein Verhaltensexperiment durchgeführt, um quantitative Aussagen über den Einfluss

von anthropogenen Lichtimmissionen auf das Jagdverhalten und den Jagderfolg von Fledermäusen zu erhalten. Da solche Verhaltensexperimente in der Eingewöhnung der Tiere, Durchführung und Auswertung sehr zeitaufwendig sind, war es von vornherein nicht möglich, alle planungsrelevanten Fledermausarten zu bearbeiten. Daher wurde das Große Mausohr (*Myotis Myotis*) als Modellart für diese Verhaltensuntersuchungen ausgewählt. Es ist hier besonders geeignet, weil es weit verbreitet und sehr mobil ist und als "FFH-Art" (Anhang II und IV FFH-RL) in Planungsvorhaben häufig eine gewichtige Rolle spielt. Das Mausohr ist ein typischer Vertreter der ökologischen Gruppe (Gilde) passiv akustisch jagender, Beute vom Substrat aufnehmender Fledermausarten (SIEMERS & GÜTTINGER 2006), die den kurz geschorenen Randstreifen von Autobahnen als potenzielles Jagdgebiet nutzen können. Dort wären sie bewegter Scheinwerferbeleuchtung und ggf. auch Straßenbeleuchtung ausgesetzt. Wir haben verhaltensexperimentell die Frage adressiert, ob Große Mausohren auf dem Jagdflug Bereiche mit intensiver Lichteinstrahlung meiden, und ob die Lichtintensität bzw. Lichtqualität unterschiedliche Effekte haben. In der Diskussion werden wir beleuchten, dass Straßenlampen für einige Fledermausarten auch anlockende Wirkung haben kann (RYDELL 1992; BLAKE et al. 1994; LEE & MCCRACKEN 2002; REDDY & FENTON 2003), weil sie lernen, dass dort viele Insekten und damit ein gutes Beuteangebot anzutreffen sind.

2.2.2 Material und Methoden

2.2.2.1 Kurzabriss Methode (Lektüre reicht, um die Ergebnisse zu verstehen)

Die Versuche wurden mit sechs adulten, männlichen Großen Mausohren (*Myotis Myotis)* durchgeführt. In einem großen Flugraum wurde ein Nahrungssuchkompartiment („Jagdgebiet") abgetrennt. Dort konnten die Tiere Beute suchen und fangen. Im Kompartiment wurden abwechselnd sechs verschiedene Beleuchtungstypen geboten: Dunkelheit (Kontrolle), stationäre Beleuchtung von oben („Straßenlampe") und bewegte Autoscheinwerfer (Halogen hell, Halogen dunkel, Xenon hell, Xenon dunkel). Jedes Tier wurde in drei aufeinanderfolgenden Versuchsblocks jeweils achtmal mit allen fünf Lichttypen und 40-mal in Dunkelheit getestet. Der Gesamtdatensatz besteht also aus 240 Einzelversuchen pro Tier, d.h. aus insgesamt 1140 Versuchsdurchläufen. Dabei wurden insgesamt 4358 Beutefangereignisse (Fangversuche) beobachtet und ausgewertet.

2.2.2.2 Details zur Methode

Die Untersuchungen wurden mit 6 adulten (3 jährigen), männlichen Großen Mausohren (*Myotis Myotis*) durchgeführt, die mit Ausnahmegenehmigung des Regierungspräsidiums Freiburg aus den Wochenstubenquartieren Ettenheim und Welschensteinach entnommen und an der Universität Tübingen in Haltung genommen worden waren. Es wurde die Frage adressiert, ob Große Mausohren auf dem Jagdflug Bereiche mit intensiver Lichteinstrahlung meiden, und ob die Lichtintensität bzw. Lichtqualität unterschiedliche Effekte haben.

Das Experiment wurde in einem großen Flugraum (13 m x 6 m, Höhe 2 m) an der Universität Tübingen durchgeführt. Der Raum wurde mit Hilfe eines schwarzen Vorhangs in zwei ungefähr gleich große Kompartimente geteilt, wobei an den Seiten auf der gesamten Raumhöhe eine ca. 1m große Durchflugöffnung verblieb (Abbildung 2-17 und Abbildung 2-18). Das Kompartiment im hinteren Teil des Flugraumes diente im Experiment als Jagdgebiet. Dort standen den Fledermäusen acht auf dem Boden liegende Landeplattformen zur Verfügung, die jeweils in einer Petrischale 4 g lebende Mehlwürmer (≈ 40 Mehlwürmer) enthielten. In jede Petrischale war ein kreisrundes Loch gestanzt worden, unter dem sich ein in der Plattform verborgener Lautsprecher befand (Sennheiser Kopfhörerlautsprecher HD 555/595). Aus

diesem konnten computergesteuert Krabbelgeräusche von Laufkäfern zurückgespielt werden (*Carabus monilis*, Laufsubstrat feuchtes Laub als typisches und in der Amplitude intermediäres Laufsubstrat; siehe „2.1 Störungen durch Lärm“ und (GOERLITZ et al. 2008)). Das Jagdgebiet konnte mit verschiedenen Lichtstimuli beleuchtet werden.

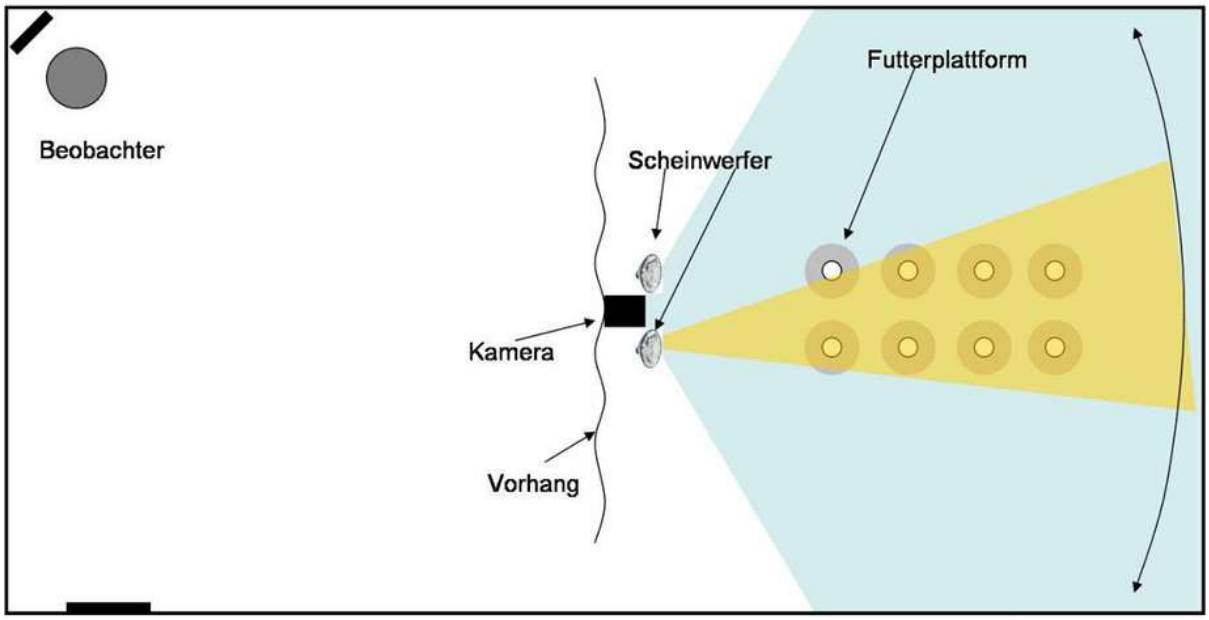


Abbildung 2-17: Aufsicht Versuchsraum (Grundfläche 13m x 6m); rechts des Vorhanges befindet sich das experimentelle „Jagdgebiet“

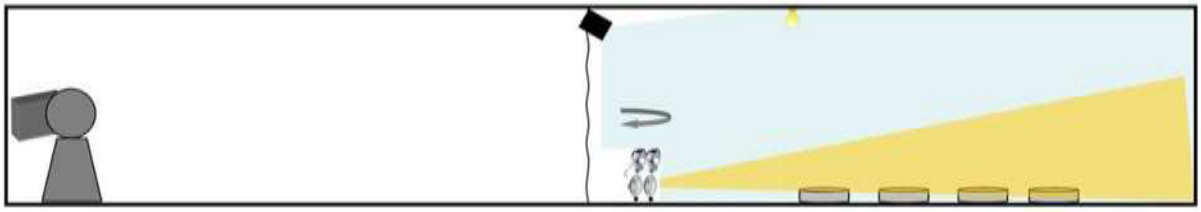


Abbildung 2-18 : Seitenansicht Versuchsraum

Es kamen sechs Beleuchtungsstimuli zum Einsatz: Dunkelheit als Kontrollstimulus (Referenz) und die folgenden Lichtstimuli: Halogenscheinwerfer hell, Halogenscheinwerfer dunkel, Xenon Scheinwerfer hell, Xenon Scheinwerfer dunkel und Glühbirne. Die Glühbirne (40 W) war über dem Jagdgebiet an der Raumdecke befestigt und sollte eine stationäre Straßenlaterne simulieren. Die Xenon und Halogen Scheinwerfer sollten vorbeifahrende Autos simulieren. Die Lichtkegel wurden eingeengt, um einen gebündelten Lichtkegel im experimentellen Jagdgebiet zu erzeugen, wie er der Freilandsituation entspricht. Die Scheinwerfer wurden auf Fahrzeughöhe angebracht (Scheinwerfermitte 55 cm über Boden) und angetrieben durch Elektromotoren rotierten sie in einem horizontalen Winkel von 60°. Der Lichtkegel überstrich das Jagdgebiet 8-9-mal pro min. Auch bei Dunkelheit rotierten die Scheinwerfer, um den Bewegungseffekt und den Einfluss des Motorengeräusches zu kontrollieren. Es wurden Original Autoscheinwerfer verwendet: Xenon D28 (EAN4082300238310 Firma Hella) und Halogenscheinwerfer H4 (12V 60W; Golf 3). Sie entsprechen in der Spektralzusammensetzung des Lichtes daher der Freilandsituation. Die Bedingungen „hell“ und „dunkel“ entsprachen ungefähr Aufblend- und Abblendlicht. Zur

groben Charakterisierung wurde der Lichtkegel der Scheinwerfer vermessen in 2 m Distanz in 30° bzw. 15° Schritten. Die Messwerte finden sich in Tabelle 2-7.

Tabelle 2-7: Abgestrahlte Lichtintensitäten der verwendeten Lichtstimuli

	Xenon dunkel, 2m Distanz												
Winkel [°]	-90		-60		-30		0		30		60		90
lx	1,15		8,08		49,4		85,7		49,2		6,65		0,7
	Xenon hell, 2m Distanz												
Winkel [°]	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90
lx	0,9	1,14	2,9	17,9	130,9	1,2	7,5	1,21	14,2	6,4	2,8	1,5	1,2
	Halogen dunkel, 2m Distanz												
Winkel [°]	-90		-60		-30		0		30		60		90
lx	0,5		3,8		15,2		101		15,3		3,8		0,3
	Halogen hell, 2m Distanz												
Winkel [°]	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0	15	30	45	60	75	90
lx	1	8,7	15,5	8,5	13,8	1,18	2,47	0,5	12,6	8,5	14,6	4,6	0,7
	Glühbirne 40W, 2m Distanz (“Straßenlaterne”)												
Winkel [°]	-90						0						90
lx	1,5						1,55						1,53

Ziel des Verhaltensexperiments war zu testen, ob die Tiere in Abhängigkeit vom präsentierten Lichtstimulus die Flugzeit im Jagdgebiet reduzieren. Jeder Fledermaus wurden pro Versuchstag alle Lichtstimuli präsentiert. Die Dauer einer Stimuluspräsentation betrug 1 min. Zwischen jedem Lichtstimulus lag jeweils eine 1-minütige Dunkelphase. Die Stimulusreihenfolge wurde zufallsverteilt gewählt, um Reihenfolgeneffekte zu vermeiden (sog. pseudorandomisiertes Versuchsdesign). Während jeder Stimuluspräsentation sowie während der Dunkelphasen wurde den Fledermäusen in zufälliger Reihenfolge aus einer der Plattformen, mit Hilfe des Lautsprechers, von einem Computer das Laufgeräusch eines Käfers vorgespielt, um die Suchmotivation hoch zu halten. Das Flug- und Beutefangverhalten jedes Tieres wurde unter Infrarotbeleuchtung auf Video aufgezeichnet. Jeder Versuchstag startete mit einem Dunkelstimulus. Der Versuch wurde beendet, wenn die Fledermaus während einer Dunkelphase keine Suchflüge mehr unternahm. Der letzte Lichtstimulus vor dem Ende des Versuchstages wurde verworfen und am nächsten Tag nochmals präsentiert (Sicherstellung der Motivationslage).

Während der Versuche wurde die Anzahl der Landungen auf den Futterplattformen für jeden Lichtstimulus und jede Dunkelphase protokolliert. Ob eine Landung erfolgreich war, ließ sich leicht anhand der deutlich hörbaren Fressgeräusche der Fledermäuse ermitteln. Die Videos wurden anschließend offline analysiert und mittels eines Eventrekorders (Software Universität Tübingen, Eigenentwicklung) extrahiert, wie viel Zeit die Fledermäuse pro Versuchsdurchgang im Jagdgebiet verbrachten (Aufenthaltszeit im Überwachungsbereich).

2.2.3 Ergebnisse

Der Beleuchtungstyp hatte einen sehr klaren Einfluss auf die Aufenthaltszeit der Tiere im Nahrungssuchkompartiment („Jagdgebiet“). Während sie bei Dunkelheit ca. 45% der Versuchszeit im „Jagdgebiet“ verbrachten, reduzierten sie bei den verschiedenen Lichtstimuli ihre Jagdzeit auf 10-25% der Versuchszeit (Abbildung 2-19). Der Einfluss der Beleuchtungssituation auf die Aufenthaltszeit der Tiere im

„Jagdgebiet“ war statistisch hoch signifikant (repeated measures ANOVA, $F_{5,25} = 100.2$, $p < 0.0001$). Mausohren meiden also bei der Beutesuche Licht.

Das Meideverhalten spiegelte sich sehr deutlich in der Anzahl der Beutefänge und Fangversuche, die die Tiere pro Versuchsdurchlauf unternahmen (Abbildung 2-20). Während sie in den 1-minütigen Dunkelphasen im Mittel 5,2 Mal zum Beutefang landeten, waren das bei den verschiedenen, ebenfalls 1-minütigen Lichtstimuli nur 0,2 bis 1,6 Mal. Der Einfluss der Beleuchtungssituation auf die Anzahl der Fangversuche war statistisch hoch signifikant (repeated measures ANOVA, $F_{5,25} = 54,2$, $p < 0,0001$).

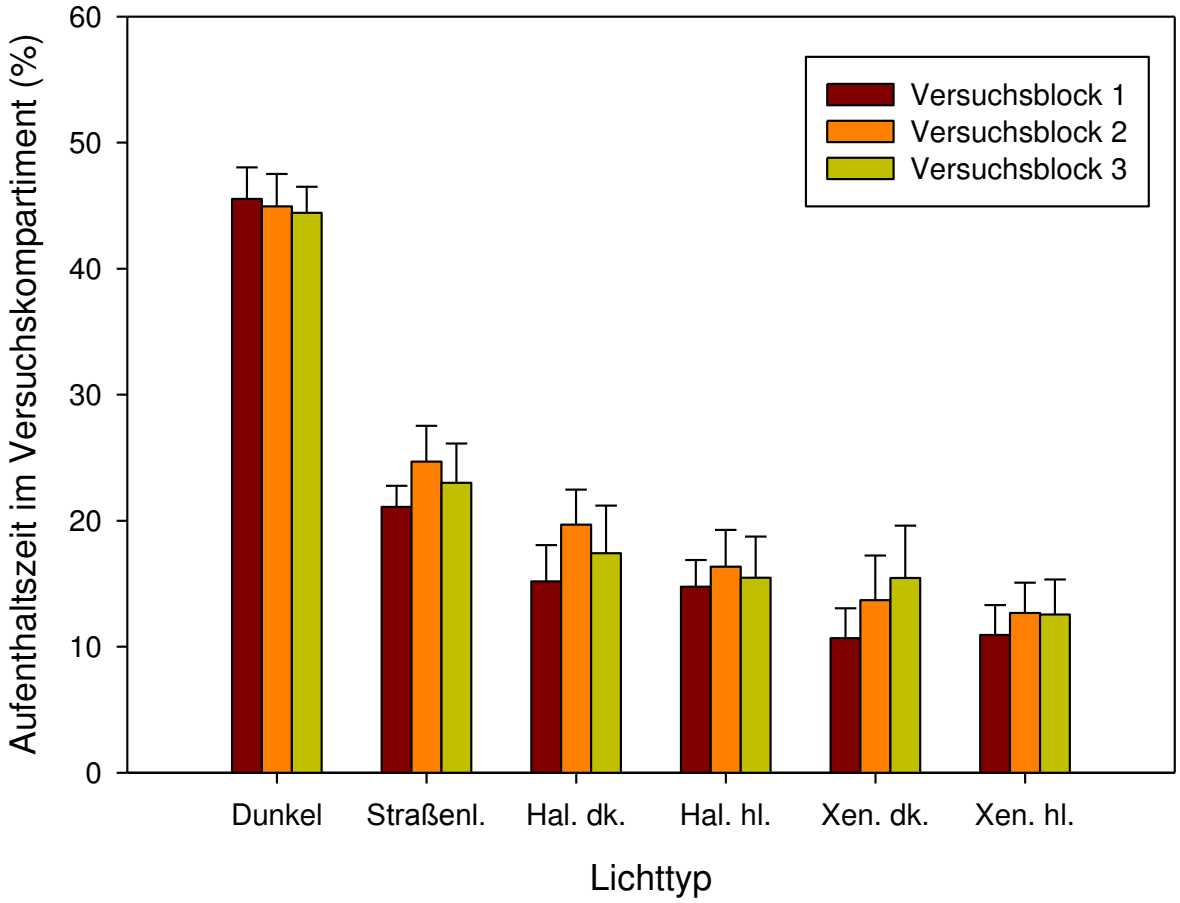


Abbildung 2-19: Einfluss verschiedener Lichtstimuli auf den Aufenthalt von Fledermäusen (Großes Mausohr) in einem experimentellen Jagdgebiet im Labor.

Dunkel: kein Licht; Straßenl.: Glühbirne zur Simulation einer stationären Straßenlaternenbeleuchtung von oben; Hal.: Halogen-KFZ-Scheinwerfer; Xen.: Xenon-KFZ-Scheinwerfer; dk.: dunkel (enstpr. Abblendlicht; hl.: hell (enstpr. Aufblendlicht). Dargestellt sind Mittelwert + Standardfehler (n = 6 Fledermäuse)

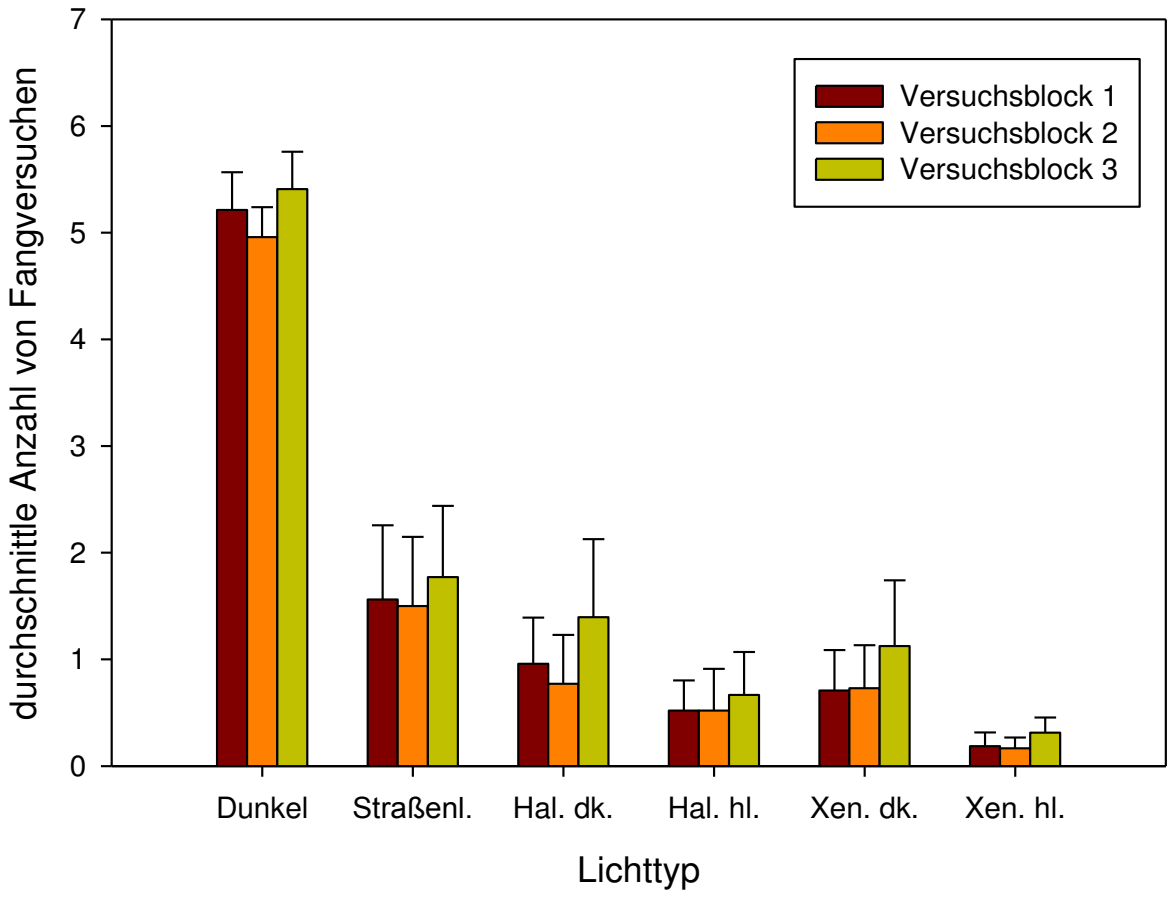


Abbildung 2-20 : Einfluss verschiedener Lichtstimuli auf die Anzahl von Beutefängen (Fangversuchen) pro Versuchsdurchlauf (1 Minute Jagdzeit)

Dunkel: kein Licht; Straßenl.: Glühbirne zur Simulation einer stationären Straßenlaternenbeleuchtung von oben; Hal.: Halogen-KFZ-Scheinwerfer; Xen.: Xenon-KFZ-Scheinwerfer; dk.: dunkel (enstpr. Abblendlicht; hl.: hell (enstpr. Aufblendlicht). Dargestellt sind Mittelwert + Standardfehler (n = 6 Fledermäuse)

Auch die Erfolgsrate differierte zwischen den Licht- und Dunkelphasen (Details und statistische Tests in Tabelle 2-8). Bei Dunkelheit waren im Mittel 6,7% der Fangversuche nicht erfolgreich. Über alle fünf Lichtstimuli zusammengenommen lag die Misserfolgsrate bei 31,7%.

Tabelle 2-8: Prozentuale Verteilung erfolgreicher und erfolgloser Fangversuche für die Dunkelphasen und die Lichtstimuli (Daten gepoolt für alle fünf Lichtstimuli).

	Dunkel		Licht			
Fledermaus Nr.	**% erfolgreich**	**% erfolglos**	**% erfolgreich**	**% erfolglos**	**p-Wert**	**Fangversuche gesamt**
Mm12	95,2	4,8	78,6	21,4	0,0004	542
Mm47	95,8	4,2	89,2	10,8	0,0005	866
Mm05	87,0	13,0	0,0	100,0	0,1317	562
Mm35	97,2	2,8	88,1	11,9	0,0016	679
Mm30	92,7	7,3	85,7	14,3	0,0016	1021
Mm29	91,7	8,3	-	-	1	688
Mittelwert	93,3	6,7	68,3	31,7	Summe	4358

Die angegebenen p-Werte aus Fisher Exact Tests geben an, für welche Tiere die Erfolgsrate signifikant zwischen Hell- und Dunkelphasen differierte (Signifikanzniveau p = 0.05).

Im paarweisen Vergleich zeigte sich ein deutlich signifikantes Meideverhalten für jeden der fünf Lichtstimuli gegenüber den Dunkelphasen (statistische Testergebnisse in Tabelle 2-9). Untereinander unterschieden sich die Lichtquellen nur leicht in ihrer Störwirkung auf die Fledermäuse. Die stationäre Beleuchtung von oben („Straßenlampe“) erzeugte eine etwas niedrigere Meidereaktion gegenüber den vier bewegten PKW-Scheinwerfer-Stimuli. Zwischen den vier Scheinwerferstimuli war lediglich die Meidereaktion für Xenonscheinwerfer (hell) gerade eben noch signifikant stärker als für Halogenscheinwerfer (hell; Tabelle 2-9).

Tabelle 2-9: P-Werte aus paarweisem Vergleich der Aufenthaltszeiten im „Jagdgebiet“ für die verschiedenen Stimuli (gepaarte t-tests, Bonferroni Korrektur)

	„Straßenl.“	**Halogen dunkel**	**Halogen hell**	**Xenon dunkel**	**Xenon hell**
Dunkel	0,0081	0,0023	0,0006	0,0023	0,0002
„Straßenl.“		0,0168	0,0089	0,0146	0,0026
Halogen dkl.			0,4587	0,3431	0,0808
Halogen hell				1,0000	0,0498
Xenon dkl.					1,0000

Das Lichtmeideverhalten nahm über die drei aufeinanderfolgenden Versuchsblocks nicht ab. In den Abbildung 2 19 und Abbildung 2 20 scheint sich eine ganz leichte Zunahme der Aufenthaltszeit im „Jadgebiet“ und eine ebenso leichte Zunahme der Fangversuche über die drei Versuchsblocks anzudeuten. Diese vermeintliche Zunahme war aber in beiden Fällen nicht statistisch signifikant (repeated measures ANOVA, Faktor Versuchsblocks; Aufenthaltszeit: $F_{2,10} = 1,4$, $p = 0.2876$; Fangversuche: $F_{2,10} = 2,0$, $p = 0,1884$). Es trat somit klar keine (schnelle) Gewöhnung an Licht ein.

Wie aus Tabelle 2-8 ersichtlich, unterschieden sich die sechs getesteten Individuen relativ deutlich in der Anzahl der Fangversuche. Sie reagierten zudem unterschiedlich auf die Beleuchtung des „Jagdgebietes“. Ein Tier unternahm keinen einzigen Fangversuch bei Licht, ein anderes immerhin 259 seiner insgesamt 1021 Fangversuche. Die individuellen Unterschiede waren statistisch signifikant für Aufenthaltszeit und Anzahl Fangversuche (Aufenthaltszeit, $F_{1,5} = 81,2$, $p = 0.0003$; Fangversuche, $F_{1,5} = 18,3$, $p = 0,0079$).

2.2.4 Diskussion

Die Verhaltensdaten belegen klar, dass Große Mausohren bei der Jagd Licht meiden. Von bewegten Lichtkegeln von PKW-Scheinwerfern ging eine größere Störwirkung aus, als von einer stationären Lichtquelle von oben, etwa einer Straßenlampe. Die Tiere zeigten keine schnelle Gewöhnung an das Licht. Allerdings waren deutliche Unterschiede in der Meideintensität verschiedener Fledermausindividuen zu verzeichnen. Daraus lässt sich folgern, dass auch im Freiland Scheinwerferlicht und Straßenbeleuchtung eine unterschiedlich hohe Störwirkung für die verschiedenen Fledermausindividuen erzeugen.

Es konnten Störwirkungen auf drei, für den Jagderfolg relevanten Ebenen, nachgewiesen werden.

1) Mausohren verbringen in lichtgestörten Gebieten weniger Suchzeit als in dunklen.
2) Sie unternehmen dort weniger Fangversuche.
3) Die Erfolgsrate der unternommenen Fangversuche ist geringer als im Dunklen.

Zusammengenommen ist als Folge des Lichteintrages mit einer deutlichen Verringerung des Jagderfolges im trassennahen Bereich zu rechnen. Lichtverschmutzung (light pollution) mindert daher die Qualität eines potenziellen Mausohrjagdgebietes sehr deutlich.

Es ist allerdings wahrscheinlich, dass die lichtbedingte Störung und Jagdgebietsbeeinträchtigung dazu beiträgt, jagende und damit tief (0,5-2 m) fliegende Mausohren vom unmittelbaren Trassenbereich fernzuhalten. Dies würde das Risiko einer Kollision mit einem Fahrzeug verringern und sich somit mildernd auf eine andere massive Störwirkung des Verkehrs (Kollisionstod) auswirken. Es scheint daher aus Fledermausschutzsicht nicht angezeigt, Maßnahmen zu ergreifen, die die Scheinwerferreichweite auf der Trasse begrenzen. Vielmehr ist hier die Schaffung geeigneter, ungestörter Ausgleichsflächen notwendig.

Für andere bestandbedrohte und daher besonders schutzrelevante Fledermausarten, wie z.B. die Kleine Hufeisennase, wird eine dem Großen Mausohr vergleichbare Lichtscheu vermutet (ARLETTAZ et al. 2000). Kleine Hufeisennasen jagen wie das Mausohr nahe an Hintergrundstrukturen und queren Autobahnen potenziell tief, also im besonders kollisionsgefährdeten Bereich. Erhebliche Ausflugsverzögerung als Folge von Quartierbeleuchtung konnten bei der Großen Hufeisennase, beim Kleinen Mausohr und der Wimperfledermaus dokumentiert werden (BOLDOGH et al. 2007). Analog zu den oben angestellten Überlegungen ist auch für diese Arten eine Störwirkung von Licht zu vermuten, die sowohl eine Beeinträchtigung der Habitatqualität als auch eine (positiv zu wertende) Kollisionsreduktion erzeugt.

Licht lockt Insekten an. V.a. Fledermäuse aus der Gruppe der aerial insectivores können lernen, bevorzugt an Straßenlampen zu jagen (RYDELL 1992; BLAKE et al. 1994; LEE & MCCRACKEN 2002; REDDY & FENTON 2003). Zumindest solche stationären anthropogenen Lichtquellen können also auf einige Fledermausarten sogar Anziehungswirkung haben. Da sich das Beuteaufkommen um diese Lichtquellen konzentrieren kann, verschiebt Straßenbeleuchtung möglicherweise das Konkurrenzgefüge zugunsten wenig lichtscheuer, „kulturfolgender“ Arten wie z.B. der Zwergfledermaus (ARLETTAZ et al. 2000). Beim Quartierausflug kann Beleuchtung allerdings auch auf Zwergfledermäuse verzögernd wirken (DOWNS et al. 2003) Fledermäuse, die um und über Straßenlampen jagen, halten sich typischerweise oberhalb des Fahrzeugbereichs auf und sind daher einem wesentlich niedrigeren Kollisionsrisiko ausgesetzt, als bodennah jagende Arten wie das Große Mausohr.

3 Zerschneidungswirkung von Bahnstrecken auf Fledermausflugaktivität

3.1 Einleitung

Auch wenn das Streckennetz der Deutschen Bahn mit 34.000 km Gesamtlänge nur knapp 16% der vergleichbaren Länge des Straßennetzes (= 231.000 km) einnimmt, trägt auch dieses nicht unerheblich zur anthropogen bedingten Landschaftszerschneidung in Deutschland bei. Bei einer Betrachtung verkehrsbedingter Trennwirkungen auf Fledermauspopulationen sind deshalb auch spezifische Wirkungen des Schienennetzes und seines Verkehrs einzubeziehen. Insbesondere die Wirkungen auf Wildtierpopulationen durch Neu- und Ausbau der Hochgeschwindigkeitsstrecken können bislang nicht aufgrund längerfristiger Erfahrungen abgeschätzt werden. Welche spezifischen Einflüsse der Schienenverkehr auf Fledermäuse hat, ist bisher nur unzureichend untersucht worden. Die Ergebnisse vorhandener Untersuchungen über die direkten und indirekten Auswirkungen von Verkehrsstraßen auf Fledermäuse können aufgrund von bahnspezifischen Wirkungsfaktoren nicht problemlos auf Bahnstrecken übertragen werden.

Zielsetzung dieser Studie ist, die Wirkungen von Bahntrassen sowie die vom Bahnverkehr ausgehenden Wirkungen auf Fledermäuse qualitativ und quantitativ zu erfassen und zu bewerten. Durch den Einsatz von Detektoren und Horchboxen wurden an ausgewählten Standorten in Waldhabitaten die Aktivitätsverteilung der Fledermäuse in Abhängigkeit von Bahntrasse und Zugverkehr ermittelt. Dazu wurden an 22 Bahnstrecken systematische Paarvergleiche zur Fledermausaktivität an im selben Gebiet vorhandenen Waldrändern durchgeführt. Ergänzend dazu wurden in zwei Fallstudien an Schnellzugstrecken und einer dritten stark lärmbelasteten Strecke trassennahe und trassenferne Waldränder und bahnnahe und bahnferne Waldinnenbereiche intensiv dahingehend untersucht, ob Verteilungsunterschiede bezüglich der Fledermausaktivität vorliegen und ob ggf. bestehende Verteilungsunterschiede auf Störungen durch den Zugverkehr oder auch durch andere Eigenschaften des Waldes, etwa die Waldstruktur, hervorgerufen werden.

Die von Bahntrassen ausgehenden Wirkungen werden unterteilt in baubedingte, anlagenbedingte und betriebsbedingte Faktoren (ROLL 2004). Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Wirkungen mit steigender Dimension, Frequentierung und Geschwindigkeit zunehmen (vgl. GLITZNER et al. 1999, AG QUERUNGSHILFEN 2003, ROLL 2004).
Baubedingte Faktoren brauchen in Bezug auf die Probenstellen hier nicht weiter in Betracht gezogen werden, da alle betrachteten Trassenabschnitte bereits seit Längerem in Betrieb sind. Tabelle 3-1 zeigt die Wirkfaktoren und deren mögliche Auswirkungen für Fledermäuse an Bahntrassen, die im Folgenden betrachtet werden.

Tabelle 3-1: Wirkfaktoren und mögliche Auswirkungen auf die Fledermausfauna an Bahntrassen

	Wirkfaktoren	Mögliche Auswirkungen auf die Fledermausfauna
Anlage	▪ Zerschneidung ▪ Querungshindernisse (z.B. Oberleitungen) ▪ abiotische Veränderungen (z.B. Mikroklima)	⇒ „Schneiseneffekte“ ⇒ Barriereeffekte
Betrieb	▪ Schallemission ▪ (Lichtemissionen, z.B. Lichtblitze der Oberleitung) ▪ (Sogeffekte, Luftverwirbelung)	⇒ Störung (Vertreibungseffekte) ⇒ Barriereeffekte ⇒ Kollisionen

3.2 Material und Methoden

3.2.1 Untersuchungen im Großraum Rhein-Main

Abbildung 3-1 gibt einen Überblick über die Untersuchungsstandorte an bahnparallel verlaufenden Waldrändern im Bereich Montabaur-Wiesbaden-Frankfurt-Darmstadt-Mainz-östlicher Hunsrück. Untersucht wurde die Aktivität von Fledermäusen jeweils an einem Waldrand mit parallel verlaufender Bahnstrecke und einem nahe gelegenen Waldrand ohne Bahn. Die Charakteristika der Probeflächen, Zugverkehrsdaten[3] und Trassenbreiten, sind aus Tabelle 3-2 zu entnehmen. An 24 Stellen[4] wurden jeweils zeitgleich zwei automatisch arbeitende Aufzeichnungsapparaturen für Fledermausrufe („AnaBat“ von Titley, Australien) über zwei aufeinander folgende Nächte installiert. Die Ultraschallmikrofone wurden an der Spitze von Teleskopstangen drei Meter über dem Boden befestigt. Ihr Aufnahmekegel wurde jeweils parallel zum Waldrand ausgerichtet[5]. Je eines der Geräte stand wenige Meter (4 – 20 m) neben der Bahnstrecke, ein Weiteres an einem nahe gelegenen Kontrollpunkt (ca. 200 – 400 m entfernt) an einem anderen Waldrand des jeweils selben Waldes, aber ohne eine Bahntrasse davor (meist vor Wiesenflächen).

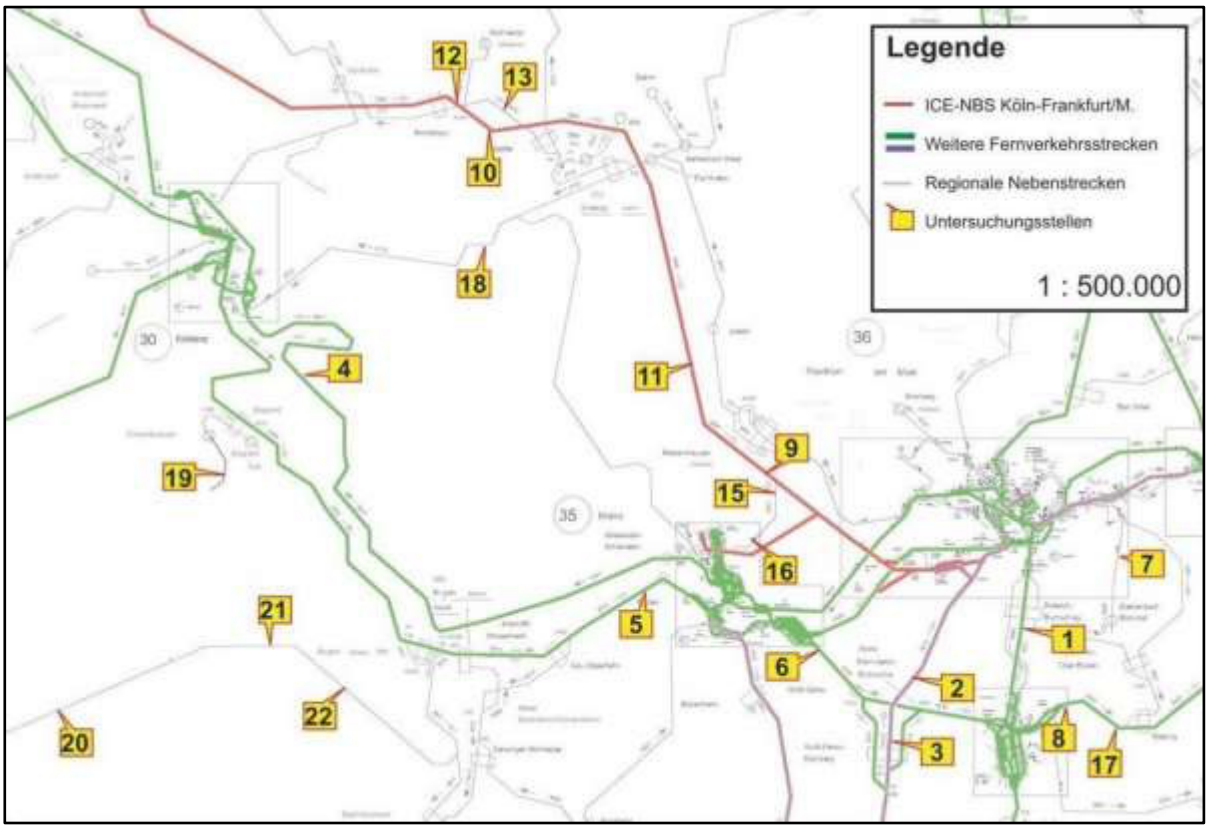


Abbildung 3-1: Raumverteilung der untersuchten Waldränder an Bahnstrecken

Die Abstände zwischen den Geräten im Paarvergleich wurden so klein gewählt, dass an den Kontrollpunkten die gleiche Fledermauspopulation zu erwarten war wie an der Bahntrasse, aber Einflüsse der

[3] Den Mitarbeitern des Eisenbahnbundesamtes und der Deutschen Bahn AG sei an dieser Stelle für die Bereitstellung von Daten herzlich gedankt.

[4] Aufgrund von Geräteausfällen konnten hiervon nur 22 Standorte ausgewertet werden.

[5] Eine genauere Beschreibung findet sich im Kapitel 8.1.

Trasse ausgeschlossen werden konnten. Zwischen den Untersuchungsstellen an gleichförmigen Bahnstrecken lagen mindestens vier Kilometer, in den meisten Fällen deutlich mehr. Die sechs zum Einsatz gebrachten AnaBat-Einheiten wurden zuvor auf eventuelle Unterschiede in ihrer Aufzeichnungsempfindlichkeit getestet, um vergleichbare Gerätepaare zusammenzustellen.

Tabelle 3-2: Standorte und Erhebungszeiten an den untersuchten Bahnstrecken

(Auflistung in der Reihenfolge abnehmender, nächtlicher Zugpräsenzdauer)

Nr.	Abschnitt	Bahnstrecke	Strecken nr., Traktion[6]	Zugtypen[7]	Breite Gleise	Nachtverkehr (22:00-6:00 h)	Zugpräsenz auf 200 m[8]	Geschwindigkeit (v-max)	Erhebung am
B06	Rüsselsheim-Schönau	Mainz - Darmstadt (Rhein-Main-Bahn)	3530, S	GV (85%), PFV (6%), PNV (9%)	2	10,1 Züge/h (81 Züge)	4,4 min/h (35,3 min/ Nacht)	90 – 160 km/h	04.07. – 08.07. 2006
B03	Groß Gerau-Berkach	Frankfurt/M. - Mannheim (Riedbahn)	4010, S	GV (56%), PFV (20%), PNV (25%)	2	11,5 Züge/h (92 Züge)	4,0 min/h (31,6 min/ Nacht)	90 – 200 km/h	13.06. – 15.06. 2006
B04	Kamp-Bornhofen	Wiesbaden - Koblenz (rechte Rheinseite)	3507, S	GV (%), PFV (%), PNV (%)	2	stark befahren	≅ B03	bis zu 180 km/h	30.08. – 02.09. 2005
B02	Groß Gerau Nord	Frankfurt/M. - Mannheim (Riedbahn)	4010, S	GV (39%), PFV (36%), PNV (25%)	2	8,0 Züge/h (64 Züge)	2,4 min/h (18,8 min/ Nacht)	90 – 200 km/h	26.06. – 28.06. 2006
B05	Lennebergwald	Mainz - Bingen (linke Rheinseite)	3510, S	GV (40%), PFV (25%), PNV (34%)	2	7,4 Züge/h (59 Züge)	2,1 min/h (16,9 min/ Nacht)	90 – 160 km/h	24.07. – 27.07. 2006
B01	Buchschlag-Langen	Frankfurt/M. - Heidelberg (Main-Neckar-Bahn)	3601, S 3688, S	GV (32%), PFV (9%), PNV (57%)	4	7,0 Züge/h (56 Züge)	2,0 min/h (15,7 min/ Nacht)	90 – 160 km/h	16.06. – 20.06. 2006
B17	Dieburg	Darmstadt - Aschaffenburg (Rhein-Main-Bahn)	3530, S	GV (81%), PNV (19%)	2	4,5 Züge/h (36 Züge)	2,0 min/h (15,7 min/ Nacht)	90 – 120 km/h	29.06. – 03.07. 2006
B08	Kranichstein-Messel	Darmstadt - Aschaffenburg (Rhein-Main-Bahn)	3530, S	GV (81%), PNV (19%)	2	4,5 Züge/h (36 Züge)	2,0 min/h (15,7 min/ Nacht)	90 – 120 km/h	29.06. – 03.07. 2006
B07	Heusenstamm	Frankfurt/M. - Dietzenbach (Rodgaubahn)	3662, S	PNV (100%)	2	2,5 Züge/h (20 Züge)	0,4 min/h (3,4 min/ Nacht)	120 km/h	21.06. – 25.06. 2006
B14	Engenhahner Pfad 2	Frankfurt/M. - Eschhofen (Main-Lahn-Bahn)	3610, S	GV (23%), PNV (77%)	2	1,6 Züge/h (13 Züge)	0,4 min/h (2,8 min/ Nacht)	90 – 120 km/h	15.08. – 17.08. 2006
B13	Elzer Wald 2	Limburg-Staffel - Siershahn (Unterwesterwaldbahn)	3731, D	GV (33%), PNV (67%)	1	0,4 Züge/h (3 Züge)	0,1 min/h (1,2 min/ Nacht)	50 km/h	04.08. – 06.08. 2006
B15	Hellenberg 2	Wiesbaden - Niedernhausen (Ländchesbahn)	3501, D	GV (%), PFV (%), PNV (%)	1	wenig befahren	wie B13	50 km/h	15.08. – 17.08. 2006

[6] S = Strom; D = Diesel

[7] GV = Güterverkehr; PFV = Personenfernverkehr; PNV = Personennahverkehr

[8] Zugpräsenzzeit = Summe aller Nachtzüge (22:00 – 6:00 h): Anzahl eines Zugtyps x (Zuglänge [m] + 200 m)/ Zuggeschwindigkeit [m/min]

Nr.	Abschnitt	Bahnstrecke	Strecken nr., Traktion[6]	Zugtypen[7]	Breite Gleise	Nachtverkehr (22:00-6:00 h)	Zugpräsenz auf 200 m[8]	Geschwindigkeit (v-max)	Erhebung am
B16	Hockenberger Mühle	Wiesbaden - Niedernhausen (Ländchesbahn)	3501, D	GV (%), PFV (%), PNV (%)	1	wenig befahren	wie B13	50 km/h	18.08. – 20.08. 2006
B18	Altendiez/ Fachingen	Limburg - Koblenz (Lahntalbahn)	3710, D	GV (%), PFV (%), PNV (%)	1 (im U.-bereich)	wenig befahren	wie B13	50 km/h	12.07. – 17.07. 2006
B09	Hellenberg 1	Köln - Rhein/Main (Schnellfahrstrecke)	2690, S	PFV [ICE3] (100%)	2	1,1 Züge/h (9 Züge)	0,1 min/h (0,8 min/ Nacht)	300 km/h	15.08. – 17.08. 2006
B10	Elzer Wald 1	Köln - Rhein/Main (Schnellfahrstrecke)	2690, S	PFV [ICE3] (100%)	2	1,1 Züge/h (9 Züge)	0,1 min/h (0,8 min/ Nacht)	300 km/h	04.08. – 06.08. 2006
B11	Engenhahner Pfad 1	Köln - Rhein/Main (Schnellfahrstrecke)	2690, S	PFV [ICE3] (100%)	2	1,1 Züge/h (9 Züge)	0,1 min/h (0,8 min/ Nacht)	300 km/h	15.08. – 17.08. 2006
B12	Nentershausen	Köln - Rhein/Main (Schnellfahrstrecke)	2690, S	PFV [ICE3] (100%)	2	1,1 Züge/h (9 Züge)	0,1 min/h (0,8 min/ Nacht)	300 km/h	18.07. – 24.07. 2006
B19	Ehr	Boppard - Emmelshausen (Hunsrückbahn)	3020, D	PNV (100%)	1	wenig befahren	≅ 0,01	< 50 km/h	26.07. – 28.07. 2006
B20	Dillendorf	Simmern - Hermeskeil (Hunsrückquerbahn)	3021, D	stillgelegt	1	nicht befahren	–	–	26.07. – 28.07. 2006
B21	Ellern	Simmern - Hermeskeil (Hunsrückquerbahn)	3021, D	stillgelegt	1	nicht befahren	–	–	21.08. – 22.08. 2006
B22	Rheinböllen	Simmern - Hermeskeil (Hunsrückquerbahn)	3021, D	stillgelegt	1	nicht befahren	–	–	21.08. – 22.08. 2006

Abbildung 3-2: AnaBat-Installation an breiter Trasse (B01, links) und korrespondierendem Kontroll-standort (rechts

Abbildung 3-3: AnaBat-Installation an 2-gleisiger Zugstrecke (B17, links) und korrespondierendem Kontrollstandort (rechts)

Abbildung 3-4: AnaBat-Installation an 1-gleisiger Zugstrecke (B15, links) und korrespondierendem Kontrollstandort (rechts)

Abbildung 3-5: AnaBat-Installation an stillgelegter Zugstrecke (B21, links) und korrespondierendem Kontrollstandort (rechts)

3.2.2 Untersuchungsgebiet ICE-Hochgeschwindigkeitstrasse Fulda - Würzburg bei Zellingen

Das Untersuchungsgebiet ZE (Zellingen)[9] liegt ca. 20 km nordwestlich von Würzburg und erstreckt sich entlang der ICE-Hochgeschwindigkeitstrasse Fulda - Würzburg über die Waldgebiete Zellinger Wald und Himmelstädter Wald. Der untersuchte Trassenabschnitt, der im Norden an den Tunnel Hohe Wart und im Süden an eine Trassenunterführung grenzt, hat eine Länge von 1,4 km. Die Schneise der Trasse hat eine Breite von 30 bis 50 m und stellt einen Einschnitt in den Wald dar. Klimatisch zählt das Untersuchungsgebiet mit einer Jahresmitteltemperatur von 8–9 °C, einem Niederschlagsjahresmittelwert von 600–650 mm und einer Vegetationsperiode zwischen 150 und 160 Tagen zu den wärmsten und niederschlagsärmsten Regionen Bayerns.

Innerhalb des Spektrums der Untersuchungsgebiete erfüllt das Untersuchungsgebiet ZE folgende Merkmale: Hochgeschwindigkeitsstrecke mit hoher (nächtlicher) Zugfrequenz, standorttypische Laub-Mischwälder beidseitig der Trasse mit hohem Altholz-Bestand, artenreiches Fledermausvorkommen und geringe Aktivitätsbeeinflussung der Fledermäuse durch andere anthropogene Einflüsse. Während die Strecke tagsüber hauptsächlich dem Personenfernverkehr vorbehalten ist, wird sie nachts vorwiegend für den Güterverkehr genutzt. Im Zeitraum von 22:00 – 6:00 Uhr passieren durchschnittlich 47 Züge mit Zuggeschwindigkeiten von bis zu 250 km/h diesen Streckenabschnitt. Die nächtliche Verkehrsdichte liegt bei 5,9 Zügen pro Stunde.

Eine Literaturrecherche (SCHLAPP 1996, SCHÖNMANN et al. 2001, MESCHEDE & RUDOLPH 2004) und die Untersuchungen im Rahmen der durchgeführten Diplomarbeit (ALTMEYER 2007) ergaben Hinweise auf das Vorkommen von bis zu 16 Fledermausarten (Großes Mausohr, Fransenfledermaus, Große Bartfledermaus, Kleine Bartfledermaus, Bechstein-fledermaus, Wasserfledermaus, Braunes Langohr, Graues Langohr, Rauhautfledermaus, Zwergfledermaus, Mückenfledermaus, Großer Abendsegler, Kleiner Abendsegler, Mopsfledermaus, Breitflügelfledermaus und Zweifarbfledermaus).

Zur Erkennung möglicher Auswirkungen der Bahnstrecke und des Zugverkehrs auf die Fledermausfauna wurde die Präsenz von Fledermäusen im Umfeld der Trasse untersucht. Entsprechend der Fragestellung wurden Standorte am Waldrand und solche im Wald(innenbestand) als unterschiedliche Untersuchungsstandorte differenziert, weil hier die Präsenz/Dominanz von Fledermausarten unterschiedlicher ökologischer Artengruppen unterstellt werden kann und insoweit Wald und Waldrand nicht direkt

[9] Projektbezogene Zusammenfassung der von A. ALTMEYER (2007) an der Univ. Trier erarbeiteten Diplomarbeit (Betreuung: J. Lüttmann).

miteinander vergleichbar sind. Im Untersuchungsgebiet wurden trassennahe und trassenferne Untersuchungspunkte 1) am Waldrand und 2) im Wald im Umfeld der Bahntrasse ausgewählt, so dass jeweils ein Paarvergleich in der dargestellten Weise möglich war (vgl. Schema in Abbildung 3-6).

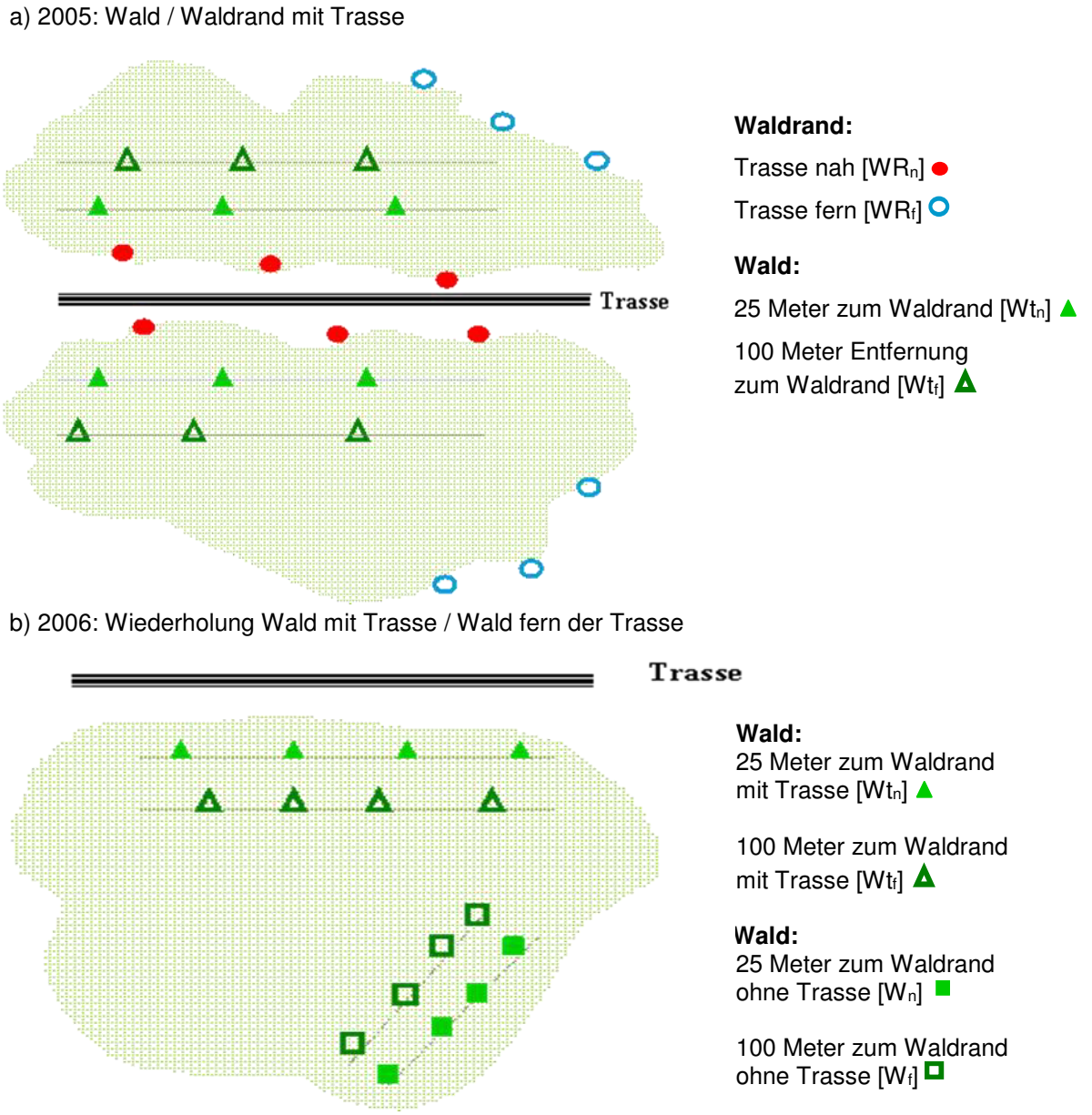


Abbildung 3-6: Untersuchungskonzept 2005 (a) und 2006 (b)

Um homogene und repräsentative Aufnahmestandorte zu beproben, wurden diese auf der Basis einer Biotoptypenkartierung ausgewählt[10]. Neben einer angemessenen Zugänglichkeit und einem Mindestabstand von ca. 100 m zwischen ihnen, weisen die Untersuchungsbereiche einen Laubmischwald mit mind. 90% Laubholzanteil, eine homogene Strukturierung und eine vergleichbare Bedeckung der Kraut- und Strauchschicht (ca. 20 – 40%) auf, einen mittleren bis hohen Baumabstand (ca. 3 – 6 m) und ein mindestens mittleres bis hohes Baumalter (> 80 Jahre). Außerdem sollten keine Störeinflüsse durch

[10] Verwendet wurde dazu der CIR (Color-Infrarot) - Luftbildinterpretationsschlüssel zur Biotop- und Nutzungstypenkartierung für die Bundesrepublik Deutschland (BFN 2002) sowie der von MESCHEDE & HELLER (2000) entwickelte Aufnahmekatalog für relevante Faktoren zur Beschreibung der Lebensräume für Fledermäuse in Wäldern.

z.B. Licht (Straßenlampen o.ä.) herrschen. Insgesamt wurden 40 Untersuchungsstellen (U) ausgewählt. Untersuchungszeitraum und -intensität sind in Tabelle 3-3 zusammengefasst.

Tabelle 3-3: Untersuchungszeitraum und -intensität im Gebiet ZE

Methoden	Zeitraum		Intensität	
	2005	2006	2005	2006
Detektor	Mai – August	Juni – August	11 Erfassungsdurchgänge (Nächte) 660 Beobachtungsminuten/U	5 Erfassungsdurchgänge (Nächte) 200 Beobachtungsminuten/U
Horchbox	Juli – August	-------	6 Erfassungsdurchgänge (Nächte)	---------

Für die Geländeerfassung wurden zwei gleichzeitig laufende Mischerdetektoren des Typs Pettersson D 100 verwendet. Um den Frequenzbereich der Fledermäuse bestmöglich abzudecken, wurden ein Detektor bei 25 kHz und ein weiterer bei 40 kHz eingestellt. Die Empfindlichkeit der Detektoren liegt zwischen +/- 4 kHz.

In Form von Punkt-Stop-Zählungen wurde die Präsenz von Fledermäusen an jedem Untersuchungspunkt in einer zehnminütigen Beobachtungsphase dokumentiert. Die Aktivität der Fledermäuse an einem Punkt wurde auf der Basis einer Unterteilung in Minutenabschnitte notiert (Skala 0 – 10), wobei ein oder mehrere Vorbeiflüge pro Minute als 1 gleich gesetzt wurden. Dadurch wurde vermieden, dass kurze Vorbeiflüge zu einer Unterschätzung, kurzes Kreisen zu einer Überschätzung der Fledermausaktivität führten. Diese Antreffhäufigkeit von Fledermäusen an einer Untersuchungsstelle wird im Folgenden als Minuten-Aktivität bezeichnet.

0	0	0	1	1	3	0	0	0	1

MA = 4/10 (kurz: 0,4)

Abbildung 3-7: Zählschema zur Ermittlung der Fledermausaktivität (Minutenaktivität MA) in einem 10-Minuten-Erfassungsfenster

Jeder Standort wurde im Laufe der Untersuchung zu unterschiedlichen Nachtzeiten kontrolliert, um zeitliche Effekte hinsichtlich der Fledermauspräsenz weitgehend zu eliminieren.

Zusätzlich wurden „Horchboxen“ eingesetzt. Diese bestanden aus einem Teilerdetektor (Batbox ATBOX Duet, Firma Stag), einer Uhr mit Signalton als Zeitgeber und einem Geräusch-induziert arbeitenden Kassettenrecorder. Die Horchboxen wurden vor Sonnenuntergang an ihren Standorten in ca. 2 m Höhe angebracht und aktiviert. Das Abhängen der Boxen wurde bei beginnender Morgendämmerung vorgenommen, im Durchschnitt 1,5 - 0,5 h vor Sonnenaufgang. Die Ergebnisse wurden bei der Auswertung auf 8 Stunden normiert.

Da das Auftreten von Fledermäusen auf einer Fläche davon abhängig sein kann, ob die Fläche sich aufgrund ihres Insektenangebotes als Jagdgebiet eignet, wurde an den Untersuchungsstellen neben der Punkt-Stop-Kartierung auch eine Schätzung des Insektenflugs nach TAYLOR & O'NEILL (1988) vorgenommen; die Methode genügt dem Anspruch, eine Kategorisierung des Nahrungsangebots für Fledermäuse aufzuzeigen (sehr geringes - sehr hohes Nahrungsangebot). Es wurde mit einem Strahler horizontal in Brusthöhe eine langsame Drehung um 360° vollzogen, die im Lichtkegel gesichteten Insekten wurden gezählt. Eine Drehung dauerte ca. 30 s. Die Reichweite des Scheinwerfers betrug ca. 20 m.

Im Untersuchungszeitraum 2005 und 2006 wurden bei einer Aufnahmezeit von 3440 Minuten insgesamt 587 Fledermauskontakte erfasst. Die vernommenen Rufe wurden aufgrund ihrer Rufcharakteristik und

den optischen Merkmalen (Silhouette, Flugverhalten: s. BARATAUD 2000, LIMPENS & ROSCHEN 1995, SKIBA 2003) nach Artengruppen determiniert. Insgesamt konnten Rufnachweise von fünf *Gattungen, Myotis, Nyctalus, Pipistrellus, Eptesicus* und *Barbastella* unterschieden werden. Die mit den Horchboxen aufgezeichneten Rufe wurden durch Digitalisierung der analogen Tonbandaufzeichnung unter Zuhilfenahme der Analysesoftware BatScan Version 8.7 ausgewertet (nur Fledermauspräsenz und -aktivität, keine Artenansprache).

3.2.3 Untersuchungsgebiet EW (Elzer Wald)

Der Elzer Wald liegt zwischen Limburg (Hessen) und Montabaur (Rheinland-Pfalz) und ist ein arten- und altholzreicher Mischbestand mit hohem Anteil an Rotbuchen-Hochwald, aber auch vielen unterwuchsreichen Forstflächen. Mehrere Wiesentäler und andere Freiflächen lockern vor allem im Randbereich des etwa 5 km² großen Untersuchungsbereiches den Baumbestand auf. Die Waldränder sind vorwiegend stufig ausgebildet. Durchschnitten wird dieser Wald durch mehrere in Ost-West-Richtung verlaufende Verkehrswegeschneisen (Aufzählung von Süd nach Nord): Landstraße 3447, Schnellfahrstrecke der DB 2690, 6-streifig ausgebaute Autobahn A3, Regionalbahnstrecke 3731, Kreisstraße 346 (s. Abbildung 3-8). Die nächtlichen Verkehrsflüsse sind mit Ausnahme der stark frequentierten Autobahn eher gering bis selten, aber im Fall der ICE-Trasse durch extrem hohe Fahrgeschwindigkeit gekennzeichnet[11]. Nach Auskunft regional tätiger Fledermausschützer[12] lebt im nahen Umfeld eine artenreiche Fledermauslebensgemeinschaft von mindestens zehn Fledermausarten, wie langjährige Untersuchungen mit unterschiedlichsten Methoden ergaben (Großes Mausohr, Große Bartfledermaus, Kleine Bartfledermaus, Bechsteinfledermaus, Wasserfledermaus, Braunes Langohr, Zwergfledermaus, Großer Abendsegler, Kleiner Abendsegler und Zweifarbfledermaus).

Analog zum Vorgehen im Untersuchungsgebiet Zellingen wurden auch im Elzer Wald Punkt-Stop-Kartierungen durchgeführt auf Basis 10-minütiger Kontrollen an hier insgesamt 55 Untersuchungspunkten pro Nacht[13]. Die Anzahl der Erfassungsdurchgänge betrug sechs Nächte (Aug./Sept. 2005 und Mai + Sept. 2006) und umfasst insgesamt 3.240 Beobachtungsminuten. Neben den beiden Bahnstrecken wurden zu Vergleichszwecken auch an der parallel verlaufenden Autobahn Fledermausaktivitäten erfasst. Zur Anwendung kamen Zeitdehner-Mischer-Kombinationsdetektoren (Pettersson D240). Zur Artbestimmung trug im Gelände der Höreindruck und die lauteste Frequenz (zum Teil unterstützt von Sichtbeobachtungen) bei. Abspeicherungen von Handaufnahmen auf einem Mini-Disc-Recorder (Sharp MS701H(S)2) wurden darüber hinaus im Nachgang mit dem spezifischen Frequenzanalyseprogramm Bat-Sound Version 3.31 von Pettersson analysiert und als weitere Bestimmungshilfe herangezogen. Die auch im Elzer Wald zum Einsatz gekommenen AnaBat-Apparaturen zur automatischen Rufaufzeichnung werden im Rahmen der oben beschriebenen Paarvergleiche im Großraum Rhein-Main behandelt.

[11] Für konkrete Zahlen zu den Bahnstrecken siehe Tabelle 3-2.

[12] Dem Arbeitskreis Fledermausschutz Rheinland-Pfalz, namentlich Herrn M. Weidenfelder, sei herzlich gedankt.

[13] Aufgrund der hohen Anzahl der Kontrollstellen waren fast immer zwei Personen in der gleichen Nacht im Einsatz, die in verschiedenen Nächten aber unterschiedliche Punkte bearbeiteten, um individuelle Einflüsse auf die Ergebnisse auszuschließen.

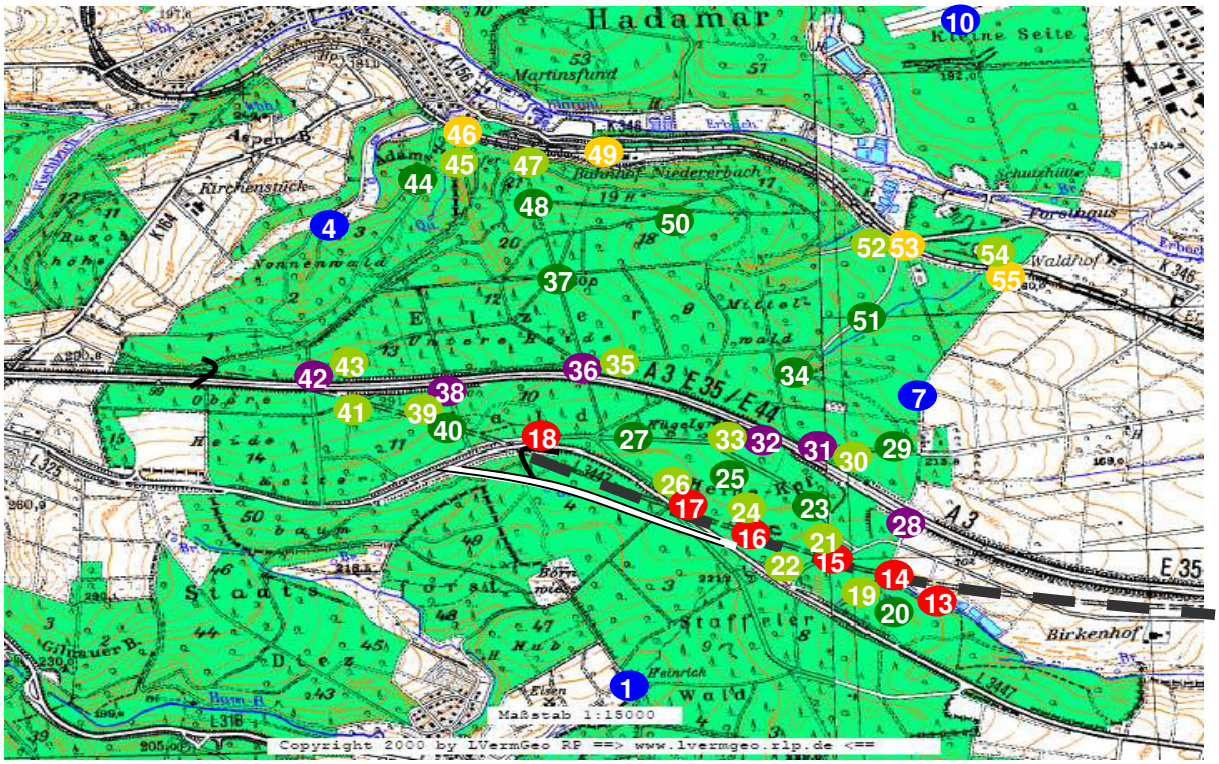


Abbildung 3-8: Untersuchungsstellen der Punkt-Stop-Kartierung im Untersuchungsgebiet „Elzer Wald“

blau = Waldrand ohne Verkehrstrasse davor,
rot, lila, gelb = Waldrand mit Verkehrstrasse davor (ICE, Autobahn, Regionalbahn),
hellgrün = Waldinnenbestand, ca. 25 m vor Waldrand
dunkelgrün = Waldinnenbestand , ca. 100 m vor Waldrand

3.2.4 Untersuchungsgebiet KB (Kamp-Bornhofen)

Das dritte, für eine Fallstudie ausgewählte Untersuchungsgebiet, liegt im Mittelrheintal auf der rechten Rheinseite, gegenüber Boppard, zwischen Kamp-Bornhofen und Filsen (Rheinland-Pfalz). Es besteht aus einem steilen Hang (Höhenunterschied 175 m zwischen Rhein und Höhenkamm). Das Gelände aus ehemaligen Weinbergsterrassen ist stark verbuscht mit verwilderten Obstbäumen und einer Tendenz zum Vorwald. Vor allem im oberen Bereich zur Hangkuppe hin weist es auch echte Waldbestände auf. Die im Hangfußbereich verlaufende Bahnstrecke 3507 verläuft hangseitig parallel zur Bundes straße 42.

Der Zugverkehr beinhaltet neben Personennahverkehrszügen einen sehr hohen Güterverkehrsanteil und die Strecke gilt dadurch als besonders stark lärmbelastet. In 2005 ergab sich hier ein Vergleich an der gleichen Bahnstrecke mit viel Zugverkehr (hauptsächlich lange Güterzüge) und wenig Zugverkehr (ausschließlich eingeschränkter Personennahverkehr), da die Strecke Ende Juli mehrtägig aufgrund eines Erdrutsches für den Fernverkehr gesperrt werden musste.

Die dortige Fledermausfauna umfasst eine kopfstarke Mausohrkolonie in der angrenzenden Ortschaft sowie mindestens neun weitere Arten (Zwerg-, Rauhaut-, Mückenfledermaus, Großer/Kleiner Abendsegler, Breitflügelfledermaus, Graues Langohr, Wasserfledermaus, Bartfledermäuse). Die Erfassungsmethodik entspricht den obigen Beschreibungen.

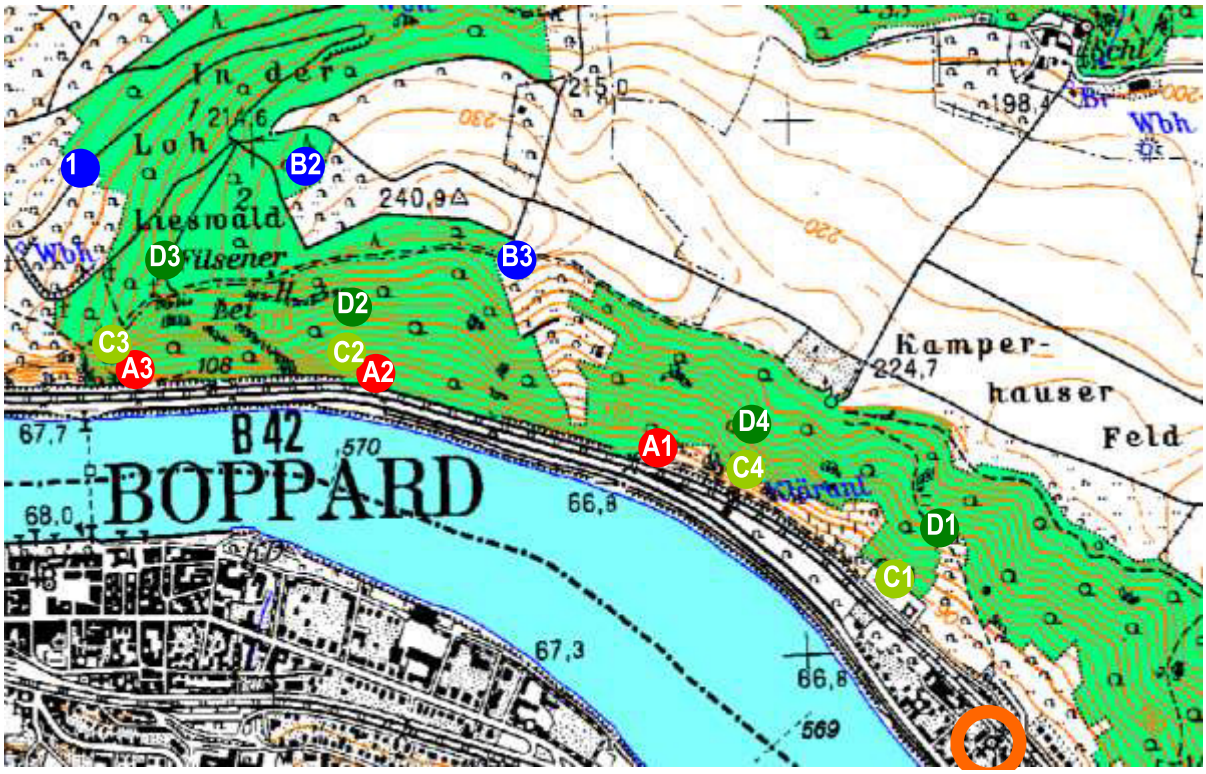


Abbildung 3-9: **Untersuchungsstellen der Punkt-Stop-Kartierung im Untersuchungsgebiet an der Bahnstrecke 3507 im Mittelrheintal bei Kamp-Bornhofen (Rheinland-Pfalz) – in markierter Kirche Wochenstube von Großen Mausohren (*Myotis Myotis*) mit 1800 Weibchen**

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Vergleich bahnnaher und bahnferner Waldränder im Großraum Rhein-Main

Die Auswertung zur Fledermausaktivität an 22 Untersuchungsstellen entlang von Waldrändern vor Bahnstrecken und den gewählten Vergleichsplätzen ergab ein sehr heterogenes Verteilungsmuster. 14-mal war die aufgezeichnete Rufaktivität an den Vergleichsstellen höher als an der Bahnstrecke, 7-mal war es umgekehrt und einmal ergab sich eine exakt gleiche Häufigkeit (vgl. Abbildung 3-10). Im Mittel wurden an den befahrenen Bahnstrecken 7,4 ± 9,7 min/h Fledermausaktivität gemessen, an den Vergleichswaldrändern waren es 9,0 ± 8,6 min/h. Zwischen den Bahntrassen und den Vergleichsstellen fanden sich keine signifikanten Unterschiede (Wilcoxon Paarvergleichstest: $Z = -1{,}02$, $p = 0{,}31$). Auch zwischen stillgelegten und befahrenen Strecken konnten keine Unterschiede festgestellt werden ($Z = -0{,}05$, $p = 0{,}96$). Eine weitere Aufteilung der Untersuchungsstellen in Klassen unterschiedlicher Zugverkehrsdichte ergab ebenfalls kein gerichtetes Ergebnis (vgl. Abbildung 3-10).

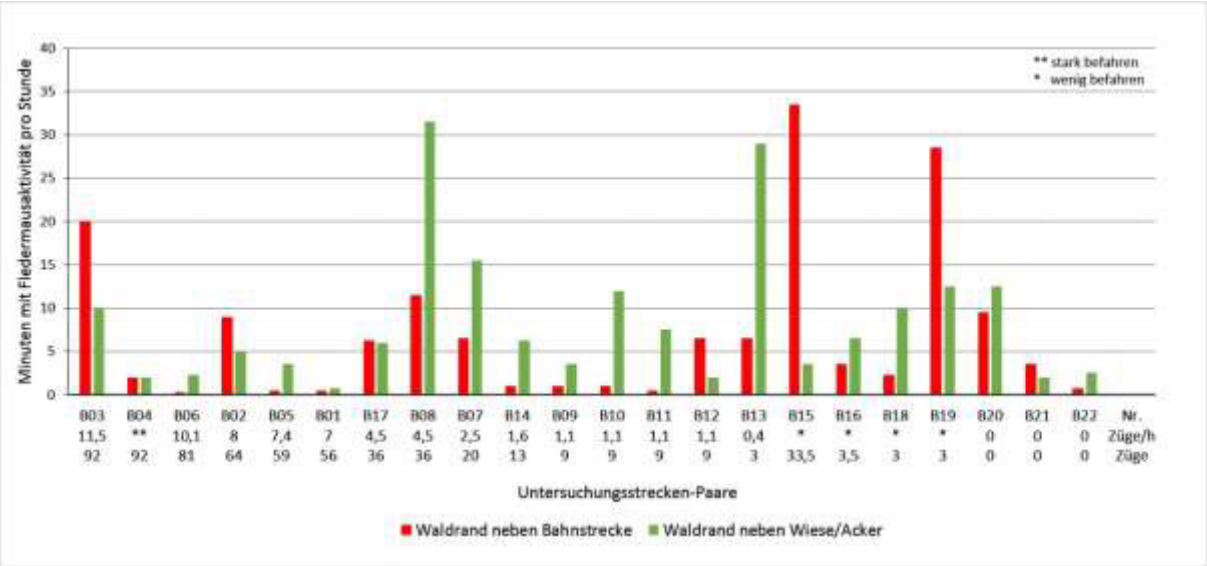


Abbildung 3-10: Paarvergleich durchschnittlicher Fledermausflugaktivitäten entlang von Waldrändern neben Bahnstrecken *versus* Waldrändern an Vergleichsplätzen (Auflistung von links nach rechts mit abnehmender Zugverkehrsdichte)

Bei allen Untersuchungsstellen dominierten zumeist Fledermäuse der Gattung *Pipistrellus*, gefolgt von *Nyctalus/Eptesicus. Myotis/Plecotus* trat nur an einer stillgelegten Bahnstrecke (B20) einmal als zweithäufigste Gruppe auf, war ansonsten eher selten an den untersuchten Waldrändern vertreten. Unterschiede der Artengruppen-Verteilung an Bahnstrecken und Vergleichsstandorten sowie an befahrenen und unbefahrenen Streckenabschnitten konnten bis auf eine Ausnahme nicht statistisch abgesichert werden (Wilcoxon Paarvergleichstests). Eine im Mittel etwas häufigere Präsenz an den Vergleichsstandorten (6,1 ± 6,8 min/h) als an den unter Zugverkehr stehenden Trassenbereichen (3,9 ± 7,7 min/h; $p < 0{,}02$) zeigte sich einzig bei Zwergfledermäusen und ihren Geschwisterarten (*Pipistrellus spec.*, vgl. Abbildung 3-11).

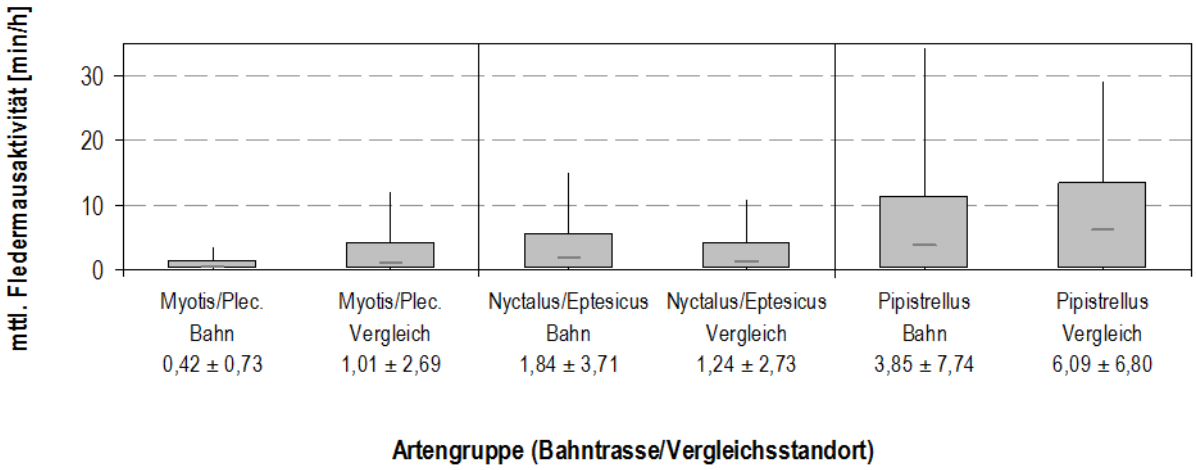


Abbildung 3-11: Vergleich der Fledermausakivität dreier Artengruppen an Bahnstrecken mit nächtlichem Zugverkehr mit Vergleichsstandorten

(n = 18; Mittelwerte ± Standardabweichung und Datenbereich)

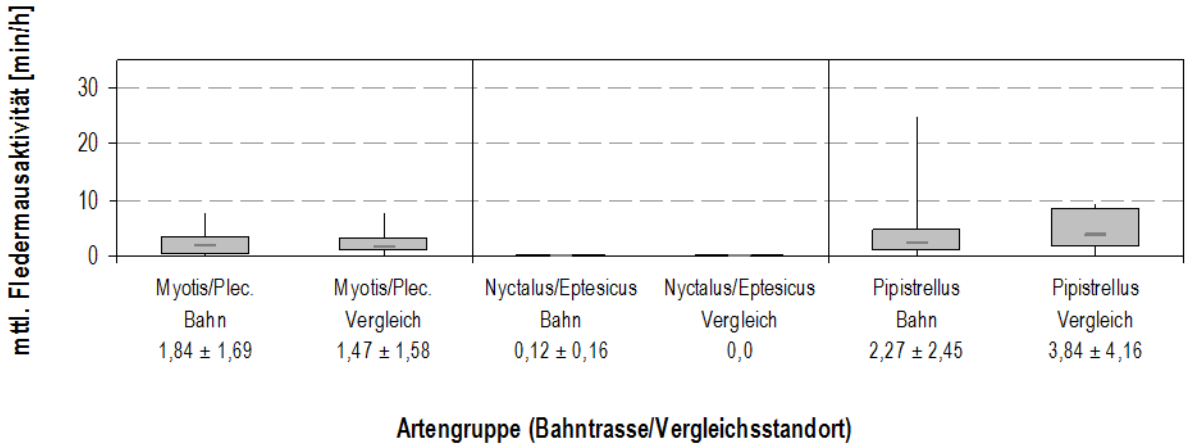


Abbildung 3-12: Vergleich der mittleren Fledermausaktivität dreier Artengruppen an Bahnstrecken ohne nächtlichen Zugverkehr mit Vergleichsstandorten

(n = 4; Mittelwerte ± Standardabweichung und Datenbereich)

Getestet wurde zudem, ob die Fledermausaktivität an bahnparallelen Waldrändern von der Häufigkeit vorbeifahrender Züge beeinflusst wird, vgl. Abbildung 3-13. Als Maßzahl diente die durchschnittliche Präsenzdauer aller nächtlichen Züge auf einer Länge von 200 m an den einzelnen Kontrollstrecken. In die Präsenzdauer floss neben der Anzahl der Züge auch ihre Länge und Fahrgeschwindigkeit mit ein (vgl. Tabelle 3-2). Für alle Arten ergab dies zwar eine signifikante Korrelation (Spearman-Rangkorrelation $r_s = 0{,}49$; $n = 18$; $p < 0{,}025$), aber nur eine schwache Tendenz. Die Differenzierung in die drei Artengruppen, *Nyctalus/Eptesicus, Pipistrellus und Myotis/ Plecotus* ergab keine signifikante Abhängigkeit (alle nicht signifikant).

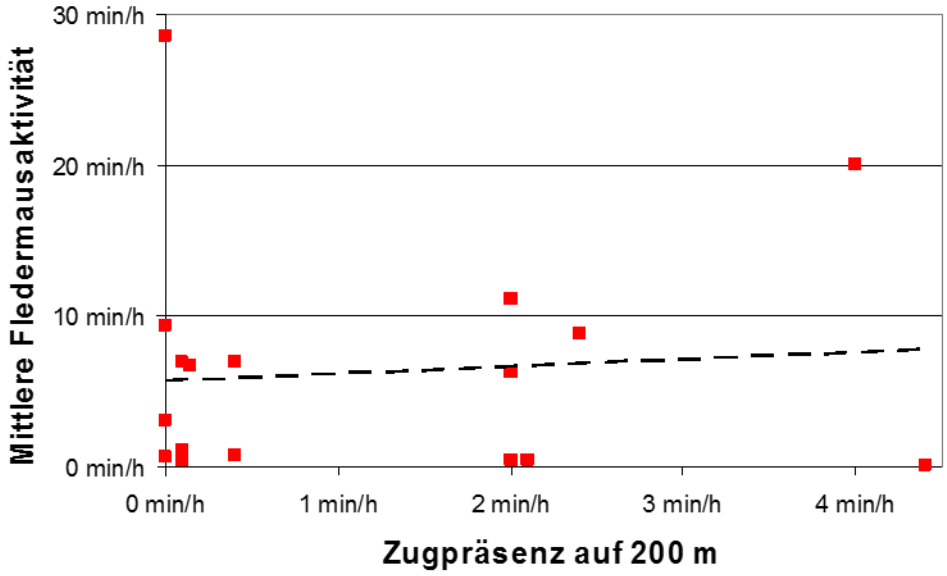


Abbildung 3-13: Vergleich von mittlerer Fledermausaktivität und mittlerer Zugdurchfahrtsdauer an 18 Bahnstrecken (zu denen Zugdaten vorlagen)

Ein weiterer Test betrifft die mögliche Einflussnahme der jeweiligen Trassenbreite der Bahnstrecken auf die Intensität von Fledermausflügen an ihren bewaldeten Rändern. Hierbei zeigte sich, dass eingleisige Streckenbereiche am stärksten beflogen wurden (Vergleich eingleisiger mit zweigleisigen Trassen: 10,9 ± 12,8 min/h *versus* 6,0 ± 6,3 min/h; U-Wert = 14,5, $\hat{U}_{8,13} = 28$; $p < 0,05$). Dabei war es unerheblich, ob an den eingleisigen Trassen Zugverkehr herrschte oder ob nicht (11,3 ± 15,0 min/h *versus* 10,5 ± 15,0 min/h; nicht signifikanter Unterschied beim U-Test: U-Wert = 7,5, $\hat{U}_{4,4} = 1$; $p > 0,05$).

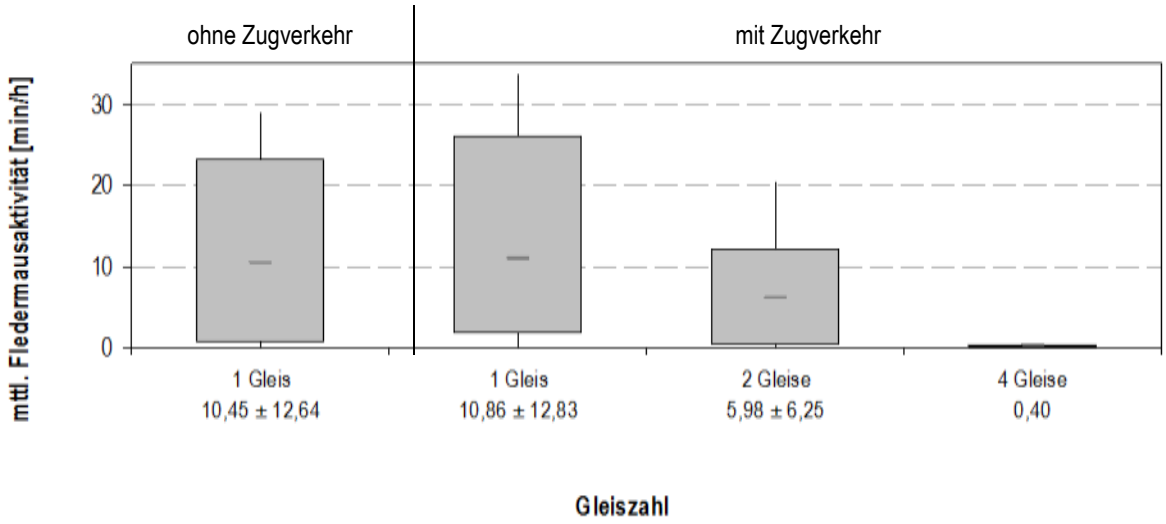


Abbildung 3-14: Vergleich von mittlerer Fledermausaktivität und Trassenbreite der untersuchten Bahnstrecken

(Mittelwerte ± Standardabweichung und Datenbereich)

3.3.2 Untersuchungen im Gebiet Zellingen (ZE)

3.3.2.1 Vergleich bahnnaher und bahnferner Untersuchungsflächen

Basierend auf den Daten der Detektorkartierung und der Horchboxen wird die Nutzungsintensität des Waldrandes bzw. Waldes durch Fledermäuse in Abhängigkeit von der Entfernung zur Bahnstrecke verglichen.[14]

Waldrand

Waldränder, die fern der Bahnstrecke (WRf) liegen, weisen gegenüber Waldrändern nahe der Bahntrasse (WRn) signifikant mehr Fledermaus-Flugaktivität auf (U = 1602; p = 0,007; n = 132), vgl. Abbildung 3-15. Diese Unterschiede beruhen insbesondere darauf, dass Arten der Gattung *Myotis* an Waldrändern ohne Trasseneinfluss signifikant öfter erfasst wurden *(Myotis*: U = 1569; p = 0,0005; n = 132), vgl. Abbildung 3-16. Der Anteil jagender Individuen ist relativ gering (gegenüber Durchflügen anhand der so genannten „Final Buzzes“ identifiziert) und erklärt die Unterschiede nicht (nicht signifikant, Vier-Felder-Tafel; Chi²-Wert = 0,948; p = 0,330).

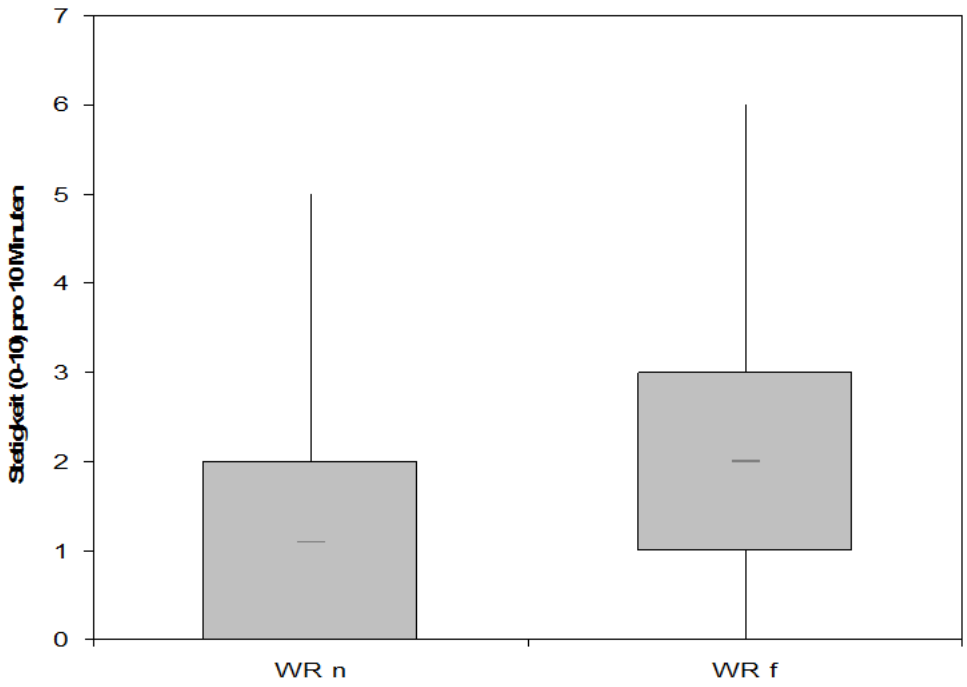


Abbildung 3-15: Fledermausaktivität 2005 an Waldrändern: trassennah (WRn) und trassenfern (WRf)

(Mittelwerte ± Standardabweichung und Datenbereich)

[14] Fledermäuse nutzen in einer Nacht verschiedene Jagdhabitate (vgl. ZAHN et al. 1998). Da während der Erfassungsnächte ein rotierendes Verfahren angewendet wurde, sollten Verteilungsunterschiede nicht auf den zeitlichen Faktor zurückzuführen sein. Verteilungsunterschiede auf Grund der unterschiedlichen Begehungszeiten waren in den Transekten beider Untersuchungsjahre nicht signifikant (2005: K = 0,302; p = 0,960; n = 264; 2006: K = 2,001; p = 0,572; n = 80).

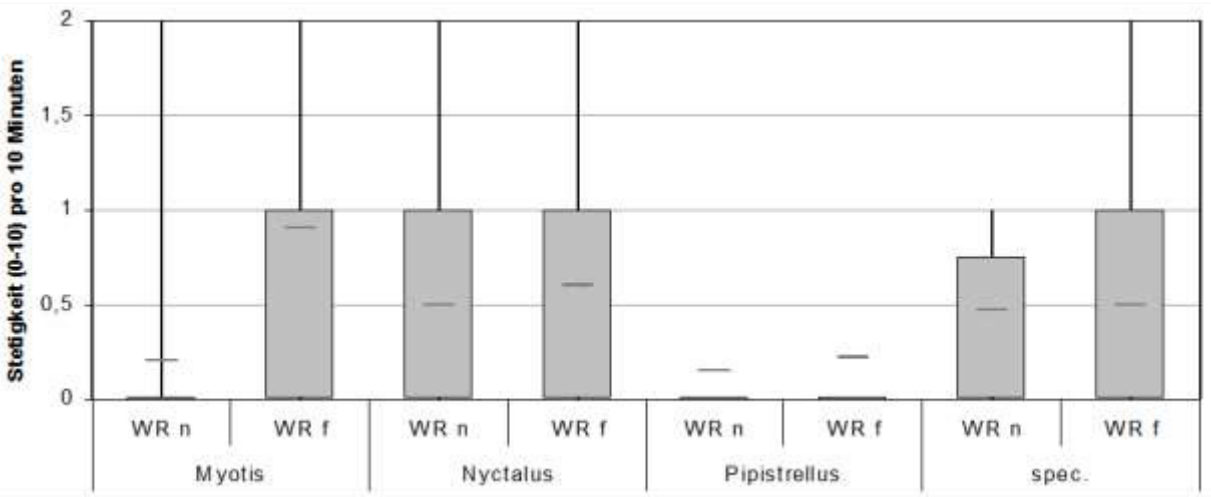


Abbildung 3-16: Fledermausaktivität 2005 an Waldrändern: trassennah (WRn) und trassenfern (WRf), differenziert nach Artengruppe

(Mittelwerte ± Standardabweichung und Datenbereich)

Wald

Die Nutzungsintensität im trassennahen Wald (Wt_n) und in 100 Meter (Wt_f) Entfernung zum Waldrand wurde in 2005 ein erstes Mal vergleichend untersucht und in 2006 wiederholt (s.u.). In beiden Jahren sind sowohl die Gesamtaktivität der bahntrassennahen wie der trassenfernen Untersuchungsflächen im Wald nicht signifikant[15] verschieden. Dasselbe trifft auf die Aktivitätsminuten/Artengruppe zu.

In 2006 wurde zur Absicherung des Ergebnisses ein weiterer Vergleich der Wälder mit Referenzstandorten in einem Wald angestellt, der weit entfernt einer Bahntrasse liegt (W_f). Ziel war auszuschließen, dass der als „bahnfern mit Trasse“ eingeordnete Standort Wtf, der ca. 100 m von der Trasse im Wald liegt, doch noch einem möglichen Störeinfluss der Bahn unterliegen könnte. Auch in diesem Vergleich wurden aber keine signifikanten Verteilungsunterschiede festgestellt (Gesamt-Aktivität K = 0,196; p = 0,978; n = 80) und auch bezüglich der an Waldrändern selteneren Artengruppe *Myotis* bestehen keine Unterschiede.

[15] Untersuchungsjahr 2005: Gesamtstetigkeit: U = 2107,5; p = 0,732; n = 132; *Myotis:* U = 2078; p = 0,540; n = 132; *Nyctalus*: U = 2350; p = 0,280; n = 132; *Pipistrellus*: U = 2178,5; p = 1,0; n = 132; *spec.*: U = 1913; p = 0,1; n = 132). Im Wald wurde in 25 Meter Entfernung zur Trasse durchschnittlich alle 14-15 Rufe ein Final Buzz notiert, in 100 Meter Entfernung dagegen alle 7-8 Rufe (nicht-signifikant, Chi^2-Wert = 1,396; p = 0,237).

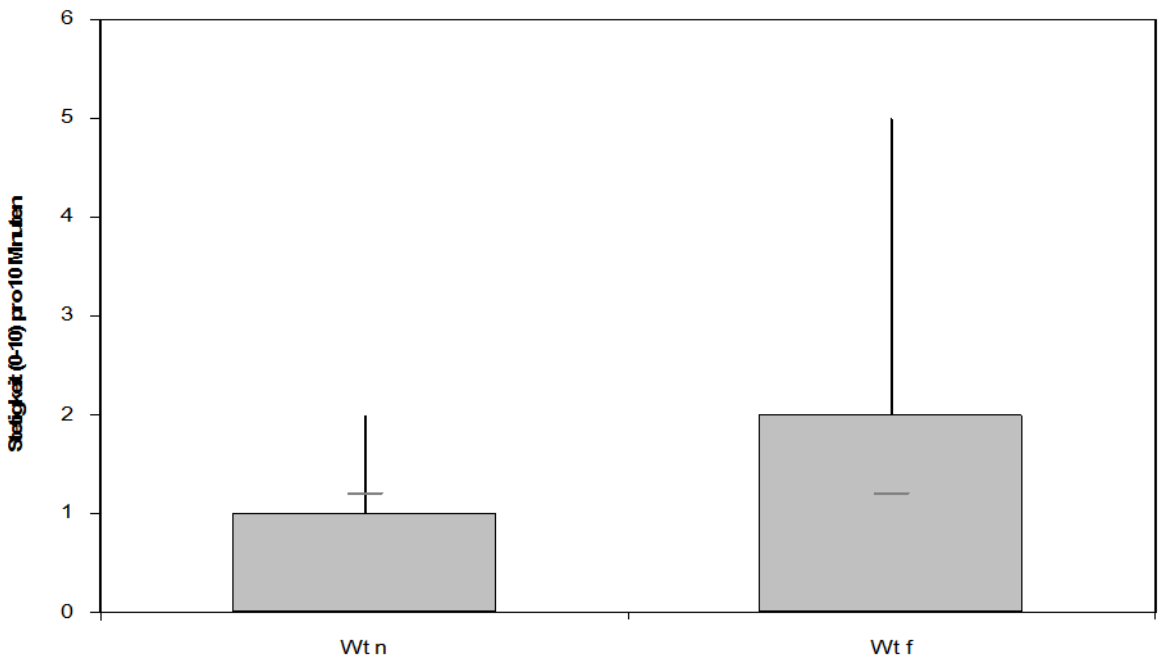


Abbildung 3-17: Fledermausaktivität im Waldinnenbestand: trassennah in 25 Meter Entfernung vom Waldrand, Wt_n, bzw. trassenfern in 100 Meter vom Waldrand, Wt_f (Untersuchungsjahr 2005)

(Mittelwerte ± Standardabweichung und Datenbereich)

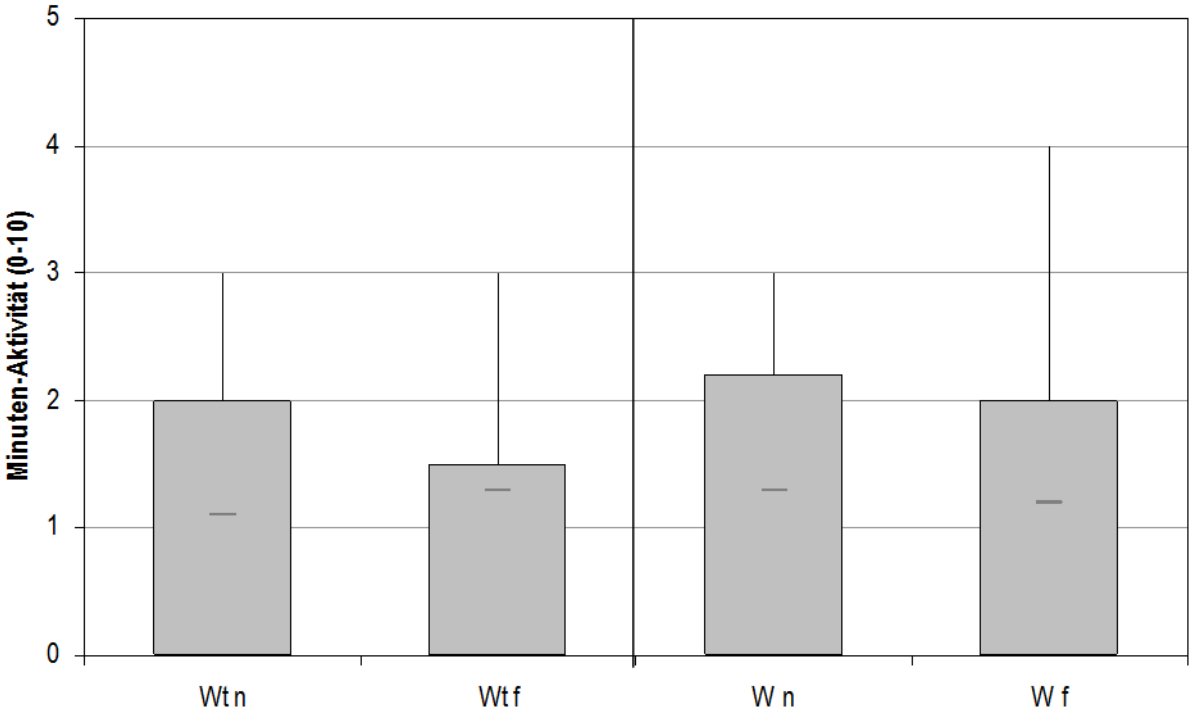


Abbildung 3-18: Fledermausaktivität in trassennahen (linkes Säulenpaar) und trassenfernen (rechtes Säulenpaar) Wäldern: jeweils 25 m vom Waldrand (Wt_n, W_n) im Wald, bzw. 100 m vom Waldrand (Wt_f, W_f) entfernt (Untersuchungsjahr 2006)

(Mittelwerte ± Standardabweichung und Datenbereich)

Nachfolgende Abbildung 3-19 zeigt die Ergebnisse der nach dem gleichen Versuchsschema aufgebauten Horchboxen. Die Zahl der Fledermauskontakte variiert zwischen den einzelnen Untersuchungsflächen und über die Untersuchungswiederholungen stark. Insgesamt ergibt sich aber dieselbe Verteilung wie nach den Punkt-Stop-Kartierungen: die trassennahen Standorte am Waldrand (WR_n) weisen eine (aufgrund der Varianz allerdings nicht-signifikante) geringere Fledermausaktivität auf als der trassenferne Waldrand (WR_f). Auch zwischen trassennahem Wald (Wt_n) und trassenfernem Wald (Wt_f) existieren nur geringe Unterschiede.

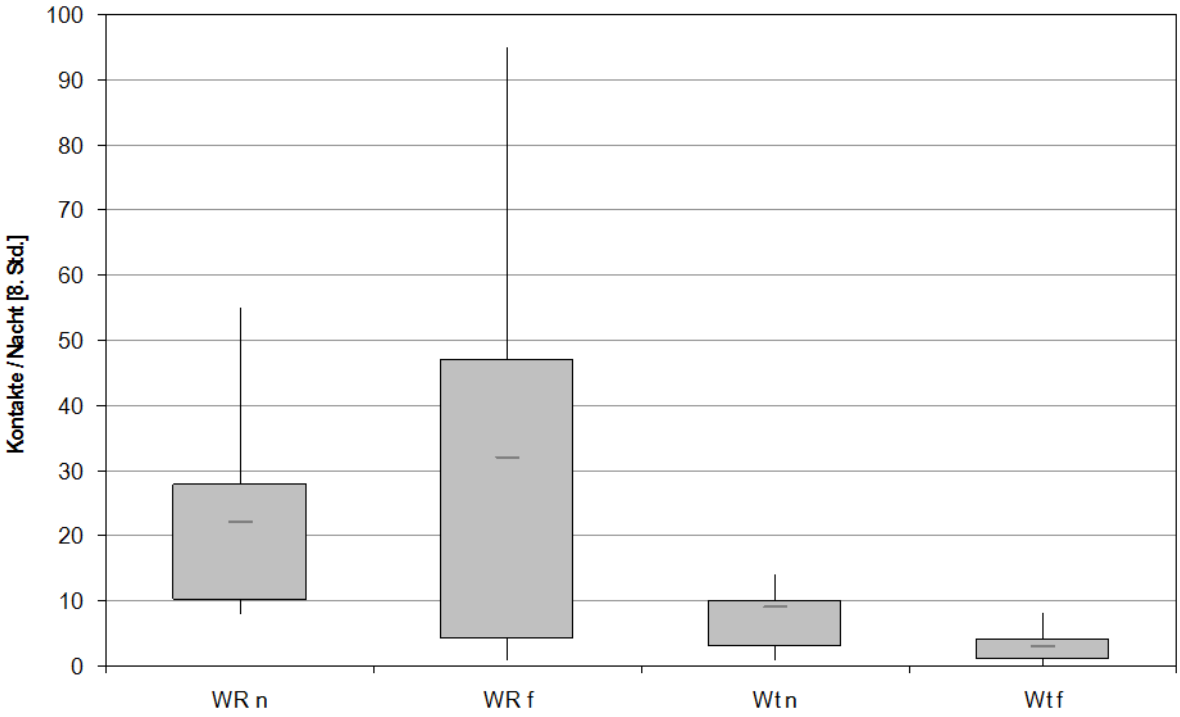


Abbildung 3-19: Fledermausaktivität nach Ergebnissen der Horchboxen (Waldrand trassennah (WR_n), trassenfern (WR_f), im trassennahen Wald in 25 Meter (Wt_n) und in 100 Meter Entfernung zum Waldrand (Wt_f)

(Mittelwerte ± Standardabweichung und Datenbereich)

3.3.2.2 Wirkung der Zugpräsenz / -absenz

Der Vergleich der Fledermaus-Aktivität während der Zugdurchfahrt mit den Phasen ohne Zugpräsenz sollte Aufschluss geben, ob Aktivitätsunterschiede primär auf den Zugeinfluss oder auf den Einfluss der Bahntrasse (mögliche Effekte der Waldrandsituation bzw. der Schneise mit spezifischen abiotischen oder biotischen Merkmalen) zurückzuführen sind. Ein Zugeinfluss auf die Präsenz von Fledermäusen ist jedoch nicht nachweisbar. Wird nur das Zeitfenster der „Minute“ herangezogen, in dem der Zug den Detektor passiert, ergeben sich keine signifikanten Unterschiede: in 67 Minuten Zugpräsenz wurden 12 Fledermauskontakte erfasst (= 0,18 Kontakte pro Minute), denen 67 Kontakte in 593 zugfreien Minuten (= 0,11 Kontakte pro Minute) gegenüberstehen (nicht signifikant, Chi^2-Wert = 1,876; p = 0,171). Wird das Zeitfenster für die Stichprobe „Zugdurchfahrt“ auf 3 Minuten erweitert, weil aufgrund der Detektormessungen der herannahende und sich danach entfernende Zug die Probestelle mehrere Minuten durch hochfrequente Schallemission beeinflussen könnte, ergibt sich auch kein anderes Ergebnis: in 172 Minuten Zugeinfluss wurden 21 Fledermauskontakte erfasst (= 0,12 Kontakte pro Minute), denen 58 Kontakte in 488 Minuten ohne Zugeinfluss (= 0,12 Kontakte pro Minute) gegenüberstehen (nicht-signifikant, Chi^2-Wert = 0,010; p = 0,921).

Da an jeder Untersuchungsstelle, auch im Wald, die vorbeifahrenden Züge registriert wurden, ließ sich auch eine Auswertung für die Standorte Wt_n und Wt_f vornehmen. Auch hier sind keine Einflüsse nachweisbar, weder durch Zugpräsenz auf 1-min-Basis (Wt_n: Chi^2-Wert = 0; p = 1; Wt_f: Chi^2-Wert = 0,003; p = 0,955) noch durch Lärmentwicklung im Vor- und Nachlauf auf 3-min-Basis (Wt_n: Chi^2-Wert = 0,945; p = 0,331; Wt_f: Chi^2-Wert = 0,247; p = 0,620).

3.3.2.3 Einfluss des Insektenangebotes

Da die Insektenaktivität stark von den klimatischen Bedingungen abhängig ist, wurde neben der Insektenflugzählung auch die Temperatur betrachtet. Der Insektenflug korrelierte mit den vor Ort gemessenen Temperaturwerten in beiden Untersuchungsjahren (Spearman-Rang-Korrelation, Signifikanzniveau 0,05: 2005: $R^2 = 0,233$; $p < 0,0001$; n = 264; 2006: $R^2 = 0,316$; $p < 0,001$, n = 80). Die Fledermausaktivität wiederum korrelierte im Untersuchungsjahr 2006 mit den vor Ort gemessenen Temperaturwerten, im Untersuchungsjahr 2005 jedoch nicht (2005: $R^2 = 0,012$; p = 0,074; n = 264; 2006: $R^2 = 0,050$; p = 0,046, n = 80).

Die verschiedenen Waldränder (WR) differierten im Untersuchungsjahr 2005 hinsichtlich des Insektenfluges signifikant (Fishers F-Test F = 5,681; p = 0,019; n = 132). Innerhalb der Waldinnenbestände waren dagegen in 2005 zwischen Wt_n und Wt_f keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Insektenfluges feststellbar (F = 0,105; p = 0,746; n = 132). Auch in 2006 fehlten Unterschiede bezüglich der in dem Jahr untersuchten trassennahen und trassenfernen Waldprobestellen (Wt_n/Wt_f: F = 0,187; p = 0,668; n = 40; W_n/W_f: F = 1,568; p = 0,218; n = 40; Wt_n/W_n: F = 0,910; p = 0,346; n = 40; Wt_f/W_f: F = 0,051; p = 0,823; n = 40).

Tabelle 3-4: Gemessene Temperatur der Beobachtungsnächte [°C] und geschätzte Insektenaktivität [Mittelwerte pro Nacht], Registrierung 2 m über Grund

	Datum	Ø Temperatur (°C)	Insekten/Probe (Ø pro Nacht)
2005:	08.06.05	11,5	0,5
	09.06.05	11,0	0,8
	13.06.05	12,8	2,0
	14.06.05	14,0	1,5
	22.06.05	19,5	2,7
	23.06.05	19,0	2,4
	26.06.05	18,8	2,3
	27.06.05	20,5	2,7
	08.07.05	12,5	1,3
	09.07.05	15,0	1,9
	10.07.05	18,8	2,1
	11.07.05	17,5	2,0
	26.07.05	16,5	1,7
	27.07.05	21,6	2,2
	16.08.05	14,0	1,3
	17.08.05	15,8	1,4
2006:	13.06.06	17,8	1,6
	21.06.06	16,8	2,1
	14.07.06	16,2	1,8
	22.07.06	23,0	2,3
	16.08.06	15,4	1,1

3.3.3 Untersuchungen im Gebiet Elzer Wald (EW)

Das zusammenfassende Ergebnis der Punkt-Stop-Kartierungen im Elzer Wald zeigt eine nahezu gleichförmige Verteilung der Rufaktivität entlang der Waldränder sowie innerhalb der Forstabteilungen an den untersuchten waldrandnahen Standorten (Abbildung 3-20). Die vorherrschend kartierte Fledermausart war die Zwergfledermaus (*Pipistrellus Pipistrellus*). Die mittlere Fledermausaktivität war in diesem Untersuchungsgebiet vergleichsweise hoch. An den untersuchten Waldrändern lag sie mit 25,6 ± 4,4 min/h signifikant höher als innerhalb der Waldbestände mit 21,2 ± 4,3 min/h (Vier-Felder-Test; Chi²-Wert = 20,37; $p < 0,001$).

Die Waldränder entlang der beiden Bahnstrecken, (a) ausschließlich ICE-3 und (b) Regionalbahn mit Dieseltraktion, unterschieden sich nicht in der Häufigkeit vorbeifliegender Fledermäuse und auch nicht zu den Waldrändern ohne Verkehrsweg davor. Entlang der Autobahn flogen Fledermäuse mit der im Gebiet größten registrierten Häufigkeit (im Durchschnitt 31,7 min/h), was sich gegenüber den verkehrsfreien Untersuchungsstellen (1x Waldaußenrand und 3x Waldinnenrand vor Wiesen mit und ohne Bachlauf sowie Segelflugplatz) deutlich abhob (23,8 min/h durchschnittlich; Vier-Felder-Test; Chi²-Wert = 10,1; $p = 0,002$).

Bei den Untersuchungsstellen innerhalb der Waldflächen ließen sich keine Unterschiede zwischen den trassennahen (ca. 25 m Abstand zum Waldrand), resp. trassenferneren (ca. 100 m Abstand zum Waldrand) Standorten ermitteln. Die Fledermausaktivität war 100 m von den verkehrswegfreien Waldrändern entfernt am höchsten (17,0 min/h nach 25 m *versus* 30,0 min/h nach 100 m; Vier-Felder-Test; Chi²-Wert = 11,8; $p < 0,001$).

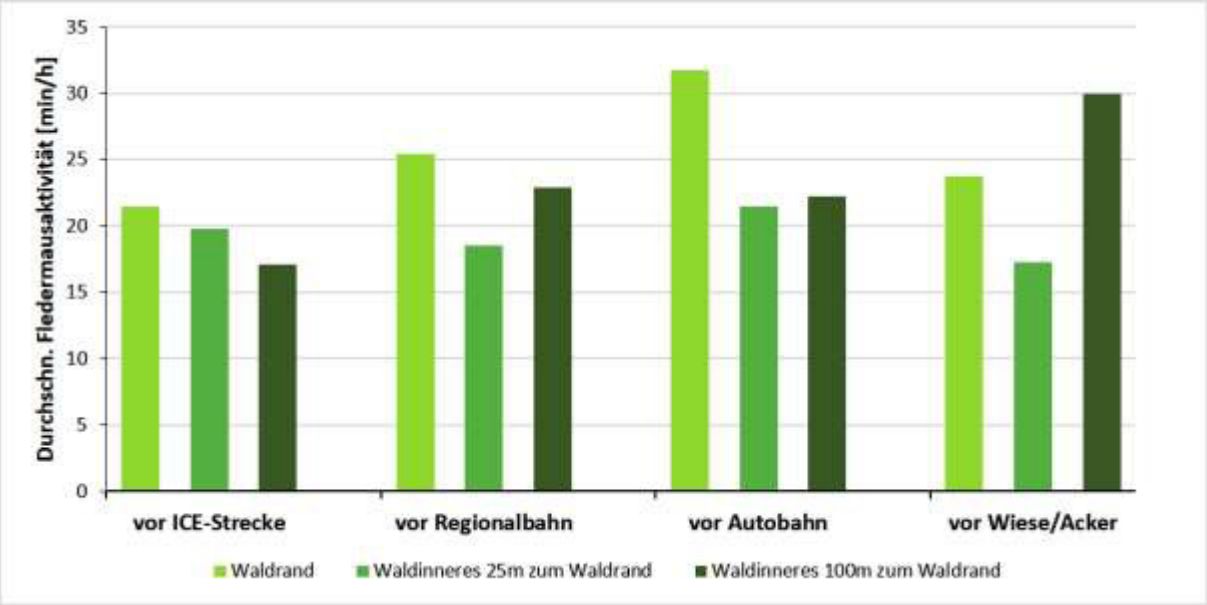


Abbildung 3-20: Fledermausaktivitäten an verschiedenen Standorten im Elzer Wald in unterschiedlichen Distanzen zum Verkehrsweg (Punkt-Stop-Kartierung 2005 und 2006)

3.3.4 Untersuchungen im Gebiet Kamp-Bornhofen (KB)

Bei Kamp-Bornhofen wurde entlang der Bahnstrecke eine deutlich intensivere Fledermausaktivität registriert als an den Bahnstrecken-ferneren Kontrollpunkten an Waldrändern vor Wiesenflächen (21,8 min/h *versus* 6,5 min/h; Vier-Felder-Test; Chi²-Wert = 21,1; $p < 0,001$). In beiden Fällen waren es hauptsächlich Zwergfledermäuse und Große Mausohren, die aus den Detektoraufnahmen und bei Sichtbeobachtungen bestimmt werden konnten. Die Verteilung der Tiere innerhalb des Baumbestandes im Steilhang neben der Bahntrasse war mehr oder weniger gleichförmig. Auch die unterschiedliche Situation mit einerseits viel Zugverkehr und andererseits ein nur sehr eingeschränktes Zugaufkommen führte nicht zu einer nachweisbaren Veränderung im Verteilungsmuster der Tiere (vgl. Abbildung 3-21).

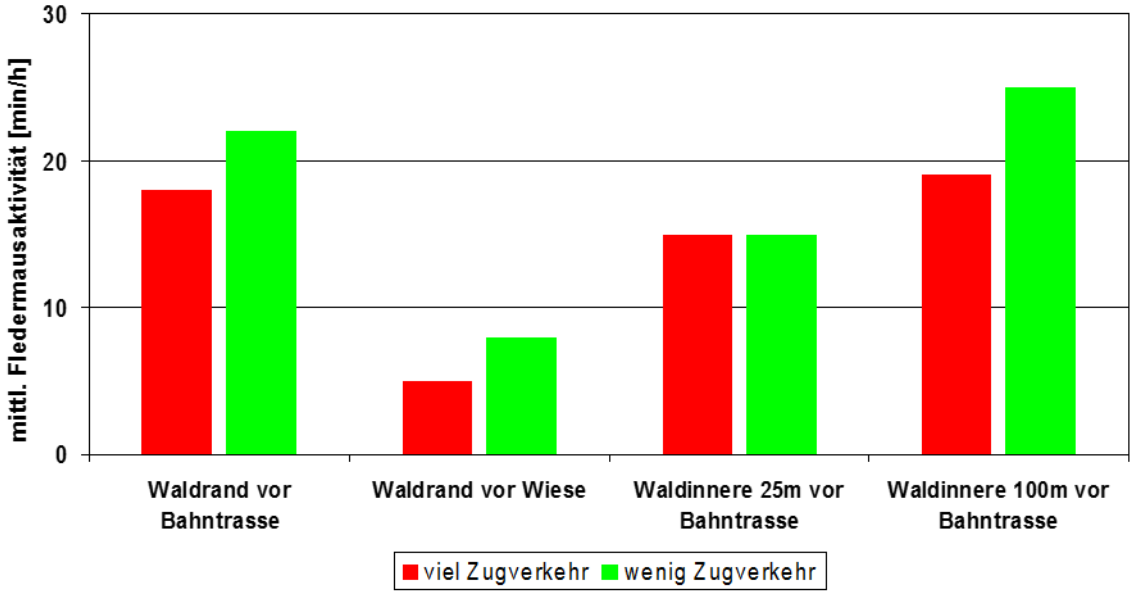


Abbildung 3-21: Fledermausaktivitäten anhand der Punkt-Stop-Kartierung 2005 im Untersuchungsgebiet bei Kamp-Bornhofen

Ein Vergleich zur Präsenz von Fledermäusen in Beobachtungsminuten mit bzw. ohne gleichzeitigen Zugverkehr bei der Punkt-Stop-Kartierung zeigt Abbildung 3-22. Im Mittelrheintal waren Beobachtungsminuten ohne Zugverkehr häufiger als solche mit Zugverkehr. Es wurden hier in 6% aller Minuten zur Fledermausbeobachtung gleichzeitig auch Züge registriert. Für die weitere Auswertung von Bedeutung war die Beobachtung, dass auch hier (wie in Zellingen) bereits vor dem eigentlichen Erscheinen eines Zuges über einen längeren Zeitraum vorauseilende, anschwellende Schienenlaufgeräusche wahrnehmbar waren. Entsprechende abschwellende Nachlaufgeräusche verlängerten die jeweiligen Schallereignisse noch einmal deutlich gegenüber der Zeitdauer der eigentlichen Präsenz des Zuges. Deshalb erschien es sinnvoll, bei einem Vergleich zur Beobachtung von Fledermausaktivität in zugfreien Zeiträumen und solchen, ohne gleichzeitig vorbeifahrenden Zug, die mögliche Wirkungsdauer der Züge ausreichend zu berücksichtigen. Für die Darstellung in Abbildung 3-22 wurde dazu ein 3-Minuten-Zeitfenster gewählt. Die Unterschiede der Fledermausflugaktivität ohne gleichzeitigen Zugverkehr waren im Untersuchungsgebiet KB bei allen Kontrollstellen gleichgerichtet. In unmittelbarer Trassennähe und bis zu 25 m davon entfernt war dieser Effekt höher als im angrenzenden Waldbestand bei 100 m Entfernung. Allerdings sind diese Unterschiede nicht signifikant (Vier-Felder-Chi²-Test).

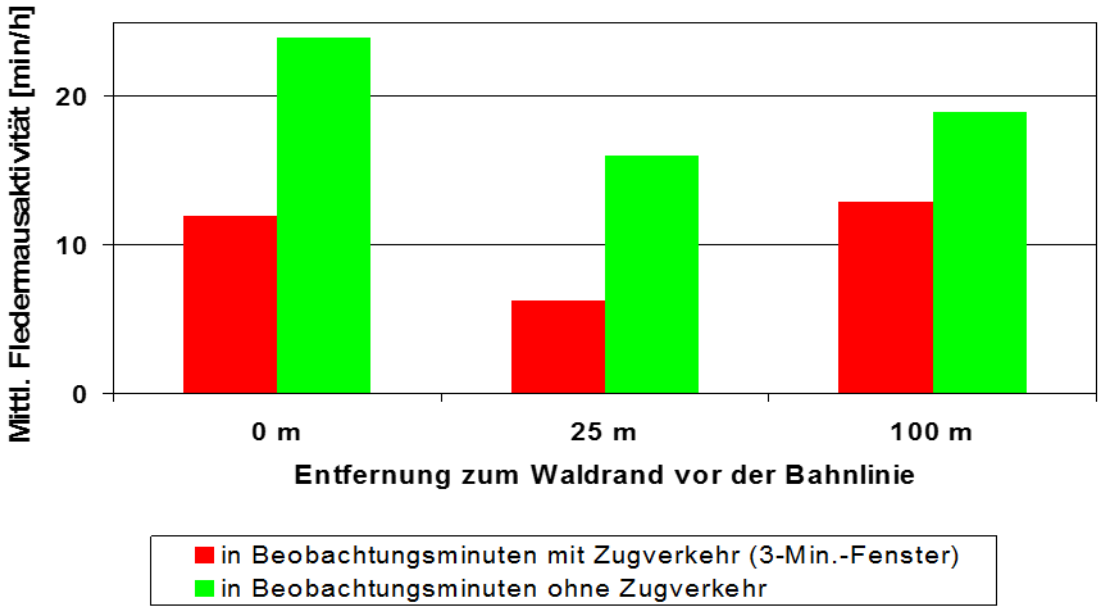


Abbildung 3-22: Fledermausaktivitäten bei der Punkt-Stop-Kartierung 2005 im Untersuchungsgebiet KB, mit und ohne Zugvorbeifahrt

3.4 Diskussion

3.4.1 Methodenkritische Auseinandersetzung

Die situative Anpassung der Fledermausortungsrufe unterschiedlicher Fledermausarten an verschiedene Habitatstrukturen macht Artunterscheidungen anhand der Detektoraufzeichnungen vielfach unsicher. Artnachweise allein aufgrund des „Höreindrucks“ hängen wesentlich von der Erfahrung des jeweiligen Kartierers mit seinem Detektor und des ihm vertrauten Naturraums ab. Derartige Bestimmungen liefern nur begrenzt zwischen verschiedenen Untersuchungsgebieten vergleichbare, quantitative Daten. Dies gilt auch dann noch, wenn die Artnachweise aufgrund der beschriebenen Determinationsungenauigkeiten lediglich nach den relativ sicher differenzierbaren Arten(gruppen) unterschieden wurden, zum Beispiel auf Gattungsniveau, und durch computergestützte Frequenzanalysen von Einzelaufnahmen und automatischen Rufaufzeichnungen untermauert werden. Aufgrund der unterschiedlichen Lautstärke, mit der die verschiedenen Arten ihre Rufe abgeben einerseits, andererseits der begrenzten Empfindlichkeit der Geräte, können leise rufende Arten beispielsweise im Inneren von Waldbeständen unterrepräsentiert sein. Laute(re) Arten, die am Waldrand entlang fliegen, werden gegebenenfalls auch innerhalb des waldrandnahen Baumbestandes noch aufgezeichnet. Zum Zeitpunkt eines vorbeifahrenden Zuges ist zudem die Lärmentwicklung so groß, dass zumindest in unmittelbarer Trassennähe ortende Fledermäuse für den Untersuchenden maskiert werden können. Ein Effekt, der die „leisen“ Arten wiederum besonders betreffen kann.

Vor dem Hintergrund der hier angestrebten Aussagen bleiben diese methodisch bedingten Einschränkungen aber folgenlos: Die Erfassungsmethodik des Paarvergleichs und die Stichprobengröße erlaubt quantitative Aussagen, die einen Vergleich zwischen den beprobten Standorten erlauben. Die vergleichsweise groben Unterscheidungen der Fledermausnachweise, z.B. auf Gattungsniveau, sind vertretbar und sinnvoll, da die Tiere zumeist ähnliche Habitatansprüchen und Verhaltensweisen zeigen.

Auch eine Diskussion der Ergebnisse ist in den dargestellten Grenzen auch im Hinblick auf gruppentypische Verhaltensmuster möglich.

3.4.2 Einfluss anlagenbedingter Faktoren an Bahnstrecken auf die Fledermausaktivität

Bahnstrecken durchschneiden Landschaften in ähnlicher Weise wie Autostraßen oder Energieversorgungstrassen (z.B. für Gas- oder Stromleitungen). Vor allem innerhalb geschlossener Wälder entstehen dadurch Schneisen unterschiedlicher Breite. Einerseits können diese für am Waldrand jagende Fledermäuse habitatverbindenden Charakter haben[16] oder selbst attraktive Habitate für Fledermäuse darstellen (CRAMPTON & BARCLEY, 1996, WEBER 2002). Dass Waldränder sogar stärker als der Waldinnenbereich von Fledermäusen frequentiert werden, wird z.B. durch die Untersuchungen in den Gebieten ZE und EW deutlich: an Waldrändern flogen im EW 20% und in ZE sogar annähernd 30% mehr Fledermäuse als im angrenzenden Waldbestand (ALTMEYER 2007). Und auch bei den Untersuchungen im Großraum Rhein-Main gab es zahlreiche Beispiele von Waldrändern neben Bahnstrecken mit hoher nächtlicher Frequentierung durch Fledermäuse (von bis zu 33,5 min/h im Durchschnitt zweier Beobachtungsnächte[17])

Andererseits durchschneiden Bahntrassen aber auch wichtige Fledermaushabitate, wie z.B. mosaikartige, von hoher Diversität geprägte Waldstrukturen, wie sie im Gebiet ZE allgemein gute Bedingungen für heimische Fledermäuse darstellen. Eine breite Schneise ist dort innerhalb geschlossener Wälder entstanden mit bis zu 90 m Breite. Stark strukturgebunden fliegende Fledermäuse könnten dadurch an Querungen gehindert werden. (Letzteres ist kein Spezifikum von Bahnstrecken und wird in Kap. 8 vertiefend diskutiert).

Die Nutzung des Umfeldes von Bahnstrecken durch fliegende Fledermäuse dürfte von verschiedenen strukturellen, auch bahnspezifischen Faktoren abhängen:

1) Abstand des Waldrandes von den Gleisen
2) Insektenaufkommen am Waldrand und im waldrandnahen Waldbestand (z.B. aufgrund mikroklimatischer Einflüsse, wie Kaltluftströme entlang unterschiedlich breiter Schneisen)
3) Oberleitungen als mögliches Querungshindernis an elektrifizierten Bahnstrecken.

Der Aspekt möglicher Beeinträchtigungen von Bahntrassenquerungen durch die Oberleitungen war keine spezielle Fragestellung des Forschungsprojektes. Die Einzelbeobachtungen im Untersuchungsgebiet ZE von trassenquerenden Großen Abendseglern unterhalb dieser Stromleitungen lassen kein Meideverhalten erkennen. Auch im Gebiet KB flogen Große Mausohren und Zwergfledermäuse regelmäßig unterhalb der Oberleitungen bahnstreckenparallel und über die dortige 2-gleisige Strecke.

Es wurde festgestellt, dass Waldränder entlang von Bahnstrecken sehr unterschiedlich von Fledermäusen frequentiert werden. So wurden im Großraum Rhein-Main eingleisige Streckenabschnitte durchschnittlich 1,8-mal häufiger beflogen als zweigleisige. Im einzigen viergleisigen Kontrollabschnitt (B01) war die Nutzung noch einmal deutlich geringer.

Die Paarvergleiche der Nutzung von Waldrändern zwischen bahntrassennahen und –fernen Kontrollstellen ergaben heterogene Ergebnisse: Im Untersuchungsgebiet EW wurden keine Unterschiede zwischen den Waldrändern unmittelbar neben den Bahnstrecken und anderen Waldrändern festgestellt.

[16] DENSE (1992) erwähnt beispielsweise die regelmäßige Nutzung streckenbegleitender Waldränder und Hecken entlang der Bahnlinie Osnabrück–Hannover durch von ihm telemetrierte Breitflügelfledermäuse, die ansonsten auch viel im offenen Luftraum in 15–20 m Höhe über dem Boden fliegen.

[17] Vgl. B15 in Abb. 3-10.

Im Großraum Rhein-Main zeigten dagegen Zwergfledermäuse (und andere, hier nicht differenzierte Arten der Gattung *Pipistrellus*) eine schwache Bevorzugung trassenferner Standorte und im Gebiet ZE war es die Gattung *Myotis*, die eine vergleichsweise geringere Fledermausaktivität (Stetigkeit) am Waldrand unmittelbar neben der Bahntrasse zeigte.

Es stellt sich insofern die Frage, welche Faktoren für die Verteilungsunterschiede an Waldrändern verantwortlich sind und ob bahnstreckennahe Waldränder generell als ungünstige Habitate anzusehen sind. Zur Erklärung dieser Verteilung können im Gebiet ZE Unterschiede in der Habitateignung insoweit ausgeschlossen werden, als dass sich auf dem Niveau der dort durchgeführten Habitatklassifikation (Habitattypenkartierung auf der Basis des CIR-Luftbildinterpretationsschlüssels, s. MESCHEDE & HELLER 2000) keine Unterschiede zwischen trassennahen und trassenfernen Waldrändern ergaben (ALTMEYER 2007). Auch das Mikroklima könnte für Verteilungsunterschiede zwischen trassennahen und trassenfernen Waldrändern in Betracht kommen: Bahntrassen sind als mikroklimatische Sonderstandorte bekannt (vgl. COWLES 1972, MADER 1979 u. 1981, LEX & WITTICH 2002). Sie sind im Allgemeinen wärmer und trockener, weil sich das Schotterbett aufheizt. Außerdem verschafft im Fall ZE die dortige Einschnittslage der Bahnstrecke einen Schutz vor Wind, ein wichtiger Faktor für lokal hohe Flugintensitäten von Fledermäusen (z.B. VERBOOM 1998). Temperaturmessungen ergaben jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen dem trassennahen und trassenfernen Waldrand.

Auf jeden Fall bestehen an den Vergleichsstandorten in ZE bezüglich des Nahrungsangebots Unterschiede: die Insektenflugaktivität an trassennahen Waldrändern war signifikant höher als an trassenfernen. Wie dargestellt, folgt dieser höheren Insektenhäufigkeit an Waldrändern nahe der Trasse aber keine höhere Fledermausaktivität, das Gegenteil ist der Fall. Insoweit entspricht dies nicht der Erwartung, wonach - entsprechend der allgemein als opportunistisch eingestuften Jagdstrategie vieler einheimischer Fledermausarten (z.B. MESCHEDE & HELLER 2000) - dort eine stärkere Jagdaktivität zu erwarten gewesen wäre, wo das Nahrungsangebot höher ist. Angesichts der Gesamtvarianz der Ergebnisse reicht diese Feststellung aber sicher nicht, um auf eine generelle Meidung des trassennahen Bereiches zu schließen, zumal die Aktivität im Vergleich zum Waldinnenbereich trotzdem hoch war.

Als Fazit bleibt festzuhalten, dass zwischen trassenfernen und trassennahen Waldinnenbeständen keine Unterschiede festgestellt werden konnten. Am Waldrand ist die Aktivität auch im trassennahen Bereich hoch, jedoch geringer als trassenfern. Die Unterschiede in Teilergebnissen zeigten je nach Untersuchungsstandort und betrachteter Fledermausartengruppe zudem gegenläufige Tendenzen. Daher sind gravierende anlagenbedingte Wirkungen auf die Fledermausaktivität der umliegenden Wälder auszuschließen und die Beeinflussung der Fledermäuse, die den trassennahen Waldrand nutzen, ist zwar nachweisbar, aber gering.

3.4.3 Einfluss betriebsbedingter Faktoren an Bahnstrecken auf die Fledermausaktivität

Im Gegensatz zu Autobahnen und anderen, auch nachts stark befahrenen Straßen mit mehr oder weniger kontinuierlichem Fahrzeugverkehr zeichnen sich Bahnstrecken in aller Regel durch einen eher lückenhaften Verkehrsfluss aus. Unregelmäßige Frequenzen ungleich langer Züge mit zusätzlich unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten sind das Charakteristikum des Zugverkehrs. Von der Deutschen Bahn AG recherchierte Daten zum gemittelten nächtlichen Zugaufkommen zeigen für einen definierten Streckenabschnitt von 200 Metern Länge selbst auf stark befahrenen Strecken nur bis 4,4 Minuten Durchfahrdauer pro Stunde bzw. bis zu 35 Minuten pro Nacht (= gemittelte, aufsummierte Zugpräsenzen, vgl. Tabelle 3-2). Ein Vergleich dieser Daten mit Fledermausaktivitäten an den entsprechenden Bahnstrecken aus dem Großraum Rhein-Main ergab auch kein einseitig gerichtetes Ergebnis.

Mögliche Wirkfaktoren, die das Vorkommen von Fledermäusen an Bahntrassen beeinflussen könnten, sind Schallemissionen, Luftverwirbelungen und Lichtemissionen (vgl. Kap. 2). Zwar sind die Schallmissionen an Schienenwegen erheblich. Die von SIEMERS & SCHAUB in Kap. 2 vorgestellten Verhaltensdaten wurden zunächst nur für Autobahnschall erarbeitet. Da Zugschall ähnlich ist, die ICE sogar in den mittleren Frequenzbereichen (~5 kHz bis ~30 kHz) lauter emittieren als Fahrzeuge auf der Autobahn, sind – bezogen auf den Moment der Vorbeifahrt – ähnliche Effekte zu erwarten.

Die Schallwirkung an der Trasse betrifft potenziell passiv ortende Fledermäuse, wie z.B. Bechsteinfledermaus oder Braunes und Graues Langohr. Passiv ortende Fledermäuse gelten als diesbezüglich empfindlichste Artengruppe (vgl. Kap. 2). Dennoch ist nicht auszuschließen, dass bei hohen Schallintensitäten und geringen Abständen der Waldränder zu Bahntrassen während der Zugdurchfahrten auch aktiv ortende Fledermäuse betroffen sind. Insoweit wäre an Waldrändern sehr nahe der Trasse der Jagderfolg gemindert und das Jagdgebiet weniger „attraktiv". In vorliegender Arbeit wurde festgestellt, dass Fledermäuse in ZE am Waldrand in Trassennähe mit einer signifikant geringeren Stetigkeit jagten (vgl. Abbildung 3-15). Dies gilt insbesondere für Arten der Gattung *Myotis* (vgl. Abbildung 3-16). Daraus könnte geschlossen werden, dass das weitgehende Fehlen der Gattung *Myotis* Zeichen einer Meidung der Zugtrasse ist.

Allerdings ist die Streckenauslastung bei Zugtrassen speziell bei der hier untersuchten ICE-Trasse weit von kontinuierlicher Befahrung entfernt, die im Labor-Verhaltensexperiment (siehe in Kap. 2) simuliert wurde. Insoweit wäre zu erwarten, dass, wenn wie im Labor gemessen, Meidungseffekte bestehen, die Fledermäuse die Bahntrasse bzw. den bahnnahen Bereich im Moment der Zugdurchfahrt verlassen und danach den Raum der Bahntrasse wieder nutzen. Vor diesem Hintergrund wurde untersucht, ob die Meidung vorrangig oder sogar ausschließlich während der Vorbeifahrt von Zügen auftrat. Eine entsprechende Meidung trassennaher Bereiche während der Vorbeifahrt eines Zuges war aber nicht erkennbar, weder im Vergleich verkehrsfreier Bahnstrecken im Großraum Rhein-Main mit befahrenen, noch im Gebiet KB beim Vergleich vor und während der befristeten Zugstreckensperrung. Auch die Auswertungen von Fledermausaktivitäten in 3-Minuten-Beobachtungsfenstern ergaben weder im Gebiet ZE noch im Gebiet KB einen signifikanten Unterschied zwischen Bahndurchfahrt und freier Strecke.

Weitere Aspekte, die direkt an Bahnstrecken herrschen, sind Luftverwirbelungen, die unter dem Fahrzeug als Sog, neben dem Fahrzeug als Grenzschichtströmung und hinter dem Fahrzeug als Nachlaufströmung entstehen (Quelle: TU Darmstadt, Inst. Prof. A. Binder, FB 18). Diese Luftbewegungen im Schienenverkehr können u. U. zum Tode von Fledermäusen (vgl. Kap. 6.2)[18] oder zur Vertreibung führen. Auch Lichtemissionen treten an freien Bahnstrecken auf, durch die Scheinwerfer der Fahrzeuge und durch mögliche Lichtblitze in den Oberleitungen. Obwohl die Arten teilweise als diesbezüglich empfindlich gelten (bzgl. Licht z.B. ALDER 1993, RYDELL et al. 1995), können diese Wirkungen die festgestellten Verteilungsunterschiede am Waldrand nicht erklären. Schließlich treten diese Wirkungen in derselben diskontinuierlichen Weise auf wie die Schallemissionen, nämlich nur während der Vorbeifahrt. Dass Fledermausindividuen während der Zugdurchfahrt die Trasse meiden, konnte aber nicht bestätigt werden. Fazit ist auch hier, dass nahe an der Bahnstrecke nur geringe Unterschiede der Fledermausaktivität feststellbar waren. Die Unterschiede sind insgesamt zu gering, als dass sie mit den genannten Effekten, die wiederum diskontinuierlich auftreten, in einen Zusammenhang gebracht werden könnten.

[18] Vgl. a. nachweisliche Schlagopfer an Windenergieanlagen, deren Körper Verletzungen aufweisen, die durch starke Luftdruckunterschiede entlang rotierender Windanlagenpropeller(spitzen) auftreten (s. z.B. RODRIGUES et al. 2008).

4 Zerschneidungswirkungen von Autobahnen auf Bechstein- und Mopsfledermäuse

4.1 Einführung, Zielsetzung

Zerschneidungswirkungen von Autobahnen wurden an Kolonien mit enger Waldbindung bei Würzburg an der Autobahn A3 und an Kolonien in fragmentierten Feld-Wald-Landschaften in der Eifel bei Trier an der A1/A60 untersucht. Als Zielarten wurden Mopsfledermaus und die Bechsteinfledermaus ausgewählt, da ihre unterschiedlichen ökologischen Ansprüche beispielhaft für andere waldlebende Fledermausarten stehen (MESCHEDE & HELLER 2000). Zudem sind beide Arten in Deutschland gefährdet (Mopsfledermaus: RL 1/vom Aussterben bedroht, Bechsteinfledermaus RL 3/gefährdet) und streng geschützt (Anhang II und IV FFH-RL). Für Planungsvorhaben im Verkehrswegebau besitzen sie deshalb eine sehr hohe Relevanz. Beobachtungen von anderen Fledermausarten wurden mit ausgewertet, soweit sie von Bedeutung für die Fragestellung zur Zerschneidungswirkung von Autobahnen waren.

Die Autobahn A3 zerschneidet den Guttenberger Wald seit ca. 50 Jahren (Verkehrsfreigabe um 1955). Zurzeit ist sie vier- bis sechsspurig und weist eine sehr hohe Verkehrsbelastung auf (DTV > 80.000). Ab 2007 wird die Autobahn A3 im Bereich des Guttenberger Waldes auf sechs bis acht Fahrspuren erweitert. Im Freiland wurde der Einfluss der Autobahn A3 auf das Quartiernutzungs- und Jagdverhalten von Bechstein- und Mopsfledermäusen untersucht. An der Bechsteinfledermaus wurde zudem mit Hilfe von populationsgenetischen Methoden der Einfluss der Autobahn auf das Abwanderungsverhalten der Männchen sowie auf die Koloniegründung der Weibchen untersucht. Durch die Kombination von genetischen und im Freiland gewonnenen Daten sollten sowohl lokal relevante Zerschneidungswirkungen - Quartiernutzung und Jagdverhalten der im Einzugsbereich der Autobahn A3 lebenden Kolonien - als auch regional wirksame Zerschneidungswirkungen - Abwanderung der Männchen und Koloniegründung der Weibchen - abgeschätzt werden. Dies ist wichtig, da die verschiedenen Faktoren sich in ihrem Einfluss auf das Überleben von Fledermauspopulationen ergänzen können und die Zerschneidungswirkung der Autobahn möglicherweise verstärken. Neben den während des Untersuchungszeitraums aufgenommenen Daten wurden auch Ergebnisse aus früheren Untersuchungen im Gebiet berücksichtigt.

In der Eifel wurden nur Bechsteinfledermäuse untersucht. Die untersuchten Kolonien in der Eifel leben in stärker fragmentierten Wäldern, die durch landwirtschaftliche Nutzflächen umgeben und zergliedert sind. Die Lebensräume der untersuchten Kolonien wurden in jüngerer Zeit vom Autobahnbau zerschnitten (Autobahn A1: Verkehrsfreigabe 1974, Autobahn A60: Verkehrsfreigabe 2002). Die Untersuchungen ergänzten insofern die o.g. Untersuchungen bei Würzburg durch Variation der Raumparameter, des Störungsgrades und des Zeitpunktes der Störung.

Um zwischen autobahnnah und autobahnfern lebenden Kolonien vergleichen zu können, wurden auch Daten aus weiteren Kolonien, die in anderen Wäldern leben, in einen Teil der Auswertungen einbezogen.

4.2 Material und Methoden

4.2.1 Untersuchungsgebiete und untersuchte Tiere

4.2.1.1 Untersuchungsgebiet Autobahn A3 - Würzburg

Die Freilanduntersuchungen fanden von Anfang Mai 2005 bis Mitte Oktober 2005 und von Mitte April 2006 bis Anfang Oktober 2006 statt. Das Untersuchungsgebiet lag im Guttenberger Wald bei Würzburg in einem Korridor von etwa 1,5 bis 2 km Breite nördlich und südlich der Autobahn A3 (Abbildung 4-1).

Um Mops- und Bechsteinfledermäuse für die Radiotelemetrie zu fangen sowie um das Querungsverhalten im Bereich der Autobahnunterführung Schenkensee zu dokumentieren, wurden in den Sommern 2005 und 2006 insgesamt 93 Netzfangnächte durchgeführt. Die Netzfänge begannen in der Regel ca. 30 Minuten vor Sonnenuntergang und dauerten durchschnittlich 5 Stunden (Min. 2 h 45 min, Max. 9 h). Eingesetzt wurden Japannetze (Maschenweite 16 mm, 100 Dernier Garnstärke, verschiedene Längen). Die Netze wurden an 12 verschiedenen Standorten aufgestellt. Hierbei lag ein Schwerpunkt auf der Unterführung Schenkensee, wo ein Wirtschaftsweg mit Lichte Höhe ca. 4,0 m und Lichte Weite ca. 4,5 m auf 31 m Länge unter der A3 unterführt wird (Abbildung 4-1, Pkt. A; 46 Fangnächte; 9°53' Ost, 49°45' Nord) und an einem Tümpel am östlichen Waldrand des Guttenberger Waldes (Abbildung 4-1, Pkt. B; 32 Fangnächte; 9°55' Ost, 49°46' Nord). Weitere Netzstandorte waren eine zweite Unterführung unter der Autobahn A3, westlich der Autobahnanschlussstelle Heidingsfeld, sowie mehrere Standorte im Bestand, entweder an Waldtümpeln oder in Rückegassen, an denen mit vermehrter Fledermausaktivität zu rechnen war.

Die Unterführung Schenkensee (s. Abbildung 4-1, Punkt A) wurde mit zwei übereinander angeordneten 6 m langen Netzen vollständig zugestellt, um durchfliegende Fledermäuse möglichst vollständig zu erfassen. Dabei wurde regelmäßig zwischen Nord- und Südseite gewechselt, um einen Gewöhnungseffekt der Tiere zu vermeiden.

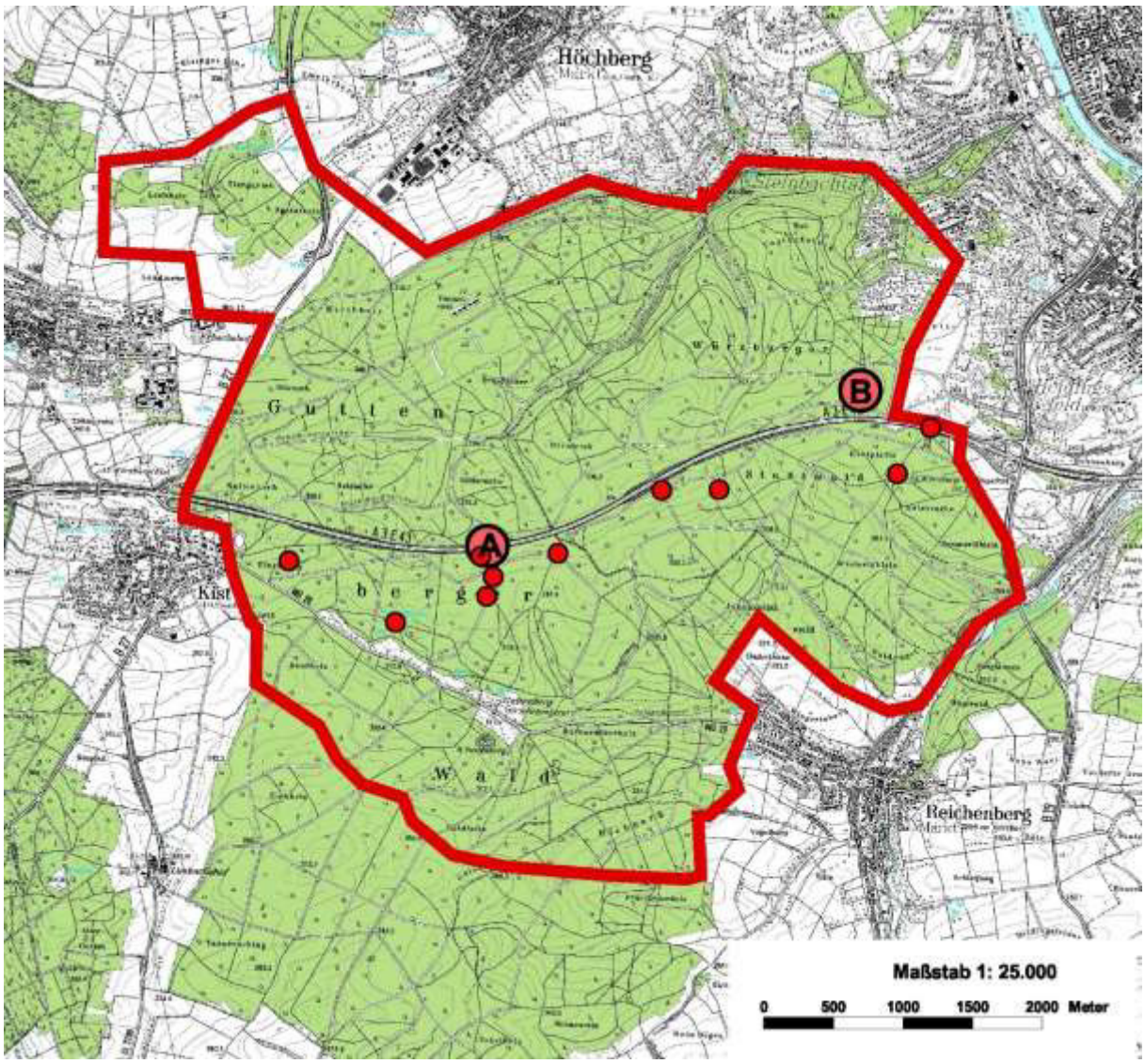


Abbildung 4-1: Untersuchungsgebiet Würzburg im Guttenberger Wald (rote Umrandung)

Die Punkte A und B bezeichnen die hauptsächlich genutzten Netzstandorte Unterführung Schenkensee (A) bzw. Tümpel (B). Kleinere rote Kreise bezeichnen die übrigen, seltener genutzten Netzfangstandorte. Die äußere rote Umgrenzung stellt den engeren Untersuchungsraum dar. Kartengrundlage: TK 1:25.000 Bayern Nord, Bayrisches Landesvermessungsamt.

4.2.1.2 Untersuchungsgebiete Altrich (Autobahn A60/A1) und Gindorf (Autobahn A60) in der Eifel

Die Freilanduntersuchungen fanden 2005 und 2006 jeweils von Anfang Mai bis Mitte September statt. In der Eifel standen zwei Untersuchungsgebiete im Mittelpunkt der Untersuchung. Das Gebiet Gindorf (GI) wird von der neu erbauten, seit 2002 für den Verkehr freigegebenen Autobahn A60 zerschnitten. Das Gebiet Altrich (AL) wird von der seit 1974 in Betrieb befindlichen Autobahn A1/A48 in Nord-Süd-Richtung gequert und seit 2000 zusätzlich in Ost-Westrichtung durch den Anschluss an die A60 (Autobahnkreuz Wittlich) zerschnitten.

Die zur Besenderung vorgesehenen Fledermäuse wurden mittels Netzfang gefangen (Untersuchungsgebiete GI und AL, Japannetze mit Maschenweite 16 mm), aus Fledermauskästen (GI) entnommen oder beim Ausflug aus der Baumhöhle mittels Fangtrichter abgefangen (AL). Von einzelnen Kolonien lagen aus früheren Jahren bereits telemetrische Untersuchungen vor. Zur Ergänzung der Aussagen zur

Raumnutzung durch Telemetrie wurden Untersuchungen an Kastenkolonien mittels Beringung durchgeführt.

Probefläche GI (Abbildung 4-2) war neben größeren landwirtschaftlichen Flächen und alten Streuobstbeständen von einzelnen Waldinseln geprägt. In drei Wäldchen sind jeweils eine Kolonie (GI W0 in einem 28 ha großen Wald, GI W2 in einem 39 ha großen Wald, GI W5 in einem 46 ha großen Wald) der Bechsteinfledermaus bekannt, die sich teilweise in Fledermauskästen aufhalten.

Ihre Aktionsräume sind an 10 weiblichen Individuen bereits in 2001 und 2002 untersucht worden, weitere zwei Weibchen waren im Jahr 2003 telemetriert worden. Diese Kolonien jagten teilweise bis überwiegend außerhalb des Waldes im Weideland. Die ab 2002 freigegebene Autobahn A60 durchschneidet die Jagdhabitate von zwei der drei bekannten Kolonien.

In Probefläche AL (Abbildung 4-3) unterteilt das Autobahnkreuz einen ehemals zusammenhängenden Laubwald in drei Teile. Im südwestlichen Teilgebiet (W5a) war eine Wochenstube der Bechsteinfledermaus bekannt (M. Herrmann, ÖKOLOG, unveröff.).

Tabelle 4-1: Probeflächen Eifel (Übersicht)

	GI	**AL**
Zahl untersuchter Kolonien	3	3
Zahl telemetrierter Individuen	22	20
Untersuchung seit	1990, intensiv seit 2001	2004
Autobahneinfluss	Autobahn A 60	Dreieck Autobahn A 1/Autobahn A 60
Breite der Autobahn	4-streifig (27m)	Autobahn A 1: 4-streifig (28m) Autobahn A 60: 4-streifig (30m)
Freigabe der Autobahn	2002	Autobahn A 1: um 1974 Autobahn A 60: 2002
Verkehrsdichte (DTV)	11.000	34.000
Waldgrößen der Wälder mit Kolonien	W0: 27 ha W2: 39 ha W4: 56 ha W5: 42 ha W1: 10 ha W3: 13 ha	W1: 179 ha W2: 55 ha W4: 49 ha W5a: 17 ha W5b: 5 ha W6: 73 ha W3: 32 ha

Die Erhebungen der Probefläche AL wurden in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von M. Herrmann (ÖKOLOG) durchgeführt, die dort im Rahmen eines Forschungsprojektes der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) Untersuchungen vornahmen.

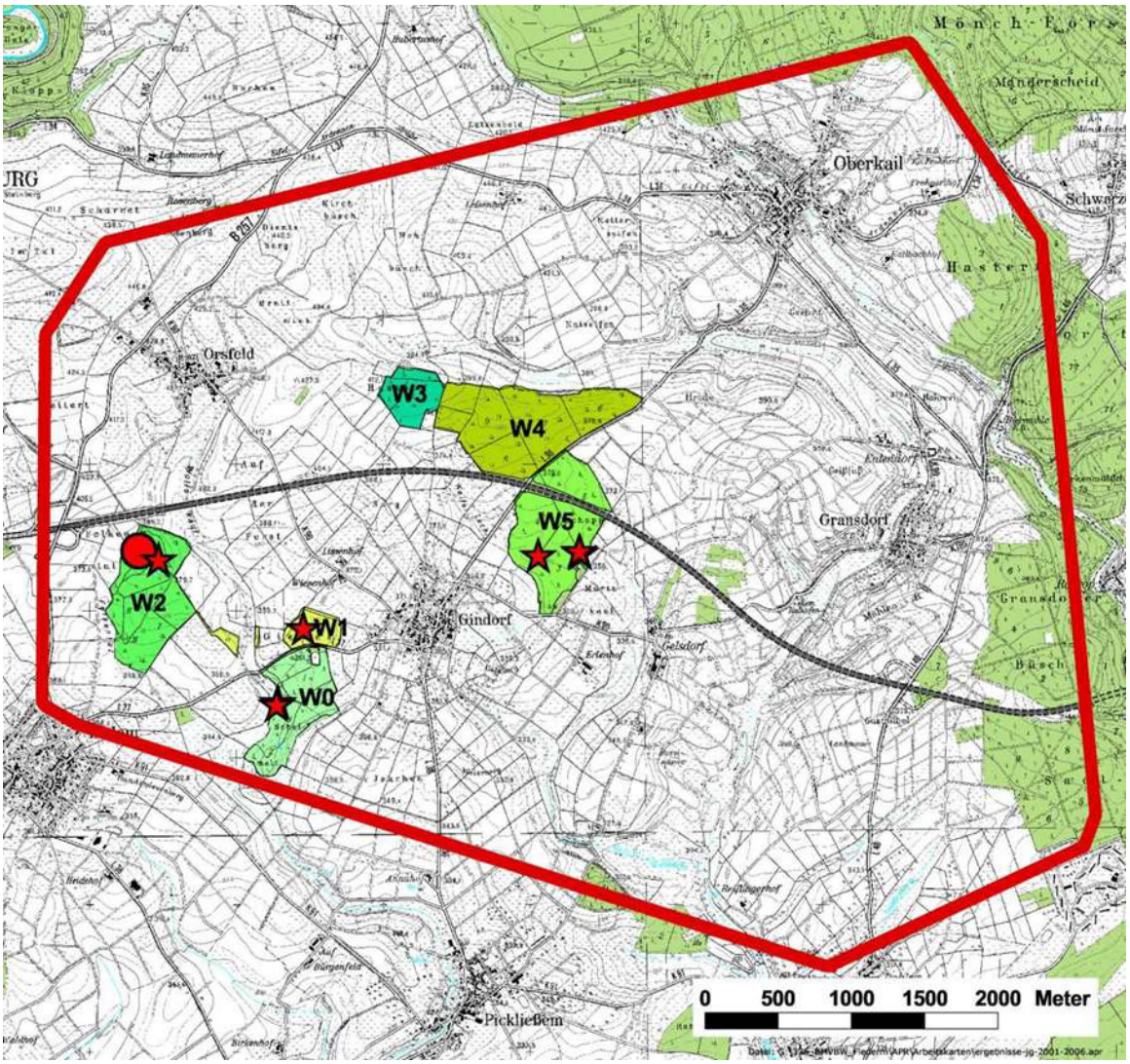


Abbildung 4-2: Untersuchungsgebiet und Quartierwälder in Probefläche GI an der Autobahn A60

Der Kreis kennzeichnet einen Netzfangort. Sterne bezeichnen Kastenfangstandorte. Die äußere rote Umgrenzung stellt den engeren Untersuchungsraum dar. Kartengrundlage: TK 1:25.000, LVermGeo.

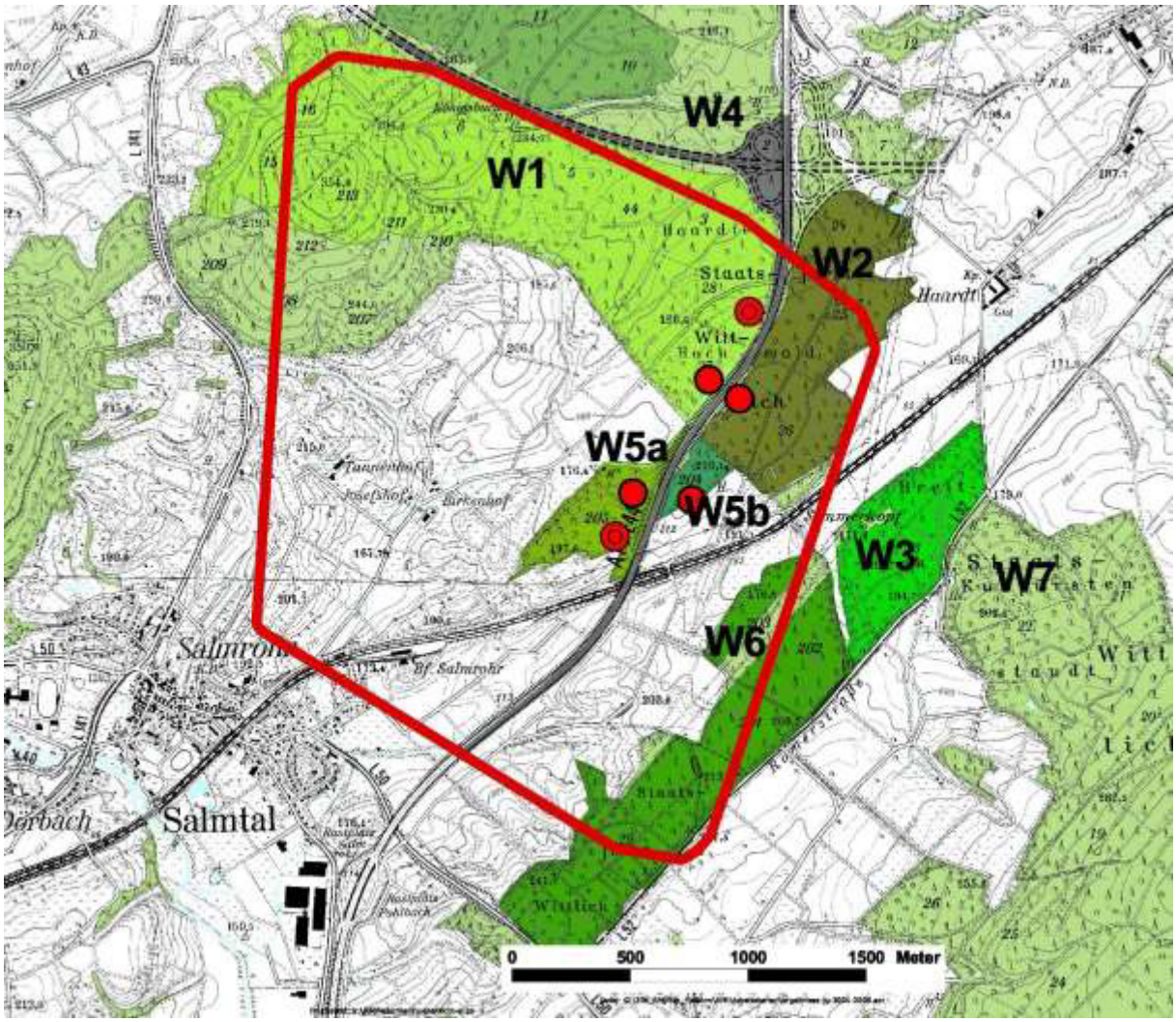


Abbildung 4-3: Untersuchungsgebiet und Quartierwälder in Probefläche AL

Volle Kreise kennzeichnen Netzfangorte, Doppelkreise markieren Baumhöhlenabfänge. Die äußere rote Umgrenzung stellt die ungefähre Grenze des Untersuchungsgebietes dar. Kartengrundlage: TK 1:25.000, LVermGeo.

4.2.2 Erfassung biometrischer Daten, populationsgenetische Analysen (Untersuchungsgebiet Würzburg)

Bei allen gefangenen Fledermäusen wurden die biometrischen Daten individuell erfasst (Geschlecht, Alter, Unterarmlänge, Gewicht und Reproduktionszustand). Neben Bechsteinfledermäusen wurden alle unmarkierten Mopsfledermäuse individuell mit Aluminiumringen der Beringungszentrale des Museums König beringt.

In Würzburg wurde Bechsteinfledermäusen, die noch nicht bei früheren Fängen beprobt und markiert worden waren, eine Flughautprobe zur anschließenden genetischen Analyse entnommen. Die Flughautproben wurden bis zur Analyse im DNA-Labor der Universität Zürich in 70% Alkohol bei 8°C im Kühlschrank gelagert. Die Extrahierung und Typisierung bzw. Sequenzierung der DNA wurden jeweils im Winterhalbjahr 2005/06 und 2006/07 durchgeführt.

Bei allen beprobten Bechsteinfledermäusen wurden 8 - 11 Kern-DNA Mikrosatelliten (hochvariable genetische Marker, die auch in der Rechtsmedizin eine große analytische Bedeutung haben) sowie 2 Mikrosatelliten mitochondrialer DNA durch eine Polymerase-Kettenreaktion (PCR) angereichert und anschließend mit Hilfe von Gel-Elektrophorese untersucht (KERTH et al. 2002). Zudem wurde bei den

adulten Männchen sowie einem Teil der adulten Weibchen ein 239 Basenpaar langes Stück der mitochondrialen DNA aus dem Bereich des „D-Loops“ sequenziert. Der D-Loop ist der einzige, nicht-kodierende Bereich des Mitochondriums und weist daher eine hohe Mutationsrate auf. Dies macht ihn geeignet für mikrogeografische populationsgenetische Analysen (KERTH et al. 2000). Durch Kombination der drei mitochondrialen Marker (2 Mikrosatelliten und dem Sequenztyp) wurde jedem Individuum ein mitochondrialer DNA-Typ (Haplotyp) zugeordnet. Dieser Haplotyp erlaubte anschließend das Zuordnen der untersuchten Männchen zu ihren mutmaßlichen Herkunftskolonien (KERTH et al. 2000). Die Kern-DNA Marker wurden verwendet, um zu untersuchen, ob unmarkierte adulte Männchen bereits in früheren Jahren als Jungtiere in einer der Kolonien beprobt wurden (da Jungtiere nicht markiert wurden, ist eine genetische Zuordnung erforderlich). Auf diese Weise können Abwanderungsbewegungen aus den Geburtskolonien direkt erfasst werden. Zudem wurden die Kern-DNA Marker dazu verwendet, um die genetische Struktur (Genetische Diversität und Ausmaß der Inzucht) von autobahnnahen und autobahnfernen Kolonien zu vergleichen. Auf diese Weise sollte eine mögliche Barrierewirkung der Autobahn auf den genetischen Austausch zwischen Kolonien erfasst werden. Genetischer Austausch zwischen Kolonien findet über Paarungen mit koloniefremden Männchen statt (KERTH et al. 2002, KERTH & MORF 2004).

4.2.3 Erfassung der Quartiernutzung im Bereich der Autobahn mit Hilfe von Kastenkontrollen

Untersuchungsgebiet Würzburg

Im Untersuchungsgebiet befindet sich eine große Anzahl (> 200) von Fledermauskästen. Diese wurden regelmäßig auf ihren Besatz kontrolliert. Während der Jungenaufzuchtphase von Ende Mai bis Ende Juni wurden die Kästen höchstens alle zwei Wochen kontrolliert, um Störungen so gering wie möglich zu halten. Insgesamt wurden 36 Kontrollen in beiden Jahren durchgeführt. In den Kästen angetroffene Fledermäuse wurden auf Artniveau bestimmt. Solitäre Bechsteinfledermäuse wurden gefangen und ihre biometrischen Parameter erfasst. Unmarkierten Bechsteinfledermäusen wurde eine Flughautprobe zur späteren DNA-Analyse entnommen, und die Tiere wurden beringt. Kolonien der Bechsteinfledermaus wurden vor und nach der Jungenaufzucht abgefangen, um den Fortpflanzungserfolg und die Koloniegröße zu quantifizieren. Hierbei wurden unmarkierte Bechsteinfledermäuse zur späteren DNA-Analyse beprobt und individuell markiert (entweder mit Ringen oder mit Transpondern im Fall der Kolonie GB2). Die bekannten Quartiere der Kolonie GB2, in der alle adulten Weibchen mit implantierten Transpondern markiert sind, wurden täglich mit automatischen Transponderlesegeräten überwacht. Auf diese Weise konnte das Wechselverhalten und die Quartierwahl der Koloniemitglieder nahezu vollständig erfasst werden (KERTH & RECKARDT 2003).

Parallel zu den Erfassungen im Bereich des Guttenberger Waldes wurden in anderen Wäldern drei relativ autobahnfern lebende Bechsteinfledermauskolonien untersucht. In diesen Kolonien waren ebenfalls alle adulten Weibchen mit Transpondern markiert und es wurde die Quartiernutzung, die jährliche Koloniegröße (adulte Weibchen) und der Fortpflanzungserfolg erfasst. Die Quartierüberwachung erfolgte mehrfach wöchentlich durch automatische Lesegeräte oder Handlesegeräte. Anschließend wurden die ermittelten Werte mit den entsprechenden Werten aus der nahe der Autobahn A3 lebenden Kolonie GB2 verglichen.

Untersuchungsgebiet Eifel

In allen Probeflächen wurden Kästen auf beiden Seiten der Autobahn ausgebracht (insgesamt 130 Kästen) und in der Regel dreimal pro Jahr auf Besatz durch Bechsteinfledermäuse geprüft. Bei allen Kas-

tenkontrollen wurden die Tiere abgefangen und ihre biometrischen Daten (Geschlecht, Alter, Unterarmlänge, Gewicht und Reproduktionszustand) und - wenn vorhanden - die Ringnummer notiert. Noch nicht erfasste Tiere wurden beringt.

In Probefläche GI W0 wurden 1989 im Rahmen des Artenschutzprojektes Fledermäuse des LFUG 40 Fledermauskästen ausgebracht, die seit 1990 durch eine Kolonie von Bechsteinfledermäusen besiedelt werden.

In Probefläche AL existierten 30 Vogelnistkästen, die in 2005 auf den Besatz von Bechsteinfledermäusen untersucht wurden. Nach den ersten Nachweisen wurden diese in 2005 und 2006 durch ca. 60 weitere Fledermauskästen beidseitig der Autobahn ergänzt (Quartierwälder W3, W4, W5a).

4.2.4 Erfassung der Jagdgebiete im Bereich der Autobahn mit Hilfe von Radiotelemetrie

Weibliche, adulte Bechstein- und Mopsfledermäuse mit einem Mindestgewicht von 9,5 g (Würzburg) bzw. 7,6 g (Eifel) wurden, sofern sie nicht trächtig oder laktierend waren, zur Radiotelemetrie ausgewählt. Alle telemetrierten Individuen waren zuvor im Einzugbereich (≤ 1 km) der Autobahn A3/A48/A60 gefangen worden. Da Bechsteinfledermäuse Strecken von über 2 km zwischen Tagesquartieren und Jagdgebieten zurücklegen können (RUDOLPH et al. 2004; eigene Daten), war sichergestellt, dass alle telemetrierten Individuen die Autobahn theoretisch queren konnten. Mopsfledermäuse haben sehr großräumige Aufenthaltsgebiete (RUDOLPH 2004). Flugstrecken über 5 km sind keine Seltenheit, so dass alle im Untersuchungsgebiet gefangenen Mopsfledermäuse die Möglichkeit hatten, die Autobahn zu queren.

Die Weibchen beider Arten wurden im Untersuchungsgebiet Würzburg mit Sendern vom Typ LB-2 (Holohil Ltd.) ausgestattet. Diese Sender wiegen 0,56 g und bleiben damit im Rahmen des verträglichen Maximalgewichtes von etwa 5% des Körpergewichtes der Weibchen. In der Eifel kamen Sender der Firma Titley (LTM) zum Einsatz, die nur 0,4 g wiegen. Die batteriebetriebenen Sender haben eine maximale Lebensdauer von 21 Tagen. Ihre gepulsten Signale verändern je nach Entfernung zwischen Sender und Empfänger ihre Lautstärke. Die Sender wurden mit Hautkleber (SAUER, Typ 50.01) ins Rückenfell zwischen den Schulterblättern der Tiere so geklebt, dass sie eine mittlere Haftzeit von ca. 10 Tagen hatten. Die Sender blieben auf den Tieren, bis sie von alleine abfielen oder bei Abfängen der Tiere entfernt wurden.

In der ersten Nacht nach dem Aufkleben der Sender wurden Bechsteinfledermäuse in der Regel nur soweit verfolgt, um eine erste Vorstellung der genutzten Gebiete zu erhalten und um geeignete Peilpunkte festzulegen. In der ersten Nacht gewonnene Daten flossen in der Regel nicht in die Auswertung ein. Die Mopsfledermäuse wurden direkt nach dem Besendern verfolgt. Da im Gegensatz zu den Bechsteinfledermäusen bei den Mopsfledermäusen aufgrund deren großräumigen Bewegungen in der Landschaft keine 100%ige Kontaktzeit in den einzelnen Nächten erreichbar war, flossen alle ermittelten Ortspunkte in die Auswertung mit ein. So wurde sichergestellt, dass auch bei der Mopsfledermaus eine ausreichende Anzahl an Ortspunkten zur Verfügung stand.

Die von den Sendern abgegebenen Signale wurden im Gebiet Würzburg mit zwei tragbaren Multifrequenz-Receivern (REGAL 2000) der Firma Titley empfangen. Empfangsgeräte in der Eifel stammten von der Firma YAESU (Wagner Telemetriesysteme Köln) bzw. der Firma WMI (Wildlife Materials Instruments, USA, Modell TRX 1000). Als Antennen wurden Drei-Elemente-Yagi-Antennen der Firmen Titley (Model AY/C) und Wildlife Materials bzw. Zwei-Element-Handantennen HB 9 CV und Drei- und Fünf-Element-Yagi-Antennen genutzt. Die Richtungsgenauigkeit von Yagi-Antennen wird mit ca. 5° angege-

ben. Mit der verwendeten Sender-Empfänger-Antennen Kombination ergab sich eine maximale Reichweite der Signale von bis zu 1,5 km. Diese wurde jedoch nur auf der Suche nach Tagesquartieren erreicht. Im Mittel lag die Reichweite zwischen etwa 500 m und etwa 750 m.

Die Aufenthaltspunkte der Bechsteinfledermäuse wurden in Würzburg mit Ausnahme von 4 Individuen mittels synchronen 2-Personen 2-Punkt-Triangulationen („Kreuzpeilungen“) ermittelt, d.h. die Sender wurden von unterschiedlichen, zuvor ausgewählten Punkten gleichzeitig von zwei Personen angepeilt. Bei 4 Individuen wurde eine zeitversetzte 1-Personen 2-Punkt-Triangulation durchgeführt. Die einzelnen Peilungen wurden in Abständen von 10 Minuten durchgeführt. Beide Personen erfassten zeitgleich mittels Kompass die Richtung, aus der das stärkste Signal kam. Die Zeitgleichheit der Peilungen wurde durch Handfunksprechgeräte sichergestellt. Die Peilpunkte wurden möglichst so gewählt, dass sehr flache oder sehr steile Peilwinkel, die zu größeren Ungenauigkeiten führen können, vermieden wurden. Um einen verzerrenden Einfluss von größeren Bewegungen der Fledermäuse im Jagdhabitat zu vermeiden, mussten die Peilpunkte oftmals im Verlauf der Nächte gewechselt werden. Bei in der Nähe der Autobahn jagenden Tieren wurde zudem anhand von unmittelbar an der Trasse gelegenen Peilpunkten überprüft, ob ein Tier die Autobahn A3 überquert hatte. Dazu wurde zwischen den in Abständen von 10 Minuten durchgeführten Peilungen immer wieder der Begrenzungszaun der Autobahn aufgesucht und das Individuum von dort angepeilt. Besonders wichtig war das bei dem Weibchen B18, da dieses teilweise am Bestandsrand entlang flog. Hier wurde ein Peilpunkt so ausgewählt, dass dieser sehr autobahnnah lag, um potenzielle Überquerungen sicher zu erfassen.

Die telemetrierten Mopsfledermäuse wurden mittels der „homing in on the animal“ Methode (WHITE & GARROTT 1990) verfolgt. Hierbei wurde das Individuum mittels eines Empfängers und einer Antenne durchgehend zu Fuß oder mit dem PKW, anhand der Intensität der übermittelten Signalstärke verfolgt. Auch hier wurde versucht, alle 10 Minuten einen Aufenthaltspunkt zu bestimmen. Die ermittelten Aufenthaltspunkte wurden direkt in eine topographische Karte eingetragen. Die Ortsgenauigkeit der Aufenthaltspunkte betrug in der Regel etwa 25-50 m (bei direktem Sichtkontakt auch < 10 m). Eine Triangulation von festgelegten Peilpunkten aus, wie bei der kleinräumig jagenden Bechsteinfledermaus, war bei der weiträumig jagenden Mopsfledermaus nicht möglich.

In der Eifel wurden die Bechsteinfledermäuse ebenfalls überwiegend mit Hilfe von Kreuzpeilungen geortet. Die Zeitdauer zwischen zwei Peilungen betrug möglichst 10 Minuten. Weitere Daten wurden mittels der „homing-in“ - Methode erhoben. Dies betrifft ca. 19% der Aufenthaltspunkte. Diese Methode wurde insbesondere bei der Telemetrie in Probefläche GI eingesetzt, da diese Tiere sich sehr mobil verhielten und weite Strecken zwischen Teiljagdhabitaten zurücklegten.

Nach Beendigung der Jagdaktivität der Individuen wurden deren Tagesquartiere bestimmt, mit Forstmarkierfarbe gekennzeichnet und die Position mit einem GPS-Empfänger eingelesen (ab Herbst 2005 mit EGNOS).

Nach Eingabe der Kreuzpeilungsdaten mit der Tabellenkalkulationssoftware MS Excel wurden die Aufenthaltspunkte der Individuen im ArcView GIS berechnet. Kritische Peilungen, z.B. wenn die Winkel der Peilungen sich nicht schnitten, oder bei einem zeitlichen Abstand zwischen den beiden Peilungen von mehr als 30 Sekunden, wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Im Falle der „homing-in“ – Daten wurden die Angaben aus der Tabellenkalkulation in ArcView visualisiert und anschließend die Aufenthaltspunkte interaktiv in die digitale Karte eingetragen und verifiziert. Ältere Daten von vier Bechsteinfledermausweibchen der Probefläche GI in der Eifel aus dem Jahr 2001 („homing-in“) mussten modifiziert übernommen werden; die im Feld eingetragenen Daten wurden direkt als Aufenthaltsflächen ins GIS übernommen. Die Aufenthaltspunkte der Mopsfledermäuse wurden direkt im ArcView GIS digitalisiert.

Die Berechnungen der Aufenthaltsgebiete erfolgte mit der ArcView Extension HRE (Home Range Extension; Version 2002).[19] Bei jedem Individuum wurden die Aufenthaltsgebiete sowie deren Aktivitätszentren bestimmt. Die Aufenthaltsgebiete wurden mit zwei Methoden berechnet: der parametrischen Minimum-Convex-Polygon Methode (MCP) und der nicht-parametrischen Kernel Methode.[20] Als individuelle Aufenthaltsgebiete wurden bei der Bechsteinfledermaus Gebiete definiert, welche die Weibchen während 95% (MCP 95) bzw. 90% (Kernel 90) ihres jeweiligen Beobachtungszeitraumes nutzten. Aufgrund abweichender Datenaufnahme („homing-in“ anstelle von Kreuzpeilungen) wurden bei der Mopsfledermaus und bei einzelnen Bechsteinfledermäusen (s.o.) neben den Kernels 90 auch MCP 100 berechnet (anstelle von MCP 95). Als Hauptaufenthaltsgebiete wurden bei beiden Arten Gebiete definiert, die während 50% der Beobachtungszeit genutzt wurden (Kernel 50). Hauptaufenthaltsgebiete wurden nur mit der Kernel - Methode berechnet.
Die MCP-Flächen wurden zum Vergleich mit früheren Arbeiten berechnet sowie zur übersichtlicheren Darstellung der Aufenthaltsgebiete. Zwar wurde die MCP Methode lange als Standardmethode zur Auswertung telemetrischer Fragestellungen genutzt, sie ist jedoch sehr anfällig für Ausreißer und beinhaltet bei der Berechnung von Aufenthaltsgebieten mit 95%iger Aufenthaltswahrscheinlichkeit nicht alle Ortspunkte zur Flächenberechnung. Die Probleme der MCPs sind bei der Kernel Methode minimiert, weshalb dieser der Vorzug gegeben wurde. Um bei der Kernel Methode Aufenthaltswahrscheinlichkeiten aus den Ortspunkten zu schätzen, bedarf es eines Glättungsfaktors (h). Dieser wird ad hoc als hcv über eine „Least Squares Cross Validation“ (LSCV) berechnet. Je größer der Glättungsfaktor ist, umso mehr werden die Räume statistisch geglättet und umso mehr steigt deren Flächengröße. Kleinere h-Werte lassen die Flächen dagegen eher unterschätzen. Damit hängt die biologische Aussagekraft der Analysen von der Wahl eines geeigneten Glättungsfaktors ab. Die hier durchgeführte Berechnung erfolgte nach der „fixed Kernel“ - Methode, wobei im Gegensatz zu den „adaptive Kernels“ ein konstanter Glättungsfaktor benutzt wird. Um die Größe der Aufenthaltsgebiete aller Individuen vergleichen zu können, wurde das arithmetische Mittel aller ermittelten hcv -Werte aller Tiere einer Kolonie berechnet und hiermit die Kernel-Berechnung durchgeführt. Durch die gleichzeitige Verwendung von Kernel und MCP Methode konnten methodische Einflüsse auf die Größe individueller Aufenthaltsgebiete abgeschätzt werden.

[19] "Home Range Extension" (HRE) for ArcView®GIS. ARTHUR R. RODGERS, ANGUS P. CARR, Ontario Ministry of Natural Resources Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario, Canada. Release 1.1c, 2002. http://www.blueskytelemetry.co.uk/hre_downloads_form.asp.

[20] Methodenerklärung z.B. unter: http://info.bio.sunysb.edu/rano.biodiv/Maps/glossary.fr.html (20.12.2008).

4.3 Ergebnisse im Bereich der Autobahn A3 - Würzburg

4.3.1 Verteilung nächtlicher Aufenthaltsgebiete in Abhängigkeit vom Verlauf der Autobahn

Es wurden 22 Bechsteinfledermaus-Weibchen aus 6 Kolonien sowie 2 Mopsfledermaus-Weibchen aus einer Kolonie besendert. Zwanzig Bechsteinfledermäuse sowie alle Mopsfledermäuse lieferten auswertbare Daten. Zwei der 13 telemetrierten Individuen aus der Bechsteinfledermauskolonie GB2 flogen aufgrund kalter Witterung im September 2005 so wenig, dass ihre Raumnutzung nicht ausgewertet werden konnte. Neben den im Untersuchungszeitraum erhobenen Daten lagen aus 2004 Daten zu 8 weiblichen Bechsteinfledermäusen aus 3 Kolonien sowie von 4 Mopsfledermäusen aus einer Kolonie vor (M. MELBER, unveröffentlicht). Insgesamt konnten also Daten von 28 weiblichen Bechsteinfledermäusen aus 6 Kolonien und von 6 Mopsfledermäusen aus einer Kolonie ausgewertet werden (Tabelle 4-2).

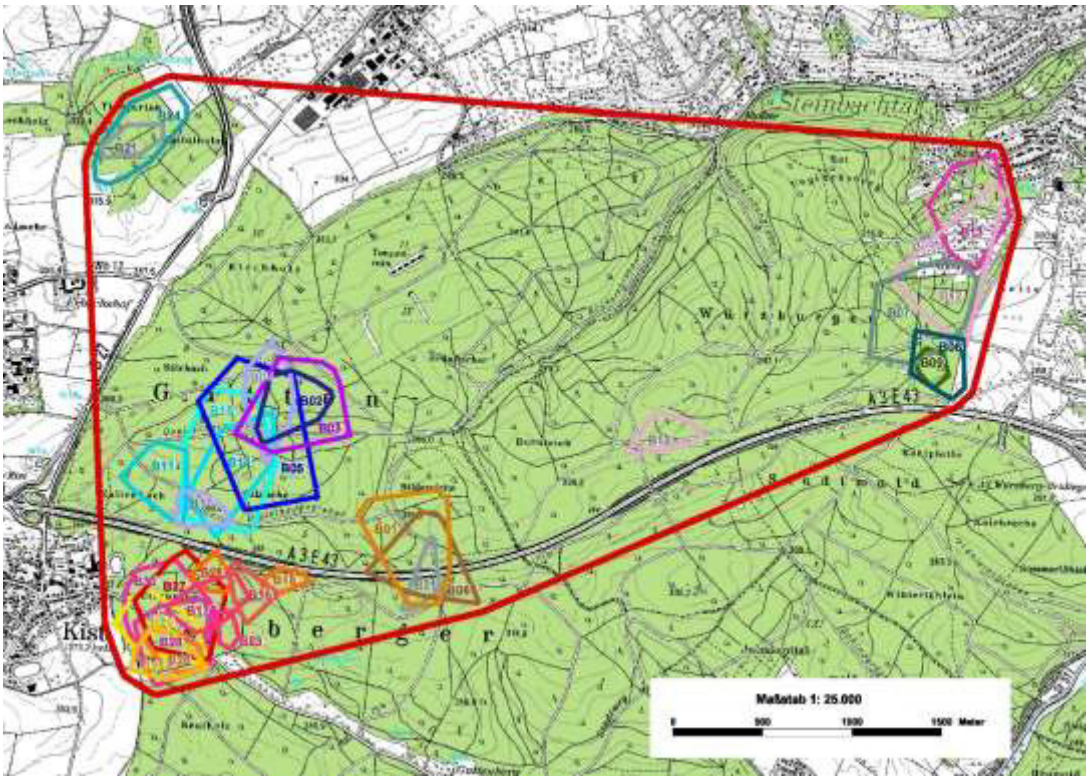
Tabelle 4-2: Zusammenfassung der Telemetriedaten der im Guttenberger Wald an der Autobahn A3 zwischen 2004 und 2006 untersuchten 6 Kolonien der Bechsteinfledermaus (MB) sowie einer Kolonie der Mopsfledermaus (MO)

Art	Kol.	Jahre	Tiere	Tage	Punkte	MCP 95/100[21] (ha)	Kernel 90 (ha)	Kernel 50 (ha)
MB	BE	2004	2	4,5±2,1	95,5±16,3	20,3±4,0	13,5±10,6	3,9±3,9
MB	GB2	2005/2006	11 (13)	4,5±1,3	161,0±46,0	9,7±7,0	7,5±5,0	1,7±1,2
MB	KL	2004/2005	8	4,0±1,3	113,1±45,6	18,5±11,4	8,9±4,7	2,1±1,1
MB	SH	2006	2	5,0±1,4	127,0±0,0	11,9±5,0	25,4±15,3	4,9±1,1
MB	Tü	2004/2005	3	3,3±0,6	84,3±6,7	12,1±11,7	12,1±12,7	3,1±3,0
MB	WF	2005	2	5,0±1,4	107,0±9,9	25,1±9,3	14,9±12,9	2,6±1,9
MB	Alle	2004-2006	28 (30)	4,4±1,3	128,2±46,6	14,4±9,7	10,6±8,3	2,4±1,8
MO	GB	2004/2006	6	8,8±2,3	74,7±17,7	213,1±110,2	136,8±121,2	37,7±27,5

Pro Kolonie werden die Mittelwerte ± Standardabweichung der Anzahl telemetrierter Tiere, der Anzahl Tage, an denen sie telemetriert wurden, der Anzahl der auswertbaren Ortungspunkte und der Größe der Aufenthaltsgebiete (MCP, sowie Kernel 90 und 50) angeben.

[21] Bechsteinfledermaus: MCP 95, Mopsfledermaus: MCP 100.

a) Gesamtansicht:



b) Ausschnitt:

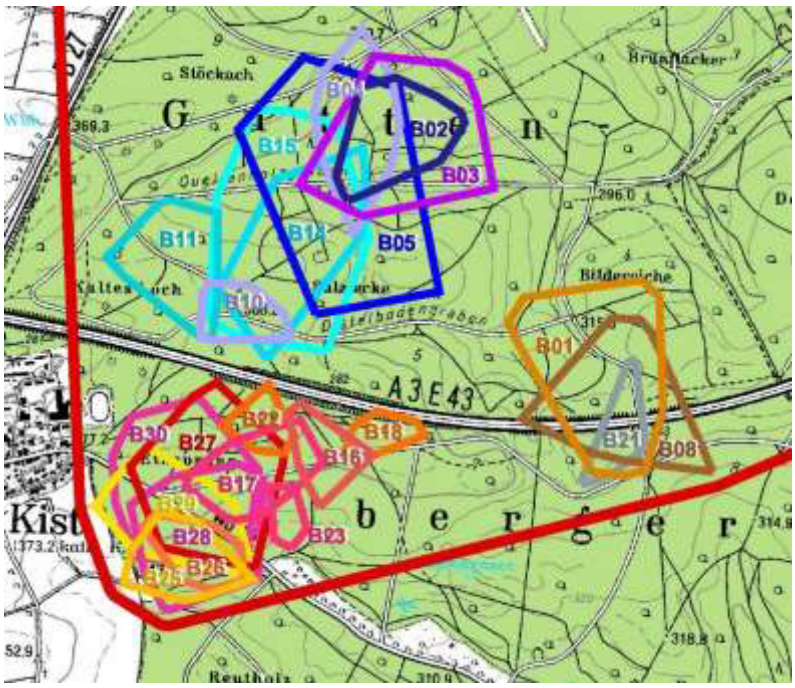


Abbildung 4-4: Aufenthaltsgebiete (MCP 95%) der 28 in den Sommern 2004 bis 2006 telemetrierten weiblichen Bechsteinfledermäuse aus 6 Kolonien im Guttenberger Wald an der Autobahn A3

Unterschiedliche Farben zeigen die individuellen Aufenthaltsgebiete der telemetrierten Tiere aus 6 Kolonien (vergleiche Tabelle 4-2). Die äußere rote Umgrenzung stellt das MCP 100 aller telemetrierten Bechsteinfledermausweibchen dar.

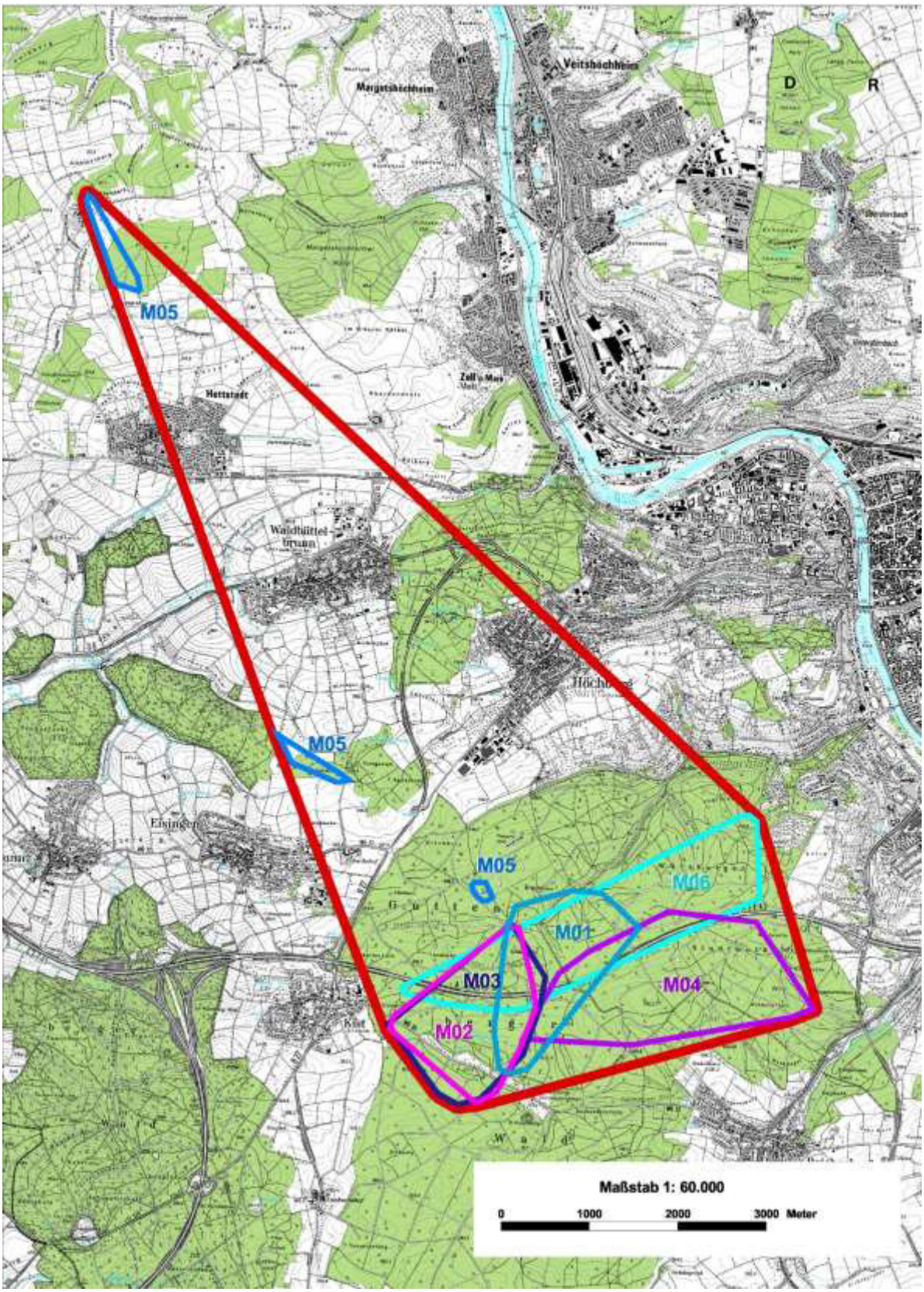


Abbildung 4-5: Aufenthaltsgebiete (MCP 100) der 6 in den Sommern 2004 und 2006 telemetrierten weiblichen Mopsfledermäuse im Guttenberger Wald an der Autobahn A3

Unterschiedliche Farben zeigen die individuellen Aufenthaltsgebiete der verschiedenen Tiere (Tabelle 4-2). Die äußere rote Umgrenzung stellt das MCP 100 aller telemetrierten Mopsfledermausweibchen dar.

Um die Raumnutzung der 2004 - 2006 telemetrierten Bechsteinfledermäuse in Abhängigkeit von der Autobahn A3 zu untersuchen, wurden für jedes Individuum die Anteile seines individuellen Jagdhabitates ermittelt, die nördlich bzw. südlich der Autobahn lagen, und mit Erwartungswerten verglichen. Die Erwartungswerte wurden wie folgt ermittelt: zunächst wurde pro Tier um seine bekannten Tagesquartiere ein Polygon gezeichnet und das arithmetische Mittel der Koordinaten berechnet (n = 27 Tiere; Tier B07 konnte nicht berücksichtigt werden, da keine Tagesquartiere bekannt waren). Die Quartiere gingen, entsprechend der Anzahl der Tage an denen sie genutzt worden waren, gewichtet in die Ermittlung der Quartierpolygone ein.

Es wurden zwei Methoden angewandt, um abzuschätzen, ob die Individuen bei ihren Jagdflügen die Autobahn hätten queren können: Zunächst wurde um jeden Mittelpunkt eines individuellen Quartierpolygons ein Kreis gezogen. Bei der ersten Methode (A) entsprach der Kreisradius der Strecke zwischen dem Mittelpunkt des individuellen Jagdgebiets (ermittelt über alle Nächte, in denen ein Individuum verfolgt wurde) und dem am weitesten entfernten Tagesquartier des jeweiligen Tieres. Bei der zweiten Methode (B) entsprach der Radius den gemittelten Strecken zwischen den Mittelpunkten der jeweiligen Jagdgebiete pro Nacht und dem Tagesquartier aus dem das Tier in der jeweiligen Nacht ausflog (hier wurde also jede Nacht getrennt ausgewertet und anschließend die Werte gemittelt). Methode A legt die maximal von einem Individuum zurückgelegte Strecke zwischen einem Quartier und dem Mittelpunkt seines Gesamtjagdgebietes für die Berechnung der Kreisfläche zugrunde. Daher lieferte Methode A größere Kreisflächen als Methode B, welche die mittleren Distanzen pro Nacht zwischen Quartier und Jagdgebiet zugrunde legte. Anschließend wurde ermittelt, welche Flächenanteile der so bestimmten potenziellen individuellen Aktionsräume sich nördlich bzw. südlich der Autobahn A3 befanden. Daraus wurden dann Werte für die erwartete Verteilung der Aufenthaltspunkte eines Individuums berechnet. Die so ermittelten Erwartungswerte wurden anschließend mit der Lage der tatsächlich erfassten Aufenthaltspunkte im Jagdgebiet verglichen. Zuletzt wurde mit Hilfe eines Chi²-Tests für jedes Individuum getestet, ob seine nächtlichen Aufenthaltspunkte in Bezug zur Autobahn A3 zufällig im Untersuchungsgebiet verteilt waren (Tabelle 4-3).

Die Tagesquartiere der hier berücksichtigten Kolonien KL, SH, Tü, und WF lagen alle nördlich der Autobahn A3, während die Tagesquartiere der Kolonie GB2 alle südlich der Autobahn A3 lagen (Abbildung 4-4). Unter Anwendung von Methode A hätten 14 der 27 ausgewerteten Individuen die Möglichkeit gehabt, die Autobahn zu queren und auch die jeweils andere Seite der Autobahn zu nutzen. Dies geschah jedoch nur bei 2 Individuen (ein drittes Tier hatte gequert, obwohl von der Distanz her das nicht zu erwarten war). Alle querenden Tiere unterflogen die Autobahn im Bereich der Unterführung Schenkensee. Der Vergleich der potenziell erreichbaren Gebiete mit der Lage der tatsächlich genutzten Gebiete ergab für alle 12 Individuen, die nicht querten, obwohl sie die Autobahn A3 hätten erreichen können, ein signifikantes Ergebnis (Tabelle 4-3). Diese 12 Weibchen bejagten also signifikant häufiger die Seite der Autobahn, auf der ihre jeweiligen Tagesquartiere lagen. Unter Anwendung von Methode B hätten nur 5 der 24 Individuen, welche die Autobahn A3 nicht querten, die Möglichkeit gehabt, die Autobahn zu queren. Der Vergleich der potenziell erreichbaren Gebiete mit der Lage der tatsächlich genutzten Gebiete ergab für alle 5 Weibchen ein signifikantes Ergebnis (Tabelle 4-3). Diese 5 Individuen bejagten also ebenfalls signifikant häufiger die Seite der Autobahn, auf der ihre jeweiligen Tagesquartiere lagen. Beide Methoden führten damit zu ähnlichen Ergebnissen bei den Individuen, welche die Autobahn theoretisch hätten queren können, sie unterschieden sich aber stark in der Anzahl dieser Tiere. Methode B unterschätzt wahrscheinlich die theoretischen Querungsmöglichkeiten, da sie bei allen 3 Weibchen, welche die Autobahn A3 gequert hatten vorhersagte, dass dies von der Distanz her nicht zu erwarten war.

Tabelle 4-3: **Radius der erreichbaren Kreisfläche (m) um die jeweiligen Tagesquartiere und Anteile dieser Kreisfläche, welche sich jeweils südlich (S) bzw. nördlich (N) der Autobahn A3 befinden, im Vergleich zur Anzahl der realen Aufenthaltspunkte (APT) sowie deren aktuelle (AP) und erwartete (ER) Verteilung in Bezug zur Autobahn (nördlich oder südlich)**

Methode A										
Tier	**Radius**	**Anteil S**	**Anteil N**	**APT**	**AP S**	**AP N**	**ER S**	**ER N**	χ^2	**P**
B01*	671	0,12	0,88	85	21	64	10	75	13,7	<0,001
B02	862	0,39	0,61	88	0	88	35	53	58,1	<0,001
B03	816	0,39	0,61	89	0	89	35	54	57,7	<0,001
B04	783	0,05	0,95	108	0	108	5	103	5,2	<0,03
B05	660	0,12	0,88	103	0	103	13	90	14,9	<0,001
B06	63	0,00	1,00	86	0	86	0	86	NA	NA
B08*	308	0,00	1,00	108	77	31	0	108	NA	NA
B09	2157	0,44	0,56	77	0	77	34	43	60,9	<0,001
B10	617	0,04	0,96	125	0	125	5	120	5,2	<0,05
B11	502	0,05	0,95	116	0	116	6	110	6,3	<0,02
B12	1102	0,07	0,93	100	0	100	7	93	7,5	<0,01
B13	571	0,00	1,00	114	0	114	0	114	NA	NA
B14	374	0,28	0,72	61	0	61	17	44	23,6	<0,001
B15	474	0,13	0,87	215	0	215	29	186	37,2	<0,001
B16	174	1,00	0,00	214	213	1	214	0	NA	NA
B17	176	1,00	0,00	219	219	0	219	0	NA	NA
B18	241	0,87	0,13	207	206	1	180	27	28,8	<0,001
B21*	2792	0,06	0,94	127	105	22	8	119	1260,0	<0,001
B22	207	1,00	0,00	97	97	0	97	0	NA	NA
B23	203	1,00	0,00	95	95	0	95	0	NA	NA
B24	215	0,00	1,00	127	0	127	0	127	NA	NA
B25	309	1,00	0,00	164	164	0	164	0	NA	NA
B26	435	0,96	0,04	158	158	0	152	6	6,2	<0,02
B27	344	1,00	0,00	173	173	0	173	0	NA	NA
B28	286	1,00	0,00	197	197	0	197	0	NA	NA
B29	209	1,00	0,00	115	115	0	115	0	NA	NA
B30	295	1,00	0,00	132	132	0	132	0	NA	NA

Methode B										
Tier	**Radius**	**Anteil S**	**Anteil N**	**n AP**	**AP S**	**AP N**	**ER S**	**ER N**	**χ2**	**P**
B01*	452	0,00	1,00	85	21	64	0	85	24,0	NA
B02	838	0,39	0,61	88	0	88	34	54	58,1	<0,001
B03	804	0,39	0,61	89	0	89	34	55	57,7	<0,001
B04	382	0,00	1,00	108	0	108	0	108	NA	NA
B05	479	0,03	0,97	103	0	103	3	100	3,1	<0,1,
B06	72	0,00	1,00	86	0	86	0	86	NA	NA
B08*	328	0,00	1,00	108	77	31	0	108	119,7	NA
B09	2057	0,44	0,56	77	0	77	34	43	60,9	<0,001
B10	423	0,00	1,00	125	0	125	0	125	NA	NA
B11	210	0,00	1,00	116	0	116	0	116	NA	NA
B12	847	0,01	0,99	100	0	100	1	99	1,0	NS
B13	305	0,00	1,00	114	0	114	0	114	0	NA
B14	335	0,26	0,74	61	0	61	16	45	21,7	<0,001
B15	358	0,05	0,95	215	0	215	10	205	10,5	<0,01
B16	68	1,00	0,00	214	213	1	214	0	NA	NA
B17	178	1,00	0,00	219	219	0	219	0	NA	NA
B18	97	1,00	0,00	207	206	1	207	0	NA	NA
B21*	1754	0,00	1,00	127	105	22	0	127	NA	NA
B22	202	1,00	0,00	97	97	0	97	0	NA	NA
B23	98	1,00	0,00	95	95	0	95	0	NA	NA
B24	214	0,00	1,00	127	0	127	0	127	NA	NA
B25	244	1,00	0,00	164	164	0	164	0	NA	NA
B26	331	1,00	0,00	158	158	0	158	0	NA	NA
B27	159	1,00	0,00	173	173	0	173	0	NA	NA
B28	221	1,00	0,00	197	197	0	197	0	NA	NA
B29	192	1,00	0,00	115	115	0	115	0	NA	NA
B30	244	1,00	0,00	132	132	0	132	0	NA	NA

Individuen, welche die Autobahn A3 nicht querten, obwohl es ihnen von der Distanz her möglich war, sind fett gedruckt. Drei Individuen, welche die Autobahn querten sind mit * gekennzeichnet. Angegeben sind zudem die Testgröße ($\chi 2$) sowie das Signifikanzniveau (p) des Chi²-Tests. NS bezeichnet nicht signifikante Tests. NA bezeichnet Fälle in denen kein Test durchgeführt werden konnte, da ein Erwartungswert null war.

Abschließend betrachteten wir noch das Querungsverhalten aller 27 Bechsteinfledermäuse mit bekannten Tagesquartieren in einem gemeinsamen Modell. Für jedes Individuum ermittelten wir pro Nacht, wie weit es von seinem Tagesquartier bis zum Jagdgebiet geflogen war (analog zu Methode B) und zusätzlich wie weit das entsprechende Tagesquartier von der Autobahn A3 entfernt war. Hatte ein Individuum in einer Nacht eine größere Strecke zurückgelegt, als es der Distanz vom Tagesquartier zur Autobahn entsprach, dann hätte dieses Tier theoretisch die Autobahn queren können. Anschließend summierten wir über alle Weibchen die Anzahl der Nächte auf, in denen eine Querung möglich gewesen wäre und verglichen sie in einem Chi²-Test mit der Gesamtanzahl an Nächten, in denen tatsächlich eine Querung stattgefunden hatte. Es zeigte sich, dass die 27 Weibchen in signifikant weniger Nächten (5) querten, als ihnen das von der Distanz her möglich gewesen wäre (35 Nächte; Gesamtzahl der auswertbaren Nächte war 109; $Chi^2 = 37{,}9$: $p < 0{,}001$).

Die telemetrierten Bechsteinfledermäuse hatten in sehr unterschiedlichen Distanzen zur Autobahn A3 gejagt (< 100 m bis > 2000 m). Wir testeten, ob die Größe der individuellen Jagdgebiete sich mit der Distanz zur Autobahn veränderte. Auf diese Weise sollte untersucht werden, ob die Autobahn A3 als Barrierewirkung einen negativen Einfluss auf den von den weiblichen Bechsteinfledermäusen als Jagdgebiet nutzbaren Raum hatte (s. auch zum Vergleich die Kolonien in der Eifel in Kap. 4.4). Die Distanz individueller Jagdgebiete zur Autobahn berechneten wir, indem wir für jeden Aufenthaltspunkt eines Tieres mit Hilfe des Programms ArcView die Distanz zur Fahrbahnmitte ermittelten und anschließend über alle Distanzen eines Individuums mittelten. Bei der Bechsteinfledermaus betrachteten wir dabei

nur Weibchen, welche die Autobahn nicht gequert hatten, da nur bei diesen Individuen mit einer Barrierewirkung der Autobahn und daher einem Einfluss auf die Jagdgebietsgröße zu rechnen war. Neben den 25 in den Jahren 2004 bis 2006 telemetrierten, nicht querenden Individuen, konnten wir Daten von 8 weiteren, nicht querenden Weibchen nutzen, die in den Jahren 1997 und 2001 telemetriert worden waren (KERTH, unveröffentlicht). Zur Evaluation unserer Methode wendeten wir dieselbe Analyse auch bei der Mopsfledermaus an. Bei der Mopsfledermaus erwarteten wir keinen negativen Einfluss der Autobahn auf die Jagdgebietsgröße, da die meisten Individuen die Autobahn A3 gequert hatten und daher mit keiner Barrierewirkung zu rechnen war. Bei der Mopsfledermaus gingen alle 6 Tiere ein, die 2004 und 2006 telemetriert wurden.

Bei der Bechsteinfledermaus (n = 33) hatten autobahnnah jagende Tiere signifikant kleinere Jagdgebiete als Tiere, die weiter entfernt von der Autobahn A3 jagten (Spearman Rang Korrelation: MCP 95: Rs = 0,62, p < 0,001; Kernel 90: Rs = 0,47, p < 0,01; Kernel 50: Rs = 0,47, p < 0,01). Interessanterweise nimmt ab einer Distanz von etwa 600 m zur Autobahn A3 die Jagdgebietsgröße wieder ab, was an Waldrandeffekten liegen kann, die unabhängig von der Autobahn sind. Bei der Mopsfledermaus (n = 6) ergab sich für die MCPs ein umgekehrter Zusammenhang: autobahnnah jagende Tiere hatten signifikant größere Jagdgebiete als Tiere, die weiter entfernt von der Autobahn A3 jagten (MCP 100: Rs = -0,94, p < 0,01). Die auf Kernel Analysen basierenden Jagdgebietsgrößen zeigten dagegen keinen signifikanten Zusammenhang mit der Distanz zur Autobahn (Kernel 90: Rs = -0,09, nicht signifikant; Kernel 50: Rs = -0,03, nicht signifikant). Dieser Unterschied zwischen den Auswertmethoden bei der Mopsfledermaus lag an einem teilweise sehr autobahnfern jagenden Individuum, das ein dreigeteiltes Jagdgebiet nutzte. Da MCP und Kernel-Analysen sehr unterschiedlich auf eine Aufteilung von Aufenthaltsgebieten reagierten, unterschieden sich ihre jeweiligen Größen stark. Entfernt man dieses Tier aus der Analyse, so lieferten alle drei Methoden ein ähnliches Ergebnis: autobahnnah jagende Mopsfledermäuse hatten größere Jagdgebiete als autobahnfern jagende Individuen.

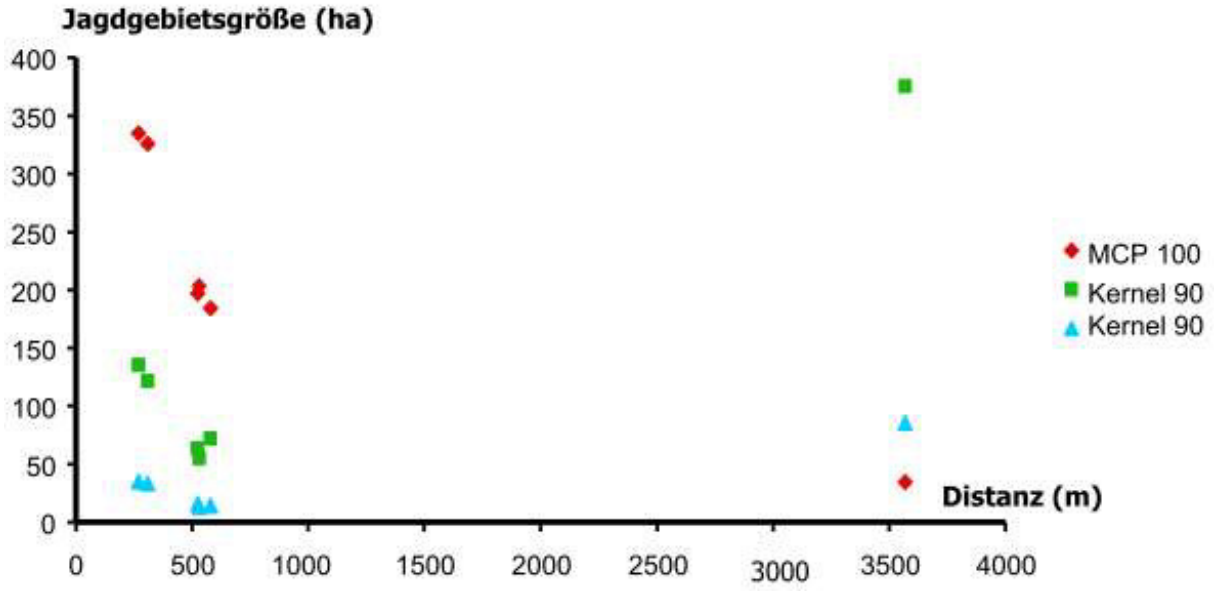


Abbildung 4-6: Jagdgebietsgrößen von 6 Mopsfledermaus-Weibchen in Relation zur Distanz der Jagdgebiete zur Autobahn

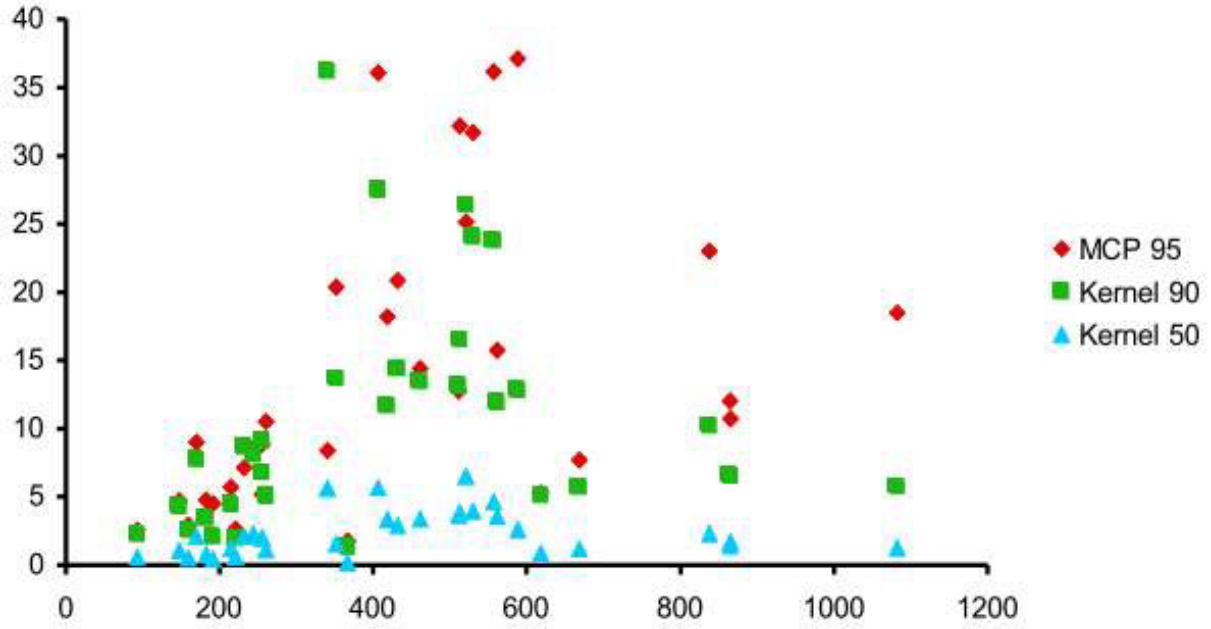


Abbildung 4-7: Jagdgebietsgrößen von 38 Bechsteinfledermaus-Weibchen in Relation zur Distanz der Jagdgebiete zur Autobahn

4.3.2 Besiedlung von Fledermauskästen in Abhängigkeit vom Verlauf der Autobahn

Sowohl in Fledermauskästen als auch in Baumhöhlen lebende Bechsteinfledermauskolonien nutzten teilweise autobahnnahe Quartiere (näher als 100 m an der Trasse). Der geringste Abstand eines Quartiers zur Autobahn A3 betrug 20 m (Kolonie KL). In den 4 mit Transpondern markierten Kolonien in denen mehrmals wöchentlich Quartierkontrollen stattfanden, wechselten die Weibchen häufig ihre Quartiere. Dabei zeigte sich zwischen der autobahnnahen Kolonie GB2 und drei autobahnferneren Kolonien (BS, HB, UH) kein auffälliger Unterschied im Wechselverhalten. Bei den täglich kontrollierten Kolonien GB2 und BS hielten sich die Weibchen im Mittel jeweils rund 3 Tage im selben Quartier auf (GB2: 3,3 ± 0,4 Tage, BS: 3,0 ± 0,3; Mittelwert ± Standardabweichung). Bei den nur 2-3-mal pro Woche kontrollierten Kolonien waren die Werte methodenbedingt geringer (HB: 1,2 ± 0,2; UH: 1,6 ± 0,4).

Trotz des regelmäßigen Wechsels zwischen Quartieren, die zum Teil mehrere hundert Meter voneinander entfernt lagen, kam es zu keinem Wechsel markierter Tiere über die Autobahn A3 hinweg. Bei insgesamt 36 Quartierkontrollen (2005: 19; 2006: 17) beiderseits der A3 wurde nie ein Austausch von markierten Weibchen über die Autobahn hinweg beobachtet. Selbst bei den in unmittelbarer Nähe zur Autobahn A3 lebenden, gut erfassten Kolonien GB2 und KL wurde keines der markierten Weibchen in Quartieren auf der jeweils anderen Seite der Autobahn beobachtet (GB2: tägliche Quartierkontrollen und 12 Abfänge in 2005 und 2006, KL: wöchentliche Quartierkontrollen und 5 Abfänge in 2005 und 2006). Allerdings wurde im August 2006 in der Kolonie KL ein einjähriges unmarkiertes Weibchen angetroffen, bei dem es sich auf Grund seiner DNA wahrscheinlich um ein in der Kolonie GB2 geborenes Jungtier handelte. Ob es sich hierbei um eine permanente Ansiedlung über die Autobahn hinweg handelt, muss offen bleiben. In früheren Jahren war einmal ein adultes Weibchen der Kolonie GB2 in einem Quartier der Kolonie KL auf der anderen Seite der Autobahn A3 angetroffen worden, ohne dass es zu einer permanenten Ansiedlung kam (KERTH, unveröffentlicht).

4.3.3 Querungsverhalten im Bereich der Unterführung Schenkensee

In der Unterführung Schenkensee konnten während des Untersuchungszeitraums in insgesamt 46 Netzfangnächten 69 Fledermäuse aus 6 Arten gefangen werden, darunter 10 Bechstein- und 16 Mopsfledermäuse. Bei der Bechstein- und der Mopsfledermaus wurden sowohl Männchen als auch Weibchen in der Unterführung gefangen. Dies zeigt, dass beide Geschlechter die Unterführung nutzten, um so unter der Autobahn hindurch zu fliegen. Im Jahr 2006 wurden zudem 4 Netzfänge an der Unterführung Heidingsfeld durchgeführt. Hierbei wurden 5 Fledermäuse aus 4 Arten[22] gefangen, darunter 2 männliche Mopsfledermäuse. Im Untersuchungszeitraum wurden Querungen von telemetrierten Individuen nur in Form von Flügen durch die Unterführung Schenkensee beobachtet. In früheren Jahren konnte allerdings gezeigt werden, dass Mopsfledermäuse die Autobahn A3 regelmäßig auch überfliegen, während dies bei Bechsteinfledermäusen nur ausnahmsweise der Fall war (M. MELBER, unveröffentlicht).

Tabelle 4-4: Artenspektrum und Fangorte von 139 bei Netzfängen erfassten Individuen aus 7 Arten

Arten	Unterführung Schenkensee	Unterführung Heidingsfeld	Tümpel	sonstige
Mopsfledermaus	9/5 + *1*	0/2	0	1/1
Bechsteinfledermaus	3/7	0	1/11	*1*
Großes Mausohr	4/11 + *1*	0/1	8/9 + *3*	9/2
Kleine Bartfledermaus	0/2	0/1	0/2	0
Fransenfledermaus	8/7 + *1*	0	0/2	0/2
Braunes Langohr	6/4	0	7/2	0
Zwergfledermaus	0	1/0	0	0
unbestimmt	0	0	*1*	0

Bei den gefangenen Tieren wurden die Geschlechter getrennt aufgeführt (W/M). Tiere bei denen das Geschlecht nicht bestimmt wurde sind in kursiv angegeben.

4.3.4 Bestandsgrößen autobahnnaher und autobahnferner Kolonien

In den 4 mit Transpondern markierten Bechsteinfledermauskolonien konnte aufgrund der häufigen Kontrollen mit Transponderlesegeräten die jährlichen Bestandsgrößen an adulten Weibchen exakt ermittelt werden. Neben den im Untersuchungszeitraum erhobenen Daten wurden auch Daten aus 9 früheren Jahren ausgewertet (KERTH, unveröffentlicht). Die Bestandsentwicklung in den 4 Kolonien verlief über die letzten 11 Jahre unterschiedlich. Drei Kolonien nahmen im Bestand zu, eine nahm ab (Abbildung 4-8). Zu den 3 Kolonien mit einer positiven Bestandsentwicklung zählte auch die autobahnnah lebende Kolonie GB2. Ihre Bestandszunahme von 28 Tieren im Jahr 1996 auf 36 Tiere im Jahr 2006 war mit knapp 29% die stärkste der 4 Kolonien. Bei den 3 Kolonien mit einer Bestandszunahme waren die jährlichen Bestandszahlen an adulten Weibchen signifikant positiv miteinander korreliert (Spearman Rangkorrelation: jeweils $Rs \geq 0{,}64$, $p < 0{,}05$).

Dies deutet darauf hin, dass die Populationsregulierung in diesen Kolonien nicht lokalen Effekten unterlag, sondern von regional wirksamen Faktoren wie dem Wetter abhing (im Gegensatz zur abnehmenden Kolonie BS, die offensichtlich lokale Probleme hatte). Es gab keinen Hinweis auf einen negativen Einfluss der Autobahn A3 auf das Überleben der autobahnnahen Kolonie GB2.

[22] B. *barbastellus*, M. myotis, M. *mystacinus*, P. pipistrellus

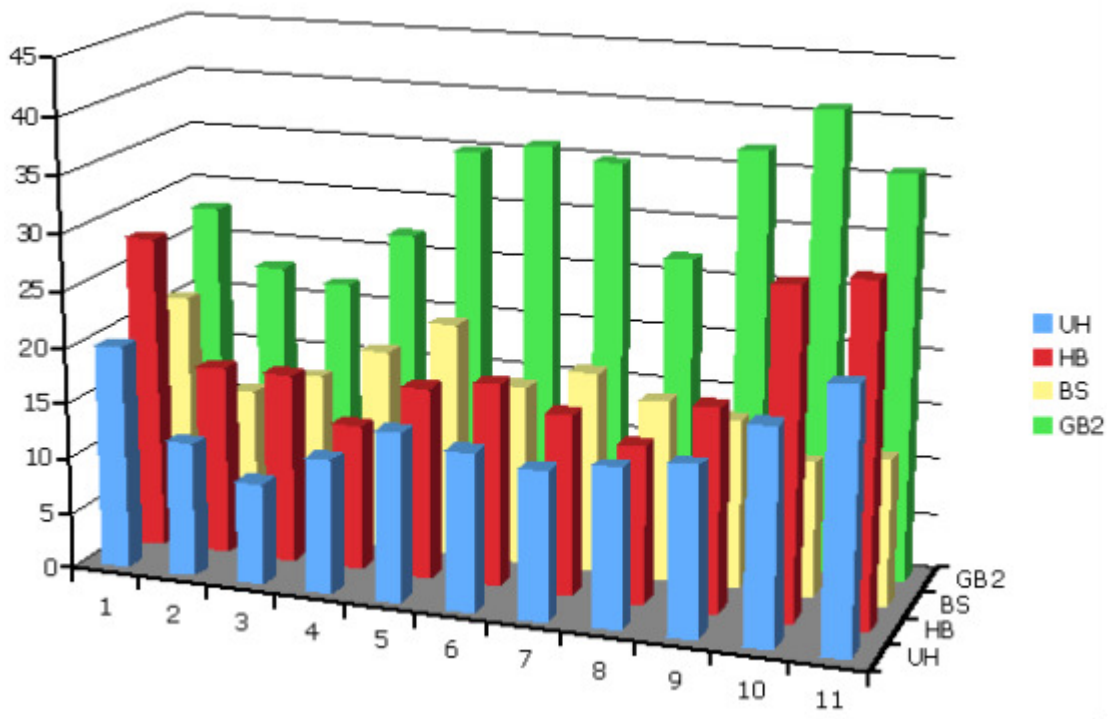


Abbildung 4-8: Entwicklung von vier Kolonien der Bechsteinfledermaus in unterschiedlicher Distanz zur nächsten Autobahn über 11 Jahre (UH: 3770m, HB: 4330m, BS: 520m, GB2: 320m)

Die Y-Achse gibt die Anzahl adulter Weibchen pro Kolonie an.

4.3.5 Populationsgenetische Analysen

4.3.5.1 Abwanderungsverhalten der Männchen

Zwischen 1994 und 2006 wurden 64 adulte Bechsteinfledermaus-Männchen im Bereich der Autobahn A3 gefangen (davon 30 im Projektzeitraum). Bei 56 dieser Tiere konnten alle drei mitochondrialen Marker sowie mindestens 7 Kern-DNA Mikrosatelliten analysiert werden. Bei der Auswertung der genetischen Daten zeigte sich, dass 8 unmarkierte Männchen identische Genotypen aufwiesen und daher offensichtlich 4 Tiere doppelt beprobt worden waren. Es liegen somit von 52 verschiedenen adulten Männchen genetische Daten vor (davon wurden 36 im Tagesquartier und 16 im Netz gefangen).

Die kombinierte Analyse der mitochondrialen und Kern-DNA ergab, dass die meisten Tiere sich im Bereich ihrer mutmaßlichen Geburtskolonien ansiedelten. Trotzdem konnte bei einer Reihe von Männchen gezeigt werden, dass sie die Autobahn A3 zur Abwanderung gequert hatten. Bei 3 Tieren zeigte ihre Allelkombination bei 8 Kern-Mikrosatelliten, dass sie in früheren Jahren auf der jeweils anderen Seite der A3 bereits beprobt worden waren (vor 2004 wurden nicht alle männlichen Tiere markiert). Ein weiteres Männchen war zunächst 2002 südlich der Autobahn markiert worden und wurde dann 2004 nördlich der A3 wieder gefunden. Zudem konnte anhand mitochondrialer DNA gezeigt werden, dass 5 Männchen einen DNA-Typ hatten, der sonst nur in Kolonien auf der jeweils anderen Seite der A3 auftrat. Auch diese Männchen hatten daher wahrscheinlich die A3 gequert. Somit kann bei 9 der 36 Männchen, bei denen Tagesquartier und DNA-Typ bekannt war, eine Ansiedlung auf der jeweils anderen Seite der Autobahn A3 angenommen werden.

4.3.5.2 Koloniegründung der Weibchen

Unter Einbeziehung älterer Funde konnten insgesamt 191 adulte Weibchen aus 9 Kolonien im Guttenberger Wald mit 3 mitochondrialen Markern und 8 Kern-DNA Mikrosatelliten analysiert werden (davon 51 Tiere aus 7 Kolonien im Projektzeitraum). In 2 Kolonien (BE und KL, vgl. Tabelle 4-2) war die Anzahl der analysierten Tiere mit 2 adulten Weibchen pro Kolonie sehr niedrig. Zudem war bei diesen Kolonien nichts über ihre Größe bekannt. Wir beschränkten uns daher für die folgenden Auswertungen auf die Kolonien im Umfeld der Autobahn A3, in denen mindestens 3 adulte Weibchen beprobt und analysiert worden waren und bei denen Daten zur Koloniegröße und/oder von markierten Tieren vermuten ließen, dass es sich um eigenständige Kolonien handelte. Die Daten betreffen die in Tab. 4-2 genannten sowie hier nicht vertiefend behandelte weitere (insgesamt 9 Kolonien). Wir testeten mitochondriale und Kern-DNA getrennt. Auf der Ebene der mitochondrialen DNA testeten wir unter Verwendung aller drei Marker (Abbildung 4 9) sowie zusätzlich, analog zu KERTH & PETIT (2005), nur mit den beiden mitochondrialen Mikrosatelliten, um eine Vergleichbarkeit mit den früheren Analysen zu erreichen. Um den Einfluss der Autobahn A3 unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Distanz zwischen den Kolonien zu untersuchen, führten wir partielle Manteltests durch (KERTH & PETIT 2005). Als abhängige Variable betrachteten wir paarweise Fst-Werte zwischen den Kolonien (ein klassisches Maß der Populationsdifferenzierung). Als Einflussvariablen berücksichtigten wir, ob Kolonien auf derselben Seite der A3 lebten sowie ihre räumliche Distanz zueinander.

Bei Betrachtung aller drei mitochondrialen Marker hatte weder die Distanz zwischen Kolonien noch ihre Lage in Bezug zur Autobahn A3 einen signifikanten Einfluss auf die genetische Differenzierung (Partieller Manteltest: Distanz: Rm = -0,08, nicht signifikant; Lage zur A3: Rm = 0,17, nicht signifikant). Ein ähnliches Ergebnis fanden wir für die 8 Kern-DNA Mikrosatelliten (Distanz: Rm = 0,25, nicht signifikant; Lage zur A3: Rm = -0.34, nicht signifikant). Wenn wir allerdings nur die beiden mitochondrialen Mikrosatelliten betrachteten, zeigte sich ein Trend, dass Kolonien auf der jeweils selben Seite der Autobahn einander genetisch ähnlicher waren als Kolonien, die auf verschiedenen Seiten der A3 leben (Distanz: Rm = 0,09, nicht signifikant; Lage zur A3: Rm = 0,38, $p < 0,07$).

4.3.5.3 Genetische Diversität von autobahnnahen und autobahnfernen Kolonien

Um den möglichen Einfluss der Autobahn A3 auf den Genfluss (Austausch von genetischem Material zwischen Kolonien infolge von Paarungen mit koloniefremden Männchen; KERTH et al. 2002) zu betrachten, untersuchten wir mit Hilfe der 8 Kern-DNA Mikrosatelliten die genetische Diversität (gene diversity) und das Ausmaß der Inzucht (Fis) innerhalb von 7, im Guttenberger Wald lebenden, Kolonien. Die räumliche Distanz zur Autobahn A3 hatte weder einen signifikanten Einfluss auf die in den jeweiligen Kolonien beobachtete genetische Diversität (Spearman Rang Korrelation: Rs = 0,22, nicht signifikant), noch auf die jeweiligen Inzuchtkoeffizienten (Rs = 0,21, nicht signifikant). Somit ergab sich kein Hinweis auf einen eingeschränkten Genfluss via Paarungen mit koloniefremden Männchen bei autobahnnahen Kolonien.

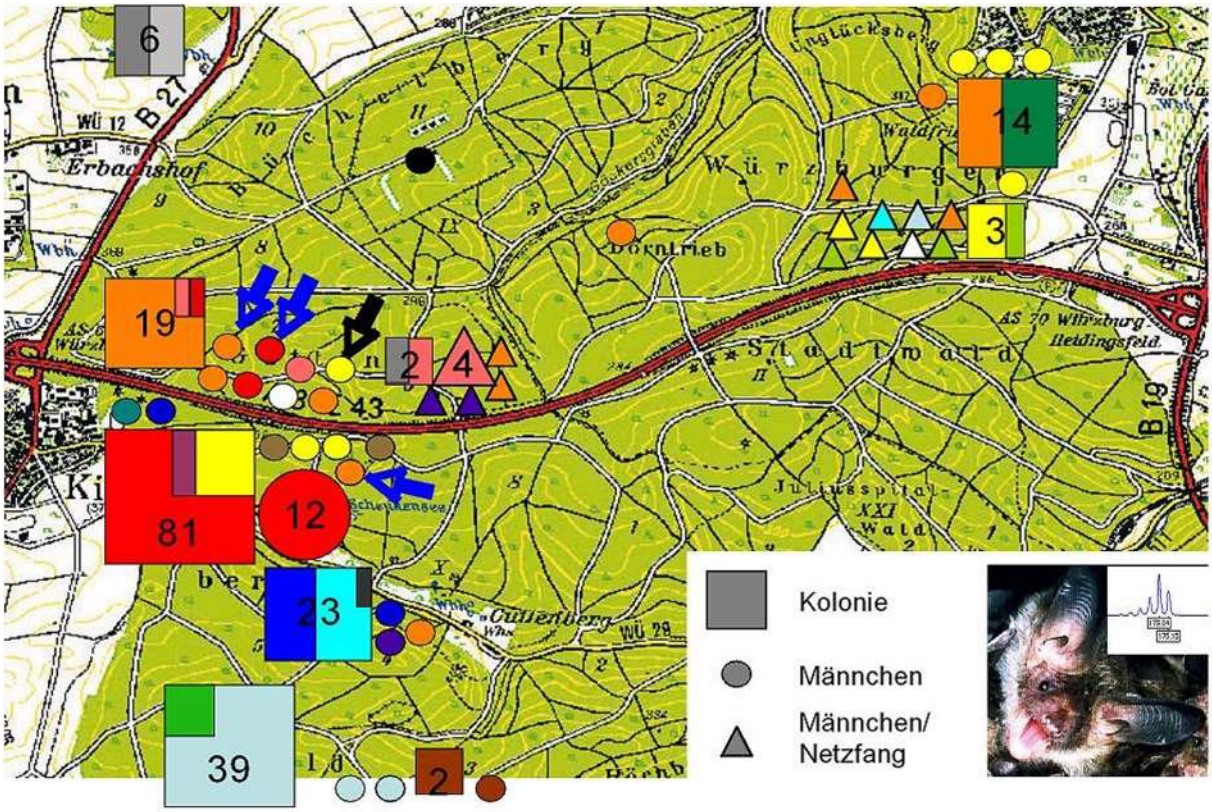


Abbildung 4-9: Verteilung der mitochondrialen DNA-Typen (basierend auf 3 Markern) auf 9 Kolonien der Bechsteinfledermaus im Bereich der Autobahn A3 sowie auf 36 in Kästen lebende Männchen und 16 Männchen, die mit Netzen gefangen wurden

Die unterschiedlichen Farben spiegeln unterschiedliche DNA-Typen wieder. Die Zahl im Koloniesymbol gibt die Anzahl typisierter adulter Weibchen pro Kolonie an. Blaue Pfeile zeigen auf 3 Männchen, deren individuelle Allelkombinationen bei 8 Kern-Mikrosatelliten zeigen, dass sie bereits in früheren Jahren beprobt wurden und die Autobahn A3 später bei ihrer Abwanderung querten. Der schwarze Pfeil zeigt auf ein adultes Männchen, das zuerst südlich der Autobahn A3 in einem Fledermauskasten markiert wurde und später nördlich der Autobahn in einem anderen Kasten wieder gefangen wurde. Diese 4 Tiere tauchen doppelt in der Abbildung auf. Die beiden südlichsten Kolonien GB1 (39 Tiere) und KL (2 Tiere) sind nicht maßstabgetreu eingezeichnet. In Wirklichkeit leben sie in etwa 3 km Entfernung von der Autobahn.

4.3.6 Diskussion der Ergebnisse an der Autobahn A3 – Würzburg

Bezüglich der Gesamtdiskussion der Zerschneidungswirkungen von Autobahnen auf Bechstein- und Mopsfledermäuse wird auf die Synthese in Kap. 10 verwiesen.

4.3.6.1 Methodenkritische Auseinandersetzung

Wie bereits im Methodenteil angeführt, erlauben telemetrische Untersuchungen eine Abschätzung von Aufenthaltsgebieten, die je nach Auswertemethode mit spezifischen Ungenauigkeiten verbunden ist. Durch die Kombination von Kernel und Minimum-Convex-Polygon Analysen ergibt sich jedoch ein eindeutiges Bild. Bei der Auswertung zum Querungsverhalten ist zu beachten, dass alle drei angewandten Methoden mit gewissen Unsicherheiten bezüglich der Nullerwartung der Aufenthaltsgebiete der Fledermäuse verbunden sind. Bei Methode A querte ein und bei Methode B zwei Bechsteinfledermausweibchen die Autobahn A3, obwohl die Distanz ihrer Tagesquartiere zur Autobahn dies nicht vorhergesagt hatte. Beide Methoden unterschätzen offenbar die theoretischen Querungsmöglichkeiten der Bechsteinfledermäuse. Es kann also davon ausgegangen werden, dass weitere Bechsteinfledermäuse die Autobahn von der Distanz her hätten queren können, Methode A und B sind also beide in Bezug zur

Barrierewirkung der Autobahn A3 eher konservativ (Methode B noch stärker). Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass beide verwendeten Methoden trotz quantitativer Unterschiede übereinstimmend zeigen, dass die telemetrierten weiblichen Bechsteinfledermäuse die Autobahn 3 seltener querten, als dies zu erwarten war, wenn keine Barrierewirkung von der Autobahn ausgeht.

Bei den populationsgenetischen Analysen muss zwischen der Zuordnung von Männchen zu Herkunftskolonien über ihren mitochondrialen DNA-Typ und der Wiedererkennung von unmarkierten, aber bereits beprobten Tieren aufgrund ihrer Allelkombination bei der Kern-DNA unterschieden werden. Beide Methoden machen Wahrscheinlichkeitsaussagen, jedoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass 2 verschiedene Individuen bei 8-11 Kern-DNA Mikrosatelliten übereinstimmen, so gering, dass identische Proben mit großer Sicherheit vom selben Tier stammen. Damit gelangen auch bei unmarkierten Tieren Wiederfunde, die eine Aussage zur Abwanderung erlaubten. Bei der Zuordnung von Männchen zu ihren Herkunftskolonien mit Hilfe von mitochondrialer DNA ist zu berücksichtigen, dass trotz intensiver Netzfänge im Untersuchungsgebiet wahrscheinlich noch unbekannte Kolonien leben (so konnte 2007 eine bisher unbekannte Kolonie im Guttenberger Wald bei Würzburg entdeckt werden). Die Aussage, dass bei einigen Tieren die mutmaßlichen Herkunftskolonien auf der gegenüberliegenden Seite der Autobahn leben, ist daher unter dem Vorbehalt zu sehen, dass keine weiteren Kolonien mit demselben DNA-Typ diesseits der Autobahn existieren. Insgesamt ist das Ergebnis, dass zumindest einige Männchen die Autobahn bei der Abwanderung aus ihren Geburtskolonien querten, als sehr sicher zu betrachten, da sowohl Kern- als auch mitochondriale DNA darauf hindeuten und die Netzfänge in der Unterführung Schenkensee Querungen von männlichen Bechsteinfledermäusen bestätigen. Bei der Bewertung des nicht signifikanten Effekts der Autobahn auf die genetische Differenzierung zwischen Weibchenkolonien ist zu beachten, dass die Stichprobengröße mit 7 Kolonien für eine abschließende Aussage zu klein ist. Allerdings ergab sich auch unter Einbeziehung der 2007 neu entdeckten Kolonie kein signifikanter Einfluss der Autobahn auf die genetische Differenzierung zwischen den bekannten Bechsteinfledermauskolonien im Untersuchungsgebiet Würzburg.

4.3.6.2 Einfluss autobahnbedingter Zerschneidungswirkungen auf das Überleben der Bechstein- und Mopsfledermauskolonien

Anhand der vorliegenden Ergebnisse ist bei weiblichen Bechsteinfledermäusen mit einer Zerschneidungswirkung der Autobahn A3 sowohl bei der Quartier- als auch der Jagdgebietsnutzung zu rechnen. Nur 3 Bechsteinfledermaus-Weibchen hatten die Autobahn gequert, obwohl vielen der 27 Tiere mit bekannten Tagesquartieren dies von der Distanz her ohne weiteres möglich gewesen wäre. Alle querenden Tiere nutzten die Unterführung Schenkensee, um die Autobahn zu unterfliegen. Nur einmal konnte im Jahr 2004 ein Tier beim Überfliegen der A3 beobachtet werden, als die Unterführung Schenkensee gerade mit Netzen verschlossen war. Dasselbe Tier hatte zuvor die Unterführung zum Queren genutzt (M. MELBER, unveröffentlicht). Es kann zwar nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass neben der Trasse auch andere lokale Faktoren wie Unterschiede in der Waldqualität die Verteilung der Jagdgebiete erklären. Vorhandene Habitatanalysen im Gebiet der Kolonien GB2 und KL zeigen aber eine beiderseits der Autobahn A3 vergleichbare Waldstruktur (Abbildung 4-10). Selbst wenn die Waldqualität zwischen den beiden Seiten der Trasse unterschiedlich wäre, sollten Tiere aus Kolonien, die auf der Seite mit der geringeren Waldqualität leben, die Autobahn zum Jagen queren. Vor dem Hintergrund der verfügbaren Daten ist daher davon auszugehen, dass der Trassenverlauf der A3 das beobachtete Ergebnis am besten erklärt.

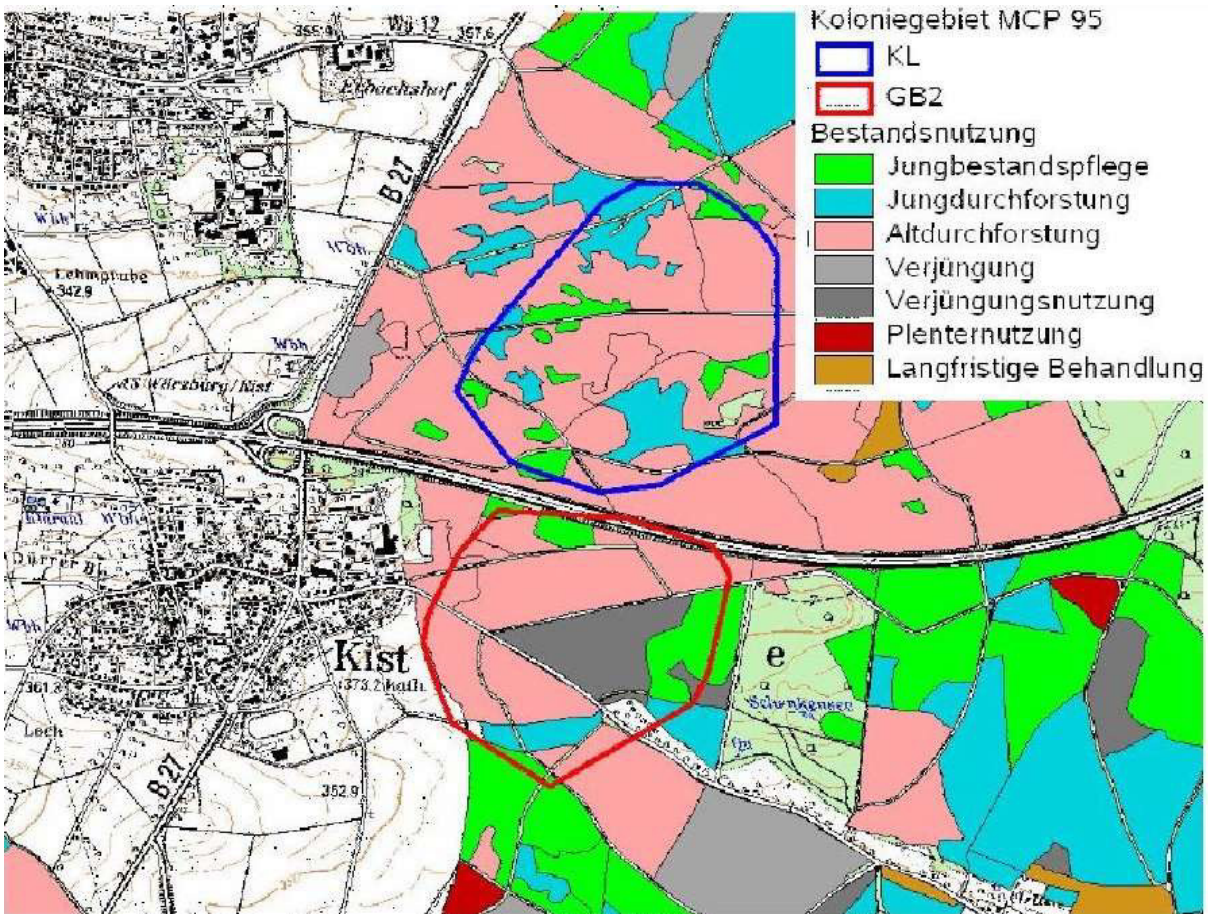


Abbildung 4-10: Verteilung der Habitattypen im Bereich der Aufenthaltsgebiete (MCP 95) der Kolonien GB2 und KL

Beiderseits der Trasse herrschen Laubholzaltbestände in den jeweiligen Koloniejagdgebieten vor (Quelle: Bayerische Staatsforsten BaySF).

Bei der Mopsfledermaus zeigt sich ein ganz anderes Bild als bei der Bechsteinfledermaus. Fünf der telemetrierten Mopsfledermausweibchen querten die Autobahn A3 zum Jagen und zwei Tiere nutzten auch Tagesquartiere beiderseits der Autobahn A3. Daher ist bei der Mopsfledermaus mit keiner oder einer nur geringen Zerschneidungswirkung zu rechnen. Die unterschiedliche Wirkung der Autobahn auf Bechstein- und Mopsfledermaus erklärt sich wahrscheinlich aus deren unterschiedlicher Ökologie. Bechsteinfledermäuse jagen kleinräumig und nahe am Substrat (Vegetation und Waldboden), Mopsfledermäuse dagegen jagen großräumig und weiter vom Substrat entfernt (MESCHEDE & HELLER 2000). Zudem unterscheidet sich die Flügelmorphologie beider Arten. Mit ihren schmäleren Flügeln ist die Mopsfledermaus besser an den freien Luftraum und den Streckenflug angepasst und damit offensichtlich besser in der Lage, eine Autobahn zu queren. Interessanterweise nutzten aber auch Mopsfledermäuse häufig die Unterführung Schenkensee, um die A3 zu queren, obwohl sie die Autobahn nachweislich auch überflogen.

Unsere Ergebnisse sind im Einklang mit vergleichenden Analysen zum Zusammenhang zwischen Flügelmorphologie und Gefährdungsgrad bei Fledermäusen (SAFI & KERTH 2004). Bei breitflügeligen, nahe am Substrat jagenden Arten wie der Bechsteinfledermaus ist mit einer Zerschneidungswirkung durch Autobahnen eher zu rechnen, als bei höher fliegenden Arten mit schmäleren Flügeln wie der Mopsfledermaus. Unsere Netzfangdaten in der Unterführung Schenkensee scheinen dies zu bestätigen. In der Unterführung fingen wir (mit Ausnahme der Mopsfledermaus) vor allem breitflügelige Arten (Bechsteinfledermäuse, Braune Langohren, Fransenfledermäuse und Große Mausohren). Dagegen

wurden Arten mit langen und schmalen Flügeln wie Großer und Kleiner Abendsegler in der Unterführung gar nicht gefangen, obwohl beide Arten im Untersuchungsgebiet vorkommen. Vermutlich queren hoch fliegende und schmalflügelige Arten wie Großer und Kleiner Abendsegler die Autobahn eher im Überflug, während niedrig fliegende und breitflügelige Arten stärker auf Unterführungen angewiesen sind (siehe auch KERTH & MELBER 2009).

Obwohl Isolationseffekte der Autobahn A3 im Untersuchungszeitraum nicht eindeutig nachweisbar waren, ist mit einer Barrierewirkung von Autobahnen auf die Koloniegründung bei der Bechsteinfledermaus zu rechnen. Für eine aussagekräftige populationsgenetische Analyse reichte die Anzahl der beprobten Weibchen bzw. Kolonien trotz intensiver Fangbemühungen und auch unter Einschluss der erst 2007 im Guttenberger Wald neu entdeckten Kolonie nicht aus. Trotzdem beobachteten wir bei den beiden mitochondrialen Mikrosatelliten eine Tendenz bei den vor 2007 untersuchten Kolonien, dass Kolonien auf verschiedenen Seiten der A3 genetisch unterschiedlicher waren als auf derselben Seite der Autobahn. Dieser Befund steht im Einklang mit Literaturdaten zum Einfluss von Waldfragmentierung auf die Koloniegründung bei der Bechsteinfledermaus (KERTH & PETIT 2005). KERTH & PETIT (2005) fanden mit denselben zwei Markern einen signifikanten Einfluss von Waldfragmentierung auf die Koloniegründung der Bechsteinfledermaus (Sequenzdaten wurden bei KERTH & PETIT nicht ausgewertet, da sie nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung standen). Unter Einbeziehung der 2007 neu entdeckten Kolonie ergibt sich bei den nunmehr 7 Kolonien mit mehr als 5 untersuchten Weibchen kein signifikanter Effekt der Autobahn mehr. Dies und die Tatsache, dass bei Einbeziehung der Sequenzdaten der Effekt der A3 auch bei den vor 2007 analysierten Kolonien verschwand, bedeutet aber nicht, dass die A3 keinen Einfluss auf die Koloniegründung hat. Bei so seltenen Ereignissen wie der Gründung von Kolonien reichen die 50 Jahre seit Bau der A3 vermutlich nicht aus, um bei nur 7 untersuchten Kolonien eine erkennbare genetische Signatur zu hinterlassen.

Bei den Männchen ist eine gewisse Zerschneidungswirkung bei der Abwanderung nicht völlig auszuschließen, da viele Tiere gar nicht abwanderten (dieses Ergebnis wird durch die Ergebnisse in der Eifel bestätigt). Dass Männchen sich häufig im Bereich ihrer Geburtskolonie ansiedeln, wurde jedoch auch bei einer autobahnferneren Kolonie beobachtet (KERTH & MORF 2004). Die Ergebnisse der Netzfänge und der genetischen Analysen zusammengenommen lassen eine mögliche Barrierewirkung der Autobahn auf Männchen auf genetischer Ebene als nicht gravierend erscheinen, da bereits relativ geringe Abwanderungsbewegungen von Männchen zu einem ausreichenden Genfluss zwischen bestehenden Kolonien führen sollten. Entsprechend wurde auch keine erhöhte Inzucht bei der autobahnnahen Kolonie GB2 beobachtet. Ein Vergleich des Bestandsverlaufes in den vier über elf Jahre komplett erfassten Kolonien zeigte zudem keinen negativen Einfluss der Autobahn A3 auf die Bestandsentwicklung der autobahnnahen Kolonie GB2.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass es bei der Mopsfledermaus keine Hinweise auf gravierende Zerschneidungswirkungen durch die Autobahn A3 in ihrem jetzigen vier- bis sechsspurigen Zustand gibt. Die Ergebnisse der Telemetrie drei weiterer Mopsfledermäuse in 2007 und 2008 aus der Zeit nach der Verbreiterung der Autobahn A3 legen nahe, dass dies auch nach dem sechs bis achtspurigen Ausbau noch gilt. Bei der Bechsteinfledermaus gibt es dagegen deutliche Hinweise auf eine Zerschneidungswirkung sowohl bei der Jagdgebietsnutzung (sehr seltene Querungen, kleinere Jagdgebiete in Autobahnnähe) als auch bei der Quartiernutzung (keine Wechsel von Kolonien über die Autobahn hinweg) (vergleiche KERTH & MELBER 2009). Andererseits jagten ein Teil der weiblichen Bechsteinfledermäuse nahe an der Autobahn (< 100 m) und auch ein Teil der Tagesquartiere lag sehr nahe der Autobahn (< 50 m). Dies zeigt, dass autobahnnahe Waldbereiche nicht grundsätzlich vermieden werden. Die Quartiernutzungsdaten in Kombination mit genetischen Daten (aus dieser Untersuchung und aus der Literatur, KERTH & PETIT 2005) machen eine Zerschneidungswirkung bei der Koloniegründung wahrscheinlich. Auf der anderen Seite zeigen die genetischen Daten in Kombination mit Fangdaten, dass Männchen die Autobahn bei der Abwanderung aus ihren Geburtskolonien queren. Zudem

zeigen die ausgewerteten Langzeitdaten, dass die autobahnnah lebende Kolonie Guttenberg weder in ihren Bestandszahlen noch in ihrer genetischen Struktur durch die Autobahn erkennbar beeinträchtigt ist.

Die starke Nutzung der Unterführung Schenkensee durch querende Fledermäuse weist auf eine große Bedeutung von Durchlässen für Fledermäuse als Querungsmöglichkeit einer Autobahn hin. Es ist daher zu erwarten, dass Autobahnen, die aufgrund der Topographie häufig auf Brücken verlaufen, eine deutlich geringere Zerschneidungswirkung haben als die Autobahn A3, die in ihrem jetzigen Zustand nur zwei Unterführungen im Untersuchungsgebiet aufweist. Inwieweit die drei im Rahmen des Ausbaus der A3 geplanten neuen Kleintierdurchlässe sowie der Bau einer Grünbrücke die Situation verbessern, müssen zukünftige Untersuchungen zeigen, erste Beobachtungen von anfliegenden Fledermäusen an die halbfertigen Kleintierdurchlässe aus dem Jahr 2008 lassen aber die Erwartung zu, dass zumindest die neuen Kleintierdurchlässe auch als Querungshilfen angenommen werden.

4.4 Ergebnisse im Bereich der Autobahn A60/A1 (Eifel)

4.4.1 Verteilung nächtlicher Aufenthaltsgebiete in Abhängigkeit vom Verlauf der Autobahnen

Das Jagdgebiet von 34 Bechsteinfledermausweibchen aus fünf Kolonien wurde ermittelt, vgl. Tabelle 4-5.[23] Als Kenngrößen des Aufenthaltsbereiches wurden neben dem MCP der Kernel 90 und der Kernel 50 berechnet, mit dem für jede Kolonie als Durchschnitt ermittelten Glättungsfaktor h_{cv} (GIW2 0,086; GIW5 0,186; ALW1 0,113; ALWx 0,122). In Tabelle 4-5 angegeben ist jeweils der Durchschnittswert pro Tier mit Standardabweichung. In den Klammer-Werten sind auch Individuen berücksichtigt, bei denen die Zahl der Ortungspunkte für eine systematische Auswertung kritisch/unzureichend war.

Tabelle 4-5: Zusammenfassung der Telemetriedaten (Aktionsräume, Jagdgebiete)

Art	Kolonie	Untersuchungsjahre	Tiere (n)	Nächte	Punkte+	MCP 95 (ha)	Kernel 90 (ha)	Kernel 50 (ha)
MB	ALW1	2005/2006	4 (5)	4,0±2,2	99,0±23,0	27,6±45,9	7,8±8,7	1,3±1,4
MB	ALWx**	2004-2006	13	3,5±1,3	57,6±21,0	19,2±20,5	7,5±6,6	1,4±1,2
MB	GIW0*	2001	2*	4,0±0	54±8,5	77,1±75,2	11,2±3,5	1,8±0,6
MB	GIW0*	2001	2*	(4,0±0)	-***	25,1±12,9		
MB	GIW2	2006 (2002)	5 (8)	3,0±1,0	57,6±24,9	63,0±57,0	20,3±17,	4,5±4,1
MB	GIW2	2001	2*	(5,0±0)	-***	56,6±48,1		
MB	GIW5	2005/2006 (2002)	6 (8)	3,3±0,8	52,0±21,7	190,3±194,1	133,3±124,6	33,4±30,9

+ Zahl der Aufenthaltspunkte, die in die Auswertung eingingen.

* Referenzfläche; keine Autobahn in der Nähe oder noch nicht in Betrieb. (Nicht berücksichtigt bei Auswertungen mit Bezug zu Querungen).

** Bei Kolonie ALWx konnte nicht zweifelsfrei festgestellt werden, ob alle Tiere zur selben Kolonie oder zu zwei Kolonien mit überlappenden Jagdgebieten gehören.

Vergleich der Aktionsraum-Größen von Autobahn-Querern und Nichtquerern

Die Aktionsräume der telemetrierten Bechsteinfledermausweibchen sind unterschiedlich groß (Tabelle 4-5) und liegen teilweise zu beiden Seiten der untersuchen Autobahnen (Abbildung 4-11 und Abbildung 4-12). Der Zusammenhang zwischen Querungen und Größe der Aktionsräume wurde anhand der in den Telemetrien 2004 - 2006 ermittelten Einzelortungen untersucht. Zu dieser Zeit waren auf beiden Probeflächen AL und GI die Autobahnen freigegeben. Zum Zusammenhang zwischen Aktionsraumgröße und Vorkommen von Querungen lassen sich verschiedene Hypothesen formulieren. Eine Hypothese lautet, dass Querer durch suboptimale Habitate zur Querung gezwungen sind und wegen der suboptimalen Habitate auch eher größere Aktionsräume aufweisen. Eine andere Hypothese lautet, dass Nichtquerer aufgrund von Konkurrenzdruck (durch die Individuen aus anderen Kolonien) auf der einen Seite und Barrierewirkung der Autobahn auf der anderen Seite weniger Gelegenheit finden, ihren Aktionsraum auszudehnen. Dann wäre zu erwarten, dass diese Individuen in Autobahnnähe kleinere Aktionsräume haben als Tiere, die von Randeffekten, wie sie die Autobahn hier ausübt, nicht beeinflusst sind (vgl. 4.3.1). Beide Hypothesen würden erwarten, dass Querer größere Aktionsräume aufweisen als nahe der Autobahn lebende Nichtquerer.

[23] In Voruntersuchungen 2005 waren zunächst weitere Kolonien (MO, s. im Zwischenbericht 2006) einbezogen.

Tatsächlich waren die Aktionsräume von Querern in beiden Probeflächen größer als die der Nichtquerer. Über beide Probeflächen hinweg war dieser Zusammenhang für die Kernels 90 (Mann-Whitney: $n = 28$, $U = 35$, $p < 0{,}008$), Kernels 50 ($U = 36$; $p < 0{,}010$) und MCP 95 ($U = 30$; $p < 0{,}004$) signifikant. In dieser Auswertung sind auch Individuen berücksichtigt, deren Aktionsraum so klein war bzw. so entfernt von der Autobahn lag, dass eine Querung nicht ohne weiteres unterstellt werden konnte (vgl. Kap. 4.3.1). Werden diese Individuen außer Acht gelassen, ergab sich in AL[24] folgendes Bild: die MCP 95 von potenziellen und tatsächlichen Querern unterschieden sich nicht mehr in der Größe, jedoch wiesen Querer größere Kernels auf; Querer bejagten also innerhalb ihres Gesamtaktionsraumes (MCP 95) größere Bereiche als Nichtquerer intensiv.

Sehr auffällig ist, dass die Aktionsräume in Probefläche GI wesentlich größer waren als in Probefläche AL (Mann-Whitney: $n = 28$; Kernel 90: $U = 23$, $p < 0{,}001$; Kernel 50: $U = 25$, $p < 0{,}001$; MCP 95: $U = 31$, $p < 0{,}007$). Gleichzeitig ist die Zahl der Querer in GI wesentlich höher als in AL. Möglicherweise sind daher die Zerschneidungswirkungen der Autobahnen in den beiden Probeflächen sehr unterschiedlich.

Unterschiedliche Farben in den folgenden Abbildung 4-11 und Abbildung 4-12 zeigen die individuellen Aufenthaltsgebiete der telemetrierten Tiere aus den verschiedenen Kolonien. Quartierwälder (in Abbildung 4-11: W1-W6 bzw. in Abbildung 4-12: W0-W5) sind in unterschiedlichen Grüntönen hervorgehoben. Die äußere rote Umgrenzung stellt das MCP 100 aller telemetrierten Bechsteinfledermausweibchen dar.

[24] Ein Vergleich auf dieser Basis war für die Probefläche GI nicht möglich, weil für 3 der 4 Nichtquerer das Kriterium nicht anwendbar ist.

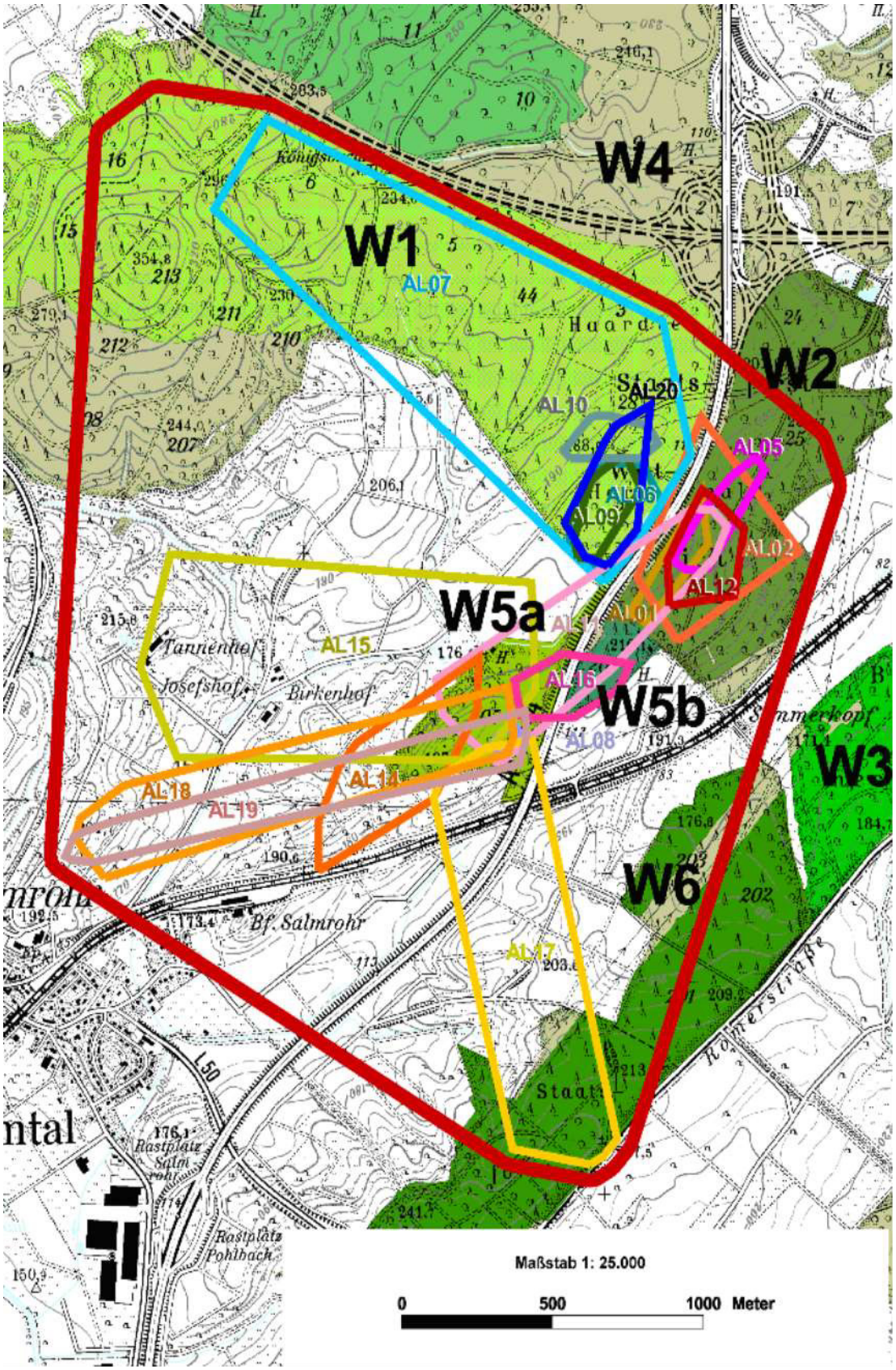


Abbildung 4-11: Aufenthaltsgebiete (MCP 95) von 17 Bechsteinfledermausweibchen in Probefläche AL (Autobahndreieck A1/A60)

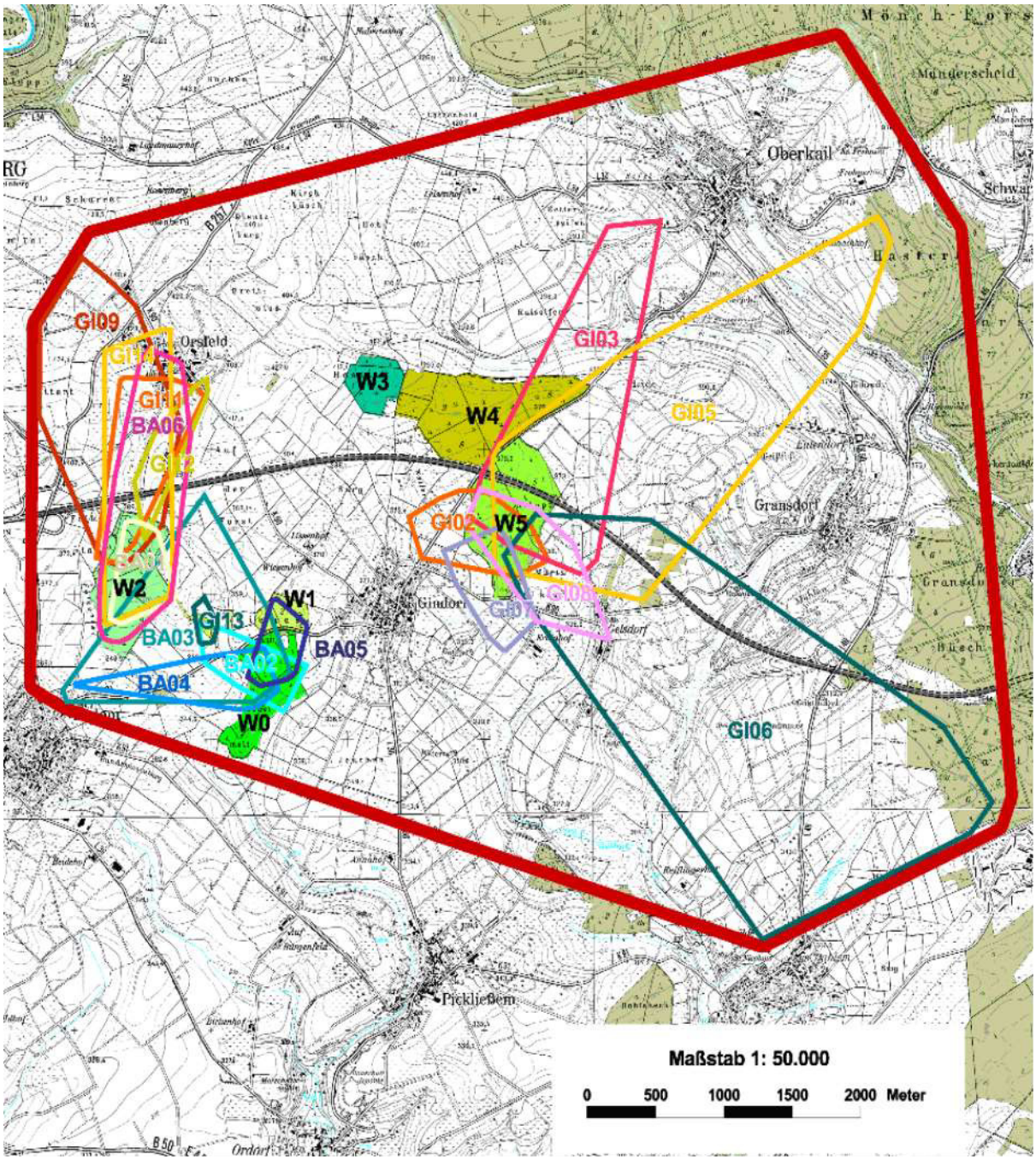


Abbildung 4-12: Aufenthaltsgebiete (MCP 95) von 17 in 2001 bis 2006 telemetrierten Bechsteinfledermausweibchen aus drei Kolonien in Probefläche GI (Autobahn A60)

Tabelle 4-6: Vergleich Aktionsraumgrößen und Querungsverhalten

Probefläche - Querungsverhalten	Tiere	MCP 95 (ha)	Kernel 50 (ha)	Kernel 90 (ha)
AL Nichtquerer	14	20,87 ± 28,76	1,44 ± 0,98	6,53 ± 5,64
AL Querer (alle Wx)	3	25,98 ± 19,80	2,40 ± 1,55	13,38 ± 9,50
GI Nichtquerer	4	32,18 ± 20,76	6,05 ± 4,59	24,14 ± 16,28
GI Querer (3 W5, 4 W2)	7	191,05 ± 176,63	28,35 ± 31,03	114,99 ± 123,75

Tabelle 4-7: Vergleich Aktionsraumgrößen und Querungsverhalten (Nichtquerer mit Querungspotenzial und Querer)

Probefläche - Querungsverhalten	Tiere	MCP 95 (ha)	Kernel 50 (ha)	Kernel 90 (ha)
AL Nichtquerer (nur potenzielle Querer)	11	25,63 ± 30,94	1,68 ± 0,91	7,88 ± 5,64
AL Querer	3	25,98 ± 19,80	2,40 ± 1,55	13,38 ± 9,50

Tabelle 4-8: Vergleich Aktionsraumgrößen und Nähe zur Autobahn

Probefläche - Querungsverhalten	Tiere	MCP 95 (ha)	Kernel 50 (ha)	Kernel 90 (ha)	Durchschnittlicher Abstand Autobahn (m)
AL Nichtquerer	14	20,87 ± 28,76	1,44 ± 0,98	6,53 ± 5,64	265
AL Querer	3	25,98 ± 19,80	2,40 ± 1,55	13,38 ± 9,50	272
GI Nichtquerer	4	32,18 ± 20,76	6,05 ± 4,59	24,14 ± 16,28	554
GI Querer	7	191,05 ± 176,63	28,35 ± 31,03	114,99 ± 123,75	602

Abhängigkeit der Größe der individuellen Jagdgebiete von der Distanz zur Autobahn

Sofern die Autobahn eine Barriere darstellt und sich bei Nichtquerern in Autobahnnähe kleinere Aktionsräume ausbilden, könnte dies als ein Randeffekt der Autobahn interpretiert werden (vgl. 4.3.4). Nichtquerer hielten sich im Durchschnitt ähnlich nahe der Autobahn auf wie Querer (Tabelle 4-8). In GI steht die Kernelgröße bei Nichtquerern in keinem Zusammenhang zur Autobahnnähe (Spearman Rangkorrelation, n = 4: Kernel 90: NA; Kernel 50: R = -0,8, nicht signifikant), die Größe des MCPs steigt mit der Autobahnnähe (Spearman Rangkorrelation, n = 4, R = -1, p<0,001). In AL, wo stärkere Barriereeffekte vermutet wurden, nahm die Kernelgröße mit steigender Entfernung zur Autobahn bei Nichtquerern entsprechend der Hypothese zu (Spearman Rangkorrelation, n = 14: Kernel 90: Rs = 0,55, p = 0,042; Kernel 50: Rs = 0,56, p = 0,037; MCP 95: Rs = 0,506, p = 0,065, nicht signifikant).

Jagen Bechsteinfledermäuse seltener auf der anderen Seite der Autobahn als vom Aktionsradius her zu erwarten wäre?

Eine Barrierewirkung der untersuchten Autobahn könnte sich auch darin äußern, dass Fledermäuse von ihrem Tagesquartier[25] ausfliegend den Bereich jenseits der Autobahn meiden. Sofern keine Meidung auftritt, darf davon ausgegangen werden, dass in einem Kreis rund um das Quartier (bzw. bei

[25] Es wurden nur Nächte in die Analyse einbezogen, bei denen das Quartier bekannt war, d.h. wenn entweder der Ausflug beobachtet worden war oder mindestens der morgendliche Einflug. (In allen Fällen, wo Einflug und Ausflug beobachtet wurden, wurde tagsüber kein Quartierwechsel festgestellt).

mehreren Quartieren um das Quartierzentrum) gleiche Wahrscheinlichkeiten für eine Jagdgebietsnutzung bestehen, vorausgesetzt die Verteilung der Nahrungshabitate ist vergleichbar.

Wie in Kap. 4.3.1 für das Untersuchungsgebiet Würzburg geschehen, wurde die Distanz zwischen dem Quartierszentrum und dem Schwerpunkt (Mittelwert aller Aufenthaltspunkte eines Individuums) des Jagdgebietes als Radius dieses Kreises festgelegt und das Verhältnis erwarteter Querungen zu tatsächlich Beobachteten, betrachtet (Methode A, vgl. Kap. 4.3.1). Die Daten von 7 Nichtquerern, vgl. Tabelle 4-9, wichen hochsignifikant ($p < 0{,}001$) vom Erwartungswert ab, von einem Individuum signifikant (auf dem 1%-Niveau, $p < 0{,}01$).

In AL werden bevorzugt die alten Laubholzbestände genutzt. Die Kolonien finden wie in Würzburg ein vergleichbares Habitatangebot auf beiden Seiten der Autobahn vor (LÜTTMANN et al. unveröff.). Unabhängig davon ist in AL eine starke Meidung von Querungen festzustellen: nur 3 von 17 Bechsteinfledermäusen querten die Autobahn; alle 3 Tiere hielten sich signifikant länger auf der Quartierseite der Autobahn auf als erwartet ($p < 0{,}001$). Aber auch die nicht querenden Bechsteinfledermausweibchen ($n = 14$) hatten mehrheitlich ihre Quartiere nahe an der Autobahn. Entgegen den Befunden hätte man bei 11 Individuen aufgrund dessen erwarten können, dass sie die Autobahn queren und dabei im Durchschnitt ca. 24 % ihrer Jagdzeit auf der anderen Seite verbringen.

Für die Kolonien GI zeigt sich ein völlig anderes Bild: entfernten sich die Bechsteinfledermausweibchen vom Quartier, querten sie dabei fast immer die Autobahn, obwohl sie bei Zufallsverteilung zur Hälfte in andere Richtungen geflogen wären, wo sie die Autobahn nicht hätten queren müssen. Die Aktionszentren der (wenigen) Nichtquerer ($n = 4$) lagen relativ weit entfernt von der Autobahn. Bei keinem dieser Tiere wurde der Erwartungswert für eine Querung signifikant unterschritten, nur in einem Fall wurde eine Querung erwartet. Die Tiere, die gequert hatten ($n = 7$), nutzten den Bereich jenseits der Autobahn teilweise stärker als von den hypothetischen Aktionsräumen zu erwarten war (hochsignifikante Abweichung in 4 Fällen, vgl. Tabelle 4-9).

Auch im Bereich der Probefläche GI unterscheidet sich das Habitatangebot nördlich und südlich der Autobahn nicht grundlegend (siehe Abbbildung 4-13). Umso bemerkenswerter war, dass 4 von 6 die Autobahn regelmäßig querenden Bechsteinfledermäusen auf der den Quartierwäldern abgewandten Seite der Autobahn von Gehölzen durchsetzte Offenlandflächen aufsuchten. Diese Offenlandflächen wurden gegenüber den quartiernah gelegenen Altholzbeständen sowohl absolut betrachtet (> 80% der Nutzung) als auch im Vergleich zu anderen Habitattypen präferiert (s. Abb. 4-13, LÜTTMANN et al. unveröff.).

4.4.2 Abhängigkeit der Querungen von der Gradiente der Autobahnen

Bei 13 von 38 untersuchten Tieren wurden Querungen der Autobahnen festgestellt. Von insgesamt 83 beobachteten Querungen konnten 41 nicht eindeutig als Über- oder als Unterquerung eingeordnet werden (unsicher), 24 waren Überflüge und 18 Unterflüge.

Der Kolonie GIW2 stand eine 170 m lange Talbrücke zur Querung zur Verfügung, in den Aktionsräumen der übrigen Kolonien (GIW5, ALW1, ALWx) standen dagegen weniger bzw. kleinere Bauwerke zur Verfügung. Die Abhängigkeit der Querungen von der Gradiente der Autobahnen und die Nutzung baulicher Querungshilfen werden im Folgenden entsprechend getrennt nach Kolonien unter Berücksichtigung dieses Angebotes untersucht.

Überquerungen in Abhängigkeit von Gradienteneigenschaften

Alle Überflüge ($n = 24$, von insgesamt 6 Bechsteinfledermausweibchen) fanden in Straßenabschnitten statt, die keine Strukturen wie Über- bzw. Unterführungen aufwiesen. Zur Klärung der Frage, ob dies oder weitere Gradienteneigenschaften (Einschnitt, Dammlage) das Querungsverhalten beeinflussen, wurden zum einen die Gradientenmerkmale der Autobahn an der jeweiligen Querungsstelle ermittelt,

zum anderen, welche alternativen Möglichkeiten im Aktionsraum des Individuums zur Querung bestanden hätten (Klassifikation der Gradientenmerkmale im MCP 100 mittels Luftbildauswertung).

Von den 24 Überflügen wurden 11 in Dammlage und 13 in Gleichlage vollzogen (Tabelle 4-10). Die Tiere AL 11 und AL 16, querten sowohl in Damm- als auch in Gleichlage die Trasse. Die übrigen querenden Individuen nutzen nur einen Gradiententyp (Querung entweder in Damm- oder in Gleichlage). Überflüge in Bereichen mit Einschnittslage wurden nicht registriert, obwohl sich innerhalb der MCPs der untersuchten Tiere ca. 28 % der Trasse in Einschnittslage befanden. Einem Erwartungswert von 6,8 Überflügen in Einschnittslage steht keine (Null) tatsächliche Beobachtung gegenüber (Tabelle 4-10).

Drei der 6 Tiere bevorzugten die Dammlage, die anderen Gleichlagen. Nur ein Tier (AL11) bevorzugte einen Gradiententyp, der in seinem Aktionsraum seltener als der andere vorkam. Die Tabelle 4-11 fasst das „subjektive Angebot“ summarisch zusammen. In Bezug auf die Verteilung der Querungen in Dammlage bzw. Gleichlage wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt (Chi² 0,83; df = 1, nicht signifikant).

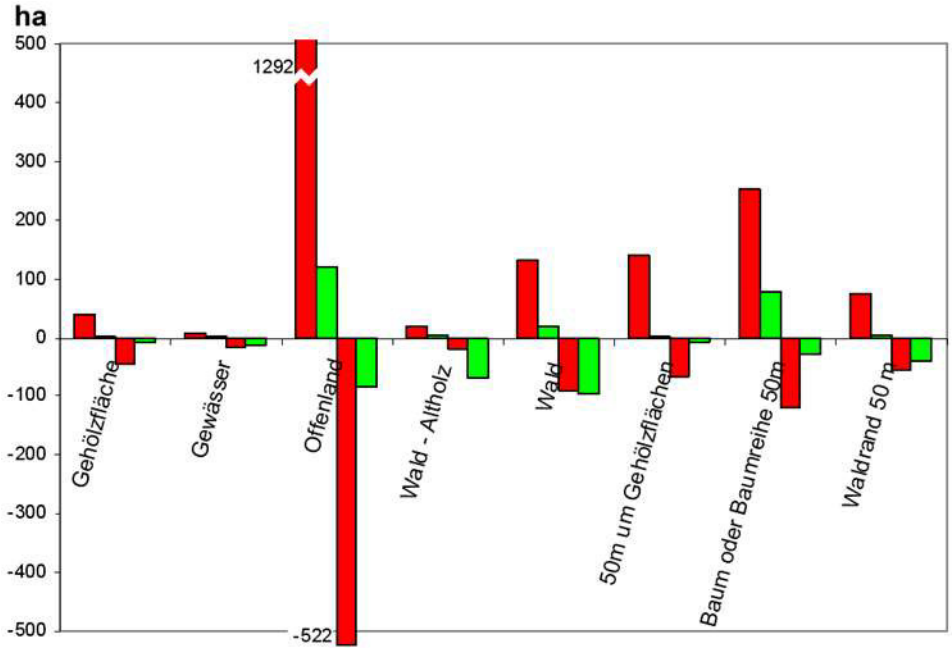


Abbildung 4-13: Flächenangebot (rot) und -nutzung (grün) nördlich (positiver Bereich) und südlich (negativer Bereich) der Autobahn im Bereich der Probefläche GI (LÜTTMANN et al. unpubl.)

Tabelle 4-9: Vergleich von beobachteter und erwarteter Querungshäufigkeit.

(Fettdruck: Individuen, welche die Autobahn nicht querten, obwohl es ihnen von der Distanz her möglich war)

Individuum	Radius	Anteil % Diesseits	Anteil % Jenseits	APT	APT Ds.	APT Js.	ER Ds.	ER Js.	χ^2	P
AL01	10	100	0	23	23	0	23	0	NA	NA
AL02	142	95,26	4,74	20	20	0	19,05	0,95	NA	NA
AL05	183	89,03	10,97	25	25	0	22,26	2,74	3,1	NS
AL06	**380**	**67,05**	**32,95**	**125**	**125**	**0**	**83,81**	**41,19**	**61,4**	**<0,001**
AL07	**288**	**69,97**	**30,03**	**74**	**74**	**0**	**51,78**	**22,22**	**31,8**	**<0,001**
AL08	188	100	0	38	38	0	38	0	NA	NA
AL09	**348**	**59,57**	**40,43**	**73**	**73**	**0**	**43,49**	**29,51**	**49,5**	**<0,001**
AL10	**220**	**76,24**	**23,76**	**96**	**96**	**0**	**73,19**	**22,81**	**29,9**	**<0,001**
AL11*	258	82,88	17,12	41	15	26	33,98	7,02	61,9	<0,001
AL12	22	100	0	46	46	0	46	0	NA	NA
AL14	**337**	**86,51**	**13,49**	**70**	**70**	**0**	**60,56**	**9,44**	**10,9**	**<0,001**
AL15	268	94,12	5,88	37	37	0	34,82	2,18	2,3	NS
AL16*	198	82,87	17,13	99	46	53	82,04	16,96	92,4	<0,001
AL17*	586	59,48	40,52	70	25	45	41,64	28,36	16,4	<0,001
AL18	**1182**	**58,65**	**41,35**	**68**	**68**	**0**	**39,88**	**28,12**	**47,9**	**<0,001**
AL19	**710**	**66,13**	**33,87**	**44**	**44**	**0**	**29,1**	**14,9**	**22,5**	**<0,001**
AL20	**445**	**77,04**	**22,96**	**24**	**24**	**0**	**18,49**	**5,51**	**7,2**	**<0,01**
GI02	420	91,51	8,49	15	15	0	13,73	1,27	1,4	NS
GI03*	666	76,05	23,95	20	13	7	15,21	4,79	1,3	NS
GI05*	926	76,72	23,28	16	3	13	12,28	3,72	30,2	<0,001
GI06*	1517	62,68	37,32	7	7	0	4,39	2,61	4,2	NS
GI07	328	100	0	71	71	0	71	0	NA	NA
GI08	242	100	0	85	85	0	85	0	NA	NA
GI09*	1328	79,84	20,16	100	34	66	79,84	20,16	130,6	<0,001
GI11*	908	91,67	8,33	49	16	33	44,92	4,08	223,6	<0,001
GI12*	1349	81,61	18,39	56	6	50	45,7	10,3	187,5	<0,001
GI13	526	100	0	21	21	0	21	0	NA	NA
GI14*	886	100	0	35	25	10	35	0	NA	NA

Radius der erreichbaren Kreisfläche um die jeweiligen Tagesquartiere (m) und Anteile dieser Kreisfläche, welche sich jeweils diesseits (Seite des Quartiers) bzw. jenseits der Autobahn befinden, im Vergleich zur Anzahl der realen Aufenthaltspunkte (APT) sowie deren aktuelle (AP) und erwartete (ER) Verteilung in Bezug zur Autobahn (Diesseits oder Jenseits).

Individuen, welche die Autobahn nicht querten, obwohl es ihnen von der Distanz her möglich war, sind fett gedruckt. Individuen, welche die Autobahn querten sind mit * gekennzeichnet (GI06 querte in einer Nacht, in der kein Quartierbaum bekannt war, daher in dieser Tabelle keine Querung). Angegeben ist zudem die Testgröße (Chi²) sowie das Signifikanzniveau (p) des Chi²-Tests. NS bezeichnet nicht signifikante Tests.

Tabelle 4-10: Gradientenangebot für überquerende Tiere

		Angebot im MCP 100 (m)					Angebot %	Erwartungs-wert
Individuum	**Überque-rungen (D/G/E)**	**Summe**	**Damm**	**Gleich-lage**	**Bau-werk**	**Einschnitt**	**Einschnitt**	**Einschnitt**
AL11	9 (4/5/0)	1360	724	288	0	348	25,6	2,30
AL16	7 (1/6/0)	394	55	126	0	214	54,2	3,80
AL17	2 (2/0/0)	596	566	0	30	0	0,0	0,00
GI07	1 (1/0/0)	339	84	0	170	85	25,2	0,25
GI03	2 (0/2/0)	980	0	813	0	167	17,0	0,34
GI11	3 (3/0/0)	741	84	56	170	431	58,2	1,75
Gesamt	24 (11/13/0)	4410	1513	1283	369	1245		8,44 (Summe)
%	100%	100%	34,3%	29,1%	8,4%	28,2%	28,2%	6,78%

D = Damm, G = Gleichlage, E = Einschnitt. Die Summe des Angebots entspricht der Länge der Autobahn im MCP 100. Der Erwartungswert für Überflüge von Einschnitten ist jeweils das Produkt von Zahl der Querungen und Anteil der Einschnitte am Angebot. Die Summe dieser Erwartungswerte beträgt 8,44, ermittelt aus den summierten Werten 6,78. Beide Werte werden signifikant unterschritten (Chi^2 9,51, df=1; $p < 0,01$). Außerhalb der Talbrücke befindet sich nur ein Bauwerk mit 30 m Länge in einem MCP 100 (AL17).

Tabelle 4-11: Gegenüberstellung der Überflüge in Damm- und Gleichlage mit dem Gradientenangebot im MCP 100 (6 Tiere)

	Kumuliertes Angebot im MCP 100 (m)				Erwartungswerte für Querungen	
Gradiente der Querung	**Damm**	**Gleichlage**	**Summe**	**Anzahl Querungen**	**E_{Damm}**	**$E_{Gleichlage}$**
Damm	3283	599	3882	11	9,3	1,7
Gleichlage	1245	2882	4127	13	3,9	9,1
Summe	4528	3481	8009	24	13,2	10,8

Talbrücke (170 m)

Für Kolonie GIW2 bestand bei allen querenden Tieren innerhalb ihrer Aktionsräume (MCPs) die Möglichkeit, unter einer Talbrücke (170 m) zu queren. Im Bereich dieser Talbrücke wurden insgesamt 46 Querungen der Autobahn durch 6 Individuen nachgewiesen: 18 Unterflüge, 4 Überflüge sowie 24 Querungen mit unsicherer Querungsklasse. 5 der 6 untersuchten Tiere unterquerten die Autobahn mit Sicherheit unter der Talbrücke. Der Anteil der Querungen, die unter der 170 m langen Talbrücke erfolgten, lag um den Faktor 4,5 höher als der Anteil der Querungen über die Autobahn (18 von 22; 82%).

Um herauszufinden, ob die Talbrücke mehr als zufällig, d.h. systematisch genutzt wurde, wurde die Länge der Autobahn im Gesamtaktionsraum (MCP 100) jedes querenden Individuums sowie die Breite der Unterquerungsmöglichkeit innerhalb des MCPs gemessen. Der Erwartungswert ergab sich aus dem Verhältnis von Breite der Brücke und Gesamtlänge der Autobahn im individuellen Aktionsraum mal der Zahl der Querungen, die für das Individuum beobachtet wurden. Anschließend wurde dieser Wert mit der tatsächlichen Anzahl an Unterflügen verglichen.

Bsp. Telemetrietier GI 09: Das die Autobahn überspannende MCP 100 ist 670 m breit. Auf 25,37% der Breite besteht in Form der 170 m breiten Talbrücke die Möglichkeit, die Autobahn zu unterfliegen. Es wird erwartet, dass 25,37% der 5 Querungen dieser Fledermaus, also 1,3 Querungen, im Bereich der

Talbrücke erfolgen. Tatsächlich wurden 5 Unterflüge registriert. Die Daten weichen also von der Erwartung ab, Unterflüge werden bevorzugt.

Bei 5 der 6 Tiere wurde der Erwartungswert erreicht oder überschritten. In der Summe bestand eine hochsignifikante Bevorzugung der Talbrücke ($p < 0{,}001$; Chi^2 19,60, df = 1).

Tabelle 4-12: Querungen im Bereich der Talbrücke (Untersuchungsgebiet GI, Autobahn A60)

Tier	Anzahl der Querungen	Breite des MCP an Autobahn (m)	Breite der Unterquerungsmöglichkeit (Brückenlänge) im Kernel (m)	Unterquerungsmöglichkeit im Kernel	Erwartungswert: (h_E) Querungen unter der Brücke	tatsächlicher Beobachtungs-wert (h_B) der Unterquerungen	Auswertung*
GI06	7	455	170	37,36%	2,6	7	++
GI07	2	400	170	42,50%	0,9	1	+
GI08	2	490	170	34,69%	0,7	2	+
GI09	5	670	170	25,37%	1,3	5	++
GI11	3	410	115	28,05%	0,8	0	-
GI12	3	220	170	77,27%	2,3	3	+
Summe	**22**	**2645**	**965**	**36,48%**	**8,0**	**18**	**+ p < 0,001**

+ Erwartungswert wird erreicht, ++ wird übertroffen; - Erwartungswert wird nicht erreicht

Kleinere Unter- und Überführungen

Bei Kolonie GIW5 und in Probefläche AL befanden sich wenige, kleinere Querungsmöglichkeiten im oder nahe dem Aktionsraum (GIW5: Straßenüberführung mit 5,5 m Breite, Wirtschaftswege-Unterführung mit Lichte Weite 8 m; AL: Überführung der Autobahn über die Bahntrasse mit Breite 29 m, Wirtschaftswege-Unterführung mit Lichte Weite 8 m).

Von 7 querenden Individuen sind 4 Tiere mit Sicherheit über die Autobahn geflogen; alle direkt beobachteten Querungsereignisse waren Überquerungen.

Die durchschnittliche Entfernung der beobachteten Überquerungen zu einem Bauwerk betrug zwischen 169 und 527 m. Bei 2 der 4 Tiere lag ein Unterführungsbauwerk im MCP 100 der Tiere, d.h. die Erreichbarkeit einer Querungshilfe[26] war für diese Tiere gegeben. Für die übrigen Tiere lag eine Unterführung im Abstand von 140 (AL 11) bzw. 247 m (AL 17) zur Grenze des MCPs. Der zu fliegende „Umweg“ wäre also vergleichsweise gering gewesen. GI03 hätte eine Überführung unmittelbar neben dem MCP nutzen können.

Die nutzbare Bauwerkslänge betrug bezogen auf die Trassenlänge im Aktionsraum durchschnittlich nur 0,1% (siehe Tabelle 4-10).

[26] Bei den erreichbaren Unterführungsbauwerken handelt es sich um die Überführung der Autobahn über die Bahntrasse (AL), eine Wirtschaftswegeunterführung sowie eine Landesstraßenüberführung (GI).

Tabelle 4-13: Querungen im Bereich kleinerer Unter- und Überführungen

Tier	Anzahl Que-rungen	Anzahl Über-que-rungen	Unsicher (Über- oder Unter querung)	Unterführung im MCP bzw. Entfernung MCP-Unter-führung (m)	Durchschnittli-cher Abstand der Überque-rungen zu einer Unter-führung (m)	Überführung im MCP bzw. Entfernung MCP-Über-führung (m)	Durchschnittli-cher Abstand der Überque-rungen zu einer Überführung (m)
AL11	9	9	0	140	527	nein	-
AL16	7	7	0	247	388	nein	-
AL17	5	2	3	ja	169	nein	-
GI03	6	2	4	ja	428	11	222
Summe	27	20	7	≤ 247 m		≥ 11 m	

4.4.3 Diskussion der Ergebnisse an den Autobahnen A60 und A1 – Eifel

Bezüglich der Gesamtdiskussion der Zerschneidungswirkungen von Autobahnen auf Bechstein- und Mopsfledermäuse wird auf die Synthese in Kap. 10 verwiesen.

4.4.3.1 Methodenkritische Auseinandersetzung

Die Unsicherheiten, die mit der Erfassung von Aktionsräumen von Fledermäusen mittels Telemetrie und den gebräuchlichen Auswertealgorithmen verbunden sind, sind bereits in Kap. 4.3.6.1 diskutiert. Diese Begrenzungen gelten umso mehr für die in der Eifel untersuchten Bechsteinfledermäuse, die oft Jagdhabitate haben, die außerhalb der Quartierwälder in Entfernungen bis über 3 km liegen. Dies führte dazu, dass Daten für einzelne Individuen die Anforderungen, die z.B. für die exakte Bestimmung der Querungen erforderlich sind oder für eine statistisch ausreichende Menge von Daten für abgesicherte Kernel-Berechnungen, nicht erfüllen. Im Projekt wurde entschieden, die Daten diesbezüglich sehr konservativ zu selektieren. Weil deswegen nicht alle Sendertiere für die Auswertung genutzt wurden, schränkt dies einerseits die Stichprobenmenge (n telemetrierte Tiere) ein, verbessert andererseits aber die Sicherheit der Grunddatenbasis des Projektes.

In Bezug auf die Frage, ob Autobahnen Barrierewirkungen ausüben, haben wir uns im Projekt auf den Aspekt der Jagdgebietsnutzung und der Quartierwahl konzentriert. Anerkannte Indices, die Barriere- bzw. Zerschneidungswirkungen auf Tierarten und -populationen zeigen, sind erst in Entwicklung (vgl. z.B. KLENKE et al. 2006). Insofern konnte nicht auf ein etabliertes Methodenspektrum zurückgegriffen werden, sondern es wurden Annahmen und modellhafte Vorstellungen formuliert, die – in der Regel nicht einzeln, sondern in der Zusammenschau - aus der Sicht der Autoren plausibel Zerschneidungen bzw. fehlende Zerschneidungswirkungen durch Verkehrswege bei Fledermauspopulationen (insbesondere der Bechsteinfledermaus) anzeigen können. Dies gilt insbesondere auch für die Auswertung zum Querungsverhalten (s. dazu in Kap. 4.3.1). In GI nutzten die Tiere, die gequert hatten (n = 7), den Bereich jenseits der Autobahn teilweise deutlich stärker als entsprechend der hypothetisch hergeleiteten Aktionsräume zu erwarten war (hochsignifikante Abweichung in 4 Fällen). Eine Erklärung könnte theoretisch die konservative Abschätzung der Aktionsräume sein. Da sich an dem Ergebnis aber nach unseren Berechnungen nichts ändert, wenn die Aktionsräume progressiver berechnet werden, wurde die Methode so ausgeformt, dass sie ohne Änderung sowohl auf die Daten der Bechsteinfledermauskolonien bei Würzburg als auch in der Eifel anwendbar ist.

4.4.3.2 Nachweisbarkeit autobahnbedingter Zerschneidungswirkungen

In AL wurden Zerschneidungswirkungen identifiziert. Die Bechsteinfledermausweibchen der Kolonie(n) in AL mieden mehrheitlich das Queren der Autobahn. Dagegen hat die Autobahn A60 nach den bisherigen Ergebnissen in GI derzeit keine nachweisbare Zerschneidungswirkung auf die Bechsteinfledermauskolonien im Einzugsbereich. Als Ursache für diese Unterschiede kommt das höhere Alter der Autobahn A48 (in AL) gegenüber der Autobahn A60 (in GI) in Betracht. Möglicherweise sind die unterschiedlichen Verhaltensweisen Ergebnis eines heute nicht mehr nachweisbaren Anpassungseffektes. Als weitere, u. U. zusammen wirkende, Ursachen sind die in GI deutlich geringere Verkehrsdichte und andere Merkmale der beiden Autobahnen zu diskutieren, wie z.B. das Vorhandensein bzw. Fehlen von baulichen Querungsmöglichkeiten, die eine unterschiedliche Barrierestärke bewirken. Denkbar wäre, dass die Unterschiede in der Lebensweise der verschiedenen Kolonien begründet sind, z.B. weil für Bechsteinfledermaus-Individuen, die zwischen Quartier und Jagdgebiet große Entfernungen über offene Flächen zurücklegen, eine Autobahn ein geringeres Hindernis darstellt als für stark waldgebundene Individuen. Querungen könnten dadurch begünstigt werden, dass auf der anderen Seite der Autobahn besonders günstige Jagdhabitate liegen. Es ist plausibel, dass Querungen dann erwartet werden dürfen, wenn die Habitatqualität jenseits der Autobahn besser ist als diesseits bzw. besonders wertvolle Nahrungshabitate nur durch Querung der Autobahn erreichbar wären. Dies würde auch die größeren Jagdhabitate der Querer erklären. Diese Erklärung findet in unseren Daten in Bezug auf die Probefläche GI aber keine Bestätigung: Im Bereich der Probefläche GI, wo die meisten Querungen auftraten, unterscheidet sich das Habitatangebot nördlich und südlich der Autobahn nicht grundlegend (Abbildung 4-12). Trotzdem ist die Nutzung auf beiden Seiten der Autobahn durch die Bechsteinfledermäuse eine grundlegend andere: 4 von 6 die Autobahn querenden Bechsteinfledermäusen nutzten auf der den Quartierwäldern abgewandten Seite der Autobahn von Gehölzen durchsetzte Offenlandflächen und präferierten diese gegenüber den quartiernah gelegenen Altholzbeständen (> 80% der Nutzung, LÜTTMANN et al. unveröff.). Dass diese Flächen günstigere Jagdhabitate bereitstellen als die quartiernahen Wälder, welche die Bechsteinfledermäuse nutzen könnten ohne die Autobahn zu queren, ist nicht anzunehmen. Auch die größeren Jagdgebiete der Individuen aus den autobahnnahen Kolonien und insbesondere der Querer sind kein Zeiger für „Autobahnwirkungen“: die Aktionsräume von vier Bechsteinfledermaus-Weibchen einer Kolonie (Moselsporn), die in großräumig unzerschnittenen Wäldern des Hunsrück lebt, wurden nämlich mit vergleichbaren Größenordnungen ermittelt (29,7 ± 1,8 ha MCP95; 48,3 ± 41,0 bzw. 14,3 ± 1,1 ha Kernel90 bzw. Kernel50, Untersuchungsjahr 2005; GESSNER & WEISHAAR unveröff.). Ob Querungen auch dadurch provoziert wurden, dass Individuen aus weiteren Kolonien die untersuchten Kolonien „bedrängten“ und insoweit auch die Aktionsräume vieler oder einzelner Koloniemitglieder prägten, kann nicht beantwortet werden. Entsprechende Hinweise fanden wir nicht.

Bei der Untersuchungsfläche GI handelt es sich um eine fragmentierte Feld-Wald-Landschaft. Die Jagdgebiete in GI sind groß. Die Aktionsräume sind nach Größe und Verteilung vergleichbar mit anderen „Offenland-Populationen“ der Bechsteinfledermaus z.B. in Westfalen, die abseits von Autobahnen liegen (FÖA 2003a). Die Jagdgebiete in GI verteilen sich offenbar nicht als Folge der Zerschneidung des Aktionsraumes durch eine Autobahn.

Einen Erklärungsansatz liefert der Zeitraum, der seit Autobahnbau vergangen ist: Die Autobahn A3 und die Autobahn A1 sind „alte“ Autobahnen (A3: seit 1955 für den Verkehr freigegeben, A1: um 1974). Die Autobahn A60 ist dagegen „jung“ (Freigabe in 2002) und hat auch mit Abstand die entsprechende, geringste Verkehrsbelastung. Vor dem Hintergrund der Querungspräferenzen (s.u.) stellt sich die Frage, ob bei AL im Gegensatz zu GI Adaptionseffekte an die Autobahn bzw. Selektionseffekte z.B. infolge Kollisionstod der Querer zu Tage treten. Jedoch kann dies in Bezug auf die Kolonien in GI und AL nicht beantwortet werden, da aussagekräftige, längerfristige Daten über die Populationsentwicklung, zumindest der Autobahn nahen bzw. die Autobahn querenden Kolonien noch fehlen.

4.4.3.3 Vermeidbarkeit von Zerschneidungswirkungen durch Querungshilfen

Zerschneidungswirkungen können durch Querungshilfen unter bestimmten Bedingungen vermieden werden.

Im Bereich von Kolonie GIW2 wurde eine statistisch hochsignifikante Bevorzugung der Talbrücke beobachtet. Dies wird so interpretiert, dass von der angebotenen Brücke (170 m) auch eine Kanalisierungswirkung ausgeht. Möglicherweise stellt die Brücke aber auch eine Querungsstruktur nach Autobahnbau in einem Bereich bereit, der aufgrund seiner Geländeeigenschaften bereits vor dem Autobahnbau besondere Bedeutung als Flugweg hatte. Auf die zu vermutende, herausragende Bedeutung entsprechend tradierter Flugwege wird in der Literatur immer wieder verwiesen (z.B. ALTRINGHAM 2008; FITZ-SIMONS et al. 2002).

Querungen traten aber auch an Stellen auf, wo keine bauliche Querungshilfe bestand. Beim Überflug wurden – nach den Telemetrieergebnissen - Dammabschnitte und Gleichlage zu gleichen Teilen genutzt, tiefere Einschnitte wurden dagegen von den telemetrierten Individuen nicht überflogen und unter Berücksichtigung aller weiteren Beobachtungen zumindest tendenziell gemieden (vgl. auch Kap. 6.1.4.5).

Die Telemetrieuntersuchungen lieferten nur im Einzelfall Hinweise auf die Höhe des Fluges beim Queren des Straßenraumes. Ergänzend können Beobachtungen aus Experimenten mit Individuen, die mit so genannten Knicklichtern versehen wurden und deren Flugbahn auf diese Weise visuell verfolgt werden konnte (s. im Zwischenbericht 03/2006), hinzugezogen werden. Die insgesamt trotzdem wenigen Beobachtungen ergaben sowohl Fälle, in denen ein der Kontur des Straßendammes resp. der Straße folgendes Flugverhalten festgestellt wurde, wie auch Beobachtungen, wonach die Individuen den Straßenraum in großer Höhe (teilweise in Baumkronenhöhe) geradlinig querten. (Vgl. dazu die weiteren Angaben in Kap. 6). Das geradlinige Fliegen im Transferflug, also auf dem Weg vom Quartier in entfernt liegende Jagdgebiete, in größerer Höhe, wurde auch von anderen Kolonien in fragmentierten Wäldern in Westfalen berichtet (FÖA 2003a).

Die Nutzung der kleineren baulichen Querungsmöglichkeiten wurde in keinem Fall (n = 20) beobachtet. Dass die vorhandenen (geringen) Querungsmöglichkeiten nichts zum Querungsverhalten der in dieser Untersuchung beobachteten Kolonietiere beitragen, kann aufgrund bestehender Beobachtungslücken aber auch nicht mit Sicherheit ausgesagt werden. Die Entfernung zu den Querungsmöglichkeiten oder eine zu geringe Größe (Öffnungsweite) können die Nichtakzeptanz nicht erklären. Die Befunde in GI und AL stehen auch im Widerspruch zu unseren Befunden in Würzburg, die die Akzeptanz entsprechender Wirtschaftswegeunterführungen durch Bechsteinfledermäuse belegen (BACH et al. 2004), vgl. in Kap. 4.3.3. Bislang nur einmal hat ein Tier die A3 in Würzburg direkt gequert und ansonsten, wie alle anderen Sendertiere in Würzburg, eine – je nach Individuum – über 1000 m entfernte Wirtschaftswege-Unterführung zum Queren genutzt (M. MELBER, unveröffentlicht). Für die Wimperfledermaus ist z.B. ein Flug über 750 m entlang einer Autobahn zu einer Unterführung belegt (KRULL et al. 1991).

5 Reaktion von Fledermäusen auf einen Autobahn-Ausbau und Bauaktivitäten an der Autobahn A3

5.1 Einführung, Zielsetzung

Im Frühjahr 2007 begann der Ausbau der Autobahn A3 zwischen den Anschlussstellen Kist und Heidingsfeld. Hier wird bis 2010 die Autobahn A3 mehrspurig ausgebaut (Anbau einer dritten Spur in beiden Fahrtrichtungen auf fast der gesamten Länge; bei der Ausfahrt Kist mehrere neue Spuren). Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, die Auswirkungen des Ausbaus der Autobahn A3 auf die im angrenzenden Guttenberger Wald lebenden Fledermausvorkommen zu untersuchen. Die dort lebenden Populationen der Bechsteinfledermaus werden seit 1996 kontinuierlich erfasst, die der Mopsfledermaus seit 2003. Im Frühjahr 2007 wurde mit ersten Fällungen von Bäumen parallel zur Autobahn A3 begonnen. Diese fanden zunächst westlich der Unterführung Schenkensee statt. Im Herbst 2007 und Winter 2007/08 folgte dann ein stärkerer Einschlag entlang der gesamten Strecke. Im Rahmen des Ausbaues wurde 2008 damit begonnen zwei Wasserdurchlässe (1 m Durchmesser) zu Kleintierdurchlässen mit 2,66 * 2,31 m (DN 2660/2310) Durchmesser zu erweitern. Ein weiterer Durchlass derselben Größe, der Umbau der Unterführung Schenkensee (mit zeitweiliger Beeinträchtigung der Durchflugmöglichkeit), sowie der Neubau einer 20 m breiten Grünbrücke wurden ebenfalls 2008 in Angriff genommen. Von den Baumaßnahmen betroffen waren die Aufenthaltsgebiete aller 6 im Gebiet bekannten Bechsteinfledermauskolonien GB2, KL, BE, SH, TÜ und WF (Abb. 5-1) sowie das Aufenthaltsgebiet der einzigen dort bekannten Mopsfledermauskolonie GB (nicht dargestellt).

Der Ausbau der Autobahn A3 bietet die außergewöhnliche Möglichkeit den Einfluss von Straßenbaumaßnahmen auf zwei naturschutz- und planungsrelevante Fledermausarten (Bechstein- und Mopsfledermaus) direkt, d.h. vergleichend im Zustand vor/während/nach der Ausbauphase zu untersuchen, da für beide Arten Langzeitdaten zur Raumnutzung und dem Zustand der Populationen vorliegen. Das Querungsverhalten von Fledermäusen im Bereich der Autobahn wird seit 2004 untersucht (KERTH & MELBER 2009), vgl. Kap. 4.3. Im Rahmen des Ausbaus werden kleinere Bauwerke unter der Autobahn A3 hindurch gebaut mit dem Ziel die Transparenz der Autobahn für Fledermäuse gegenüber dem Zustand vor dem Ausbau zu erhöhen.

Zielsetzung war, die Auswirkungen baubedingter Störungen (z.B. Habitatveränderung) während der Bauphase zu studieren. Dies beinhaltet die Erfassung der Raumnutzung von Mops- und Bechsteinfledermäusen sowie die Akzeptanz der neuen Querungshilfen. Von besonderem Interesse ist, dass an der Autobahn A3 eine Lösung (2 m-Durchlässe an der A3) zur Untersuchung kommt, die auf Grund von äußeren Zwängen (durch die Gradiente/ Bau unter Verkehr an einer stark befahrenen Autobahn) nötig wurde. Weitere Untersuchungen während und nach der Ausbauphase der Autobahn A3 werden z.Zt. durchgeführt (KERTH in Vorbereitung).

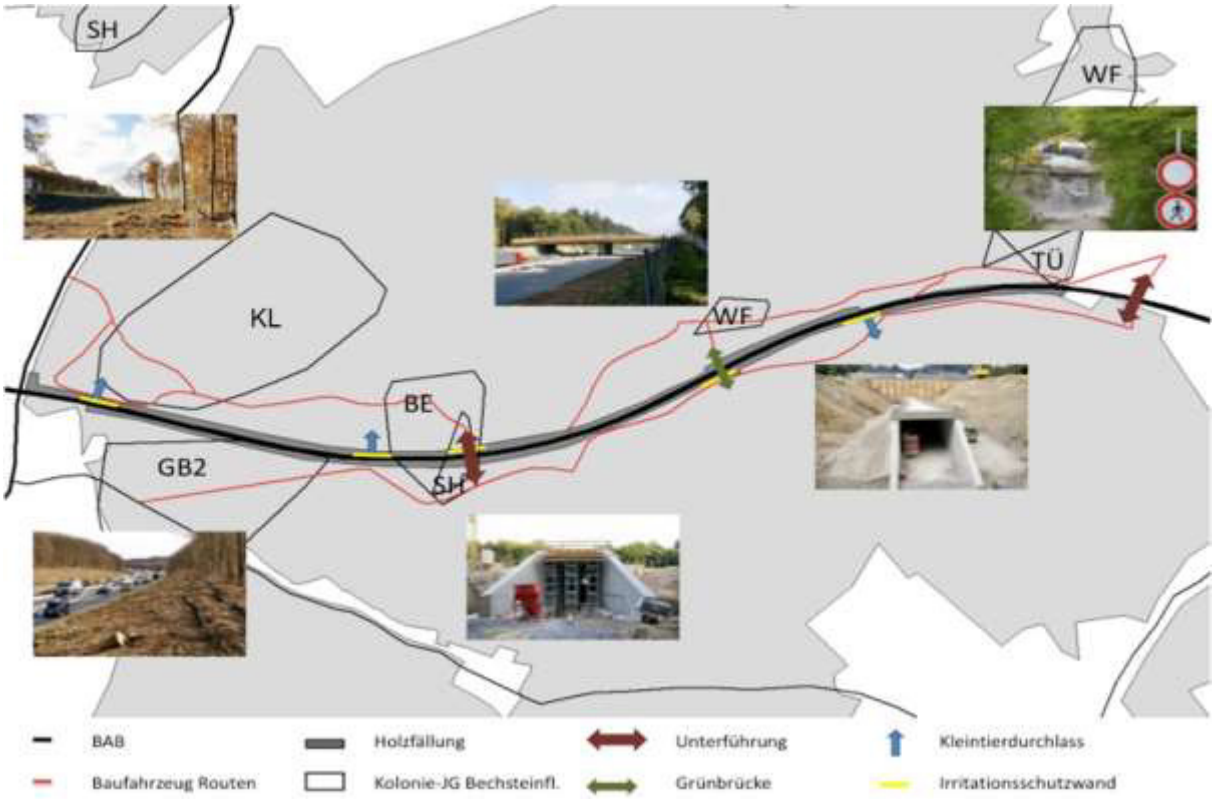


Abbildung 5-1: Untersuchungsgebiet mit den Aufenthaltsgebieten von 6 Bechsteinfledermauskolonien (Polygone mit Kolonienamen) und Verortung näher untersuchter Baumaßnahmen im Zuge des Ausbaues der Autobahn A3

5.2 Material und Methoden

5.2.1 Untersuchungsgebiete und untersuchte Tiere

Die Freilanduntersuchungen fanden zwischen 2007 und 2008 jeweils von April bis November statt. Das Untersuchungsgebiet lag im Guttenberger Wald bei Würzburg in einem etwa 2 km breiten Korridor nördlich und südlich der Autobahn A3. Im selben Gebiet waren 2005 und 2006 die in Kap. 4.2.1.1 ff. beschriebenen Untersuchungen durchgeführt worden (siehe Abbildung 5-1). Um Fledermäuse für die Radiotelemetrie zu fangen und das Querungsverhalten im Bereich der Unterführung Schenkensee zu dokumentieren, wurden in 2007 und 2008 insgesamt 79 Netzfangnächte durchgeführt. Die Netzfänge begannen in der Regel ca. 30 Minuten vor Sonnenuntergang und dauerten bis zu 7 Stunden. Eingesetzt wurden Japannetze (Maschenweite 16 mm, 100 Dernier Garnstärke, verschiedene Längen). Die Netze wurden an 21 Standorten aufgestellt. Ein Schwerpunkt lag auf der sich im Umbau befindlichen Unterführung Schenkensee (UF SS) wo ein Wirtschaftsweg mit Lichte Höhe ca. 4,0 m und Lichte Weite ca. 4,5 m auf 31 m Länge unter der A3 unterführt wird (31 Fangnächte; 9°53' Ost, 49°45' Nord) und an einem Tümpel (TÜ) am östlichen Waldrand des Guttenberger Waldes (23 Fangnächte; 9°55' Ost, 49°46' Nord). An einer zweiten Unterführung nahe der Autobahnanschlussstelle Heidingsfeld (UF HDF) wurden 6 Netzfänge durchgeführt. Weitere Netzstandorte waren Waldtümpel oder Wege/Rückegassen, an denen mit vermehrter Fledermausaktivität zu rechnen war.

Bei allen gefangenen Fledermäusen wurden die biometrischen Daten individuell erfasst (Geschlecht/Alter/Unterarmlänge/Gewicht/Reproduktionszustand). Unmarkierte Bechstein- und Mopsfledermäuse

wurden individuell mit Aluminiumringen der Beringungszentrale des Museums König beringt. Bei erstmals gefangenen Bechsteinfledermäusen wurde eine Flughautprobe zur anschließenden genetischen Analyse entnommen. Die Proben wurden bis zur Analyse im DNA-Labor der Universität Zürich in 70 % Alkohol bei 8°C im Kühlschrank gelagert. Die Extrahierung und Typisierung der DNA wurden jeweils im Winterhalbjahr 2007/08 und 2008/09 durchgeführt.

Wie bereits in Kap. 4.2 beschrieben, wurden bei allen beprobten Bechsteinfledermäusen 8 -11 Kern-DNA Mikrosatelliten und 2 Mikrosatelliten mitochondrialer DNA durch eine Polymerase-Kettenreaktion (PCR) angereichert und anschließend mit Hilfe von Gel-Elektrophorese untersucht (KERTH et al. 2002). Zudem wurde bei den adulten Männchen sowie einem Teil der adulten Weibchen ein 239 Basenpaare langes Stück der mitochondrialen DNA aus dem Bereich des „D-Loops“ sequenziert. Durch Kombination der drei mitochondrialen Marker (2 Mikrosatelliten und dem Sequenztyp) wurde jedem Individuum ein mitochondrialer DNA-Typ (Haplotyp) zugeordnet. Der Haplotyp erlaubte anschließend das Zuordnen der untersuchten Männchen zu ihren mutmaßlichen Herkunftskolonien. Mit den Kern-DNA Markern wurde untersucht, ob unmarkierte adulte Männchen bereits in früheren Jahren als Jungtiere in einer der Kolonien beprobt wurden (da Jungtiere nicht markiert wurden, ist eine genetische Zuordnung erforderlich). Auf diese Weise können Abwanderungen aus den Geburtskolonien erfasst werden. Die Ergebnisse der hier durchgeführten DNA-Analysen wurden zur Überprüfung der in Kap. 4.3 (Untersuchungsgebiet Würzburg) dargestellten Ergebnisse verwendet. Die Ergebnisse werden hier präsentiert, aber in Kap. 4.3 unter dem Aspekt Zerschneidung diskutiert, da sie sich nicht unmittelbar auf den Ausbau der Autobahn A3 beziehen.

5.2.2 Erfassung der Quartiernutzung im Bereich der Autobahn mit Hilfe von Kastenkontrollen

Die im Untersuchungsgebiet hängenden Fledermauskästen (> 200) wurden regelmäßig auf ihren Besatz kontrolliert. Insgesamt wurden 35 Kontrollen in 2007 und 2008 durchgeführt. Alle angetroffenen Fledermäuse wurden auf Artniveau bestimmt. Solitäre Bechsteinfledermäuse wurden gefangen und vermessen; unmarkierten Tieren wurde eine Flughautprobe zur späteren DNA-Analyse entnommen und sie wurden beringt. Bechsteinfledermauskolonien wurden vor und nach der Jungenaufzucht abgefangen, um den Fortpflanzungserfolg und die Koloniegröße zu quantifizieren. Hierbei wurden unmarkierte Tiere ebenfalls zur späteren DNA-Analyse beprobt und individuell markiert (entweder mit Ringen oder mit Transpondern im Fall der Kolonie GB2).

Die bekannten Quartiere der Kolonie GB2, in der alle adulten Weibchen mit implantierten Transpondern markiert sind, wurden täglich mit automatischen Transponderlesegeräten überwacht. So konnte das Wechselverhalten und die Quartierwahl der Koloniemitglieder nahezu vollständig erfasst werden (KERTH & RECKARDT 2003). Zudem war es möglich, die Anzahl der anwesenden Fledermäuse kontinuierlich während der Sommerhalbjahre zu quantifizieren. Dies war wichtig um eventuelle Todesfälle oder Abwanderungen als mögliche Folge der Ausbaumaßnahmen an der Autobahn A3 zeitlich exakt zu erfassen.

Parallel zu den Bestandserfassungen im Bereich des Guttenberger Waldes wurden drei in anderen Wäldern lebende Bechsteinfledermauskolonien untersucht. In diesen Kolonien waren ebenfalls alle adulten Weibchen mit Transpondern markiert und es konnte somit die jährliche Koloniegröße (adulte Weibchen) und der Fortpflanzungserfolg genau erfasst werden. Anschließend wurden die ermittelten Werte mit den entsprechenden Werten aus den nahe der Autobahn A3 lebenden Kolonien GB2 und KL verglichen. Auf diese Weise konnten bei eventuellen Bestandsveränderungen in der Kolonie GB2 und KL für den Einfluss kalter Witterung, die das Überleben von Bechsteinfledermäusen ebenfalls beeinflussen kann (KERTH et al. 2001a), und die sich im Gegensatz zum Autobahnausbau in vergleichbarer Weise auf alle Kolonien auswirken sollte, korrigiert werden.

5.2.3 Erfassung der Jagdgebiete im Bereich der Autobahn mit Hilfe von Radiotelemetrie

Die Aufnahme, Aufbereitung und Auswertung der Telemetriedaten erfolgte analog der in Kap. 4.2.4 beschriebenen Methoden. Wiederum wurden nur weibliche, adulte Bechstein- und Mopsfledermäuse mit einem Mindestgewicht von 9,0 g, sofern sie nicht trächtig oder laktierend waren, zur Radiotelemetrie ausgewählt. Alle telemetrierten Individuen waren zuvor im Einzugsbereich (≤ 1 km) der Autobahn A3 mit Netzen oder in Fledermauskästen gefangen worden. Um einen eventuellen Einfluss auf das Jagdverhalten der Fledermäuse durch die Ausbautätigkeiten an der Autobahn A3 feststellen zu können, wurden im Jahr 2007 4 Bechsteinfledermäuse und 1 Mopsfledermaus, die bereits in den Vorjahren telemetriert worden waren erneut telemetriert. Im Jahr 2008 wurden 8 Bechsteinfledermäuse erneut telemetriert, 2 hiervon zum dritten Mal innerhalb der letzten 5 Jahre. Anschließend wurden die individuellen Aufenthaltsgebiete der Tiere ermittelt und zwischen den Jahren verglichen. Auf diese Weise konnte überprüft werden, ob es als Folge der Baumaßnahmen zur räumlichen Verlagerung von individuellen Jagdgebieten kam.

5.2.4 Einfluss von Bautätigkeiten an Unterführungen, Kleintierdurchlässen und einer Grünbrücke

Um den direkten Einfluss der Bautätigkeiten an den Unterführungen im Untersuchungsgebiet sowie an drei neu geschaffenen Kleintierdurchlässen und einer Grünbrücke zu untersuchen, wurden an diesen Stellen - neben Netzfängen – bioakustische Fledermauserfassungen durchgeführt. Dabei wurde die Fledermausaktivität im Verlauf des Ausbaus quantifiziert. Die Aktivitätsmessungen wurden mit automatischen Aufzeichnungsgeräten (batcorder, Fa. ecoobs) ab dem Spätsommer 2007 (mit einem Gerät) und im gesamten Jahr 2008 (mit zwei Geräten) durchgeführt. Hierbei wurde ein Schwerpunkt auf die Unterführung Schenkensee gelegt, in der die Geräte stationär angebracht werden konnten (Abbildung 5-2). In der Unterführung in Kist, durch welche die B27 läuft, lieferten die batcorder keine auswertbaren Aufzeichnungen, da die Schallemissionen des starken Autoverkehrs eventuelle Fledermausrufe übertönt bzw. die Aufzeichnungen gestört haben. In der Unterführung im östlichen Teil des Guttenberger Waldes, nahe der Anschlussstelle Heidingsfeld waren nach dem Umbau im Sommer 2008 Messungen innerhalb der Unterführung nur noch eingeschränkt möglich, da der zum Ausbau verwendete Beton starke Echos in den Aufnahmen erzeugte und somit die Bestimmung der Fledermäuse auf Gattungs- und/oder Artniveau erschwerte. Nach der jeweils einseitigen Fertigstellung (als Sacktunnel bis zur Mitte der Fahrbahn) von Kleintierdurchlässen mit 2,66 * 2,31 m im Sommer 2008, wurden diese auch mittels batcordern auf Fledermausaktivität hin überwacht. Die erst im Spätsommer 2008 im Rohbau fertiggestellte, aber noch nicht bepflanzte Grünbrücke, wurde im Anschluss (September und Oktober) sporadisch auf Fledermausaktivität hin untersucht. Durch die bis in den Spätherbst hinein andauernden fortgeführten Bauarbeiten, teilweise auch als Nachtbauaktivität, konnten aber nur wenige Untersuchungen durch Netzfang und batcorder erfolgen.

Abbildung 5-2: Batcorder in Unterführung Schenkensee. Im Hintergrund ist die nahezu vollständige Versperrung durch Gerüste zu sehen

Von Mai bis etwa Oktober 2008 herrschte im Untersuchungsgebiet autobahnnah hoher Baustellenverkehr auf trassennahen Waldwegen (vgl. Abbildung 5-1). Den größten Teil des Verkehrs machten LKW aus, die Erdaushub und Baumaterial transportierten. Auf diesen Trassen herrschte tagsüber bis in die späten Abendstunden immer sehr starker Verkehr, der in vielen Fällen auch die ganze Nacht durch anhielt – z.B. bei Betonierarbeiten – oder in den frühen Morgenstunden – noch während der Aktivitätsphase der Fledermäuse – wieder begann. (Die nächtliche Verkehrsbelastung bestand in etwa bei 10-20% der Nächte des Untersuchungszeitraumes im Sommer 2008.)

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Verteilung nächtlicher Aufenthaltsgebiete in Abhängigkeit vom Verlauf der Autobahn

Insgesamt konnten in 2007 und 2008 18 Bechsteinfledermaus-Weibchen aus 2 Kolonien sowie 3 Mopsfledermaus-Weibchen aus einer Kolonie besendert werden. Alle Tiere lieferten auswertbare Daten (Tabelle 5-1).

Tabelle 5-1: Zusammenfassung der Telemetriedaten der im Guttenberger Wald 2007 und 2008 untersuchten 2 Kolonien der Bechsteinfledermaus (MB) sowie einer Kolonie der Mopsfledermaus (MO)

Art	Kolonie	Jahre	Tiere	Tage	Punkte	MCP	Kernel 90	Kernel 50
MB	GB2	07/08	11 (7/1)	3,1 ± 0,5	120,0 ± 23,1	5,7 ± 5,9	6,6 ± 7,0	2,0 ± 2,4
MB	KL	07/08	7 (3/1)	3,6 ± 1,0	137,9 ± 15,0	7,3 ± 4,2	6,4 ± 4,2	1,9 ± 1,1
MB	**Alle**	**07/08**	**18 (10/2)**	**3,3 ± 0,8**	**126,9 ± 21,8**	**6,3 ± 5,2**	**6,5 ± 5,9**	**1,9 ± 2,0**
MO	GB	07/08	3 (1/0)	5,7 ± 2,5	127,3 ± 25,5	184,3 ± 103,0	76,5 ± 73,2	19,6 ± 18,4

Pro Kolonie werden die Mittelwerte ± Standardabweichung der Anzahl telemetrierter Tiere (in Klammern die Anzahl 2x/3x telemetrierter Individuen), der Anzahl der Tage an denen sie telemetriert wurden, der Anzahl der auswertbaren Ortungspunkte, und der Größe der Aufenthaltsgebiete in Hektar (MCP, sowie Kernel 90 und 50) angegeben.

Um die Raumnutzung der 2007 und 2008 telemetrierten Bechsteinfledermäuse in Abhängigkeit von der Autobahn A3 zu untersuchen, wurden - entsprechend dem Ansatz B in Kap. 4.3.1 (siehe auch KERTH & MELBER 2009) - für jedes Tier die Anteile seines individuellen Jagdhabitates ermittelt, die nördlich bzw. südlich der Autobahn lagen, und mit Erwartungswerten verglichen. Wie bereits in den Vorjahren lagen alle Tagesquartiere der Kolonie KL nördlich der Autobahn A3, die der Kolonie GB2 alle südlich der Autobahn A3 (Abbildung 5-3).

Aufgrund der zurückgelegten Distanzen zwischen Tagesquartier und individuellem Jagdgebiet hätten mindestens drei der 18 telemetrierten Individuen die Möglichkeit gehabt, die Autobahn zu queren. Keines dieser Tiere querte jedoch die Autobahn. Wie 6 Tiere bereits zuvor (s. Kap. 4.3) bejagten auch diese 3 Individuen signifikant häufiger die Seite der Autobahn auf der ihre Tagesquartiere lagen (vergleiche KERTH & MELBER 2009). Bei den Mopsfledermäusen ergab sich, wie bereits im Kap. 4.3.1 festgestellt, ein anderes Bild. Von den 3 Tieren, die 2007 oder 2008 telemetriert worden waren, querten 2 Tiere die A3 (vergleiche KERTH & MELBER 2009). Die beiden im Jahr 2008 telemetrierten Mopsfledermäuse überflogen die Autobahn A3, nachdem die Trasse im Rahmen des Ausbaues bereits verbreitert worden war (Abbildung 5-4).

Für die zwischen 2004 und 2008 mehrfach telemetrierten Tiere wurde die Überlappung ihrer jeweiligen Jagdgebiete in den verschiedenen Jahren berechnet, um die Jagdgebietstreue zu ermitteln. Bei dreimal erfassten Bechsteinfledermäusen (z.B. MB11) wurde der Quotient nur für die jeweiligen Vorjahre berechnet (Tabelle 5-2).

Um etwaige Verschiebungen der Jagdgebiete bei mehrfach telemetrierten Tieren in Reaktion auf die Bautätigkeiten feststellen zu können, wurde jeweils der individuelle mittlere Abstand aller pro Jahr erfassten Aufenthaltspunkte zur Autobahnmitte berechnet. Nur bei 3 der 10 mehrfach telemetrierten Tiere stieg der mittlere Abstand der Aufenthaltspunkte zur Autobahn A3 im Verlauf der Untersuchung etwas an (Tabelle 5-3). Es ergaben sich keine Hinweise für ein deutliches Ausweichen weg von den Baumaßnahmen im Jahr 2008.

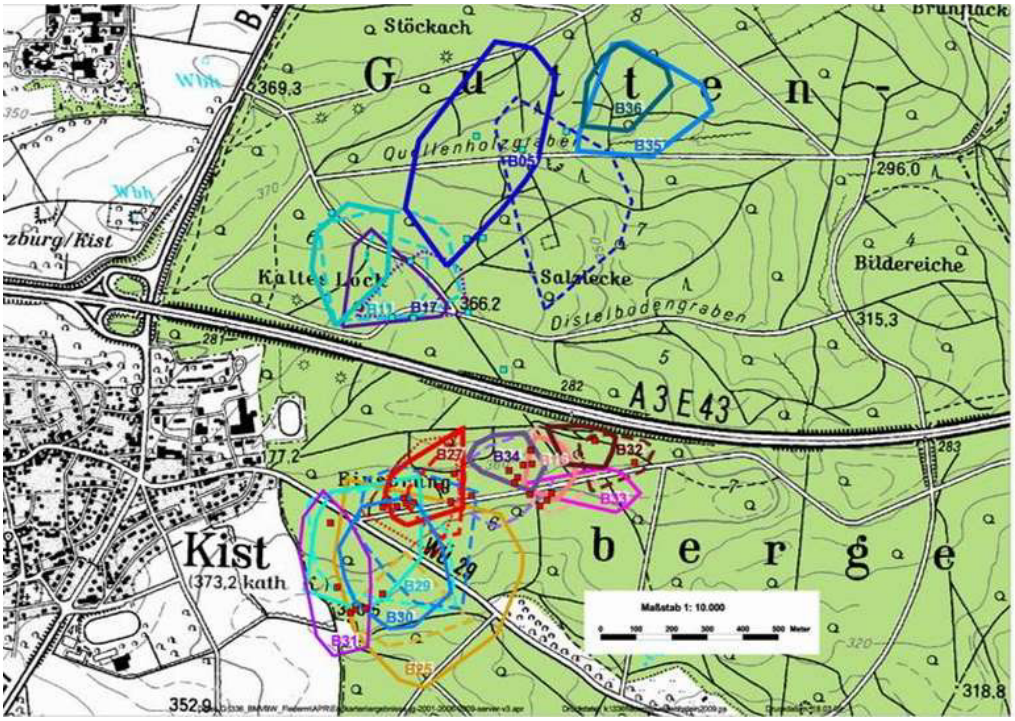


Abbildung 5-3: Aufenthaltsgebiete (MCP 95%) der 18 in 2007 bis 2008 telemetrierten Bechsteinfledermäuse aus 2 Kolonien im Guttenberger Wald

Gleiche Farben entsprechen Individuen, die mehrmals telemetriert wurden

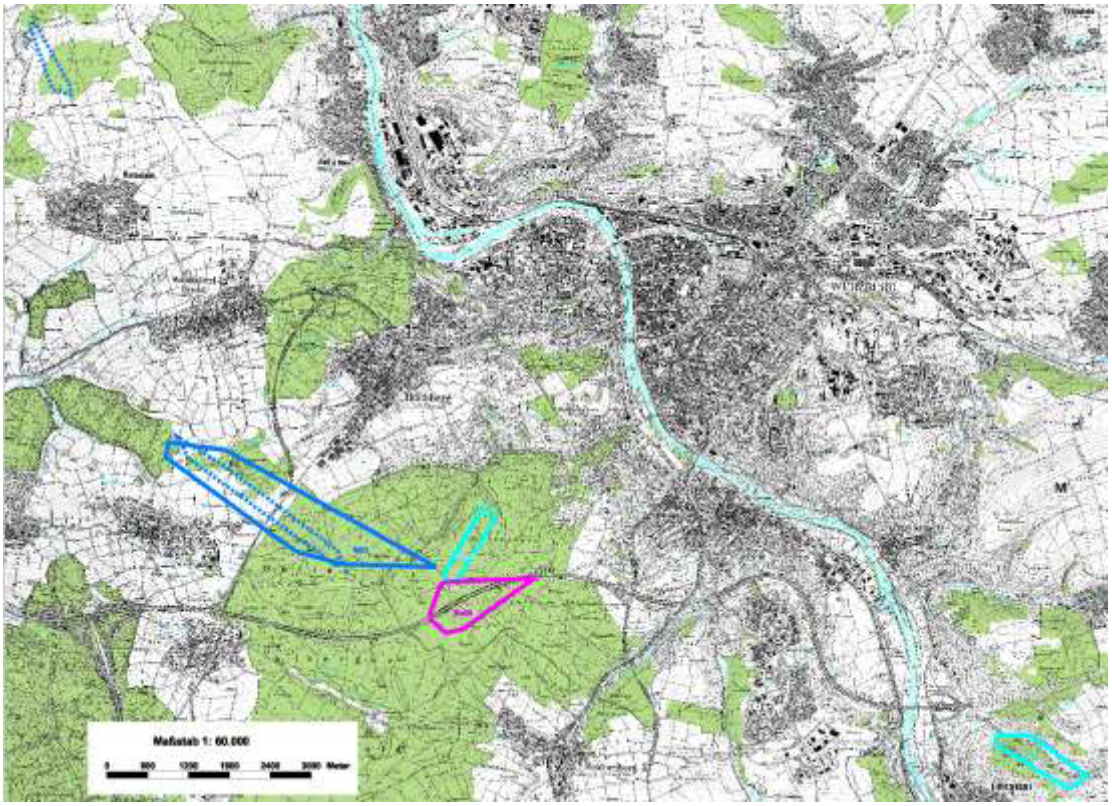


Abbildung 5-4: Aufenthaltsgebiete (MCP 100%) der 3 in den Sommern 2007 und 2008 telemetrierten weiblichen Mopsfledermäuse im Guttenberger Wald. Für BB05 wurde (gestrichelt) das MCP100 aus dem Jahr 2006 mit angegeben

Tabelle 5-2: Überlappungen der Aufenthaltsgebiete mehrfach telemetrierter Tiere

Tier	Kolonie	Jahre	Quotient MCP 95/100	Quotient KHR 90	Quotient KHR 50
MB05	KL	08/04	0,18	0,17	0,00
MB11	KL	07/05	0,99	0,76	0,27
MB11	KL	08/07	0,44	0,42	0,42
MB34	KL	08/07	0,61	0,74	0,64
MB16	GB2	08/05	0,58	0,58	0,29
MB17	GB2	08/05	0,43	0,48	0,31
MB25	GB2	07/06	0,88	0,98	0,67
MB27	GB2	08/07	0,80	0,60	0,59
MB27	GB2	07/06	0,44	0,55	0,29
MB30	GB2	08/06	0,52	0,57	0,51
MB32	GB2	08/07	0,32	0,32	0,04
Mittelwert MB			0,56 ± 0,24	0,56 ± 0,22	0,37 ± 0,22
BB05	GB (Mops)	07/06	0,73	0,11	0,01

Der Quotient gibt die Gebietstreue der Tiere im Vergleich zum vorherigen Erfassungszeitraum an. Ein Wert von 1,0 würde einer hundertprozentigen Gebietstreue entsprechen; ein Wert von 0,0 bedeutet keine Überlappung.

Tabelle 5-3: Mittlerer Abstand der Aufenthaltspunkte mehrfach telemetrierter Tiere zur Autobahn

	Mittlerer Abstand zur Autobahn [m]				Mittlerer Abstand zur Autobahn [m]		
	Jahr 1	**2007**	**2008**		**Jahr 1**	**2007**	**2008**
MB05	599,3		623,7	**MB25**	673,1	564,8	
MB11	234,7	223,3	222,8	**MB27**	334,8	289,0	253,0
MB34		199,3	214,8	**MB29**	512,9	486,3	
MB16	186,4		159,3	**MB30**	459,1		593,3
MB17	233,9		182,9	**MB32**		103,0	80,9

Jahr 1 entspricht einer Erfassung vor Beginn der Bautätigkeiten (also in den Jahren 2004 bis 2006). MB34 (KL) und MB32 (GB2) wurden im Jahr 2007 erstmalig telemetriert.

5.3.2 Besiedlung von Fledermauskästen in Abhängigkeit vom Verlauf der Autobahn

Sowohl in Fledermauskästen als auch in Baumhöhlen lebende Bechsteinfledermauskolonien nutzten teilweise autobahnnahe Quartiere (näher als 100m an der Trasse). Der geringste Abstand eines Quartiers zur Autobahn A3 betrug 50 m (Kolonie KL). Trotz des regelmäßigen Wechsels zwischen Quartieren, die zum Teil mehrere hundert Meter voneinander entfernt lagen, kam es, wie bereits in Kap. 4.3.2 beobachtet, zu keinem Wechsel markierter Tiere über die Autobahn A3 hinweg (bei insgesamt 35 Quartierkontrollen: 2007: 16, 2008: 19).

Bei den Kolonien GB2 und KL konnten kleinere Verschiebungen der Gebiete mit genutzten Tagesquartieren festgestellt werden (Abbildung 5 5). In beiden Kolonien waren in 2008 Teile der Aufenthaltsgebiete nahe der Autobahn A3 nicht mehr genutzt worden. Bei der Kolonie GB2 ist allerdings zu beachten, dass der Rückzug aus dem autobahnnahen Gebiet im westlichen Bereich des Aufenthaltsgebietes mit dem Verlust eines Fledermauskastens erklärt werden kann, der nichts mit dem Ausbau der Autobahn A3 zu tun hatte. Bei solitär im Bereich der Kolonie KL lebenden Männchen konnte kein Ausweichen

beobachtet werden. Allerdings war die Anzahl der dort angetroffenen Männchen nach 2005 sehr klein (1-3 Individuen).

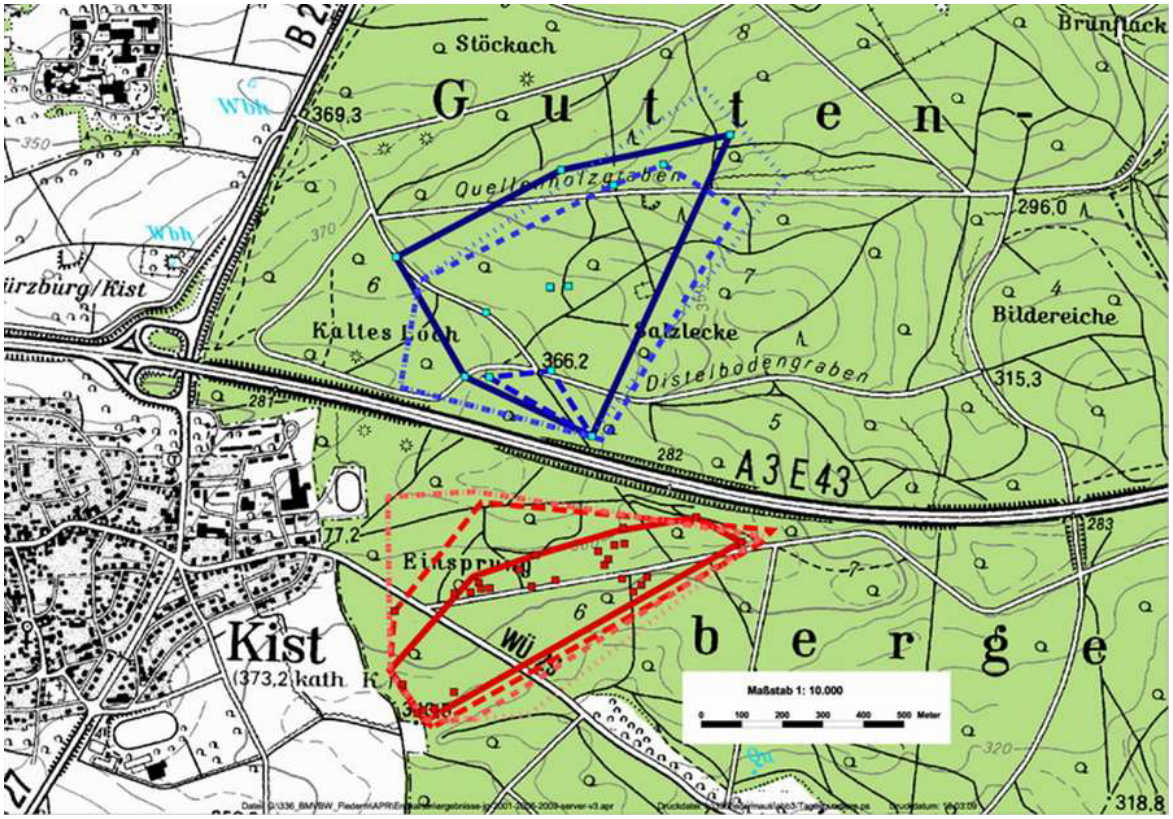


Abbildung 5-5: Koloniegebiete der Kolonien GB2 und KL

Dargestellt sind MCP100 Polygone um die jeweils pro Jahr genutzten Tagesquartiere. Solide Linien geben die im Jahr 2008 genutzten Polygone wieder (nachdem die Baumfällungen längs der Autobahn A3 erfolgt waren), gestrichelte Linien 2007 bzw. gepunktete Linien 2006. Die Punkte beschreiben die 2007 und 2008 während der Telemetrie genutzten Tagesquartiere.

5.3.3 Netzfänge

Beginnend mit dem Frühjahr 2007 wurden im Bereich der Unterführung Schenkensee immer wieder Bautätigkeiten durchgeführt. Im Frühjahr 2007 wurde das Südportal um die Breite von 2 Ersatzfahrspuren verlängert (ca. 12 m). Im März 2008 wurde das Nordportal abgerissen und anschließend erweitert wieder aufgebaut. Während der Bauphase des Nordteils der Unterführung war diese ab Anfang Juni 2008 für etwa 4 Wochen während der Betonierarbeiten durch Gerüste weitgehend versperrt (Abbildung 5-6). In der Unterführung Schenkensee konnten während des Untersuchungszeitraums in insgesamt 31 Netzfangnächten 21 Fledermäuse aus 5 Arten gefangen werden). Der Fangerfolg pro Nacht war deutlich geringer als in den Vorjahren im Gebiet Guttenberger Wald. So wurden in 2007 und 2008 keine weiblichen Bechsteinfledermäuse in der Unterführung Schenkensee gefangen.

Abbildung 5-6: Durch Gerüste versperrte Unterführung Schenkensee

Tabelle 5-4: Artenspektrum und Fangorte von 79 bei Netzfängen erfassten Individuen aus 7 Arten in 2007 und 2008

Arten / Fangort	UF SS (31)	UF HDF (5)	TUE (22)	SONST (21)
B. barbastellus	1/2	0/1	1/3	
M. bechsteinii	0/2		0/6	
M. brandtii			0/2	
M. Myotis	3/7	1/0	4/5	1/3
M. mystacinus		1/1	5/2	1/0
M. nattereri	3/2		0/1	0/1
P. auritus	1/0		7/3	0/1
unbest		1		

Die Anzahl der Netzfänge pro Standort wird in Klammern angegeben. Bei den gefangenen Tieren werden die Geschlechter getrennt aufgeführt (W/M).

5.3.4 Bioakustische Erfassungen

Im Herbst 2007 wurde an der UF Schenkensee in 10 Nächten die Fledermausaktivität mit Hilfe der batcorder erfasst. Im Frühjahr 2008 (vor der Versperrung der Unterführung durch Gerüste) wurde die Aktivität in 5 Nächten, während der Versperrung der Unterführung in 6 Nächten und im Sommer nach Entfernung der Gerüste in 16 Nächten erfasst. Im Herbst 2008 wurden die batcorder nochmals in 6 Nächten in der Unterführung eingesetzt. Hierbei ergab sich eine, für den Jahresverlauf typische Aktivitätsverteilung, mit dem Maximum an gemessenen Fledermaus Rufsequenzen in den Sommermonaten (Abbildung 5-7).

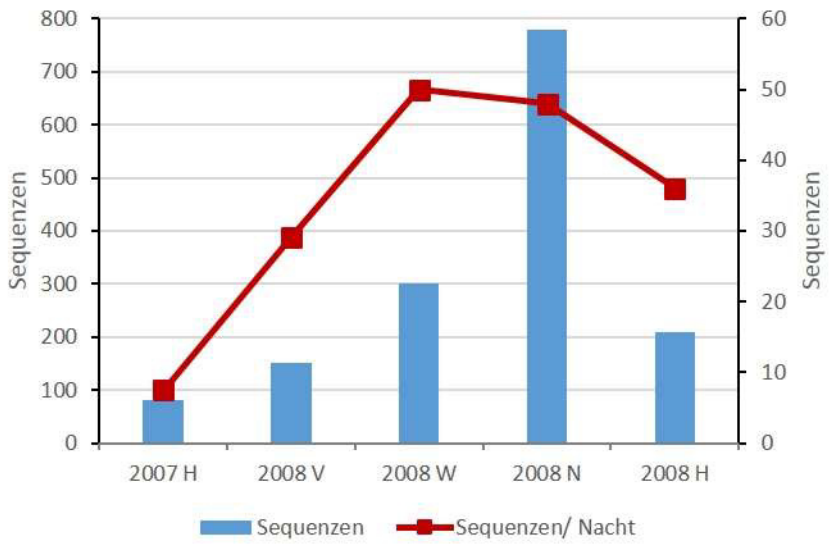


Abbildung 5-7: Verlauf der Fledermausaktivität an der Unterführung Schenkensee während des Untersuchungszeitraumes

Es wurde die kumulierte Anzahl aller aufgenommen Rufsequenzen für die Intervalle H = Herbst (ab Oktober), V = Frühjahr vor dem Ausbau, W = während der Versperrung, N = nach der Versperrung und H = Herbst aufgetragen. Da die Anzahl der Untersuchungsnächte variierte, wurde für die jeweiligen Zeiträume auch die mittlere Anzahl an Rufsequenzen pro Nacht berechnet. Der Graph zeigt einen typisch jahreszeitlichen Verlauf: die größte Fledermausaktivität wurde im Sommer beobachtet.

In insgesamt 15 Nächten - eine vor, 6 während und 8 nach der Versperrung - wurden in der Unterführung Schenkensee zwei batcorder parallel eingesetzt, um die Anzahl an Fledermausdurchflügen zu erfassen. Als Durchflug wurden zwei direkt aufeinanderfolgende Aufnahmen von Rufen einer Art bei beiden batcordern – welche jeweils an einem Rand der UF befestigt waren – definiert. Hierbei zeigte sich ein sichtbarer Einbruch der ermittelten Durchflüge während der Versperrung (Abbildung 5-8). Beim Vergleich des Anteils an Durchflügen pro gemessenen Rufsequenzen zwischen den 6 Nächten in denen die Unterführung mit Gerüsten versperrt war und den 9 Nächten in denen sie frei war, zeigte sich, dass der Anteil an Durchflügen zu Zeiten der Versperrung signifikant verringert war (U-Test: U=10,5; P=0,05).

An den drei, im Sommer 2008 neu gebauten, aber noch nicht fertig gestellten Kleintierdurchlässen, wurden in 17 Nächten Aufnahmen mit batcordern durchgeführt. Dabei konnten in allen 3 Kleintierdurchlässen Rufe von *Myotis*-Arten aufgenommen werden. In einem Kleintierdurchlass konnte ein Großes Mausohr anhand seiner Rufe identifiziert werden und auch einmal beim Übertagen im Durchlass direkt beobachtet werden. In einem anderen Kleintierdurchlass wurde eine Mopsfledermaus akustisch nachgewiesen. Diese Ergebnisse zeigen, dass die neu gebauten Kleintierdurchlässe innerhalb weniger Wochen von mehreren Fledermausarten entdeckt und angeflogen wurden, obwohl sie noch nicht durchgängig waren, sondern erst als Sacktunnel bis unter die Mitte der verbreiterten Fahrbahntrasse der Autobahn A3 reichten.

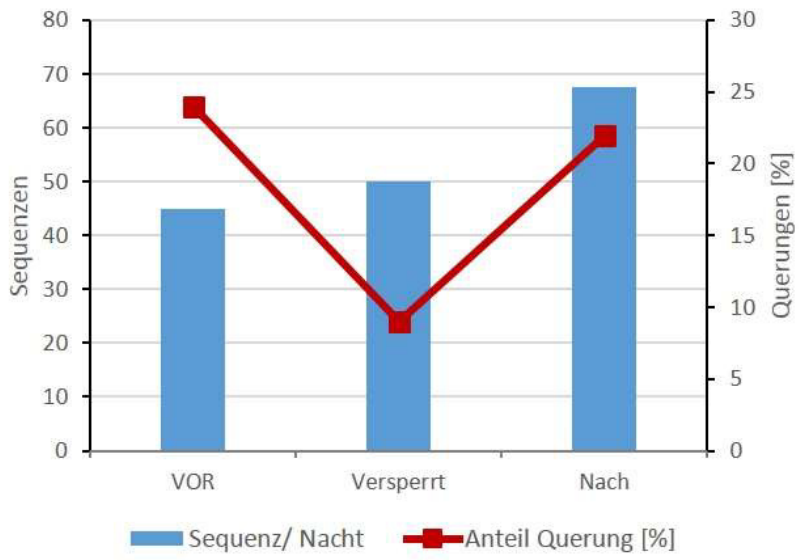


Abbildung 5-8: Verlauf der Durchquerungen der Unterführung Schenkensee durch Fledermäuse vor, während und nach der Versperrung

Während die mittlere Anzahl an Rufsequenzen (= Anflüge) pro Nacht an die Unterführung im jahreszeitlichen Verlauf anstieg, sank der Anteil der Durchflüge während der Versperrung um mehr als die Hälfte ab (von etwa 25% aller Anflüge auf etwa 10%).

5.3.5 Bestandsgrößen autobahnnaher und autobahnferner Kolonien

In den 4 mit Transpondern markierten Bechsteinfledermauskolonien (GB2, BS, HB, UH) konnte, aufgrund der häufigen Kontrollen mit Transponderlesegeräten, die jährlichen Bestandsgrößen an adulten Weibchen exakt ermittelt werden (Abbildung 5-9). In allen 4 Kolonien gingen die Bestandsgrößen zwischen 2007 und 2008 deutlich zurück. Die Abnahme an Koloniemitgliedern um 17% in der autobahnnahen Kolonie GB2 war dabei noch vergleichsweise moderat (zum Vergleich: BS: 17%; HB: 29%, UH: 38%). Auch die zweite autobahnnahe Kolonie, KL, die nur mit Ringen markiert war und daher seltener erfasst wurde, ging zwischen 2007 und 2008 um 17% zurück (von 12 auf 10 Tiere). Insgesamt konnte also bei den autobahnnahen Kolonien kein verstärkter Bestandsrückgang im Vergleich zu autobahnfernen Kolonien beobachtet werden.

Der Rückgang aller Kolonien im Jahr 2008 war wahrscheinlich witterungsbedingt. Der Sommer 2007 war kalt und verregnet. Zudem war das Frühjahr 2008 kühl. Beides führte dazu, dass die Mortalität der Jungtiere im Herbst und Winter 2007 so hoch war, dass im Mai 2008 in keiner der 5 Kolonien Jungtiere vom Vorjahr angetroffen wurden. Auch die Überlebensrate der adulten Weibchen war zwischen 2007 und 2008 etwas verringert.

Die Datenlage bei der Mopsfledermauskolonie GB ist schlechter als in den 5 untersuchten Kolonien der Bechsteinfledermaus. Mopsfledermäuse sind schwierig zu fangen da ihre Tagesquartiere hinter der Rinde von toten Bäumen schwer zu erreichen sind (KERTH & MELBER 2009). Aus den vorhandenen Daten ergeben sich keine Hinweise auf einen Bestandseinbruch als Folge des Ausbaus der Autobahn A3. Die Kolonie GB war mit mindestens 10 adulten Weibchen in 2008 in etwa so groß wie bei ihrer Entdeckung in 2004 (11 Tiere), während zwischen 2005 und 2007 maximal 8 adulte Weibchen gefangen wurden.

Im Sommer 2008 waren dagegen die Bedingungen für die Jungenaufzucht sehr gut und alle Kolonien wiesen einen hohen Anteil an reproduzierenden Weibchen auf. Entsprechend konnten im Spätsommer 2008 wesentlich mehr Jungtiere in den Kolonien beobachtet werden als im Spätsommer 2007 (Tabelle

5-5). Die Weibchen in den autobahnnahen Kolonien GB2 und KL hatten dabei einen ähnlich hohen Fortpflanzungserfolg wie die Weibchen in den autobahnfernen Kolonien BS, HB, und UH. Die Daten zum Überleben und dem Reproduktionserfolg geben also keine Hinweise auf eine verstärkte Mortalität oder einen verringerten Reproduktionserfolg während der Hauptausbauphase der Autobahn A3 in 2008.

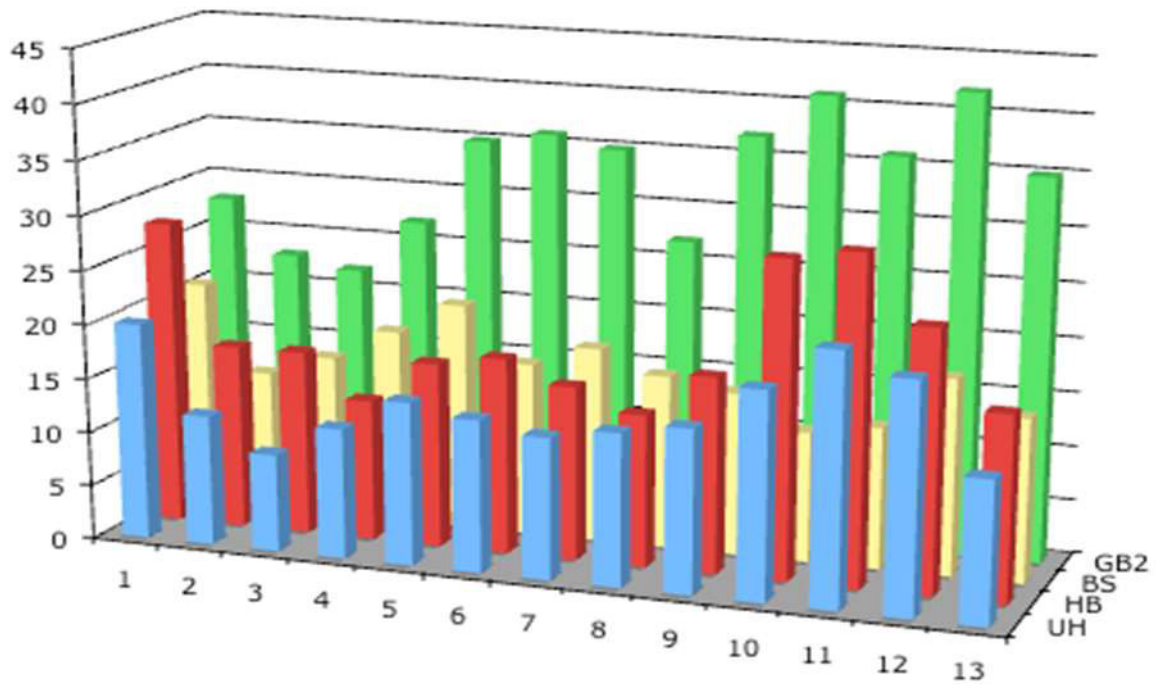


Abbildung 5-9: Bestandsverlauf zwischen 1996 und 2008 in 4 mit Transpondern markierten Kolonien der Bechsteinfledermaus, die in unterschiedlicher Distanz zur nächsten Autobahn leben

UH: 3770 m, HB: 4330 m, BS: 520 m, GB2: 320 m. Die X-Achse gibt die Anzahl adulter Weibchen pro Kolonie an.

Tabelle 5-5: Anteil reproduzierender Weibchen und Anzahl Jungtiere im Spätsommer in 5 Kolonien der Bechsteinfledermaus zw. 2005 und 2008

Weibchen Kolonie/Jahr	2005	2006	2007	2008	Mittelwert
GB2	96.9%	57.6%	63.2%	87.9%	76.4%
KL	88.9%	50.0%	12.5%	83.3%	58.7%
BS	75.0%	69.2%	62.5%	78.6%	71.3%
HB	66.7%	87.0%	36.8%	82.4%	68.2%
UH	78.9%	85.7%	15.4%	90.9%	67.7%
Mittelwert	81.3%	69.9%	38.1%	84.6%	68.5%

Jungtiere Kolonie/Jahr	2005	2006	2007	2008	Mittelwert
GB2	24	20	19	29	23.0
KL	5	8	0	8	5.3
BS	9	8	11	11	9.8
HB	13	11	7	12	10.8
UH	16	3	1	8	7.0
Mittelwert	13.4	10.0	7.6	13.6	11.2

Die Kolonien GB2 und KL leben im Einzugsbereich der Ausbaumaßnahmen der Autobahn A3. Die drei anderen Kolonien leben in Wäldern, die nicht vom Ausbau betroffen waren.

5.3.6 Populationsgenetische Analysen

In den Sommern 2007 und 2008 wurden 22 adulte Bechsteinfledermaus-Männchen im Untersuchungsgebiet gefangen (davon 21 in Fledermauskästen und 1 Tier beim Netzfang). Bei allen diesen Männchen wurden 3 mitochondrialen Marker sowie mindestens 7 Kern-DNA Mikrosatelliten analysiert. Zusammen mit den 52 früher untersuchten adulten Männchen (Kap. 4.2.2) liegen genetische Daten zu insgesamt 74 adulten Männchen aus dem Einzugsbereich der Autobahn A3 im Guttenberger Wald vor. Nur etwa die Hälfte der 2007 und 2008 gefangenen Tiere war aus dem Bereich ihrer Geburtskolonie abgewandert. Dabei querten mindestens 3 der 2007/2008 gefangenen Tiere die Autobahn A3 (Abbildung 5-10).

In den Jahren 2007 und 2008 konnten 60 adulte Weibchen aus 4 Kolonien im Guttenberger Wald beprobt und mit 2-3 mitochondrialen Markern und 6-8 Kern-DNA Mikrosatelliten analysiert werden (darunter 20 Weibchen der erstmal 2007 nachgewiesenen Kolonie RG). Somit stehen nun Daten von 7 eigenständigen Kolonien zur Verfügung, in denen mindestens 6 adulte Weibchen beprobt und analysiert worden waren. Analog zu den in Kap. 4.2.2 beschriebenen Untersuchungen testeten wir mitochondriale und Kern-DNA getrennt. Auf der Ebene der mitochondrialen DNA verwendeten wir nur die beiden Mikrosatelliten, da nicht von allen 60 neuen Tieren Sequenzdaten vorlagen und somit nicht jedem Tier ein eindeutiger mtDNA Typ basierend auf allen drei Markern zugeordnet werden konnte. Um den Einfluss der Autobahn A3 unter gleichzeitiger Berücksichtigung der Distanz zwischen den Kolonien zu untersuchen, führten wir wie bereits beschrieben (Kap. 4.3.5) parzielle Manteltests durch. Bei Betrachtung der beiden mitochondrialen Mikrosatelliten hatten weder die Distanz zwischen Kolonien noch ihre Lage in Bezug zur Autobahn A3 einen signifikanten Einfluss auf die genetische Differenzierung (Parzieller Manteltest: Distanz: Rm = -0,04, nicht signifikant; Lage zur A3: Rm = 0,11, nicht signifikant). Gleiches galt für die Kern-DNA (Partieller Manteltest: Distanz: Rm = 0,231, nicht signifikant; Lage zur A3: Rm = 0,07, nicht signifikant). Insgesamt bestätigten also die neu hinzugewonnen genetischen Daten die in Kap. 4.3.5 dargestellten Resultate.

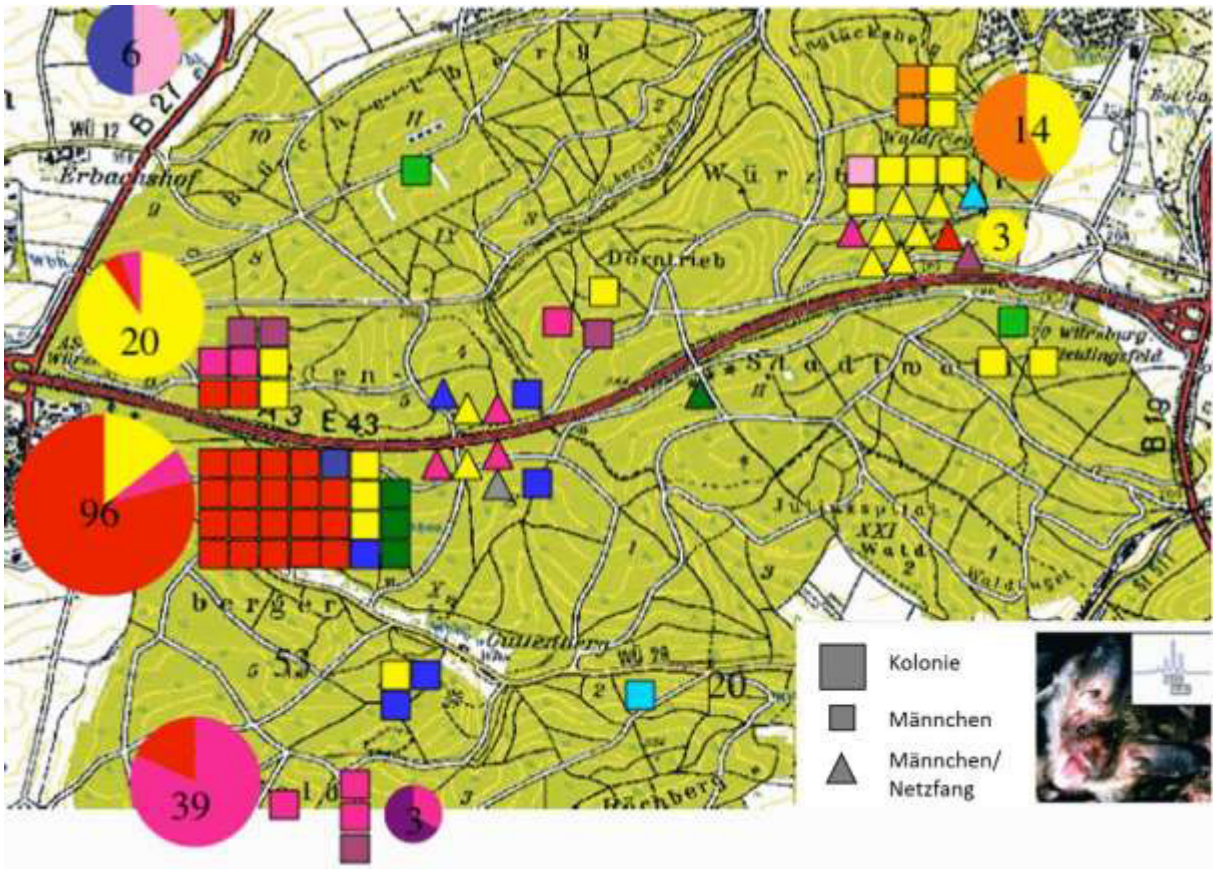


Abbildung 5-10: Verteilung der mitochondrialen DNA-Typen (basierend auf 2 Mikrosatelliten) auf 10 Kolonien der Bechsteinfledermaus (254 Weibchen) im Bereich der Autobahn A3 sowie auf 51 in Kästen lebende Männchen und 17 Männchen, die mit Netzen gefangen wurden

Die unterschiedlichen Farben spiegeln unterschiedliche mtDNA-Typen wieder. Die Zahl im Koloniesymbol gibt die Anzahl typisierter adulter Weibchen pro Kolonie an. Die beiden südlichsten Kolonien GB1 (39 Tiere) und KL (3 Tiere) sind nicht maßstabgetreu eingezeichnet. In Wirklichkeit leben sie in etwa 3 km Entfernung von der Autobahn (für weitere Erläuterungen siehe Abbildung 4-9).

5.4 Diskussion

5.4.1 Methodenkritische Auseinandersetzung

In ihrer Gesamtheit deuten die Ergebnisse darauf hin, dass es im Untersuchungszeitraum zu keinen gravierenden populationswirksamen Auswirkungen des Ausbaus der Autobahn A3 auf die Raumnutzung und das Überleben der lokalen Fledermauspopulationen kam. Zu beachten ist dabei allerdings, dass 2 der räumlich am stärksten betroffenen Bechsteinfledermauskolonien (BE und Tü) 2007 und 2008 nicht angetroffen wurden, ebenso wie die räumlich vermutlich nur wenig betroffenen Kolonien WF und SH. Tiere der Kolonien BE und Tü nutzten 2005 und 2006 Baumhöhlen als Tagesquartiere und wurden mit Netzen während des nächtlichen Jagdflugs am Tümpel im Guttenberger Wald oder in der Unterführung Schenkensee gefangen. In den Vorjahren telemetrierte Tiere der Kolonie SH nutzen die Unterführung Schenkensee zur Querung der Autobahn beim Flug in die jeweiligen Jagdgebiete, während die Tagesquartiere autobahnfern waren (siehe Kap. 4.3). Ob das Fehlen eines Fangerfolgs bei den 4 Kolonien im Untersuchungszeitraum auf die Bauarbeiten zurückzuführen ist, ist unbekannt. Zumindest bei der Kolonie BE und den Individuen der Kolonie SH, welche früher die Unterführung Schenkensee zum Queren der Autobahn A3 nutzte, scheint dies aufgrund der festgestellten Sperrwirkung der Unterführungen nach den Ergebnissen der batcorder-Untersuchungen denkbar. Anzumerken ist auch, dass drei der in den Jahren vor dem Ausbau telemetrierten Tiere Jagdgebiete in direkter Nähe zur Unterführung Schenkensee hatten. Diese Jagdgebiete wurden durch Baumfällungen in den Randbereichen beeinträchtigt. Aufgrund des Fehlens von Nachweisen der Kolonien BE, Tü, SH und WF in den Jahren 2007 und 2008 kann nichts über die Auswirkung des Ausbaues der Autobahn A3 auf die Raumnutzung und das Überleben dieser 4 Kolonien ausgesagt werden. Die folgenden Bewertungen der Ergebnisse beziehen sich daher ausdrücklich nur auf die Bechsteinfledermauskolonien GB2 und KL und die Mopsfledermauskolonie GB. Zudem beziehen sich die Aussagen nur auf die Jahre 2007 und 2008, ob es zu längerfristigen Auswirkungen kommt, muss offen bleiben.

5.4.2 Einfluss der Baumaßnahmen auf die Raumnutzung der Bechstein- und Mopsfledermauskolonien

In den Bechsteinfledermauskolonien GB2 und KL kam es zu keiner außergewöhnlichen Verschiebung der individuellen Jagdgebiete bei den 18 mehrfach telemetrierten Weibchen. Trotz der Baumaßnahmen an der Autobahn A3, welche nicht nur den Verlust an Bäumen direkt an der Trasse (Abbildung 5-11), sondern auch eine starke Fahrtätigkeit von Lastwagen tags und nachts in den Aufenthaltsgebieten der beiden Kolonien nach sich zog (Abbildung 5-12), behielten die mehrfach telemetrierten Tiere ihre Jagdgebiete weitgehend bei (im Mittel wurden mehr als 50% Überlappung der Jagdgebiete in verschiedenen Jahren beobachtet). Eine so hohe Jagdgebietstreue ist typisch für Bechsteinfledermäuse und deutet auf die Wichtigkeit guter Kenntnisse der lokalen Verhältnisse für ein erfolgreiches Jagen hin (KERTH et al. 2001b, KERTH & MELBER 2009). Auch bei den 3 telemetrierten Mopsfledermäusen kam es zu keinem erkennbaren Einfluss der Bautätigkeiten auf ihre nächtliche Raumnutzung. Zwei der 3 Tiere überflogen die Autobahn A3, nachdem die waldfreie Trasse nach den Fällungen in 2007 und 2008 breiter geworden war. Insgesamt verhielten sich also die 2007 und 2008 telemetrierten Mops- und Bechsteinfledermäuse nicht auffällig anders als die vor dem Beginn des Ausbaus der Autobahn A3 telemetrieren Tiere (siehe Kap. 4.3 und KERTH & MELBER 2009). Damit gab es keine Hinweise, dass die im Wald jagenden Fledermäuse auf den mit den nächtlichen Baustellenbetrieb einhergehenden Störungen (Lärm- und Lichtemissionen) mit der Verlegung ihrer Jagdgebiete reagierten, wie man es aufgrund der Laborstudien von SCHAUB et al. (2008) möglicherweise hätte vermuten können. Ähnliches gilt für die Quartiernutzung der beiden Bechsteinfledermauskolonien GB2 und KL. Zwar konnte bei beiden Kolonien ein geringes Verschieben der Quartiernutzung weg von der Autobahn A3 beobachtet werden und ein Einfluss

der Bautätigkeiten kann hier nicht völlig ausgeschlossen werden. Aber auch andere Faktoren, wie das Abhängen eines autobahnnahen Kastens im Gebiet der Kolonie GB2 im Jahr 2005 könnten ebenfalls eine Rolle spielen.

Abbildung 5-11: Beiderseits der Autobahn A3 kam es im Bereich der Bechsteinfledermauskolonien GB2 und KL zu Rodungen von Buschwerk und Bäumen auf einem Streifen von rund 20 Metern

Im Gegensatz zu den Ergebnissen aus der Telemetrie und den Quartierkontrollen zeigen die bioakustischen Untersuchungen einen deutlichen Einfluss der Baumaßnahmen auf die Nutzung von Querungsmöglichkeiten. Die Versperrung der Unterführung Schenkensee mit Gerüsten im Frühsommer 2008 reduzierte ihre Funktion als Querungsmöglichkeit signifikant. Das deutet darauf hin, dass die Baumaßnahmen zu einer Einschränkung der Erreichbarkeit von Waldflächen bei vegetationsnah fliegenden Arten wie der Bechsteinfledermaus und anderen Mitgliedern der Gattung *Myotis* führte, die auf die Unterführung zum Queren angewiesen sind (vergleiche KERTH & MELBER 2009). Allerdings stiegen die Durchflüge nach dem Abbau der Gerüste in der Unterführung Schenkensee wieder an. Dies deutet daraufhin, dass die Fledermäuse flexibel auf die veränderte Situation reagierten und es zu keiner permanenten Vergrämung kam. Dies passt gut zu früheren Ergebnissen zur Quartiernutzung von Bechsteinfledermäusen (KERTH et al. 2006). Dort durchgeführte Experimente, bei denen Fledermauskästen zeitweilig blockiert wurden, zeigten, dass Bechsteinfledermäuse flexibel reagieren und temporär blockierte Quartiere besiedeln, nachdem sie wieder zugänglich waren.

Abbildung 5-12: Mit Erdaushub beladene Lastwagen auf einem Waldweg im Zentrum des Aufenthaltsgebietes der Bechsteinfledermauskolonie GB2 im Frühsommer 2008

5.4.3 Einfluss der Baumaßnahmen auf das Überleben der Bechstein- und Mopsfledermauskolonien

Da es keine Hinweise auf eine verstärkte Mortalität im Sommer 2008 in der gut überwachten Kolonie GB2 gab, scheint der nächtliche Baustellenverkehr im Wald nicht zu einer drastisch erhöhten Unfallgefahr geführt haben. Während des Sommers 2008 verschwanden 2 der 35 adulten Weibchen aus der Kolonie GB2, was nach Erfahrungen aus den laufenden Langzeituntersuchungen an der Bechsteinfledermaus (KERTH, unpubliziert) darauf hindeutet, dass diese beiden Tiere starben. Allerdings verschwand im gleichen Zeitraum auch eines der 15 Tiere in der Kolonie BS (die in einem anderen Waldgebiet lebt und nicht durch nächtlichen Verkehr betroffen war). Zudem ist der Verlust einzelner Weibchen während des Sommers bei Bechsteinfledermauskolonien nicht ungewöhnlich (KERTH, unpubliziert). Auch in den weniger gut erfassten, autobahnnahe lebenden Kolonien KL (Bechsteinfledermaus) und GB (Mopsfledermaus) gab es keine Hinweise auf drastische Bestandsrückgänge als Folge der Baumaßnahmen und des Baustellen-Verkehrs in ihren Aufenthaltsgebieten. Allerdings muss in diesem Zusammenhang nochmals darauf hingewiesen werden, dass 4 potenziell vom Ausbau betroffene Kolonien, im Untersuchungszeitraum nicht angetroffen wurden und eine erhöhte Mortalität in diesen Kolonien daher nicht ausgeschlossen werden kann. Generell stellt nächtlicher Baustellenverkehr im Wald eine beträchtliche Bedrohung für Fledermäuse dar, insbesondere für Arten, die nahe am Boden oder entlang von Waldwegen jagen wie die Bechsteinfledermaus. Selbst auf vergleichsweise wenig befahrenen Waldwegen kann es zu Verkehrsopfern von Fledermäusen kommen (KERTH, unpubliziert; siehe Abbildung 5-13). Besonders gefährdet scheinen die Jungtiere während der Zeit des ersten Ausflugs Ende Juli und im August zu sein (HAENSEL & RACKOW 1996, LESINSKI 2007).

Abbildung 5-13: Totes frisch flügges Jungtier einer Bechsteinfledermauskolonie auf einem Waldweg im Irtenberger Wald bei Würzburg

5.4.4 Annahme neuer Querungshilfen

Obwohl die drei neu gebauten Kleintierdurchlässe ebenso wie die neu gebaute Grünbrücke im Untersuchungszeitraum nicht fertig gestellt wurden, konnten in den halb fertigen Kleintierdurchlässen bereits Anflüge von Fledermäusen beobachtet werden. Dabei wurden dieselben Arten (Großes Mausohr, Mopsfledermaus sowie unbestimmte kleinere *Myotis*-Arten) festgestellt, die auch in den bereits vorhandenen Unterführungen im Untersuchungsgebiet dominieren (siehe Kap. 4.3.3 sowie KERTH & MELBER 2009). Es kann also damit gerechnet werden, dass die Kleintierdurchlässe nach ihrer Fertigstellung im Jahr 2009 von vegetationsnahe fliegenden Fledermäusen zum Queren der Autobahn genutzt werden. Inwieweit sie dabei ähnliche Bedeutung erlangen, wie die im Durchmesser größeren, bereits bestehenden Unterführungen (Schenkensee und Heidingsfeld) bedarf weiterer Untersuchungen. Zum Vergleich: BACH et al. (2004: 416) beobachteten in Unterführungen, die mit ca. 1,5 x 2m ähnlich groß waren wie die Kleintierdurchlässe in unserer Studie, vor allem kleinere Arten der Gattung *Myotis*, insbesondere Fransenfledermäuse.

Im Moment kann nichts über die Wirkung der neu errichteten Grünbrücke ausgesagt werden. So konnten während des Einsatzes der batcorder auf der Brücke zwar Fledermäuse nachgewiesen werden, Querungen wurden aber nicht festgestellt und auch während einer Netzfangnacht konnten keine Tiere auf der Brücke gefangen werden. Allerdings ist die Brücke noch nicht bepflanzt und auch die Anbindung an Vegetation, die als Leitstruktur für Fledermäuse fungieren könnte (BACH & MÜLLER-STIEß 2005), fehlt noch. Letzteres gilt auch für die drei halb fertig gestellten Kleintierdurchlässe. Umso erfreulicher ist es, dass diese bereits von Fledermäusen angeflogen wurden. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Annahme der neuen Querungshilfen nicht vollständig bearbeitet werden konnte, da die Querungshilfen im Untersuchungszeitraum nicht fertig wurden. Hier müssen weitere Untersuchungen in der Zukunft erfolgen.

6 Gefährdung von Fledermäusen durch Kollision

6.1 Gefährdung von Fledermäusen an Straßen, Einflussfaktoren

6.1.1 Einleitung

Über die Kollisionsgefährdung von Fledermäusen im Verkehr ist vergleichsweise wenig bekannt. Die bisherigen Befunde beruhen mehrheitlich auf mehr oder weniger zufälligen Funden verunfallter Fledermäuse bzw. anekdotischen Erkenntnissen (vgl. zusammenfassend in HAENSEL & RACKOW 1996; KIEFER et al. 1995). Erst wenige Untersuchungen beleuchten verkehrsbedingte Todesfälle unter den Fledermäusen mittels systematischer Ansätze (LEMAIRE & ARTHUR 1999, ARTHUR 2007, BAFALUY 2000, CAPO et al. 2006, LESINSKI 2007, 2008, GAISLER et al. 2009 sowie – in den USA – RUSSEL et al. 2006). Die in diesen Studien durchweg genutzte Methode der Suche nach Kollisionsopfern unterliegt wiederum erheblichen methodisch bedingten Problemen und Unsicherheiten (u.a. SLATER 2002, KUNZ et al. 2007). Neben der Frage, welche Fledermäuse verunfallen, ist v.a. im Hinblick auf die Planung und den Bau und Betrieb von Straßen relevant, von welchen Faktoren das Auftreten von Fledermäusen an Straßen abhängig ist, unter welchen Umständen Fledermäuse durch den Verkehr getötet oder verletzt werden und wie die Kollisionsgefährdung bei der Planung von Verkehrswegen berücksichtigt werden kann.

Um die Fragestellung der Kollisionsgefahr und der die Kollisionsgefahr bedingenden Faktoren in das Zentrum zu rücken und um die mit der Totfundsuche verbundenen methodischen Probleme möglichst zu umgehen, wurde in vorliegender Untersuchung ein anderer Ansatz gewählt, der sich darauf konzentriert, die Verteilung und das Verhalten von Fledermäusen im Verkehrsraum unter verschiedenen Verkehrsbedingungen vergleichend zu erfassen.

6.1.2 Methoden

6.1.2.1 Transektzählungen

Unter Einsatz von Ultraschall-Detektoren und Infrarot-Kameratechnik wurden Transektzählungen entlang von Straßen angestellt und das Verhalten von Fledermäusen an bzw. über den Straßen untersucht. Dieses Datenmaterial wurde in Bezug auf die Hauptfragestellungen ausgewertet: wie häufig treten Fledermäuse im Straßenbereich auf, gibt es Faktoren die das Auftreten von Fledermäusen im Straßenraum begünstigen (und damit evtl. Kollisionen provozieren) und wie verhalten sich die Fledermäuse im Straßenraum?

Als Untersuchungsgebiete wurden sieben Straßenabschnitte ausgewählt (Tabelle 6-1). Die Strecken zeichnen sich dadurch aus, dass sie generell aufgrund bekannter Quartiernähe eine hohe Fledermaus-Aktivität erwarten ließen und die Fledermausgemeinschaft aufgrund von Voruntersuchungen in den Jahren 2000 - 2006 (Netzfänge, Detektoruntersuchung, tlw. Telemetrie) bekannt war (u.a. BACH & LIMPENS unveröff., LÜTTMANN et al. unveröff., SIMON & WIDDIG unveröff.). Die einzelnen Probeflächen weisen keine einheitliche Charakteristik bezüglich umgebender Fledermaushabitate (z.B. Waldbereiche) auf, sondern bestehen bei gleichbleibender Verkehrscharakteristik aus landschaftsstrukturell unterschiedlichen Abschnitten (s. die abweichende Bezeichnung für Abschnitte in Abbildung 6-2).

Tabelle 6-1: Untersuchungsflächen (Transektstrecken)

Kürzel	Kürzel Unter-ab-schnitt	Klassifika-tion	Länge (km)	Charakteristik	Kfz/Tag (DTV)	Artvorkommen im Umfeld
BI	B7B1 B7B2	Bundes-straße	3,3	Acker, Hecken, Gehölze, Sied-lungsrand	6.200	12 Arten, v. a. Großes Mausohr (kolonienah)
HO	B27H-1 B27H-2 B27H-3	Bundes-straße	3,3	Talrand, Waldrand	6.300	12 Arten, v. a. Großes Mausohr (kolonienah)
Re	B27R-1	Bundes-straße	1,3	Talrand, Waldrand	7.265	12 Arten, v. a. Großes Mausohr (Kolonienah)
TA1	L762-1 L762-2	Landstraße	3,0	Waldrand	16.000	14 Arten, Kolonien v. Bechstein-, Bart-, Fransenfledermaus
TA2	L931-1 L931-2	Landstraße L931	2,2	Acker, Gehölze, Waldrand	7.500	14 Arten, Kolonien v. Bechstein-, Bart-, Fransenfledermaus
OU	A60-1 A60-2 A60-3	Autobahn A60	3,3	Grünland, Gewäs-ser/Talbrücke (ge-nerell: Straßenbe-leuchtung Orange-Licht)	16.600	Gr. Abendsegler, Breitflügelfledermaus; bedeu-tendes Zwergfledermaus-Zwischenquartier im Brü-ckenhohlraum > 1000 Indiv.
LX	Lx-1 Lx-2	Autobahn A64	6,7	Wald, Waldrand, Grünland, Hecken	34.000	14 Arten, u.a. Jagdgebiet von Bech-stein-, Bart-, Fransenfleder-maus, Gr. Hufeisennase

Methodisch angelehnt an Transekt-Untersuchungen mit Detektoren (z.B. AHLÉN 1981, RYDELL 1992, JÜDES 1989, RUSS et al. 2007) und entsprechenden Untersuchungen zum Unfalltod bei anderen Säugern (MALO et al. 2004) wurden die Strecken wiederholt und zeitlich abwechselnd gegenläufig mit einer Geschwindigkeit von > 50 – < 60 km/h befahren und währenddessen kontinuierlich gefilmt. Die Aufnahmen wurden vom Stativ durch die Frontscheibe eines Pkw mit hochlichtempfindlichen Videokameras (ICD-47E, Hitachi KP-200) mit 50 Halbbildern/Sekunde ohne Zusatzbeleuchtung auf Mini-DV-Camcorder JVC GRD270E und SONY HC32 oder direkt auf einem Notebook aufgezeichnet. Als Hilfslicht diente das Kfz-Fahrlicht. Jede Untersuchungsfläche resp. jedes Transekt wurde nach Voruntersuchungen in 2005 im Zeitraum vom 13.06. bis 31.08.2006 während 10 – 12 Nächten vor Einsetzen der Dämmerung ca. 4 Std. befilmt. Gegenüber dem Zwischenbericht 03/2007 wurde ein zusätzlicher Streckenabschnitt aufgenommen: Die Probefläche LX wurde in 2006 zunächst einmal zur Erkundung und dann im Zeitraum 30.05. bis 15.07.2007 insgesamt sechsmal beprobt. Ebenso wurden drei Untersuchungen an der Probefläche OU nachgetragen. Beide Strecken konnten in 2005/06 aufgrund von Bauarbeiten nur eingeschränkt bearbeitet werden.

[Außer dieser Ergänzung der Probeflächen wurden die Daten aufgrund der Erkenntnisse der Auswertungen für das Untersuchungsjahr 2006 (s. im Zwischenbericht 03/2006) tlw. neu und mit feineren Abschnittsbildungen vorgenommen. Dazu wurde auch die Einteilung einiger Parameterklassen geändert und die entsprechenden Auswertungen wiederholt. Dadurch wurde stellenweise eine höhere Auflösung der Auswertung vor allem in Bezug auf die Zusammenhänge mit Strukturkennzeichen der Strecken, v.a. der Begleitvegetation erreicht.]

Die Auswertung der Videos fand einzelbildweise am Monitor statt. Entsprechend Vorversuchen konnten Fledermäuse unter den herrschenden Rahmenbedingungen (v.a. geringe Bildfrequenz der Camcorder und geringe Scheinwerferreichweite) bis ca. 30 m vor dem Fahrzeug einwandfrei erkannt werden. Da

tatsächliche Kollisionssituationen mit der Methode in der Regel nicht beobachtet werden, die „Kollisionsgefahr“ aber interessierte, wurde an Stelle tatsächlich auftretender Kollisionssituationen eine potenzielle „Gefährdungssituation“ definiert: der Aufenthalt einer Fledermaus in einem bestimmten Raum vor dem Video-Fahrzeug (Abbildung 6-1). Innerhalb dieses Gefährdungsbereiches gilt die Kollision von Fledermäusen mit einem Kfz aufgrund der zeitlichen und räumlichen Koordinaten als wahrscheinlich, außerhalb als unwahrscheinlich.

Eine Artdetermination lässt die Videodetektion nur auf einem groben Niveau zu: die detektierten Fledermausarten wurden anhand ihrer Größe, ihrer Silhouette und ihres Flugverhaltens nach Erfahrungswerten in folgende Klassen eingeteilt: g1 Großes Mausohr, g2 Großer Abendsegler, Breitflügelfledermaus; übrige k, tlw. k1 *Pipistrellus*, k2 *Myotis*. Zusätzliche Artinformationen wurden während der Transektfahrten gewonnen, indem akustische Daten mittels am Fahrzeug befestigter Zeitdehner-Detektoren (Batbox Duet) aufgenommen wurden, ähnlich dem Vorgehen von RUSS et al. (2007). Echokontakte wurden auf einen Digitalrekorder aufgezeichnet (Iriver IFP) und parallel mit GPS (Garmin Etrex) verortet. Die Auswertung erfolgte mittels der Software Batscan (mindestens) auf Gruppenniveau („Nyctaloiden“ Großer Abendsegler, Kleiner Abendsegler, Breitflügelfledermaus; „*Pipistrellus*“ Rauhautfledermaus, Mückenfledermaus, Zwergfledermaus; „*Myotis*“ Wasserfledermaus, Fransenfledermaus, Kleine und Große Bartfledermaus, Bechsteinfledermaus; „*Barbastella“* Mopsfledermaus sowie „*Plecotus*“ Graues und Braunes Langohr). Mittels dieser Daten und der Vorinformationen, die im Rahmen parallel stattfindender Bestandserfassungen mit Standardmethoden (Netzfang) gewonnen wurden (übrige Forschungsmodule, projektbezogene Untersuchungen durch Dritte), wurde auf die beobachteten Arten und ihre Häufigkeitsverteilung zurückgeschlossen.

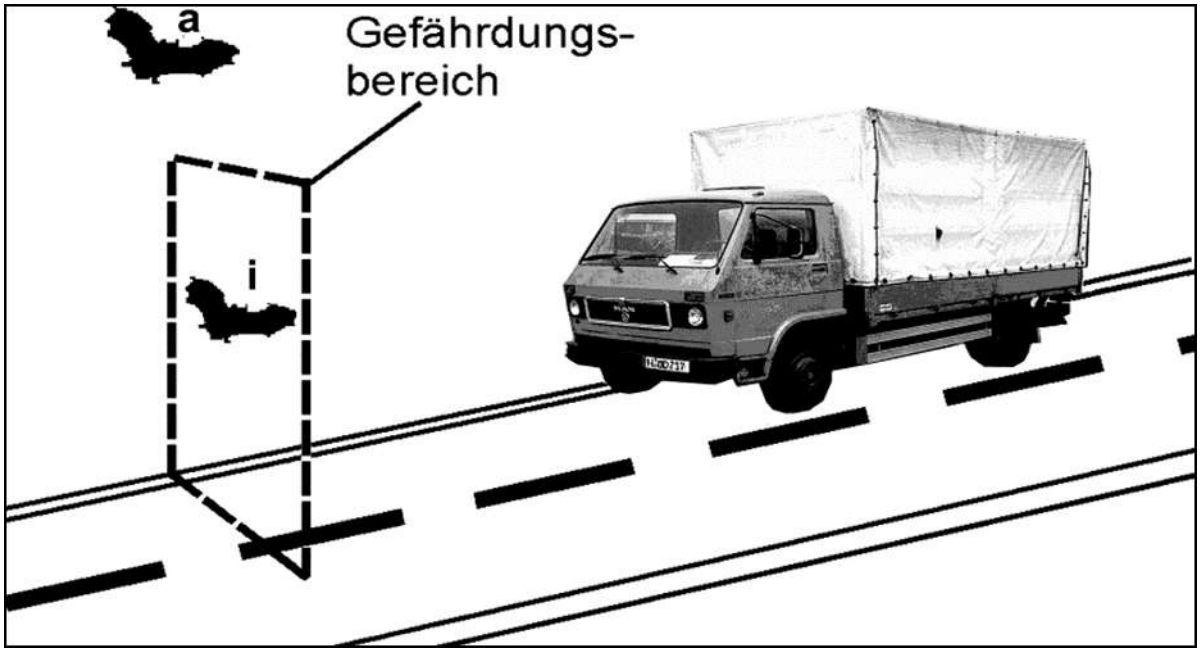


Abbildung 6-1: Definition des Gefährdungsbereichs als Quadrat aus Fahrspurbreite (Kfz plus Zuschlag) und Fahrzeughöhe (Pkw/Lkw) (i: Fledermaus innerhalb des Gefährdungsbereichs, a: außerhalb)

Das Verhalten der beobachteten Fledermausindividuen (Flugrichtung, Flughöhe, Jagd- bzw. Transferflug) wurde aus den Videosequenzen entnommen. Alle Daten wurden 100 m – Abschnitten zugeordnet. Für einzelne Fragestellungen wurden auch kürzere Abschnitte (25 m) gebildet oder die Videoaufzeichnungen wurden bezüglich des Fledermausvorkommens sowie anderer Merkmale (Hecken, Bachläufe

usw.) anhand der im Video sichtbaren Merkmale des Straßenumfeldes punkt- bzw. ortsgenau zugeordnet.

Als beeinflussende Parameter der Strecken wurden Daten bezüglich Streckengradiente und Straßenrand (Waldnähe, Siedlungsnähe, Ausprägung des Straßenbegleitgrüns sowie von Linearstrukturen wie z.B. Bächen und Hecken, die an die Strecke heranführen) aufgenommen.

Tabelle 6-2: Übersicht über die zur Auswertung herangezogenen Straßenrand- und Umfeld-Parameter

Parameter	Beschreibung
Streckengradiente	Dammlage > 3 m
	Gleichlage
	Einschnitt > 3 m
	Kombination Damm-, Gleich- und Einschnittslage
	(Tal-)Brücke
Wald	Strecke zum nächsten Wald (Meter)
Siedlung	Strecke zur nächsten Siedlung (Meter)
Nahbereich (bis 5 m vom Streckenrand), Straßenbegleitgrün /-struktur	SR1: Offen, keine höhere Vegetation am Straßenrand
	SR2: Locker von Bäumen/Gehölzen gesäumt (intermediär)
	SR3: von Straßenbegleitgrün geprägt (dicht)
	(SR4: Von Alleebäumen umgeben, Baumkronen über der Straße)[27]
	SR0: Andere, meist künstliche Strukturen/Bauwerke (Brücken/Wegeüberführung usw.)
Lineare Strukturen, die an die Strecke heranführen	Hecken/Baumreihen senkrecht zur Straße
	kreuzender Bachlauf
	überführter o. unterführter Weg
	in den Abschnitt einmündende Straße
Verkehrsbelastung	Kfz-/Schwerlastverkehr 22 bis 6 Uhr

Der Datensatz für 100 m - Straßenabschnitte umfasst insgesamt 6112 Datensätze. Dieser Datensatz hat die Besonderheit, dass sehr viele Nullwerte auftreten, weil nur in wenigen Sequenzen Fledermäuse auftreten (Datensatz A). Ein Nichtbeachten der Nullwerte wurde für die Mehrheit der Auswertungen verworfen, da auch das Ereignis „keine Fledermaus“ für die hier anstehenden Fragestellungen von Bedeutung ist. Für weitere Fragestellungen wurden die Fledermaus-Beobachtungen für homogene Streckenabschnitte (z.B. Abschnitte mit Wald und Straße im Einschnitt) aufsummiert, vgl. die Kürzel der Unterabschnitte in Abbildung 6-2 (Datensatz B). Die Auswerteeinheiten von 100 m wurden wie o.g. verkleinert und die Videodaten sequenz- und ortsgenau anhand der im Video sichtbaren Randstrukturen (Markierungspfähle und weiteren von uns angebrachten Markern) ausgewertet. Für vergleichende Auswertungen wurden die Daten auf den gefahrenen Kilometer normiert, ansonsten wurden sie ohne Umrechnungen verwendet. Die Strukturparameter wurden den Videos, Luftbildern und eigenen Kartierungen im Maßstab 1:5000 entnommen. Die Verkehrsbelastung der Streckenabschnitte wurde von den Straßenverwaltungen bereitgestellt (Verkehrszählungen 2005).

Als weiterer Faktor, der das Auftreten von Fledermäusen beeinflussen kann, wurde das Nahrungsangebot im Bereich der Straße in Form des Insektenvorkommens betrachtet. Die Abschätzung des Insektenvorkommens erfolgte in Anlehnung an BLAKE et al. (1994) durch Auszählung der auf den Videos im Lampenlicht weiß aufleuchtenden Insekten mit zwei verschiedenen Ansätzen: Datensatz 1 enthält 60 zufällig ausgewählte 100 m - Abschnitte, Datensatz 2 berücksichtigt alle Abschnitte mit mindestens einer Fledermaus-Beobachtung. Die in absoluten Werten erfasste Anzahl der Insekten wurde in folgende

[27] Später mit SR3 zusammengefasst.

Häufigkeitsklassen eingeteilt: Häufigkeitsklasse/Insektenanzahl: 1/0-5; 2/6-10; 3/11-50; 4/51-100; 5/101-250; 6/251-1000.

In der Regel werden die Daten explorativ analysiert (Boxplot, Verteilungsdiagramme). Soweit Teststatistik zum Einsatz kam, wird diese im Zusammenhang der Datenpräsentation angegeben. Wenn nicht anders angegeben, wird die Irrtumswahrscheinlichkeit α mit 5 % angenommen.

6.1.2.2 Ergänzender Untersuchungsansatz: Totfundsuche

Die Suche nach Totfunden wurde an den Probestrecken OU (nur Brückenbereich), RE, BI HO und TA (nur Teilbereich L782) an folgenden Terminen durchgeführt: OU: 22.06., 30.06., 10.07., 27.07., 09.08.2006, RE: 13.06., 04.07., 25.07., 23.08.2006; HO: 14.06., 05.07., 26.07., 24.08.2006; TA: 20.07., 31.07., 27.08.2006. Die Suche erfolgte jeweils einmal pro Nacht/Strecke im Anschluss an die Transektuntersuchungen (meist zwischen 2:00 Uhr und 3:00 Uhr) mit zwei Personen vom Schritttempo fahrenden Pkw, wobei meist eine Person auf dem Kotflügel saß und die Fahrbahn und den Standstreifen absuchte. Eine methodische Kontrolle wurde nicht durchgeführt.

6.1.3 Ergebnisse

Fledermausdichte der einzelnen Strecken

Die Fledermausdichte der einzelnen Strecken bzw. Strecken-(Unter-)Abschnitte ist äußerst unterschiedlich. In 156 von 6112 Steckenabschnitten wurden Fledermäuse festgestellt. Die Aktivität dort variierte von 0,0–1,6 Indiv./Kilometer (Abbildung 6-2). Signifikante Unterschiede bestehen zwischen den in der Agrarlandschaft verlaufenden Streckenabschnitten (Offenland), den Strecken, die durch reich strukturierte Landschaftsbereiche mit Grünland, Hecken und Alleen führen (Halb-Offenland) und den Probestrecken, die vorwiegend durch Wald führen (H-Test: $n1 = 72$, $n2 = 39$, $n3 = 45$, $H = 10.14$; $df = 2$, $p = 0,0063$).

Differenzierung der Ergebnisse nach Arten anhand akustischer Daten

Für diese Betrachtung liegen Videodaten und akustische Daten vor. Bei Betrachtung des gesamten Videodatensatzes (s.o.) – ohne Korrektur durch z.T. parallel gewonnene akustische Daten, ergab sich folgendes Ergebnis: Im Mittel 67% aller „kleinen Fledermäuse“ (k), die im Straßenraum mittels Video detektiert wurden, flogen auch im „Gefährdungsbereich“, also im Straßenraum und auf Fahrzeughöhe bis ca. 4 m. An einigen Streckenabschnitten wie bspw. der Strecke OU und TA war der Anteil sogar bis 90 % hoch. Die „großen Fledermäuse“ (Gruppe g1) flogen dagegen seltener im Gefährdungsbereich: für die Gruppe g1 (v.a. Mausohr) wurden 20 – 40 % (im Mittel 26%) ermittelt. Die Mausohren folgten öfter der Straßenbegleitvegetation (s.u.) am Rande der Fahrbahn oder waren überhaupt nur kurz, während des Transfers, im Straßenraum zu beobachten. Die die Gruppe g2 bildenden Abendsegler und Breitflügelfledermäuse wurden v.a. an der Ourtalstrecke und an der Ourbrücke (OU) beobachtet sowie im Bereich der Strecke LX. Diese Abschnitte erstrecken sich nach Belgien bzw. nach Luxemburg hinein und sind dort in der Nähe der Grenzen B/D und L/D beleuchtet. Abendsegler und Breitflügelfledermäuse wurden aber in keinem Fall auf Fahrbahnniveau bzw. im angenommenen Gefahrenbereich angetroffen.

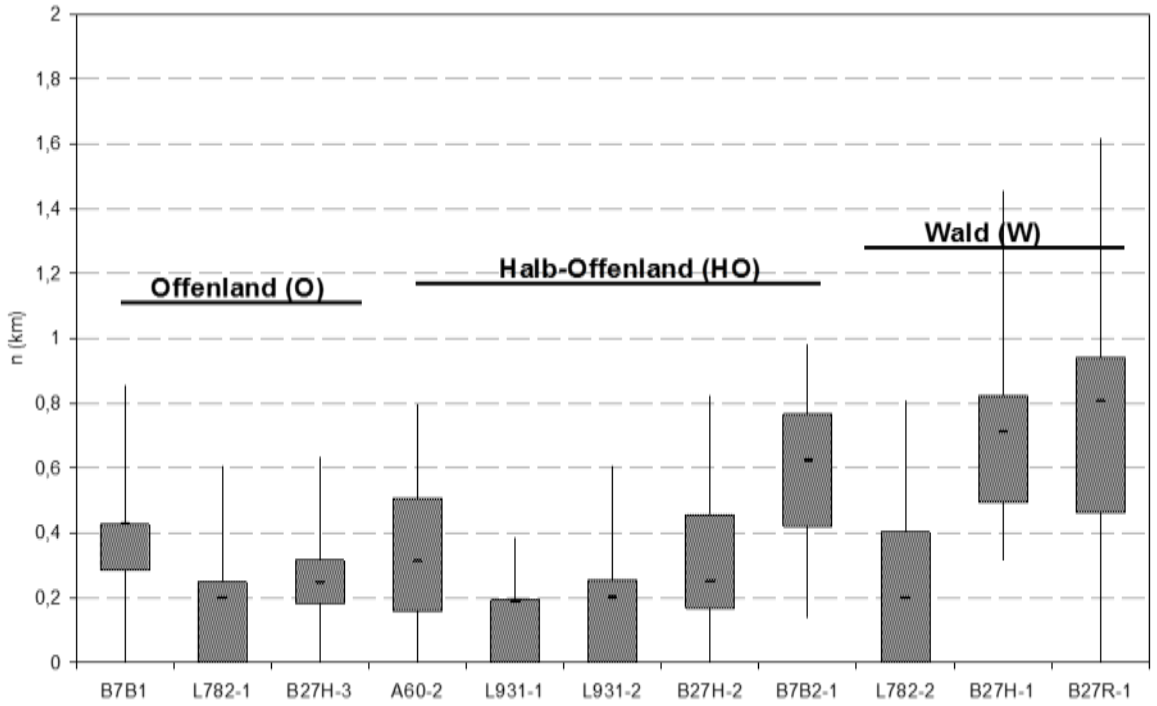


Abbildung 6-2: Boxplot der Fledermaus-Aktivität (Individuen/km, Medianwert, Varianz bei Teil-strecken) im Straßenraum auf verschiedenen Straßen(unter-)abschnitten im Offenland, Halboffenland und Wald

In der Abbildung berücksichtigt sind nur die 156 Abschnitte mit Fledermausvorkommen.

Insgesamt wurden 1049 auswertbare und den Videosequenzen zuzuordnende Fledermausrufsequenzen im Rahmen der Transektfahrten mittels Detektor festgestellt. In Tabelle 6-3 wurde die Häufigkeit, mit der die Fledermausarten im „Gefährdungsbereich“ aufgnommen wurden, dargestellt und in eine Rangfolge gebracht. (Die Rufgruppe der Nyctaloiden wurde von den Auswertungen ausgenommen, weil die Zuordnung in der geschilderten Weise nicht sinnvoll möglich war; vielfach jagten die Individuen nach unseren Feststellungen hoch über der Straße entlang des Waldrandes, außerhalb des von den Videokameras erfassten Ausschnittes bzw. des „Gefährdungsbereichs“).

Anteilig am häufigsten im Gefährdungsbereich identifiziert wurden Langohr-Fledermäuse (Gatt. *Plecotus*), wobei – tlw. methodisch bedingt – die Art insgesamt selten im Straßenraum identifiziert wurde. Zahlenmäßig am häufigsten wurden Arten der Gruppe „*Pipistrellus*“ erfasst, vermutlich v.a. Zwergfledermäuse; die Art wurde auch im „Gefährdungsraum mit annähernd 50% der Beobachtungen häufig erfasst. Die Gruppe der *Myotis*-Arten ließ sich anhand der akustischen Aufnahmen und der Videoaufnahmen nicht weiter differenzieren; die Individuen der in der Gruppe vereinigten 5 Arten (Tabelle 6-3) wurden im Straßenraum häufig niedrig fliegend, im „Gefährdungsbereich“, angetroffen (45%). Die akustisch als Großes Mausohr identifizierten Individuen flogen im Vergleich seltener im „Gefährdungsraum“ (26%).

Tabelle 6-3: Frequenz der Arten im „Gefährdungsbereich“ nach Videodaten und Präsenz in Totfunden auf europäischen Straßen nach Literaturdaten

		Eigene Daten (Transektuntersuchung)			
Auswertungsmethode		Detektiert und video-dokumentiert (ohne Noct.)	im "Gefährdungsbereich" (ohne Noct.)	Anteil (%)	Rang
	Art / Summe	719	330		
V(A*)	Myotis myotis	35	9	25,7	6
? (nur Gruppe)	Übrige Fledermausarten	91	35	38,5	5
AV (Gruppe Myotis)	Myotis-Gruppe	217	97	44,7	4
VA	Pipistrellus	356	175	49,2	3
VA (Gruppe Plecotus)	Plecotus	19	13	68,4	2
A	Barbastella barbastellus	*1*	*1*	*100,0*	*o.Bew.*
AV (Gruppe Myotis)	Myotis brandtii	Gruppenbezogen ausgewertet (s.o.)			
AV (Gruppe Myotis)	Myotis mystacinus	Gruppenbezogen ausgewertet (s.o.)			
AV (Gruppe Myotis)	Myotis nattereri	Gruppenbezogen ausgewertet (s.o.)			
AV (Gruppe Myotis)**	Myotis daubentoni	Gruppenbezogen ausgewertet (s.o.)			
AV (Gruppe Myotis)	Myotis bechsteinii	Gruppenbezogen ausgewertet (s.o.)			
VA (Gruppe)	Plecotus austriacus	Gruppenbezogen ausgewertet (s.o.)			
? (Gruppe Pip)	Pipistrellus nathusii	Gruppenbezogen ausgewertet (s.o.)			
VA	Eptesicus serotinus	nicht bewertet (s. Text)			
VA	Nyctalus noctula	nicht bewertet (s. Text)			
VA	Nyctalus leisleri	nicht bewertet (s. Text)			

* tlw. Unterscheidung von Breitflügelfledermaus nur anhand akustischer Aufnahmen
** in typ. Habitaten (Gewässern) artbezogen
„Nyctaloiden“ Großer Abendsegler, Kleiner Abendsegler, Breitflügelfledermaus
„Pip" *Pipistrellus*: Rauhautfledermaus, Mückenfledermaus, Zwergfledermaus
„Myo“ *Myotis*: Wasserfledermaus, Fransenfledermaus, Kleine und Große Bartfledermaus, Bechsteinfledermaus
„*Plecotus*“ Graues und Braunes Langohr
V Videoauswertung
A Akustisch (Detektor)

Fledermaus-Aktivität an unterschiedlich verkehrsfrequentierten Straßen

In Abbildung 6-3 wurde die Verkehrsdichte (DTV, Verkehrsaufkommen in 24 h) gegen die Fledermaus-Aktivität aufgetragen; Verkehrsabschnitte mit annähernd der gleichen Verkehrsbelastung wurden in eine Klasse zusammengefasst. Danach ist die Fledermausaktivität im Straßenraum auf den stark befahrenen Straßen geringer als auf schwach befahrenen. Wie im Folgenden noch dargestellt wird, besteht allerdings primär ein Zusammenhang mit der Straßencharakteristik und der Ausprägung des Straßenbegleitgrüns.

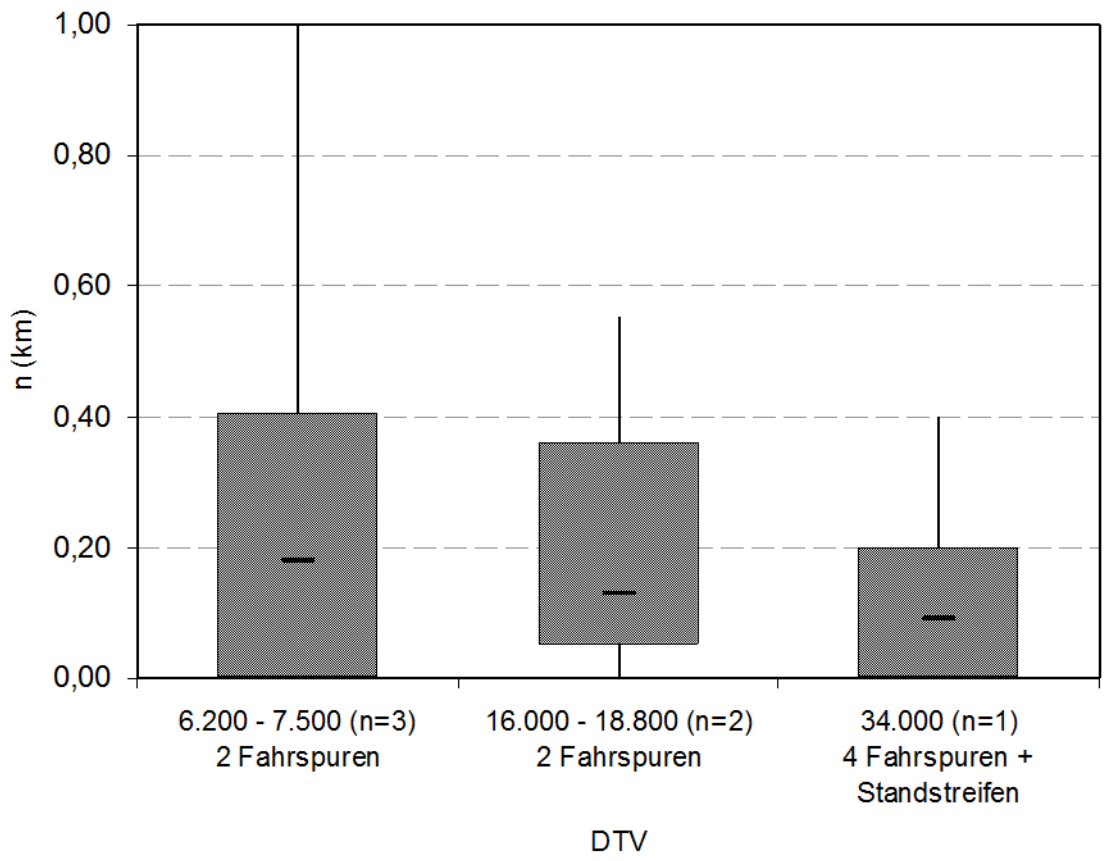


Abbildung 6-3: Fledermaus-Aktivität (Individuen/km) im Straßenraum in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung (DTV) und der Straßenbreite (2-, 4-spurig) (Medianwert und Varianz bilden die unterschiedliche Aktivität in den einzelnen Streckenabschnitten ab)

Faktor Kolonie-Nähe

In der Nähe der Mausohrkolonien war die Fledermausaktivität im Straßenbereich signifikant größer als weiter entfernt (H-Test, Chi2= 23,129, df = 9, p = 0,006); am höchsten war die Aktivität und Gefährdung auf den Straßen während der abendlichen Ausflugszeit (bis ca. 90 Minuten nach Sonnenuntergang).[28]

Faktor Intention (Transferflug, Jagen, Schwarmverhalten)

Die meisten Fledermäuse, die im Straßenraum detektiert wurden, nutzten die Straße bzw. den Straßenrand auf Transferflügen. Aufgrund ihres Verhaltens und ihrer kurzen Aufenthaltszeit als „Querer" bezeichnete Individuen waren dominant (Abbildung 6-4).[29] Der höchste Anteil von Tieren, die sich eine etwas längere Zeit im Straßenraum aufhielten (jagend / schwärmend) (ca. 20%) wurde im Bereich der Our festgestellt. Im betreffenden Abschnitt OU bzw. A60-1 mit Talbrücke und bewaldeten Bereichen um die Brückenwiderlager ist ein Schwarmquartier der Zwergfledermaus bekannt (WEISHAAR, pers. Mitt.).

[28] Die Phase des morgendlichen Wiedereinflugs wurde nicht untersucht.

[29] Einschränkend ist anzumerken, dass eine gewisse Unschärfe der Daten durch Fledermäuse möglich ist, die aus anderen Gründen nur kurz im Auswertungsvideo auftreten und dann vor dem Hintergrund der geringen Bildzahl pro Sekunde u.U. fälschlich als Transferflieger eingestuft wurden.

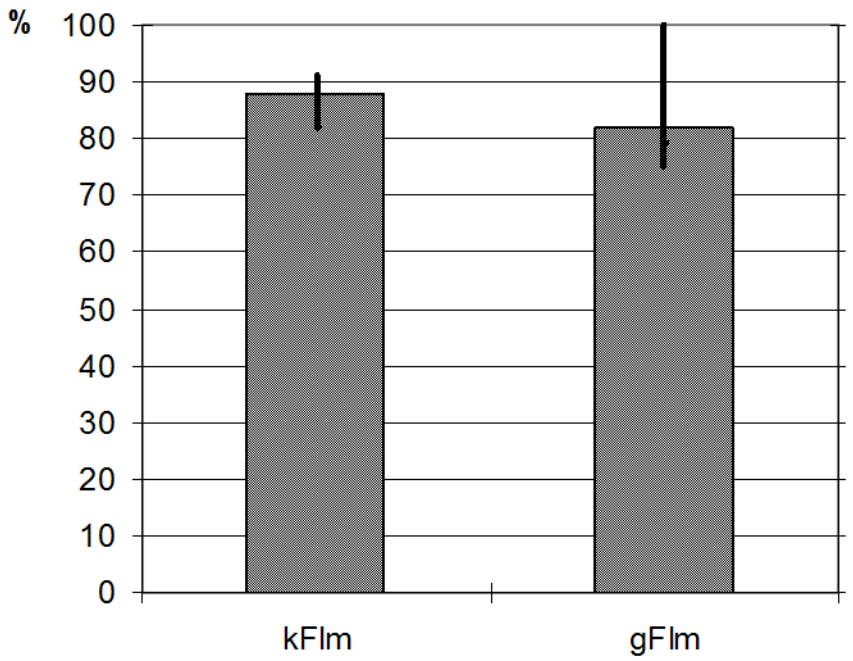


Abbildung 6-4: Anteil von Transferflügen im Straßenraum (kFlm kleine Fledermausarten, gFlm große Fledermausarten; Gesamtzahl der beobachteten Fledermäuse = 100%. Medianwert, Varianz bei 11 Teilstrecken)

Faktor Meideverhalten

Weiter wurden die Videosequenzen bei Annäherung von Fledermäusen an ein Fahrzeug darauf ausgewertet, ob große Fledermausarten bzw. kleine Fledermausarten kurz vor dem Fahrzeug resp. vor der angenommenen Kollisionssituation die Flugrichtung resp. Flughöhe wechseln, was auf Ausweichreaktionen hinweisen könnte (Abbildung 6-5). Bei kleinen Fledermäusen wurde ein „Wechseln der Flugrichtung“ signifikant häufiger als die „gleich bleibende Höhe“ beobachtet (Wilcoxon-Test, $Z = -2{,}023$, $p = 0{,}043$). Bei den großen Fledermäusen (g1) hielten sich ausweichende Bewegungen mit „gleich bleibender Höhe“ die Waage (Wilcoxon-Test: nicht signifikant, $Z = -1{,}214$, $p = 0{,}225$). Die Verkehrsbelastung hatte auf dieses Verhalten keinen Einfluss, auch nicht darauf, ob die beobachteten Fledermäuse in PKW- oder LKW-Höhe flogen.

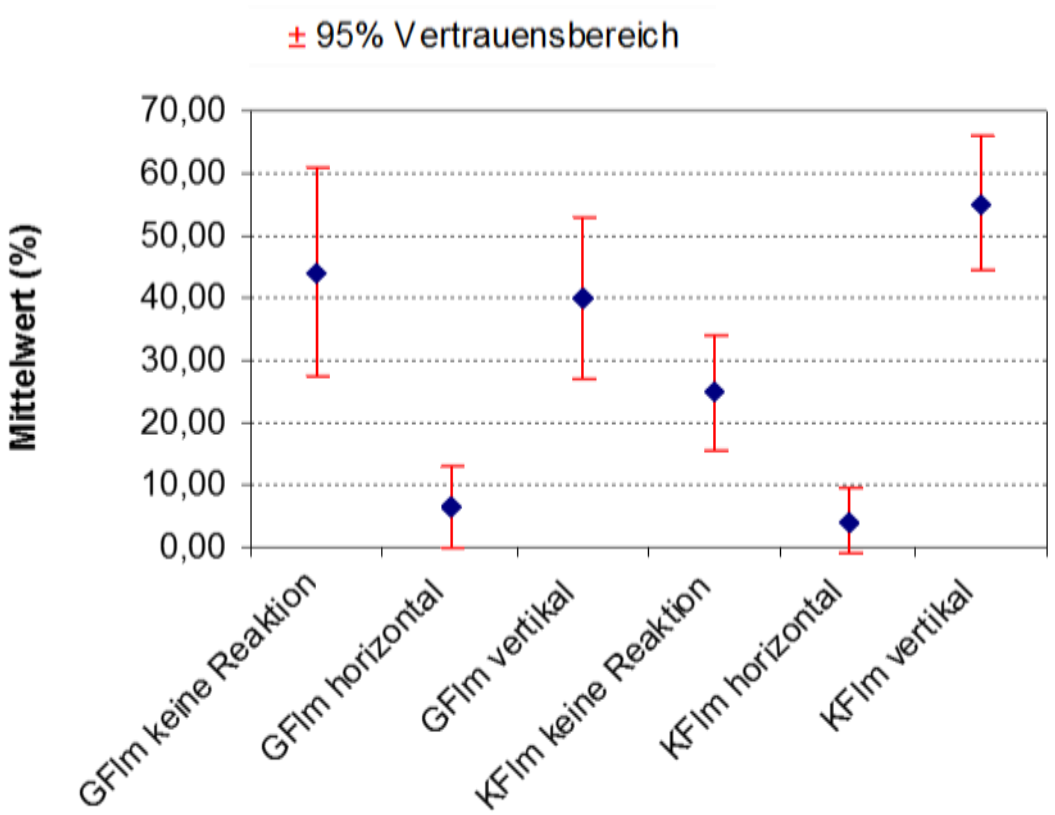


Abbildung 6-5: Änderung der Flughöhe und -richtung bei Fledermaus-Gruppen (GFlm große Fledermausarten n = 61, KFlm kleine Fledermausarten n = 142) bei Annäherung von Fahrzeugen (11 Teilstrecken)

Faktor Straßenbegleitgrün und Gradiente

In der Abbildung 6-6 ist die Verteilung von Fledermäusen in Abhängigkeit von einerseits fehlendem Begleitgrün und andererseits dichter Straßenrandvegetation dargestellt: SR1 steht für eine gering ausgeprägte bzw. vorherrschend offene, niedrige Struktur der straßenbegleitenden Vegetation, SR3 repräsentiert ein geschlossenes Begleitgrün mit Hecken oder dichtem Baumbestand. An Straßen mit dichter Vegetation (SR3) fliegen signifikant weniger Fledermäuse im Straßenraum (U-Test, SR1/SR3: $Z = -3{,}236$, $n = 57$, $p < 0{,}05$; SR2[30]/SR3: $Z = -2{,}906$, $n = 66$, $p < 0{,}05$). Allerdings wurden an Streckenabschnitten, an denen Hecken und Alleen den Straßenraum unmittelbar säumten (TA, Bi, Re und Ho jeweils streckenweise), auch gegenteilige Beobachtungen gemacht: von den Individuen, die an Straßenabschnitten auf der der Fahrbahn zugewandten Seite an Straßenbegleitvegetation entlang fliegend beobachtet wurden (*Myotis*, *Pipistrellus*), vollführten im Mittel 60% trotz ansonstem enger Orientierung an der Leitstruktur mindestens einmal eine Flugbewegung in den Gefahrenbereich hinein.

[30] SR2 stellt einen intermediären Typ dar.

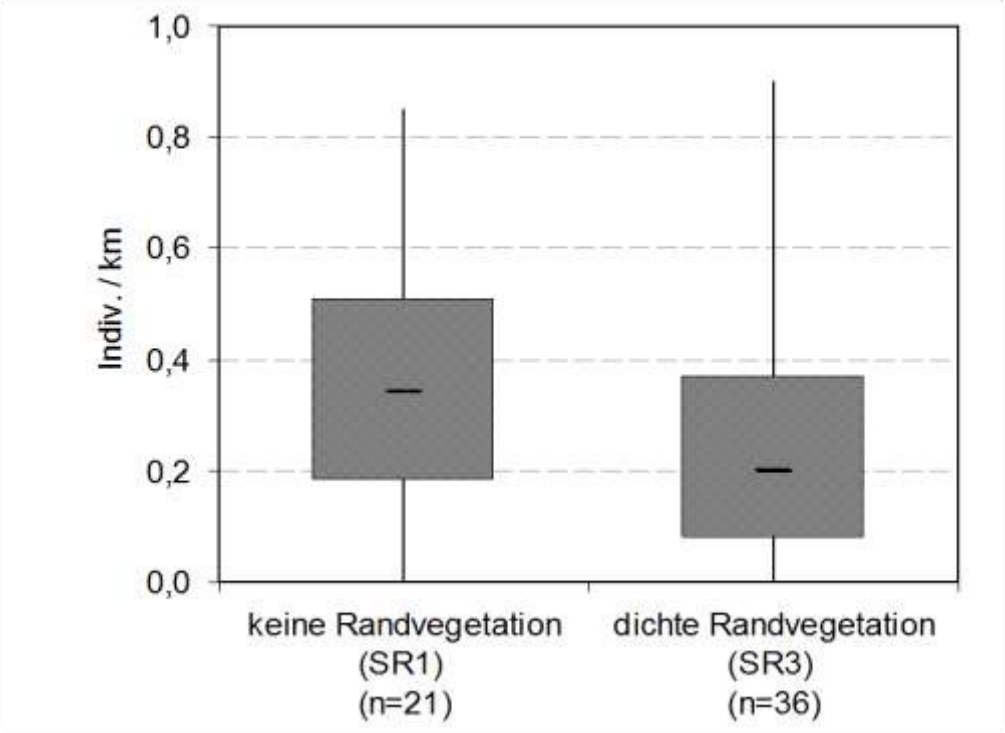


Abbildung 6-6: Fledermäuse im Straßenraum in Abhängigkeit von der Struktur am Straßenrand SR1 (fehlend bis locker) – SR3 (dichtes Begleitgrün)

Die Häufigkeit der Fledermäuse im Straßenbereich ist in Einschnitten und in Dammlage geringer als in Gleichlage (Abbildung 6-7). Der Unterschied zwischen Damm und Gleichlage ist signifikant (U-Test: $Z = -4{,}363$, $n = 24$, $p < 0{,}05$). Bezüglich des Einschnittes ergibt sich ein Unterschied, wenn ausschließlich Teilabschnitte ohne Vegetation auf den Einschnittsböschungen berücksichtigt werden und so der Einfluss von Vegetation auf die Auswertungsergebnisse eliminiert wird: Je nach Ausprägung der Straßenbegleitvegetation bestanden sehr große Unterschiede zwischen einzelnen Abschnitten, vgl. die Varianz für die Einschnitte in Abbildung 6-7. Grenzt die Vegetation am Böschungsfuß nahe an die Straße, liegt der Median der Werte für den Einschnitt fast auf dem Niveau des Dammes (s. im Zwischenbericht 03/2007[31]). Auf Brücken war die Anzahl der Fledermäuse, die im Gefahrenbereich erfasst wurden, vergleichsweise gering (Abbildung 6-7). An der beleuchteten Talbrücke OU (A60-1) wurde mittels Sicht, Video und Detektor beobachtet, wie einige Abendsegler und Breitflügelfledermäuse auf der nachts beleuchteten Brücke, hoch über den Fahrzeugen an den Insekten anziehenden Lampen jagten. Im definierten Gefährdungsbereich auf der Brücke wurden nur wenige Fledermäuse festgestellt. Die in Abbildung 6-7 erkennbare Varianz erklärt sich durch wenige, aber starke Abweichungen; an einem Abend schwärmten offenbar Zwergfledermäuse, die in der Brücke ein sehr großes Zwischenquartier mit mehreren tausend Tieren haben, im Brückenbereich in PKW-Höhe. Vergleichbare Beobachtungen machten wir auch im Rahmen der Voruntersuchungen 2005 auf der Talbrücke OU (s. im Zwischenbericht 2006).

[31] Bei der Einschnittslage ist v.a. bei weiteren Vergleichen (s. im Zwischenbericht 03/2007) zu beachten, dass Fledermäuse, die den Einschnitt hoch querten, nicht erfasst wurden. Bei der Dammlage werden Fledermäuse, die am Dammfuß entlang fliegen, methodenbedingt seltener erfasst.

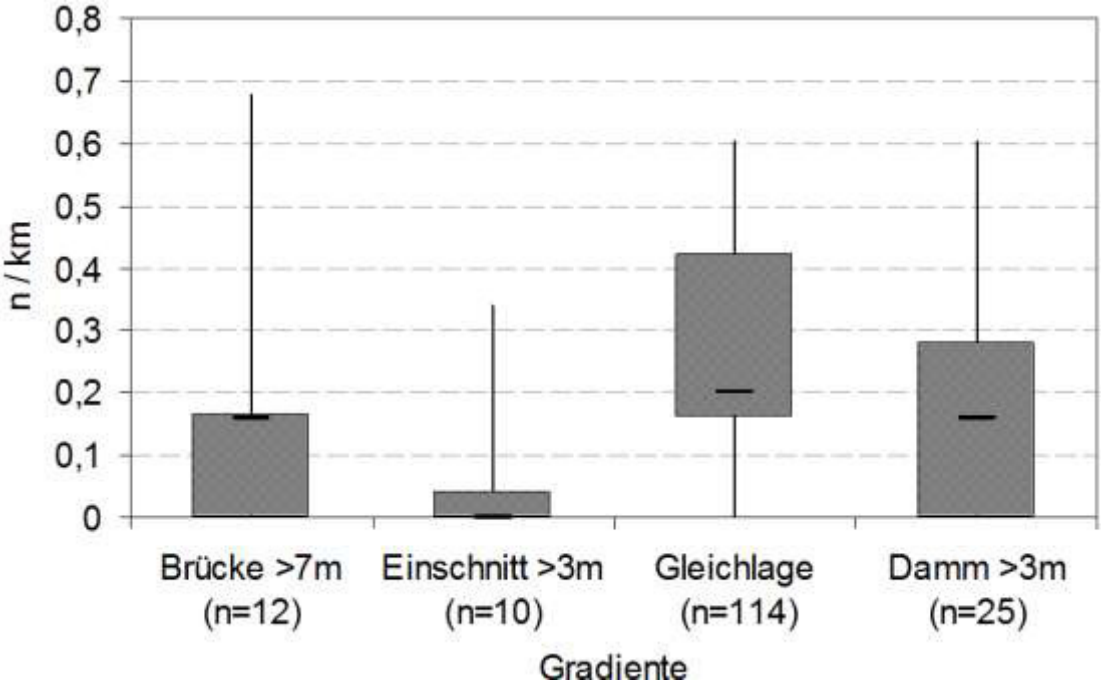


Abbildung 6-7: Einfluss der Gradiente auf das Auftreten im Gefährdungsbereich (n = Anzahl Abschnitte)

Einflussfaktor Nahrungsangebot

Fluginsekten machen den größten Teil der Beute fast aller heimischen Fledermausarten aus. Deswegen wäre nahe liegend, wenn Straßenabschnitte, die sich durch ein Vorkommen von Fledermäusen oder sogar eine erhöhte Dichte von Fledermäusen auszeichnen, zugleich durch eine hohe Insektendichte auffallen würden. Zur Überprüfung wurde die Insektendichte über der Straße in einer Stichprobe von 601 Straßenabschnitten nach Größenklassen erfasst. Nur wenige Straßenabschnitte wiesen eine hohe Insektendichte im Straßenraum auf (Abbildung 6 8). Es lag nahe, in diesen Bereichen auch häufiger jagende Fledermäuse zu erwarten. Tatsächlich fallen die Bereiche, in denen eine hohe Insektendichte festgestellt wurde, auch durch eine erhöhte Aktivität von Fledermäusen auf. Zwischen Bereichen mit erhöhter Insektenhäufigkeit und Bereichen, in denen Fledermaus-Individuen (n) angetroffen wurden, besteht eine signifikante Abhängigkeit ($r = 0.332$, $n = 40$, $p < 0,05$) festgestellt; für diese Betrachtung wurden allerdings nur Fälle (Datensätze von 100 m-Straßenabschnitten) herangezogen, in denen Fledermäuse vorhanden waren (Fledermäuse ≥ 1 Indiv./100 m). Auf die Gesamtstrecke gesehen, also unter Einbeziehung der Streckenabschnitte an denen keine Fledermäuse festgestellt wurden, koinzidiert die Verteilung von Fledermäusen im Straßenraum nicht mit der Verteilung von Insekten-Vorkommen, wie aus Abbildung 6-8 erkennbar ist.

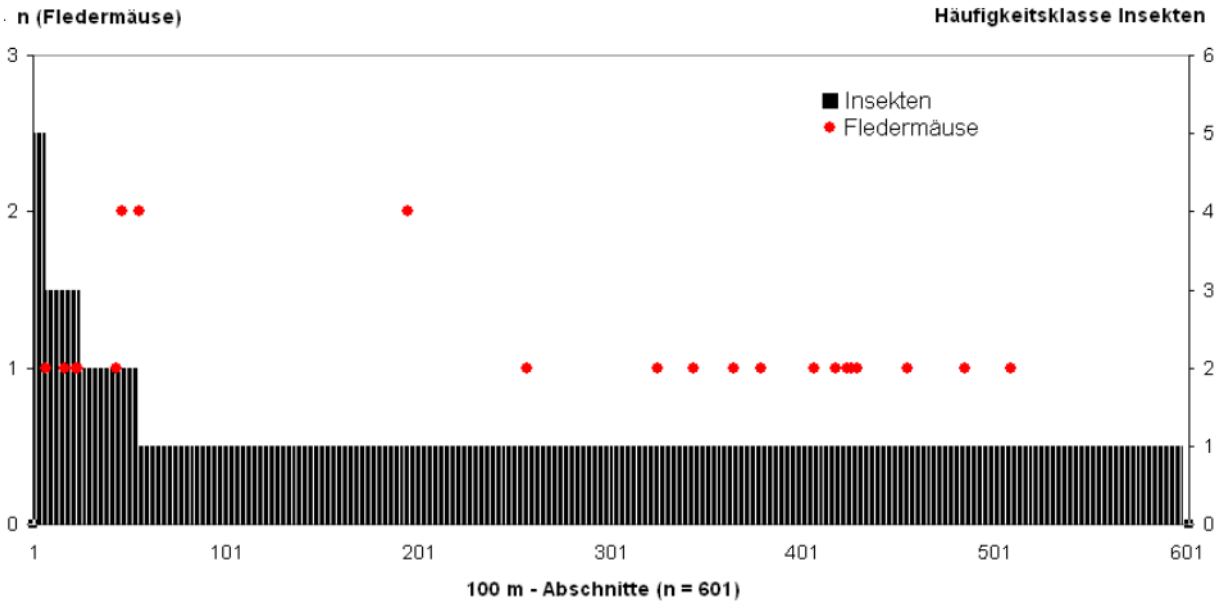


Abbildung 6-8: Verteilung von Fledermäusen (rot, Individuen/100 m) und Insekten (Häufigkeitsklassen) auf 601 untersuchten Straßenabschnitten. Berücksichtigt sind alle Abschnitte unabhängig vom Fledermausvorkommen

Häufigkeitsklassen Insekten: 1 = 0-5 Insekten, 2 = 6-10 Insekten, 3 = 11-50 Insekten, 4 = 51-100 Insekten, 5 = 101-250 Insekten, 6 = 251-1000 Insekten

Ergebnisse der Totfundsuche

Die Totfundsuche an den Probeflächen TA1, OU, BI, RE und HO ergab keine auswertbaren Befunde. Während der Untersuchung wurden lediglich zwei Funde gemacht. Ein Fund, eine Zwergfledermaus, die im Bereich einer beleuchteten Kreuzung (TA) gefunden wurde, war nach pathologischer Untersuchung eindeutig ein Kollisionsopfer. Ein zweiter Fund im Bereich der Strecke OU war so stark beschädigt und in Verwesung begriffen, dass weder eine Artzuordnung noch eine Ort-Zuordnung erfolgen konnte.[32]

Weitere Totfunde sind anekdotisch und wurden im Rahmen der sonstigen Untersuchungen erzielt: Im Aktionsraum der untersuchten Bechsteinfledermauskolonien der Probefläche GI (s. Kap. 4.2.1.2) wurde am 20.09.2005 am Ortsausgang ein beringtes, juveniles Bechsteinfledermaus-Männchen tot aufgefunden.[33] Die Kollisionsumstände sind nicht näher bekannt. Das Individuum hat möglicherweise um die am Ortsrand stehende Linde gejagt oder ist beim Transferflug zwischen den ortsnah gelegenen Jagdhabitaten und dem Quartierwald GIW5 mit einem Fahrzeug kollidiert. Die Geschwindigkeit der Fahrzeuge wird hier mit ca. 30 (aus dem Ort fahrend) oder 50-60 km/h (einfahrend) geschätzt.

[32] Wir nehmen angesichts des Zustandes an, dass der gefundene Kadaver bereits über eine größere Strecke, möglicherweise im Kühlergrill eines Kfz, transportiert wurde.

[33] Die Abbildung 6.5 im Zwischenbericht 03/2006 vermittelt einen Eindruck des Unfallortes.

6.1.4 Diskussion

6.1.4.1 Methodenkritische Auseinandersetzung

Der Verkehrstod von Fledermäusen ist auch aufgrund erheblicher methodischer Probleme noch weitgehend unerforscht. Die Mehrzahl der Arbeiten (SCHRÖPFER 1964, KURTZE 1991, MERZ 1993, RACKOW & SCHLEGEL 1994, KIEFER et al. 1995, HAENSEL & RACKOW 1996, LEMAIRE & ARTHUR 1999, ARTHUR 2007, BAFALUY 2000, MESCHEDE & RUDOLF 2004, CAPO et al. 2006, LESIŃSKY 2007, 2008, LESIŃSKY et al. 2010) geht auf Aufsammlungen von verunfallten Tieren zurück. Allerdings kann aufgrund dieser Aufsammlungs-Daten allein keine Gefährdungsanalyse begründet werden (vgl. BAKER et al. 2004). Methodenbedingte Fehler der Totfundsuche[34] sind unter Geländebedingungen nicht vermeidbar. Vielfach sind auch die Angaben zur Methodik und zu den Streckenparametern in den genannten Arbeiten ungenau oder fehlen ganz. Eine Totfundsuche verunfallter Fledermäuse an Verkehrswegen kann nur ausnahmsweise Erfolg versprechen, wenn die (zu) weite Verdriftung nach Kollision oder das Verschleppen durch Beutegreifer/Aasfresser weitgehend ausgeschlossen werden können. Diese Bedingungen sind idealtypisch z.B. in Bahntunnel erfüllt (s. in Kap. 6.2), aber an Straßen selten. Die trotzdem parallel zur Videotransekt-Untersuchung an einigen Strecken durchgeführte Suche nach verunfallten Fledermäusen erwies sich als nicht effektiv. Vergleichbare Erfahrungen und entsprechende Einschränkungen machten NACHTaktiv & SWILD (2006).

Auch mit Blick auf entsprechende Erfahrungen an Windkraftanlagen (u.a. BRINKMANN et al. 2006, KUNZ et al. 2007, KUSENBACH 2005, TRAXLER et al. 2004) waren wir zu dem Schluss gekommen, einen anderen methodischen Ansatz zu versuchen. Die direkte und belastbare Erfassung der Gefährdung einzelner Arten durch Kollision mit dem Straßenverkehr kann allerdings auch von der vorliegenden Arbeit nicht geleistet werden. Geeignete Methoden, die den Artbezug und weitergehend den Bezug zur jeweils betroffenen Population (Fledermauskolonie) herstellen könnten, stehen bislang nur ausnahmsweise und nur unter besonderen Bedingungen zur Verfügung (vgl. DIETZ / Institut für Tierökologie und Naturbildung 2005, NACHTaktiv & SWILD 2006, RUSSEL et al. 2009). Die Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung war dementsprechend auch eine andere: Die Untersuchung liefert Daten über bauwerks-, habitat- bzw. landschaftsbezogene Faktoren, die die Gefährdung beeinflussen und insoweit auch Hinweise für eine mögliche Vermeidung. Die Daten ermöglichen vor dem Hintergrund von Literaturdaten, z.B. über die artspezifische Echo-Ortungsleistung, das Flugverhalten bzw. Manövrierfähigkeit der Arten und die Beutepräferenzen der Arten, auch weitergehende Rückschlüsse auf Unterschiede der Gefährdung von Artengruppen und Arten durch Kollision mit dem Verkehr. Insoweit liefert die Untersuchung Bausteine für eine Gesamtbewertung der Gefährdung von Fledermausarten und schließt Erkenntnislücken.

Bei der Interpretation unserer Ergebnisse dürfen die generellen Nachteile der Videodetektion nicht außer Acht gelassen werden. Eine Artdetermination ist – trotz Unterstützung durch parallele Detektoraufnahmen - nur gruppenbezogen möglich. Die wünschenswerte Differenzierung gerade der *Myotis*-Arten ist nicht leistbar. Ein anderes und speziell unseren Untersuchungsansatz der Transekt-Videodetektion betreffendes Problem sind in der Nacht die Ausleuchtungsprobleme. Die damit zusammenhängende geringe Bildfrequenz der aufnehmenden Kamera (50 Halbbilder/s) zwang dazu, mit 50 – 60 Stundenkilometer langsam zu fahren. Dadurch wird keine „echte“ Verkehrssituation simuliert. Dementsprechend konnten tatsächliche Kollisionssituationen mit dem eigenen Fahrzeug nicht beobachtet werden. In unserem Ansatz wird die Häufigkeit potenzieller Kollision gemessen. Ob die Individuen in der jeweiligen

[34] Nach Untersuchungen von BRINKMANN et al. (2006) und TRAXLER et al. (2004) an Windenergieanlagen bestehen hohe Fehlerquoten mit einer hohen Abtragrate durch Prädatoren, einer geringen Sucheffizenz wegen der leichten Übersehbarkeit der kleinen Individuen und der häufig nicht mehr feststellbaren Todesursache aufgrund der schnell einsetzenden Verwesung. Die Bedingungen sind an Straßen aufgrund der enormen Flächengröße weitaus ungünstiger.

konkreten Situation eine Kollision aktiv z.B. durch Ausweichen (vgl. LUGON & ROUÉ 1999, STRATMANN 2006) hätten vermeiden können oder es aufgrund anderer Einflüsse, die bspw. mit dem Verkehrsfluss zusammen hängen, nicht zu einer Kollision kam (u.a. FINKE et al. 2003, MALO et al. 2004), findet soweit keine Berücksichtigung. Dies führt zu einer Überschätzung der Kollisionsgefahr. Ein weiteres Quantifizierungsproblem liegt darin, dass die Aufnahmemethode der Transektfahrt entlang einer Straße zu einer tendenziellen Unterschätzung des Anteils der Individuen führt, die sich am Rand des Aufnahmefeldes bewegen und durch Verdeckung z.B. hinter Vegetation der Aufnahme entzogen sind. Andere Verzerrungen resp. Einschränkungen der Reproduzierbarkeit resultieren aus der durch Vorversuche festgestellten unterschiedlichen Wahrnehmbarkeit schneller Videosequenzen durch verschiedene Bearbeiter und Auswertegeräte (LÜTTMANN unveröff.). Diese mögliche Fehlerquelle konnte aber durch z.T. mehrfache Wiederholung der Auswertung am Videomonitor und Kontinuität beim Auswertepersonal und bei den entsprechenden Geräten beherrscht werden.

6.1.4.2 Wie viele Fledermäuse fliegen im Straßenraum und wie viele sind kollisionsgefährdet?

In unserer Untersuchung wurde im Mittel eine Aktivität von 0,1–0,2 Fledermäusen/km Fahrstrecke ermittelt, bei allerdings starken Schwankungen (vgl. Abbildung 6-2 und Abbildung 6-3). Die höchste Fledermausaktivität hatte ein Abschnitt der Strecke RE mit 2,05 Fledermäusen/Kilometer. Zur Einordnung kann ansatzweise die Untersuchung des Bat Conservation Trust (RUSS et al. 2007) dienen: Entlang „kleiner“, ländlicher und dementsprechend von Gehölzen gesäumter Straßen in Großbritannien wurden im Rahmen von Detektor-Erhebungen vom Pkw entlang von 40 km - Transekten im Mittel 1,4 Fledermäuse/km mit 0,7 (Stabw.) je nach Ort/Straße erfasst (ebd.: Anhang A4). Allerdings sind die Ergebnisse dieser dreijährigen Studie mit unseren sicher nicht direkt vergleichbar: Die von RUSS et al. durchgeführten Erfassungen mittels Detektoren lassen für laut rufende Arten (vgl. NEUWEILER 1993, SKIBA 2003) eine höhere Erfassungswirkung aus einem größeren Erfassungsbereich erwarten und für sehr leise ortende Arten wie z.B. die Langohren (*Plecotus* sp.) eine geringere als die von uns genutzte Video-Detektion. Trotzdem stützen die Zahlen unsere Einschätzung, dass Straßen umso weniger von Fledermäusen als Jagdhabitat aufgesucht bzw. auf dem Transfer überflogen werden, je breiter sie sind und je häufiger sie befahren werden.

Unsere im Gelände aufgrund der Videodetektion gewonenen Werte sind vor dem Hintergrund zu sehen, dass die zur Untersuchung ausgewählten Gebiete bedeutende, dicht besetzte Fledermausgebiete darstellen. Vor dem Hintergrund der weiteren Detailergebnisse vermuten wir, dass - unter methodisch vergleichbaren Bedingungen - auf weiten Abschnitten des deutschen Bundesstraßennetzes bzw. Bundesautobahnnetzes die Zahl der Fledermaus-Individuen im Straßenraum um einiges geringer ist als an den von uns untersuchten Streckenabschnitten. Das gilt umso mehr für die Bundesautobahnen, die bei unseren Video-Untersuchungen nur mit einer Strecke repräsentiert sind.[35]

Die Beurteilung der Vermeidung und des Einflusses landschafts- und projektbezogener Faktoren hat entscheidenden Einfluss auf die Prognose der Kollisionen. Können diese Faktoren nicht annäherend realistisch abgeschätzt werden, führt dies zu einer gänzlich anderen Einschätzung der tatsächlichen Kollisionsgefahr:

[35] Unter Autobahn-Bedingungen sind systematische Untersuchungen kaum möglich. Neben weiteren technischen Problemen verbietet v.a. die hohe Geschwindigkeit des Verkehrs im Unterschied zum Untersuchungsfahrzeug mit der damit verbundenen Unfallgefahr umfangreichere Untersuchungen unter realistischen Bedingungen.

Modellrechnungen für Modellarten (Mausohr, Bechsteinfledermaus), welche wir für verschiedene Verkehrsfluss-Szenarien[36] und unter verschiedenen weiteren Annahmen[37] mit Hilfe der Simulationsinstrumente ANItrax[38] und MORT/MODELLER anstellten, ergaben abhängig vom Verkehrsfluss die geringste Kollisionsgefahr im unteren Bereich der Verkehrsdichte. Für eine 2-spurige Straße wurde bereits ab einer Verkehrsdichte (DTV) > 7.000 – 13.000 Kfz/24 Std. eine 100%-Mortalitätswahrscheinlichkeit für Fledermäuse errechnet (Modell ANItrax, FRANK in FÖA 2003a). Eine andere Berechnung mit dem Modell MODELLER/MORT (FÖA unveröff.) ergab unter denselben Annahmen eine 100%-Mortalitätswahrscheinlichkeit ab ca. 20.000 Kfz/24 Std.

Es ist mit Blick auf die Ergebnisse von SCHAUB et al. (2008), die über die Meidung stark verlärmter Bereiche berichten, und von KERTH & MELBER (2009), die die Barrierewirkung von Straßen auf breitflügelige Fledermausarten wie die Bechsteinfledermaus herausstellen, plausibel, dass ein hohes Verkehrsaufkommen im Gegensatz zu unserem Modellergebnis an sich einen gewissen Schutz vor Kollisionen bietet, weil der damit verbundene Schallpegel als Barriere wirkt und im Nahbereich vertreibend auf die Anwesenheit von Fledermäusen wirkt. Dies könnte die von uns festgestellte vergleichsweise geringere Zahl von Fledermäusen im Straßenraum bei den hier untersuchten höchsten Verkehrsdichten bei ca. 34.000 Kfz erklären und die Abweichung von den o.g. Modellrechnungen, welche solche Faktoren nicht einbeziehen. Eine hohe Verkehrsdichte könnte dazu beitragen, dass weniger Fledermäuse in Gefahr geraten mit Fahrzeugen zu kollidieren. Andererseits könnten - wie an den schwach verkehrsfrequentierten Strecken tatsächlich beobachtet - geringe Verkehrsdichten mit größeren Verkehrslücken in der Nacht dazu führen, dass mehr Fledermäuse in den Verkehrsraum einfliegen.

Besondere funktionale Situationen, die von den Straßen zerschnitten werden, äußern sich in einer wesentlich höheren Fledermausdichte auf der Straße, auf ganzen Streckenabschnitten oder nur punktuell an einer Strecke, und damit auch in einem höheren Gefährdungsgrad. Bspw. die Nähe zu einer großen Fledermauskolonie kann bezüglich der Einstufung der Kollisionsempfindlichkeit das tendenziell gültige Ergebnis für eine Art (s.u.) stark modifizieren: Die ausgesprochen hohe Aktivität bei RE (B27R1) und HO (B27H1, B7B2), welche die Werte der englischen Untersuchungen im Maximum sogar noch übersteigt, ist mit der Nähe zu zwei bekannten Kolonien des Großen Mausohrs erklärbar. Entlang der Strecke RE konnten wir im Jahr 2003 (FÖA 2003c) außerdem feststellen, dass annähernd 30% der in dem Jahr präsenten Mausohr-Individuen aus der Wochenstubenkolonie auf dem Weg vom Quartier in die Jagdgebiete die Trasse nach dem Verlassen des Quartiers an nur 7 eng begrenzten Stellen kreuzte. Eine solche Situation ruft für alle betroffenen Individuen eine sehr große Kollisionsgefahr hervor, vgl. auch DIETZ / Institut für Tierökologie und Naturbildung (2005). Dies war auch das Ergebnis von Modellrechnungen mit Hilfe der Software AniTRAX (FINKE et al. 2003) für niedrig fliegende Bechsteinfledermäuse. Danach hatte sich für die die Straße querenden Individuen ein theoretisches Kollisionsrisiko von 100% bei Verkehrsdichten bereits ab einem DTV von 7.000 Kfz ergeben (LÜTTMANN et al. 2001). Insoweit stellt sich bei der Frage, ob eine Fledermauspopulation gefährdet sein könnte, in erster Linie dahingehend, wie viele Kolonietiere die Straße regelmäßig (niedrig) queren müssen.

[36] Entnommen aus KIENZLE (2001).

[37] Modellannahmen: an 200 Nächten/Jahr wird gequert, im Mittel finden 2 Trassenquerungen/Nacht statt, alle Tiere fliegen auf Kollisionshöhe. Simulationsfall worst: kein „Ausweichen“, d.h. jedes Zusammentreffen Kfz/Fledermaus führt zum Tod, Simulationsfall best: 20% Tiere können „ausweichen“. Berechnung nach Modell MORT v02 © FÖA / Modellierungssoftware MODELLER © Consideo, Lübeck.

[38] UFZ Leipzig, Berechnung durch Dr. Karin Frank; vgl. FINKE et al. (2003).

6.1.4.3 Sind bestimmte Arten stärker kollisionsgefährdet als andere?

Aus Sicht des Naturschutzes ist die Frage, welche Arten besonders häufig von Kollisionen betroffen sind, von großer Bedeutung.

Bezogen auf die im Verkehrsraum aktiven Fledermäuse sind – entsprechend unseren Definitionen im Kontext mit der von uns gewählten Methodik – im Mittel 67% der „kleinen Fledermausarten“ (Gruppen k1+k2) kollisionsgefährdet. Das Graue und das Braune Langohr müssen nach unseren Ergebnissen als am stärksten zerschneidungs- und kollisionsdisponiert gelten. Die Arten der Gruppe Pipistrellus und Myotis folgen mit Abstand (49% bzw. 45%, s. Tabelle 6-3); bei diesen Arten wurde häufiger hoher Überflug und/oder Ausweichreaktionen festgestellt. Für die Gruppe g1, die auf unseren Probeflächen vom Mausohr repräsentiert wird, wurde weniger häufig eine Kolisionsgefährdung festgestellt (im Mittel 26%).

Die von uns ermittelte Rangfolge des Auftetens im „Gefährdungsbereich“ (in Abbildung 6-1 dargestellt) kann mit der Rangfolge der Verkehrsopfer aufgrund von Totfunden verglichen werden (Tabelle 6-4). Die Verkehrsopfer-Rangfolge wurde aus Literaturangaben (MERZ 1993, HAENSEL & RACKOW 1996, MESCHEDE & RUDOLF 2004, LESIŃSKI 2007, LESIŃSKY et al. 2010, SEMRL et al. 2012) errechnet. Der Literatur (Tabelle 6-4) ist zu entnehmen, dass die Zwergfledermaus (*P. pipistrellus*) am häufigsten als Verkehrsopfer aufgefunden wird. Bei unseren Untersuchungen war die Zwergfledermaus in absoluten Zahlen ebenfalls mit Abstand die häufigste Art im Straßenraum und dementsprechend auch häufig potenzielles Kollisionsopfer. Nach den Literaturdaten in Tabelle 6-4 deuten sich weitere Differenzierungen an, z.B. bei den Myotis-Arten die größere Gefährdung der Kleinen Bartfledermaus M.mystacinus gegenüber der Großen Bartfledermaus M. brandtii. Hier werden aber Verzerrungen vermutet; bei den *Myotis*-Arten und den *Pipistrellen* spiegelt sich möglicherweise die größere Verbreitung / Häufigkeit einiger Arten stärker in den Zahlen und täuscht eine höhere Kollisionsempfindlichkeit vor als aufgrund morphologischer oder ökologischer Disposition plausibel. Umgekehrt ist die Plazierung der Großen Hufeisennase *Rhinolophus ferrumequinum* und der Bechsteinfledermaus *Myotis bechsteinii* auf den hinteren Rängen der Verkehrsopferstatistik aus denselben Gründen nicht plausibel.

Die Zwergfledermaus könnte - relativ zu ihrem Auftreten im Straßenraum - tatsächlich eher weniger kollisionsgefährdet sein. Die Videoauswertung ergab nämlich, dass diese Tiere häufiger einer potenziellen Kollisionssituation durch Wechsel der Flugrichtung entgehen konnten als große Arten (die allerdings seltener im Verkehrsraum fliegen). Jedoch können aktives und passives Ausweichen einschließlich Verdriftung vor dem Hintergrund des im Allgemeinen „unruhigeren“ Fluges der kleinen Fledermäuse nicht eindeutig voneinander getrennt werden. Vermutlich sind die schmalflügeligen, „schnelleren“ Arten gegenüber den breitflügeligen, „langsameren“ aber doch im Vorteil: LUGON & ROUÉ (1999) berichten von Beobachtungen von Langflügelfledermäusen (*Miniopterus schreibersii*) an einer Bundesstraße im französischen Jura, die Kollisionen nach Einschätzung der Autoren aktiv durch Ausweichen vermieden. Nach unseren Beobachtungen ist ein Ausweichen in bestimmten Situationen bei schmalflügeligen Arten durchaus plausibel, wie eigene Beobachtungen beim Abendsegler oder auch der „kleinen Art“ Zwergfledermaus belegen. (Zudem fliegen diese Arten tendenziell auch höher über den Verkehrsraum). Dagegen wurden bei breitflügeligen Arten wie dem hier untersuchten Mausohr, aber auch bei kleineren breitflügeligen Arten (Gattung *Myotis*), selbst gegenüber dem mit 50–60 km/h langsam fahrenden Untersuchungsfahrzeug nur selten frühzeitige Ausweichmanöver vor Eintritt in den „Gefährdungsraum“ beobachtet. Die Mehrzahl der Tiere änderte die Flughöhe nicht. Entsprechend stufen wir Arten dieser Gruppe, überwiegend *Myotis*-Arten, als besonders kollisionsgefährdet ein, wenn sie „gezwungen“ sind im Verkehrsraum zu fliegen.

Tabelle 6-4: Rangfolge der Kollisionsgefährdung nach Literaturdaten (Präsenz in Totfunden auf europäischen Straßen)

	Merz (1993)	Haensel & Rackow (1996) **	Meschede & Rudolf (2004)	Lesiński (2007)	Gaisler et al. (2009)	Lesiński (2011)	Semrl et al. (2011)		
Artenanzahl	13	18	16	13	8	7	5		
n Kollisionsfunde (gesamt)	62	307	93	167	97	57	17	Gewichtetes arithmetisches Mittel (%)	Rang
	%	%	%	%	%	%	%		
Rhinolophus ferrumequinum	1,6	0,3	1,1					0,64	19
Eptesicus nilssoni	1,6	1,0	1,1					1,10	18
Rhinolophus hipposideros		1,0		1,3				1,11	17
Myotis bechsteinii	1,6	1,6	1,1					1,50	16
Nyctalus leisleri	3,2	1,6	1,1	0,6	1,0	1,8	11,8	1,62	15
Vespertilio murinus		1,0	5,4					2,02	14
Myotis brandtii (incl. Bartfledermaus spec.)		1,3	3,3	3,8	1,0			2,17	13
Plecotus austriacus (+spec.*50%)	8,9	4,3	4,9	0,6				3,83	12
Myotis nattereri	3,2	2,3	6,5	7,6	1,0	10,5		4,44	11
Barbastella barbastellus		1,3	14,0	1,3		17,5	17,6	5,02	10
Myotis myotis	6,5	7,2	8,6	0,6				5,59	9
Pipistrellus nathusii	1,6	0,7		1,9	33,0	5,3		5,99	8
Myotis mystacinus	11,3	4,6	8,6	5,7			35,3	6,91	7
Eptesicus serotinus		11,4	3,2	9,6	4,1	8,8		8,74	6
Nyctalus noctula	27,4	12,1	8,6	1,9		31,5		12,14	5
Plecotus auritus (+spec.*50%)	12,1	8,8	18,9	24,2		24,6		15,50	4
Myotis daubentoni	11,3	5,5	6,5	39,5	19,6			15,83	3
Pipistrellus pipistrellus	9,7	27,0	6,5		2,1			17,34	2
Pipistrellus pygmaeus					33,0		5,9	28,95	1
Übrige Fledermausarten		7,1	0,7	1,4	5,1		29,4	5,10	

** Berücksichtigt ist die Summe der in KIEFER et al. 1995 mit n = 211 und HAENSEL & RACKOW 1996 mit n = 96 dargestellten Funde, vgl. HAENSEL & RACKOW (1996, Abb.1, S.32 in *Nyctalus* Bd 6, Heft 1, 1996); nicht näher determinierte Funde von Plecotus wurden den Arten Graues Langohr P. austriacus und Braunes Langohr P. auritus zu gleichen Anteilen zugerechnet.

6.1.4.4 Welchen Einfluss haben das Straßenbegleitgrün und das landschaftliche Umfeld?

Die Ergebnisse der IR-Videodetektion und der Blick auf die Ergebnisse der anderen Forschungsmodule machen deutlich, dass „Engpasssituationen“ verschiedener Art das Gefährdungspotenzial für die Individuen steigern oder abschwächen können. Nach Auffassung von AG QUERUNGSHILFEN (2003), RICHARZ (2000), LESIŃSKY (2007, 2006) und STRATMANN (2006) können folgende Situationen die Opferzahlen erheblich in die Höhe treiben:

- wo Verkehrswege tradierte Flugwege zerschneiden,
- wo der Verkehrsraum v. a. an wenig befahrenen Straßen eng durch Vegetation und andere Strukturen begrenzt wird, die von Fledermäusen (aus nahen Quartieren) als Orientierungsstruktur auf dem Transferflug genutzt werden,

- die wenig ausgeprägte „Gefahrensignale“ aufweisen. Merkmale sind eine geringe bzw. ungleichmäßige Verkehrsfrequenz, geringe (aber für Ausweichbewegungen noch zu hohe) Geschwindigkeit, geringe Schallemission, usw.
- Situationen, die zu einer Akkumulation von Nahrung (Insekten) auf der Strecke führen

Nach unseren Befunden spricht einiges dafür, dass diese Parameter (im Einzelfall möglicherweise stärker als der Verkehr selbst) die Kollisionsgefahr mehrheitlich z.T. stark beeinflussen. Eine dichte Vegetation am Straßenrand vermindert einerseits die Kollisionsgefahr bzw. die Zahl der Fledermäuse, die in den Straßenraum hinein fliegen. Andererseits können Gehölzbestände und Hecken, die entlang der Straße verlaufen, oder Alleen und von Gehölzen gesäumte Bachläufe, die auf die Straße zulaufen, Fledermäusen als Leitlinie dienen (LIMPENS et al. 1989). In der Folge werden Fledermaus-Individuen, die diesen Strukturen folgen, u.U. in den Verkehr geleitet. Tatsächlich war in Straßenabschnitten, die sich durch entsprechenden straßennahen Bewuchs auszeichneten (diese waren zugleich die kleineren, schwach befahrenen Straßen), eine höhere Fledermausaktivität im Straßenraum feststellbar: Speziell die hinleitende Wirkung von Gehölzreihen, die auf die Straße zulaufen, stellt LESINKI (2007, 2006) als Kollisionsgefahr heraus. Dieser Zusammenhang entspricht zwar unseren Geländebeobachtungen (vgl. FÖA 2003a und die verschiedenen Teilergebnisse in diesem Bericht), ist jedoch mit unseren Daten nicht eindeutig belegbar. Dichte straßenbegleitende Vegetation und andere Strukturen führen nämlich auch dazu, dass Tiere, die sich von den Seiten der Straße nähern, nicht in den Straßenraum hineingelangen. Sie wurden dann mit dem hier gewählten Methodenansatz der Videoerfassung vom fahrenden Fahrzeug nicht erfasst. Im Rahmen unserer übrigen Untersuchungen wurden dagegen Fledermäuse in hoher Zahl an den Bachdurchlässen und Brücken beobachtet (SIMON & WIDDIG 2003, FÖA 2003b,c).

Dass bereits geringe Veränderungen an der Beschaffenheit des Flugweges dazu führen können, dass aus einem bis dahin sicheren Flugweg eine starke Kollisionsgefährdung herrührt, belegt das Beispiel in Kap. 8.1.3.3 (Abbildung 8-15). Das zeitweilige Verstellen der Wirtschaftsweg-Unterführung führte hier dazu, dass viele Mausohren in den Straßenraum hinein flogen.

Der lediglich anekdotische Totfund einer Bechsteinfledermaus im Aktionsraum der Kolonie GI in der Eifel (s. Kap. 6.1.3) belegt die Relevanz von Gehölzstrukturen am Straßenrand, die sowohl Gefahr erhöhend wirken können, weil sie Tiere in den Verkehr „hineinleiten“, als auch Gefahr vermindernd wirken können, wenn sie als Sperr- und Leitstrukturen wirken. Der Totfund der Bechsteinfledermaus (hier: Männchen) aus einer von uns kontrollierten Kolonie belegt die Anfälligkeit von gemeinhin kleinen Kolonien; die Wochenstubenkolonien bei der Bechsteinfledermaus bestehen meist nur aus 20 - 30 Individuen, selten deutlich mehr. Zugleich wird die Zufälligkeit entsprechender Totfunde unter kontrollierbaren Bedingungen angesichts der Aktionsareale der Individuen illustriert. In der Literatur (SCHLAPP 1990) ist eine Bechsteinfledermaus belegt, die – soweit dieser Quelle zu entnehmen ist – von einer Wiese kommend eine ländliche Straße zu queren versuchte und dabei kollidierte. Die Umstände dieser Kollisionssituation sind aber nicht näher bekannt. Dichte Straßenrand-Vegetation in ansonsten offener Feldflur wird als Leitlinie für Transferflüge genutzt und birgt unter Umständen Gefahren: Besteht die dichte Vegetation sehr nahe an der Straße, geraten vergleichsweise viele Individuen in den Straßenbereich und laufen verstärkt Gefahr zu kollidieren. Unter diesen Rahmenbedingungen sind große Fledermäuse besonders gefährdet, weil sie wie die Beobachtungen belegen, der Vegetationsstruktur einerseits strukturnah und dementsprechend auch in PKW-Höhe folgen, andererseits aber dem herannahenden Fahrzeug nicht mit Ausweichbewegungen begegnen.

6.1.4.5 Welchen Einfluss hat die Straßengradiente?

Die Gradiente der Straße, d.h. ob die Straße auf einem Damm oder im Einschnitt oder in Gleichlage verläuft, hat erheblichen Einfluss auf die Flughöhe und das Flugverhalten. Positiv im Sinne von kollisionsvermeidend wirken Einschnittslagen und Dammlagen. Dort waren 52% bzw. 37% weniger Individuen (Median-Werte) als in der Gleichlage im Gefahrenbereich aktiv. Bezüglich der Dammlagen können wir anhand der Transektuntersuchungen nur vermuten, dass der Damm in den Abschnitten, in denen wir vergleichsweise seltenes Queren feststellten, als Leitstruktur längs der Straße genutzt wurde. Anhand unserer Videodaten können wir aufgrund des begrenzten Erfassungswinkels nicht eindeutig differenzieren, ob die Einschnitte hoch überflogen wurden oder gemieden wurden (die Individuen also umkehrten oder den Straßenverlauf entlang flogen). Beide Reaktionstypen fassten wir als Meideverhalten zusammen.

Einschränkend ist anzumerken, dass das von uns festgestellte Verhalten für die Arten gilt, die auf unseren Probeflächen dominieren. Je stärker eine Art den Konturen folgend fliegt, umso weniger kann erwartet werden, dass sie das genannte Verhalten zeigen. Die in unseren Untersuchungsgebieten fehlende besonders streng strukturgebundene Kleine Hufeisennase tauchte nach den Untersuchungen von BIEDERMANN & Mitarbeitern in den entsprechenden Situationen u.U. in den Einschnitt ab und querte die Trasse niedrig (vgl. NACHTaktiv & SWILD 2006).

Zu unterscheiden sind Jagd- von Tansferflügen. Das bei der Jagd sehr niedrig fliegende Mausohr querte nach unseren Beobachtungen an der Autobahn A4 die Autobahn sowohl mittels Talbrücken und Unterführungen wie auch im Bereich der Einschnittslagen hoch über der Autobahn (LÜTTMANN et al. unpubl.), ebenso wie ein von HERRMANN et al. (2006) im Bereich unserer Probefläche AL (A1/A60) im Juli 2004 telemetriertes Mausohr-Weibchen. Auch während der Transektfahrten wurde das Große Mausohr vergleichsweise selten im „Gefährdungsbereich“, also niedrig die Fahrbahn überfliegend festgestellt.

Bei Streckenabschnitten, die im Wald liegen und/oder von hohen, großkronigen Bäumen gesäumt waren, bspw. in Probefläche Ta (hier abschnittsweise realisiert: L931-1 und L931-2, vgl. Abbildung 6 2), zeigte sich ein vergleichbares Verhalten: relativ häufig wurde beobachtet, dass die Fledermäuse außerhalb des „Gefährdungsbereichs“ und teilweise am Rande des von der Kamera erfassten Feldes die Straße querten. Insoweit ist auch diese Situation im Analogieschluss als vergleichsweise sichere Querungsmöglichkeit einzustufen. Eine systematische Aufnahme und Bewertung war gerätebedingt nicht möglich. Jedoch wird unsere Einstufung durch entsprechende Einzelbeobachtungen gestützt. Zwei von FÖA (2003a) telemetrierte Bechsteinfledermausweibchen querten regelmäßig eine Bundesstraße dort, wo entsprechende Solitärbäume eine Vegetationsbrücke bereitstellten. Diese Einschätzungen bezüglich Einschnittslagen und Vegetationsbrücken werden auch in der Literatur gestützt: Einschnittslagen werden von AG Querungshilfen (2003) und FGSV (2008) als kollisionsvermeidend eingestuft. Eine entsprechend strukturierte Baumvegetation am Straßenrand stellten z.B. LIMPENS et al. (2005) und BACH (2008) in ihrer Funktion als Querungshilfe („hop-over“) heraus.

6.1.4.6 Ziehen Insekten Fledermäuse in den Verkehrsraum?

Ein gehäuftes Auftreten von Insekten im Straßenraum könnte Fledermäuse in den Straßenraum ziehen (u.a. GLITZNER et al. 1999). Die Untersuchungen haben zwar bestätigt, dass lokal – vor allem bei den kleineren Straßenabschnitten mit naturnahem Umfeld - auch im Straßenraum erhöhte Insektendichten vorkommen. Jedoch wurden die festgestellten insektenreichen Streckenabschnitte nicht gleichmäßig von Fledermäusen genutzt; die Fledermausverteilung entsprach nicht der Verteilung der insektenreichen Stellen (Abbildung 6-8). Das Nahrungsangebot spielt für die Fledermausaktivität an Straßen eine

offenbar nicht ausschlaggebende Rolle. WEBER (2002: 156) kam selbst für naturnahe Wälder zu demselben Ergebnis. Die meisten Fledermäuse nutzten den Verkehrsraum nicht zur Jagd, sondern während des Transferfluges. Insoweit zieht Insektenvorkommen auf der Straße nicht zwingend auch ein starkes Fledermausvorkommen und damit ein hohes Kollisionsrisiko für Fledermäuse nach sich.

6.2 Gefährdung von Fledermäusen auf Bahnstrecken durch Kollisionen

6.2.1 Einleitung

Dass Fledermäuse auch Opfer des Schienenverkehrs werden, geht aus einzelnen Zufallsbeobachtungen hervor (vgl. VOLLMER & RACKOW 2002, LUGON & ROUÉ 1999, 2002), jedoch beleuchtet bisher – vermutlich auch wegen der erheblichen methodischen Probleme die Verluste zu quantifizieren – keine Untersuchungen die durch den Bahnverkehr bedingten Todesfälle unter den Fledermäusen näher. Deswegen gibt es keine gesicherten Daten um eine Bewertung vornehmen zu können, von welchen Faktoren das Auftreten von Fledermäusen an Schienen abhängig ist, unter welchen Umständen Fledermäuse durch den Schienenverkehr getötet oder verletzt werden und wie ggf. die Kollisionsgefährdung bei der Planung von Schienenwegen berücksichtigt werden kann.

In 2005 – 2007 wurde das Verhalten von Fledermäusen an Bahnstrecken unter Einsatz von Ultraschall-Detektoren und Kameratechnik dokumentiert. Bezüglich der Bahn stellte sich v.a. die Frage, welche Fledermausaktivität in den Tunnelstrecken besteht und ob hier eine besondere Gefährdung existiert, da Tunnel als potenzielle Zwischenquartiere gelten.

6.2.2 Methoden

6.2.2.1 Untersuchungsgebiete

Entsprechend der Untersuchungsfragestellung wurde für diese Untersuchung eine 30 km lange Bahnstrecke ausgewählt, die durch eine bezüglich Fledermäuse artenreiche Landschaft im Tal der Kyll (Eifel) verläuft. Weitere Probeflächen wurden für Falluntersuchungen zur Kollisionshäufigkeit ausgewählt. An Engpasssituationen ist ein Ausweichen für die Fledermäuse nur begrenzt möglich, ein potenziell hohes Kollisionsrisiko für Fledermäuse mit dem Schienenverkehr wurde erwartet. Hier sollten Videobeobachtungen des Flugverhaltens im Bereich des Bahnkörpers angestellt werden und Totfundsuchen verunfallter Tiere durchgeführt werden. Die Hauptuntersuchungsstrecke und auch die für die Fallstudien ausgewählten Streckenabschnitte zeichnen sich dadurch aus, dass sie unterschiedliche Habitatstrukturen, Wald, Siedlung und Offenland queren oder aufgrund bekannter Quartiernähe eine hohe Fledermaus-Aktivität erwarten lassen. Die Fledermausgemeinschaft war aufgrund von Voruntersuchungen (Netzfänge, Detektor- und Telemetrie) gut bekannt.

<u>Hauptuntersuchungsstrecke (EI)</u>
Als Hauptuntersuchungsstrecke wurde ein 30,8 km langer Abschnitt der Regionalbahnstrecke 2631 (Trier-Köln) im Kylltal (Eifel) im Abschnitt Trier-Ehrang bis Gerolstein ausgewählt. Hier verläuft die ehemals zwei-, in Tunnelbereichen heute jedoch nur eingleisige Bahnstrecke flussbegleitend in z.T. enger Tallage. Tunnel haben einen Anteil von 13 % an der Strecke. Das Gleis wird auf 24 % der Strecke von Galleriewäldern bzw. Gehölzen/Gebüsch begleitet, zu beiden Seiten der Strecke schließen sich Waldgebiete an. Die wenigen Siedlungsbereiche und Bahnhofsbereiche wurden nicht gefilmt.

<u>Probefläche BKY</u>
Der „Kyller Tunnel“ (Länge 140 m) an der Bahnstrecke 2631 (Trier-Köln) im Kylltal (Eifel) ist für zwei Gleisstränge ausgebaut, wird jedoch nur von einem durchzogen. Ebenfalls durch den Tunnel führt ein Radweg, welcher etwa ein Drittel der Tunnelbreite beansprucht und durch eine 2,50 m hohe Bretterwand vom Gleisstrang getrennt ist. Durch den Tunnel verläuft v. a. Personenverkehr Trier-Köln (Dieseltraktion); Güterverkehr ist ausgesprochen selten. Während der Nächte im Untersuchungszeitraum fuhren folgende Züge: Uhrzeit (Richtung): 20:50 (K Köln), 21:25 (TR Trier), nur Fr/Sa: 21:53 (TR), 22:40 (K),

23:28 (TR). Vom 12. – 23. Juli und vom 11. – 17. September 2005 herrschte wegen Gleisbauarbeiten ein eingeschränkter Zugverkehr. Im Kyller Tunnel wurde an 30 Terminen, im Zeitraum 18.06. – 23.09.2005 nach der letzten Zugdurchfahrt, gesucht.

Probefläche BR1

Nahe der Mosel führt die Eisenbahnlinie 3112 (Bullay - Traben-Trarbach) um einen Felssporn (Abb. 6.2 im Zwischenbericht 03/2006, S. 96). Die Bahnstrecke verläuft teilweise parallel zu einer zeitweise stark beflogenen Flugroute der lokalen Mausohr-Population, die in ca. 1,5 km Entfernung ihre Wochenstube hat (ca. 3000 ad. Weibchen, 2000 Jungtiere).

Am Engpass wurden an 8 Terminen im Zeitraum 05.08 - 20.09.2005 Totfunde gesucht. (Zur Begründung dieses Zeitfensters s. in Kap. 6.2.3.4 des Zwischenberichtes). Das Suchfeld erstreckte sich über eine Länge von 200 m und deckt den von den Mausohren beflogenen Engpassbereich ab.

Probefläche BR2

Etwa 3 km nördlich von der o.g. Mausohr-Wochenstube führt der Nahverkehr der Bahnstrecke 3112 (Bullay - Traben-Trarbach) sowie der Personen- und Güterverkehr der Bahnstrecke 3010 (Trier - Koblenz) durch den Prinzenkopf-Tunnel.

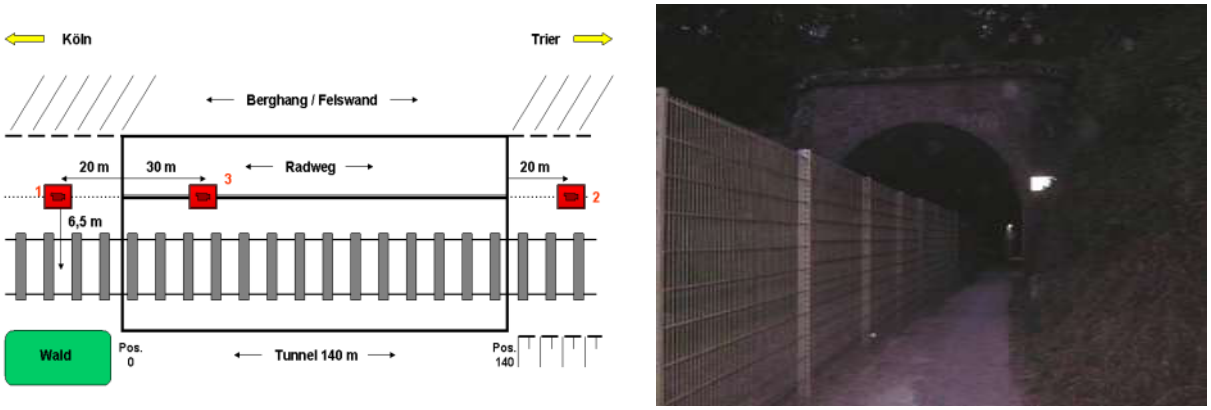


Abbildung 6-9: Untersuchungsfläche BKY (Bahntunnel, 1 Gleisstrang, Dieseltraktion)

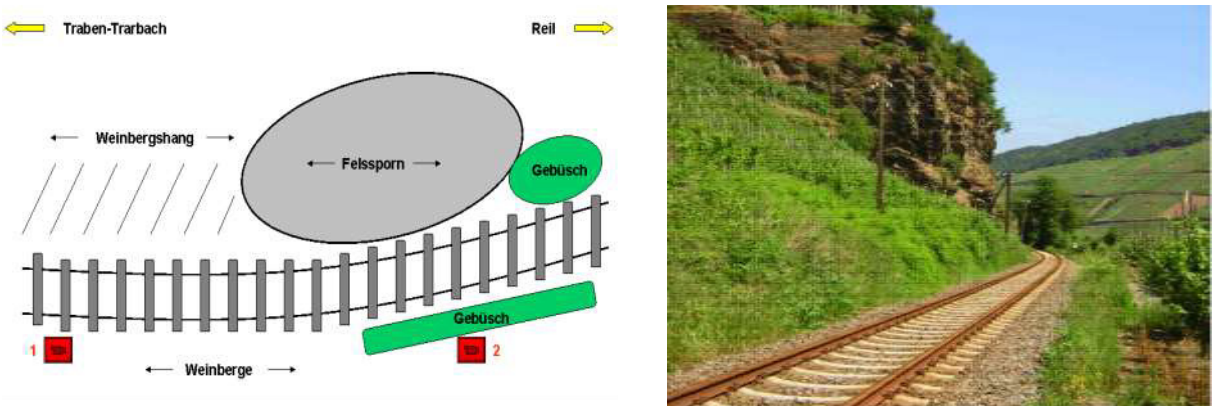


Abbildung 6-10: Untersuchungsfläche BR1 (Bahnstrecke, 1 Gleisstrang, Dieseltraktion)

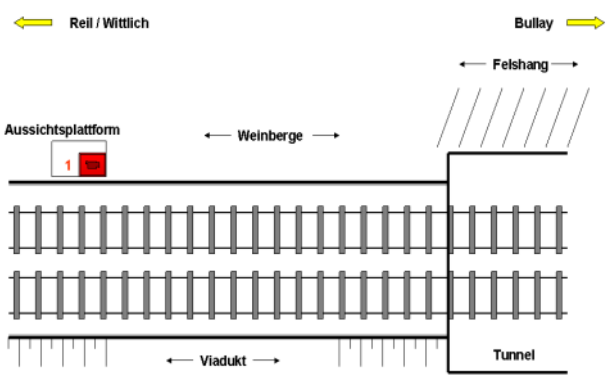


Abbildung 6-11: Untersuchungsfläche BR2 (Bahntunnel, 2 Gleisstränge, elektrifiziert)

6.2.2.2 Transektuntersuchung

Angelehnt an ähnliche Untersuchungen bei Großsäugern (MALO et al. 2004) wurde die ausgewählte Strecke mit einer im Cockpit des Pkws des Bahntriebwagens befestigten hochempfindlichen ½-Zoll-Videokamera (ICD-47) kontinuierlich gefilmt (Transektuntersuchung). Aufgezeichnet wurde auf Mini-DV-Camcorder (JVC 270E und SONY HC32). Als Hilfslicht während der Transektfahrten diente das Fahrlicht.

Die Aufnahmezeit auf der Bahnstrecke war durch den Zugfahrplan auf eine Spanne von 22:26 bis 23:49 begrenzt. Da sich der Sonnenuntergang innerhalb des Augustes von 21:50 Uhr auf 20:20 Uhr verschiebt, beschränken sich Aufnahmen während der Ausflugzeit (erste Stunde nach Sonnenuntergang) auf die erste Monatshälfte. Die 4 Untersuchungsnächte mit je 2 Fahrten (Hin- und Rückfahrt) fanden entsprechend ausschließlich im August 2006 am 01.08., 15.08., 16.08. und 31.08. statt. Eine Fahrt dauerte ca. 30 Minuten. Die Fahrtgeschwindigkeit des Dieseltriebwagens variiert entsprechend der Vorschriften auf diesem Streckenabschnitt zwischen 70 – 80 km/h.

Die Auswertung bezieht sich für die Erfassung der Fledermäuse wie der weiteren Parameter auf 200 m resp. 400 m Abschnitte (Tunnel resp. übrige Strecke mit Wald und Offenland). Als möglicherweise beeinflussende Parameter der Strecken wurden die in Kap. 6.1 dargestellten Habitat- und Strukturparameter aufgenommen. Die Parameter wurden den Videos sowie weiterem Kartenmaterial (Luftbildern, eigenen Kartierungen der Biotop- resp. Strukturtypen im M 1:5.000) entnommen.

Die Auswertung der Videos fand am Monitor statt. Entsprechend der Rahmenbedingungen (Scheinwerferreichweite des Bahnfahrzeuges usw.) konnten Fledermäuse nach Vorversuchen bis ca. 25 m vor dem Fahrzeug erkannt werden. Bezüglich weiterer Angaben zur Auswertung vgl. in Kap. 6.1. Wie dort bereits beschrieben, konnten tatsächliche Kollisionssituationen auch während der Bahnfahrt nicht beobachtet werden. Auch eine Artdetermination lässt die Videodetektion unter den Bedingungen einer Bahnfahrt auf sehr grobem Niveau zu. Die potenzielle (Kollisions-)Gefährdungssituation wurde deswegen wie im Kap. 6.1 definiert als Aufenthalt einer Fledermaus in einem bestimmten Raum vor dem Bahnfahrzeug (Abbildung 6-12).

Innerhalb dieses Gefährdungsbereiches gilt eine Kollision von Fledermäusen mit Zügen aufgrund der zeitlichen und räumlichen Koordinaten als möglich, außerhalb als unwahrscheinlich. Der Gefährdungsbereich ist durch die Höhe und Breite des Fahrzeugs plus ca. 1 m in Höhe und Breite (entsprechend dem angenommenen Bereich starker Verwirbellungen während Vorbeifahrten) begrenzt.

Abbildung 6-12: Definition des Gefährdungsbereiches (weißes Fenster)

Alle Videoaufzeichnungen mit Fledermäusen innerhalb des Gefahrenbereiches wurden im Hinblick auf die in Kap. 6.2.2.4 genannten Verhaltenweisen typisiert. Zugleich wurden als Variablen die Streckencharakteristika und die vegetationsstrukturellen Charakteristika (analog zur Methodik bei den Straßentransekten, s. Tabelle 6-2) als Variablen aufgenommen. Jede im Video gesichtete Fledermaus/Parameterausprägung wurde dem entsprechenden 200/400m-Abschnitt zugeordnet. Alle Daten wurden auf die gefilmte Zeit normiert (pro Minute), aus der sich auch andere Relationen herleiten ließen (z.B. pro Kilometer).

6.2.2.3 Totfundsuche

Die Suche nach Totfunden wurde an den drei Probestrecken BKY, BR1 und BR2 systematisch durchgeführt. Die Suche erfolgte an 30 (BKY) bzw. 8 Terminen (BR1) (s.o.) jeweils einmal pro Nacht/Strecke mit zwei Personen, wobei jede Person einen Streifen mit einer Suchbreite von etwa 2 m abdeckte. Fehler durch Übersehen sowie ein Schwund infolge Verschleppung durch Prädatoren konnten im Tunnel weitgehend ausgeschlossen werden. (Als Kontrolle wurden ebenfalls verunfallte Singvögel an ihren Fundstellen auf dem Gleiskörper belassen und ihr Verbleib/Verschwinden beobachtet). Die Strecke BR2 wurde lediglich zweimal abgesucht[39].

6.2.2.4 Einzelfalluntersuchungen mittels Detektor und IR-Kamera

Neben den Transekt-Untersuchungen wurden Aktivitäts-/ Verhaltensbeobachtungen mit Detektor/Horchbox und IR-Video durchgeführt mit dem Ziel, besondere Situationen an Bahnstrecken und Straßen genauer zu beleuchten als in der Hauptuntersuchung möglich.

[39] An weiteren Terminen konnte die Gefahrstellensicherung nicht mehr organisiert werden.

Im Kyller Tunnel (Probefläche BKY) wurden Detektoruntersuchungen (Mischerdetektor Pettersson D 100) in Verbindung mit Sichtbeobachtungen am Tunnelportal durchgeführt und Fledermausaktivitäten ab Beginn der abendlichen Flugaktivität über einen Zeitraum von 60 Minuten protokolliert (gezielter Tunneleinflug, Jagd am Tunnelportal, Vorbeiflug Richtung Wald und Jagd im Tunnel; Jagdverhalten wurde durch „Feeding buzzes“ im Detektor deutlich). Nach 60 Minuten war es i. d. R. zu dunkel, um weitere, verwertbare Beobachtungen durchzuführen. Um ein weiteres Aktivitätsmaß zu erhalten, wurden Horchboxen (Teilerdetektor Batbox Duet mit Rekorder und Stunden-Zeittaktgeber) im Kyller Tunnel (Probefläche BKY) an vier Terminen und an jeweils drei Positionen (10 m vom Tunnelportal entfernt, in der Mitte des Tunnels bei 70 m) in einer Höhe von 2 Metern an der Trennwand installiert. Die Positionen wurden jeweils doppelt mit Geräten bestückt. Zur Auswertung wurde die maximale Anzahl der Registrierungen eines Detektorpaares verwendet.

Ab dem 20.08.2005 wurden an allen 3 Untersuchungsstandorten zusätzliche Beobachtungen mit Hilfe eines Kamerasystems (½-Zoll-Kamera ICD47, Zusatzbeleuchtung mit 2 LED-Infrarot-Strahlern IR 950/12, 840 nm) durchgeführt (Probefläche BKY: 7 Wiederholungen, sonstige: 4 Wiederholungen. Standorte und Bildwinkel bzw. Brennweite der Kamera; Winkel der Kamera zu den Gleisen; Abstand der Kamera zur Gleismitte wurden vermessen und notiert und folgende Verhaltenssequenzen erfasst: Ruhen (im Tunnel/-Straßenbereich), Jagdaktivitäten/Flugaktivitäten, Tunnelein-/-ausflug (ohne/vor dem Zug), Hinweise auf Verwirbelungen durch Fahrtwind, z.B. gerichtetes/ungerichtetes Flugverhalten (ohne erkennbare Motivation), Tunnelein-/-ausflug direkt hinter dem Zug).

Daneben wurden weitere singuläre Untersuchungen durchgeführt, deren Methoden und Ergebnisse im Bericht im Kontext anderer Untersuchungen dargestellt sind.

6.2.2.5 Statistische Auswertung

Für Auswertungen wurde soweit die Voraussetzungen für die Anwendung erfüllt sind auf U-Test, Chi²-Test oder Kruskal-Wallis-Test zurückgegriffen. Zumeist werden die Daten aber explorativ analysiert (Boxplot, Verteilungsdiagramme). Die jeweils verwendete Teststatistik wird im Zusammenhang der Datenpräsentation genannt. Wenn nicht anders angegeben, wird die Irrtumswahrscheinlichkeit α mit 5 % angenommen.

6.2.3 Ergebnisse

6.2.3.1 Ergebnis der Totfundsuche

Im Kyller Tunnel (Probefläche BKY, Tunnel, > 70 – 80 km/h) wurden an 30 Terminen im Zeitraum 18.06. – 23.09.2005 vier tote Zwergfledermäuse (*Pipistrellus Pipistrellus*) gefunden (14. Juli: juvenil, 28. Juli: adult, 1. Sept.: juvenil, 7. Sept.: juvenil).[40] An den ebenfalls abgesuchten Probeflächen BR1 (freie Strecke, Regionalbahn mit ca. 50 km/h, Engpass mit kreuzendem Mausohr-Flugweg) und BR2 (freie Strecke, > 90 km/h) konnten bei 8 Suchwiederholungen keine toten Tiere aufgefunden werden. Alle Funde im Tunnel BKY wurden als Kollisionsopfer eingeordnet, allerdings waren Verletzungen und Todesursache pathologisch aufgrund des Verwesungsgrades nur in zwei Fällen exakt bestimmbar. Alle Fundorte befanden sich 30 – 35 m vom Tunnelportal entfernt im Tunnel.

[40] Während einer einmaligen Nachsuche am 21.09.2006 wurden ebenfalls 2 verunfallte Zwergfledermäuse im Bereich des Fahrradweges in einem weiteren Tunnel bei Ittel / Daufenbach an der Kyll festgestellt.

6.2.3.2 Auftreten und Aktivität von Fledermäusen im Trassenbereich

Insgesamt wurden 258 Fledermäuse bei einer Filmzeit von über 3 Stunden (03:02:42) und 242 Kilometer Strecke gesichtet. Die durchschnittliche Fledermausanzahl beträgt ca. 1 Fledermaus/km; die höchste Aktivität weist ein Tunnelabschnitt mit umgerechnet 4,38 Fledermäusen/km auf, gefolgt von 2 Abschnitten von jeweils 400 m auf freier Strecke mit 4,29 bzw. 3,91 Fledermäusen/km. Wie auch aus Abbildung 6-13 ersichtlich ist, existieren in den Daten für die freie Strecke Extremwerte, die vor dem Hintergrund zu sehen sind, dass die Probestrecke in einem Flusstal (Kyll/Eifel) verläuft, stellenweise nahe dem Fluss mit örtlich ausgesprochen günstigen Fledermausjagdgebieten. Die Tunnel weisen eine geringere Aktivität als die freie Strecke auf, die Bereiche der Tunnelportale dagegen eine im Mittel deutlich höhere.

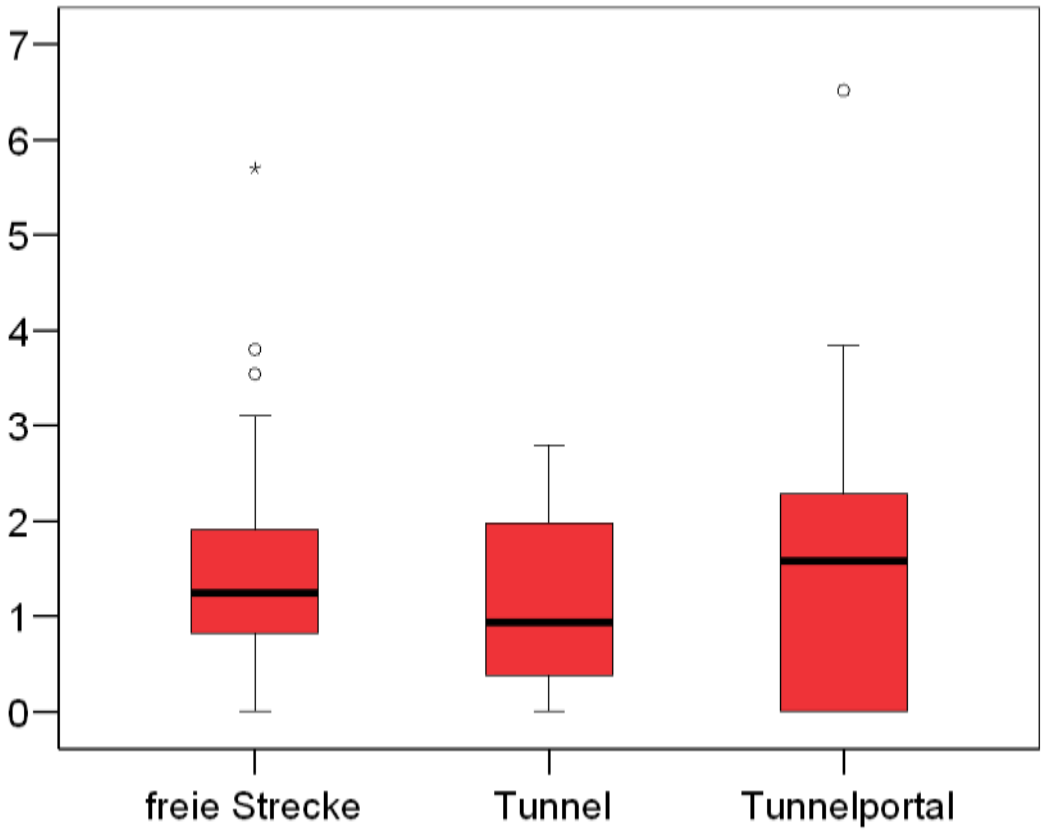


Abbildung 6-13: Aktivität von Fledermäusen bezogen auf die Gradientenelemente Tunnel, Tunnelportal und freie Strecke (alle Fledermäuse, Indiv./Min.)

Summarisch wurden die meisten Beobachtungen - bezogen auf die Gesamtstrecke – dem Transferflug zugeordnet (kleine Fledermausarten: 83%, große Fledermausarten: 73%, Rest: undifferenziert).

Bezogen auf die gesamte untersuchte Strecke, d.h. unter Vernachlässigung möglicher Unterschiede zwischen freier Strecke und Tunnel, wurden kleine wie große Fledermäuse häufiger außerhalb als innerhalb des Gefahrenbereiches detektiert (Abbildung 6-14). Der Unterschied wird bei kleinen Fledermäusen durch die Schwankungen zwischen den Aufnahmedaten überdeckt (Abbildung 6-14). Bei den Großen Fledermäusen waren die Unterschiede dagegen an allen Untersuchungsnächten konstant.

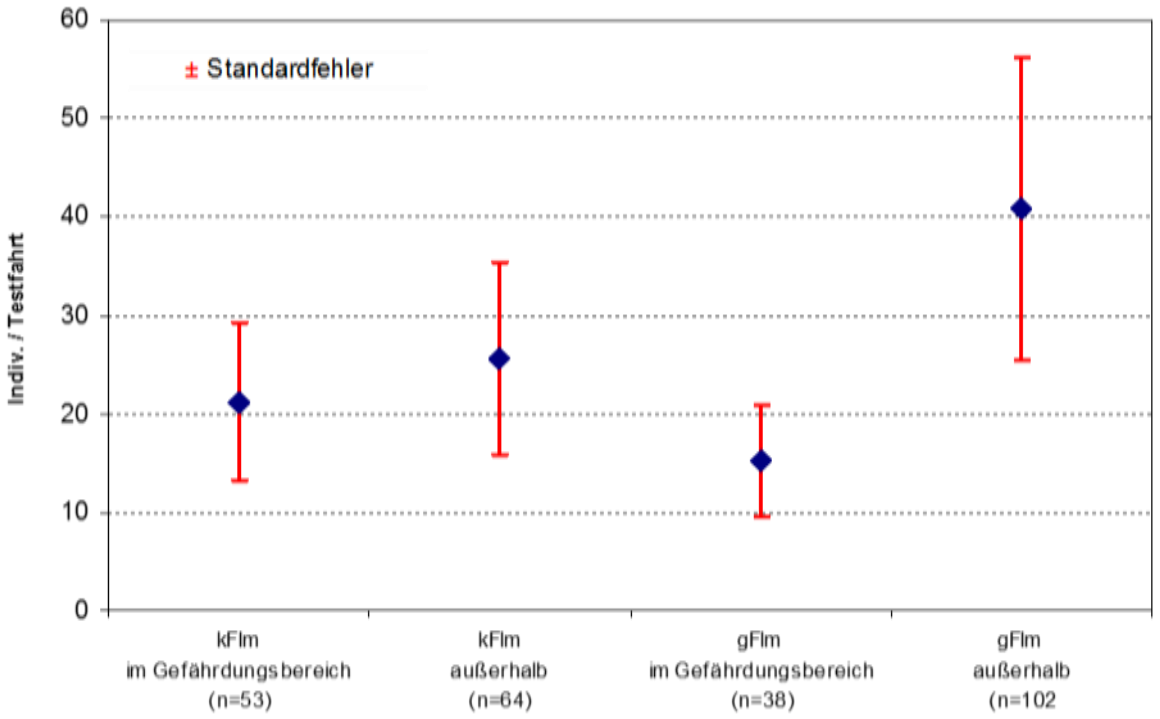


Abbildung 6-14: Vergleich der Fledermaus-Aktivität (Indiv./Nacht resp. Testfahrt mit Bahn) innerhalb und außerhalb des Gefährdungsbereiches

6.2.3.3 Aktivität von Fledermäusen im Bahntunnel

Die Videotransektuntersuchung ergab insgesamt keine wesentlichen Unterschiede zwischen der Aktivität von Fledermäusen im Tunnel und auf freier Strecke, bezogen auf die Gruppe der Großen Fledermäuse zeigte sich aber eine signifikant höhere Aktivität im Tunnel als auf freier Strecke (U-Test: $Z = -2{,}568$, $p < 0{,}05^*$, $n = 38$).

Bei Betrachtung des näher untersuchten Kyller Tunnels zeigte sich eine starke Schwankung der Aktivität im Tunnel. Der Tunnel wird von Zwergfledermäusen nicht nur durchflogen. Vielmehr dient er auch als Jagdhabitat. Während der Schwarm- und Balzphase herrschte eine sehr hohe Flugaktivität im Tunnel selbst, v.a. aber an den Tunnelportalen (Abbildung 6-15). Insbesondere in den frühen Abendstunden, zu Beginn der Flugaktivität, wurden gezielte Einflüge beobachtet. Später findet ein Einflug häufig erst nach einigen „Jagdrunden“ vor dem Tunnelportal statt. Die Tiere nutzen v.a. das Gewölbe, d.h. das obere Drittel des Tunnels. Auch flogen Tiere häufig einige Meter in den Tunnel ein, kehrten jedoch wieder um. Die Tiere durchfliegen hierbei meist zwei Drittel des Tunnels. Häufig flogen sie auf der untersuchten „Kölner Seite“ des Tunnels kurzfristig ins Freie, kehrten jedoch rasch um und flogen in den Tunnel zurück. Dieses Verhalten wurde über 30-40 Minuten hinweg beobachtet. An einigen Abenden wurde der Tunnel nicht oder weniger frequentiert. Mögliche Gründe, Phasen geringer Aktivität oder andere Bedingungen wie schlechtes Wetter, die den Einsatz der Kamera behinderten, konnten nicht voneinander getrennt werden.

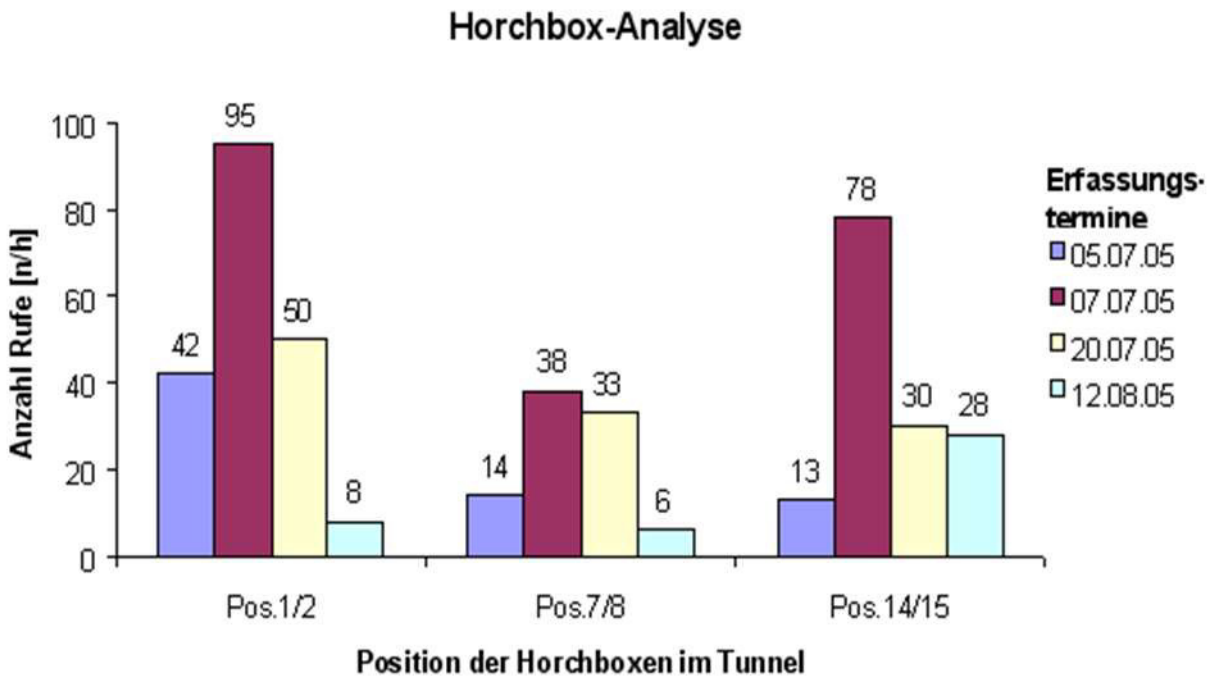


Abbildung 6-15: Aktivität von (vorwiegend Zwerg-)Fledermäusen im Tunnel BKY (Juli 2005) nach Hochbox-Aufzeichnungen

Jedoch gibt es auch Tunnelabschnitte und Portale ohne auffällige Fledermausaktivität. Ein erklärbarer Zusammenhang mit der Tunnellänge ist nicht erkennbar. Kurze Tunnel weisen z.T. hohe, z.T. geringe Fledermaus-Aktivität auf (Abbildung 6-16). Daher kann nicht geschlussfolgert werden, dass jeder Tunnel/jedes Tunnelportal gleich stark betroffen ist.

Die Züge durchfahren die Tunnel nach den Aufzeichnungen mit einer Geschwindigkeit von 55 - 64 km/h im Mittel. Die Videoauswertungen zeigen bei annähernd jeder aufgenommenen Zugdurchfahrt potenzielle Kollisions-Situationen (Fledermausaktivität unmittelbar vor dem Zug). Mehrfach wurde ein Tunnelausflug direkt vor dem Zug aufgenommen. Fledermäuse, die den Tunnel unmittelbar nach der Zugdurchfahrt verlassen, wurden ebenfalls mehrfach erfasst (an 6 Terminen Gruppen von 2-4 (8) Tieren). Wo diese Tiere sich vor und während der Zugdurchfahrt aufhielten, konnte in der Regel nicht aufgeklärt werden. Eine einzelne Videoaufnahme dokumentiert allerdings kurze Ruhephasen mehrerer Fledermaus-Individuen an der Tunneldecke; einmal konnte ein Individuum unmittelbar vor der Zugdurchfahrt an der Tunneldecke hängend fotografiert werden (Abbildung 6-18).

Die Effekte der turbulenten Verwirbelungen und Sogwirkungen, die vor und hinter einem Zug bei Tunneldurchfahrt entstehen, sind teils aus den Videos ersichtlich (z.B. wurde ein außerhalb des Tunnels jagendes Individuum offenbar im Anschluss an die Zugeinfahrt in den Tunnel verdriftet), teils erschließen sie sich indirekt, indem die Fledermäuse vor dem herannahenden Zug mit einer Geschwindigkeit fliegen (> 50-60 km/h), die allein aus eigener Kraft vermutlich nicht erreicht werden kann. Für die Zwergfledermaus finden sich in der Literatur lediglich Angaben von 10 - 20 km/h; nach eigener Einschätzung kann die Geschwindigkeit bei Jagd- resp. Streckenflügen im Einzelfall aber auch deutlich höher sein.

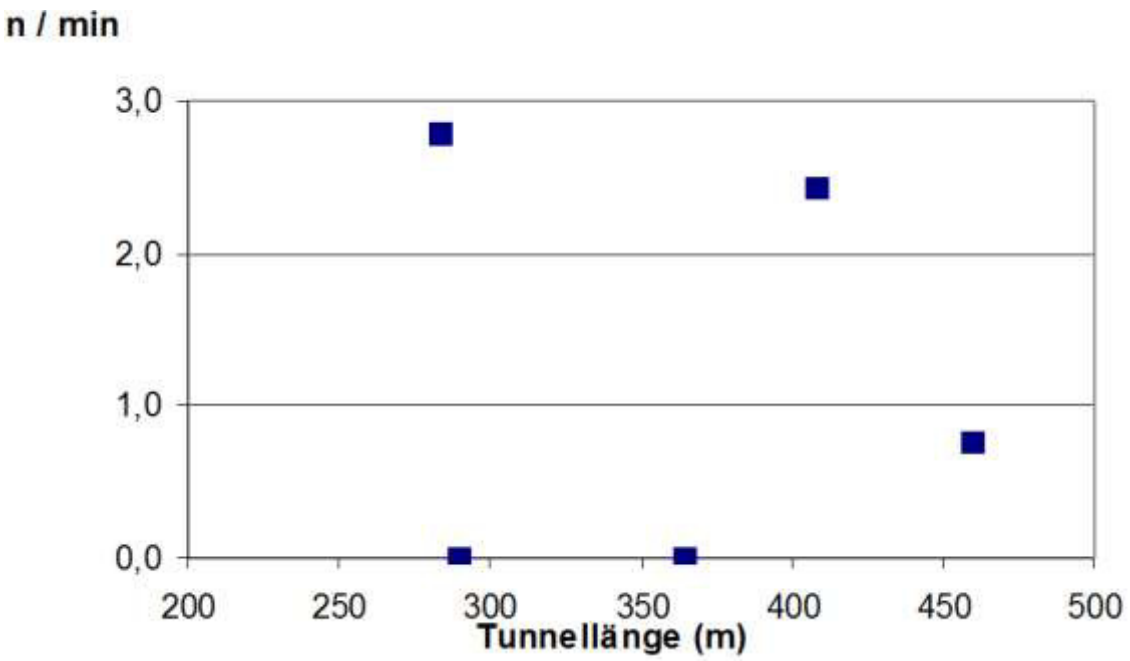


Abbildung 6-16: Fledermausaktivität und Tunnellänge

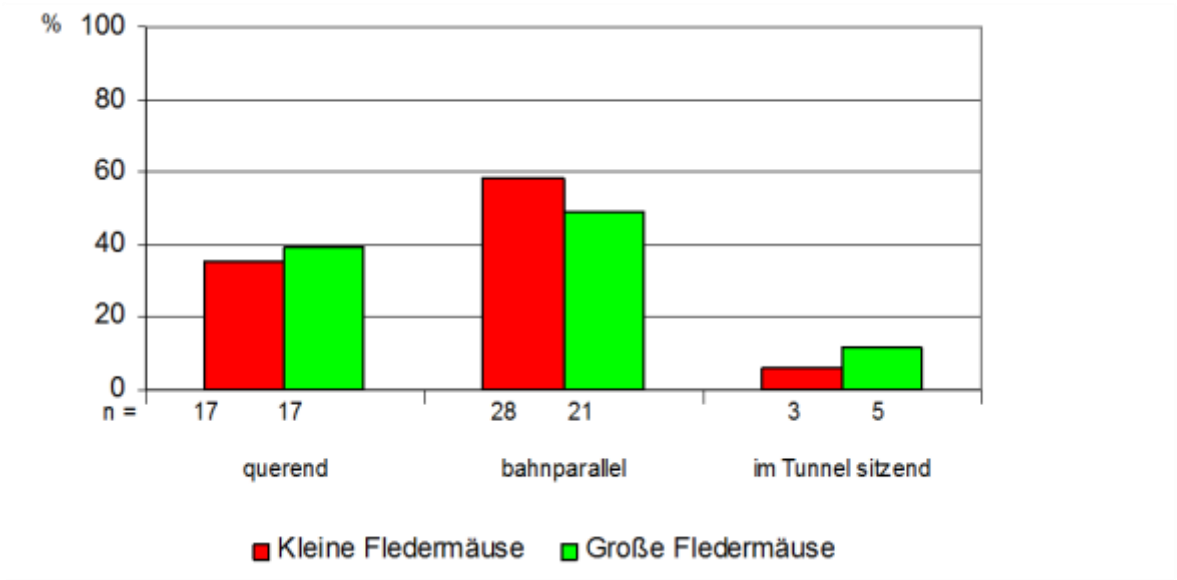


Abbildung 6-17: Aufenthaltsort von Fledermäusen im Tunnel bei Annäherung an das Beobachtungsfahrzeug

Abbildung 6-17 zeigt die Verhaltensanteile der Fledermaus-Individuen während der Annäherung an das Beobachtungsfahrzeug. Hinzuweisen ist auf den hohen Anteil der Tiere, der an der Tunneldecke bzw. an den Tunnelwänden vor und – solange es beobachtet werden konnte – z. T. auch während der Zugdurchfahrt hängt.

Abbildung 6-18: An der grob verputzten Tunneldecke hängende Fledermaus unmittelbar vor einer Zugdurchfahrt im Tunnel BKY (15.08.2006, Foto: Lüttmann)

6.2.3.4 Verhalten von Fledermäusen an Engpasssituationen

Am vom Zugverkehr stärker genutzten Prinzenkopf-Tunnel (Probefläche 2) wurden nur ausnahmsweise, an einem Abend (18.6.2005) zwei Fledermausrufe bzw. Aktivitäten (*Myotis*) mit Detektor und/oder Videoaufzeichnung registriert, trotz der hohen Aktivität von Mausohren aus der Kolonie, die anderswo im Umfeld herrscht (WEISHAAR/LÜTTMANN unpubl.). Der Gleisbereich und der Raum vor dem Portal wurde praktisch nicht genutzt. Entsprechend konnten keine Kollisionssituationen beobachtet werden.

Der quartiernah gelegene Engpass Reil (Probefläche 3) wird während der Zeit des Koloniezusammenhalts als Flugweg von > 25 - 35 Individuen/1. Nachthälfte genutzt (WEISHAAR/LÜTTMANN unpubl.). Der letzte Zug fährt hier um 21:50 Uhr. Die Geschwindigkeit der Züge wurde mit 55-60 km/h errechnet.[41] Der abendliche Zeitausschnitt, in dem es potenziell zu einer Kollision von aus der nahen Wochenstubenkolonie fliegenden Mausohren mit den Zügen um 20:25, 20:50, 21:25 und 21:50 Uhr kommen kann, ist in Tabelle 6-5 mittels grauer Unterlegung markiert. Angegeben sind außerdem Ausflugszeitpunkte der Mausohren aus der Wochenstube in Reil (1987, nach Aufzeichnung von M. WEISHAAR, unveröff.) und die Daten der Beobachtungen 2005.

[41] Am 4.7.2005 wurde hierzu am Bahnhof in Bullay ein Zugführer befragt. Er bestätigte, dass an der untersuchten Stelle stets eine Geschwindigkeit von 50-60 km/h beibehalten wird. Auf die Frage nach Fledermäusen sagte er, er hätte lediglich Vögel, jedoch noch nie Fledermäuse beobachtet.

Die Mausohren passieren während eines Zeitraumes von 20 Minuten die Engstelle und fliegen entlang der Schiene und des parallel verlaufenden Weges in die sich anschließenden Weinberge und Wälder. Zahlreiche Tiere (eine Quantifizierung war methodenbedingt nicht möglich) flogen dabei nicht höher als zwei Meter über dem Boden bzw. den Schienen. Aktive Ausweichbewegungen vor dem Zug wurden beobachtet (ca. 10-15 m vor dem Zug fliegend).

An weiteren Terminen Ende August und im September (nach Auflösung der Kolonie) konnten derartige Beobachtungen nicht wiederholt werden; zum Zeitpunkt des Ausfluges querten hier stets weniger als 15 Tiere den Engpass; die Kamerabeobachtungen erbrachten keine Ergebnisse.

Tabelle 6-5: Zeitfenster potenzieller Kollisionen (grau unterlegt) von Mausohr-Fledermäusen aus der Kolonie Reil mit Zügen

Datum	Beginn Ausflug 1987 (Kolonie)	Untersuchung 2005	Beginn Aktivität am Engpass
24.06.	22:30	27.6.	22:40
01.07.	22:34	29.6.	22:40
05.07.	22:42		
10.07.	22:26		
15.07.	22:18		
28.07.	22:06		
30.07.	22:06		
05.08.	21:50		
10.08.	21:44	9.8.	21:55
15.08.	21:40		
19.08.	21:24	20.8.	21:35
25.08.	20:52		
09.09.	20:28	6.9.	20:50
15.09.	20:12		
20.09.	20:24	23.9.	?
25.09.	20:10		
30.09.	19:54		

6.2.4 Diskussion

Die Vorüberlegungen führten aufgrund von Literaturdaten und Befragungen sowie aufgrund eigener Erfahrungen an WKA im Offenland (KUSENBACH 2005) zu dem Schluss, dass eine Totfundsuche verunfallter Fledermäuse nur Erfolg versprechend ist, wenn (zu) weite Verdriftung nach Kollision oder Verschleppen durch Beutegreifer/Aasfresser weitgehend ausgeschlossen werden können. Entsprechende Erwartungen an die Durchführung von Aufsammlungen in Eisenbahn-Tunnel wurden bestätigt: Im Tunnel ist der Schwund durch Verdriftung gering und Verschleppung durch Prädation spielte zumindest im eingehend untersuchten Tunnel (Probefläche BKY) keine relevante Rolle. Eine Prädation in dem bei BRINKMANN (2006) beschriebenen Ausmaß war nicht zu erwarten, zumal andere Kadaver, z.B. von Singvögeln und Amphibien (u.a. Molche) im Straßenraum gefunden wurden. Hier konnten Bezugsraum und Verkehrsfrequenz außerdem gut bestimmt werden. Totfund-Analysen an Bahnstrecken auf offener Strecke wurden nach Vorversuchen dagegen als nicht zielführend aufgegeben.

Die Untersuchungen erbrachten neue Erkenntnisse zum Verhalten von Fledermäusen v.a. in Bezug auf Eisenbahntunnel. Die durchschnittliche Fledermaus-Aktivität beträgt bei der untersuchten Bahnstrecke

ca. 1,0 Fledermaus/km. Die höchste Aktivität weist ein Tunnelabschnitt mit 4,38 Fledermäusen/km auf, gefolgt von 2 Abschnitten auf freier Strecke mit 4,29 bzw. 3,91 Fledermäusen/km. Diese Werte sind vor dem Hintergrund zu sehen, dass die Probestrecke in einem Flusstal (Kyll/Eifel) ein sehr arten- und individuenreiches Fledermausgebiet durchquert. Trotzdem sind die Werte im Vergleich mit den untersuchten Straßentransekten recht hoch; sie entsprechen am ehesten der Strecke RE der Straßenuntersuchung, vgl. Kap. 6.1).

Insgesamt weisen die Daten auf ein vergleichsweise hohes Gefahrenpotenzial v.a. in Tunnelabschnitten hin. Insgesamt weisen die Tunnelstrecken die höchsten Fledermaus-Dichten auf. In einem Tunnel (BKY) wurden mit 4 toten Individuen auch die meisten Kollisionsopfer gefunden. Auch andere Autoren begründen theoretisch eine hohe Mortalität von Fledermäusen im Bahnverkehr, die Datenlage bezüglich Kollisionen ist im Bereich von Bahnanlagen aber noch defizitärer als in Bezug auf den Straßenverkehr. HAENSEL & RACKOW (1996) berichten über einzelne Fälle von Kollisionen mit Zügen (Mausohr, Wasserfledermaus, Graues Langohr, Zwergfledermaus) und auch VOLLMER & RACKOW (2002) geben einen Einzelfund in einem Bahntunnel wieder (Nordfledermaus). NAGEL (pers. Mitt. 2007) berichtet von vergleichbaren Beobachtungen bei Zwergfledermäusen in einem für den Zugverkehr reaktivierten Tunnel im Westerwald. Vier verunfallte Fledermäuse während unserer eigenen systematischen Untersuchung zeigen ein hohes Unfallrisiko. (Während einer Nachkontrolle im Spätsommer 2006 wurden 4 weitere unfalltote Individuen, wiederum von der Zwergfledermaus, im selben Tunnel gefunden; WEISHAAR, pers. Mitt.). Potenziell hohe Opferzahlen wie bei diesem Tunnel (BKY) legen nahe, dass auch kopfstarke Populationen unter vergleichbaren Bedingungen erheblich belastet werden können.

Allerdings ist zu beachten, dass die Untersuchungen sehr unterschiedliche Fledermausdichten und damit auch sehr unterschiedliche Gefährdungen in den (strukturell unterschiedslosen) Tunnel auf der Strecke erbrachten. Die regelmäßige Nutzung der Bahnstrecke Trier-Gerolstein im Tal der Kyll einschließlich der Tunnel durch Fledermäuse weist hin auf ein besonders günstiges Nahrungs- bzw. Insektenangebot, das die Individuen v.a. im Umfeld der fließgewässernahen Tunnel nutzen. Vergleichbare Situationen wurden auch vor Tunnelportalen in waldreichen Gebieten wie im Lahntal (s. Kap. 3) beobachtet. Bei Netzfängen vor einem nur sporadisch befahrenen Eisenbahntunnel im Aartal (Hessen), der von Großen Mausohren, Fransen– und Zwergfledermäusen als Winterquartier genutzt wird, wurden Jagd– und Schwarmflüge vor dem und durch den 150 m langen Tunnel von Bechsteinfledermäusen, Kleinen Bartfledermäusen und Braunen Langohren festgestellt (FUHRMANN mdl.).

Zur Reduktion der Kollisionsgefahr mit Zügen in Tunnelabschnitten bieten sich in entsprechenden Fällen Abtrennungen vorhandener Fledermaushangplätze vom Verkehrsraum durch Zwischenwände oder –decken an. Im Falle des Cramberger Tunnels im Lahntal (s. in Kap. 7) wurde dies erfolgreich vom örtlichen Naturschutz schon vor einigen Jahren initiiert für den lahnseitigen Nebenstollen, da dieser noch einen zweiten Eingang außerhalb des Eisenbahntunnels hat (Zumauerung einer Öffnung zwischen Gleisbereich und Seitenstollen mit Mausohrbesatz). In einem anderen Fall (Hasselborner Tunnel in Hessen) wurde vor der Reaktivierung des von vielen Zwergfledermäusen zur Überwinterung genutzten Tunnels eine gleisparallele Trennwand zwischen Haupthangplatz und Verkehrsraum eingezogen, nachdem in erheblichem Umfang Kollisionen festgestellt wurden. Beobachtungen belegten, dass Tiere gegen die Tunnelwände geschleudert wurden, offenbar infolge des Luftdrucks der vorbeifahrenden Züge. Obwohl in diesem Sonderfall die Reduzierung der Durchfahrgeschwindigkeit der Züge von 70 km/h auf 40 km/h aus Artenschutzgründen erwirkt wurde (NAGEL 2007, pers. Mitt.), traten weiterhin Kollisionen auf, die die Quartierpopulation erheblich reduzierten.

Es erscheint allerdings zweifelhaft, ob die von uns an der Strecke EIFEL beobachteten Verhältnisse und die o.g. der Literatur und Berichten entnommenen Fälle auf mehrgleisige, schneller befahrene Strecken übertragbar sind: Am vom Zugverkehr stärker genutzten Prinzenkopf-Tunnel (Probefläche BR1, s. im Zwischenbericht 03/2006) wurden nur ausnahmsweise Fledermaus-Aktivitäten registriert, trotz der ho-

hen Zahl von Mausohren aus der nahen Kolonie, die anderswo im Umfeld jagen (WEISHAAR/LÜTTMANN unpubl.). Der Gleisbereich und der Raum vor dem Portal wurden praktisch nicht genutzt. Entsprechend konnten auch keine (potenziellen und realen) Kollisionssituationen beobachtet werden.

Gefahrenstellen existieren darüber hinaus – außerhalb der Tunnel – örtlich an weiteren Stellen, nämlich an Engpässen, wo bedeutsame Flugwege zwangläufig im Gleisbereich bestehen. Hier fliegen die Individuen auch sehr tief die Gleise entlang (s. Probefläche BR2 im Zwischenbericht 03/2006). ROLL (2004) berichtet, dass systematische Untersuchungen zu Vögeln und Säugetieren (HAVLIN 1987, JÖHNK 2001, SCV 1996; alle zitiert in ROLL 2004) dagegen keine Funde aus der Artengruppe der Fledermäuse ergeben haben, obwohl z. B. auch zahlreiche Singvogelkadaver erfasst wurden. Die Hinweise auf Vögel deuten darauf, dass diese Daten sich vornehmlich auf die freie Strecke beziehen. Insoweit stehen die Daten auch in Übereinstimmung mit den eigenen Befunden, die keine Fledermaus-Totfunde im Bereich der freien Strecke feststellen konnten. Diese Daten haben für eine sichere Interpretation aber eine zu geringe Stichprobenbasis. Für eine vergleichsweise geringe Gefährdung im Bereich der freien Strecke spricht – trotz aller möglichen Fehlerquellen - auch das Ergebnis der Videodetektion: Kleine wie große Fledermaus-Arten wurden tendenziell häufiger außerhalb als innerhalb des Gefahrenbereiches detektiert. Das gilt – in Bezug auf die freie Strecke - insbesondere für die großen Arten. Allerdings hat das Beispiel der Probefläche BR2 gezeigt, dass ein Konflikt zwischen Fledermäusen und Bahnverkehr nicht beurteilt werden darf, ohne dass der Ort (d.h. die spezifische Ausprägung z.B. von Engpasssituationen) und tages- und jahreszeitliche Aspekte betrachtet werden: Unter dem Kollisionsaspekt treten an dieser Probefläche Konflikte auf, falls Zugdurchfahrten zeitlich mit dem Ausflug der Mausohren aus dem Quartier in ihre Jagdgebiete überlappen: Die Strecke wird während der Wochenstubenzeit als Flugweg von 20 – 30 Mausohren genutzt (WEISHAAR & LÜTTMANN unpubl.). Der letzte Zug fährt hier um 21:50 Uhr. Die Mausohr-Individuen passieren den Bereich nach den Erhebungen je nach Datum, d.h. je nach Zeitpunkt des Sonnenunterganges, zwischen 19:50 und 22:30 Uhr. Dementsprechend kommt es nur in einem engen jahreszeitlichen Fenster potenziell zu einer Kollision mit den Zügen um 20:25, 20:50, 21:25 und 21:50 Uhr.

7 Fledermausquartiere in Talbrücken und Tunnel – Bedeutung und Gefährdung / Optimierung

7.1 Einführung

Die Nutzung von Verkehrswegebauten als Quartierstandorte für Fledermäuse ist ein seit längerem bekanntes Phänomen. So veröffentlichten z.B. DAVIS & COCKRUM bereits 1963 eine erste Zusammenstellung von Funden nordamerikanischer Fledermausarten in Straßen– und Eisenbahnbrücken in Arizona (USA). Aus Deutschland liegen erste Beobachtungen zur Nutzung von Hohlkammern in Brückenpfeilern bereits aus den 1950er Jahren (ISSEL nach FIEDLER 1978) und 1980er Jahren (ROER 1987) vor. Diese beiden Arbeiten beziehen sich auf ungenutzte Brücken, die durch Bombenangriffe im zweiten Weltkrieg zerstört waren. Auch in Tunnelanlagen der Eisenbahn fanden sich Fledermäuse; wiederum beziehen sich die Meldungen in erster Linie auf stillgelegte Objekte (z.B. KIEFER et al. 1996, BUCHEN 1998, KOETTNITZ 2007 mdl.). Hinweise in der Literatur und unveröffentlichte Meldungen von Fledermausschützern weisen aber darauf hin, dass auch genutzte Brücken und Tunnel ein Quartierpotenzial aufweisen. Neben Funden in kleineren Natursteinbrücken von Feld– und Waldwegen über Bächen (Übersicht für Baden-Württemberg z.B. bei DIETZ 2005) werden auch in großvolumigen Tunnel und Talbrücken Hangplatzpotenziale festgestellt, die sogar Massenansammlungen von mehreren Tausend Tieren beherbergen können (wie z.B. die Levensauer Kanalhochbrücke bei Kiel, s. HARRJE 1994). Systematische Untersuchungen zur Bedeutung derartiger Quartiere in Brücken liegen bislang nur vereinzelt vor (z.B. FUHRMANN 1991 für Rheinland-Pfalz, KOETTNITZ & HEUSER 1994 für Teile Hessens, BRAUN 2006 mdl. für Nordbaden und PYSARCZUK 2004 für die österreichischen Bundesländer Kärnten und Salzburg).

Im Rahmen des Forschungsprojektes stand die Nutzung durch Fledermäuse von solchen Objekten im Vordergrund, die aktuell vom Straßen- oder Schienenverkehr genutzt werden. Ziel war das Zusammentragen vorhandener Daten und Erkenntnisse zur Nutzungsvariabilität und -häufigkeit in Talbrücken und Tunnel. Ergänzt wurde die Auswertung vorhandener Daten durch eigene, exemplarische Kartierungen. Dabei standen die Fragen im Vordergrund, welche Bedeutung die Bauwerke als Wochenstubenquartiere haben (populationswirksame Bedeutung), Gefährdungsaspekte (insbesondere Fallenwirkungen) sowie deren Vermeidung (fledermausgerechte Quartierbeschaffenheit und Sanierungsabläufe). In diesem Kontext wurden auch einzelne künstlich geschaffene Fledermaushangplätze auf ihre Wirksamkeit zur Besatzsteuerung ansatzweise erprobt.

7.2 Material und Methoden

7.2.1 Auswahl der Untersuchungsobjekte

Bislang konzentrieren sich Kenntnisse über Fledermausquartiere an Verkehrswegen primär auf Vorkommen in Brücken von Bundesfernstraßen (Autobahnen und Bundesstraßen); Nachweise an Schienenstrecken liegen nur vereinzelt vor. Hinsichtlich Tunnel existieren vor allem Daten von stillgelegten Objekten. Vor diesem Hintergrund wurden für eigenständige Kartierungen in Ergänzung zum bestehenden Wissensstand (s.u.) 13 Bahntunnel mit unterschiedlicher Nutzungsintensität inspiziert (6 stark befahrene Strecken, 4 selten befahrene Strecken und 3 in den letzten zehn Jahren stillgelegte Objekte). Bis auf eine Ausnahme (Fluchttunnel des Niedernhausener ICE-Tunnels) wiesen alle Objekte eine hohe Strukturvielfalt an Wänden und Decken auf, mit Spalten, Nischen und z.T. auch Seitengängen. Bei den Talbrücken wurden solche mit Hohlkammern im Brückenkopf und/oder unter der Fahrbahn bevorzugt ausgewählt (11 ICE-Brücken, 10 Brücken von Bundesstraßen und 22 Autobahnbrücken). In der Summe

fanden in den Bundesländern Hessen und Rheinland-Pfalz eigenständige Inspektionen in 56 Objekten statt (vgl (Abbildung 7-1).

Mit dem Ziel der Dokumentation eventueller Erstbesiedlungen wurden auch Neubauten in das Untersuchungsprogramm integriert (Brücken und Fluchttunnel der ICE-Neubaustrecke Frankfurt/M. – Köln und zwei neu geöffnete Nebengänge am Loreleytunnel im Mittelrheintal).

Die Brexbachtalbrücke lohnte eine genauere Betrachtung wegen der dortigen Hangplatzsituation. Das Brückenquartier ein typisches Beispiel für die Nutzung derartiger Bauwerke durch Große Mausohren.[42] Zudem wurde dort eine Brückensanierung durchgeführt (Stahlverspannung durch die Hohlkammern, Dauer etwa ein Jahr), die zu Beobachtungen zur Wiederbesiedlung Gelegenheit gab. Daneben wurden weitere Objekte mit aktuell anstehendem Sanierungsbedarf ausgesucht (Hollerichtunnel, Langenauer Tunnel im Lahntal sowie Wiedbachtalbrücke und Theißtalbrücke der Autobahn A3). Da sich bei allen vier Objekten der Beginn der Bauarbeiten verzögert hat, konnte im Zeitrahmen des Forschungsprojektes kein Sanierungsablauf begleitet werden; die Darlegung basiert deswegen ausschließlich auf Angaben aus Sekundärquellen (Kap. 7.2.3).

An elf Objekten fanden mehrmalige Besatzkontrollen statt, Aufzeichnungen zur Fledermausaktivität sowie Temperaturmessungen an nachweislichen und neu eingerichteten Hangplätzen.

7.2.2 Kontrollen zur Fledermauspräsenz in Brücken und Tunnel

Bei den Begehungen der Tunnel und Brücken wurden die Deckenbereiche sowie möglichst alle erreichbaren Ritzen und Spalten (z.B. hinter Stromkästen o.ä.) gründlich ausgeleuchtet und nach eventuell dort hängenden Fledermäusen bzw. Spuren von ihnen gesucht (Kotkrümel, bräunliche Verfärbungen vom Körperfett der Tiere). Gleichzeitig wurde auch immer der Boden nach eventuellen Ansammlungen von Kotpellets abgesucht, die sich typischerweise unter frequentierten Hangplätzen finden. In glattwandigen Brückenbauten war dies in der Regel etwas einfacher als in Eisenbahntunnel mit dem dortigen Gleisschotterbett und teilweise kluftreichen Seitengängen.

Tabelle 7-1: Intensivuntersuchungen an sieben Brücken und vier Tunnel

Name	Nutzung	Ort	Länge	Beschreibung	Begehungen	Datenaufzeichnung
Theißtalbrücke (ICE)	NBS 2690	Niedern-hausen	484 m	Neubau mit großen Hohlkammern in Brückenköpfen (Nordseite mit Styroporplatten als Fledermausquartier) und 9 Hohlwannenkammern unter Fahrbahn	20.10.2005 14.11.2005 12.12.2005 18.01.2006 26.01.2006 07.03.2006 12.04.2006 26.04.2006 26.06.2006	Temperaturdatalogger (20.10.05 – 04.05.06; #2: Widerlager Nord, #3: hinter Styrodurplatte, #10: in 3. Hohlkammer von Nord) AnaBat-Installation (14.11.05 - 26.04.06)
Theißtalbrücke (Autobahn)	A3	Niedern-hausen	500 m	Altbau mit Rundbögen und Spannbetonanbau (ohne Hohlkammern), Quartiere in Längsspalte und Hohlräumen im Altbauteil	20.10.2005 14.11.2005 12.12.2005 18.01.2006 26.01.2006 07.03.2006 12.04.2006 26.04.2006 26.06.2006	Temperaturdatalogger (20.10.05 – 04.05.06; #1: Spaltenquartier im Widerlager Nord, #8: Kontrollpunkt an Baum zwischen Autobahn- und ICE-Brücke) AnaBat-Installation (14.11.05 - 26.04.06)

[42] vgl. Beschreibung zum Lahn-Dill-Kreis in Kap. 7.3.1 (im Frühjahr Einflüge in die Brücke – im Sommer nur wenige Einzeltiere – im Herbst größte Besatzdichte – im Winter verwaist).

Name	Nutzung	Ort	Länge	Beschreibung	Begehungen	Datenaufzeichnung
Brexbachtal-brücke (Auto-bahn)	A48	Höhr-Grenz-hausen	232 m	Spannbeton-Hohlkas-tenbrücke mit begehba-ren Widerlagern und 14 Kammern unter der Fahrbahn (Sanierung 2001, Kasteninstallatio-nen 2003/04	13.09.2006 20.09.2006 28.02.2007	Temperaturdatalogger (13.09.06 – 27.02.07; #1: Brückenkopf-Nord, #2: Hohlwanne bei Brücken-kopf-Nord, #3-6: Holzkästen und De-ckenloch in Hohlwanne) Aufhängung Styrodurkasten im Brückenkopf-Nord (Da-talogger # 7-8)
Moseltalbrücke (Autobahn)	A 61	Dieblich	935 m	Stahlbrücke mit Hohl-kammer unter Fahrbahn und sehr geräumigen Hohlkammern in den Brückenköpfen (auf der Südseite zweiteilig)	28.08.2006 14.09.2006 26.02.2007	Temperaturdatalogger (14.09.06 – 26.02.07) und Aufhängung Styrodurkasten im Brückenkopf-Süd (Süd-kammer)
Guldenbachtal-brücke (Auto-bahn)	A 61	Erbach	165 m	Stahlbetonbrücke mit of-fenen Widerlagern und Spalte zwischen den Fahrbahnen	28.08.2006 14.09.2006 26.02.2007	Temperaturdatalogger (14.09.06 – 26.02.07) und Aufhängung Styrodurkasten im Widerlager
Nahetalbrücke (Autobahn)	A 61	Bingen	523 m	Stahlbetonbrücke mit of-fenen Widerlagern	19.07.2006 14.09.2006 26.02.2007	Temperaturdatalogger (14.09.06 – 26.02.07) und Aufhängung Styrodurkasten im Widerlager
Wörsbachtal-brücke (ICE)	NBS 2690	Brechen	420 m	Stahlbetonbrücke mit gekammerter Hohl-wanne unter Fahrbahn, Einflüge oberhalb der Brückenpfeiler	22.02.2006 03.10.2006 23.02.2007	Temperaturdatalogger (03.10.06 – 23.02.07) und Aufhängung Styrodurkasten im Brückenkopf sowie in Hohlwannenkammer in Brü-ckenmitte
Loreleytunnel (DB)	Mittelrhein-strecke, rechte Rheinseite (3507)	St. Goar-shausen	368 m	Rundbogenmauerwerk mit Wandnischen, 2004 Öffnung 2 ehemalige Sprengkammern (20+25m lang)	16.12.2005 19.01.2006 21.09.2006 08.11.2006	Temperaturdatalogger AnaBat-Installation in Sprengkammer Ost (16.12.05 – 18.01.06 und 21.09.06 – 08.11.06)
Cramberger Tunnel (DB)	Lahntal-bahn (3710)	Cramberg	732 m	Rundbogenmauerwerk mit Wandnischen und 2 Seitenstollen	20.10.2005 07.02.2006 27.09.2006 09.11.2006	Temperaturdatalogger (Ana-Bat-Installation in beiden Seitenstollen (27.09.06 – 09.11.06)
Hollerichtunnel (DB)	Lahntal-bahn (3710)	Nassau	319 m	Rundbogenmauerwerk mit Wandnischen, spal-tenreiche Portale	01.02.2006 04.07.2006 12.07.2006	AnaBat-Installation vor Tun-nelportal NO-Seite (04.07.06 – 12.07.06)
Langenauer Tunnel (DB)	Lahntal-bahn (3710)	Langenau	232 m	Rundbogenmauerwerk mit Wandnischen, spal-tenreiche Portale	01.02.2006 04.07.2006 12.07.2006	AnaBat-Installation vor Tun-nelportal NO-Seite (04.07.06 – 12.07.06)

Zur genaueren Analyse der Nutzungsfunktion für Fledermäuse wurden in zwei ICE-Talbrücken, fünf Autobahn-Talbrücken und vier Eisenbahntunnel mehrmalige Besatzkontrollen durchgeführt, kombiniert mit mehrmonatigen Messungen zum Temperaturverlauf an tatsächlichen und potenziellen Hangplätzen sowie mit mehrnächtlichen Aktivitätsaufzeichnungen zur Präsenz fliegender Fledermäuse im oder am Objekt (für Details vgl. Tabelle 7-1).

In der Theißtalbrücke der ICE-Neubaustrecke 2690 befinden sich im nördlichen Brückenkopf aus Holzlatten und Styrodurplatten gefertigte Spaltenquartiere für Fledermäuse, die als naturschützerische Kompensationsmaßnahme im Zusammenhang mit dem Streckenbau konzipiert wurden. Am DB-Loreleytunnel der Mittelrheinstrecke, rechte Rheinseite (3507), wurden 2004 zwei ehemalige Sprengkammergänge geöffnet, die ebenfalls im Zuge von Kompensationsmaßnahmen für Fledermäuse hergerichtet

werden sollen (GBM 2004). In der Brexbachtalbrücke der Autobahn A48 bei Höhr-Grenzhausen wurden im Winter 2003/2004 Fledermauskästen aus Holz installiert, nachdem eine Komplettsanierung dieser Hohlkammerbrücke 2001 durchgeführt wurde. Diese aus Planungsfällen resultierenden Ersatz-, bzw. Neuquartierangebote wurden im Rahmen des oben beschriebenen „Intensivprogramms“ auf die Annahme durch Fledermäuse genauer untersucht. In fünf Talbrücken wurden außerdem Styrodur-Plattenkästen aufgehängt (Eigenbau, Abbildung 7-1), um deren Temperatureigenschaften in situ während des Winters 2006/2007 (15. bzw. 22.09.2006 – 23.02.2007) zu testen.

Abbildung 7-1: Styrodurkasten (Eigenbau) im Brückenkopf einer Autobahnbrücke

Rot: Datalogger zur Messung der Außentemperatur (drei weitere in jedem der Zwischenplattenschichten); gelb: Anflug von Fledermäusen zur möglichen Quartierbesiedlung Maße des Kastens: 60 cm breit x 120 cm hoch, Abstände von hinten nach vorne 35 mm, 23 mm und 18 mm, Dicke der Styrodurplatten 20 mm

Neben Temperaturmessungen wurden in einem der Sprengstollen des Loreleytunnels, in zwei Seitenstollen des Cramberger Tunnels sowie vor den Ostportalen zweier weiterer Tunnel im Lahntal (Hollerich und Langenau) Aufzeichnungen zur Flugaktivität von Fledermäusen mittels der automatisch arbeitenden AnaBat-Apparaturen[43] gemacht. Auch im Bereich des neu errichteten Ersatzquartiers in der ICE-Theißtalbrücke sowie unter dem ersten Nordbogen der Autobahn-Theißtalbrücke wurde mit der gleichen Methode die Präsenz fliegender Fledermäuse im Winterhalbjahr 2005/2006 (November/Dezember und März/April) dokumentiert.

[43] Für die Gerätebeschreibung wird auf Kap. 3 und Kap. 8 verwiesen.

7.2.3 Literaturauswertung

In Ergänzung zu den eigenen Objektbegehungen wurde auch in Sekundärquellen (Fachzeitschriften, Diplomarbeiten, Gutachten u.ä.) nach möglichst exakten Beschreibungen dokumentierter Fälle nachweislicher Fledermausnutzungen von Talbrücken und Tunnel gesucht. Die Suche bezog sich bei Veröffentlichungen in chiropterologischen Fachzeitschriften (vornehmlich *Nyctalus* [Neue Folge], Berlin, und *Myotis* [International Journal of Bat Research], Bonn) auf Artikel der letzten 27 Jahre. Vereinzelt fanden sich auch Hinweise zur Fledermausnutzung in Fachgutachten für die Straßenbau- und Eisenbahnverwaltung. Ein weiterer, umfassender Datenfundus ergab sich aus Auswertungen von früheren Erhebungen im Rahmen regionaler Artenschutzprojekte in Rheinland-Pfalz (FUHRMANN 1992) und Hessen (KOETTNITZ & HEUSER 1994) sowie von Datenbanken von Privatpersonen und Landesstellen für Fledermausschutz (in Hessen: ZAENKER & GLEBE, Thüringen: GEIGER, Nord- und Südbayern: HAMMER & ZAHN, Baden-Württemberg: BRAUN & NAGEL, Nordrhein-Westfalen: TRAPPMANN & FUHRMANN sowie Niedersachsen: POTT-DÖRFER.[44]

Insgesamt konnten aufgrund dieser Informationen zusätzliche Daten zum Fledermausbesatz in 6 weiteren Tunneln, Brückenpfeilern von zwei im 2. Weltkrieg zerstörten Brücken sowie 70 Straßen- und 5 Eisenbahntalbrücken zusammen getragen werden. Die Ergebnisse der eigenen Kontrollen und die Ergebnisse aus genannten Sekundärquellen sind in Abbildung 7-2 zusammengefasst. (Die Erfassungsprotokolle werden aus Gründen des Artenschutzes nicht publiziert). Erhoben wurden – soweit verfügbar – Daten zur Objektbeschreibung (Baujahr, Dimension, Struktur im Hinblick auf Fledermaushangplätze und deren Lage im Objekt), zum landschaftlichen Umfeld (Standort, Naturraum, Höhenstufe[45], Januar- und Juli-Mitteltemperatur[46]), der artspezifische Quartierstatus (Winterquartier, Wochenstube, Einzelsommer-/Paarungsquartier) sowie Informationen zu bekannten Problemen oder Gefahrensituationen für den Fledermausbesatz und den bisher umgesetzten Lösungen und deren Erfolg.

---

[44] Allen Damen und Herren die ihre Daten bereit gestellt haben, sei an dieser Stelle herzlich für ihre Unterstützung gedankt.

[45] „planar/collin“ = 0 – 200 m ü.NN, „submontan” = 201 – 700 m ü.NN, „montan” = über 700 m ü.NN

[46] Karten des Deutschen Wetterdienstes; MÜLLER-WESTERMEIER et al. (1999).

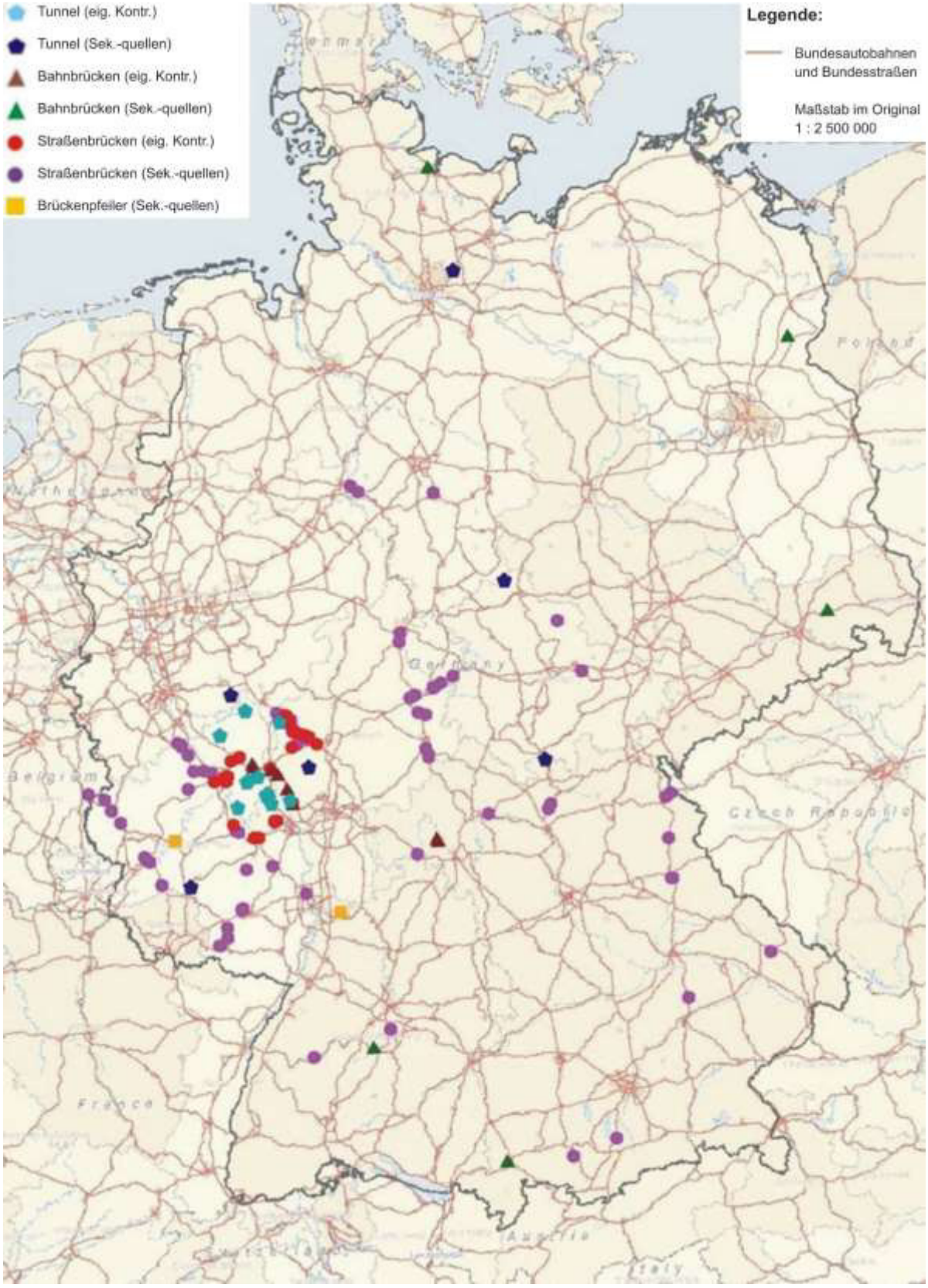


Abbildung 7-2: Tunnel und Brücken an Verkehrswegen mit Fledermausbesatz (Quelle: eigene Kontrollen und Sekundärquellen, 1950 – 2007)

7.3 Ergebnisse

7.3.1 Talbrücken an Straßen– und Eisenbahnstrecken

7.3.1.1 Nutzung von Brücken durch Fledermäuse

Die im Folgenden zusammengestellte Übersicht zum Fledermausbesatz in Talbrücken an Straßen– und Eisenbahnstrecken in Deutschland umfasst Daten zu 120 Objekten (102 Straßenbrücken, 16 Bahnbrücken und zweimal Brückenpfeiler zerstörter Brücken). Für zwölf verschiedene Fledermausarten ist eine Quartiernutzung belegt (Abbildung 7-3). Als dreizehnte Art ist die Kleine Hufeisennase (*Rhinolophus hipposideros*) hinzuzufügen, für die mindestens ein Sommerquartier in einer bayerischen Autobahnbrücke bekannt ist (MESCHEDE & RUDOLF 2004), dessen Fundort aber aus artenschützerischen Gründen nicht näher benannt wird.

Insgesamt wurden vier Fledermausarten häufig bis regelmäßig in großen Brücken angetroffen:

- Großes Mausohr, *Myotis myotis* (in 64% aller Objekte),
- Zwergfledermaus, *Pipistrellus pipistrellus* (in 38% aller Objekte),
- Graues oder Braunes Langohr, *Plecotus austriacus/ auritus* (in 24% aller Objekte) und
- Großer Abendsegler, *Nyctalus noctula* (in 16% aller Objekte).

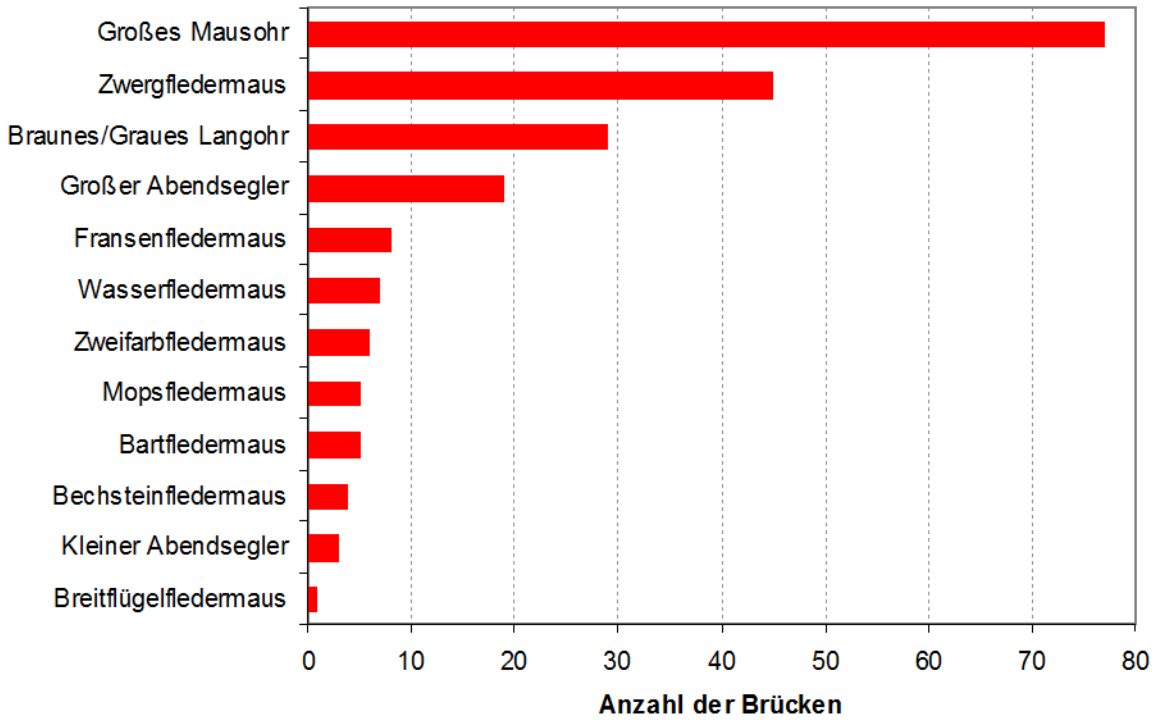


Abbildung 7-3: Häufigkeit des Nachweises verschiedener Fledermausarten in Großbrücken

Typische Fundplätze der Tiere sind (in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit in 118 auswertbaren Objektbeschreibungen):

- Hohlkammern unter der Fahrbahn (53%)
- im Brückenkopf (34%)

- in Spalten und Nischen (halb-)offener Widerlager (15%)
- in hohlen Brückenpfeilern (9%)
- in Außenspalten im Mauerwerk oder zwischen den Fahrbahnen (9%)
- ferner in vier Einzelfällen im Regenkanal, in Wasseraustrittsöffnungen und anderen Spalten an der Brückenunterseite sowie in Seilzuglöchern für Hebebühnen (zusammen 3%).

Die Tiere hängen typischerweise im Übergangsbereich Decke/(Zwischen-)Wand, an Kanten und Vorsprüngen rauer Betonwände (Unebenheiten und Reste von Schalungsbrettern) oder auch an Drahtkörben der Deckenbeleuchtung (s. Schemazeichnung in Abbildung 7-4). Ansonsten nutzen manche Tiere auch Spalten und Nischen an Decken, Wänden und sogar im Bodenbereich (z.B. [verstopfte] Abflussöffnung).

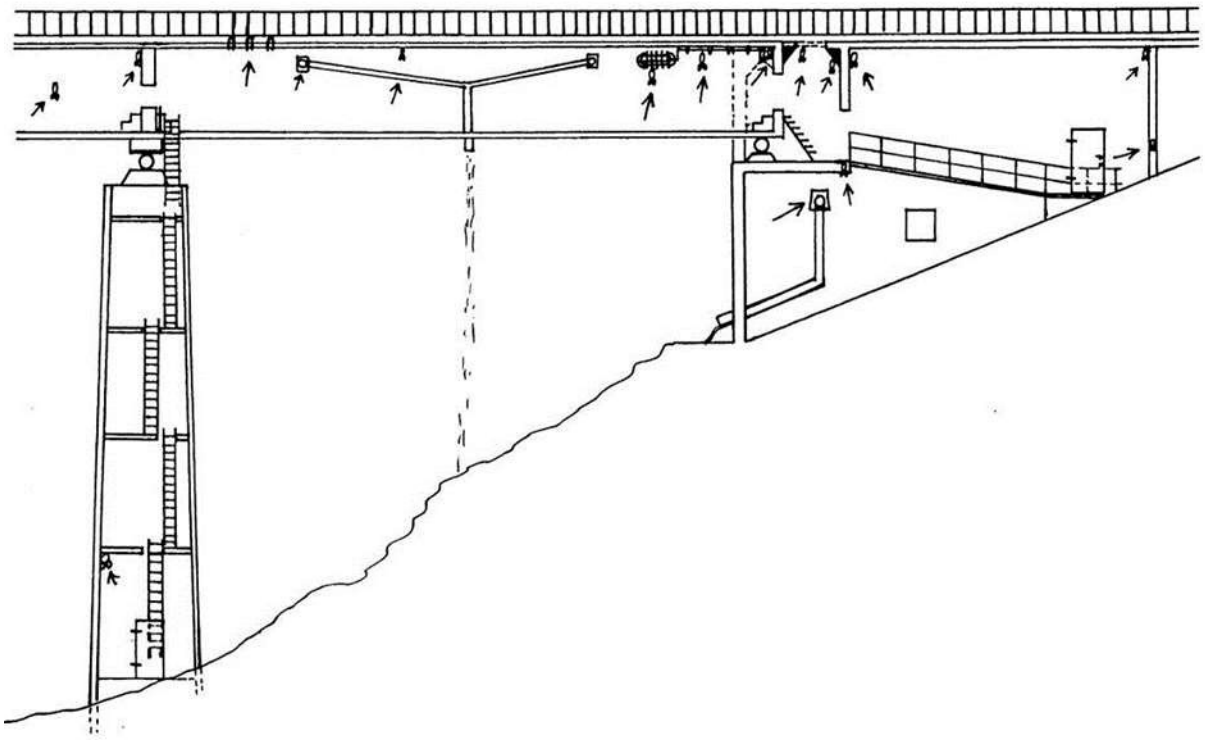


Abbildung 7-4: Schemazeichnung einer Autobahnbrücke mit Widerlagern und Hohlwannenkammern unter der Fahrbahn sowie Einzeichnung typischer Fledermaus-Hangplätze (aus KOETTNITZ & HEUSER 1994)

Die Artenzahl pro Objekt variiert zwischen einer und sieben Arten, wobei die Hälfte aller Brücken nur eine Fledermausart beherbergt.

Die meisten betrachteten Brücken sind in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (54%) erbaut worden. Ältere Bauwerke aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts werden tendenziell von mehr Arten bewohnt (s. Abbildung 7-5) (nicht signifikant, Chi^2-Tests für alle vier Zeitspannen; p jeweils > 0,05). Auch ist keine Abhängigkeit der Artenzahl von der Brückenlänge nachweisbar (s. Abbildung 7-6).

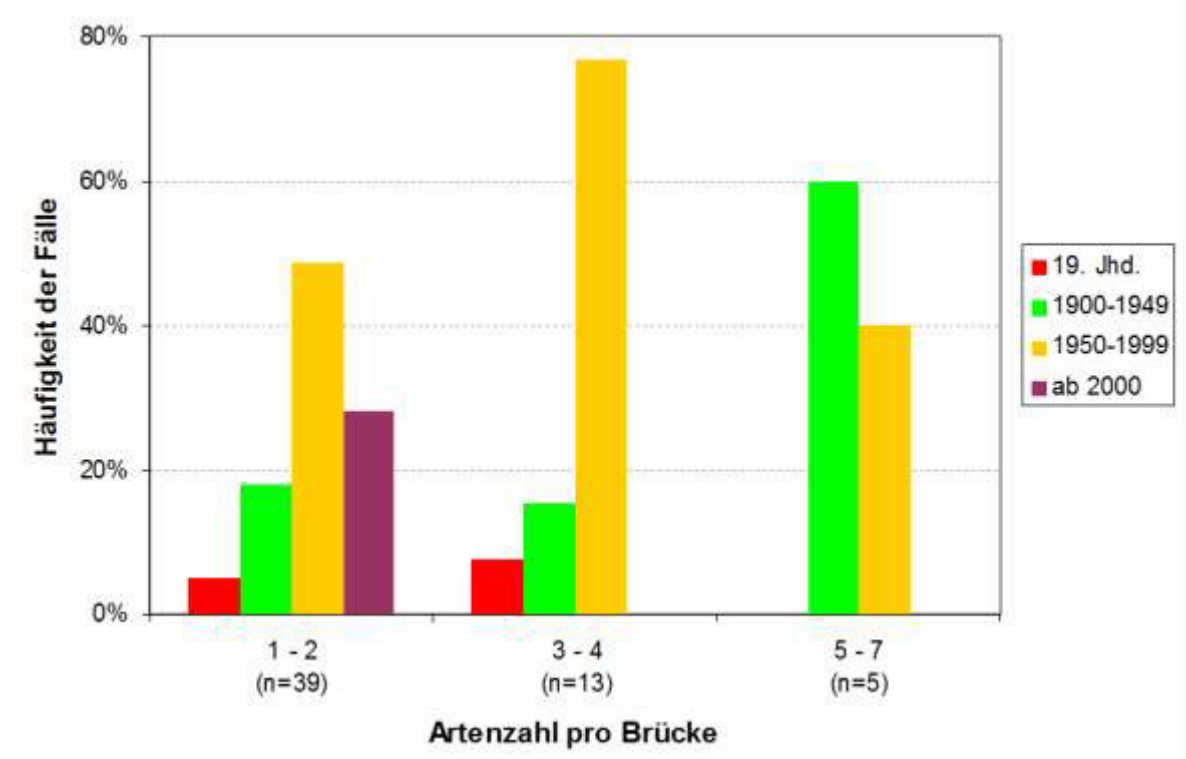


Abbildung 7-5: Zahl der Fledermausarten in Brücken unterschiedlichen Alters

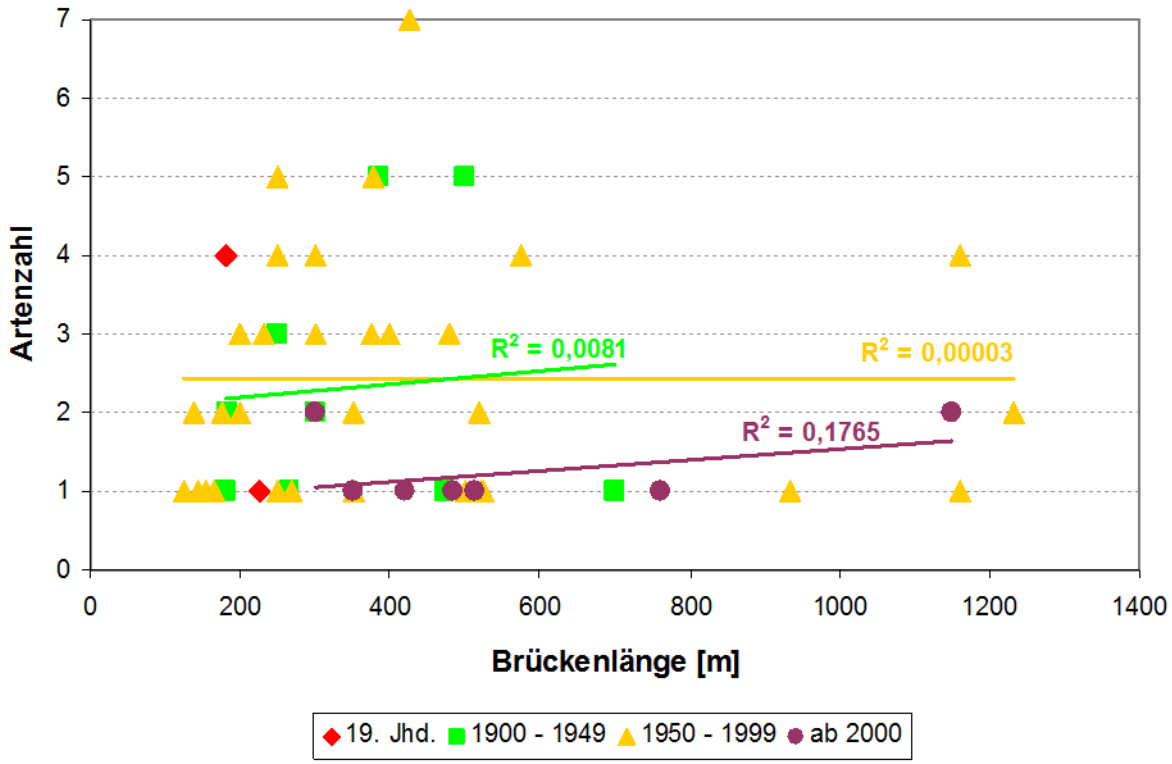


Abbildung 7-6: Zahl der Fledermausarten in Brücken unterschiedlicher Länge

Hinsichtlich der Besatzgröße in Talbrücken gibt es eine enorme Schwankungsbreite (s. Abbildung 7-7). Die vier individuenstärksten Quartiere (alle über 1000 Tiere) sind:

- die Levensauer Kanalhochbrücke der Eisenbahn über den Nord-Ostsee-Kanal bei Kiel (Massenwinterquartier u.a. für Große Abendsegler und Zwergfledermäuse),
- die Autobahnbrücke über das Ourtal in der Eifel (Massenschwarm- und Winterquartier für Zwergfledermäuse),
- die Autobahnbrücke über den Main bei Bettingen (Wochenstubenquartier für Große Mausohren) und
- die Autobahnbrücke bei Kleinenbremen/Porta Westfalica (Massenwinterquartier für Große Abendsegler).

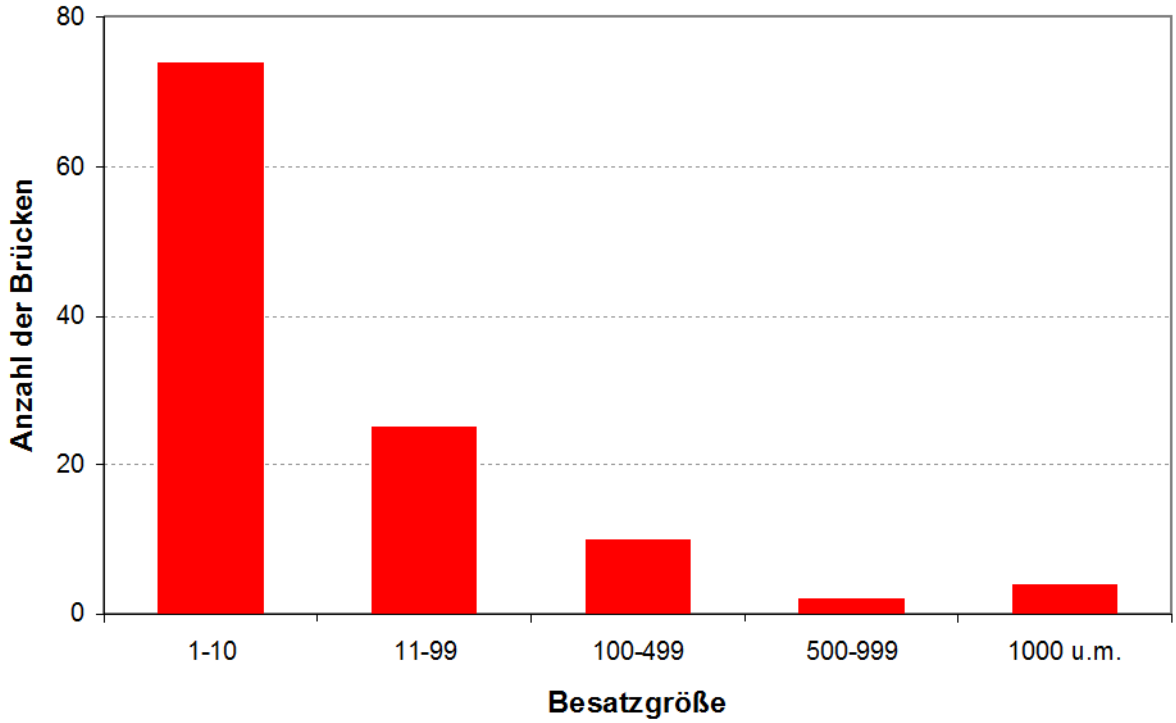


Abbildung 7-7: Höchstzahl angetroffener Fledermäuse pro Brücke

7.3.1.2 Funktion der Brücken für Fledermäuse

Brückenquartiere stellen die verschiedensten Quartierfunktionen bereit: Von allen zwölf nachgewiesenen Arten wurden Winterquartiere entdeckt, bevorzugt in submontanen Lagen (vgl. Tabelle 7-2). Für Breitflügel- und Zweifarbfledermäuse sind keine anderen Funktionen als die des Winterquartiers bekannt. Für alle übrigen zehn Arten haben Brücken auch Sommerquartiersfunktion. Dabei überwiegen Beobachtungen zur Zeit der Wochenstubenauflösung und beginnenden Paarung (Mitte August bis Ende September). Schwarmaktivitäten machen knapp die Hälfte (48%) aller Besatznachweise aus. Nur vom Großen Mausohr und von der Wasserfledermaus sind – zum Teil bedeutende - Wochenstubenkolonien in Brücken bekannt (10x Große Mausohren und 3x Wasserfledermäuse).

Fraßreste (Kotkrümel und Nachtfalterflügel) weisen in vielen (weiteren) Brücken auf die zeitweise Anwesenheit von Fledermäusen hin, wobei der tatsächliche Quartierstatus nicht immer ermittelt werden

konnte. Neben Tagesverstecken bieten diese Bauwerke auch Ruheplätze während nächtlicher Jagdphasen (z.B. für die Dauer eines Regenschauers), wie Zufallsbeobachtungen zeigten, oder dienen als regelmäßig aufgesuchter Fraßplatz (vor allem für die beiden Langohrarten).

Tabelle 7-2: Quartierstatus des Fledermausbesatzes in Brücken unterschiedlicher Höhenlage

Art in Brückenquartieren	**planar/collin (0 – 200m ü.NN)**			**submontan (201 – 700m ü.NN)**			**montan (701 – 1300m ü.NN)**		
Großes Mausohr	WoS	SoQ		WoS	SoQ	WiQ	WoS		
Zwergfledermaus		SoQ	WiQ		SoQ	WiQ			
Langohren		SoQ	WiQ		SoQ	WiQ		SoQ	
Großer Abendsegler		SoQ	WiQ		SoQ	WiQ			
Fransenfledermaus					SoQ	WiQ		SoQ	
Wasserfledermaus		SoQ	WiQ	WoS		WiQ	WoS	SoQ	
Zweifarbfledermaus						WiQ			WiQ
Mopsfledermaus						WiQ		SoQ	
Bartfledermaus					SoQ	WiQ			
Bechsteinfledermaus					SoQ	WiQ			
Kleiner Abendsegler					SoQ	WiQ			
Breitflügelfledermaus			WiQ						
Anzahl der Objekte	39			73			6		

WoS = Wochenstube, SoQ = Sommerquartier (Einzeltiere, kleine Gruppen, auch Paarungs- oder sogenannte Zwischenquartiere), WiQ = Überwinterungsquartier

In 48 kontrollierten Straßenbrücken in Rheinland-Pfalz (vornehmlich Autobahnen) waren 34 Objekte (71 %) nachweislich von Fledermäusen genutzt (FUHRMANN 1992). Im Lahn-Dill-Kreis (Mittelhessen) wurden sogar in sämtlichen kontrollierten Straßenbrücken der Autobahnen und Bundesstraßen mit Hohlkammern Spuren eines Fledermausbesatzes festgestellt (R. HEUSER pers. Mitt. 2006). Hier zeigte sich zudem für die am häufigsten registrierten Großen Mausohren eine bevorzugte Nutzung von Brückenbauten durch Einzeltiere in der Nähe von Wochenstuben (vgl. Abbildung 7-8). Größere Ansammlungen von bis zu 75 Tieren pro Brücke finden sich dort im Zeitraum März/April. Über die Sommermonate trifft man meist nur einzeln hängende Tiere an. Sichtungen von Kleingruppen (Clustern) mit drei bis sieben (auch zwölf) Tieren finden sich dann im August/September, aber auch noch bis in den Oktober hinein. Überwinterungen von Großen Mausohren in Brücken wurden in den ausgewerteten Beschreibungen für ganz Deutschland zehnmal festgestellt, jedoch ausschließlich in Höhenlagen oberhalb 200 m ü. NN (Sommernachweise insgesamt 69-mal).

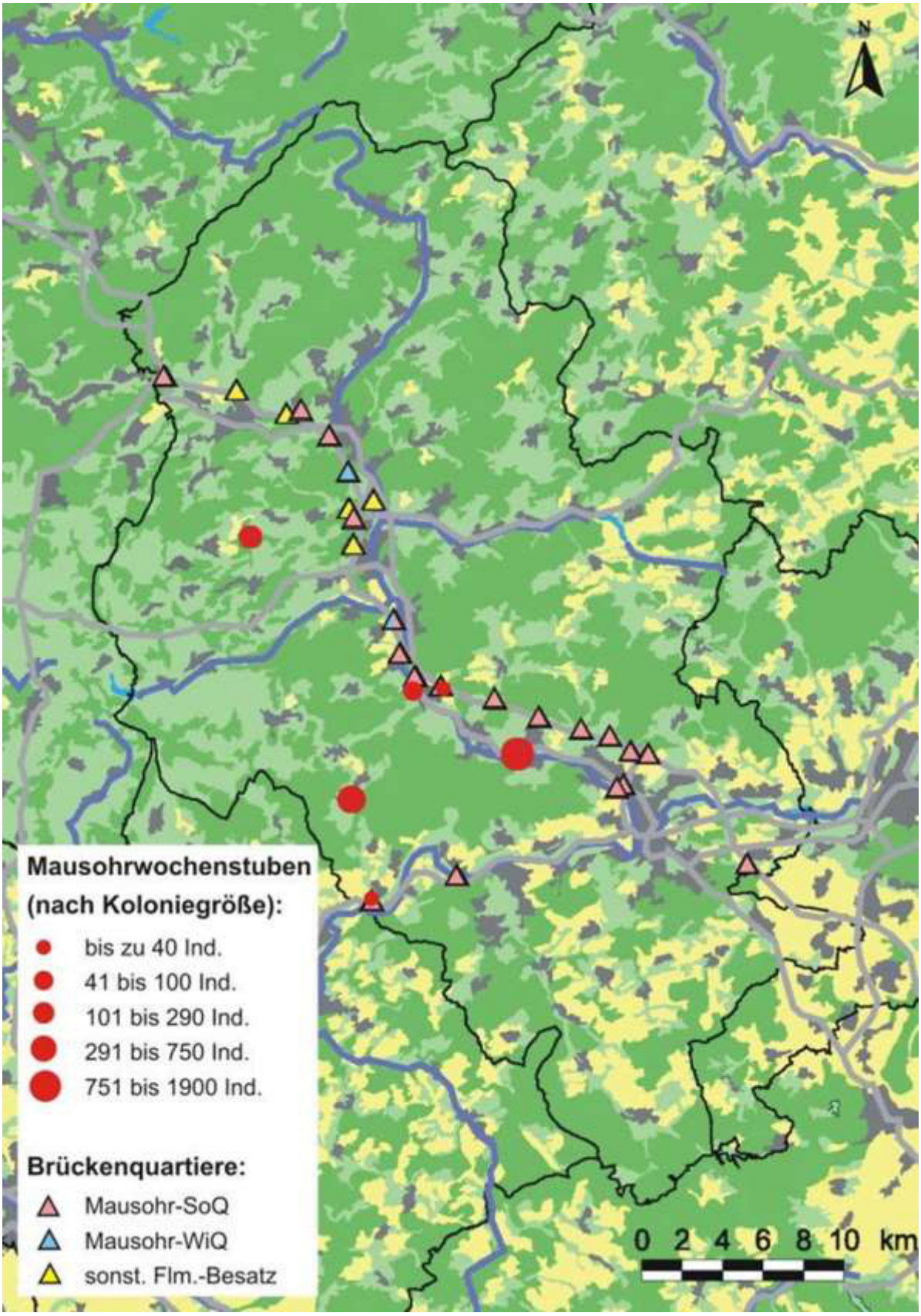


Abbildung 7-8: Verteilung von Mausohrquartieren in Straßenbrücken im Umfeld zu bekannten Wochenstuben im Lahn-Dill-Kreis (Daten R. HEUSER, ergänzt)

7.3.1.3 Besiedlungslimitierende Faktoren in Brücken

Klimatisch - geographische Faktoren

Die Verteilung der Funde der vier am häufigsten festgestellten Fledermausarten auf die sechs Haupteinheiten der Naturräume in Deutschland zeigt Abbildung 7-9, wobei aus dem nördlichen Tiefland sowie dem Alpenvorland sich allerdings nur wenige Beispiele von durch Fledermäuse genutzten Brückenbauten fanden. Die meisten Beobachtungen stammen aus den drei naturräumlichen Haupteinheiten der Mittelgebirge. Danach besiedeln Große Mausohren mehr oder weniger gleichförmig im gesamten Mittelgebirgsraum Verkehrswegebrücken. Für die Zwergfledermäuse scheint aber die Nutzung von Brücken vom westlichen Mittelgebirge über den östlichen zum südwestlichen abzunehmen. Langohr-Funde (Gattung *Plecotus*) in Brücken häufen sich dagegen tendenziell im östlichen Mittelgebirge. Funde des Großen Abendseglers sind wiederum gleichmäßig in allen drei Mittelgebirgsregionen vertreten, wenn auch deutlich seltener als Große Mausohren. Chi²-Tests zeigten aber in keinem Fall eine vom Zufall abweichende, statistische Absicherung dieser Ergebnisse auf dem 5%-Niveau.

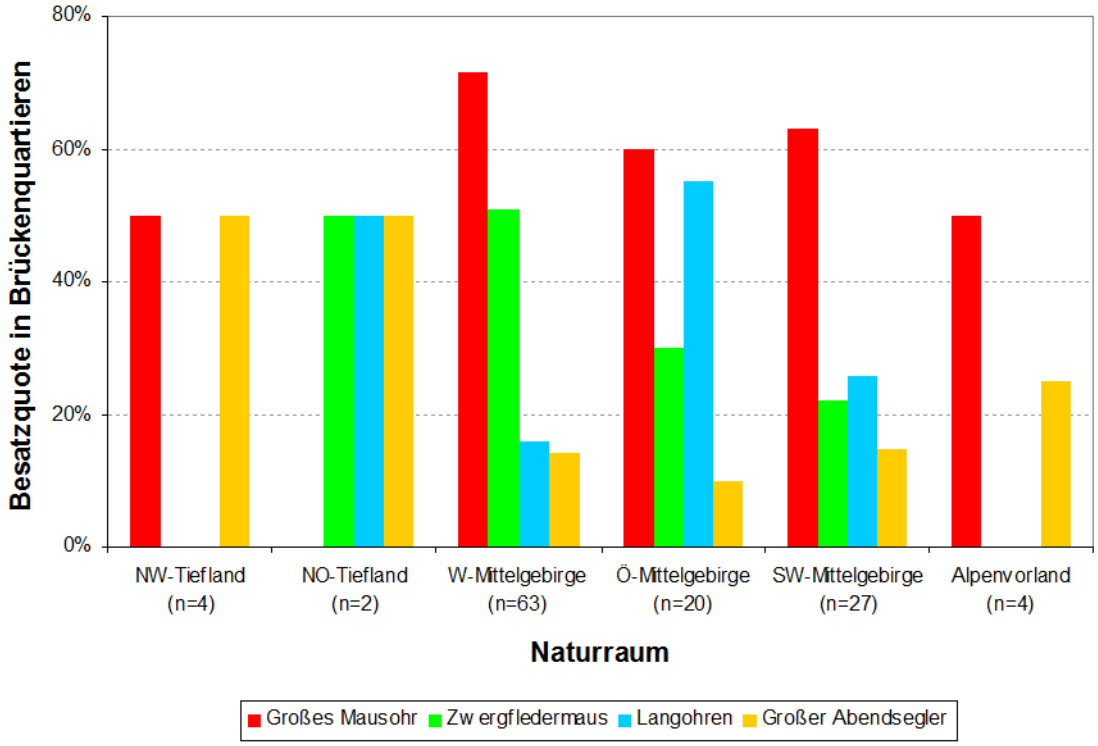


Abbildung 7-9: Nachweishäufigkeit der am häufigsten registrierten Fledermausarten in Brückenbauten in den Naturraum-Haupteinheiten Deutschlands

Mortalität / Fallenwirkungen

Zwergfledermäuse sind die häufigsten Nutzer enger Quartierspalten (1 – 3 cm) an oder in Brückenbauwerken im Winterhalbjahr, gefolgt von Langohrfledermäusen, Großen Abendseglern und Großen Mausohren. Bei den Brückenkontrollen finden sich immer wieder Fledermäuse, die durch ungeklärte Ursachen zu Tode gekommen sind. Die Rate der Todesfälle ist nach Arten unterschiedlich (Abbildung 7-10). Bezogen auf die Nutzungsfrequenz als Winterquartier (Abbildung 7-11) ergab sich keine Übereinstimmung (Chi²-Tests für alle Arten: p jeweils > 0,05). Eine Abhängigkeit von der Klima(un)gunst der Quartiere (gemessen an der mittleren Januartemperatur) konnte nicht festgestellt werden (Vier-Felder-Chi²-Test, keine Signifikanz auf dem 5%-Niveau).). Dies verdeutlicht Abbildung 7-12 in Bezug auf Zwergfledermaus und dem Großen Abendsegler.

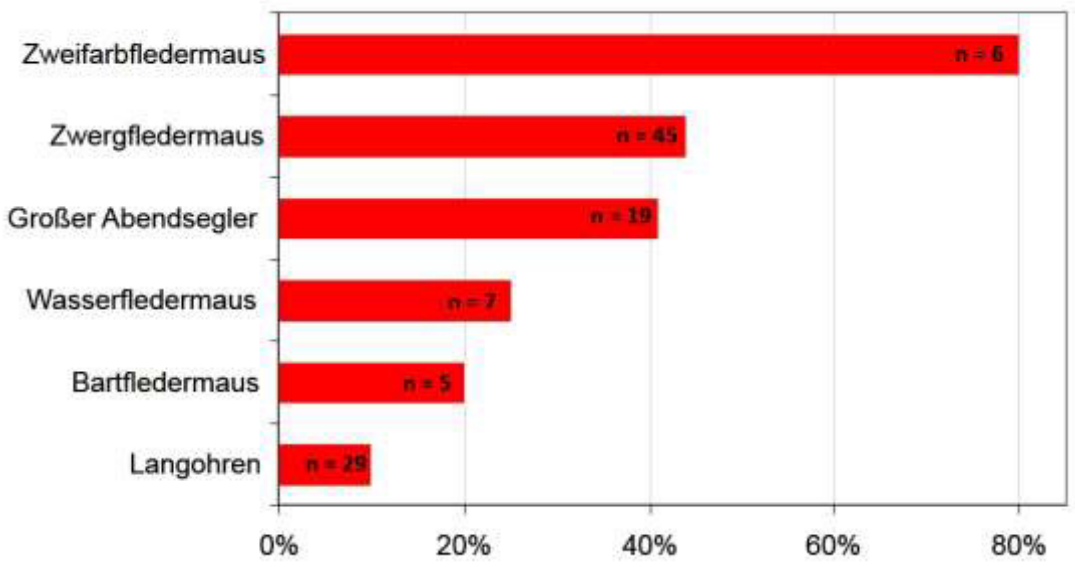


Abbildung: 7-10: Totfunde verschiedener Fledermausarten in Brückenbauten im Verhältnis zur Gesamtzahl (n) der Quartiernachweise einer Art

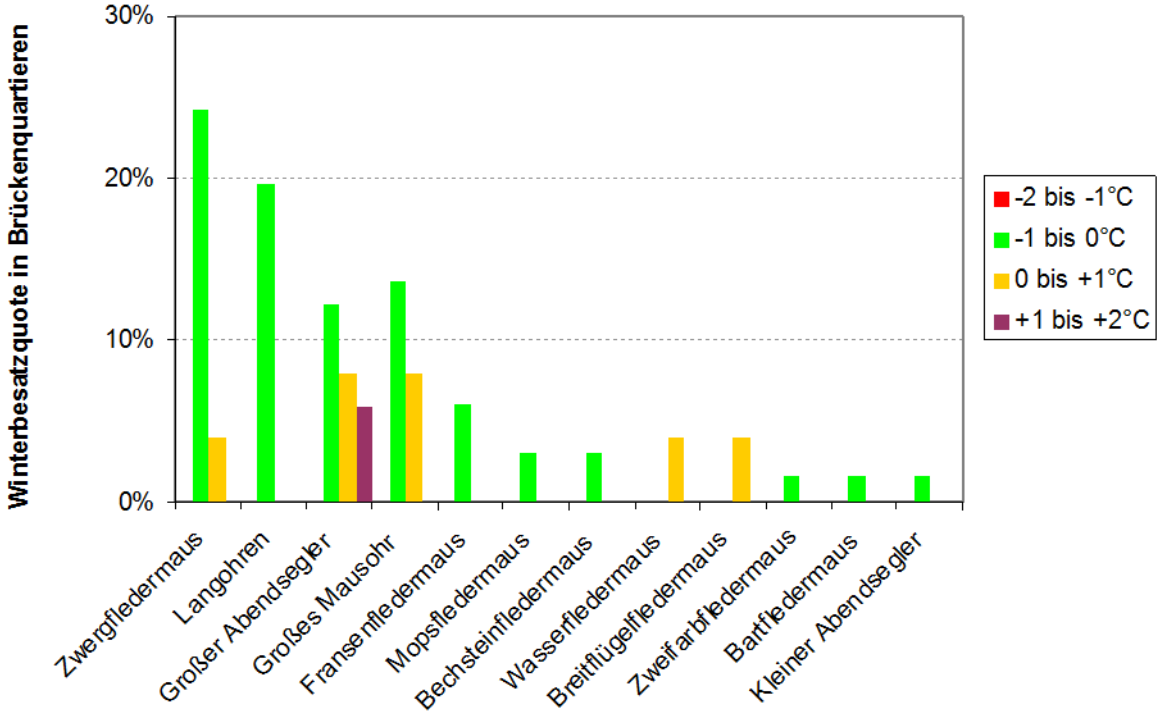


Abbildung 7-11: Winterbesatz durch Fledermausarten, differenziert nach der Januar-Mitteltemperatur am Standort der Brücken

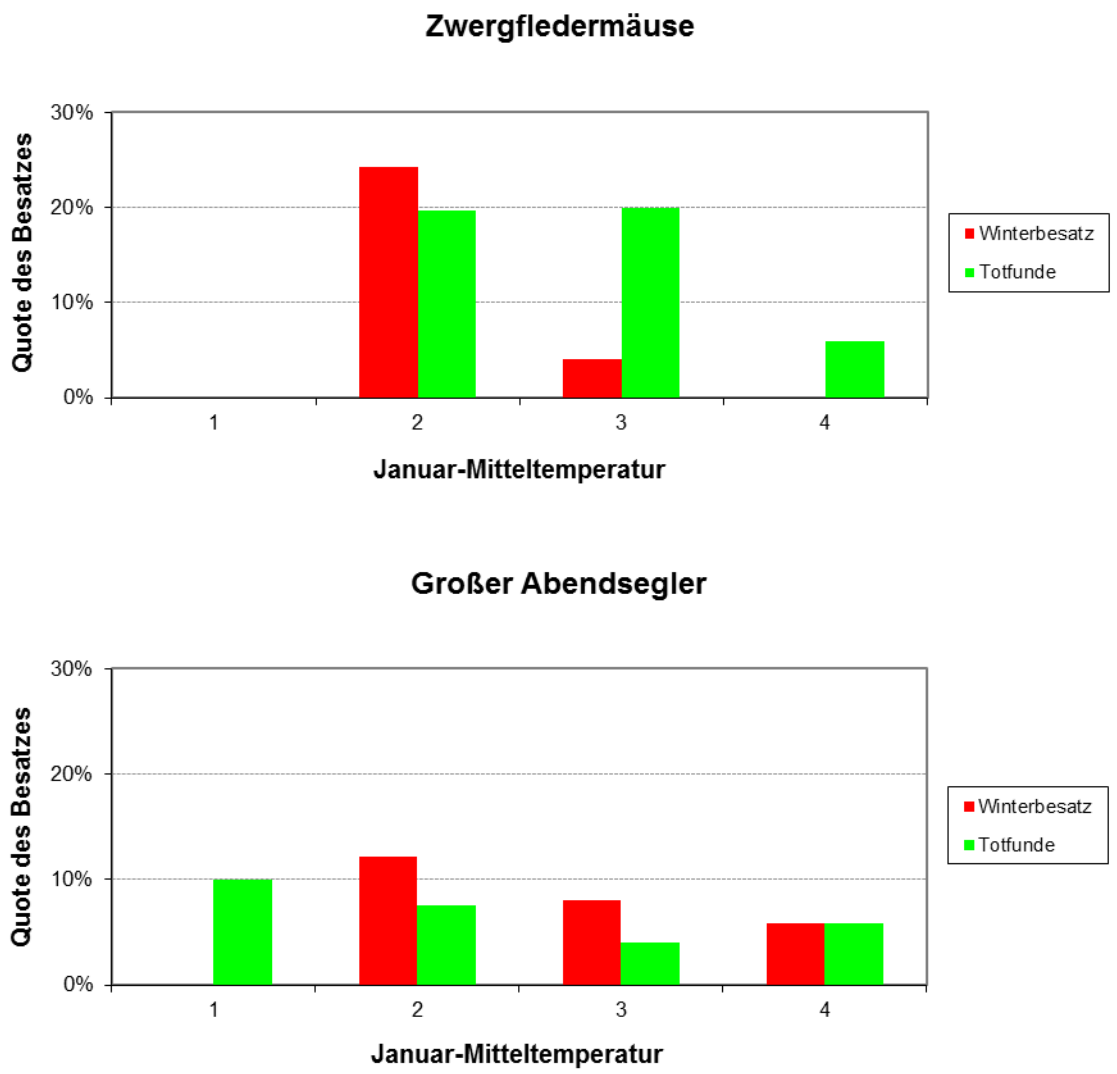


Abbildung 7-12: Winterbesatz von Zwergfledermäusen und Gr. Abendsegler in Brückenquartieren und Totfundrate an klimatisch unterschiedlichen Standorten (Januar-Mitteltemperatur, 0C)

Beim Sommerbesatz von Brücken ist gemessen an den Juli-Mittelwerten keine Vorzugstemperatur erkennbar (Abbildung 7-13). Große Mausohren und Langohren scheinen etwas häufiger in Quartieren anzutreffen zu sein, deren Lage sich durch Juli-Mittel-temperaturen zwischen 17 und 18°C auszeichnen, während Zwerg-, Fransen- und Mopsfledermäuse etwas häufiger (Letztere ausschließlich) in kühleren Lagen Brückenquartiere nutzen (nicht signifikant, Chi²-Tests für alle Arten: p jeweils > 0,05).

Für die häufigste mit Wochenstuben in Brücken vertretene Art Großes Mausohr ergab sich ebenso keine nachweisbare Präferenz in Abhängigkeit von der Sommerwärme (mittlere Julitemperatur) am Standort (s. Abbildung 7-14).

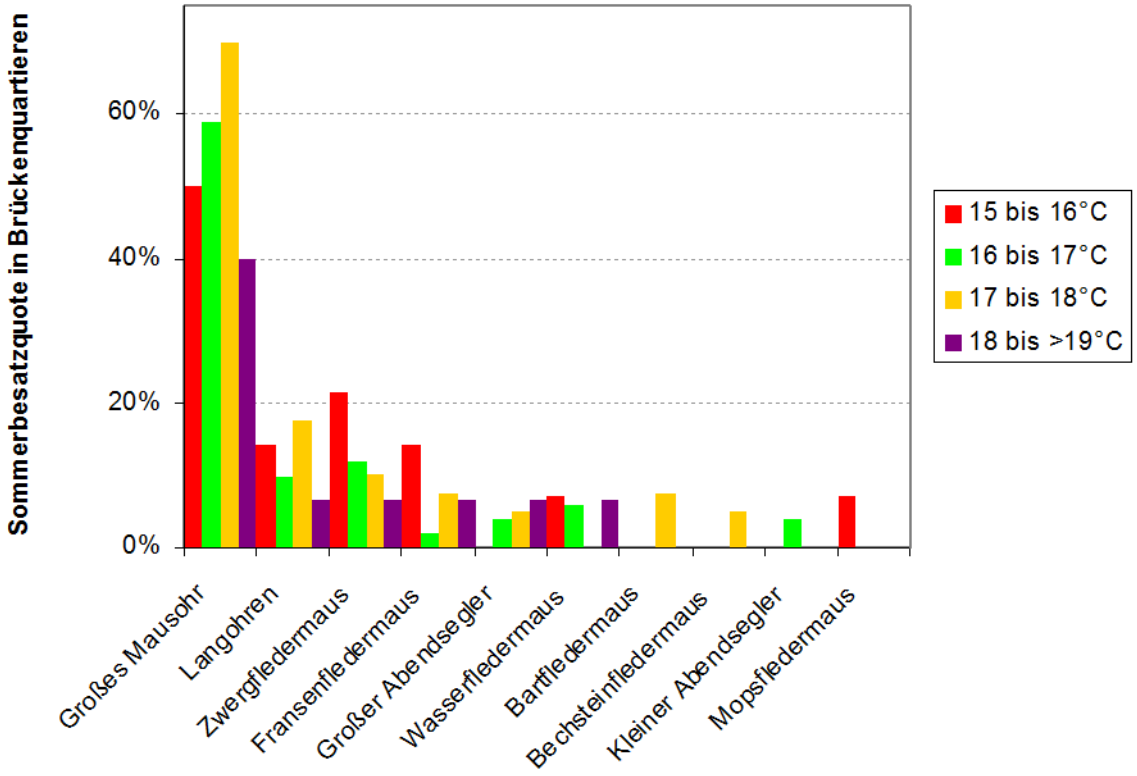


Abbildung 7-13: Sommerbesatz durch Fledermausarten nach Juli-Mitteltemperaturen am Standort der Brückenbauten

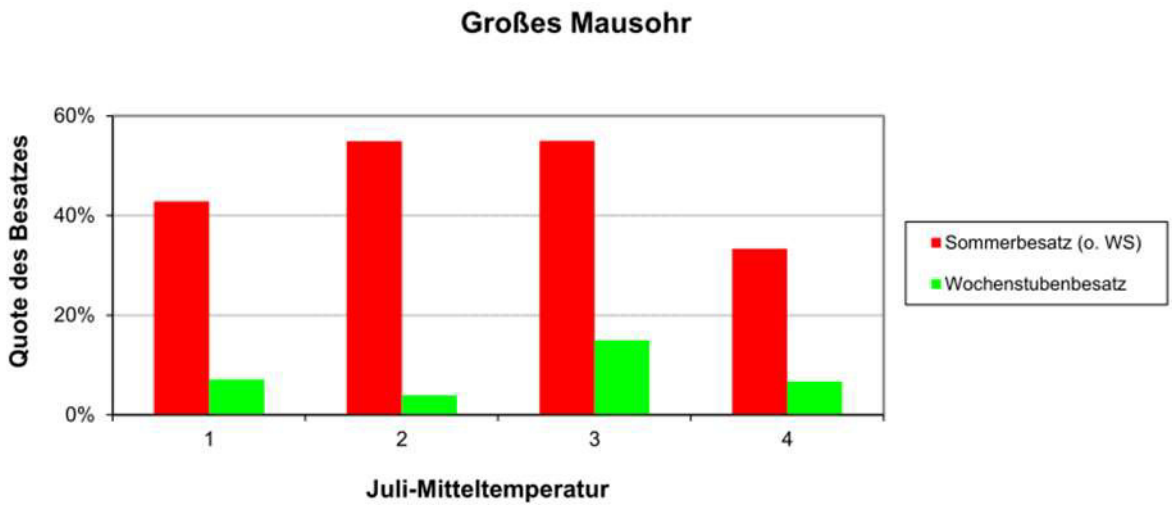


Abbildung 7-14: Differenzierung des sommerlichen Quartierbesatzes in Einzelquartiere und Wochenstuben des Großen Mausohrs in Brücken an Standorten unterschiedlicher Sommerwärme (Juli-Mitteltemperatur, ^{0}C)

7.3.1.4 Klimatische Eigenschaften der Hangplätze von Fledermäusen in und an Brücken

An den Hangplätzen der Fledermäuse wurden folgende Temperaturen ermittelt (Tabelle 7-3).

Tabelle 7-3: An Hangplätzen in Talbrücken mittels Datenlogger gemessene Temperaturen

Verkehrswegeobjekt	Durchschnittstemp.	Minimumtemp.
Autobahn-Theißtalbrücke (22.10.05 bis 04.03.06) Winterquartier von *Zwergfledermäusen*	3,5 °C	–3,7 °C
Autobahn-Brexbachtalbrücke (13.09.06 bis 27.02.07) Sommerquartier für *Große Mausohren*		
Brückenhohlräume:	8,5 bis 9,1 °C	–6,6 bis –2,8 °C
aufgehängte Kästen:	8,5 bis 9,4 °C	–2,2 bis –0,3 °C
Autobahn-Guldentalbrücke (16.09.06 bis 24.02.07) Sommerquartier von *Großen Mausohren*		
Offenes Widerlager:	7,9 °C	–4,9 °C
aufgehängter Kasten:	8,1 bis 8,3 °C	–3,2 bis –4,9 °C
Autobahn-Nahetalbrücke (16.09.06 bis 24.02.07) Sommerquartier von *Großen Mausohren*		
Offenes Widerlager:	10,1 °C	–0,6 °C
aufgehängter Kasten:	10,2 bis 10,4 °C	–0,8 bis –0,3 °C
Autobahn-Moseltalbrücke (16.09.06 bis 24.02.07) Sommerquartier von *Großen Mausohren*		
Brückenkopf:	9,8 °C	0,2 °C
aufgehängter Kasten:	9,8 bis 9,9 °C	0,1 bis 0,4 °C
ICE-Wörsbachtalbrücke (16.09.06 bis 24.02.07) Sommerquartier von *Großen Mausohren*		
Brückenkopf:	9,3 °C	3,8 °C
Brückenmitte:	8,6 °C	1,5 °C
aufgehängte Kästen:	8,7 bis 9,9 °C	2,0 bis 4,5 °C

<u>Hangplätze überwinternder Zwergfledermäuse in den Theißtalbrücken (Autobahn A3 und ICE) bei Niedernhausen in Hessen</u>

Die Hohlkammer des Widerlagers der ICE-Brücke stellt zwar einen geschlossenen Raum dar, doch breite Schlitze zwischen deren Betonwänden und der begehbaren Hohlwanne unter der Fahrbahn ermöglichen Fledermäusen einen einfachen Ein– und Ausflug. Entsprechend zeugen auch vereinzelte kleine Fledermaus-Kotpellets in dieser Hohlwanne sowie am installierten Fledermausspaltenquartier von gelegentlichen Einflügen (vermutlich von Zwergfledermäusen).

Aufzeichnungen der AnaBat-Apparaturen von Mitte November 2005 bis Mitte März 2006 in den nördlichen Brückenköpfen der beiden Theißtalbrücken erbrachten unterschiedliche Ergebnisse. Die Detektoraufnahmen in der Hohlkammer des Brückenwiderlagers der ICE-Strecke wiesen zwar einzelne Ultraschallereignisse im Widerlager auf. Die aufgenommenen Schallereignisse (Frequenzverlauf von 6 bis 120 kHz über teilweise eine Zeit von bis zu 5 Sekunden Länge) waren aber ausschließlich technischen Ursprungs, vermutlich von über die Brücke hinweg fahrenden ICE-Zügen und/oder Messfahrzeugen,

die teilweise ebenfalls Ultraschall zur Spurvermessung der Schienen verwenden.[47] Unter dem nördlichsten Brückenbogen der Autobahnbrücke (s. Abbildung 7-15) wurde dagegen eine rege Flugaktivität von Fledermäusen (zu 99% aller ausgewerteten Daten waren dies Zwergfledermäuse) ab Ende November mehr oder weniger kontinuierlich bis zum Jahresende registriert. In der 48. Kalenderwoche herrschte mit 17,6 Minuten Fledermausaktivität/Stunde im Mittel einer Nacht die höchste Präsenz im Bearbeitungszeitraum. Flugaktive Zwergfledermäuse wurden bis Mitte Dezember nahezu die ganze Nacht registriert, danach in der ersten Nachthälfte (s. Abbildung 7-16).[48] Neben Zwergfledermäusen wurden Ende November (48. Kalenderwoche) auch Rufe von Tieren der Gattung *Nyctalus* (Kleiner und/oder Großer Abendsegler) häufig aufgezeichnet.

Bei der Sichtkontrolle am 12. Dezember 2005 war das einsehbare Spaltenquartier im Nordbogen mit unzähligen Fledermäusen (Gattung *Pipistrellus*) besetzt, außerdem zwei Individuen der Zweifarbfledermaus (*Vespertitio murinus*). Fernglasbeobachtungen in weiteren Spalten im oberen Bogenbereich (etwa 10 m über dem Boden) zeigten dort einen Besatz von Abendseglern (*Nyctalus* spec.).

Im Frühjahr steigerte sich die Flugaktivität (99% Zwergfledermäuse) ab dem letzten Märzdrittel (12. KW) und erreichte Ende April einen ganznächtlichen Frühjahrshochwert von 14,9 Minuten Fledermausaktivität/Stunde. Zunächst waren die Tiere v.a. in der ersten Nachthälfte unter dem Brückenbogen flugaktiv, in der letzten Beobachtungswoche (17. KW) aber in beiden Nachthälften annährend gleich.

Abbildung 7-15: Fledermausüberwinterungsquartier in der Theißtal-Autobahnbrücke

[47] Auskunft von Mitarbeitern der Deutschen Bahn.

[48] Für die Monate Januar und Februar liegen aufgrund eines Geräteausfalls keine Vergleichsdaten vor.

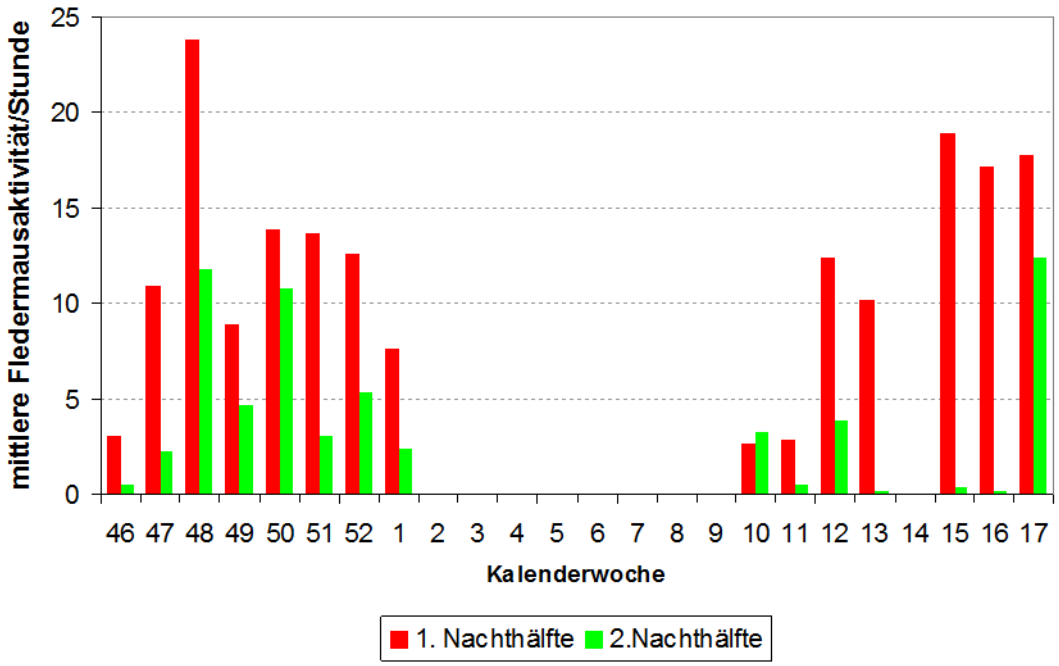


Abbildung 7-16: Fledermausflugaktivität im Nordbogen der Theißtalbrücke (Autobahn A3) bei Niedernhausen Mitte November 2005 bis Ende April 2006, ermittelt aus AnaBat-Rufaufzeichnungen in 39 exemplarischen Nächten

Die Messergebnisse der über 132 Tage im Winter 2005/06 ausgebrachten Temperaturdatalogger in der Quartierspalte im Nordbogen der Theißtal-Autobahnbrücke und (zur Kontrolle) an der Nordseite eines Baums zwischen den beiden parallel angeordneten Autobahn- und ICE-Brücken sind in Tabelle 7-4 dargestellt. Die Temperatur verläuft in dem von den Tieren besiedelten Quartierspalt deutlich gedämpft im Vergleich zum Kontrollmesspunkt außerhalb des Brückenbogens. Sowohl bei der Maximal- als auch bei der Minimaltemperatur differieren die Messergebnisse um über 60°C und auch die Mittelwerte liegen im Fledermausquartier um knapp 20°C höher.[49]

Tabelle 7-4: Temperaturmesswerte über den Zeitraum 22. Oktober 2005 bis 04. März 2006 an der Theißtal-Autobahnbrücke (Autobahn A3)

Datalogger	Min.-Temp.	Max.-Temp.	Spannweite	Durchschnitt ± Standardabw.
Theißtalbrücke (Autobahn-A3) - Nordspalte (unten):				
Theiß-1 (Quartierspalte)	- 3,7 °C	14, 6 °C	18,3 °C	3,5 ± 3,98 °C
Theiß-2 (Kontrolle zw. Brücken)	-10,0 °C	21,0 °C	31,0 °C	1,6 ± 5,13 °C

Dies garantiert den im Brückenbogen überwinternden Fledermäusen aber nicht immer ausreichende Überwinterungsmöglichleiten: unter den Brückenbögen wurden in zurückliegenden Wintern nach länger andauernden Frostperioden verschiedentlich tote Fledermäuse, meist Große Abendsegler gefunden.

[49] Vergleichbare Messdaten in der benachbarten ICE-Brücke können nicht präsentiert werden, weil die dort ausgebrachten Messgeräte entwendet wurden.

Ein Fund einer toten Zwergfledermaus am 26. Januar 2006 unter der Autobahn-Theißtalbrücke zwischen den Brückenpfeilern 13 und 14 reiht sich ein in diese Beobachtungen. In einem der Brückenpfeiler wurden bereits früher drei tote Große Abendsegler nachgewiesen (GODMANN 1997).

Temperaturmessungen an Hangplätzen Großer Mausohren in der Brexbachtalbrücke (Autobahn A48) bei Höhr-Grenzhausen in Rheinland-Pfalz

Bei der Erstbeschreibung des Fledermausbestands in dieser Brücke (Kontrolle am 05.09.1991 in FUHRMANN 1992) fanden sich 13 Tiere in sechs Päarchen (und einem herumfliegenden Tier) an jeweils getrennten Hangplätzen, verteilt in einigen von den 28 Kammern unter der Fahrbahn und in den beiden Brückenköpfen. Hinzu kamen damals noch neun Totfunde von Zwergfledermäusen in den Hohlkammern unter der Fahrbahn. Im Jahre 2000 wurden dann vor Beginn der Bauarbeiten zur Sanierung der Brücke die Einflüge über die Widerlager im Winterhalbjahr verschlossen, um die Tiere vor den bevorstehenden Lärmentwicklungen, Stäuben und Erschütterungen aus diesem Bauwerk auszuschließen. Nach der Wiederöffnung der Brückenhohlkammern setzte die Besiedlung zunächst nur sehr zögerlich ein.[50] Mit Hilfe ehrenamtlicher Fledermauskundler wurden in den Jahren 2003 und 2004 Holzkästen aus sägerauen Brettern in jede der Kammern gehängt (s. Abbildung 7-17).

Die Kontrolle am 13.09.2006 erfasste in den Kammern unter der östlichen Straßenseite neun Mausohren und auf der Westseite ca. 35 Mausohren, jeweils in mehreren Kleingruppen (2–10 Tiere). Außerdem wurden in der Kammer im nördlichen Brückenkopf zwei große Kothaufen und in den Hohlkammern unter der Fahrbahn neben dem Mausohrkot noch Kotpellets von Langohren (Gattung *Plecotus*) sowie einer kleinen Fledermausart (womöglich Gattung *Pipistrellus* oder *Myotis mystacinus*/*brandtii*) entdeckt.

Als Hangplatz wurden Deckenlöcher, Unebenheiten an der Betonoberfläche und obere Raumecken genutzt. In den speziell aufgehängten Kastenquartieren waren dagegen nur selten Tiere zu entdecken und wenn, dann mehrheitlich im Abstandspalt zwischen Kasten und Betonwand und nicht zwischen den Holzbrettern[51].

Die Ergebnisse von Messungen zum Temperaturverlauf an verschiedenen Hangplätzen sind in Tabelle 7-5 zusammengestellt. Zu Messbeginn waren an drei dieser vier Hangplätze[52] Mausohren anwesend, bei der Demontage am 28. Februar fanden sich keine Fledermäuse in der Brücke. Die Durchschnittswerte an den einzelnen Messpunkten unterscheiden sich nur geringfügig (8,5 °C bis 9,4 °C). Die tiefsten und höchsten Messwerte und damit die größte Spannweite wurden im Übergangsbereich zwischen dem nördlichen Brückenkopf und der ersten anschließenden Kammer unter der Fahrbahn gemessen. Im dortigen Bereich der Widerlager wirken die äußeren Witterungseinflüsse vergleichsweise unmittelbar. Die umliegenden Kammerbereiche im Brückenkopf und unter der Fahrbahn sind dagegen stärker isoliert, auch wenn alle Kammern über große Öffnungen miteinander in Verbindung stehen. Die stärkste Dämpfung von Frosttemperaturen wurde in den aufgehängten Kästen zwischen den Holzbrettern gemessen (–2,2 °C, bzw. –2,6 °C) in Relation zu den Messpunkten direkt an den Betonwänden (Deckenloch: –2,8 °C, bzw. Wand hinter Kasten:–3,3 °C).

[50] Freundliche Auskünfte von Brückenprüfern der Autobahnmeisterei Montabaur (2006).

[51] Das Foto links unten in Abbildung 7 17 illustriert also eher eine Ausnahmesituation.

[52] nicht bei Brx-3 in der Frontspalte des aufgehängten Kastens in Kammer 4Ost.

Abbildung 7-17: Fledermausbesatz in der Brexbachtalbrücke, beispielhaft in einer der 28 Hohlkammern unter der Fahrbahn

Tabelle 7-5: Temperaturmesswerte über den Zeitraum 13. September 2006 bis 27. Februar 2007 in der Brexbachtal-Autobahnbrücke (Autobahn A48)

Datalogger	Min.-Temp.	Max.-Temp.	Spannweite	Durchschnitt ± Stand.abw.
Brexbachtalbrücke (Autobahn-A48) - Hohlkammern unter der Fahrbahn:				
Brx-1 (Brückenkammer-Nord)	- 3,7 °C	20,3 °C	24,0 °C	8,6 ± 4,70 °C
Brx-2 (Kammer 1Ost - Übergang Brück.-kopf)	- 6,6 °C	27,5 °C	34,1 °C	8,5 ± 5,13 °C
Brx-3 (Kammer 4Ost - Kasten, Frontspalte)	- 2,2 °C	23,5 °C	25,7 °C	9,4 ± 5,40 °C
Brx-4 (Kammer 4Ost - Kasten, Wandspalte)	- 3,3 °C	22,8 °C	26,1 °C	9,1 ± 5,37 °C
Brx-5 (Kammer 8West - Deckenloch)	- 2,8 °C	23,2 °C	26,0 °C	8,9 ± 5,42 °C
Brx-6 (Kammer 8West - Kasten, Frontspalte)	- 2,6 °C	22,7 °C	25,3 °C	9,1 ± 5,38 °C

Temperaturmessungen in neu installierten Styrodurplatten-Kästen in vier Autobahnbrücken in Rheinland-Pfalz und einer ICE-Brücke in Hessen

Die Kontrollen der Mitte September 2006 ausgebrachten Styrodurplatten-Kästen in fünf Talbrücken ergaben bis Ende des darauf folgenden Februars keinen Hinweis auf einen (auch nicht zeitweisen) Besatz durch Fledermäuse (z.B. durch Funde von Kotkrümmchen).

Die Temperaturmessungen in und neben den Kästen, die an verschiedenen Plätzen der großen Brückenbauwerken aufgehängt wurden, zeigten unterschiedliche Dämpfungsgrade der baugleichen Kästen gegenüber der umgebenden Außentemperatur. Die ausgewerteten Messungen umfassen den Zeitraum vom 15. bzw. 22. September 2006 bis zum 23. Februar 2007 (154–161 Tage). Die Durchschnittstemperatur in den drei Spalten der Kästen und an den Betonwänden neben den Kästen unterschieden sich nur um wenige zehntel Grad (0,1–0,5 °C) voneinander (s. Tabelle 7-6). Die Spannweite zwischen den jeweiligen Tiefst- und Höchstwerten schwankte dagegen zwischen 0,4 °C und 4,3 °C. Abweichungen zwischen Temperaturmessungen innerhalb und außerhalb der Kästen resultieren hauptsächlich aus Unterschieden der jeweiligen Minimaltemperatur (Wilcoxon Paartest [MIN-Werte *versus* MAX-Werte]: $Z = 1{,}99$; $p = 0{,}046$; s. Abbildung 7-18). Der Hangplatz innerhalb der Kästen mit der stärksten Dämpfung des tiefsten Temperaturwertes war nicht einheitlich, sondern wurde je nach Aufhangsituation verschiedentlich von allen drei Spalten innerhalb der Kästen (Wand, Mitte, Front) eingenommen.

Tabelle 7-6: Temperaturmesswerte von Mitte September 2006 bis Ende Februar 2007 in und neben Styrodurkästen, installiert in Talbrücken

Datalogger	Min.-Temp.	Max.-Temp.	Spannweite	Durchschnitt ± Standardabw.
Guldenbachtalbrücke (Autobahn A61) - offenes Widerlager von Brückenkopf-Nord:				
Erb-1 (Kasten-Wandspalte)	- 3,2 °C	20,7 °C	23,9 °C	8,3 ± 4,99 °C
Erb-2 (Kasten-Mittelspalte)	- 3,9 °C	20,9 °C	24,8 °C	8,2 ± 5,01 °C
Erb-3 (Kasten-Frontspalte)	- 4,9 °C	20,9 °C	25,8 °C	8,1 ± 5,04 °C
Erb-4 (Kontrolle neben Kasten)	*- 4,9 °C*	*20,4 °C*	*25,3 °C*	*7,9 ± 4,99 °C*
Nahetalbrücke (Autobahn A61) - offenes Widerlager von Brückenkopf-Nord:				
Nah-1 (Kasten-Wandspalte)	- 0,8 °C	22,9 °C	23,7 °C	10,2 ± 4,88 °C
Nah-2 (Kasten-Mittelspalte)	- 0,6 °C	22,8 °C	23,4 °C	10,2 ± 4,86 °C
Nah-3 (Kasten-Frontspalte)	- 0,3 °C	23,2 °C	23,5 °C	10,4 ± 4,84 °C
Nah-4 (Kontrolle neben Kasten)	*- 0,6 °C*	*22,6 °C*	*23,2 °C*	*10,1 ± 4,81 °C*
Brexbachtalbrücke (Autobahn A48) - Kammer in Brückenkopf-Nord:				
Brx-7 (Kasten-Wandspalte)	- 0,3 °C	18,1 °C	18,4 °C	8,5 ± 4,21 °C
Brx-8 (Kasten-Mittelspalte)	- 0,5 °C	18,3 °C	18,8 °C	8,6 ± 4,18 °C
Brx-9 (Kasten-Frontspalte)	- 1,8 °C	18,5 °C	20,3 °C	8,5 ± 4,25 °C
Brx-1 (Kontrolle neben Kasten)	*- 3,7 °C*	*20,3 °C*	*24,0 °C*	*8,6 ± 4,70 °C*
Moseltalbrücke (Autobahn A61) - südliche Kammer im Brückenkopf-Süd:				
Mos-1 (Kasten-Wandspalte)	0,1 °C	22,5 °C	22,4 °C	9,8 ± 5,01 °C
Mos-2 (Kasten-Mittelspalte)	0,2 °C	22,2 °C	22,0 °C	9,8 ± 4,96 °C
Mos-3 (Kasten-Frontspalte)	0,4 °C	22,5 °C	22,1 °C	9,9 ± 5,00 °C
Mos-4 (Kontrolle neben Kasten)	*0,2 °C*	*22,2 °C*	*22,0 °C*	*9,8 ± 4,98 °C*
Mos-5 (Kontrolle Außenseite Brückenkopf)	*- 3,6 °C*	*23,2 °C*	*26,8 °C*	*9,2 ± 5,03 °C*

Datalogger	Min.-Temp.	Max.-Temp.	Spannweite	Durchschnitt ± Standardabw.
Wörsbachtalbrücke (ICE-NBS 2690) - untere Kammer in Brückenkopf-Nord:				
OBr-1 (Kasten-Wandspalte)	4,3 °C	16,2 °C	11,9 °C	9,5 ± 3,35 °C
OBr-2 (Kasten-Mittelspalte)	4,5 °C	16,1 °C	11,6 °C	9,7 ± 3,34 °C
OBr-3 (Kasten-Frontspalte)	4,3 °C	16,5 °C	12,2 °C	9,9 ± 3,35 °C
OBr-4 (Kontrolle neben Kasten)	*3,8 °C*	*15,8 °C*	*12,0 °C*	*9,3 ± 3,36 °C*
Wörsbachtalbrücke (ICE-NBS 2690) - Hohlwannenkammer in Brückenmitte:				
OBr-5 (Kasten-Wandspalte)	2,3 °C	17,1 °C	14,8 °C	8,7 ± 3,82 °C
OBr-6 (Kasten-Mittelspalte)	2,3 °C	16,7 °C	14,4 °C	8,8 ± 3,78 °C
OBr-7 (Kasten-Frontspalte)	2,0 °C	16,5 °C	14,5 °C	8,7 ± 3,77 °C
OBr-8 (Kontrolle neben Kasten)	*1,5 °C*	*16,8 °C*	*15,3 °C*	*8,6 ± 3,77 °C*

Vergleicht man die gemessenen Tiefsttemperaturwerte in der wärmsten Kastenspalte mit dem Messpunkt neben dem Kasten (s. Abbildung 7-18), so wurde im Fall der Kastenaufhängung im offenen Widerlager der größere Dämpfungseffekt dieser negativen Temperaturspitze in der Guldenbachtalbrücke (Autobahn A61) erreicht: –4,9 °C (an freier Betonwand) *versus* –3,2 °C (in der Wandspalte hinter dem Styrodurkasten) ergibt eine Differenz von 1,7 °C. In der Nahetalbrücke (ebenfalls Autobahn A61) war dagegen die Frontspalte des Kastens der wärmere Hangplatz mit einer Differenz von nur 0,3 °C zur Außentemperatur. Bei den anderen vier Kästen in geschlossenen Brückenköpfen, bzw. in einer Hohlwannenkammer unter der Fahrbahn schwankten die Differenzen zwischen den Tiefstwerten in der wärmsten Kastenspalte und der Umluft von 0,2 °C (Moseltalbrückenkopf) bis 3,4 °C (Brexbachtalbrückenkopf).

Die Hohlkammer (Mausohrquartier) im Brückenkopf der Moseltalbrücke ist durch eine deutliche Dämpfung des Kammerinneren gegenüber den Außentemperaturen geprägt (s. Tabelle 7-5). Zwischen Kammerinnenwand und dem Messpunkt im dort aufgehängten Styrodurkasten besteht kein relevanter Unterschied. Die Innentemperatur ist gegenüber den an der Kammer-Außenwand (über der Eingangstür im Wirtschaftswegedurchlass) gemessenen Werten um 1,0 °C bezüglich der maximalen Temperatur gedämpft, die Tiefsttemperatur sogar um 3,8 °C. Im (milden) Winter 2006/07 konnten außen auftretende Frosttemperaturen nicht bis in die Brückenkammer hinein dringen (–3,6 °C außen *versus* 0,2 °C innen).

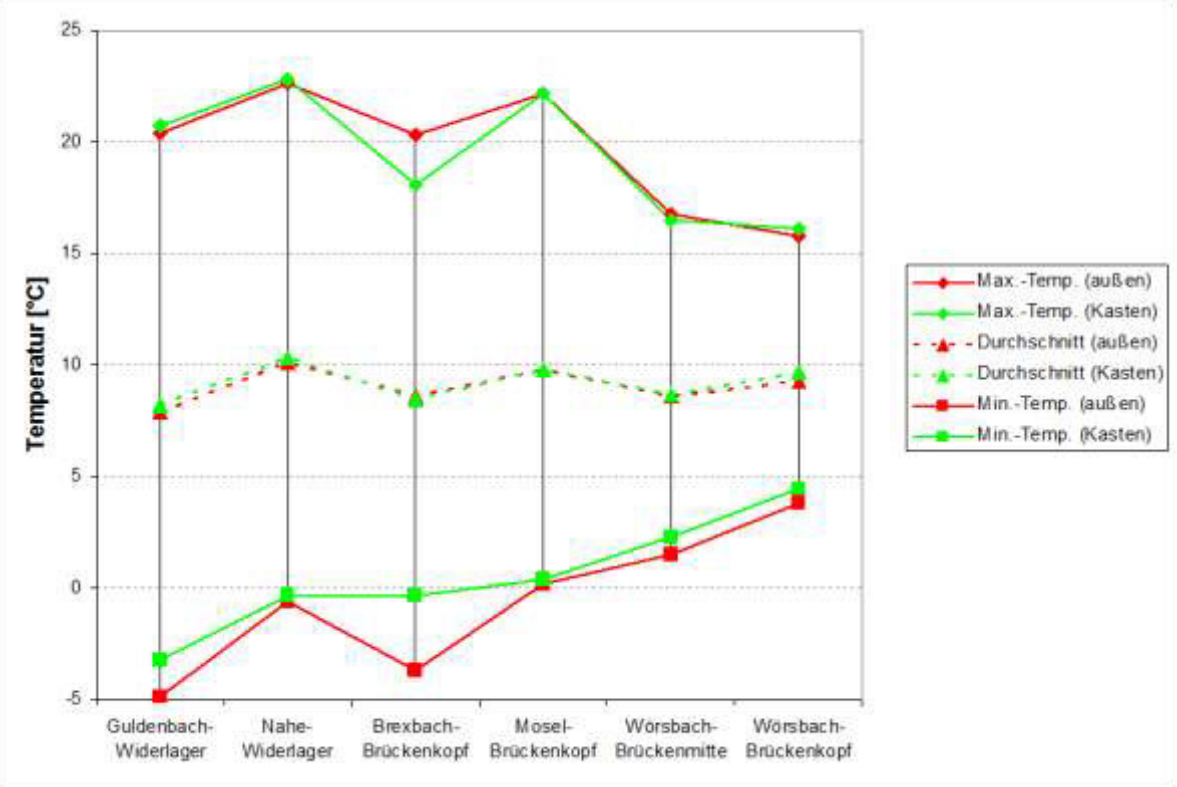


Abbildung 7-18: Vergleich von Temperaturwerten innerhalb und außerhalb der Styrodurkästen in Talbrücken von vier Autobahnen und einer ICE-Strecke

<u>Beeinträchtigungen von Fledermausvorkommen in Brücken – Ergebnisse von Literaturrecherche und Befragungen</u>

Daten über Fledermausquartiere in Talbrücken beruhen auf Angaben des ehrenamtlichen Naturschutzes (48% der Funde) und Kontrollen im Rahmen von Artenschutzprogrammen und Forschungsaktivitäten[53] (46%). Die restlichen 6% Entdeckungen gehen auf Meldungen von Straßenmeistereien im Rahmen der regelmäßigen Brückenkontrollen zurück, der Durchführung von Reparaturarbeiten oder auf Zufallsfunde zurück (ein im Rahmen eines Gutachtens zur Bauleitplanung telemetriertes Tier flog bspw. in ein Brückenquartier).

Folgende (zeitweilige) Beeinträchtigungen wurden als relevant eingeschätzt und entsprechend angegeben:

- Vertreibung und Gefährdung bei Sanierungsarbeiten (bei 32% aller Quartierfunde), wobei vor allem die Beseitigung bestehender Hangplätze aufgeführt wurde (16x), aber auch Lärmentwicklungen, Erschütterungen und Beleuchtungen während der Bauphase (4x) sowie der Verschluss des Einfluges, z.B. durch Plexiglaswände zur Taubenabwehr[54], durch ein Baugerüst (3x). Im Einzelfall wurde die Hangplatzerwärmung durch Asphaltierung der Fahrbahn darüber angegeben (1x).
- Vermutete Wahl ungünstiger Hangplätze durch Fledermäuse (27% aller Quartierfunde), primär drohender Kältetod in strengen Wintern (18x), Zugluft (7x), Austrocknung beim Neubau oder unmittelbar

[53] im Zuge von Kartierungen im Stadtkreis Kassel, im Auftrag des rheinland-pfälzischen Landesamtes für Umwelt und Gewerbeaufsicht sowie des vorliegenden Forschungsprojektes.

[54] Auch nach Bekanntwerden mißbräuchlicher Nutzung der offen zugänglichen Brückenbauten im Rahmen krimineller Handlungen wird ein Einstieg über die Brückenköpfe durch bauliche Maßnahmen zunehmend unmöglich gemacht.

nach Sanierungen (5x), durch Flutung an den Versteckplätzen bei Schäden am Entwässerungssystem (1x verstopftes Abflussrohr und 1x bis zur Decke mit Wasser angefüllte Hohlkammerteile im Brückenkopf).

- „Falleneffekte“ (5% aller Quartierfunde). Erhebliche Verluste in engen Brückenpfeilern (2x), im Hohlraum unter der Fahrbahn (2x), durch Einklemmung von Tieren hinter dem Türrahmen bei Türöffnung (1x), beim Steckenbleiben des Kopfes in einer engen Bodenöffnung (1x). Betroffene Arten: Großer Abendsegler (4x), Zwergfledermaus (1x) und Großes Mausohr (1 Jungtier).

7.3.2 Tunnel

7.3.2.1 Nutzung von Tunnel durch Fledermäuse

Die folgende Übersicht basiert auf eigener Kartierung sowie auf der Auswertung von Publikationen, Gutachten und Datenbanken. Eine Begehung von Tunnelanlagen ist wesentlich eingeschränkter möglich als die Inspizierung von Hohlkammern in Verkehrswegebrücken, weil man für die Kontrollen in den Verkehrsraum eintreten muss. Dies erfordert bei stark befahrenen Strecken aus Sicherheitsgründen temporäre Streckensperrungen oder ist bei weniger befahrenen Tunnel nur während kurzer Zeitfenster begrenzt möglich. Somit konnten Tunnel nur in eingeschränktem Umfang inspiziert werden und auch die wenigen Angaben in den „Sekundärquellen“ spiegeln diese Schwierigkeit bei der Erfassung. (Begehungen von Tunnel stillgelegter Strecken sind unproblematischer umzusetzen, waren aber nicht primäres Ziel). Der Schwerpunkt der Tunnelkontrollen lag auf Objekten der Eisenbahnverwaltung. Bei Autofahrten durch Straßentunnel in Deutschland[55] bzw. Recherchen im Internet zu Tunnelbauten wiesen diese ausnahmslos glattwandige Innenauskleidungen (z.T. gekachelt) auf. Auch die Fluchtstollen – soweit überhaupt vorhanden – sind nur in Form kurzer Verbindungsgänge zwischen den Fahrröhren vorhanden. Eine Eignung als Fledermaushangplätze ist unter solchen Bedingungen auszuschließen.

Insgesamt liegen zum Fledermausbesatz in Tunneln in Deutschland Daten von 19 Objekten vor (17 Eisenbahntunnel, 1 Straßentunnel und 1 Fluchtgang in einem ICE-Tunnel). Die Fledermaus-Vorkommen in Tunnel verteilen sich artbezogen wie aus Abbildung 7-19 ersichtlich. Für sechs verschiedene Fledermausarten konnte in den kontrollierten Objekten eine Quartiernutzung belegt werden. Die siebte Art Nordfledermaus wurde durch fliegende Artgenossen im Tunnelinnern nachgewiesen; ein Individuum wurde tot vor dem Tunnelportal gefunden.

Fundplätze der Fledermäuse waren in den hierzu 14 auswertbaren Tunnelbeschreibungen (in der Reihenfolge ihrer Häufigkeit): Fels– und Unterstellnischen in den Tunnelinnenwänden (64%), kleinere Löcher, Spalten und Rohröffnungen in Wänden (29%) und Decken (29%) und je einmal (7%) in einem Seitenstollen und in einem Hohlraum oberhalb der eigentlichen Tunneldecke. Die Tiere hängen entweder frei sichtbar in den Nischen (typisch für z.B. Große Mausohren) – bei winterlicher Verkehrseinstellung auch an den Tunnelinnenwänden – oder in schmalen Spalten manchmal so eng gedrängt, dass die tatsächliche Anzahl der Tiere nur grob geschätzt werden kann (typisch für z.B. Zwerg- und Bartfledermäuse)[56].

---

[55] in Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Baden-Württemberg und Schleswig-Holstein.

[56] In einem anderen Zusammenhang wurden 2003 10 Zwergfledermäuse versuchsweise zwischen aufgeschichtete Schieferplatten in einer Seitennische eines stillgelegten Bahntunnels gesetzt. Die Individuen konnten sich im offensichtlich dahinter befindlichen Hohlraum/Spaltensystem soweit zurück ziehen, dass keines der Tiere von außen mehr zu sehen war. Sie machten sich aber noch durch Lautäußerungen bemerkbar. Während ihres Winterschlafs wären sie bei einer Kontrolle völlig unbemerkt geblieben.

Der von uns kontrollierte Fluchtstollen des ICE-Tunnel (Neubau) ist hermetisch abgeschlossen und für Fledermäuse nicht zugänglich. Hinzu kommt die auffällige Trockenheit, die eine Nutzung für Fledermäuse äußerst unwahrscheinlich macht.

Die Artenzahl in Tunnel-Quartieren variiert zwischen 1 und 4 Arten pro Objekt. Die Hälfte aller Tunnel beherbergt aber nur eine oder zwei Fledermausarten. Die Hauptquartiernutzung der Tunnel liegt im Winterhalbjahr. Lediglich von Mausohren, Langohren und Wasserfledermäusen wurden auch vereinzelt sommerliche Hangplätze gefunden (s. Tabelle 7-7). Wie aus Netzfängen und Detektornachweisen hervorgeht (s. die Angaben in Kap. 6.2.3.3) nutzen vielfach mehrere Arten (bis zu sieben Arten, vgl. Abb. 7-19) denselben Tunnel als (spät-)sommerliches Jagdgebiet und Schwarmquartier.

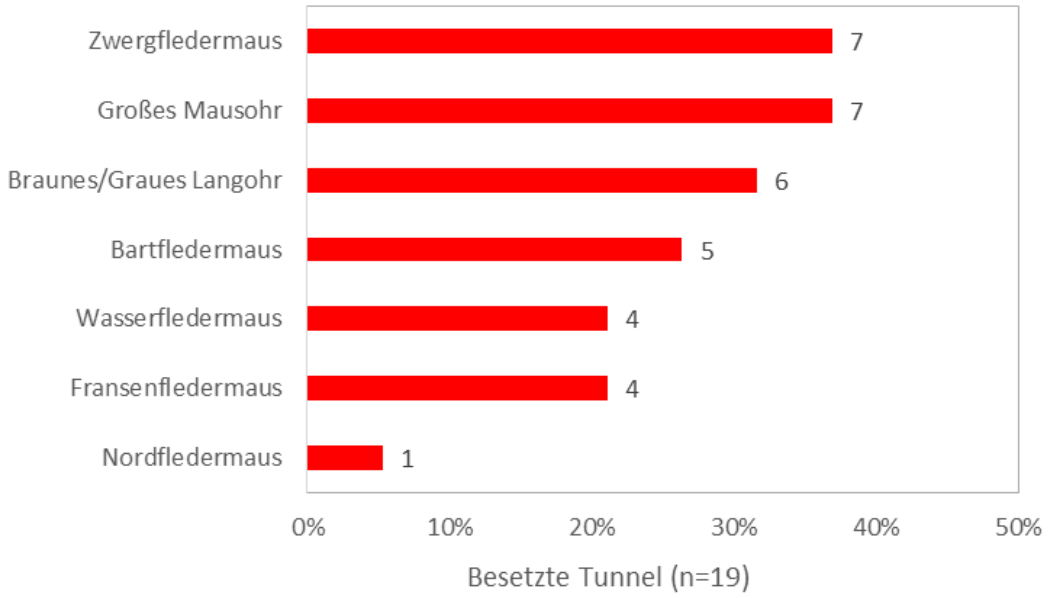


Abbildung 7-19: In oder an 19 Tunneln nachgewiesene Fledermausarten

Tabelle 7-7: Quartiernutzung und Höhenlage der Tunnel

Art in Tunnelquartieren	**planar/collin (0 - 200m ü.NN)**		**submontan (201 - 700m ü.NN)**	
Großes Mausohr			SoQ	WiQ
Zwergfledermaus				WiQ
Langohren		WiQ	SoQ	WiQ
Fransenfledermaus		WiQ		WiQ
Wasserfledermaus		WiQ	SoQ	WiQ
Bartfledermaus				WiQ
Nordfledermaus				WiQ?
Anzahl der Objekte	1		18	

SoQ = Sommerquartier (Einzeltiere, kleine Gruppen, auch Paarungs- oder sogenannte Zwischenquartiere), WiQ = Überwinterungsquartier

Abbildung 7-20: Beispiele inspizierter Tunnel

(Oben: Loreleytunnel; spaltenreiches Portal und Öffnung eines ehem. Sprengstollens. Unten: hermetisch verschlossenes Tor und glattwandige Innenwände des Notausstieg-Stollens aus dem ICE-Tunnel Niedernhausen)

Die Besatzgröße in Tunneln variierte bei den ausgewerteten Erhebungen zwischen einem Tier und 53 Tieren, wobei größere Besätze in Objekten ohne Zugverkehr im Winter (z.B. nur sommerlicher Touristikbahnbetrieb) festgestellt wurden.

Nachweise von Fledermäusen in Tunneln wurden im Rahmen vorliegender Untersuchungen in den drei westlich gelegenen naturräumlichen Haupteinheiten Deutschlands dokumentiert: nordwestliches Tiefland, westliches und südwestliches Mittelgebirge. Eine Differenzierung des Besatzes überwinternder Fledermäuse nach der Jahrestiefsttemperatur an den Tunnelstandorten deutet auf eine etwas stärkere Bevorzugung wärmerer Lagen (> 0 °C Januar-Mittelwert) für die Langohrarten und die Zwerg- und Wasserfledermaus hin (s. Abbildung 7-21) (statistisch nicht signifikant, Chi^2-Tests, p jeweils > 0,05).

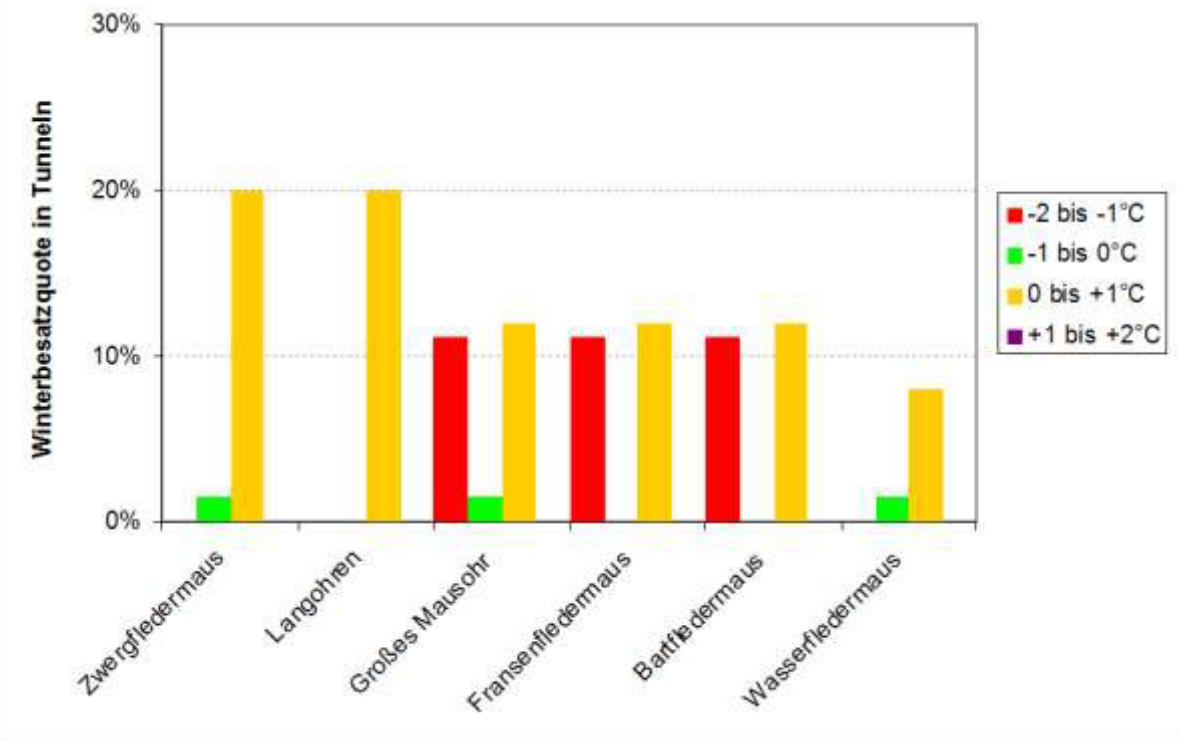


Abbildung 7-21: Winterbesatz durch Fledermausarten, differenziert nach der Januar-Mitteltemperatur am Standort der Tunnel

7.3.2.2 Vertiefende Untersuchungen in und am Tunnel

An den Hangplätzen der Fledermäuse wurden folgende Temperaturen mittels Datenlogger ermittelt (Tabelle 7-8).

Tabelle 7-8: An Hangplätzen in Tunnel gemessene Temperaturen

Verkehrswegeobjekt	Durchschnittstemp.	Minimumtemp.
DB-Cramberger Tunnel (08.02.06 bis 24.03.06) Winterquartier von *Großen Mausohren*		
Bahntunnel:	2,8 bis 5,2 °C	–1,8 bis 4,1 °C
Seitenstollen:	4,6 °C	0 °C
DB-Loreleytunnel (19.01.06 bis 01.06.06) pot. Winterquartier für *verschiedene Arten*		
ehemalige Sprengkammern:	7,3 bis 9,8 °C	3,1 bis 6,8 °C

<u>Temperaturmessungen im Cramberger Tunnel in Rheinland-Pfalz (Überwinterungsquartier von Großen Mausohren)</u>

Der Cramberger Tunnel der Lahntalbahn (Strecke 3710) durchschneidet mit seinem Gang durch das Schiefergebirge ehemalige Bergwerksstollen, deren hallenartige Reste beidseitig des Tunnelgangs angrenzen. Der östliche Stollenrest steht über seinen einzigen Eingang, eine 1,5 m x 1,5 m große Öffnung, mit dem Eisenbahntunnel in Verbindung, etwa 50 m nach dem Tunnelsüdportal. Der westliche Seitenstollen ist auf der Gleisseite durch eine nachträglich errichtete Ziegelsteinmauer abgetrennt (enthält ein Ziegelstein-großes Loch) und hat in Richtung Fluss auf der gegenüberliegenden Seite einen großen Eingang (ca. 2 m x 3 m). In dieser zweikammerigen Halle überwintern regelmäßig Große Mausohren

(Einzeltiere). Bei den Besatzkontrollen fanden sich auch Kotspuren weiterer Fledermausarten der Gattungen *Plecotus* und wahrscheinlich auch *Pipistrellus*.

Im Gang des Eisenbahntunnels herrscht überwiegend ein Durchzug, der an den Messplätzen in nischenartigen Vertiefungen in der Seitenwand und im kurzen Kriechgang in der Decke (ca. 1 m x 1 m x 2 m) nur abgemildert wirkt. In den Seitenstollen war bei den Kontrollen kein vergleichbarer Luftzug spürbar. Dementsprechend war die Spannweite der Temperaturschwankungen in den beiden Seitenstollen auch geringer als in der Nische der Tunnelwand. In der Tunneldecke herrschten allerdings die konstantesten gemessenen Bedingungen der Lufttemperatur und im Februar/März auch die höchste Tiefsttemperatur, deutlich über dem Frostpunkt (s Tabelle 7-9 und Abbildung 7-22). Bei den Messungen im Herbst, zeitgleich zu den Aktivitätsaufzeichnungen (s.u.), unterschieden sich die beiden Seitenstollen kaum in Bezug auf ihre Durchschnitts– und Tiefsttemperatur. Nur bei den Höchstwerten gab es eine Abweichung um 3,3 °C.

Tabelle 7-9: Temperaturwerte im Cramberger Tunnel der Lahntalbahn (3710)

Datalogger	Min.-Temp.	Max.-Temp.	Spannweite	Durchschnitt ± Stand.abw.
Cramberger Tunnel (Lahntalstrecke 3710):				
08.02.2006 bis 24.03.2006 (43 Tage)				
Cra-6 (Tunnel-Deckenaushöhlung)	4,1 °C	6,4 °C	2,3 °C	5,2 ± 0,34 °C
Cra-7 (Tunnel-Wandnische)	- 1,8 °C	6,5 °C	8,3 °C	2,8 ± 1,52 °C
Cra-9 (Stollen-Westseite1)	0 °C	7,2 °C	7,2 °C	4,6 ± 1,59 °C
25.03.2006 bis 04.04.2006 (10 Tage)				
Cra-6 (Tunnel-Deckenaushöhlung)	6,8 °C	10,5 °C	3,7 °C	8,4 ± 0,92 °C
Cra-7 (Tunnel-Wandnische)	4,7 °C	12,1 °C	7,4 °C	9,0 ± 1,54 °C
Cra-9 (Stollen-Westseite1)	4,5 °C	7,9 °C	3,4 °C	7,2 ± 0,63 °C
05.04.2006 bis 24.07.2006 (110 Tage)				
Cra-6 (Tunnel-Deckenaushöhlung)	4,1 °C	21,6 °C	17,5 °C	12,4 ± 3,20 °C
Cra-7 (Tunnel-Wandnische)	2,8 °C	24,9 °C	22,1 °C	12,9 ± 3,95 °C
27.09.2006 bis 09.11.2006 (42 Tage)				
Cra-8 (Stollen-Ostseite)	12,0 °C	23,9 °C	11,9 °C	14,4 ± 1,84 °C
Cra-1 (Stollen-Westseite2)	12,6 °C	19,6 °C	7,0 °C	13,5 ± 0,72 °C

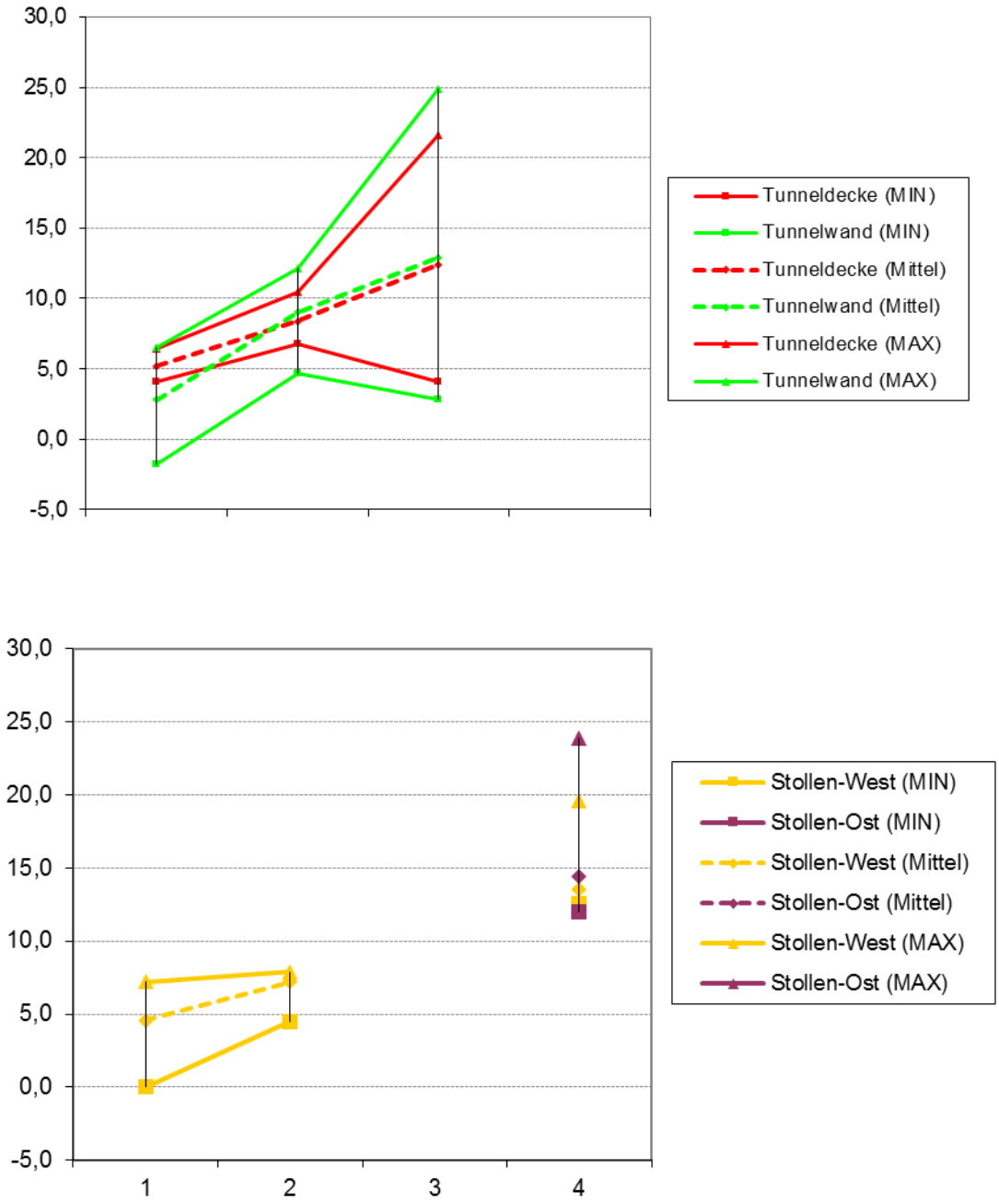


Abbildung 7-22: Temperaturwerte im Cramberger Tunnel (Lahntalbahn 3710)

<u>Fledermausaktivitätserfassungen vor zwei Tunnel und in Seitengängen eines dritten Tunnels auf der Lahntalstrecke (3710) in Rheinland-Pfalz</u>

Drei Tunnel[57] entlang der Lahntalstrecke 3710 im rheinland-pfälzischen Abschnitt wurden hinsichtlich der nächtlichen Präsenz / Aktivität fliegender Fledermäuse untersucht.

Die Aktivität vor den Ostportalen derr Tunnel Hollerich und Langenau bei Nassau im Zeitraum vom 4. bis 12. Juli 2006 lag nahezu ganznächtlich bei 20,6 min/h (Langenau) bzw. bei 7,2 min/h (Hollerich) im Durchschnitt von sieben Nächten. Beim Cramberger Tunnel wurde die Fledermausaktivität während der

[57] Bei zwei stehen umfangreiche Sanierungen mit Querschnittsaufweitung an, die innerhalb der Projektlaufzeit aber nicht mehr begonnen wurden.

herbstlichen Schwarmphase innerhalb der Seitenstollen aufgezeichnet. Dabei wurde im Westteil eine Aktivität von 2,9 min/h (27. – 30.09.06) bzw. 1,3 min/h (26. – 28.10.06) registriert (s. Abbildung 7-23). Im östlichen Seitenstollen wurde während drei Untersuchungsnächten im September 2006 kein sicher einer Fledermaus zuzuordnender Ruf festgestellt.[58]

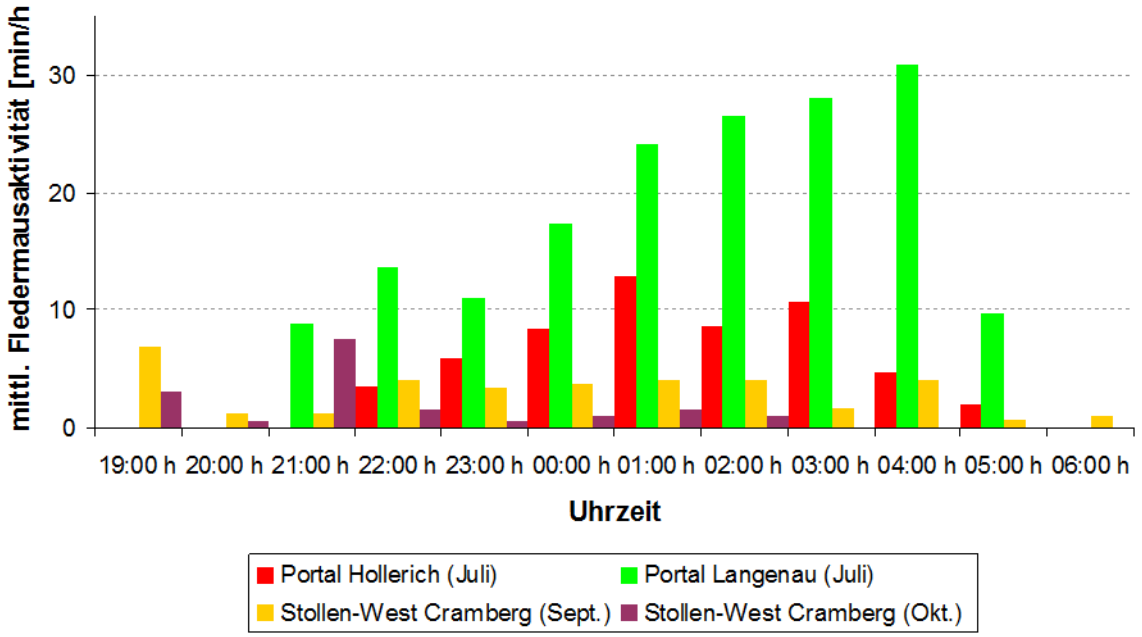


Abbildung 7-23: Vergleich von Fledermausaktivitäten vor und in drei Eisenbahntunnel im Lahntal

<u>Temperaturmessungen und Fledermausaktivitätserfassungen in zwei neu geöffneten ehemaligen Sprengstollen im Mittelrheintal</u>

Zwei ehemalige Sprengkammern (20 – 25 m Länge, Querschnitt 1,10 m x 1,70 m) oberhalb des Loreleytunnels (Mittelrheinstrecke 3507, rechte Rheinseite) bei St. Goarshausen / Rheinland-Pfalz sollen im Zuge einer Kompensationsmaßnahme zu Fledermausquartieren mit Hohlblocksteinen und Holzkästen in Sandwich-Bauweise ausgebaut werden (GBM 2004). Die Umsetzung erfolgte im Zeitrahmen des Forschungsprojektes trotz anderer Ankündigung nicht mehr. Somit konnten nur Aufzeichnungen zum Temperaturverlauf und zur Fledermausaktivität im offenen „Rohzustand“ der Stollengänge gemacht werden.

Ein Fledermausbesatz wurde bei keiner Begehung (Daten der Begehungszeiten in Tabelle 7-1 in Kap.7.2.2) festgestellt. Auch wurden keine eindeutig Fledermäusen zuzuordnenden Signale in den Beobachtungszeiträumen von Mitte Dezember 2005 bis Mitte Januar 2006 sowie Ende September bis Anfang November 2006 registriert. Die vereinzelt aufgezeichneten Ultraschallsignale dürften technischer Natur und vom Bahnbetrieb verursacht sein.

Die aufgezeichneten Temperaturwerte innerhalb der Stollengänge wiesen im Januar 2006 keinen Frost auf und auch die Durchschnittswerte schwankten bis zum Juni nur geringfügig (Tabelle 7-10).

[58] Aufgezichnet wurden 3 Signale ohne Zuordnungsmöglichkeit zu Fledermausrufen.

Tabelle 7-10: Temperaturwerte im Loreley Tunnel (Mittelrheinstrecke, rechts, 3507)

Datalogger	Min.-Temp.	Max.-Temp.	Spannweite	Durchschnitt ± Stand.abw.
Loreley Tunnel (Mittelrheintalstrecke 3507):				
19.01.2006 bis 01.06.2006 (133 Tage)				
Lor-4 (Stollengang-Ost)	3,1 °C	11,3 °C	8,2 °C	7,3 ± 1,81 °C
Lor-5 (Stollengang-West)	6,8 °C	13,2 °C	6,4 °C	9,8 ± 1,40 °C

7.3.2.3 Beeinträchtigungen von Fledermausvorkommen in Tunnel – Ergebnisse von Literaturrecherche und Befragungen

Die Daten über Fledermausbesatz in Tunneln und eventuelle Beeinträchtigungen basieren auf Angaben von Mitarbeitern des ehrenamtlichen Naturschutzes oder Vorkommen wurden im Zuge von Gutachten z.B. im Rahmen der Bauleitplanung oder bei Sanierungen entdeckt. Meldungen der Eisenbahnverwaltung oder aufgrund spezieller Artenschutzprojekte sind nicht darunter.

Folgende potenzielle oder tatsächliche Beeinträchtigungen wurden in Bezug auf Quartiernutzungen in Tunneln aufgeführt:

- Quartierverlust durch Sanierungen (37% der Objekte)
- Tierverluste bei Kollisionen mit dem Zugverkehr (21% der Objekte)
- Vergrämung von Fledermäusen durch Lärm und Verräucherung im Zuge von Dampflokbefahrungen (16% der Objekte).

Bei den hier nicht näher betrachteten Tunnel an stillgelegten Strecken sind als Gefährdungspotenzial außerdem noch Totalverschlüsse im Zuge der Verkehrssicherungspflicht sowie Reaktivierungen (vielfach als Fahrradweg, bisweilen aber auch für den regionalen Bahnverkehr) zu nennen.

7.4 Diskussion

7.4.1 Methodenkritische Auseinandersetzung

Veröffentlichungen zu Beobachtungen von Fledermausnutzungen in Bauten der Verkehrswege in Deutschland sind spärlich. In regional-faunistischen Darstellungen werden zwar vereinzelt Nutzungen von Talbrücken und Tunnel durch einheimische Fledermausarten erwähnt, doch konkrete Angaben und systematische Erhebungen bilden die Ausnahme. In der Literatur sind zudem meist nur positive Nachweise dokumentiert. Deshalb war die Recherche nach derartigen Publikationen für einen Überblick der Situation in Deutschland durch weitere Gebiets– oder Artdokumentationen regional tätiger Fledermausschützer zu ergänzen. Ein Zugriff auf den Datenfundus verstreut vorhandener Aufzeichnungen unterschiedlichen Informationsgehaltes in Diplomarbeiten und Gutachten sowie bei Regionalstellen des Fledermausschutzes und Einzelpersonen waren naturgemäß nicht flächendeckend möglich. Für die eigenen Inspektionen im Zuge des Forschungsprojektes wurden auf Grundlage bestehender Kenntnisse gezielt Objekte mit hohem Hangplatzpotenzial ausgewählt, die insoweit nicht repräsentativ für die Gesamtheit der Bauwerke ist. Eine flächendeckende Kartierung war nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Bedingt durch die heterogene Datenvorlage bleibt die Ergebnisbeschreibung meist rein deskriptiv. Objektkontrollen mussten zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt werden. Insoweit kann also keine Vergleichbarkeit erwartet werden. Für Fledermausvorkommen in Talbrücken ist trotzdem ein erster Überblick gelungen.

Der geringe Umfang verfügbarer Dokumentationen über Fledermausnutzungen innerhalb von in Betrieb befindlichen Tunnel bedingt Erkenntnislücken. Diese konnten auch durch die eigenen Begehungen potenziell geeigneter Objekte der Straßen– und Eisenbahnverwaltung nicht kompensiert werden. Eine wesentliche Erhöhung der Anzahl der extrem aufwändigen Inspektionen in Tunnel wurde als nicht zielführend für das Projekt verworfen. Im Hinblick auf potenzielle Fledermaushangplätze sind aktuelle Tunnelbauten wegen ihrer ungünstigen Bedingungen als weitgehend ungeeignet einzustufen.

Auf Schwierigkeiten bei der Durchführung dieses Forschungsmoduls stieß schließlich die zuvor geplante wissenschaftliche Begleitung von Sanierungen an Talbrücken und Tunnel mit Fledermausbesatz. Verschiebungen im Zeitplan der ausgewählten Sanierungsfälle, bzw. der Umsetzung vorgesehener Kompensationsmaßnahmen in derartigen Bauwerken ließen eine Bearbeitung unsererseits innerhalb der Projektlaufzeit nicht zu. Ein Vorher-Nachher-Vergleich wie geplant konnte nicht durchgeführt werden.

7.4.2 Bedeutung von Talbrücken für Fledermäuse

Die Besiedelbarkeit von Talbrücken durch Fledermäuse steht außer Frage, auch bei Talbrücken „unter Betrieb“. Eine Fülle an bekannt gewordenen Einzelbeispielen, auch aus dem Ausland, macht dies deutlich (z.B. für Polen: SACHANOWICZ 2004; für Österreich: SPITZENBERGER 1992, FREITAG & FRIEDRICH 1996, PYSARCZUK 2004; für die Schweiz: MÜLLER & WIDMER 1992, STUTZ & HAFFNER 1993, RIEGER 1998; für Frankreich: LEMAIRE & ARTHUR 1999; für Irland: McANEY 1992, SHIEL 1999; für England: RYDELL et al. 1994, HIGHWAYS AGENCY 1999b). Auch gibt es Beispiele aus den USA, mit bis zu 1,5 Mio. Tieren in einer Brücke (ARNETT & HAYES 2000, KEELEY & TUTTLE 2000).

Das Straßennetz der Bundesrepublik Deutschland umfasst etwa 650.000 km, wobei Autobahnen (11.400 km) und Bundesstraßen (41.400 km) zusammen ca. 8% davon einnehmen[59]. Allein diese Bun-

[59] Quelle: BMVBS http://www.bmvbs.de.

desfernstraßen beinhalten 37.000 Brücken (ab 2 m Länge), von denen 88% als Beton– oder Spannbetonbrücken gebaut wurden. Größere Brückenbauten (ab 60 m Länge) für Eisenbahnen und Fernstraßen dürften für Deutschland sicherlich in einer Größenordnung von mehreren Tausend liegen[60].

Die Rate der Belegung von Brücken durch Fledermäuse kann nicht direkt aus den Recherchen und eigenständigen Kontrollen abgeleitet werden. DIETZ (2005) führt für systematische Erfassungen in verschiedenen Gebieten Europas Belegungszahlen von 2,6% bis 70% an. Die niedrigeren Prozentwerte sind durch Kontrollen einer sehr großen Zahl von Kleinbrücken verursacht. Bei Kontrolle entsprechend großer Talbrücken in Österreich wurden Nutzungsraten von 18% (Steiermark), 19% (Salzburg) und 35% (Kärnten) registriert (FREITAG & FRIEDRICH 1996, PYSARCZUK 2004). In Rheinland-Pfalz fand der Verfasser (FUHRMANN 1992) 71%, im Lahn-Dill-Kreis in Hessen sogar 100%[61] (eigene unveröff. Daten). Damit ist die Verantwortung der Baulastträger von Verkehrswegen des Bundes und der Länder für eine bedeutende Anzahl an Fledermausquartieren sehr deutlich. Mindestens 13 Fledermausarten Arten, 59 % der einheimischen Arten, nutzen Quartiere in Talbrücken.

Die meisten Funde in Talbrücken konzentrieren sich auf vier Fledermausarten, v.a. das Große Mausohr (*Myotis Myotis*), das nach Anhang II und IV FFH-Richtlinie streng gschützt ist. Bedeutsame (Massen-)Vorkommen von Fledermäusen in Großbrücken betreffen neben den Mausohren auch Große Abendsegler (*Nyctalus noctula*) und Zwergfledermäuse (*Pipistrellus Pipistrellus*). Insbesondere Letztere scheinen selbst neu errichtete Bauwerke relativ schnell als Jagd– und Hangplatz zu nutzen, wie Kotspuren und der Nachweis einer Zwergfledermaus in den erst 1998 – 2000 errichteten ICE-Brücken der Neubaustrecke zwischen Niedernhausen und Montabaur beweisen (eigene Feststellung). Regelmäßig sind in Talbrücken schließlich noch Fraß– und Hangplätze von Langohren (Gattung *Plecotus*) anzutreffen.
In kleineren, spaltenreichen Brücken über Fließgewässern werden Wasserfledermäuse (*Myotis* daubentonii) als häufigste Nutzer festgestellt (Zusammenstellung bei DIETZ 2005), die in großen Brücken erst Rangplatz 6 der Artnachweise einnehmen.

Die Hälfte der Objekte ist von einer Art bewohnt, es können aber auch bis zu sieben Arten ein Bauwerk gemeinsam nutzen. Eine Abhängigkeit der Artenzahl in einem Bauwerk zu seinem Alter oder seiner Größe konnte in den uns zur Verfügung stehenden Daten nicht belegt werden. In Österreich dagegen wurden in längeren und jüngeren Brücken mehr Arten und auch mehr Individuen festgestellt (PYSARCZUK 2004). Dies wird auf eine womöglich geänderte Bauweise der Brücken neueren Baujahrs zurückgeführt, die vielfältigere Strukturen für freihängende Arten in Hohlkammern und solche, die enge Spalten bevorzugen, gleichermaßen bieten.[62] Eine größere Brückenlänge korreliert bei den von uns untersuchten Brücken nicht mit einer höheren Arten– und Individuenzahl.

Zur jahreszeitlichen Phänologie der Quartiernutzung in Talbrücken ist festzuhalten, dass von den meisten nachgewiesenen Arten sowohl Sommer–, als auch Wintervorkommen auftreten und dies für die meisten von ihnen mehr oder weniger unabhängig von der Höhenlage oder den sommerlichen Temperaturverhältnissen am Brückenstandort. In Brücken wurden auch Wochenstubenkolonien (zu denen sich weibliche Fledermäuse zum Zweck der Jungenaufzucht zusammenschließen) vom Großen Mausohr und von der Wasserfledermaus festgestellt. Häufiger sind Nutzungen durch die Männchen: Für die großflächiger verteilt und meist solitär lebenden Männchen scheinen Brückenquartiere regelmäßig ins Suchschema nach einem Tagesversteck zu passen. Gerade auch für Große Mausohren stellen Quartiere in Talbrücken wichtige Funktionen bereit, da sie zur Paarungszeit besonders häufig aufgesucht werden. Aus nahe gelegenen Wochenstubenquartieren (z.B. auf einem Kirchendachboden) finden die Tiere im

[60] Unter http://www.karl-gotsch.de werden allein für 25 Autobahnen 533 Großbrücken gelistet und für vier ICE-Neubaustrecken weitere 89.

[61] nach HEUSER pers. Mitt. 2006 (In KOETTNITZ & HEUSER 1994 wird für alle Brücken – incl. kleineren – eine 70%ige Belegung angegeben.)

[62] Das Ergebnis wird möglicherweise auch durch zwei Brücken besonders großer Länge (1700 m und 2600 m) beeinflusst. Recherchierte Brücken mit Fledermausbesatz in Deutschland haben eine Maximallänge von 1250 m.

Spätsommer/Herbst in den Hohlräumen in Brückenköpfen und unter der Fahrbahn großer Brückenbauten offensichtlich ideale Bedingungen[63] für ihre Balz– und Schwarmflüge. Auch zur Abgrenzung einzelner Paarungsgruppen bieten mehrfach gekammerte Objekte gute Vorraussetzungen, wie die Situationen im Lahn-Dill-Kreis und in der Brexbachtalbrücke im Westerwald (Rheinland-Pfalz) zumindest für Mittelgebirgslagen beispielhaft zeigen.

Im Winterhalbjahr verlassen die meisten Großen Mausohren die Großbrücken wieder. Ob dies an der größeren Frostgefahr für diese üblicherweise in konstant temperierten Höhlen und Stollen, bei deutlichen Plusgraden überwinternden Tiere (s. Tabelle 7-11) liegt, kann zumindest vermutet werden. Obwohl die Brückenquartiere ein gegenüber Außentemperaturen abgepuffertes Raumklima aufweisen, sind sie als Winterquartiere nicht geeeignet. Die Temperaturmessungen mit deutlichen Minusgraden in drei Autobahnbrücken (Brexbachtal, Guldental und Nahetal) im vergleichsweise milden Winterhalbjahr 2006/07 weisen zumindest in diese Richtung. In diesen Brücken wurden nur Sommerfunde gemacht (s. Tabelle 7-11). Andererseits trifft dieses Argument zumindest für die Brückenköpfe der Moseltal– (Autobahn) und Wörsbachtalbrücke (ICE) nicht zu. Limitierender Faktor eines Winterbesatzes durch Große Mausohren könnten aber außerdem die in Brücken oft trockeneren Luftverhältnisse sein als sie in unterirdischen Hohlräumen herrschen.

Tabelle 7-11: In Verkehrswegebauten überwinternde Fledermausarten und ihre allgemeinen Temperaturpreferenzen im Winterquartier[64]

Fledermausart	Bevorzugte Überwinterungstemperatur	Kurzfristig tolerierte Frosttemperaturen
Zweifarbfledermaus (*Vespertitio murinus*)	–2,6 °C	?
Großer Abendsegler (*Nyctalus noctula*)	0 °C	–3 °C
Kleiner Abendsegler (*Nyctalus leisleri*)	ähnlich wie Großer Abendsegler?	
Nordfledermaus (*Eptesicus nilssonii*)	1 bis 5,5 °C	–7 °C
Zwergfledermaus (*Pipistrellus Pipistrellus*)	1 bis 6 °C	–4 bis –5 °C
Breitflügelfledermaus (*Eptesicus serotinus*)	2 bis 4 °C	–6 °C
Braunes Langohr (*Plecotus auritus*)	2 bis 5 °C	–3,5 °C
Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*)	2 bis 5 °C	–3 °C
Kleine Bartfledermaus (*Myotis mystacinus*)	2 bis 8 °C	?
Graues Langohr (*Plecotus austriacus*)	2 bis 9 (12) °C	?
Fransenfledermaus (*Myotis nattereri*)	2,5 bis 8 °C	–0,5 °C
Große Bartfledermaus (*Myotis brandtii*)	3 bis 4 (7,5) °C	0 °C
Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*)	3 bis 6 (8) °C	–2 °C
Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*)	3 bis 10 °C	?
Kleine Hufeisennase (*Rhinolophus hipposideros*)	6 bis 9 °C	?
Großes Mausohr (*Myotis Myotis*)	7 bis 12 °C	0 bis 3 °C

? Keine Angabe / unbekannt

Dafür nutzen aber andere Fledermausarten große Talbrücken gerade verstärkt in der kalten Jahreszeit, allen voran Zwergfledermäuse, Langohren und Große Abendsegler. Ihre bevorzugte Temperatur am Überwinterungshangplatz liegt deutlich niedriger als bei den Großen Mausohren und selbst (moderate) Frosttemperaturen werden vorübergehend toleriert (s. Tabelle 7-11).

[63] Unbehelligt von Fressfeinden und von ungünstigen Witterungsverhältnissen.

[64] Nach SCHOBER & GRIMMBERGER (1998).

Die eigenen Temperaturmessungen von minimal bis zu –3,7 °C im Massenüberwinterungsquartier von Zwergfledermäusen in der Theißtalautobahnbrücke unterstützen dies. Gleichzeitig zeigen die dortigen Detektoraufnahmen, dass die Nutzung dieses Brückenquartiers nicht nur auf die reine Überwinterung beschränkt ist, sondern auch als Rendez-vous– und winterlicher Fraßplatz für diese Fledermausart eine herausragende Stellung für umliegende Populationsteile einnimmt.

Die Bedeutung von Talbrücken für Fledermäuse liegt demnach zusammenfassend in

- einer bundesweit beachtenswerten Vielzahl an Einzelquartieren
- einzelnen Objekten mit massenhafter Fledermausbeherbergung
- der Nutzung durch mindestens der Hälfte aller Fledermausarten in Deutschland (allerdings bevorzugt nur durch 4 – 5 Fledermausarten)
- Sommervorkommen insbesondere von Großen Mausohren, Langohren und Zwergfledermäusen (vereinzelt auch Wochenstuben von Großen Mausohren und Wasserfledermäusen)
- Winterbesatz vor allem von Zwergfledermäusen, Langohren und Großen Abendseglern
- wichtigen Rendez-vous-Plätzen zur Paarungszeit
- witterungsunabhängigen Fraßplätzen

7.4.3 Bedeutung von Tunnel für Fledermäuse

Während u.a. im südlichen Europa (Karst-)Höhlen vielfach ganzjährig von Fledermäusen genutzt werden (einschließlich zur Jungenaufzucht), dienen unterirdische Gangsysteme nördlich der Alpen aufgrund des dortigen kühleren Klimas vorwiegend als Überwinterungsstätte (z.B. SCHOBER & GRIMMBERGER 1998). Neben Naturhöhlen werden hierzu auch zahlreiche Bergwerksbauten anthropogenen Ursprungs besiedelt. Außer Erz–, Basalt– und Schieferstollen suchen die einheimischen Fledermäuse hierzu z.B. auch Tunnelanlagen und Bunker auf (exemplarisch für Rheinland-Pfalz s. KIEFER et al. 1996). Belege für eine verbreitete Nutzung von Tunneln durch Fledermäuse finden sich in vielen Beschreibungen zu regionalen Fledermausvorkommen und auch gezielt sich diesem Thema widmenden Publikationen. MESCHEDE & RUDOLF (2004) listen beispielsweise für Bayern vier Tunnel mit Besatz durch Mopsfledermäuse auf, darunter u.a. das größte bekannte Wintervorkommen dieser Art in Bayern. BRAUN & DIETERLEIN (2003) benennen für Große Mausohren und Wasserfledermäuse in Baden-Württemberg u.a. Tunnel als „typische Winterquartiere“. Auch in Hessen wurden Braune Langohren in einem Eisenbahntunnel entdeckt (AGFH 1994). Für Nordrhein-Westfalen nennt BUCHEN (2005) einen Bahntunnel mit Vorkommen von Großen Mausohren, Wasserfledermäusen und Braunen Langohren. Aber auch außerhalb des Mittelgebirgsraums fanden sich bei Hamburg in einem ehemaligen U-Bahntunnel Braune Langohren, Wasser– und Fransenfledermäuse (KLUPSCH 2004). Ein regelrechtes Massenquartier wurde zudem ebenfalls in einem Tunnel der Untergrundbahn in Paris entdeckt mit bis zu 1500 überwinternden Zwergfledermäusen (LUSTRAT & JULIEN 1997).

Bei Betrachtung dieser und weiterer Beispiele zeigt sich, dass Bahntunnel deutlich überwiegen, den Besatz durch Fledermäuse betreffend. Tatsächlich wurde bei Durchsicht fledermauskundlicher Fachliteratur sowie in Gutachten und Fledermaus-Erfassungskatastern nur ein einziges Beispiel der Besiedlung eines Straßen-Doppeltunnels (1x Kreisstraße und 1x Fußgängersteg mit Bachlauf kombiniert) gefunden (HÜBNER 2001). Dies ist insoweit nicht verwunderlich, als die Anzahl an Eisenbahntunnel in

Deutschland auf ca. 600 geschätzt wird, von denen der überwiegende Teil von 1860 – 1880, in der Hochblüte des Eisenbahnbaus, entstanden sind[65].

Der Neubau von Tunnel wurde und wird nicht nur in höheren Gebirgslagen betrieben[66], sondern häufig auch als „Sporntunnel“ in Flusslandschaften der Mittelgebirge zur Abkürzung schlingenhafter Fließgewässerläufe. Schließlich kommen Tunnel noch zur Unterquerung von Flüssen (neuerdings auch öfters zur Verkehrsberuhigung unter Ortslagen u.ä.) in Frage.

Im Zuge von Umstrukturierungen des Schienennetzes werden Streckenabschnitte stillgelegt oder nur noch sporadisch befahren[67]. Diese Tunnel haben für die Fledermausnutzung eine vergleichsweise hohe Bedeutung. Nach Beobachtungen aus Mittelhessen und eigenen Daten von der Strecke Trier – Gerolstein – Köln (s. Kap. 6.2) hängen Fledermäuse in solchen Tunnel u.U. frei sichtbar an den Tunnelinnenwänden, wenn keine Zugbefahrung stattfindet. Aber auch regelmäßig befahrene, „alte“ Tunnel bieten vielfältige, z.T. schwer bis gar nicht einsehbare Versteckplätze in Spalten der Innenwände/-decken und in den vielfach gemauerten Eingangsportalen und begründen so die hohe Bedeutung für Fldermäuse.

Entsprechend der unterirdischen Lage und höhlenartigen Struktur bieten Bahntunnel aus dem 19. und beginnenden 20. Jahrhundert ein geeignetes Mikroklima für Überwinterungsquartiere von Fledermäusen. Nachgewiesen wurden 6 – 7 quartiernutzende Arten. Davon stehen Zwergfledermäuse und Große Mausohren in der Häufigkeit im Vordergrund. Meist wird ein Tunnel nur ein oder zwei Arten genutzt. Nachweise von Sommernutzungen (einzig von Großen Mausohren, Langohren und Wasserfledermäusen) sind deutlich seltener als Funde im Winterhalbjahr.

Am Beispiel der Temperaturmessungen im Cramberger Tunnel (Lahntal, Rheinland-Pfalz) zeigen sich deutliche Unterschiede im winterlichen Temperaturregime im Seitenstollen (mit Mausohr-Hangplatz) und dem von Luftdurchzug gekennzeichneten Tunnelgang, der von Fledermäusen gemieden wird.
Die Verteilung der Hangplätze im Tunnel bzw. auf die Seitenstollen belegt die Störungswirkung regelmäßigen Zugverkehrs in befahrenen Tunnelbereichen. Funde von Fledermäusen wuden ausschließlich in abgeschirmten Bereichen befahrener Tunnel (z.B. oberhalb der Tunneldecke oder in Seitennischen/–gängen).

Es ist mit Sicherheit nahezu überall mit einer raschen Annahme von Tunnel als Winterquartier nach einer Streckenstilllegung zu rechnen, sofern zugluftfreie Hangplätze und/oder spaltenreiche Verstecke[68] zur Verfügung stehen. Vor diesem Hintergrund ist allerdings nicht erklärbar, warum die beiden ehemaligen Sprengstollen am Loreleytunnel auch im vierten Winter nach ihrer Öffnung noch nicht von Fledermäusen (nachweislich) genutzt wurden. Die dort gemessenen Temperaturbedingungen (s. Kap. 7.3.2.2) erscheinen ideal, selbst für die hier zahlreich vorkommenden *Myotis*– oder *Plecotus*-Arten, die frostsichere Winterschlafplätze präferieren (Tabelle 7-12). Zu diskutieren wären ein Einfluss durch Erschütterungen oder Lärmentwicklung durch den durchfahrenden Güterzugverkehr, ein (noch) nicht optimiertes Hangplatzangebot oder zu trockene Luftfeuchtigkeit.

Aktuelle Tunnelbauten für die Bahn, aber auch den Straßenverkehr bieten dagegen kaum Hangplatzstrukturen und selbst völlig „beruhigte“ Notausgangs-Seitenstollen sind zumindest an der ICE-Strecke Köln – Rhein/Main durch ihren hermetischen Verschluss für Fledermäuse unzugänglich. Extrem glatte Wände und die Trockenheit der Luft eine Eignung als Fledermausquartier unwahrscheinlich.

---

[65] http://www.wikipedia.de

[66] Als sogenannter „Basistunnel“ durch das Fundament eines Berges oder als „Scheiteltunnel“ unterhalb der Bergkuppe mit typischerweise langen Einschnittslagen vor den Portalen.

[67] Vielfach in Form von Touristikbahnen, die nur in den Sommermonaten einen Bahnverkehr aufrecht erhalten.

[68] Selbst im Gleisschotter kann gelegentlich damit gerechnet werden.

7.4.4 Gefährdungspotenzial und Handlungsbedarf bei Fledermausvorkommen in Talbrücken und Tunnel

Fledermäuse können in mehrfacher Hinsicht als Kulturfolger des Menschen bezeichnet werden, da sie insbesondere im mitteleuropäischen Raum viele anthropogen geschaffene Bauten für sich als künstliche Neuquartiere oder auch als Ersatz für verloren gegangene „natürliche“ Quartiere (Höhlen, Felsspalten, Baumhöhlen etc.) nutzen. Beispiele sind Bergwerksstollen, Bunker, Keller für die Überwinterung und Dachstühle, Hausfassaden, Fledermauskästen als meist Sommerquartiere. Auch für die beiden hier betrachteten Bauwerkstypen, Talbrücken und Tunnel, wurde dargelegt, dass eine ganzjährige Nutzung durch Fledermäuse gegeben sein kann, bei Tunnel allerdings bevorzugt ein Besatz im Winterhalbjahr.

Gefährdungen bei der Wahl eines Quartiers durch Fledermäuse umfassen letztlich zwei Themenkreise:

- Zum einen kann ein ungünstiger Hangplatz durch die Tiere gewählt worden sein, der z.B. keinen ausreichenden Witterungsschutz gewährt. Vor allem im Winter können beispielsweise durch Temperaturstürze hohe Tierverluste auftreten, weil aufgrund ihres Winterschlafs Fledermäuse zu dieser Jahreszeit nur eingeschränkt mobil sind[69]. Durch soziale Bindungen der Tiere locken sie sich über „Hilferufe“ unter Umständen auch gegenseitig in Hohlräume, aus denen sie selbstständig nicht mehr heraus kommen[70].
- Zum zweiten unterliegen Fledermausquartiere Veränderungen, die von Störungen bis hin zur Unbrauchbarkeit (einschließlich Tierverlusten) führen können. Bei „natürlichen“ Objekten sind diese eher in großen Zeitabständen zu erwarten (Höhleneinsturz, Abbruch einer Felsnase, Zusammenbruch eines Höhlenbaums u.ä.). Bei Kunstbauten des Menschen können Veränderungen dagegen in wesentlich kürzeren Zeiträumen auftreten.

Für Brücken und Tunnel bedeutet dies, dass sowohl anlagenbedingt, als auch betriebsbedingt Probleme bei einem Fledermausbesatz auftreten können. Hinzu kommen bauliche Maßnahmen und Veränderungen im Sanierungsfall.

<u>Anlagenbedingte Effekte:</u>
Von sieben der erfassten 13 Fledermausarten konnten auch in/unter verschiedenen Brücken und in/vor einem Tunnel tote Tiere entdeckt werden. Derartige Ereignisse häufen sich in der herbstlichen Wanderungszeit sowie während der Überwinterungsperiode, was auf Erschöpfungsursachen und teilweise unzureichend frostgeschützte Hangplätze schließen lässt. Unklar ist, warum die Tiere bisweilen ungünstige Schlafplätze überhaupt aufsuchen und in welchem Umfang dieses Phänomen auch an nicht-anthropogenen Strukturen (z.B. Felsspalten) auftritt (s.o.). Insbesondere bei Tunnelbauten, aber auch in vielen Hohlkammern von Spannbetonbrücken herrschen von Durchzug bestimmte Bedingungen. Diese durchziehenden Luftströme führen zu einer „Bewetterung“ der Innenräume und können zum Teil von außen Kaltluft im Winter tief hinein bringen. Dadurch trocknen die Bauwerke vielfach zusätzlich stark aus. Die Attraktivität für Fledermäuse dürfte dadurch eingeschränkt sein. Ob dies auch zum oben beschrieben „Fehlverhalten“ hinsichtlich einer für die Tiere nicht einschätzbaren Frostgefahr am Hangplatz führt, kann nur spekuliert werden.

Betroffen sind insbesondere drei Fledermausarten bei Talbrücken. (Zu Tunnel können hierzu keine quantitativen Aussagen gemacht werden). Besonders häufig – gemessen an der Anzahl ihrer Funde überhaupt – treten Totfunde bei der Zweifarbfledermaus auf, in Deutschland genauso wie in Österreich (vgl. PYSARCZUK 2004). Dies ist verwunderlich, weil diese Art als außerordentlich kälteresistent gilt,

[69] PERRIN (1988) berichtet z.B. von einem Fund massenhafter Abendseglerskelette in einer Felsspalte der Juraalpen bei Basel, die er als Erfrierungsopfer interpretiert.

[70] KOCK & FELTEN (1980) berichten z.B. von der Beobachtung einer Massenansammlung verendeter Zwergfledermäuse in einer glattwandigen Bodenvase auf dem Dachboden eines Schlosses.

die regelmäßig bei Frosttemperaturen überwintert (s. Tabelle 7-9). KOCK & ALTMANN in AGFH (1994) benennen die geringe Luftfeuchtigkeit in Betonbrücken als mögliche Todesursache. Dieses Phänomen muss aber keine Ursache in einer besonderen Baukonstruktion von Talbrücken haben, sondern tritt ähnlich auch z.B. in und an Hochhäusern auf, wo häufig geschwächte Tiere im Winter gefunden werden (SCHOBER & GRIMMBERGER 1998 u. eig. Beob.). Eventuell sind die Lebensbedingungen für dieses weit wandernde Faunenelement mit Schwerpunktvorkommen in Osteuropa am Westrand seiner Verbreitung nicht optimal.

Todesfälle während der Überwinterung in und an Brücken treten auch bei Zwergfledermäusen und Großen Abendseglern (für Letztere auch in Bäumen) regelmäßig auf. HEUSER (pers. Mitt. 2007) und auch PYSARCZUK (2004) diskutieren in diesem Zusammenhang auch durch Alterungsprozesse am Bauwerk hervorgerufenes Tau– und Schmelzwasser in engen Spalten, die als Überwinterungsquartier von z.B. Zwergfledermäusen genutzt werden. Die Vernässung ihres Fells kann bei winterschlafenden Tieren sicherlich schnell zu einer Unterkühlung führen und bei Temperaturen um den Gefrierpunkt herum sogar durch nachträgliche Eisbildung diesen Effekt noch verstärken.

Neben Zwergfledermäusen sind in Talbrücken vor allem Große Abendsegler von einem weiteren Phänomen mit Todesfolge betroffen: der Masseneinflug in Hohlkammern oder Hohlkammer-ähnlichen Räumen über enge Öffnungen. Gerade Abendsegler haben aufgrund ihrer schmalen Flügelform einen großen Platzbedarf bei ihren Flügen. In engen und insbesondere eindimensional lang gezogenen Räumlichkeiten (Brückenpfeiler, Hohlwannen unter der Fahrbahn) haben sie Schwierigkeiten, die erforderlichen engen Kurven zu fliegen und müssen sich dadurch an den Wänden entlang krabbelnd zum offensichtlich manchmal schwer wieder zu findenden Eingangsloch fortbewegen. Besonders das harte Wandmaterial in Betonbrücken wird ihnen dabei zum Verhängnis, da sich ihre zum Klettern wichtigen Daumenkrallen besonders schnell abnutzen (GEBHARD 1997, HEUSER pers. Mitt. 2007). Hin– und Herflüge bis zur Erschöpfung durch Zwergfledermäuse und Große Abendsegler wurden auch in langen Hohlwannenkammern (bzw. auch bei eigentlich offener Traggerüstbauweise) unter der Fahrbahn beobachtet.

Betriebsbedingte Effekte:

Die Lärmtoleranz in Brückenbauten scheint bei den dort angetroffenen Tieren vergleichsweise hoch zu sein, da sie sogar teilweise in den besonders lärmbelasteten Dehnungsfugen ihre Hangplätze wählen. In Tunnel wirkt sich Zugverkehr dagegen negativ auf eine hohe Besiedlungsquote aus, was neben der Lärmentwicklung aber auch andere Ursachen haben kann (s. Tabelle 7-12).

Bei notwendigen Kontrollen durch Prüftrupps können vorhandene Fledermäuse aufgescheucht, vergrämt, eingeschlossen oder sogar direkt getötet[71] werden. Bestenfalls tolerieren die Tiere kleinere Störungen (z.B. Lichteinschaltung und kurzer Durchgang der Kontrolleure) oder sie reagieren hierauf mit der Suche nach einem neuen Hangplatz im selben Bauwerk, bzw. weichen (kurzfristig) auf ein anderes ihnen bekanntes Quartier aus. Zur Häufigkeit derartiger Störungen können die ingenieurtechnischen Überwachungs– und Prüfvorgaben[72] herangezogen werden. Danach sind dreimal jährlich Kontrollen vorzunehmen und alle sechs Jahre findet eine (längerwierige) Hauptprüfung statt. Bauliche Mängel, wie geborstene Wasserleitungen o.ä., können im Einzelfall zu einer echten Bedrohung des Fledermausbestandes in einem Bauwerk führen. Derartige Fälle können in ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit allerdings nicht abgeschätzt werden.

[71] Durch inzwischen weitverbreitete Aufklärungsarbeit über die Schutzwürdigkeit dieser Tiergruppe, dürfte diese Gefahr mittlerweile als eher gering eingeschätzt werden, aber vereinzelte Berichte von Fledermaustötungen, beispielsweise bei Wohnungseinflügen, sind immer noch aktuell.

[72] DIN 1076 "Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen; Überwachung und Prüfung".

Tabelle 7-12: Beispiele für Störungen und Gefährdungen von Fledermäusen in Brücken und Tunnel

Gefährdungs potenzial	Talbrücke	Tunnel
anlagenbedingt	• Zugluft an Hangplätzen • Kältetod an frostunsicheren Hangplätzen • Austrocknung durch Zementstäube • Falleneffekte innerhalb enger (bzw. eindimensional lang gezogener) Hohlkammern in Brückenpfeilern oder unter der Fahrbahn • Steckenbleiben eines Fledermauskopfes in engem Bodenloch • Einklemmgefahr bei Hangplatz hinter Türrahmen	• Zugluft am Hangplatz • Kältetod an frostunsicheren Hangplätzen (theoretisch z.B. in Spalten von Tunnelportalen)
betriebsbedingt	• Lärmentwicklung und Erschütterungen durch Fahrzeugverkehr über Hangplätzen • Gelegentliche taghelle Ausleuchtung des Quartiers bei Brückenbegehungen • Flutung von Versteckplätzen durch Störungen im Entwässerungssystem	• Lärmentwicklung, Erschütterungen und starke Luftdruckschwankungen bei Fahrzeugverkehr im Tunnel • Verräucherung der Hangplätze durch Dampflokbetrieb bei Touristikbahnen • Kollisionen mit dem diskontinuierlichen Zugverkehr
sanierungsbedingt	• Lärmentwicklung, Erschütterungen und taghelle Ausleuchtung im Quartier während der Bauphase • Verschluss des Einflugs (temporär durch Baugerüst oder dauerhaft zur Taubenabwehr) • Temperaturerhöhung am Hangplatz durch Fahrbahnasphaltierung darüber • Beseitigung bestehender Hangplätze	• Lärmentwicklung, Erschütterungen und taghelle Ausleuchtung im Quartier während der Bauphase • Verschluss des Hangplatzanflugs (temporär oder dauerhaft) • Beseitigung bestehender Hangplätze • Totalverschluss bei Streckenstilllegung • Reaktivierung der Strecke (z.B. auch als Fahrradweg) nach Nutzungs-aufgabe

<u>Sanierungsbedingte Effekte:</u>

Die einschneidendsten Wirkungen auf ein Fledermausquartier in einer Talbrücke oder in einem Tunnel sind sicherlich mit baulichen Veränderungen bei Sanierungen verbunden. Auch hierbei treten je nach Sanierungsumfang zusätzliche Störungen, Vergrämungen oder Ausschlüsse aus dem Quartier auf. Schlimmstenfalls verlieren die Tiere ihr bislang genutztes Quartier vollständig oder überleben sogar die Quartierzerstörung nicht, weil sie unentdeckt bleiben oder ihre Belange im Sanierungsablauf keine Berücksichtigung finden. Zur Häufigkeit derartiger Fälle ist zu sagen, dass 65% der Brücken und insbesondere die großen Talbrücken im Zeitraum 1965 – 1985 gebaut wurden und dadurch mittlerweile an diesen Bauwerken viele Mängel zu beseitigen sind[73]. Bisweilen wird sogar von einer massiv anstehenden „Sanierungswelle“ gesprochen (HECK & BARZ 2000).

Auch die Eisenbahntunnel aus dem 19. Jhd. entsprechen vielfach nicht mehr den heutigen Ansprüchen an Fahrkomfort und Sicherheit, so dass auch bei ihnen zahlreiche Renovierungen anstehen[74]. Von besonderer Bedeutung für Fledermausvorkommen in Tunnel sind zudem mehrfache Wechsel der Grundeigentümer auf (meist) unrentablen Strecken, verbunden mit schwankenden Nutzungsinteressen. Mehrjährig stillgelegte Objekte können sich zu bedeutenden Fledermausquartieren entwickeln, wie zahlrei-

[73] http://www.bmvbs.de/Anlage/original_949708/Bericht-ueber-die-Qualitaet_-Dauerhaftigkeit-und-Sicherheit-von-Spannbetonbruecken.pdf

[74] Inklusive Tunnelerweiterungen, um die Gleise auf größeren Abstand zueinander halten zu können, wie z.B. auf der Lahnstrecke sukzessive für alle Tunnel geplant (Auskunft der dort zuständigen Eisenbahnverwaltung).

che Beispiele zeigen, wobei neben Objekten der Deutschen Bahn in (Groß-) Städten auch Untergrundbahnen in Frage kommen. Ihre Reaktivierung – durch wen auch immer – führt zu Änderungen der Quartiersituation.

Handlungsebene:
Das Erkennen von Gefährdungspotenzialen im Zusammenhang von Fledermausbesatz in technischen Bauwerken, wie Talbrücken und Tunnel, ist in Naturschutzkreisen (insbesondere des Fledermausschutzes) zwischenzeitlich weit verbreitet. Nicht zufällig stammen die meisten Meldungen zu derartigen Quartierfunden von ehrenamtlich tätigen Naturschutzorganisationen sowie aus von ihnen initiierten Schutzprojekten. Eine Sensibilisierung aller mit den Bauwerken Brücke und Tunnel befassten Mitarbeiter im Straßen– und Eisenbahnbau und –betrieb für die Thematik ist vorrangig (vgl. auch PYSARCZUK 2004, DIETZ 2005). Die Möglichkeit, sich im Bedarfsfall fachliche Hilfe bei Naturschutzorganisationen, bzw. Fachbehörden für Naturschutzfragen zu holen, wird sicherlich noch viel zu selten genutzt. In „Baubüchern“ und „Leitfäden“ zum Fledermausschutz an anthropogen geschaffenen Bauwerken finden sich viele Tipps und Hinweise zur Verbesserung der Quartiersituation an Gebäuden, Bunkern und sogar auch Brücken u.ä. (z.B. STUTZ & HAFFNER 1993, DIETZ & WEBER 2000, REITER & ZAHN 2006).

Ablagebedingte Fallen sind zu vermeiden. Zur Gefahrenabwehr vor Einflügen in enge, glattwandige Pfeilerkammern oder zwischen eng stehende Gitterwände unter der Fahrbahn wurden erfolgreich Absperrwände errichtet und Ausstiegs-Kletterhilfen installiert in Form von bis zum Boden reichenden Maschendrahtstreifen oder groben Stofftüchern (z.B. WERNER 1996, HÄUSSLER et al. 1997, REITER & ZAHN 2006).

Bei Vermauerungen von Tunnel können leicht Einflugöffnungen für Fledermäuse eingeplant werden. Verschiedentlich wurden Fledermauskästen in Brücken zur Verbesserung der Hangplatzsituation aufgehängt als Ersatz für frostgefährdete Hangplatzbereiche in den Bauwerken (z.B. WEISHAAR 2005 mdl., HORN 2006). Nachkontrollen für Objekte in Deutschland sind allerdings nicht so dokumentiert wie es für eine wissenschaftliche Auswertung des Erfolgs notwendig wäre. Dasselbe gilt für Vorschläge zur Befeuchtung von Hohlkammern durch regelmäßigen, aber niedrigen Wasserstand bzw. zur Abkammerung von Teilräumen in großen Hohlwannen, um das Angebot an dunklen und zugluftfreien Hangplätzen zu erhöhen.

Die ersatzweise Anlage von Hangplätzen innerhalb oder außerhalb der Bauwerke wird vielfach empfohlen (z.B. Herrichtung zum Fledermausquartier eines nicht zugeschütteten, talbrückennahen Wegedurchlasses unter einer Autobahn) und auch umgesetzt (z.B. Holzfaserplatten als „griffiger“ Hangplatz). Derartige Maßnahmen sind trotz entsprechender fachkundiger Baubegleitung und Ersatzquartierangebot aber bislang nur selten erfolgreich oder zumindest nicht wissenschftlich dokumentiert. Einerseits gibt es positive Beispiele. Hierzu zählt der Erhalt der individuenstarken Mausohr-Wochenstube im Brückenkopf der Maintalbrücke bei Bettingen (Bayern) trotz eines Neubaus der Brücke in wesentlichen Teilen (MESCHEDE & RUDOLF 2004). Zudem existieren Meldungen von der Annahme ausgebrachter Ersatz-Hangplatzbretter oder Ersatzkästen als Sommerquartier in Brücken (KUGELSCHAFTER & WALTHER 1998, HECK & BARZ 2000, ZAHN 2005, ZAENKER & GLEBE 2007 pers. Mitt. u. eig. Beobachtungen). Demgegenüber wird vielfach auch vom Mißlingen der Versuche aus verschiedenen Gründen berichtet. Die Einrichtung von Ersatzhangplätzen wird vielfach vom Baulastträger abgelehnt; getroffene Vereinbarungen werden (bewusst) umgangen. Unbedachte Handlungen der ausführenden Baufirmen führten zu Störungen (z.B. Verstellung des Fledermausein-/-ausflugs durch ein Baugerüst, Verschiebung von Abdeckplatten über dem Fledermaushangplatz, Brennenlassen von Baustellenbeleuchtungen über Nacht im Bereich des Quartiers / Quartierzuganges). Grundlegend wichtig sind die Maßnahmenplanung mit dem Ziel des Erhalts der Hangplätze, die ökologische Bauüberwachung und ein Monitoring während und für einige Jahre nach Abschluss der Bauarbeiten (wichtig beispielsweise bei zunehmender Austrocknung des Quartiers in Folge der Sanierungsmaßnahmen).

Da die meisten Schwierigkeiten eines effektiven Fledermausschutzes in Brücken und Tunnel zudem bei Sanierungen entstehen, sollten für die Planungssicherheit und für einen reibungslosen Ablauf möglichst frühzeitig Kontakte zu Naturschutzbehörden gesucht werden. Größtes Manko bei Sanierungen ist das fehlende frühzeitige Wissen um eine Nutzung des Bauwerks durch Fledermäuse. Ideal wäre schon im Vorfeld für zukünftig anstehende Sanierungsprogramme die Erweiterung vorhandener Bauwerksbeschreibungen bei den Bauämtern um umweltrelevante Daten (KEELEY & TUTTLE 2000, DIETZ 2005).

In Hinblick auf die oben aufgeführten Gefährdungssituationen lassen sich stichwortartig folgende Empfehlungen zusammentragen:

- Erstellung und regelmäßige Aktualisierung von Listen zu Tierbeobachtungen (hier Fledermausfunde, auch Kotnachweise) bei den zuständigen Bauämtern und regional zuständigen Naturschutzbehörden.
- Hinzuziehung fachkundiger Personen bei Entdeckung von Fledermäusen in Brücken oder Tunnel (auf jeden Fall bei größerer Individuenzahlen > 5), Totfunden und unbedingt bei anstehenden Sanierungsarbeiten in Objekten mit Fledermausbesatz und bei stillgelegten Tunnel.
- Meidung von Zeiträumen der meist nur jahreszeitlich begrenzten Anwesenheit von Fledermäusen bei Sanierungsarbeiten (gilt auch für die Asphaltierung der Fahrbahn oberhalb von Hangplätzen in Brücken).
- Bei länger andauernden Sanierungsfällen ist eine schrittweise Vorgehensweise zu prüfen, bei der Fledermaushangplätze zur Besatzzeit geschont werden und nach Bauabschluss möglichst im Originalzustand wieder hergestellt werden.
- Bei großräumigen Sanierungsarbeiten sind gegebenenfalls Umsiedlungen (nicht einfach Ausschluss) innerhalb des Objektes oder seiner unmittelbaren Umgebung an dunkle, zugluftfreie Hangplätze fachkundig zu planen und auf ihre Wirksamkeit hin zu überprüfen.
- Durchführung von Erfolgskontrollen (Monitoring) nach Sanierungsarbeiten (bis zu 6 Jahre nach Bauabschluss) durch fachkundige Personen.
- Bei Auftreten gehäufter Todesfälle im Winterhalbjahr können wärmeisolierte Kästen[75] aufgehängt werden (besser in Brückenköpfen als in der Brückenmitte).
- Verschluss von fallenartig wirkenden Hohlkammern durch engmaschige Gitter (10 mm x 10 mm), bzw. Anbringung von Ausstiegshilfen in Form von Gittermatten, groben Stofftüchern an glatten Wänden.
- Grundsätzliche Einplanung von Wasserablauföffnungen aus allen Hohlkammern, damit bei Wassereintritt keine vollständige Flutung erfolgen kann.
- Eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit in Hohlkammern durch Erhalt/Schaffung eines Erdanschlusses oder geringfügige Einspülung von z.B. Niederschlagswasser verbessert die Hangplatzsituation in vielen Fällen sicherlich merklich.
- Keine (neue) Anbringung von Quartierhilfen im Nahbereich zu Straßen- oder Zugverkehr.
- Keine (Wieder-)Inbetriebnahme bzw. Raktivierung von nicht in Betrieb befindlichen bzw. stillgelegten Eisenbahntunnel während des Winterschlafs.

Ein am Artenschutz orientiertes Handeln sollte bei den hier betrachteten, primär technischen Bauwerken nicht generell in eine aktive Besatzerhöhung hinauslaufen (anders in KOETTNITZ & HEUSER 1994, PYSARCZUK 2004), ohne das die Rahmenbedingungen des Quartiers genau betrachtet sind und der originäre Zweck des Bauwerkes an Straßen oder Schienen, der eine potenzielle Gefährdung von Fledermäusen mit sich bringt.

[75] Bei Eigenbauten und auch bei der Auswahl von Fertigprodukten im Handel ist Beratung durch Fledermauskundler erforderlich.

8 Wirksamkeit von Vermeidungsmaßnahmen

8.1 Autobahnunterführungen und technische Brücken als Querungsmöglichkeiten für Fledermäuse

8.1.1 Einführung

Beobachtungen und erste systematische Untersuchungen hatten ergeben, dass zahlreiche Fledermausarten Verkehrswege unterqueren, indem sie Autobahnbauwerke oder Durchlässe nutzen (Zusammenfassungen z.B. in AG QUERUNGSHILFEN 2003, BACH et al. 2004, FGSV 2008) oder alternativ zur Querung auch Überführungsbauwerke (BRINKMANN 2008) und Grünbrücken als Überflughilfen nutzen (BACH & MÜLLER-STIEß 2005, BACH 2008).

Mittels dieser Untersuchung sollte überprüft werden, welche Merkmale von Unter- und Überführungen (Unterführungsbauwerken, Durchlässen und Überführungsbauwerke) an breiten und verkehrsreichen Straßen wie Autobahnen die Nutzung durch Fledermäuse ermöglichen resp. beeinflussen. Dabei stehen bei den Unterführungsbauwerken/Durchlässen die Fragen im Vordergrund, welchen Einfluss unterschiedliche Querschnitte oder unterschiedliche Längen haben und ob das Gewässer oder der Fahrweg die Benutzung durch Fledermäuse prägen. An Überführungsbauwerken mit potenzieller Funktion als Überflugmöglichkeit wurden Bauwerke, die die Fahrbahn(en) vollständig queren und „Halbbrücken“, die nur über eine Fahrbahnhälfte führen und oft als Schilderträger über dem Verkehrsweg dienen, untersucht. Die Nutzung sogenannter „Grünbrücken“ war Gegenstand weiterer Untersuchungen, siehe im Kap. 8.2.

8.1.2 Methoden

8.1.2.1 Probeflächen

In 2005 wurden Vorversuche zur Querungshäufigkeit an Durchlässen unterschiedlicher Größe, Gestaltung und Nutzung sowie an zwei Radarbrücken an der sechsstreifigen, auch nachts stark befahrenen Autobahn Autobahn A3 zwischen den Anschlussstellen Niedernhausen (Hessen) und Diez (Rheinland-Pfalz) durchgeführt. Darauf aufbauend wurde in 2006 ein Standardprogramm zur Erfassung von Fledermausaktivitäten an Querungsbauten von sechs Autobahnen und einer Bundesstraße im Bereich „Montabaur-Koblenz-Bingen-Rhein-Main-Gebiet“ umgesetzt. Die folgenden Abbildungen und Tabellen geben einen Überblick über die Probeflächen. Zehn Wegeunterführungen (Unterführungsbauwerke) und sieben Bachdurchlässe sowie neun Brücken (Überführungsbauwerke) und drei „Halbbrücken“ über nur eine Autobahnhälfte wurden mittels einheitlicher Methoden (Anabat, Paarvergleich) untersucht. Quantitativ auswertbare Daten liegen aufgrund von Gerätefehlfunktionen zu 25 Probeflächen vor; an vier Unterführungsbauwerken konnte lediglich das Artenspektrum der Durchflieger erfasst werden.

Abbildung 8-1: Lage der untersuchten Wege- und Bachdurchlässe unter Autobahnen im Großraum „Montabaur-Koblenz-Bingen-Rhein-Main“

Zusätzliche Fallstudien zum Querungsverhalten wurden an bekannten Flugwegen von Fledermäusen an zwei unterschiedlich groß dimensionierten Unterführungsbauwerken an der B27 (Bachunterführung) sowie an der B7 (Wirtschaftswegeunterführung) sowie an zwei Wirtschaftswegebrücken über einer zweistreifige Landstraße bei Halle/Westfalen (L782) sowie an einer Wirtschaftswegebrücke über die Autobahn A4 bei Wommen vorgenommen. An diesen Probeflächen wurden abweichende Methoden eingesetzt (s.u.); entsprechend wurden diese Probeflächen auch separat ausgewertet.

Allen Probeflächen gemeinsam ist ihre Lage in struktur- und laubholzreichen Waldgebieten. Sie verbinden entweder beiderseits den Baumbestand unmittelbar neben den breiten und verkehrsreichen Strecken oder sind durch Baumreihen und/oder Heckenstrukturen gut in die umgebende Naturlandschaft bzw. an den nahe gelegenen Wald angebunden.

Tabelle 8-1: Untersuchte Unterführungsbauwerke

Nr.	Standort	Straße	Nutzung	Höhe x Breite x Länge (m)	Datum der Erhebung	Methode
D01	Auringen	Autobahn A3, KM 146,0	Wirtschaftsweg	6 x 4,5 x 46	11.08.-15.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
D02	Buchhahn	Autobahn A48, KM 2,7	Wirtschaftsweg	6 x 5 x 32	20.09.-22.09.2006	Anabat (Paarvergleich)
D03	Hilgert 2	Autobahn A48, KM 6,0	Wirtschaftsweg	5,5 x 4,5 x 30	18.09.-20.09.2006	Anabat (Paarvergleich)
D04	Wildpark Rheinböllen	Autobahn A61, KM 269,0	Wirtschaftsweg	4,5 x 7 x 60	23.08.-24.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
D05	Lennebergwald 1	Autobahn A60, KM 26,6	Wirtschaftsweg	4,5 x 4,7 x 30	02.05.-08.05.2006	Anabat (Paarvergleich)
D06	Norath	Autobahn A61, KM 256,4	Wirtschaftsweg	4,5 x 6 x 45	25.08.-28.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
D07	Selters	Autobahn A3, KM 121,0	Fuß-/Reitweg	2,5 x 2 x 38	07.08.-08.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
D08	Stockwiese	Autobahn A3, KM139,0	Wirtschaftsweg	4–6 x 5 x 42	11.08.-14.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
D09	Waldhof	Autobahn A3, KM 137,0	Fuß-/Reitweg	3 x 2 x 55	09.08.-11.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
D10	Apfelbach	Autobahn A67, KM 11,1	Bachlauf	1,7 x 5 x 40	29.08.-31.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
D11	Daisbach	Autobahn A3, KM 137,9	Bachlauf	2,5 x 2 x 75	30.09.-10.10.2005	Anabat (Paarvergleich)
D12	Hegbach 1	Autobahn A5, KM 509,0	Bachlauf	1,2 x 4,5 50	01.09.-03.09.2006	Anabat (Paarvergleich)
D13	Hegbach 2	Autobahn A67, KM 10,7	Bachlauf	2 x 4,5 33	29.08.-31.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
D14	Pfaffenbach	Autobahn A3, KM 46,2	Bachlauf	5 x 8 x 45	20.09.-21.09.2006	Anabat (Paarvergleich)
D15	Wörsbach	Autobahn A3, KM 128,8	Bachlauf	3 x 5 x 90	21.09.-30.09.2005	Anabat (Paarvergleich)
D15a	L5712	Autobahn A3, KM 128,9	Straße	6 x 8 x 50	21.09.-30.09.2005	Anabat (Paarvergleich)
D16	Kirchnerseckgraben	Autobahn A5, KM 508,0	Bachlauf	1 x 1,4 x 50	01.09.-03.09.2006	Anabat (Paarvergleich)
Verhaltensbeobachtungen (Fallstudien)						
DxB27	Reichensachsen	B27, Vierbach	Bachlauf	3,5 x 4 x 17	23.05.-03.06.08 24.06.-04.07.08 28.07.-11.08.08	Detektor D240, Anabat, Paarvergleich
DxB7a	Bischhausen	B7	Wirtschaftsweg	4,5 x 5 x 19,5	28.06.-30.06.07 11.07-12.07.07 01.08.2007	Detektor D240, IR-Video
DxB7b	Bischhausen	B7	Wirtschaftsweg	4,5 x 5 x 19,5	28.06.-30.06.07 11.07-12.07.07 01.08.2007	Detektor D240, IR-Video

Abbildung 8-2: Beispiele untersuchter Wegeunterführungen (von links nach rechts D07, D08, D02)

Abbildung 8-3: Beispiele untersuchter Bachdurchlässe (von links nach rechts D12, D11, D15)

Tabelle 8-2: Untersuchte Überführungsbauwerke und „Halbbrücken“

Nr.	Standort	Straße	Nutzung	Breite x Länge (m)	Datum der Erhebung	Methode
B17	Feldschneisenbrücke	Autobahn A67, KM 11,9	Wirtschaftweg	5,5 x 60	29.08.-31.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
B18	Hilgert 1	Autobahn A48, KM 5,1	Wirtschaftweg	7 x 30	13.09.-18.09.2006	Anabat (Paarvergleich)
B19	Koblenz Südtangente	B49	Wirtschaftweg	6 x 50	22.09.-25.09.2006	Anabat (Paarvergleich)
B20	Korbacher Hufwald	Autobahn A61, KM 251,1	Wirtschaftweg	6 x 45	25.08.-28.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
B21	Lennebergwald 2	Autobahn A643, KM 7,5	Wirtschaftweg	4,5 x 50	18.08.-20.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
B22	Lennebergwald 3	Autobahn A643, KM 7,2	Wirtschaftweg	11 x 50	02.05.-08.05.2006 18.08.-20.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
B23	Pfädchensgraben	Autobahn A61, KM 276,9	Wirtschaftweg	6 x 45	23.08.-24.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
B24	Steinschneisenbrücke	Autobahn A5, KM 505,5	Wirtschaftweg	6 x 50	01.09.-03.09.2006	Anabat (Paarvergleich)
B25	Emmelshausen	Autobahn A61, KM 252,5	Straßenbrücke	12 x 45	25.08.-28.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
B26	Elzer Berg 1	Autobahn A3, KM 100,5	Radarbrücke über halbe Autobahn	2,5 x 25	10.10.-17.10.2005 07.08.-08.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
B27	Elzer Berg 2	Autobahn A3, KM 101,1	Radarbrücke über halbe Autobahn	2,5 x 25	10.10.-17.10.2005 07.08.-08.08.2006	Anabat (Paarvergleich)

Nr.	Standort	Straße	Nutzung	Breite x Länge (m)	Datum der Erhebung	Methode
B28	Niedernhausen	Autobahn A3 KM 143,0	Verkehrsschild über halbe Autobahn	0,5 x 25	11.08.-14.08.2006	Anabat (Paarvergleich)
B-Hal	Halle/Westf.	L782	Wirtschaftweg	9,5 x 40	14.07., 04.08, 13.08.2005 07.06.- 13.6.2008	Detektor D240, IR-Video
B-Wo	Wommen	A4	Wirtschaftweg	5,5 x 50	20.-22.07. 16.-18.08. 2006	Detektor D240, IR-Video

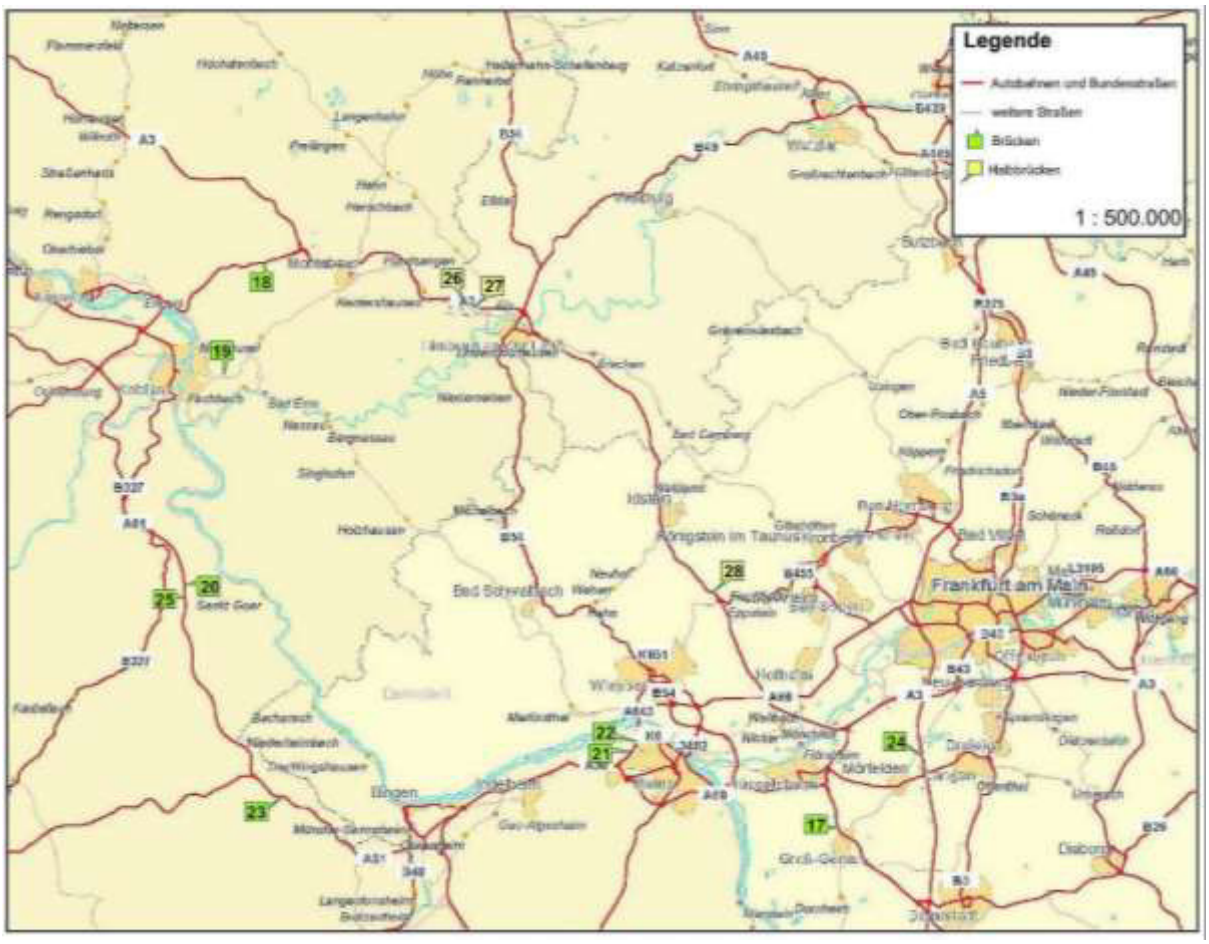


Abbildung 8-4: Lage der untersuchten Brücken und „Halbbrücken“ über Straßen im Großraum „Montabaur-Koblenz-Bingen-Rhein-Main“

Abbildung 8-5: Beispiele untersuchter Wegebrücken über Autobahnen (links B24, rechts B22)

Abbildung 8-6: Untersuchte „Halbbrücken“ an Autobahn A3 (links Radaranlage, rechts Verkehrsschild)

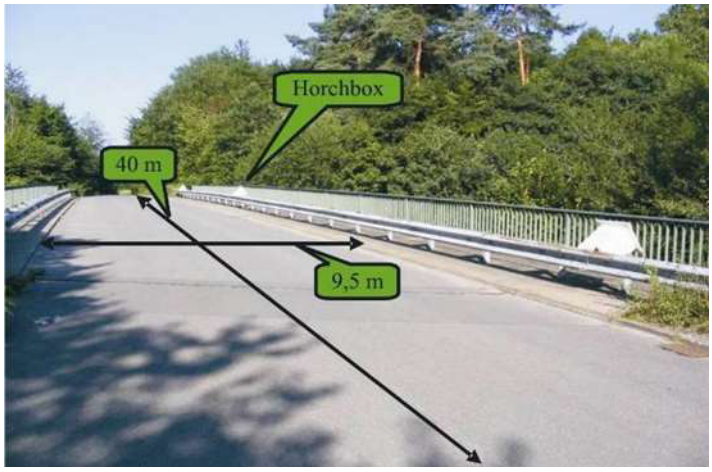


Abbildung 8-7: Probefläche Berlin-Halle (Wegebrücke über die L782 bei Halle/Westf.)

8.1.2.2 Untersuchungsgeräte

Zum Einsatz kamen in allen Paarvergleichen Anabat I – Systeme (Titley Scientific, AU). Die Anabat besteht aus einem Frequenzteilerdetektor und einem Nulldurchgangs-Analyse-und-Aufzeichnungsgerät. Die Geräte wurden in wasserdichten Koffern (Pelicase) verstaut. Über eine eigens eingebaute Buchse kann ein 20 m langes Mikrofonkabel angeschlossen werden. Die Ultraschallmikrofone wurden jeweils an der Spitze einer Teleskopstange in ca. 3 m Höhe befestigt. Um diese empfindlichen Geräte vor Regen zu schützen, wurden sie bei allen AnaBat-Apparaturen in einer Plastikkapsel wasserdicht verpackt und mit der Öffnung senkrecht nach unten vor einer Plexiglasscheibe im 45°-Winkel angeordnet.[76] Dadurch empfangen die Mikrofone Ultraschallsignale in idealisierter Weise aus einem waagerecht liegenden Aufnahmekegel.

Abbildung 8-8: AnaBat (links) und Ultraschallmikrofon auf Teleskopstange, installiert im Autobahnmittelstreifen

Im Falle der Unterführungsbauwerke (Unterführungen) wurde jeweils eine Apparatur mittig oder zumindest mehrere Meter tief in den Durchlässen platziert und ihr Aufnahmekegel zur Durchlassmitte hin ausgerichtet. Für zeitgleiche Aufnahmen wurde direkt darüber auf dem Mittelstreifen der Autobahn, ebenfalls jeweils eine Aufzeichnungseinheit errichtet.[77] Ihr Aufnahmekegel wurde parallel zu den Fahrspuren ausgerichtet, auf einer Höhe der ausgezogenen Teleskopstange von etwa drei Metern über dem Grund. Abweichend davon kamen an einigen Probeflächen (s. Tabelle 8-1 und Tabelle 8-2) Teiler-Detektoren D240x oder Batbox Duet mit gekoppelter digitaler Rufaufzeichnung auf IRiver IFP89x und Zeitgeber sowie IR-Camcorder (zu Letzteren s. die Methodenbeschreibung in Kap.6.1) zum Einsatz. Fle-

[76] Dieser „Bat-Hat“ ist in den USA erfolgreich erprobt (vgl. http://www.emesys.com/bat-hat.htm).

[77] Den Mitarbeitern der beteiligten Straßenmeistereien danken wir für die Absicherung bei den Auf- und Abbauarbeiten am Straßenrand.

dermausflüge wurden entlang der zwei Wirtschaftswegebrücken mittels eines Transektes über die Brücke differenziert beobachtet. Querungsereignisse wurden anhand der registrierten Flugaktivitäten an den drei Detektorpositionen in Brückenmitte sowie an den beiden Brückenköpfen am Rand dargestellt.

Im Einzelfall mussten auch abweichende Aufbauten vorgenommen werden: 2005 wurden an den Radarbrücken am Elzer Berg die Mikrofone an den Brücken selbst montiert, in Höhe des Autobahnmittelstreifens, etwa 6-7 m über dem Grund. Entlang der Brücke über die L782 bei Halle/Westfahlen kamen drei Horchboxen jeweils an den Brückenköpfen sowie in der Brückenmitte zum Einsatz, die zum Schutz gegen die Witterung in Wettermesshäusern mit geschlitzten Lamellenwänden verstaut waren.

Die Datenanalyse und Artbestimmung der Fledermausrufaufzeichnungen erfolgte bezüglich der ANABAT-Aufnahmen mittels des Computerprogramms AnaLook Version 4.9j (CORBEN 2004). Hiermit ließen sich verschiedene Ruftypen unterscheiden, die folgenden Arten, bzw. Artengruppen zugeordnet werden konnten[78]:

1) Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*) – frequenzmoduliert, Modulationsrate abnehmend, Endfrequenz deutlich über 50 kHz (in der Regel 55–60 kHz)

2) Zwergfledermaus (*Pipistrellus Pipistrellus*) – frequenzmoduliert, Modulationsrate abnehmend, Endfrequenz bis etwa 40–50 kHz

3) Rauhhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) – frequenzmoduliert, Modulation abnehmend bis etwas unter 40 kHz

4) Großer Abendsegler (*Nyctalus noctula*) – frequenzmoduliert, Modulation abnehmend bis etwa 18–20 kHz mit meist deutlichem konstant-frequenten Endteil

5) Kleiner Abendsegler (*Nyctalus leisleri*) oder Breitflügelfledermaus (*Eptesicus serotinus*) – frequenzmoduliert, Modulation abnehmend bis etwa 25–30 kHz

6) Langohren (*Plecotus* spec.) oder Tiere der Gattung *Myotis* – sehr kurze Rufe, frequenzmoduliert, Modulationsrate etwa gleich bleibend und daher linear, große Frequenzbandbreite, besonders bei *Plecotus* deutlich mehrere Harmonische (den Grundton verändernde Obertöne) zu erkennen.

Die sekundengenauen Rufaufnahmen der AnaBat wurden auf Grundlage der Beobachtungsminuten zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang zusammenfassend protokolliert. Die erfasste Fledermausaktivität im Erfassungsbereich der jeweiligen Aufnahmeeinheit wird als Mittelwert der Präsenz von Fledermäusen pro Stunde berechnet.[79] Für die Paarvergleiche wurden jeweils mindestens zwei Nächte von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang ausgewertet. Die o.g. Differenzierung nach Arten/-gruppen fand nur für den individuellen Vergleich der Querungshilfen untereinander Anwendung (analog auch zur Auswertung der Sekundärquellen, s.u.). Für die statistische Auswertung der Paarvergleiche ist andernfalls die Datenmenge nicht ausreichend.

Alle anderen Aufnahmen wurden unter Zuhilfenahme des Programms BatSound ver. 3.31 (Pettersson/SE) soweit möglich artspezifisch ausgewertet.

[78] Die ersten drei Arten entsprechen der nach LIMPENS et al. (2005) eingeteilten Teilgruppe „C1“, die beiden folgenden der Teilgruppe „C2“ und die letzte Artengruppe lässt sich mit den Teilerdetektoren nicht sicher genug differenzieren, so dass sie sowohl der Teilgruppe „A“ und/oder „B“ zugehörig sein können.

[79] Beispiel: Innerhalb eines Beobachtungszeitraums von 541 Minuten einer Nacht wurden in 39 Einzelminuten eine oder mehrere Fledermausrufsequenzen aufgezeichnet. Daraus errechnet sich eine mittlere Aktivität von 39/541 x 60 = 4,3 min/h.

8.1.3 Ergebnisse: Nutzung von Unterführungsbauwerken

8.1.3.1 Vergleich der Nutzung unterschiedlich weiter Unterführungsbauwerke

Alle untersuchten Autobahnunterführungen (Unterführungsbauwerke) wurden durch verschiedene Fledermausarten genutzt. Im Vergleich mit den Registrierungen oberhalb der Bauwerke am Autobahnmittelstreifen war die Fledermausflugaktivität in den Unterführungsbauwerken mit Ausnahme der Probefläche D16 (50 m-langer Bachdurchlass mit 1,4 m² Querschnittsfläche über dem Wasserstand) deutlich höher (vgl. Abbildung 8-9). Bezogen auf alle Unterführungsbauwerke ergibt sich summarisch (über alle Arten) eine 12-mal stärkere Nutzung im Vergleich zum Autobahnmittelstreifen (Wilcoxon-Test für Paardifferenzen; Z = -2,98; p = 0,003). Diese Präferenz der Unterführung gegenüber dem Überfliegen zeigten alle untersuchten Artengruppen.

Der Vergleich zwischen den zehn Wege-Unterführungen und den sieben Bach-Durchlässen ergab keine signifikanten Unterschiede (alle Arten: 6,20 ± 3,13 min/h *versus* 6,74 ± 2,02 in/h; U-Test: p > 0,05).[80]

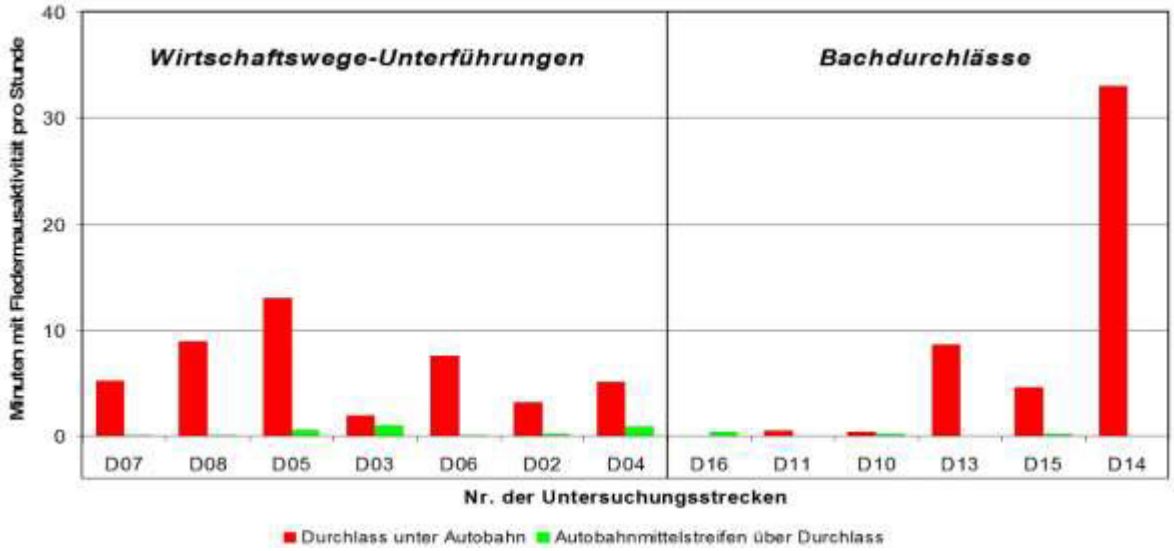


Abbildung 8-9: Mittlere Fledermausflugaktivität in 13 Unterführungsbauwerken und darüber befindlichem Autobahnmittelstreifen

Tabelle 8-3: Fledermaus-Aktivität unterschiedlicher Artengruppen an Unterführungsbauwerken im Vergleich mit dem Verkehrswege-Mittelsteifen

Fledermausartengruppe	Unterführungsbauwerk	Mittelstreifen
A/B (*Myotis/Plecotus*)	3,97 ± 6,62 min/h (0,0 – 23,2 min/h)	0,07 ± 0,13 min/h (0,0 – 0,4 min/h)
C1 (*Pipistrellus*)	2,76 ± 4,06 min/h (0,0 – 11,2 min/h)	0,40 ± 0,45 min/h (0,0 – 1,3 min/h)
C2 (*Nyctalus/Eptesicus*)	0,01 ± 0,03 min/h (0,0 – 0,2 min/h)	0,17 ± 0,42 min/h (0,0 – 1,5 min/h)
Alle Arten	6,59 ± 8,56 min/h (0,0 – 33,0 min/h)	0,53 ± 0,91 min/h (0,0 – 3,4 min/h)

AnaBat, zwei Nächte; Wegeunterführungen n = 10; 1. Wert, Bachdurchlässe n = 7, 2.
Wert und Referenzstandorte: Mittelstreifen n = 14.

[80] Im Hinblick auf diese Gruppen (Wege- und Bachunterführungen) unterscheidet sich die Nutzung im Mittelstreifenbereich der darüber liegenden Autobahnabschnitte ebenfalls nicht (0,44 ± 0,43 min/h versus 0,62 ± 0,25 min/h; U-Test: p > 0,05).

Mit zunehmender lichter Weite (Höhe mal Breite) des Bauwerkes nimmt die Fledermausaktivität in den Bachdurchlässen unter den Autobahnen tendenziell zu (rs = 0,83; p < 0,025; bei n = 7). Allerdings beruht dieser Effekt in der Hauptsache auf dem extrem hohen Aktivitätswert über dem „Pfaffenbach“ bei Neustadt/Wied (D14; vgl. Abbildung 8-9, Abbildung 8-10). Lässt man den außer Acht, wird das Signifikanzniveau unterschritten (rs = 0,73; p > 0,05; bei n = 6). Bei den Wegeunterführungen konnte überhaupt kein vergleichbarer Effekt nachgewiesen werden. Auch eine Abhängigkeit der Nutzung von der Länge der Bachdurchlässe ist nicht signifikant (rs = -0,45; p > 0,05; bei n = 16). Werden die Faktoren `lichte Weite´ und `Länge´ des Bauwerkes aber zu einem Index zusammengefasst, so besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen zunehmender Fledermausaktivität im Bachdurchlass und zunehmender Bauwerksdimension (Lichte Weite – Längen-Index: R^2 = 0,96; FG = 5; p < 0,001; vgl. Abbildung 8-10). Aber auch hierbei wird das Signifikanzniveau unterschritten, wenn man den Extremwert von D14 weglässt (R^2 = 0,56; FG = 4; p > 0,10). Bei den Unterführungsbauwerken mit Wirtschaftswegen ist ein entsprechender Zusammenhang nicht feststellbar (R^2 < 0,001; FG = 8; nicht signifikant).

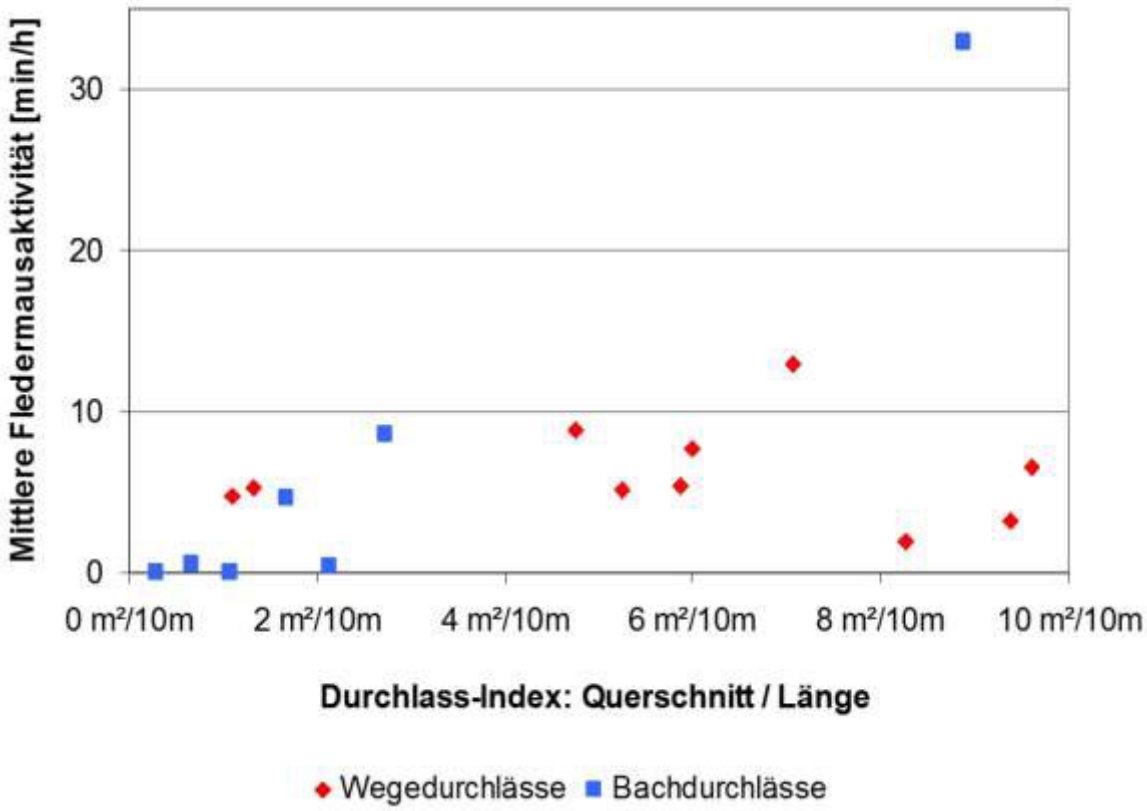


Abbildung 8-10: Fledermausaktivität (alle Arten) im Verhältnis zur Bauwerksdimension

(Lichte Weite – Längen-Index) von Unterführungsbauwerken (Wegeunterführungen: n = 10 und Bach-Durchlässen: n = 7)

8.1.3.2 Nutzungsunterschiede bei Unterführungsbauwerken

Die Artenzusammensetzung, die die Unterführungsbauwerke unter der Straße nutzen, unterscheidet sich von der, die am Autobahnmittelstreifen festgestellt wurde: *Nyctalus*/*Eptesicus* überflogen fast immer die Straßen und wurden nur ausnahmsweise in den (gegenüber Bachdurchlässen vergleichsweise groß dimensionierten) Wegeunterführungen festgestellt. Alle anderen Arten präferierten eindeutig die Unterführungen, auch wenn sie vereinzelt ebenfalls über dem Mittelstreifen der Autobahnen registriert wurden. Die mehrheitlich engen Bachdurchlässe wurden von Tieren der Gattung *Myotis* (dominiert

durch Wasserfledermaus) und Gattung *Plecotus* (Langohren) genutzt (s. Abbildung 8-11). In den untersuchten Wegeunterführungen dominierten Zwergfledermäuse und ihre Verwandten (Gattung *Pipistrellus*), vgl. Tabelle 8-4.

Tabelle 8-4: Mittlere Fledermausaktivität (Präsenz) von drei Artengruppen in Unterführungsbauwerken sowie an Kontrollstandorten im Autobahnmittelstreifen

	Gruppe A/B Myotis/Plecotus	***Gruppe C1 Pipistrellus***	***Gruppe C2 Nyctalus/Eptesicus***
Bach-Durchlass (n = 7)	5,26 min/h ± 8,54 min/h	1,43 min/h ± 3,60 min/h	fehlt
Wege-Unterführung (n = 10)	0,68 min/h ± 0,65 min/h	5,68 min/h ± 3,43 min/h	0,04 min/h ± 0,09 min/h
Autobahnmittelsteifen (n = 14)	0,07 min/h ± 0,13 min/h	0,40 min/h ± 0,45 min/h	0,17 min/h ± 0,42 min/h

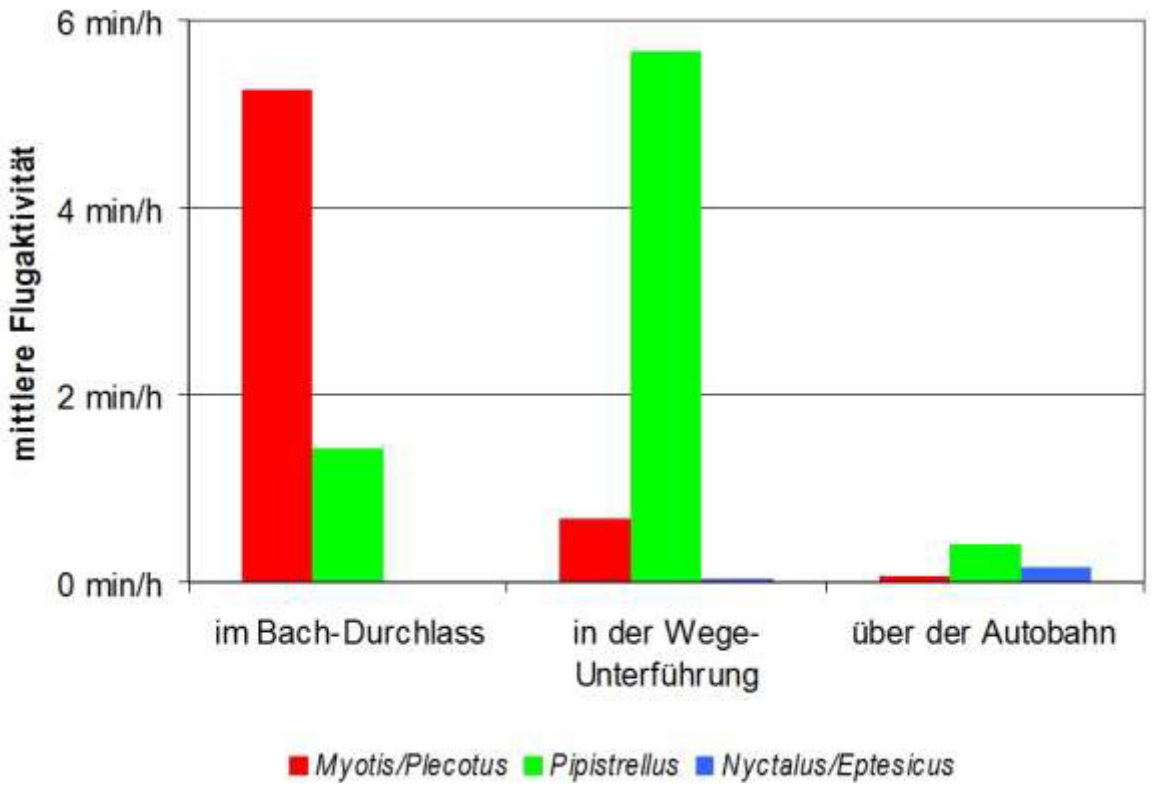


Abbildung 8-11: Durchschnittliche Fledermausflugaktivitäten im Bereich aller 17 untersuchten Durchlässe bzw. der darüber befindlichen Autobahnmittelstreifen, differenziert nach drei Fledermausartengruppen

Dieses generelle Bild bestätigt sich auch bei einem direktem Vergleich zweier Durchlässe an der Autobahn A3 bei Idstein-Wörsdorf, die weniger als 100 m auseinander liegen: einmal handelt es sich um einen Bachdurchlass (D15), zum zweiten um eine Straßendurchfahrt (D15a; s. Abbildung 8-12).[81] Den Wörsbachdurchlass nutzten hauptsächlich Tiere der Artengruppe *Myotis*/*Plecotus* (= 93% aller Registrierungen), während an der L57 12 Zwergfledermausnachweise dominierten (= 87% aller Registrierungen).

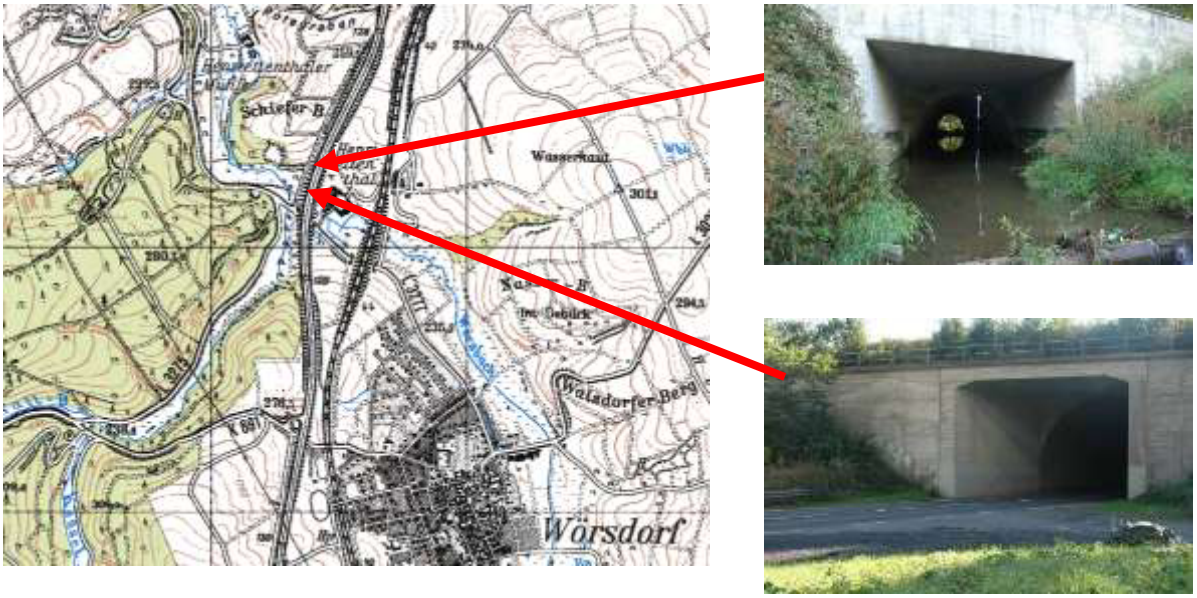


Abbildung 8-12: Nahe beieinander liegende Durchlässe unter der Autobahn A3 bei Idstein-Wörsdorf (Hessen) mit unterschiedlicher Artenzusammensetzung der dort fliegenden Fledermäuse

An allen Probeflächen, die in Bezug auf die zeitliche Verteilung der Fledermausaktivitäten über die Nacht näher untersucht wurden, zeigte sich die in Abbildung 8-13 beispielhaft dargestellte Verteilung: während die Fledermäuse in den ersten und letzten Nachtstunden über die Autobahn queren, herrschen in Bachdurchlässen (wie dem Wörsbachdurchlass, D15) oftmals gleichförmigere Aktivitätsverteilungen über alle Nachtstunden hinweg.

[81] Bei der Straße ist allerdings zu bedenken, dass die dortigen Datenerhebung unmittelbar vor der Öffnung durchgeführt werden musste (damit also eventuell auch vereinzelt nicht-querende Tiere erfasst wurden), im Fall des Bachdurchlasses Beobachtungen aber innerhalb des Tunnels durchgeführt wurden.

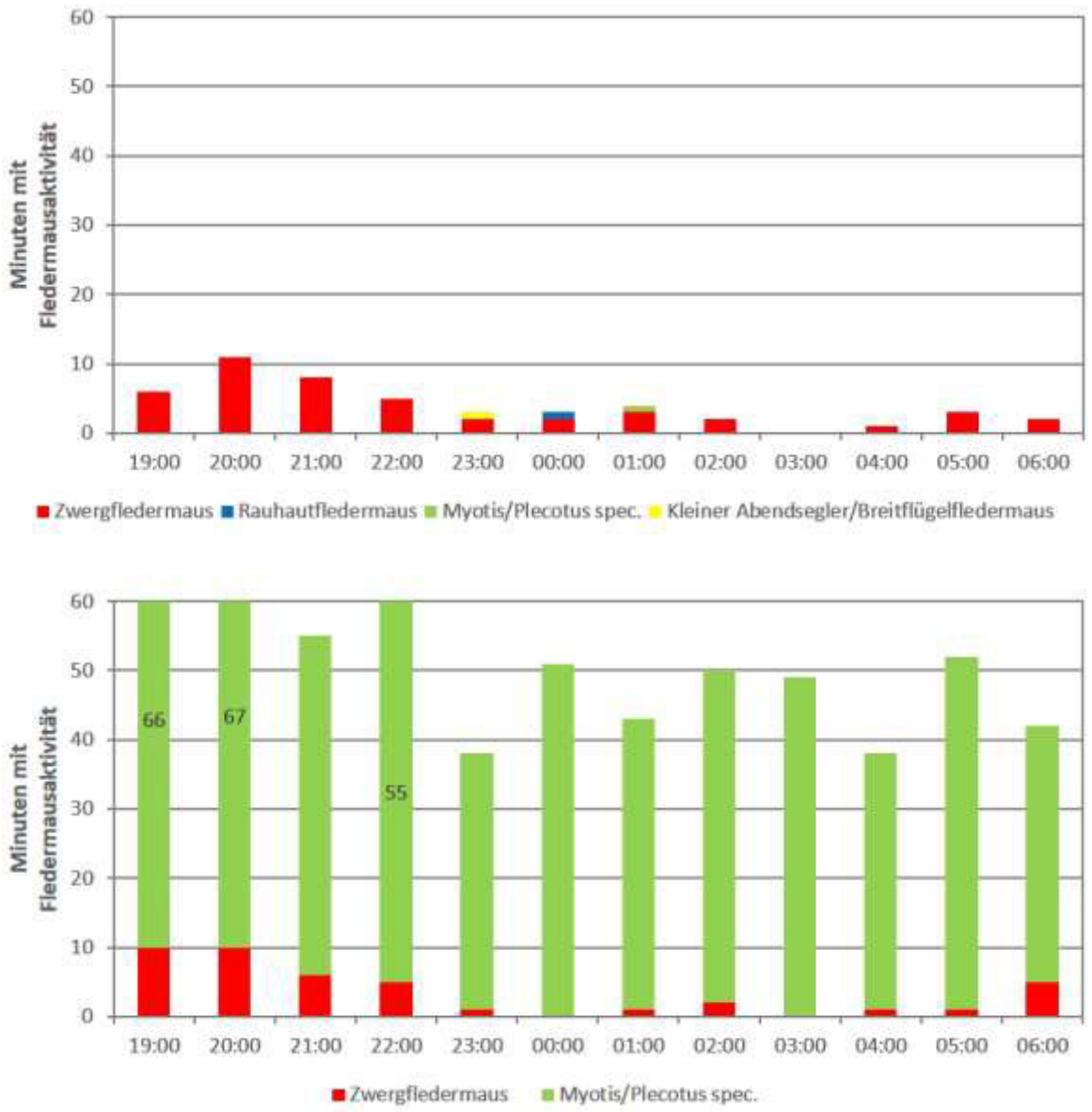


Abbildung 8-13: Vergleich der Fledermausaktivität am Autobahnmittelstreifen der Autobahn A3 und im Wörsbachdurchlass (PF D15). Stündliche Auswertung aus AnaBat-Rufaufzeichnungen

Schließlich wurde der Frage nachgegangen, ob es zwischen den beiden Artengruppen *Myotis*/*Plecotus* und *Pipistrellus* Unterschiede hinsichtlich ihrer Nutzungsintensitäten und den Durchlassdimensionierungen gibt. Nur unter Einbeziehung des extrem hohen Aktivitätswertes im Pfaffenbachdurchlass (D14) konnten für beide Teilgruppen der einheimischen Fledermausfauna signifikante Korrelationen ermittelt werden (für *Myotis*/*Plecotus*: $R^2 = 0{,}94$, für *Pipistrellus*: $R^2 = 0{,}92$; beide FG = 5 und $p < 0{,}01$), ansonsten nicht (für *Myotis*/*Plecotus*: $R^2 = 0{,}56$, für *Pipistrellus*: $R^2 < 0{,}001$; beide FG = 4 und nicht signifikant; vgl. a. Abbildung 8-14). Somit kann höchstens von einem Trend für Fledermausarten mit verhältnismäßig großer Flügelfläche und langsamer Flugweise (= Gattungspaar *Myotis*/*Plecotus*) dahin gehend ausgegangen werden, dass ihre nächtliche Aufenthaltshäufigkeit zunimmt, wenn der Durchlassquerschnitt mit der Durchlasslänge ansteigt. Sichtbeobachtungen und Rufanalysen zeigten, dass je größer das Bauwerk war desto stärker der Durchlass auch für die Jagd nach Insekten und nicht nur für Querungspassagen genutzt wurden.

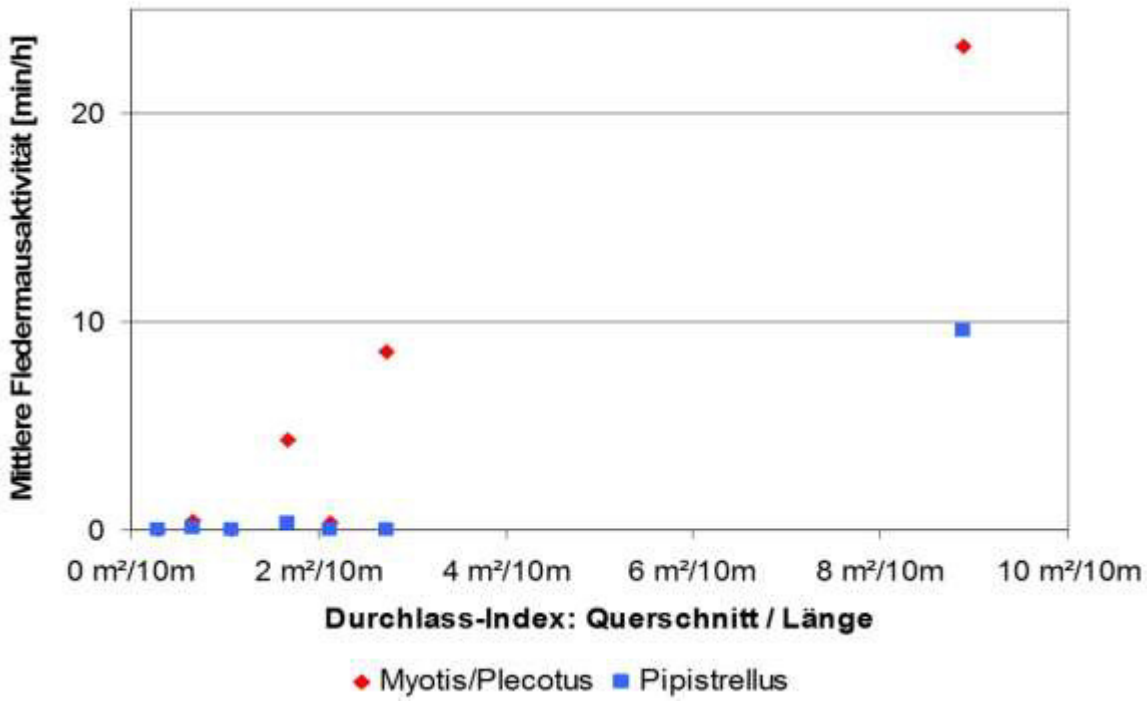


Abbildung 8-14: Fledermausaktivität (zwei Artengruppen) im Verhältnis zur Bauwerksdimension (Lichte Weite – Längen-Index) von 7 Bach-Durchlässen

8.1.3.3 Meideverhalten bei engen Unterführungen

An drei Probeflächen wurden die Artenzusammensetzung und das Durchflugs- und Überflugverhalten über die Straße bzw. das Meideverhalten von Fledermäusen untersucht:

- Probefläche DxB27, einer Unterführung eines Bachlaufes unter der Bundesstraße 27 mit parallel verlaufender Bahnlinie und Radweg mit dem Maß von insgesamt 3,5 m x 4 m x 44 m
- an zwei Wirtschaftswegeunterführungen (DxB7a, DxB7b) mit 4,5 m x 5 m x 19,5 m.

Die Unterführung des Vierbaches (DxB27) wird nach den Voruntersuchungen mittels Detektoren (D240x) von 5 Arten genutzt (mit schwacher Nutzung von Großem Mausohr, Kl./Große Bartfledermaus, Fransenfledermaus und Zwergfledermaus sowie dominant von der Wasserfledermaus). Zum Untersuchungszeitpunkt zeichnete sich die Unterführung des Vierbaches an der B27 dadurch aus, dass Vegetation den Querschnitt des Unterführungsbauwerkes auf ca. 30% einengte. Hier wurde festgestellt, dass die Unterführung nicht häufiger angenommen wurde als die Passage über der Straße; quantitativ bestand – bezogen auf alle Arten – kein Unterschied zwischen Überflügen (über die Straße) und Unterfliegen durch das Unterführungsbauwerk ($n1 = 11$, $n2 = 8$, $U = 34$, $p \geq 0{,}05$). Allerdings nutzte fast ausschließlich die Wasserfledermaus die Unterführung. Andere Arten, darunter auch das Große Mausohr, wurden nur mit wenigen Individuen in der Unterführung nachgewiesen.

Zwei Unterführungen an der B7 wurden an 5 Terminen (2 x Juni, 2 x Juli, 1 x August im Abstand von 2 – 3 Tagen mittels Detektor und IR-Video kontrolliert. Jede Nacht querten zwischen 10 und 15 Mausohren die Straße auf dem Weg von ihrem nahe gelegenen Quartier in die Jagdgebiete. Mehrheitlich nutzten sie die Wirtschaftswege-Unterführung; ein geringer Anteil (≤ 14%) wählte allerdings den Weg oberhalb des Portals der Unterführung über die Straße (vgl. Abbildung 8-15, Termine 1 und 2). Im Fall

A war die Unterführung zu den Untersuchungsterminen 3 und 4 durch einen landwirtschaftlichen Erntewagen mit Strohballen zusätzlich verstellt.[82] Der Anteil von Tieren, die den Durchflug mieden, war an diesen Terminen mit 44% bzw. 33% erhöht. Am 5. Termin (2 Tage später) war die Barriere entfernt; die Zahl der Überflieger lag mit > 20% noch über dem Ausgangswert des ersten und zweiten Termins (vgl. Abbildung 8-15).

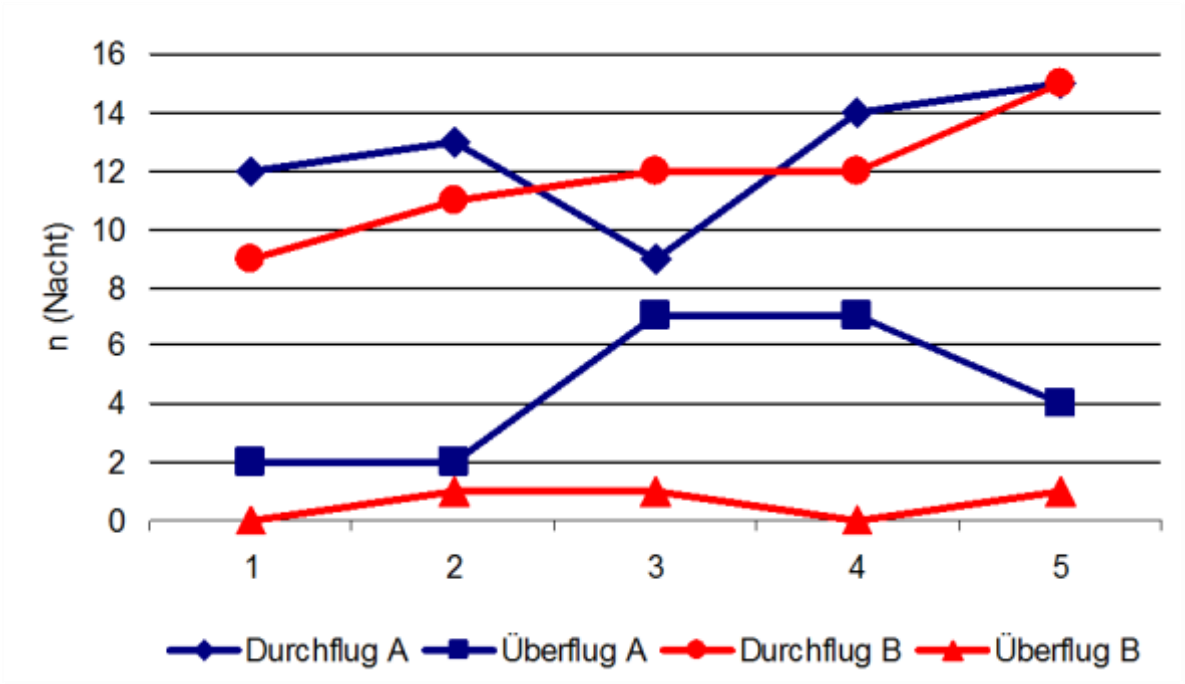


Abbildung 8-15: Nutzung von 2 Unterführungsbauwerken an der B7 (A, B) durch Große Mausohren während 5 Nächten.

Anzahl von Querern (n) und Anzahl von Individuen, die nach Verengung des Querschnittes der Unterführung A in der 3. und 4. Nacht über die Straße flogen.

8.1.4 Ergebnisse: Nutzung straßenüberspannender technischer Bauwerke als Überflugmöglichkeiten

8.1.4.1 Nutzung von Überführungsbauwerken

Die Untersuchungen an technischen Brückenbauten (Überführungsbauwerke) zeigten eine geringe Fledermaus-Aktivität bzw. Frequenz von durchschnittlich 1,64 ± 2,03 min/h (maximal 4,4 min/h).[83] Verglichen mit der Nutzung der Durchlässe von im Durchschnitt 6,20 ± 3,13 min/h (maximal bis zu 33 min/h) war die Aktivität signifikant geringer ($n1 = 7$, $n2 = 17$, $U = 33$; $p < 0,05$). Im Ergebnis fielen die elf betrachteten Fälle auf Brücken und Halbbrücken und an den Kontrollstellen im Autobahnmittelstreifen sehr unterschiedlich aus, drei Mal wurde an der Brücke keine Flugaktivität von Fledermäusen registriert (Abbildung 8-16). Zwischen Brücken und Kontrollstandorten wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt ($n1 = 11$, $n2 = 11$, $U = 55$, $p \geq 0,05$). Ebenso unterschieden sich die Ergebnisse auf Brücken und den Halbbrücken nicht signifikant ($n1 = 4$, $n2 = 7$, $U = 14$, $p > 0,05$).

[82] Wie viele Nächte der Erntewagen vor dem 3. Untersuchungstermin hier schon abgestellt war, konnte nicht ermittelt werden.

[83] Nur über die ganze Autobahnbreite errichtete Brückenbauten berücksichtigt (ohne „Halbbrücken“).

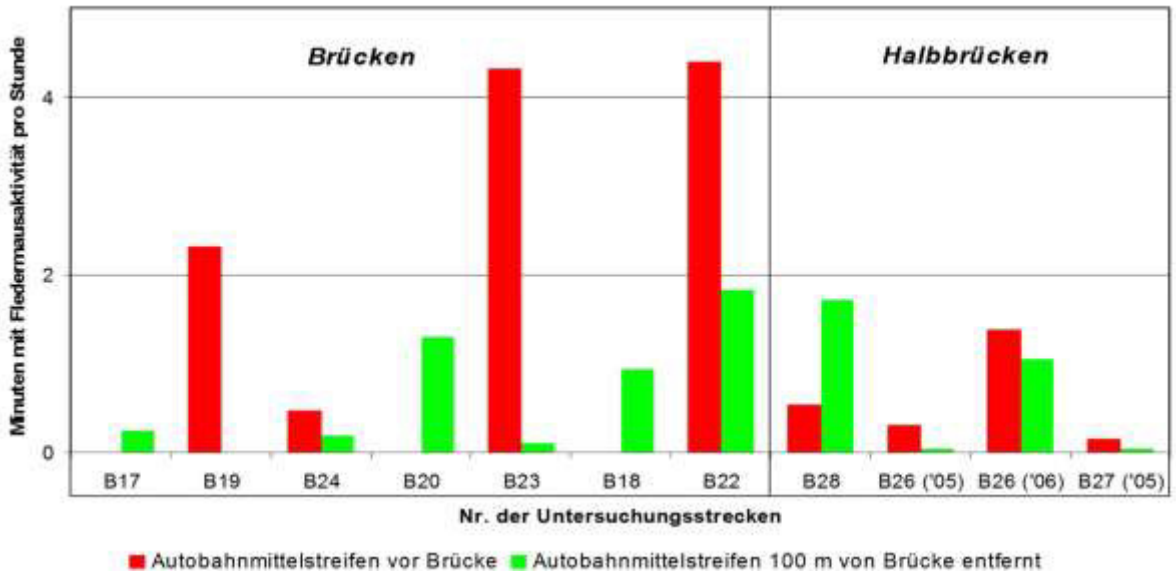


Abbildung 8-16: Vergleich der Fledermausflugaktivität (Mittelwert) von sieben Brücken sowie drei Halbbrücken mit Kontrollen in jeweils 100 m Entfernung

Die Artenzusammensetzung an Brücken und an den Kontrollpunkten ohne Brücke zeigte ebenfalls keine Unterschiede. Die höchste Aktivität wurde von Vertretern der Artengruppe C, insbesondere Zwergfledermäusen (*Pipistrellus Pipistrellus*), registriert (Tabelle 8-5).

Tabelle 8-5: Gruppenaktivität der Fledermäuse nach AnaBat-Daten über jeweils zwei Nächte pro Aufstellungsort an Autobahnbrücken

Artengruppe	Brücke oder Halbbrücke	Mittelstreifen
A/B (*Myotis/Plecotus*)	0,06 ± 0,08 min/h (0,0 – 0,2 min/h)	0,04 ± 0,09 min/h (0,0 – 0,3 min/h)
C1 (*Pipistrellus*)	0,92 ± 1,45 min/h (0,0 – 3,9 min/h)	0,39 ± 0,36 min/h (0,0 – 1,0 min/h)
C2 (*Nyctalus/Eptesicus*)	0,28 ± 0,42 min/h (0,0 – 1,2 min/h)	0,29 ± 0,46 min/h (0,0 – 1,2 min/h)
Alle Arten	1,26 ± 1,69 min/h (0,0 – 4,4 min/h)	0,74 ± 0,72 min/h (0,0 – 1,8 min/h)

AnaBat, jeweils zwei Nächte; Brücken n1 = 7, Halbbrücken n2 = 4[84] und Referenzstandorte; Werte in Klammern = Bandbreite.

8.1.4.2 Meideverhalten an Überführungsbauwerken (Wirtschaftswegebrücken)

An zwei Wirtschaftswegebrücken, über eine Landstraße (B-Hal) bzw. über eine Autobahn (B-Wo), wurden Querungen über die Brücke mittels Detektoraufnahmen und Videodetektion über 5 bzw. 3 Nächte differenziert beobachtet. Beide Brücken sind an beiden Kopfseiten an Wald bzw. über Heckenzüge mit dem Wald verbunden. Abbildung 8-17 zeigt, dass am Waldrand der Probefläche B-Hal zehn Arten aktiv waren und im Umfeld der Brücke B-Wo sieben Arten, die Brücke als Querungshilfe aber nur von 4 resp. 2 Arten genutzt wird. Bei einer der beobachteten Arten, dem Großen Abendsegler, ist zudem keine Bindung an die Leitlinie zu vermuten und nach den Videos von der Brücke B-Hal querte der Abendsegler tatsächlich in größerem Abstand zur Brücke. Wie eine nähere zeitliche Analyse der Flugaktivitäten

[84] Eine der beiden Radarbrücken am Elzer Berg wurde sowohl 2005 und auch 2006 getestet, was dadurch vier Vergleiche ermöglicht.

zeigte (s. im Zwischenbericht 3/2006), fanden auf den Seiten bzw. an den Brückenköpfen viele schnelle Vorbeiflüge statt, während Querungsansätze ohne tatsächlichen Vollzug stattfanden. Dies spiegelt sich auch in der Auswertung der Videoaufzeichnungen: danach betrug der Anteil der „Umkehrer“ in drei Untersuchungsnächten zwischen 33% und 68%.

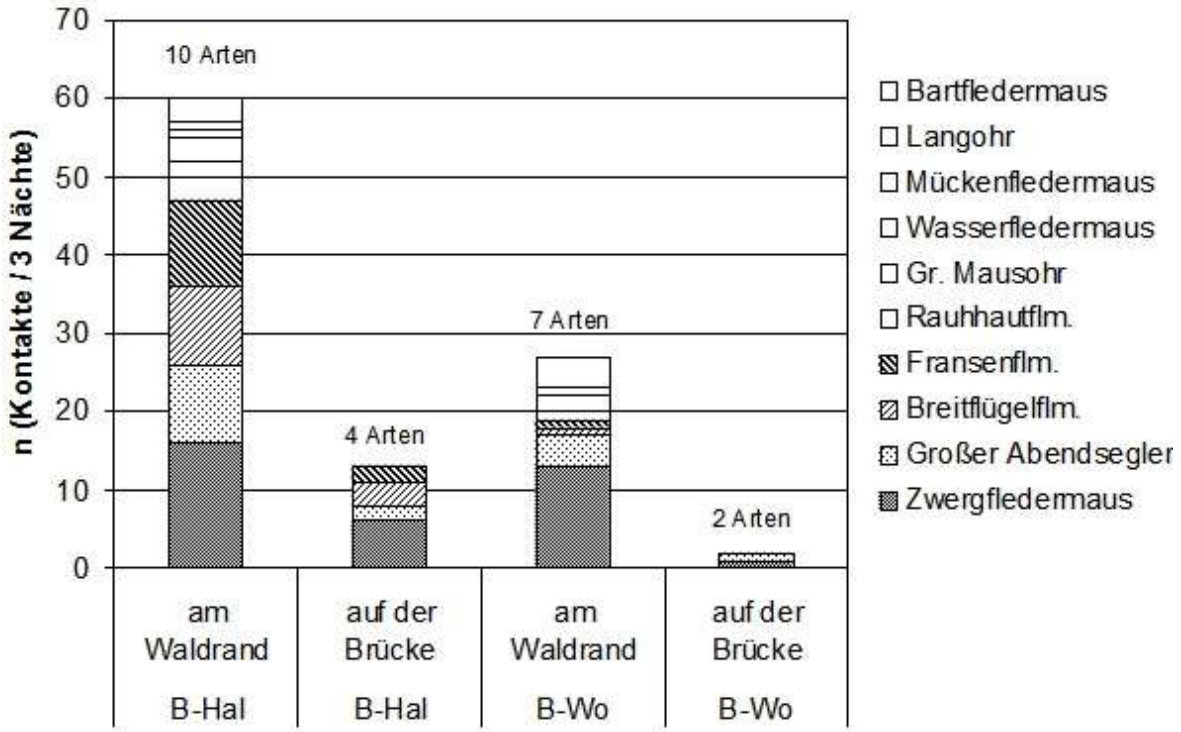


Abbildung 8-17: Vergleich der Fledermausflugaktivität auf 2 Wirtschaftswegebrücken (B-Hal und B-Wo) mit der Aktivität am Waldrand nebenan

8.1.5 Diskussion

8.1.5.1 Allgemeine methodenkritische Auseinandersetzung

Zur Bestimmung der Flugaktivitäten von Fledermäusen sind akustische Erfassungsmethoden am besten geeignet, eine hinreichend große Datenmenge zu erzeugen (z.B. MEYER et al. 2004), auch wenn bei der Interpretation Unterschiede der Erfassbarkeit unterschiedlich laut rufender Fledermausarten berücksichtigt werden müssen (s.u.). Die Bestimmung der nachgewiesenen Fledermausarten ausschließlich anhand von Detektoraufnahmen ist allerdings schwierig, vor allem bei Verwendung von Detektoren mit Frequenzteilungsverfahren[85]. Alternativen für automatische Rufaufzeichnungen mit Zeitdehner-Detektoren sind wesentlich aufwändiger, teurer und waren zum Zeitpunkt der Untersuchungen nicht serienmäßig im Handel erhältlich. Vorteil der verwendeten AnaBat-Apparaturen im Vergleich zu beispielsweise Bewegungsmeldern oder Lichtschranken ist eine eindeutige Erkennbarkeit des sekundengenau protokollierten Vorbeiflugs einer Fledermaus, die zudem in grobe Artenklassen (und zum Teil auch auf Artniveau) bestimmt werden kann. Filmaufnahmen sind aufgrund der zu verarbeitenden Datenmengen

[85] Die für eine Artbestimmung oftmals wichtige Information zum Energiegehalt einzelner Rufabschnitte liegt bei der Nulldurchgangsanalyse der Frequenzteiler-Detektoren nicht vor, dafür decken sie aber den gesamten Frequenzbereich zeitgleich ab.

und des Stromverbrauchs in Bezug auf die mögliche Beobachtungsdauer begrenzt und machen die Artbestimmung auch nicht leichter.

Das AnaBat-System wird schon seit Jahren in Australien und Amerika eingesetzt. Einzig in Europa ist es noch nicht all zu verbreitet. Somit liegen von europäischen Fledermausarten bislang nur wenige bis keine Serienaufnahmen von Referenzrufen für Vergleichszwecke vor. In Hinblick auf eine eher konservative Datenermittlung wurden deshalb die aufgenommenen Rufe für Vergleiche der Nutzung verschiedener Querungshilfen nur in drei Gruppen von Fledermausarten unterschieden (Einteilung in Anlehnung an LIMPENS et al. 2005):

Gruppe A/B: stark frequenzmodulierte (FM) Rufe von kurzer Dauer (Gattungen *Myotis* und *Plecotus*, die bevorzugt ± dicht entlang der Vegetation fliegen)

Gruppe C1: Mischruftyp aus frequenzmodulierten (FM) und anschließend quasi-konstantfrequenten (QCF) Anteilen bei unterschiedlicher Frequenzlage im oberen Frequenzbandbereich (Gattung *Pipistrellus*[86], die in halboffenen Landschaftsbereichen bevorzugt fliegen)

Gruppe C2: Mischruftyp aus frequenzmodulierten (FM) und anschließend quasi-konstantfrequenten (QCF) Anteilen bei unterschiedlicher Frequenzlage im unteren Frequenzbandbereich (Gattung *Nyctalus* und Breitflügelfledermaus[87], die aufgrund ihrer hohen Fluggeschwindigkeiten bevorzugt im offenen Luftraum in großer Höhe, aber auch bodennah fliegen)

Die Kernaussagen der Untersuchung beruhen auf Paarvergleichen, indem die Aktivität von Durchlässen und Brücken den Kontrollen im Mittelstreifen der Autobahnen gegenüber gestellt wurden. Dies erschien zweckmäßig, um eine größere Anzahl von Stichproben, deren Rahmenbedingungen angenähert gleich waren (z.B. Beschränkung auf Waldbiotope und gute Einbindung der Querungsbauwerke in das Landschaftsumfeld), zu gewinnen. Es bestand die Erwartung, dass sich Ungleichheiten einzelner Parameter über die Gesamtzahl der Stichproben ausnivellieren. Gemessen an Fledermaus-Standardprogrammen (LIMPENS 1993, BRINKMANN et al. 1996) sind die vergleichend genommenen Stichproben gering bzw. über kurze Zeit ausgeführt, genügen aber für den Zweck des Paarvergleichs. Vergleichbare Ansätze mit Stichproben über nur kurze Zeit verwendeten z.B. auch WICKRAMASINGHE et al. (2003) zum Nachweis des Einflusses unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf Fledermäuse und MEYER et al. (2004) für den der unterschiedlichen Habitatpräferenzen in einem afrikanischen Wald-Savanne-Komplex.

8.1.5.2 Wirksamkeit von Unterführungen und Bachdurchlässen als Querungsmöglichkeit für Fledermäuse

Mit dem Bau von Unterführungen und Bachdurchlässen unter Straßen bieten sich u.a. auch für Wanderungen und Nahrungsflüge von Fledermäusen zwischen den verschiedenen Teilhabitaten ihres Gesamtlebensraums Querungsmöglichkeiten, die die Zahl der Individuen, die über die Straße fliegen und mit dem fließenden Verkehr kollidieren, wirksam reduzieren.

Aus den eigenen Untersuchungen folgt ebenso wie aus Literaturangaben, dass Unterführungen (Unterführungsbauwerke) vielen Fledermausarten auch als Querungshilfe dienen können. Merkmal für die Akzeptanz und Wirksamkeit wird zum einen die Feststellung gesehen, dass die Unterführungsbauwerke

[86] Nachweisliche Arten: Mückenfledermaus (P. pygmaeus), QCF bei 55–60 kHz; Zwergfledermaus (P. *pipistrellus*), QCF bei 40–55 kHz; Rauhautfledermaus (P. nathusii), QCF bei 35–40 kHz.

[87] Nachweisliche Arten: Großer Abendsegler (N. *noctula*), QCF bei 18–22 kHz; Kleiner Abendsegler (*N. leisleri*) und/oder Breitflügelfledermaus (*Eptesicus serotinus*), QCF bei 23–30 kHz.

in unserer Untersuchung 12-mal stärker genutzt wurden als der jeweilige Straßenraum (gemessen am Autobahn-Mittelstreifen). Die festgestellte Nutzung sowohl zwecks Querung wie auch als Bestandteil des Jagdhabitates wird ebenfalls als Wirksamkeitsindikator angesehen. Der Ansatz kann allerdings keine Aussage liefern, in welchem Ausmaß die jeweilige Querungshilfe zum Überleben der relevanten Population beiträgt.

Zur Einordnung der eigenen Befunde wurde in „Sekundärquellen" (Fachzeitschriften, Diplomarbeiten, Gutachten u.ä.) nach dokumentierten Nutzungen von Unterführungsbauwerken durch Fledermäuse als Querungshilfen unter Straßen gesucht. Die Suche bezog sich primär auf Artikel in Fachzeitschriften (vornehmlich *Nyctalus* [Neue Folge], Berlin, und *Myotis* [International Journal of Bat Research], Bonn) der letzten 16 Jahre. Besonders ergiebig waren Informationen der AG Querungshilfen (BRINKMANN 2003, pers. Mitteilungen zum Stand von 2003 sowie BACH et al. 2004). Die Tabelle 8-6 und die Abbildung 8-19 fassen die Ergebnisse zusammen. Die dort vorgenommene Unterteilung der Fledermausarten in Gruppen unterschiedlicher Flugstile erfolgte in Anlehnung an LIMPENS et al. (2005). Die Nutzung von Unterführungen und Bachdurchlässen durch Fledermausarten ist durch die eigenen Untersuchungen wie auch in der Literatur und durch mdl. Berichte von Fledermausexperten vergleichsweise gut belegt. LIMPENS et al. (2005) listeten 20 der 21 in Deutschland verbreiteten Arten[88] als `Querer´ von Verkehrswegen und als Nutzer von Unterführungsbauwerken auf.

Aus Literaturdaten und aus den eigenen Untersuchungen geht hervor, dass die Anforderungen an die Größe bzw. Weite des Bauwerkes art- bzw. gruppenspezifisch sind: Ein Bauwerk wird von umso mehr Arten angenommen, je größer sein nutzbarer Querschnitt ist. Arten der Gruppe „A" (in der Regel langsamer Flug eng an Vegetationselementen gebunden) nutzen u.U. eng dimensionierte Bauwerke. Arten der Gruppe „B" (Mischtyp-Flugstil mit ± dichter Bindung an Randstrukturen incl. Jagdflug über Wasseroberflächen) benötigen etwas größere Bauwerke. Die im Straßenbau gängigen Unterführungen für Wirtschaftswege (ca. 4,5 m x 4 m) werden von diesen Arten vielfach als Querungshilfe angenommen (vgl. auch KERTH & MELBER 2009; s, in Kap. 4.3.3) obwohl der Mittelwert aller in der Literatur abgebildeten Einzelwerte mit fast 36 m2 (6 m x 6 m) etwas höher liegt. Die relativ eng an Landschaftsstrukturen gebunden fliegenden Arten der Gruppen A und B nutzen bisweilen auch enge Durchlassöffnungen ab 2 m² zum Durchflug. Die Art, die kleinste Durchlässe nutzt, ist in den von uns untersuchten Fällen die Wasserfledermaus. Darüber hinaus liegen auch Bestätigungen für Durchflüge durch sehr gering dimensionierte Querungshilfen für Fransenfledermäuse, Bartfledermäuse (spec.) und Langohr-Fledermäuse (spec.) vor (BACH et al. 2004, eigene Daten). Die Mittelwerte für die relevanten Artengruppen A, B und C1 liegen mit 15, 21 und 28 m² resp. mit einer lichten Weite oder lichten Höhe zwischen 3,9 m und 5,5 m bei angenommener quadratischer Form relativ dicht beieinander.

Unterführungsbauwerke werden in der Regel nicht angenommen von den hochfliegenden Arten, zu denen Großer Abendsegler, Kleinabendsegler, Breiflügelfledermaus und Zweifarbfledermaus gehören; einzelne Daten für diese Artengruppe dokumentieren Ausnahmefälle (s. Abbildung 8 -18).

[88] Ohne die extrem seltenen, bzw. erst vor Kurzem in der BRD (randständig) nachgewiesenen Arten (Langflügelfledermaus, Weißrandfledermaus, Alpenfledermaus oder Nymphenfledermaus) gezählt.

Tabelle 8-6: Angaben aus Sekundärquellen zur Nutzung von Durchlässen unter Verkehrswegen durch verschiedene Fledermausarten

Fledermausart	Anzahl der beschriebenen Durchlässe	Länge der Durchlässe	Querschnitts-fläche der Durch-lässe	Nutzungen der Durch-lässe	Funktionen der Durch-lässe	Quel-len[89]
(A) In der Regel langsamer Flug eng an Vegetationselementen gebunden:						
Kleine Hufeisen-nase	k. A.	k. A./ 51m (13)	2 – 36 m²/28,3 m² (13)	Kanäle, Was-serläufe, Durchlässe	Flugweg (13)	9, 13
Wimperfledermaus	3	1x 10 m, sonst k. A.	(Mindesthöhe 1 m) bis 120 m²	Wasserläufe, Durchlässe, Bahnstrecke, Autostraße, Fahrradweg	Flugstraße	1, 7, 9
Fransenfledermaus	13	2 – 45 m	2 – 25 m²	Kanäle, Was-serläufe, Wirt-schaftswege	Flugstraße, Jagdhabitat, Quartier	1, 2, 6, 8, 9, 11
Bechsteinfleder-maus	2	31 + 45 m	(Mindesthöhe 1 m) bis 20 m²	Wasserläufe, Wirtschafts-wege	Flugstraße, Jagdhabitat	2, 9, 10
Braunes/Graues Langohr	6	20 – 45 m	2 – 36 m²	Kanäle, Was-serläufe, Wirt-schaftswege	Flugstraße, Jagdhabitat, Quartier	1, 2, 3, 11
Große Hufeisen-nase	k. A.	k. A.	16 – 36 m²	Wasserläufe, Durchlässe	k. A.	9
(B) Mischtyp-Flugstil mit ± dichter Bindung an Randstrukturen (incl. Jagdflug über Wasseroberflächen):						
Großes Mausohr	7	19 – 47 m	16 – 34 m²	Wasserläufe, Durchlässe, Autostraße	Flugstraße, Quartier	2, 5, 6, 10
Bartfledermäuse	12	2 – 44 m	2 – 30 m²	Wasserläufe, Wirtschafts-wege	Flugstraße, Jagdhabitat	1, 2, 4, 8, 9
Mopsfledermaus	2	2x 34 m, sonst k. A.	16 – 24 m²	Wasserläufe, Wirtschafts-wege	Flugstraße	2, 9, 10
Wasserfledermaus	14	2 – 47 m	2 – 60 m²	Wasserläufe, Wirtschafts-wege	Flugstraße, Jagdhabitat, Quartier	1, 2, 6, 9
Teichfledermaus	1	1x 45 m, sonst k. A.	2 – 36 m²	Wasserläufe, Durchlässe	Flugstraße	9, 11
(C1) Meist ± schneller Flug, eher in halb-offener Umgebung:						
Mückenfledermaus	k. A.	k. A.	16 – 36 m²	Wasserläufe, Durchlässe	k. A.	9
Zwergfledermaus	10	15 – 45 m	10 – 60 m²	Wasserläufe, Wirtschafts-wege	Flugstraße, Jagdhabitat	1, 2, 4, 8, 9
Rauhautfledermaus	k. A.	k. A.	16 – 36 m²	Wasserläufe, Durchlässe	k. A.	9
(C2) Meist hoher und schneller Flug, eher in offener Umgebung:						
Nordfledermaus	k. A.	k. A.	mind. 16 m²	Durchlässe	k. A.	9
Zweifarbfledermaus	k. A.	k. A.	mind. 16 m²	Durchlässe	k. A.	9
Breitflügelfleder-maus	k. A.	k. A.	mind. 16 m²	Durchlässe	k. A.	9
Großer Abendseg-ler	2	31 + 34 m	12 – 18 m²	Wasserlauf, Waldweg	Flugstraße, Jagdhabitat	4, 9

[89] (1) AG QUERUNGSHILFEN 2003 (Art der Bestimmung unklar); (2) BACH et al. 2004 (Detektoraufnahmen); (3) FUHRMANN 1991 (Telemetrie); (4) FUHRMANN & GODMANN 1992 (Netzfang); (5) FUHRMANN 2006, unveröffentlicht (Sichtbeobachtung); (6) HÜBNER 2000 u. 2001 (Sichtbeobachtung); (7) KRULL et al. 1991 (Telemetrie); (8) BACH & LIMPENS 2000 (Detektoraufnahmen); (9) LIMPENS et al. 2005 (Art der Bestimmung unklar); (10) MELBER 2007, pers. Mitt. (Netzfang); (11) PINNO 1999 (Sichtbeobachtung); (12) SCHIKORE & ZIMMERMANN 2000 (Detektoraufnahmen). (13) NACHTaktiv & SWILD (2008).

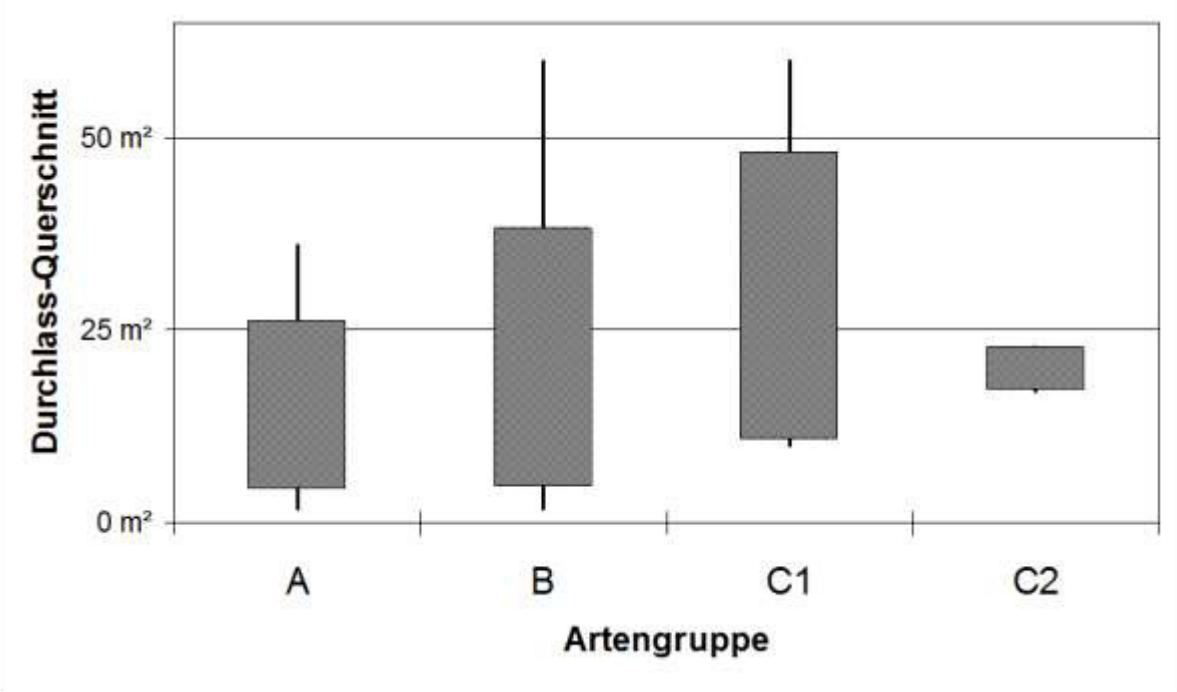


Abbildung 8-18: Spektrum der Querschnittsflächen von durch Fledermausarten genutzten Unterführungsbauwerken

Fledermaus-Artengruppen A-C2, s. im Text nach Literatur- und eigenen Befunden (n[A] = 18, n[B] = 27, n[C1] = 9, n[C2] = 2)
Bandbreite (Linie) und Schwerpunktbereiche (Mittelwert ± Standardabweichung: Block)

Betrachtet man die Bandbreite der genutzten Durchlass-Längen, so sind mehrheitlich Längen von 20-30 m dokumentiert (s. Abbildung 8-19). Hinsichtlich der Nutzung/Akzeptanz sind Unterschiede zwischen den drei hier relevanten Artengruppen A, B und C1 nicht belastbar; vor allem im Maximalbereich der durchflogenen Durchlass-Längen sind Beispiele für alle drei Hauptgruppen von 45 – 47 m dokumentiert.[90]

[90] Der Maximalwert (51 m-Durchlass-Länge) bezieht sich auf die unbestimmte Myotis-Art, die zu einer der beiden Kategorien zuzuordnen wäre.

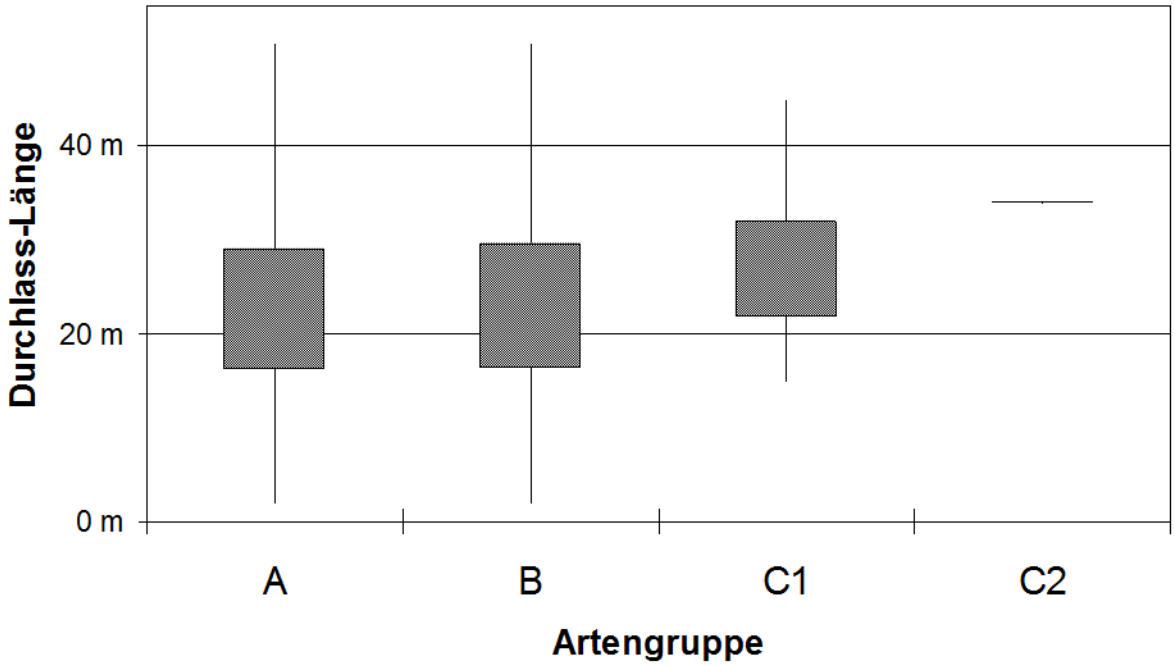


Abbildung 8-19: Spektrum der Durchlasslängen von durch Fledermausarten genutzten Unterführungsbauwerken

(Fledermaus-Artengruppen A-C2, s. im Text. (n[A] = 18, n[B] = 27, n[C1] = 9, n[C2] = 2); Bandbreite (Linie) und Schwerpunktbereich (Mittelwert ± Standardabweichung: Block)

Die Akzeptanz und Nutzung von Unterführungen und Durchlässen als Querungsmöglichkeit für fliegende Fledermäuse unter breiten Verkehrswegen, wie Autobahnen, hängt offenbar von verschiedenen Faktoren ab. Aus der Literatur und unseren eigenen Feststellungen ist zunächst die Querschnittsfläche des Durchlasses als maßgeblich ableitbar. Wie sich an einer von uns beispielhaft untersuchten Unterführung zeigte, kann u.U. auch eine nächtliche Nutzung des Durchlasses durch Verstellen, die zu einer Verengung führte, die Akzeptanz stark beeinflussen. Denkbar ist entsprechend auch ein „Verstellen" infolge eines häufigen Frequentierens durch Kraftfahrzeuge oder Schienenfahrzeuge.

Eine Abhängigkeit von der Durchlasslänge kann mit den bisherigen Untersuchungen nicht belastbar gestützt, aber mangels Untersuchungsobjekten auch nicht ausgeschlossen werden. Der Einfluss weiterer Faktoren kann auch nicht direkt aus den Untersuchungen abgeleitet werden, ergibt sich aber indirekt aus den unterschiedlichen Präferenzen der Arten und kann sich im Einzelfall auf Beobachtungen stützen. Z.B. kam der Durchflug von Mausohr-Individuen, die den Durchlass an der B7 nutzten, in Nächten mit starker Kaltluftbildung bzw. Kaltluftbewegung in der Unterführung fast zum Erliegen. Vergleichbare Beobachtungen machte FÖA (2003b) an einer Unterführung unter der Autobahn A4 bei Wommen. Diese Einzelbeobachtungen legen nahe, dass Mikroklimabedingungen (z.B. Temperaturgefälle zum Umfeld, Luftzug, Luftfeuchtigkeit) die Akzeptanz einer Unterführung im Einzelfall beeinflussen können. Weitere Faktoren, die nahe liegen, aber nicht untersucht sind, sind Insektenvorkommen als potenzielle Nahrungsquelle innerhalb der Unterführung oder in der unmittelbaren Umgebung der Querungshilfen und eine günstige strukturelle Anbindung der Querungsmöglichkeit an frequentierte Jagdhabitate und Quartiere im Umfeld. So erwiesen sich in einem Beispiel zwei Regenrückhaltebecken, jeweils vor einer Brücke gelegen, als Attraktionspunkte für die von uns telemetrierten Bechsteinfledermäuse (nähere Angaben s. in Kap. 4.4.3.3). Verschiedentlich nutzten Wasserfledermäuse Bachdurchlässe und Unterführungen nicht nur als Querungsmöglichkeit unter Straßen, sondern aufgrund des Vorhandenseins von

Spalten auch als (Zwischen-)Quartier (TRAPPMANN mdl. Mitt.). Möglicherweise ist die außerordentliche Frequentierung des Pfaffenbach-Durchlasses (Probefläche D14) auch durch eine Quartiernutzung innerhalb des Durchlasses oder in unmittelbarer Nähe dazu beeinflusst. Im Vergleich von Bachunterführungen und Wegeunterführungen zeigte sich eine offensichtlich höhere Akzeptanz von Durchlässen, wenn sie auch einen Wasserlauf unter der Straße durchführen. Die mittlere Querschnittsfläche genutzter Objekte liegt dann niedriger als bei trockenen Wegeunterführungen.

8.1.5.3 Wirksamkeit von unbegrünten straßenüberspannenden Bauwerken als Querungsmöglichkeit für Fledermäuse

Die Recherche zu Nachweisen einer Nutzung von Überflugmöglichkeiten für Fledermäuse über breite und stark frequentierte Verkehrswege ergab in der Literatur und sonstigen Sekundärquellen nur wenige konkrete Angaben, vgl. Tabelle 8-7. Allerdings führen LIMPENS et al. (2005) 18 Fledermausarten auf. Für die Wasser- und die Teichfledermaus kann die Einschätzung entnommen werden, dass diese Arten keine Brücken als Querungshilfe zur Straßenquerung benutzen. Ob diese Einschätzungen durchweg auf Beobachtungen beruhen oder deduktiv auf der Grundlage von Verallgemeinerungen entwickelt sind, kann dieser Arbeit nicht entnommen werden. Lediglich aus drei Literaturquellen waren konkrete Beobachtungen zu Nutzung von Überführungsbauwerken durch Fledermäuse zu entnehmen (s. die Fußnote zu Tabelle 8-7).

Wie an den von uns untersuchten Brücken B-Hal und B-Wo festgestellt, wird bei den Fledermäusen der Artengruppe C2 auch in der Literatur nicht von einer „echten Bindung“ an Brückenbauten bei der Verkehrsweg-Querung ausgegangen. Die Individuen überquerten in meist großer Flughöhe selbst breite Autobahnen ohne erkennbaren Bezug zu einer Brücke. Nach einigen Beobachtungen erscheint allerdings ein „Leuchtturmeffekt“ nicht ausgeschlossen: die auf Grünbrücken oder an den Widerlagern von Brücken vorhandenen hohen Gehölze sind weithin akustisch wirksam. Hieran orientieren sich möglicherweise z.B. die Abendsegler. Von den drei anderen, strukturfolgenden Arten nutzen einige die Grünbrücken (vgl. hierzu in Kap. 8.2).

Als Nutzer von vegetationsfreien technischen Bauwerken wurden in der Literatur – in Übereinstimmung mit unseren eigenen Befunden – nur fünf Arten, Fransenfledermaus, Großes Mausohr, Bartfledermaus, Wasserfledermaus und Zwergfledermaus, beschrieben. BACH & MÜLLER-STIEß (2005) wiesen zudem darauf hin, dass die eher strukturgebunden fliegenden Fledermäuse die von ihnen untersuchten acht Grünbrücken deutlich häufigen nutzten als die drei von ihnen im Vergleich betrachteten unbegrünten Wirtschaftswege-/Straßenbrücken. In einer Untersuchung an fünf Wirtschaftswegebrücken in Hessen ergaben sich ebenfalls nur sehr geringe Nutzungsbeobachtungen durch Fledermäuse (BACH et al. 2004). Bei den Untersuchungen der vorliegenden Studie wurde auf Brücken im Vergleich zu den Durchlässen durchschnittlich nur etwa ein Viertel der Aktivitätsfrequenz ermittelt, selbst bei den „Hauptnutzern“, Gattung *Pipistrellus*. In den von uns untersuchten Fällen kann also ein positiver Einfluss derartiger unbegrünter Brückenbauwerke auf das Querungsverhalten – über Einzelbeobachtungen hinaus (z.B. Untersuchungsobjekte B19, B22, B23 im Großraum Rhein-Main) – nicht bestätigt werden.

Tabelle 8-7: Angaben aus Sekundärquellen zur Nutzung von Brücken (Wirtschaftswege- und Straßenüberführungen, Grünbrücken) über Verkehrswege durch Fledermausarten

Fledermausart	Anzahl der beschriebenen Brücken	Länge der Brücken	Breite der Brücken	Nutzungs-/Brückentyp	Funktionen der Brücken	Quellen[91]
(A) In der Regel langsamer Flug eng an Vegetationselementen gebunden[92]:						
Kleine Hufeisennase	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	4
Wimperfledermaus	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	4
Fransenfledermaus	7	k. A.	6 m(?) – 65 m	Wirtschaftsweg, Grünbrücke	Flugstraße, Jagdhabitat	2, 3, 4
Bechsteinfledermaus	2	k. A.	20 + 53 m	Grünbrücken	Flugstraße	3, 4
Braunes/Graues Langohr	7	k. A.	20 – 65 m	Grünbrücken	Flugstraße, Jagdhabitat	3, 4
Große Hufeisen-nase	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	4
(B) Mischtyp-Flugstil mit ± dichter Bindung an Randstrukturen (incl. Jagdflug über Wasseroberflächen):						
Großes Mausohr	9	k. A.	6 m(?) – 65 m	Forstweg, Grünbrücken	Flugstraße, Jagdhabitat	2, 3, 4
Bartfledermäuse	12	1x 40 m	6 – 65 m	Straßenbrücken, Wirtschaftsweg, Grünbrücken	Flugstraße, Jagdhabitat	1, 2, 3, 4
Mopsfledermaus	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	4
Wasserfledermaus	6	2x 40 m	2 – 60 m²	Forstweg, Grünbrücken	Flugstraße	3
(C1) Meist ± schneller Flug, eher in halb-offener Umgebung:						
Mückenfledermaus	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	4
Zwergfledermaus	13	1x 40 m	6 – 65 m	Straßenbrücken, Wirtschaftsweg, Grünbrücken	Flugstraße, Jagdhabitat	1, 2, 3, 4
Rauhautfledermaus	8	k. A.	20 – 65 m	Grünbrücken	Flugstraße, Jagdhabitat	3, 4
(C2) Meist hoher und schneller Flug, eher in offener Umgebung:						
Nordfledermaus	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	4
Zweifarbfledermaus	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	4
Breitflügelfledermaus	5	k. A.	12 – 53 m	Straßenbrücke, Grünbrücken	Flugstraße	3, 4
Großer Abend-segler	10	k. A.	12 – 65 m	Straßenbrücken, Grünbrücken	Flugstraße	3, 4

Die Akzeptanz von Brückenbauten als Querungshilfe für fliegende Fledermäuse über breite Verkehrswege dürfte von teilweise ähnlichen Faktoren abhängen wie bei den Durchlässen. Beispielhaft zu nennen ist die nächtliche Verkehrsnutzung der Brücke (unterschiedliche Verkehrsfrequenz/Störung).[93] Entscheidender sind vermutlich andere Faktoren, die typischerweise auf vegetationsfreien Brücken nicht oder ungünstig ausgeprägt sind. Zu nennen sind das Vorhandensein bzw. die Höhe seitlicher Aufbauten, z.B. von Geländern oder ähnlichen kastenförmigen Aufbauten, die als Echoortungs-Leitlinie dienen können. Von Bedeutung sind weiterhin vermutlich die Mikroklimabedingungen auf der Brücke (z.B. Angebot „windstiller Bereiche“), das Insektenvorkommen über der Brücke und in ihrer unmittelbaren Umgebung (z.B. typischerweise auf „Grünbrücken“ oder infolge künstlicher Beleuchtung des Weges) und nicht zuletzt die strukturelle Anbindung der Brücke an frequentierte Jagdhabitate bzw. etablierte Flugwege. In wie weit diese Faktoren auf begrünten Brücken günstiger ausgeprägt sind und insoweit die

[91] (1) AG QUERUNGSHILFEN 2003 (Art der Bestimmung unklar); (2) BACH et al. 2004 (Detektoraufnahmen); (3) BACH & MÜLLER-STIEß 2005 (Detektoraufnahmen); (4) LIMPENS et al. 2005 (Art der Bestimmung unklar).

[92] Die Unterteilung der Fledermausarten in vier Gruppen unterschiedlicher Flugstile erfolgt in Anlehnung an LIMPENS et al. (2005).

[93] Z.B. wird auch eine mögliche Irritation der Tiere durch Beleuchtung und Lichtblitze im Verkehrsraum diskutiert (LIMPENS et al. 2005).

Funktionen des Bauwerkes als Querungsmöglichkeit günstig beeinflussen, wird in Kap. 8.2 näher untersucht.

Vor dem Hintergrund der erkennbaren Bandbreite an Gestaltung resp. Ausstattung mit Vegetation zeigt sich zumindest für breitere Wirtschaftswegebrücken ein gewisses Optimierungspotenzial. Die Möglichkeiten zur Flugbahnlenkung von Fledermäusen durch entsprechende Gestaltung und Ausstattung mit Leitstrukturen zeigen Experimente mit künstlichen Leitstrukturen bei Kleinen Hufeisennasen (s. BIEDERMANN et al. 2004) und Großen Mausohren (FUHRMANN & KIEFER 1996) im kleinräumigen Maßstab. Es drängt sich daher auf, eine Attraktivitätssteigerung zu erproben, indem technische Bauwerke an geeigneten Stellen nachträglich z.B. begrünt oder mit anderen Leitstrukturen versehen werden. Vorläufige Ergebnisse eines erst in 2008 begonnenen und noch nicht abgeschlossenen Versuchs werden in Kap. 8.2 dargestellt.

Der Nachweis, dass die Halbbrücken in unserer Untersuchung von Zwergfledermäusen bis zum Mittelstreifen der breiten und stark befahrenen Autobahn A3 umflogen werden, kann lediglich ihre Funktion als Orientierungsobjekt zeigen. Dass entsprechende Bauten als „hop-over“-Struktur im Sinne von LIMPENS et al. (2005) fungieren können – immerhin halbieren sie an dieser Stelle den freien Luftraum der 6-Fahrspuren breiten Autobahntrasse – kann nicht belegt werden.

Als Fazit ist festzustellen, dass Durchlässe (Bachdurchlässe stärker als trockene Wegedurchlässe) eine hohe Eignung zur Querung breiter Verkehrswege haben. Die untersuchten technischen Brücken haben dagegen nur eine geringe (Wirtschaftswegebrücken) bis gar keine Wirksamkeit (Halbbrücken).

8.2 Grünbrücken als Querungshilfen für Fledermäuse

8.2.1 Einführung

Für Fledermäuse stellt die Landschaftszerschneidung durch Verkehrswege eine Beeinträchtigung dar, weil einige Arten eine direkte Querung breiter Verkehrswege möglichst ganz oder teilweise meiden.

Der Bau von speziellen Querungshilfen kann Barrierewirkungen begrenzen und die Kollisionsgefahr mindern. Allerdings sind wissenschaftliche Nachuntersuchungen dazu bislang nur in geringer Zahl vorhanden. Als befriedigend konnte man den Wissensstand bislang nur in Bezug auf die Wirksamkeit von Unterführungen bezeichnen. Wo keine Unterquerungsmöglichkeiten bestehen, benötigen die Arten an breiten Verkehrswegen weitere Querungshilfen. Dass Fledermäuse auch Grün- bzw. Landschaftsbrücken, selten auch technische Bauwerke mit geringer oder fehlender Vegetation zum Überqueren nutzen, wird durch mittlerweile viele Einzelbeobachtungen belegt (zusammenfassend in FGSV 2008, LIMPENS et al. 2005, BRINKMANN et al. 2008). Systematische Untersuchungen der Funktionsfähigkeit sind aber noch rar und die in ersten Arbeiten (BACH & MÜLLER-STIEß 2005) gewonnenen Erkenntnisse beruhen noch auf einem schmalen Datenfundament.

Diese Arbeit ergänzt die vorliegenden Untersuchungen durch die Untersuchung einer künstlich „begrünten“ Wirtschaftwegebrücke, einer als Querungshilfe geplanten „Heckenbrücke“ sowie von zwei Grünbrücken unterschiedlicher Breite und bewertet diese Erkenntnisse im Kontext mit der in der Literatur berichteten Datenlage und versucht eine Gesamtbewertung.

8.2.2 Methoden

Nach Vorversuchen (Artenzahl, Querungshäufigkeit) wurden die in Tabelle 8-8 aufgeführten Probeflächen zur (Haupt-)Untersuchung ausgewählt. Allen Untersuchungsobjekten gemeinsam ist ihre Lage in struktur- und laubholzreichen Waldgebieten. Die Probeflächen (Brücken) unterscheiden sich hinsichtlich Breite der Brücke und Grad der Vegetationsausstattung (Höhe und Dichte von Gebüschvegetation und Bäumen).

Eine Besonderheit stellt die begrünte Brücke HALLE2 dar. Hier wurde die in den Vorjahren auf ihre Eignung untersuchte Wirtschaftswegebrücke über die zweispurige L782 bei Halle/Westfalen (s. in Kap. 8.1.2.1) mit künstlicher Vegetation ausgestattet, indem unbewurzelte, starke Laubbaum-Äste (Ø > 10 cm, h ≥ 3,50 m) in dichter Reihe derart am Brückengeländer befestigt wurden, so dass eine annähernd durchgängige Leitstruktur entstand.

Tabelle 8-8: Probeflächen Überquerungshilfen

Bezeichnung	Probefläche	Länge (m)	Nutzbare Breite (m)	Vegetationsausstattung, Höhe von/bis, (dominant) (m)	RefA#	RefB#
Ober	Wirtschaftswegebrücke Oberderdingen über die ICE-Strecke Mannheim - Stuttgart	58	9	1,6 – 5,5 (2)	Wald	SR*
POT	Grünbrücke Potaschberg (Luxemburg)	55	9 – 25	2 - 5 (3,5)	Wald	SR
DOCK	Grünbrücke an der B410 bei Dockweiler/Eifel	45	30	2 - 4,5 (3,5)	Wald	SR
HALLE1	Wirtschaftswegebrücke über eine zweistreifige Landstraße bei Halle (L782)	40	9	Ohne (vorher)	Wald	SR
HALLE2	Wirtschaftswegebrücke über eine zweistreifige Landstraße bei Halle (L782)	40	9	3 – 4,5 (3,5) künstlich („Topf“)	Wald	SR

RefA, RefB: Vergleichsstandorte A und B; SR: Straßenrand; *Einschnitt Bahn/Straßenüberführung

Abbildung 8-20: Querungshilfe OBER (Wirtschaftsweg mit beidseitigen Gehölzreihen, Juni 2008)

Abbildung 8-21: Querungshilfe POT (Symbolbild einer vergleichbaren Grünbrücke an der A36 in Frankreich/Elsass, aus GEORGII 2007. Rechts Detailbild der Probefläche im August 2008)

Abbildung 8-22: Querungshilfe DOCK (Juli 2008)

Abbildung 8-23: Wirtschaftswegebrücke HALLE1 (links) und Begrünung HALLE2 (während der Begrünungsarbeiten im Juli 2008)

Methodisch wurden die Untersuchungen als Paarvergleiche (paarige Stichprobe: Brücke - Referenz) ausgelegt. Erfasst wurden das Artenspektrum und die Aktivität der Durchflieger/Querer mittels Detektoren und Videotechnik mit IR-Beleuchtung. Auf jeder Brücke wurden Horchboxen auf der Brückenmitte und an einem Brückenende am Waldrand (Referenz RefA) aufgebaut. Eine weitere Aufnahmeeinheit (Referenz RefB) wurde im Straßenmittelstreifen oder, wo nicht möglich, am Straßenrand in 75 - 100 m Entfernung von der Brücke installiert. Die Horchboxen waren mit Teilerdetektoren ausgestattet. Zum Einsatz kamen entweder Batbox Duet (STAG) mit gekoppelter digitaler Rufaufzeichnung auf IRiver IFP89x oder Anabat II (Titley). Zur gleichzeitigen Erfassung des Verhaltens wurden ein bis zwei lichtempfindliche ½-Zoll-Kameras (ICD-47E und Hitachi KP-200 mit Lichtempfindlichkeit 0,0001 lux) an einem Ende der Brücke installiert. Mit Unterstützung von 4 bzw. 6 IR-LED-Strahlern (840 nm) mit insgesamt 60 - 75 Watt betrug die Ausleuchtungsreichweite im offenen Gelände 40 - 50 m.

Die Probefläche HALLE2 wurde vor der künstlichen Begrünung sowie in zwei Zeitphasen nach der künstlichen Begrünung untersucht. Außerdem standen zum Vergleich die Daten der unbegrünten Wirtschaftswegebrücke HALLE1 aus den Vorjahren zur Verfügung (Tabelle 8-9).

Die Artbestimmung bzw. Bestimmung der Aktivität nach den Fledermausrufaufzeichnungen erfolgte mit Hilfe der Programme BatScan (Batbox LTD, UK) und AnaLook Version 4.9j (C. Corben)[94]. Entsprechend der verschiedenen Ruftypen (s. Kap. 8.1.2.2) konnten in der Regel die Artengruppen *Pipistrellus*, die Abendsegler *Nyctalus* und als dritte Gruppe die stark frequenzmodulierten (FM) Rufe von kurzer Dauer von Langohren *Plecotus* und *Myotis*-Arten differenziert werden. Aufzeichnungen weiterer, parallel genutzter Zeitdehner-Detektoren (Pettersson D240x) ließen tlw. eine weitergehende Zuordnung zu den einzelnen Arten zu, so dass summarische Informationen zu den Artenspektren der Probeflächen gewonnen wurden.

[94] http://www.msb.unm.edu/mammals/batcall/html/introduction.html.

Tabelle 8-9: Untersuchungszeiträume

Bezeichnung	Probefläche	Untersuchungszeitraum I	Nächte (n)	Untersuchungszeitraum II	Nächte (n)
OBER	Wirtschaftswegebrücke Oberderdingen über die ICE-Strecke Mannheim - Stuttgart			01.- 03.7.2008 05. - 07.08.2008	6
POT	Grünbrücke Potaschberg (Luxemburg)			03.- 04.06.08 22.07.08 18.- 20.08.08 26.- 28.08.08	8
DOCK	Grünbrücke an der B410 bei Dockweiler/Eifel (2006)	04.- 06.06.2007 01.-04.08.2007	6	03. - 04.06.08 23. - 25.06.08 09. - 10.09.08	7
HALLE2	Wirtschaftswegebrücke über eine zweistreifige Landstraße bei Halle (L782)	14.07.05, 04.08.05, 13.08.05 (s. HALLE1 in Kap. 8.1.2.1) 07. - 13.6.2008	(3) 6	30.- 31.07.08 18.- 21.08.08 09. - 11.09.08	7

8.2.3 Ergebnisse

8.2.3.1 Nutzung der „Brücken“

Die im Umfeld festgestellten Arten sind annähernd zur Hälfte (40 - 50 %, Probefläche HALLE2) bis vollständig (100 %, Probefläche DOCK) auch auf den jeweils nahe gelegenen Grünbrücken nachgewiesen (Tabelle 8-10). Unsicherheiten bestehen bei der Bechsteinfledermaus, die nicht eindeutig von der Fransenfledermaus differenziert werden konnte sowie bei beiden Langohr-Arten und den Bartfledermäusen, die ebenfalls nicht sicher mit den zur Verfügung stehenden Methoden unterscheidbar sind. Das Artenspektrum weist neben streng strukturgebundenen Arten (Vertreter der Gruppen A und B) auch mäßig bis nicht strukturgebundene Arten auf (Vertreter der Gruppen C1 und C2). Auf allen 4 Grünbrücken wurden die Zwergfledermaus, die Fransenfledermaus und mindestens eine Bartfledermaus-Art festgestellt. Die streng strukturgebundenen Langohren sind auf allen drei Grünbrücken nachgewiesen, jedoch nicht auf der nachträglich begrünten Wirtschaftswegebrücke HALLE2. Von besonderem Interesse ist die Feststellung der streng strukturgebundenen Großen Hufeisennase auf der Grünbrücke POT über die Autobahn A64 zwischen Trier und Luxemburg. Die kaum strukturgebundenen Arten Großer Abendsegler und Breitflügelfledermaus sind zwar auch als Querer über die Grünbrücken an alle Standorten registriert, jedoch werden die „lauten“ Echoortungsrufe dieser Arten von den Detektoren über größere Entfernung aufgezeichnet, ohne dass tatsächlich eine Grünbrückennutzung vorliegen muss.

Tabelle 8-10: Auf den Grünbrücken und im Umfeld am Waldrand (Referenz B) festgestellte Fledermausarten (nach Detektoraufnahmen)

Art	Struktur-bindungs-typ[95]	HALL E2 Brü-cke begr.	HALL E Ref (B)	OBER Brü-cke	OBER Ref (B)	POT Brü-cke	POT Ref (B)	DOCK Brü-cke	DOCK Ref (B)
Gr. Hufeisennase (*Rhinolophus ferrum-equinum*)	A					X	(U)[96]		
Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*)	A		cf.[97]				cf.	cf.	cf.
Fransenfledermaus (*Myotis nattereri*)	A	X	X	X	X	X	X	X	X
Langohr spec. (*Plecotus auritus/austriacus*)	A		X	X	X	X	X	X	X
Bartfledermaus spec. (*Myotis brandtii/mystacinus*)	B	cf.	X	cf.	X	X	X	X	X
Großes Mausohr (*Myotis Myotis*)	B		X		X			X	X
Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*)	B		X		X	X	X		
Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*)	C1							X	X
Zwergfledermaus (*Pipistrellus Pipistrellus*)	C1	X	X	X	X	X	X	X	X
Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*)	C1		X				X	X	X
Kleiner Abendsegler (*Nyctalus leisleri*)							X	cf.	X
Großer Abendsegler (*Nyctalus noctula*)	C2	X	X	X	X	X	X	X	X
Breitflügelfledermaus (*Eptesicus serotinus*)	C2	X	X	X	X				
Arten (cf.)		4 (5)	9 (10)	5 (6)	8	7	8 (9)	8 (10)	9 (10)
Artenpräsenz (%)		≥44%	100%	≥63%	100%	≥78%	100%	≥89%	100%

Wie bereits bei der Artenpräsenz finden sich auch Unterschiede in der Fledermausaktivität (Abbildung 8-24). Zur Auswertung der Aktivitätsdichte wurden nur Rufereignisse berücksichtigt, welche auf Gattungsniveau identifizierbar waren und die aufgrund der Schallintensität mit hoher Wahrscheinlichkeit Flugaktivitäten auf der Brücke bzw. auf der Referenzfläche darstellten. Die Grünbrücken POT und DOCK weisen hohe Aktivitätsdichten auf, auch im Vergleich mit ihren Referenzstellen am nahe gelegenen Waldrand. Im Vergleich mit der Grünbrücke (11 gegenüber 4 Kontakten/Std.) ist der Wert am vergleichbar strukturierten Waldrand bei Dockweiler (DOCK Ref) auffällig gering.

Die Aktivitätsdichten auf der (nachträglich begrünten) Brücke HALLE2 und auf der Probefläche OBER sind deutlich niedriger als an dem jeweiligen Vergleichsstandort (Ref) am Waldrand. Der mit 15 Detektorkontakten/Std. herausragend hohe Medianwert der Probefläche OBER (Ref) am Waldrand ist durch

[95] Unterteilung der Fledermausarten in Gruppen unterschiedlicher Flugstile/Strukturbindung nach FUHRMANN in Anlehnung an LIMPENS et al. (2005): (A) In der Regel langsamer Flug eng an Vegetationselementen gebunden; (B) Mischtyp-Flugstil mit ± dichter Bindung an Randstrukturen (incl. Jagdflug über Wasseroberflächen); (C1) meist ± schneller Flug, eher in halb-offener Umgebung; (C2) meist hoher und schneller Flug in offener Umgebung.

[96] Kam in der Umgebung vor, wurde in der Referenz am Waldrand vor der Grünbrücke aber nicht nachgewiesen.

[97] Die Arten Bechsteinfledermaus und Fransenfledermaus sind auf der Basis ihres Flugverhaltens und anhand der Ortungsrufe nicht immer zuverlässig zu unterscheiden. Die Bechsteinfledermaus ist aufgrund von Netzfängen im Umfeld nachgewiesen (nach unveröff. Daten der Arbeitsgruppe).

einen während der Untersuchungszeit gleichbleibend stark von Fledermäusen frequentierten Flugweg erklärbar: die Individuen flogen an dieser Stelle den Waldrand entlang, querten aber die Brücke offensichtlich mehrheitlich nicht.

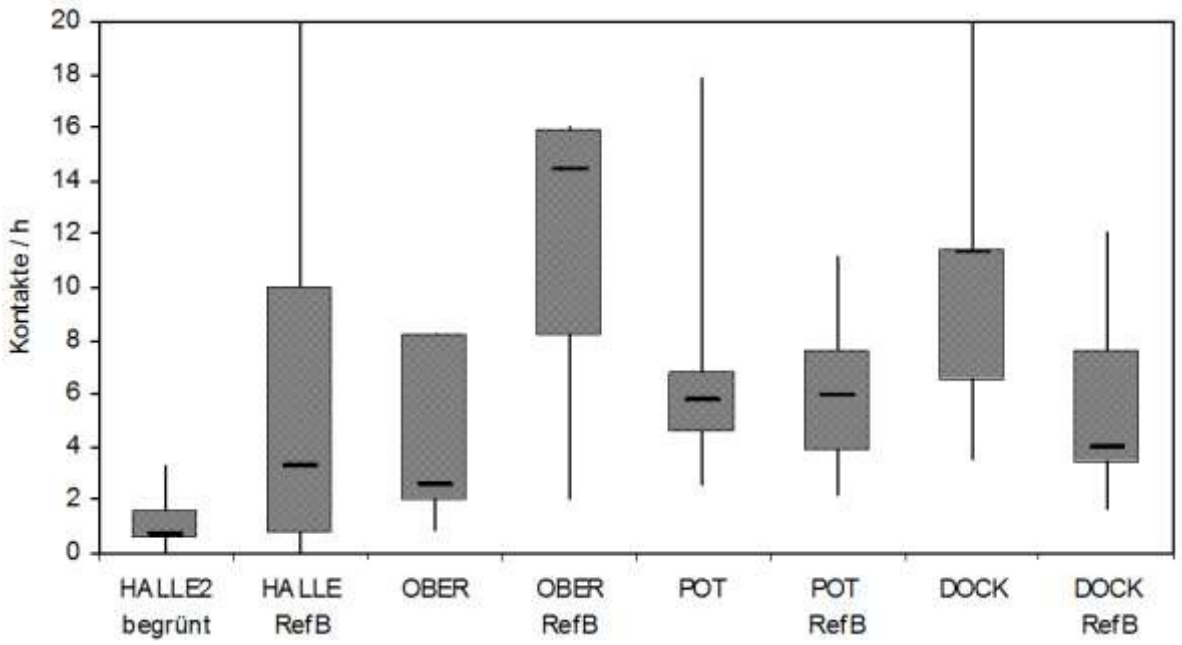


Abbildung 8-24: Nutzung der Grünbrücken im Vergleich zu Referenzpunkten am Brückenkopf (RefB, am Waldrand)

8.2.3.2 Funktionale Unterschiede

Detektoraufzeichnungen und Videoaufnahmen können darüber Auskunft geben, ob die Grünbrücken den Fledermäusen vorrangig als Querungsmöglichkeit bzw. als Überflughilfe dienen oder ob die Strukturen auf der Grünbrücke auch bejagt werden. Jagd- oder Transferflug wurden am Verhalten (z.B. Auftreten eines kreisenden Suchfluges) nach Video-Aufzeichnungen unterschieden und an der Häufigkeit von feeding-buzzes[98], die während der Nacht mittels Detektor dokumentiert wurden. Bei summarischer Betrachtung nutzten die meisten Individuen die Grünbrücken zum Queren der Straße; die Nutzung als Bestandteil des Jagdhabitates war nachgeordnet (Abbildung 8-25). Aber alle Arten wurden auch bei der Jagd auf den Grünbrücken festgestellt. Auf den beiden vergleichsweise breiten bzw. an Vegetation reichen Grünbrücken ist der Anteil jagender Individuen höher als auf den schmalen, vegetationsarmen. Zeitweilig war die Nutzung als Jagdhabitat auf diesen Grünbrücken sogar dominant. Bspw. jagten während der gesamten Nacht vom 04.06.2008 ein oder mehrere Individuen auf der Grünbrücke DOCK. Vor allem die Zwergfledermaus bezieht alle Grünbrücken in ihre Jagdhabitate ein.

[98] Feeding buzz: schnellere Ruffolge vor der Fangphase.

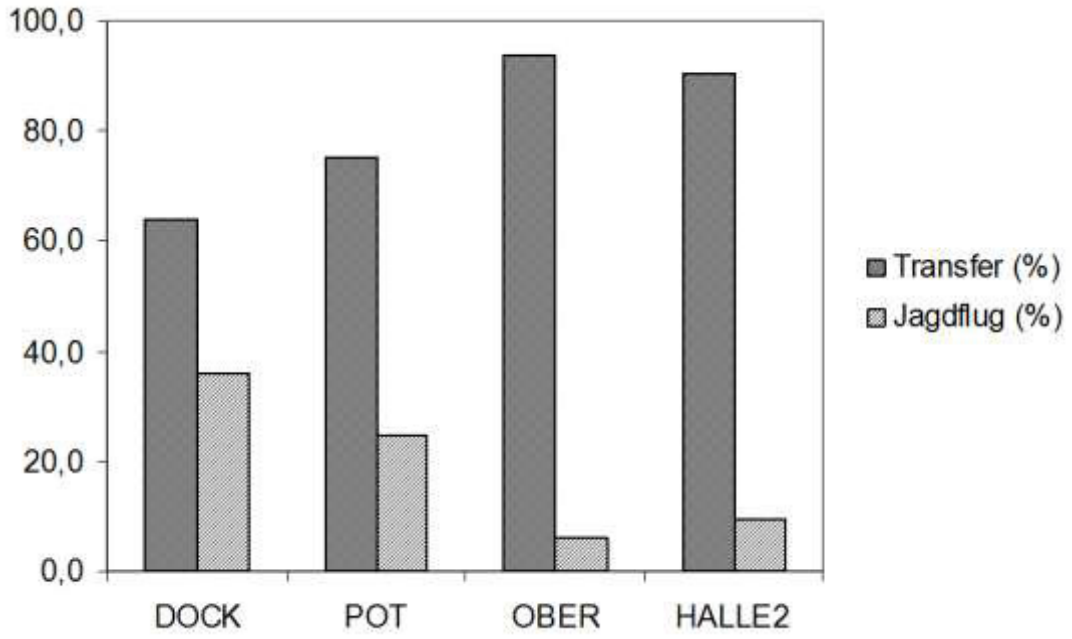


Abbildung 8-25: Nutzung der Grünbrücken als Flugweg bzw. als Jagdhabitat (Aktivität, %)

8.2.3.3 Abhängigkeit der Nutzung von Brückenbreite und Vegetationsstruktur

Alle untersuchten Grünbrücken weisen eine unmittelbare Anbindung an den Wald auf. Unterschiede zwischen den Grünbrücken bestehen im Hinblick auf die Brückenbreite, die wiederum einen engen Zusammenhang mit der Ausdehnung und dem Entwicklungsstand (Wuchshöhe, Dichtschluss) der angepflanzten Gehölzvegetation hat. Als Kennwert wurde das Vegetationsvolumen (Deckungsgrad der Vegetation x gemittelte Vegetationshöhe in den Klassen bis 1 m, bis 2 m, bis 3 m und höher) überschlägig durch Schätzung ermittelt.

Danach zeichnet sich die begrünte Brücke HALLE 2 durch ein äußerst geringes Vegetationsvolumen aus, siehe die Abbildung 8-23 (das geringe Vegetationsvolumen wurde nicht eigens berechnet). Auf den Brücken OBER, POT und DOCK wurde das Vegetationsvolumen mit 491 m^3, 2.267 m^3 und 2.444 m^3 ermittelt.

Die Aktivität von Fledermäusen auf der Brücke ist nach unseren Detektor-Untersuchungen umso größer, je größer das Vegetationsvolumen auf der Grünbrücke ist: Die schmale, nur von einer (künstlichen) Gehölzreihe gesäumte Wirtschaftswegebrücke, weist die geringste Aktivität von Querern auf, die breiteste Grünbrücke DOCK, die auch das größte Vegetationsvolumen hat (2.444 m^3), die größte. Zudem dominieren an der schmalsten Grünbrücke OBER sowie an der nachträglich begrünten Wirtschaftswegebrücke HALLE2 die *Pipistrellus*-Arten (Zwergfledermaus, Rauhautfledermaus, Mückenfledermaus), während an den beiden breiteren, gut mit Vegetation ausgestatteten Grünbrücken DOCK und POT der Anteil von *Myotis*-Arten, die im Allgemeinen stärker an Strukturen als Leitlinien gebunden sind, größer ist.

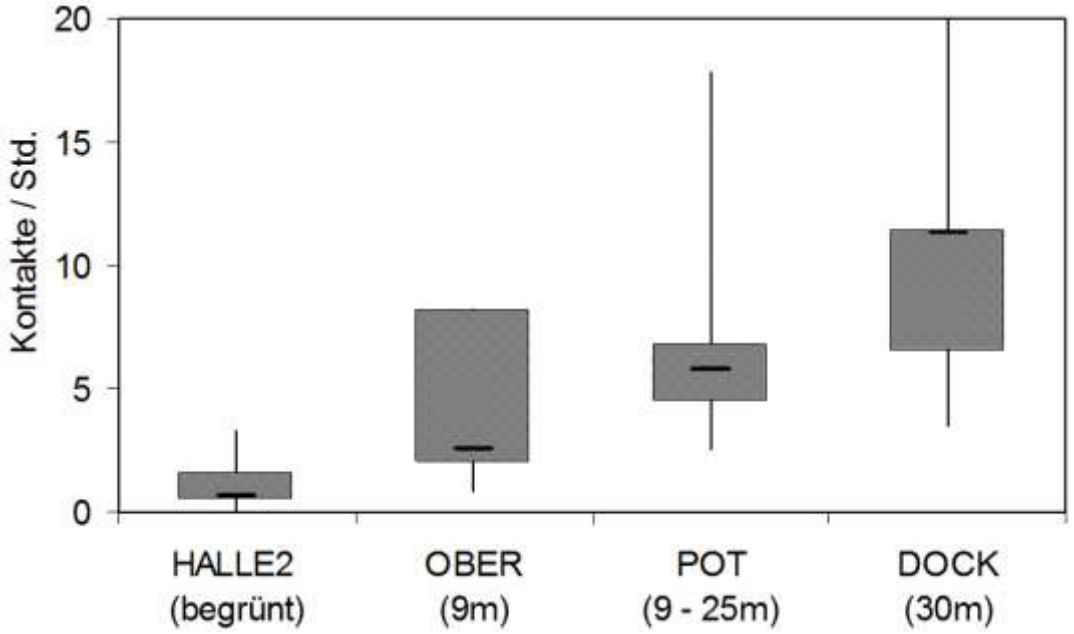


Abbildung 8-26: Nutzung (Aktivität) aller Fledermaus-Arten auf der Brücke in Abhängigkeit von der Breite

Neben den dargestellten Unterschieden in der Artenzusammensetzung und Dominanz der, die Brücke nutzenden Arten, bestehen auch Unterschiede in der Art der Nutzung, die an unterschiedlichem Verhalten erkennbar wird. In Abbildung 8-27 ist das Flugverhalten abgebildet, das mittels Videokameras aufgezeichnet wurde. Jede Videosequenz wurde nach dem Kriterium klassifiziert, ob die Individuen die Brückenstrukturen hoch überfliegen bzw. den Raum der Brücke mit einigem Abstand nutzen oder ob sie sich eng an die Vegetation auf der Brücke anlehnen („vegetationsnah“) oder der, von der Vegetation auf der Brücke gebildeten Schneise - u. U. bodennah - folgen („zwischen Vegetation“). Es zeigte sich, dass die Nutzer der beiden schmalen, wenig von Vegetation und dafür dominant vom Fahrweg strukturierten Grünbrücken HALLE2 und OBER sich stärker an der Brücke orientierten als an den Vegetationsstrukturen. Eine stark vegetationsbezogene Nutzung ist dagegen auf der Grünbrücke POT dokumentiert (Abbildung 8-27). Auf der breiten Grünbrücke DOCK wurden alle Strukturelemente genutzt. Weil die weniger vegetationsgebundenen Zwergfledermäuse bzw. *Pipistrellus* spec. auf der Grünbrücke dominant auftraten (73,5 % aller per Video aufgezeichneten Nutzungen), treten die Nutzungstypen „zwischen Vegetation“ und „vegetationsnah“ in den Hintergrund. Die artengruppenbezogene Detailauswertung zeigt aber, dass alle *Myotis* (100 %) und ein dominanter Teil der nicht artspezifisch identifizierten Individuen (78 %) sich an der Vegetation oder zwischen der Gehölzvegetation der Grünbrücke bewegten.

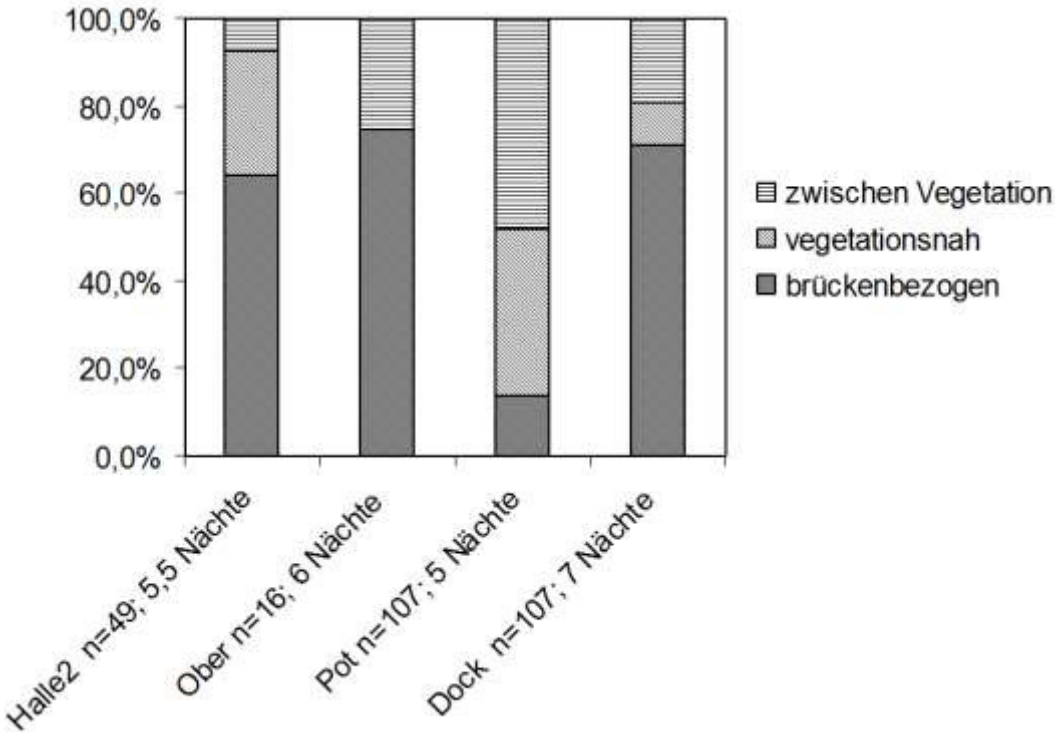


Abbildung 8-27: Flugverhalten von Fledermäusen auf den Grünbrücken nach Videoaufzeichnungen (Aktivität, %)

8.2.3.4 Auswirkungen einer nachträglichen Begrünung einer Wirtschaftswegbrücke

Im Juni 2008 wurde die bereits im Jahr 2005 untersuchte Wirtschaftswegbrücke bei Halle (HALLE1) durch Befestigung von starken, ausladend beasteten Reisern am Brückengeländer künstlich mit einer Galerie aus „Vegetation“ ausgestattet.[99] Weil eine „echte Begrünung“ durch Pflanzung mangels Wasserversorgung nicht möglich war, wurde geschnittenes Astmaterial (Reiser) verwendet und nach Verwelken der Blätter einmal ersetzt. Die Reiser waren 2,5 – 4 m hoch und hatten einen Stammdurchmesser von ca. 15 cm. Der Abstand zwischen den Reisern betrug ca. 1,5 – 2 m. Zielsetzung des Experimentes war es, eine annähernd durchgängige Verbindung zwischen den Waldrändern auf beiden Seiten der Straße zu schaffen. Dies war mit der Erwartung verbunden, dass die Zahl der Fledermausarten und die Nutzungshäufigkeit der Brücke nach Begrünung zunehmen würden, bzw. der Anteil der „Umkehrer“, die in den Voruntersuchungen an der Brücke HALLE1 gezählt worden waren, im Laufe der Untersuchung abnehmen würde.

Nach Voruntersuchungen in 2005 (s. die Angaben zur Probefläche HALLE1 in Kap. 8.1) wurde die Situation vor der Begrünung vom 07. - 13.6.2008 (Z0), am 30. und 31.07.2008 (Z1) unmittelbar nach der Begrünung sowie im Anschluss zweimal in den Zeiträumen 18. - 21.08. (Z2) und 09. - 11.09.2008 (Z3, vgl. Abbildung 8-28) untersucht. Wie bei den übrigen Brückenuntersuchungen wurde die Aktivität von Fledermäusen jeweils auf der Brückenmitte, am Rand der Brücke auf Höhe des Widerlagers sowie

[99] Die Begrünung einer weiteren Wirtschaftswegbrücke im Umfeld eines Mausohr-Wochenstubenquartiers scheiterte am Widerstand der örtlichen Landwirte, die eine Verengung der Brücke und Probleme der Befahrbarkeit mit breiten Landmaschinen befürchteten.

an einer Referenzstelle in einiger Entfernung von der Brücke am Straßenrand, vergleichend mit automatisch aufzeichnenden Detektoren untersucht. Das Verhalten wurde mit IR-Video im Bereich der Brückenmitte beobachtet (keine Referenz).

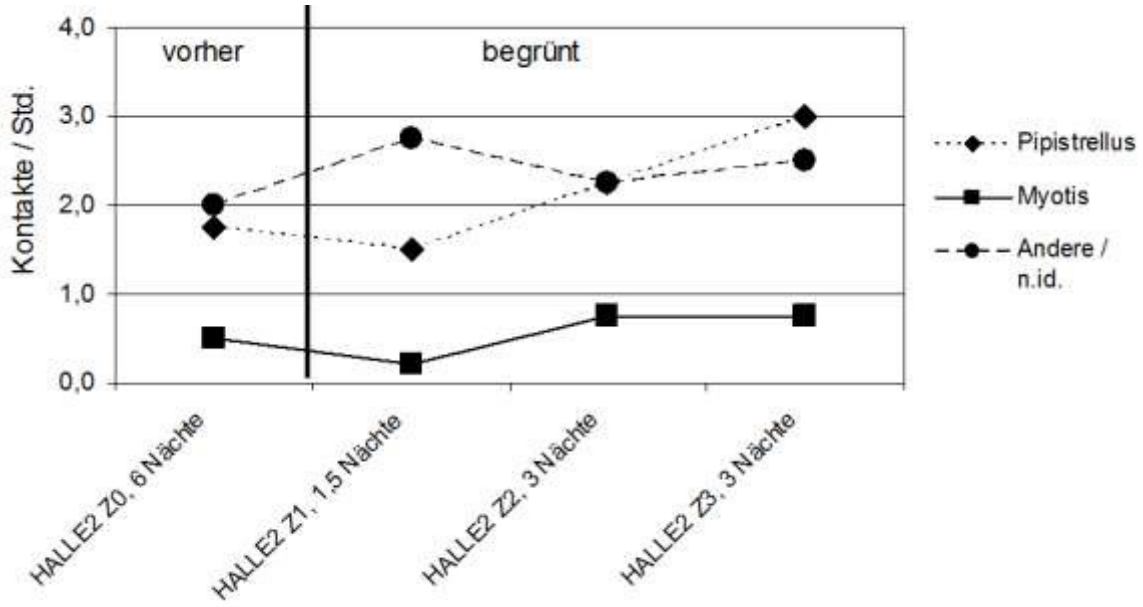


Abbildung 8-28: Veränderung der Aktivität von Fledermäusen nach künstlicher Begrünung der Wirtschaftswegebrücke HALLE (Detektor, Artengruppenaktivität/Std. für die Zeiträume Z0 vor Begrünung und Z1 – Z3 nach der Begrünung)

Die Nutzung der Brücke HALLE2 im Zeitraum vor (Z0) und nach der Begrünung (Z2 und Z3) unterscheidet sich in Bezug auf die Gruppen *Myotis* und *Pipistrellus* qualitativ und quantitativ geringfügig, (s. die Abbildung 8-28). Alle drei Gruppen, *Pipistrellus*, *Myotis* und Andere (darunter sind Abendsegler und Breitflügelfledermaus) wurden zwar etwas häufiger detektiert. Aber angesichts der ohnehin zu erwartenden Aktivitätszunahme im Spätsommer, wenn neben die erwachsenen Tieren auch zunehmend Junge dieses Sommers treten, lassen die Daten keinen relevanten Zuwachs erkennen. Auch der Vergleich der stündlichen Aktivitätsdichten (Gesamtuntersuchungszeit 24 Stunden für den Zeitraum vorher Z0, 17 Stunden nachher (Z2) und 19 Stunden (Z3) ergab statistisch sowohl für die *Pipistrellus*- als auch für die *Myotis*-Arten keine Steigerung (U-Test für *Pipistrellus*-Arten: $U = 169{,}5$, $Z = -0{,}913$, $p = 0{,}361$, $n1 = 24$, $n2 = 17$; $p > 0{,}05$, nicht signifikant; für *Myotis*-Arten $U = 178$, $Z = -0{,}688$, $p = 0{,}491$, $n1 = 24$, $n2 = 17$; $p > 0{,}05$, nicht signifikant).

8.2.4 Diskussion

8.2.4.1 Allgemeine methodenkritische Auseinandersetzung

Bei der Konzeption der Untersuchungsmethoden und bei der Interpretation der Daten müssen die Selektivität der verwendeten Methoden und die spezifischen Probleme fledermauskundlicher Geländestudien beachtet werden. Zur Bestimmung der Aktivität von Fledermäusen sind akustische Erfassungsmethoden am besten geeignet, um eine hinreichend große Datenmenge zu erhalten, eine gewisse Normierung zu erreichen und um die detektierten Individuen artbezogen zu identifizieren (u.a. MEYER et al. 2004, BCT 2007a, BACH & MÜLLER-STIEß 2005). Die Kombination mit optischen Methoden (IR-Video oder auch Thermal-Infrarotaufnahmen) liefert dann die für das Monitoring oft wünschenswerten

weiterreichenden Informationen über das Verhalten im Rahmen von Nachkontrollen zur Wirksamkeit von Vermeidungsmaßnahmen (z.B. GRANDISON et al. 2003, GEORGII et al. 2007, NACHTAKTIV & SWILD 2006).

Trotzdem sind vielfältige mögliche Fehlerquellen vorhanden: Die unterschiedlich laut rufenden Fledermausarten werden vom Detektor unterschiedlich erfasst. Zudem sind auch Detektor-Ergebnisse in jüngerer Zeit in der Literatur zunehmend intensiver Methodenkritik ausgesetzt (z.B. FENTON et al. 2001, MILNE 2004, MITCHELL-JONES & McLEISH 2004, GESSNER 2007, eigene Daten), weil die geringe Normierung/Kalibrierung der verwendeten (halbautomatischen) Geräte dazu führt, dass insbesondere für Vergleiche unzuverlässige Werte entstehen. Bei den Videoaufnahmen treten vergleichbare Probleme der Selektivität auf, weil der Ausschnitt bzw. die Reichweite der Videobeobachtung in Abhängigkeit vom Lichtangebot und von der Wahl des Aufnahmestandortes die Ergebnisse stark beeinflussen.

In vorliegender Studie wurde die Größe entsprechender Fehler möglichst gering gehalten und die Vergleichbarkeit zwischen den Teilergebnissen u.a. dadurch gewahrt, dass die kalibrierfähigen Detektor-Aufnahmegeräte kalibriert wurden und zwischen Probe und Referenzstandorten getauscht wurden. Auch ansonsten wurde eine starke Standardisierung der Bestandserfassungen angestrebt.

Im Zentrum unserer Untersuchung standen das Große Mausohr und weitere, eindeutig mit Hilfe der gewählten Methoden als Art oder Gruppe zu identifizierende Arten, z.B. die Zwergfledermaus. In Bezug auf andere, methodisch nur ausnahmsweise zu differenzierenden Arten, können summarische Aussagen getroffen werden. Für artbezogene Aussagen muss auf weitere Einzelbeobachtungen z.B. für Fransen-, Bart- und Bechsteinfledermaus und die Langohren sowie die Ergebnisse weiterer systematischen Untersuchungen in anderen Forschungsmodulen, z.B. die umfangreichen Telemetrieuntersuchungen an Bechsteinfledermäusen, im Sinne einer Synthese zurückgegriffen werden.

Kernaussagen der Untersuchung beruhen auf Paarvergleichen: Brücke bzw. Wand/Zaun *versus* Kontrollbereich an der Straße (ohne die entsprechende Struktur). Entsprechend mussten auch die Probeflächen viele Voraussetzungen erfüllen, um geeignete Rahmenbedingungen für den Vergleich zu schaffen. Bereits die Voruntersuchungen, um eine geeignete Probefläche und einen geeigneten Standort für die Positionierung der Detektoren und Kameras, waren extrem zeitaufwändig, weil Probeflächen und Positionen gefunden werden mussten, die eine ausreichende Zahl von Beobachtungen gewährleisteten, obwohl nur ein Ausschnitt von gegebenenfalls auch breiter gefächerten Autobahnquerungen mittels der Technik (Detektor, Video) erfasst werden konnte. Aufgrund der Charakteristik des Empfangskegels der Mikrophone und der Bildwinkel der Kameras, die jeweils in Längsrichtung der Autobahn ausgerichtet waren, wurde ein verhältnismäßig breiter Bereich erfasst (bei Detektoraufnahmen je nach Intensität der emittierten Fledermausrufe[100]). Jedoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei den Lautaufnahmen vergleichsweise „laute“ Rufe z.B. einer Zwergfledermaus fälschlich als Straßen- bzw. Brückenüberquerung gezählt wurden. Bei Aufnahmen von Individuen der Gattungen *Myotis* und *Plecotus* ist dies aufgrund ihrer geringeren Rufreichweite dagegen kaum anzunehmen, die Aufzeichnungen sind „exakt“, jedoch ist die Reichweite der Erfassung mittels Detektor geringer; weniger Individuen werden in einem kleineren Ausschnitt erfasst und die Aufnahmen sind auch nur eingeschränkt synchron zu den Videoaufzeichnungen, die wiederum nicht artgenau ausgewertet werden können. Diese Probleme betreffen aber sowohl die Probe- als auch die Referenzaufnahmen, so dass wir davon ausgehen, dass die angestrebten Verhältnis-Aussagen trotz dieser Einschränkungen belastbar sind.

Nach Voruntersuchungen in 2005 und 2006 an einem breiteren Spektrum von potenziell geeigneten Probeflächen (screening) wurden die in diesem Bericht dargestellten Probeflächen ausgewählt, weil sie die Voraussetzungen am besten erfüllten. Dennoch mussten Kompromisse gemacht werden. Insbeson-

[100] „Leise“ Rufe von z.B. Langohren z.T. nur 5–10 m weit, bei Flügen über offene Bereiche (wie Autobahnen) aber auch weitreichender; „laute“ Rufe der Schnellflieger (z.B. Großer Abendsegler) bis zu 100 m und mehr.

dere war es nicht möglich, die angestrebten Untersuchungsansätze „Vorher - Nachher“ an allen Probeflächen durchzuführen. Beim alternativen Ansatz „Probe - Referenz“ ist es bei Anlegung strengster Maßstäbe unter Geländebedingungen grundsätzlich nicht möglich, bspw. bezüglich der Referenz Standorte zu finden, die der Probe in allen Parametern exakt glichen und bei denen die Erfassungswahrscheinlichkeit vorbeifliegender Fledermäuse exakt die gleiche war.

8.2.4.2 Wirksamkeit von straßenüberspannenden Querungshilfen

Schwach bis mäßig strukturgebundene Arten (Strukturbindungstypen C1, C2), die Abendsegler, die Breitflügelfledermaus und auch die *Pipistrellus*-Arten (bezügl. Zwergfledermaus bspw. VERBOOM 1998: 93), sind in der Lage große Schneisen wie sie eine mehrspurige Autobahn darstellen, hoch zu überfliegen. Diese Arten werden auch an bzw. auf Grünbrücken festgestellt und präferieren diese und andere Brückenstrukturen zum Queren einer Straße fallweise sogar (für Straßenbrücken vgl. z.B. die Ergebnisse von FUHRMANN in Kap. 8.1), benötigen sie auf dem Weg zwischen Quartieren und Jagdgebieten jedoch nicht zwangsläufig obligat. Die mehr oder weniger eng strukturgebunden fliegenden Fledermausarten (Strukturbindungstypen A und B), Hufeisennasen, Langohren, Bechsteinfledermaus, Wimperfledermaus, Bartfledermäuse, Großes Mausohr und Fransenfledermaus, finden an schmalen, in der Regel nicht breiter als 2-spurigen Straßen, mit Bäumen zu beiden Seiten, Alleen oder Waldrändern Querungsmöglichkeiten über die Straßenschneisen, sofern der Kronenschluss über dem Verkehrsweg weitgehend vollständig ist (Zusammenstellung in LIMPENS et al. 2005). Ist die Schneise größer als einige Meter, besteht die Gefahr, dass die eng strukturgebundenen Arten entweder gar nicht queren (bezüglich Bechsteinfledermaus s. bei KERTH & MELBER 2009 und in Kap. 4) oder wenn sie trotzdem queren Gefahr laufen, in den Verkehr hineinzufliegen und zu kollidieren.

Zur Vermeidung einer signifikanten Kollisionsgefahr bzw. zur Aufrechterhaltung einer entsprechenden Flugwegebeziehung können außer Unterführungen (vgl. Kap. 8.1) nach Erfahrungswerten von Fledermausexperten auch begrünte Brücken und Grünbrücken dienen (Zusammenfassung in BACH 2008, BRINKMANN et al. 2008, FGSV 2008, LIMPENS et al. 2005, WRAY et al. 2006). Allerdings existieren bislang kaum Wirkungskontrollen. Nur eine einzige Untersuchung hat bislang breite und schmale Grünbrücken hinsichtlich ihrer Funktion als Fledermausquerungshilfe untersucht (BACH & MÜLLER-STIEß 2005). Eine weitere untersuchte die Wirksamkeit von zwei sogenannten Heckenbrücken (Wirtschaftswegbrücken, die beidseitig mit Heckenpflanzungen und Blendschutz ausgestattet sind) an der Autobahn A17 im Abschnitt Pirna bis Grenze D/CZ speziell in Bezug auf die Akzeptanz durch die Kleine Hufeisennase (NACHTaktiv & SWILD 2008).

Im Gegensatz zu den von uns untersuchten Grünbrücken wurden von BACH & MÜLLER-STIEß (2005) acht Grünbrücken an der B31n in Baden-Württemberg untersucht, die nicht durchweg an Wald oder andere Leitlinien, die für Fledermaus-Transferflüge mitunter essenziell sein können, angebunden waren. Während dies die Wirksamkeit der Grünbrücken an der B31 nachteilig beeinflusste (BACH & MÜLLER-STIEß 2005: 13, 20), kann die Anbindung als Faktor bei der Interpretation der Ergebnisse in unserer Untersuchung außer Betracht bleiben, weil sie in allen vier Fällen optimal war. BACH & MÜLLER-STIEß (2005: 20) schlussfolgerten, dass die Anbindung und die Lage der Grünbrücke auch insoweit eine Rolle spielen, als im Offenland bestehende Flugwege z.B. entlang von Hecken, die auf die Grünbrücke zuführen, die Funktionalität positiv beeinflussen. Im Wald dagegen seien tradierte Flugwege („Flugstraßen“) nur stellenweise ausgeprägt. Angesichts der diffusen Flugwegebeziehungen und vermutlicher geringerer Auftreffwahrscheinlichkeit wird vermutet, dass breitere Grünbrücken dies im Wald kompensieren müssten. Diese Überlegungen sind naheliegend, aber zu differenzieren: alle unsere Grünbrücken liegen im Wald und in den von uns untersuchten Fällen bestanden ausgesprochene Flugwege-Situationen nur bei der schmaleren Grünbrücke OBER am Waldrand auf der einen Brückenseite. Obwohl die von uns untersuchten Grünbrücken das Spektrum der von BACH & MÜLLER-STIEß untersuchten Brücken nach unten ergänzen, bestätigten unsere Untersuchungen die breite Nutzung unserer

„breiten“ Grünbrücken durch viele Arten (BACH & MÜLLER-STIEß 2005: max. 10 Arten; diese Untersuchung: max. 8 - 10 Arten); alle relevanten[101] Arten der umgebenden Waldlebensräume waren auf den beiden Brücken DOCK und POT präsent. Die hohe Aktivitätsdichte und das Transfer- und Jagdverhalten auf beiden breiten Grünbrücken sowie den Nachweis der im Gebiet äußerst seltenen Großen Hufeisennase als Brückennutzer der Grünbrücke POT interpretieren wir als Wirksamkeitsnachweis für diese Grünbrücken auch in der Waldumgebung. Die Grünbrücke POT erwies sich im Waldumfeld als ebenso funktional wie die 30 m breite Grünbrücke DOCK. Die Brücke POT weist auch an ihrer engsten Stelle eine hohe und mehrschichtige Vegetation auf und hat insgesamt ein fast ebenso großes Vegetationsvolumen wie die breitere Grünbrücke DOCK, deren Vegetation noch in der Entwicklung ist.

Unter Einbeziehung der Ergebnisse von BACH & MÜLLER-STIEß (2005: 20) schlussfolgern wir, dass die Wirksamkeit der Grünbrücken für Fledermäuse determiniert wird von der Ausstattung mit Vegetation, dem Vegetationsvolumen als Summe der Merkmale für die Ausdehnung, Dichtheit und Höhe der Bepflanzung, vgl. auch BACH (2008). BACH & MÜLLER-STIEß (2005) sahen bei Brücken unter 40 m andere Faktoren als die Breite als ausschlaggebend an. In den von uns untersuchten Fallbeispielen hat die Grünbrückenbreite insoweit Einfluss, als schmale Brücken eher Störungen aus der Umgebung unterliegen. Die an ihrer engsten Stelle 9 m breite Grünbrücke POT ist aufgrund der durchgehend stark entwickelten Vegetation störungsfrei. Die schmalere Brücke OBER (mit durchgehend 9 m) bleibt hinter den breiteren, vegetationsstrukturell besser ausgestatteten Grünbrücken hinsichtlich der Wirksamkeit (Artenzahl, Aktivität) deutlich zurück. Zwar ist die Strukturausstattung mit Vegetation auf der Brücke noch recht gut (vgl. Abbildung 8 20) und macht die Nutzung durch die zum Typ A zählende Fransenfledermaus und das Langohr möglich. Die anderen, am Waldrand nebenan aktiven Arten, nutzen die Brücke OBER aber nicht. Naheliegende Ursachen sind die nicht vollständige Durchgängigkeit der Vegetationsstruktur oder der fehlende Schutz auf der Brücke vor Lärm und vor allem vor Lichtirritationen. Ein Blendschutz ist nicht vorhanden. Die sich ergebenden Störeffekte hängen wiederum mittelbar mit der geringen Breite zusammen. Einiges spricht aber auch dafür, dass die Querungshilfe OBER in dem o.g. von BACH & MÜLLER-STIEß (2005: 20) diskutierten Zusammenhang zu schmal ist, um Funktionen für viele im Wald und am Waldrand aktive Arten zu übernehmen.

Unser Beispiel der Brücke OBER, die Beispiele von NACHTAKTIV & SWILD (2008) von der Autobahn A17 und die entsprechenden Angaben von Grünbrücken an der B31 in BACH & MÜLLER-STIEß (2005) zeigen, dass vegetationsstrukturell günstig ausgestattete und an die Umfeldstrukturen angeschlossene Querungshilfen bereits bei (relativ) geringer Brückenbreite für bestimmte Arten funktional sein können. Auch andere Untersuchungen weisen auf die zentrale Notwendigkeit, dass Leitstrukturen einen ausreichenden Dichtschluss und eine gewisse Breite haben müssen. Nach Zwischenergebnissen der Untersuchungen von NACHTaktiv & SWILD zum Monitoring der Wirksamkeit der o.g. Heckenbrücken an der Autobahn A17 wurden Heckenpflanzungen, die lediglich ca. 2,5 Jahre alt und 2 - 3 m hoch und ca. 3 m breit waren, unter diesen Bedingungen von mehreren strukturgebundenen Arten, darunter Kleine Hufeisennase, Wasserfledermaus, Mopsfledermaus und Langohr, als Leitstruktur genutzt.[102] Als nicht wirksam hat sich die von uns vorgenommene und als ein erster Schritt verstandene rudimentäre Begrünung der Wirtschaftswegebrücke HALLE2 erwiesen. Am meisten haben die schwach strukturgebunden fliegenden *Pipistrellus*-Arten (Gruppe C1) profitiert. Mit Blick auf die Zwischenergebnisse von der Heckenbrücke an der Autobahn A17 kann aber erwartet werden, dass die Wirksamkeit steigerbar ist. Wichtig ist, dass die Begrünung stärker an den Artanforderungen der Zielarten orientiert wird, also für *Myotis*- und *Plecotus*-Arten v.a. breiter und dichter ausgeführt wird und Störungen von der Straße besser ferngehalten werden.

---

[101] Das Fehlen des Kleinen Abendseglers und der Bechsteinfledermaus auf der Grünbrücke POT kann hier vor dem Hintergrund, dass der Abendsegler in der Lage ist, die Straße an anderer Stelle zu queren und die Bechsteinfledermaus im Umfeld der Brücke POT nur unsicher (mit cf.) nachgewiesen ist, vernachlässigt werden.

[102] Wir danken Herrn SCHORCHT (Büro NachtAktiv) und der Auftraggeberin der Untersuchung, Frau WOLFRAM (DEGES), für die Vorabinformation.

8.3 Wände und Zäune als Leit- und Sperreinrichtungen für Fledermäuse

8.3.1 Einführung

Alle heimischen Fledermausarten sind grundsätzlich in der Lage eine Freifläche von der Breite einer mehrspurigen Autobahn zu queren. Zugleich laufen sie Gefahr, mit dem Verkehr zu kollidieren, wenn sie hierzu relativ bodennahe Flugwege wählen. Daher sollen Leit- und Sperreinrichtungen den Fledermausindividuen als künstliche Leitstrukturen dienen und sie zu sicheren Querungshilfen (z.B. Grünbrücken) lenken. Des Weiteren sollen die Einrichtungen die Tiere, die – je nach Art – sich u. U. niedrig, dem Gelände folgend, einer Straße nähern, zu einem hohen Flug über die Straße bzw. den Verkehr hinweg veranlassen. Als Leit- und Sperreinrichtung dienen im Idealfall hohe Bäume oder dichte Strauchgalerien am Straßenrand (s. LIMPENS et al. 2005: 16, BACH 2008, BRINKMANN et al. 2008). In bestimmten Fällen können solche Strukturen verhindern, dass Fledermäuse die Straße in niedriger Höhe queren und Gefahr laufen zu kollidieren (für Zwergfledermäuse BACH 2008: 1, für Bechsteinfledermäuse BRINKMANN et al. 2008: 86).

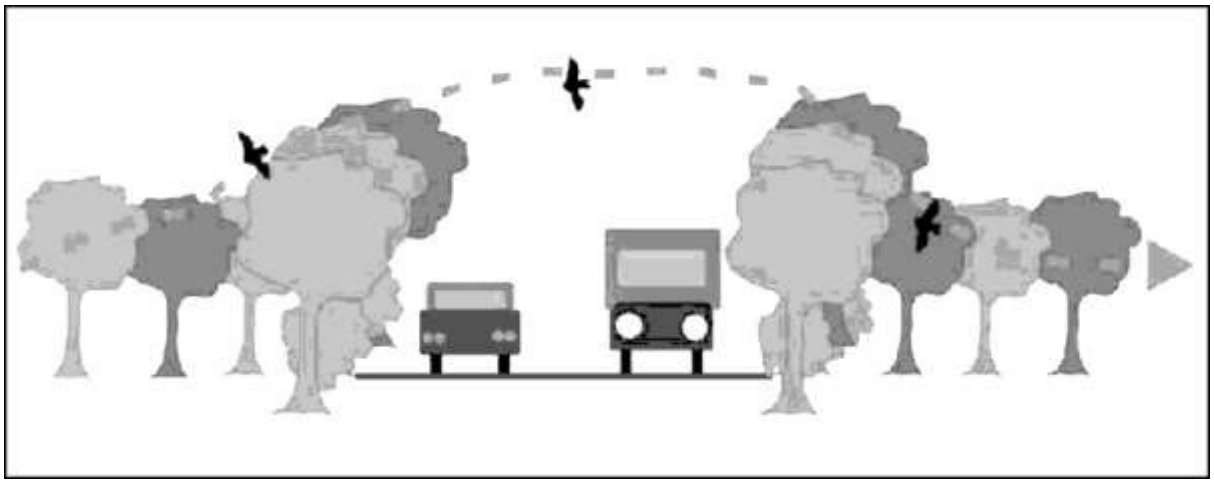


Abbildung 8-29: Von Bäumen am Straßenrand geprägte Überflugmöglichkeit („Hop-over“) (Abbildung aus BACH 2008)

Nach dem Neu- oder Ausbau von Straßen stehen entsprechende Vegetationsstrukturen oftmals nicht gleich bereit. Sie fehlen ganz oder die Neupflanzungen sind aufgrund der geringen Höhe und Dichte noch nicht als Leitstruktur funktional.

In Deutschland werden unterschiedlich hohe Wände oder Zäune als Leit- und Sperreinrichtungen empfohlen (LÜTTMANN 2004, FGSV 2008: 45; 63) und in jüngerer Zeit als Vermeidungsmaßnahmen an Flugrouten eingesetzt. Die Zäune sollen als Ersatz für fortfallende Strukturen während der Zeit des Anwachsens neuer Leitpflanzungen oder die Schneise der Straße “überbrückender“, hoher Vegetation („hop-over“) dienen. BACH (2008) geht davon aus, dass „Gleaner“, also streng strukturgebunden fliegende Arten diesen zusätzlichen Anreiz benötigen, um die Trasse in größerer Höhe zu überfliegen. Um die Gefahr einer Querung in geringer Höhe abzuwenden und um Fledermäuse zu Querungshilfen hin zu leiten, wurden in Großbritannien 2 m und 4 m hohe Fledermausschutzzäune für die Kleine Hufeisen-

nase errichtet sowie die Wasserfledermaus (WRAY et al. 2006: 375, BCT 2007b). Hier, wie dort, existieren noch keine Monitoringergebnisse (BMVBS Umfrage 10/2008[103], BCT 2007b). Hinsichtlich der Erfolgsaussichten dieser Maßnahme besteht in Expertenkreisen zugleich Skepsis (AG QUERUNGSHILFEN 2003, BACH 2008, BRINKMANN et al. 2008: 86); vielfach wird erwartet, dass die Fledermäuse nach dem Queren der Wand resp. des Zauns weiter den Konturen folgen und wieder in den Straßenraum eintauchen (und dann ggf. verunfallen). Zumindest für die stark strukturgebunden fliegende Art Kleine Hufeisennase stellten britische Forscher (WRAY et al. 2006: 375) das in Abbildung 8-30 dargestellte Flugverhalten an 2 und 4 m hohen Leit- und Sperreinrichtungen fest. Auch NACHTaktiv & SWILD (mdl. Mitt. 12.03.2008; Veröff. in Auszügen in BRINKMANN et al. 2008: 94) bestätigten aufgrund experimenteller Untersuchungen, dass die außerordentlich hohe Manövrierfähigkeit der Kleinen Hufeisennase die Zäunung tendenziell unwirksam werden lässt. Ein möglicherweise vergleichbares Verhalten des Abtauchens wurde beim Braunen Langohr an lückenhaften Hecken festgestellt (BCT 2007b, S.91).

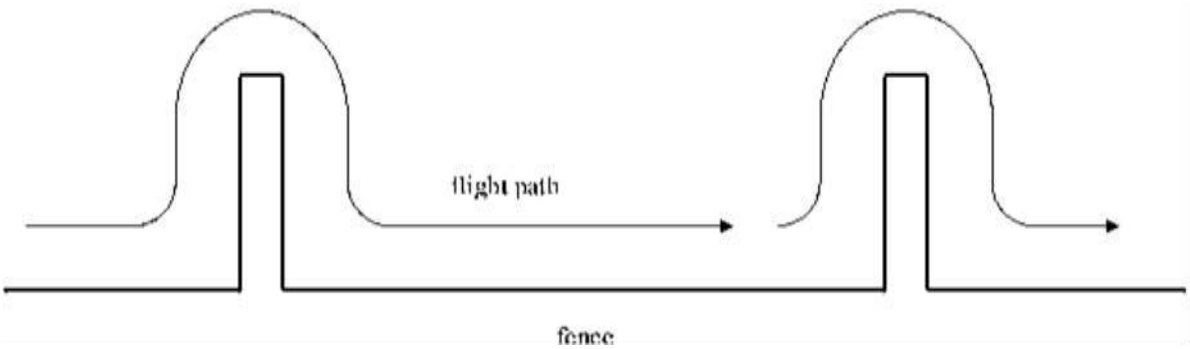


Abbildung 8-30: Möglicher Flugweg von Kleinen Hufeisennasen an straßenbegleitenden Zäunungen (aus: WRAY et al. 2006: 375)

Die entsprechenden Fledermausschutzeinrichtungen, Wände und Zäune, werden im Folgenden im Hinblick auf ihre Wirksamkeit vergleichend untersucht. Als wirksam können Leit- und Sperreinrichtungen gelten, die den Fledermausflug in eine sichere Höhe, also oberhalb der Fahrzeuge, lenken. Eine weitere Wirksamkeit wird dahingehend erwartet, dass die Wände oder Zäune die Individuen veranlassen, die Schutzeinrichtung bis zu einer sicheren Querungshilfe entlang zu fliegen. Diese Fragestellung konnte in der Untersuchung nur angerissen werden, weil lediglich eine Probefläche (K) gefunden wurde, wo sowohl Wände/Zäune als auch im nahen Umfeld eine Querungshilfe in Gestalt einer Unterführung vorhanden war.

[103] Antwort auf eine entsprechende Anfrage des BMVBS (Ref. S13) bei den Straßenverwaltungen der Länder im Oktober 2008.

8.3.2 Methoden

Die Untersuchungen an Leit- und Sperreinrichtungen erfolgten vergleichend an drei Probeflächen, einer 4 m hohen Schallschutzwand (D1), einer 4 m hohen Metallgitterwand (Maschenweite 30*30 mm) (K) sowie einem 3 m über Gradiente hohen Zaun (D2), vgl. die folgenden Abbildungen. Die Wände/Zäune sind speziell als kombinierte Leit- und Sperreinrichtung für Fledermäuse gebaut. Alle drei Probeflächen liegen im Bereich von, aufgrund von Voruntersuchungen bekannten Flugwegen und Jagdgebieten verschiedener Fledermausarten (Probefläche D: eigene Untersuchungen in 2005/2006, Probefläche K: MÜLLER-STIEß et al. 2002 und eigene Voruntersuchungen 2005).

Auf der weiteren Probefläche N mit einer dreireihigen Metallgitterwand konnten bislang nur die Voruntersuchungen abgeschlossen werden, weil sich die Fertigstellung der Wände erheblich verzögerte und erst in 2009 abgeschlossen wird.

Tabelle 8-11: Probeflächen

Bezeichnung	Probefläche	Umfeld	Referenz		Aufnahme-Datum
D1	Lärmschutzwand, h = 4 m, l = 540 m zwischen Mausohr-wochenstube und Bahntrasse/ Bundesstraße 9 (2-spurig, DTV_{2005} ca. 19.000) (errichtet 09/2006)	Offenland (Acker, Weinfelder)	Dref1	Referenzaufnahmen vor dem Bau	19.- 20.06.2007 02.07.2007 11.07.2007 25.07.2007 01.- 05.08.2007 14.- 15.08.2007 21.-23.05.2008 10. – 11.06.2008 22. – 23.06.2008
D2	Maschendrahtzaun, h = 3 m, l = 300 m, unmittelbar neben der Bundesstraße 9 (errichtet 04/2008)	Offenland (Acker, Weinfelder)	Dref2	Referenzaufnahmen in ca. 75 m Entfernung zum Zaun	21. – 23.05.2008 10. – 11.06.2008 22. – 23.06.2008
K	Metallgitterwand, h = 4 m, l = 152 m unmittelbar neben der Autobahn A38 (4-spurig, DTV_{2015} 26.000) (errichtet 07/2006)	Wald (beidseitig)	Kref	Referenzaufnahmen in ca. 75 m Entfernung zur Metallgitterwand	17.-18.06.2007 06.-08.07.2007 14.-16.07.2007 27.-29.05.2008 20-21.06.2008 30.08.- 01.09.2008
[N[104]]	Metallgitterwand, 4 m , L = 150 m neben der Autobahn A38 sowie im Mittelstreifen (4-spurig, DTV_{2015} 26.000) (noch zu errichten 08/2009)	Offenland, einseitig: Feldgehölze	Nref	Referenzaufnahmen vor dem Bau	07.-08.06.2006 13.07.2006 17.07.2006 25.-27.07.2006 07.06.-08.06.2007 27.06.2007

Die Untersuchungen waren nach Möglichkeit als Vorher-Nachher-Untersuchungen sowie als paarweiser Vergleich angelegt. D.h. die Bereiche D1/D2 wurden vor (Dref) und nach Errichtung der Wand (D1) bzw. des Zaunes (D2) untersucht und miteinander verglichen. Im Fall der Probefläche K erfolgte keine Voruntersuchung unter vergleichbaren Bedingungen; in diesem Fall wurde der Bereich mit der Leit- und Sperreinrichtung K gegen einen unweit gelegenen, vergleichbaren Abschnitt ohne eine Schutzwand (Kref) getestet. Insoweit gleicht die Methodik der Untersuchung an einigen Brücken und Unterführungen. Zur Auswertung können zusätzlich die Daten der Voruntersuchung von der Probefläche N hinzu-

[104] Die Untersuchungen im Zuge eines Flugweges von Mausohren und von weiteren Arten (Zwergfledermaus, Gr. Bartfledermaus, Mopsfledermaus) über die Autobahn A38 dauern an. (Nachtrag nach Manuskriptschluss: Zwischenergebnisse sind in LÜTTMANN 2013 veröffentlicht).

gezogen werden, wo v.a. Mausohren aus der nahe gelegenen Kolonie einen von Hecken und Baumreihen begrenzten Talzug in Richtung Aue entlang fliegen und dabei die (im Bau befindliche) Autobahn A38 queren müssen.

Zur Erfassung der Flugaktivität und des Verhaltens von Fledermäusen werden die Flugbewegungen paarweise „vor“ (Bereich Landschaft) bzw. „hinter“ (Bereich Straße) den Leit- und Sperreinrichtungen mit IR-Video erfasst (höchstempfindliche IR-Videokamera mit IR-Zusatzbeleuchtung wie oben beschrieben).

Abbildung 8-31: Probefläche Lärmschutzwand D1 an der Bundesstraße 9 (in der Bildmitte rechts das Wochenstubenquartier des Gr. Mausohrs in der Kirche in Dienheim) (2007)

Abbildung 8-32: Probefläche Zaun D2 (errichtet 2008) und Situation des Flugweges der Gr. Mausohren aus dem Quartier vor dem Bau von Wand bzw. Zaun im Jahr 2006

Abbildung 8-33: Probefläche Metallgitterwand K (errichtet 2006)

Zur Auswertung wurden die Videoaufzeichnungen und Detektoraufzeichnungen parallel herangezogen. Die auf den Videoaufzeichnungen beobachteten Individuen wurden nach Möglichkeit nach Artengruppen (kleine/große *Myotis*, *Pipistrellus*, Abendsegler, Breitflügelfledermaus) unterschieden. Diese Unterscheidung war allerdings nicht durchgehend und insgesamt nur summarisch (s.u.) mit Hilfe der Zusatzinformationen, v.a. mittels der Detektoren[105] möglich. Die Auswertung der Videoaufzeichnungen erfolgte in Bezug auf das Flugverhalten im Straßenraum bzw. vor und hinter den Leit- und Sperreinrichtungen mittels Bildanalyse am Bildschirm. Dabei wurde das Verhalten der Tiere in Bezug auf verschiedene Verhaltensmuster quantifiziert (Abbildung 8-34).

Vor Errichtung von Wand/Zaun:

- niedriger, bodennaher Flug (Av[106])
- abwechselnd niedriger und höherer, wellen- bzw. bogenförmiger Flug, insgesamt niedrig (< 4 – 5 m hoch) (Bv)
- hoher, mehr oder weniger geradliniger Flug (D/E).

Nach Errichtung von Wand/Zaun:

- sehr der Kontur folgender Flug (A)
- bogenförmiger Flug im Bereich der Leit- und Sperreinrichtung, noch im Bereich der Straße wieder bodennah/niedrig (< 3 – 4 m hoch) (B/C[107])
- hoher, mehr oder weniger geradliniger Flug, > 3 - 4m hoch (D) bzw. höher (E).

Höhen- und Weitenverhältnisse wurden anhand der im Bild vorhandenen festen Größen (Breite der Fahrspuren, Höhe der Wände usw.) geschätzt. In Grenzfällen wurden Programme zur 3D-Bildvermessung (u.a. MB-Ruler, © M. Bader) zur Hilfe genommen. In der Auswertung wurde außerdem unterschieden, ob die Beobachtung auf der Seite des Habitates bzw. des Flugweges vor der Wand/dem Zaun erfolgte (Landschaft) oder auf der Straßenseite (Straße).

---

[105] Die Audiosignale des Detektors wurden soweit möglich synchron neben den Videospuren auf Recorder bzw. auf die Festplatte des Notebook aufgezeichnet. Allerdings erwies sich dies nicht als sicher; es gab viele Ausfälle. Ansonsten erfolgte die Aufzeichnung auf MP3-Player oder in den Ringspeicher der Detektoren zur direkten Auswertung.

[106] Kürzel für die Verhaltensklassen: z.B. Av = Typ A, vor der Errichtung einer Leit- und Sperreinrichtung.

[107] Das Flugverhalten C wurde tlw. als Variante von B („Bogen höher als B) aufgezeichnet. Im Rahmen dieser Auswertung wurden B und C zusammengezogen.

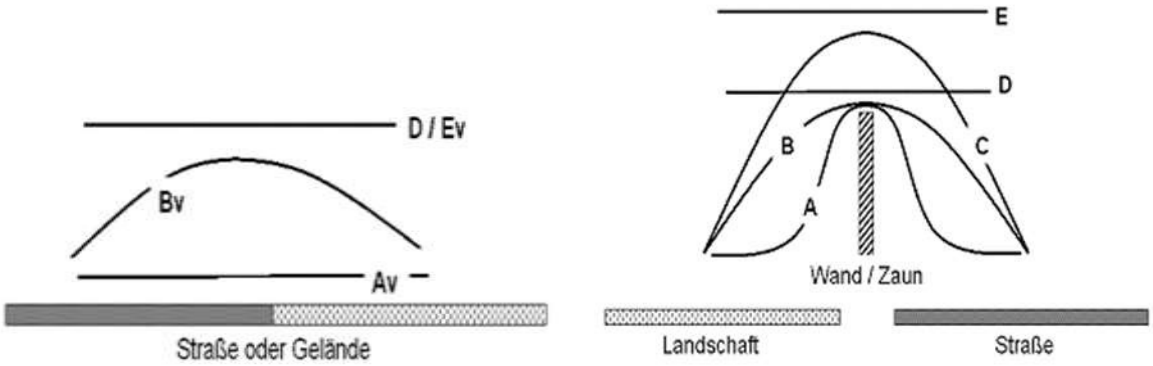


Abbildung 8-34: Auswertungsklassen nach dem Typ der Querung (links: Verhaltensmuster vor Errichtung von Wand/Zaun, rechts: Verhaltensmuster nachher; s. Text)

8.3.3 Ergebnisse

Eine Differenzierung der Beobachtungen auf dem Artniveau war nur ansatzweise möglich - mit Hilfe indirekter Rückschlüsse auf die jeweils beobachteten Arten, aufgrund von Direktbeobachtungen (Größe, Kontur, Verhalten) und auf der Basis der Detektorsignale, die gleichzeitig aufgezeichnet und mitgehört wurden. Dabei wurden auch die Daten über die dominant vorkommenden Arten aus den Voruntersuchungen hinzugezogen (vgl. Tabelle 8-12). Alle fünf Arten, die in den Untersuchungen zuvor im Umfeld der Probefläche D (Siedlungsrand Dienheim an der B9) nachgewiesen worden waren, wurden auch an der Wand D1 und am nachfolgend untersuchten Zaun D2 als Straßenquerer detektiert. Für die Untersuchung an der Wand und am Zaun von besonderer Relevanz ist das Große Mausohr, das hier seit Jahren die Bundesstraße B9 konzentriert auf einem Flugweg zwischen der Wochenstube und den Jagdgebieten in den Rheinauen überfliegt (KIEFER 1993, eig. Untersuchungen). Als weitere streng strukturgebundene Art wurden auch Langohren (*Plecotus* spec.) festgestellt. Diese Gattung wurde allerdings nur selten detektiert; sie quert nach unseren Beobachtungen zumeist die B9 und die parallel verlaufende Bahnstrecke durch eine nahe gelegene Unterführung eines Wirtschaftsweges (4 x 5 m). Nach Detektoruntersuchungen querten dort pro Nacht außerdem 4 – 5 Zwergfledermaus-Individuen. Weiterhin beobachtet wurden die schwach strukturgebunden und die Straße hoch querenden Arten Breitflügelfledermaus und Gr. Abendsegler. Beide Arten werden in den Detailauswertungen nicht weiter betrachtet.

Die Probefläche K liegt zentral in einem, an Fledermausarten reichen Waldgebiet mit 13 nachgewiesenen Arten. Bezüglich der Ergebnisse muss beachtet werden, dass die Verhältnisse im Bereich der Probefläche K ungleich ungünstiger für eine automatisierte Erfassung mit Video oder mit Detektoren sind als bei der Probefläche D und insoweit auch die Fallzahlen sehr viel geringer ausgefallen sind. Fledermäuse treffen auf einer ca. 100 – 150 m breiten Zone, an mehreren bekannten Flugwegen, entlang eines Gewässers und entlang der Waldränder von mehreren Wegen mäßig kanalisiert auf die Autobahn. Eine 150 m lange Metallgitterwand soll die Individuen entweder hoch über dem Verkehr hinweg über die Autobahn leiten oder an der Gitterwand entlang zu einem Unterführungsbauwerk mit lichter Weite = 6 x 7 m führen. Da keine methodengleichen Referenzuntersuchungen vor dem Bau resp. vor Inbetriebnahme der Autobahn möglich waren, wurden Querungsversuche an zwei - vor dem Bau - hinsichtlich der Funktion als Flugweg vergleichbaren Stellen, in etwa auf halber Länge der Metallgitterwand (Probefläche K) und ca. 75 m entfernt vom westlichen Ende der Metallgitterwand, in insgesamt 16 Nächten in 2007 und 2008 dokumentiert. Entsprechend der Voruntersuchungen waren die in Tabelle 8-12 aufgeführten Arten als Querer zu erwarten. Neben der häufigen Zwergfledermaus wurden im Bereich der Metallgitterwand die streng bis mäßig strukturgebundenen Arten Langohr, Bartfledermäuse (die Kleine

Bartfledermaus ist die dominante Art, die Gr. Bartfledermaus ist im Untersuchungsgebiet deutlich seltener), Wasserfledermaus sowie das Große Mausohr nachgewiesen. Die Wasserfledermaus wurde zu keinem Zeitpunkt die Wand querend beobachtet. Stattdessen nutzte sie mit großer Regelmäßigkeit die nahe liegende Unterführung. Die Bechsteinfledermaus konnte einmal mit Hilfe des Detektors im Bereich der Wand aufgezeichnet werden, die Determination verblieb allerdings unsicher (cf.). Ob die Art die Wand und die Straße überquerte, ist nicht bekannt. Ein weiteres Mal wurde die Bechsteinfledermaus vor der Unterführung mittels Detektor (ebenso cf.) erfasst. Der Große Abendsegler wurde regelmäßig u.a. über der Autobahn beobachtet und – weil die Art die Autobahn im Allgemeinen hoch überquerte - wie bei der Probefläche D in den Detailauswertungen nicht weiter betrachtet.

Tabelle 8-12: Im Bereich der Probeflächen (Leit- und Sperreinrichtungen D und K) und im Umfeld in Vorjahren (Vorher) und zum Zeitpunkt der Untersuchung (Referenz Dref, Kref) festgestellte Fledermausarten (nach Detektoraufnahmen und Netzfängen)

Art	Struktur-bindungs-typ[108]	D	Dref	Vorher[109]	K	Kref	Vorher[110]
Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*)	A				cf.		X
Fransenfledermaus (*Myotis nattereri*)	A						X
Langohr spec. (*Plecotus auritus/austriacus*)	A	X	X	X	X	X	X/-
Bartfledermaus spec. (*Myotis brandtii/mystacinus*)	B				X	xx	X/X
Großes Mausohr (*Myotis Myotis*)	B	xx	xx	xx	X	X	X
Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*)	B					xx	X
Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*)	C1				?	X	X
Zwergfledermaus (*Pipistrellus Pipistrellus*)	C1	X	X	X	X	xx	X
Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*)	C1				?	X	X
Kleiner Abendsegler (*Nyctalus leisleri*)							X
Großer Abendsegler (*Nyctalus noctula*)	C2	X[111]	X	X	X[11]	xx	X
Breitflügelfledermaus (*Eptesicus serotinus*)	C2	X[11]	X	X			

[108] Unterteilung der Fledermausarten in Gruppen unterschiedlicher Flugstile/Strukturbindung entsprechend Kap. 8.1.5.1 in Anlehnung an LIMPENS et al. (2005): (A) In der Regel langsamer Flug eng an Vegetationselementen gebunden; (B) Mischtyp-Flugstil mit ± dichter Bindung an Randstrukturen (incl. Jagdflug über Wasseroberflächen); (C1) meist ± schneller Flug, eher in halb-offener Umgebung; (C2) meist hoher und schneller Flug in offener Umgebung.

[109] Quellen: KIEFER (1993), eigene Erhebungen 2005 - 2007 (unveröff.).

[110] Quellen: MÜLLER-STIEß et al. (2002), HEDDERGOTT (unveröff.), eigene Erhebungen 2005/2006 (unveröff.).

[111] Nicht ausgewertet.

8.3.3.1 Verhalten an Leit- und Sperreinrichtungen

Die folgenden Abbildungen zeigen das Flugverhalten der die Straßen querenden Tiere in den verschiedenen Untersuchungsphasen vor und nach Errichtung der Lärmschutzwand und nachfolgend eines Zaunes (D1, D2) bzw. der Metallgitterwand (K). Zu beachten ist, dass bei der Probefläche D1 die Straße zum Zeitpunkt der Befilmung der Wand noch nicht für den Verkehr freigegeben war. Die Untersuchungen an der Probefläche D2 (Zaun) und an der Probefläche K erfolgten dagegen unter Verkehr.

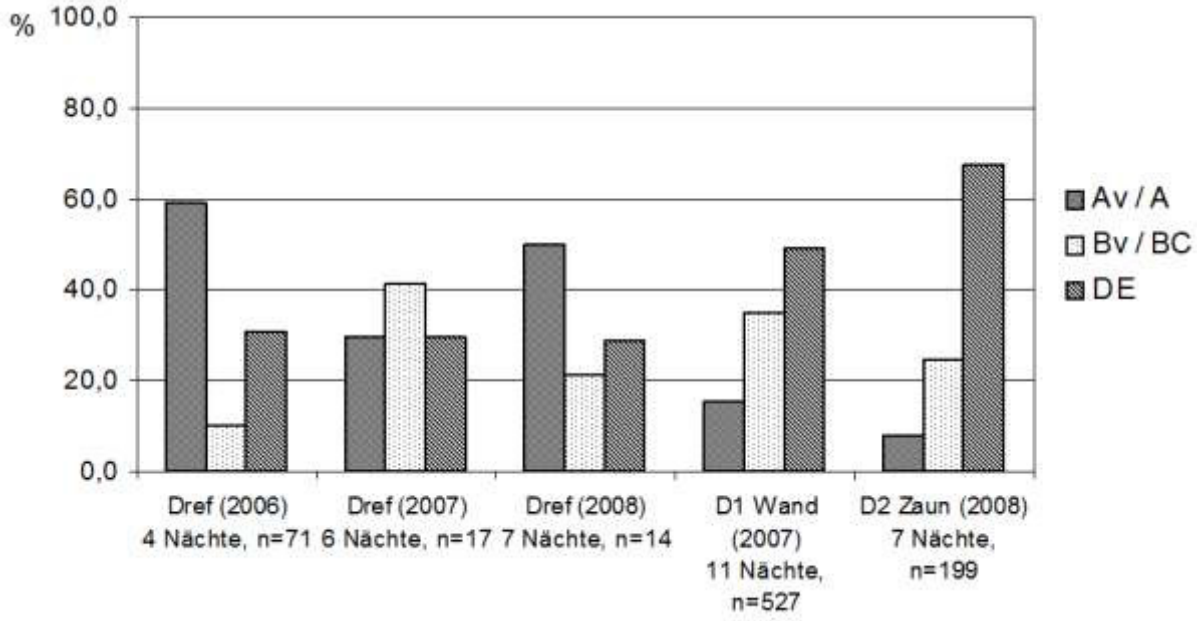


Abbildung 8-35: Veränderung des Anteils niedrig/bodennah fliegender Individuen nach Einbau verschiedener Leit- und Sperreinrichtungen auf der Probefläche D

(D1: schallabsorbierende Wand, D2: Zaun, Dref: Verhalten vor Errichtung der Wand in 2006 sowie Verhalten an Vergleichsstandorten in 2007 und 2008 parallel zu den Hauptuntersuchungen an Wand bzw. Zaun)

Aus Abbildung 8-35 ist bezüglich der Offenlandprobefläche D ersichtlich, dass die Mehrzahl der beobachteten Individuen (überwiegend Mausohren) vor Errichtung der Wand (Dref 2006) das Gelände und auch den Eisenbahndamm, der zwischen Wochenstubenquartier und Jagdgebieten in der Rheinaue überflogen werden muss, niedrig (nach Sichtbeobachtungen und einzelnen Videoauswertungen meist in weniger als 2,5 m Höhe) querten. Nach Errichtung einer Schutzeinrichtung (D: schallabsorbierende Wand, 2007) verringerte sich der Anteil der niedrig/bodennah fliegenden Individuen auf der im Offenland liegenden Probefläche D (vorwiegend Mausohr, einzelne Langohr- und Zwergfledermäuse lt. Detektor) von über 50 % (Dref 2006) auf unter 20 % (D1, Typ A). Ein relativ großer Anteil flog aber noch im potenziellen Kollisionsbereich innerhalb einer Höhe von 2 bis unter 5 m (D1, Typ B/C).

Bei der Bewertung der Daten der Probefläche D1 ist zu beachten, dass zwischen Straßenfahrbahn und der Wand ein ca. 20 m breiter Streifen mit schütterer Ruderalvegetation liegt (s. das Foto in Abbildung 8-31), der von den dominant vorkommenden Mausohren auch bejagt wurde und wo die Mausohren erwartungsgemäß in geringer Höhe über dem Boden entlang flogen. In 2007 war die Straße auch noch nicht für den Verkehr frei gegeben; Störungen in Gestalt vorbeifahrender Fahrzeuge mit entsprechenden Schall- und Lichteinwirkungen traten in 2007 nicht auf.

Im Frühjahr 2008 wurde an der Probefläche D ein 3 m hoher Zaun als Schutzeinrichtung unmittelbar an der Straße (ca. 1 m von der Leitplanke) errichtet, vgl. Abbildung 8-32; zudem war die Straße für den Verkehr frei gegeben. Die Fläche vor dem Zaun, d.h. zwischen Straße und Quartier, war als Baufeld zur

Errichtung des Zaunes freigeschoben und stellte sich weitgehend vegetationsarm dar. Die Aufnahmen des Verhaltens im Bereich des Zaunes zeigten gegenüber den Ergebnissen von D1 (2007) eine Zunahme auf 67,3 % des Anteils der Individuen, die die Straße hoch querten und nach unseren Beobachtungen erst weit außerhalb des Straßenquerschnittes wieder bodennah flogen bzw. jagten (vgl. Abbildung 8-35). Die restlichen Beobachtungen entfielen auf Tiere, die entweder unmittelbar nach der Wand wieder in den Verkehrsraum eintauchten (8,0% aller Beobachtungen) oder aber zumindest einen solchen Bogen im Straßenraum flogen, dass eine Kollisionsgefahr nicht ausgeschlossen war (B/C-Verhalten, 24,6 %).

Zum Vergleich wurden parallel zu den Untersuchungen an Referenzpunkten seitlich in einiger Entfernung von den Leit- und Sperreinrichtungen dieselben Erfassungen angestellt. Zwischen dem beobachteten Flugverhalten an diesen Referenzpunkten (Dref) und im Straßenbereich vor den Zäunen (D1 2007 bzw. D2 2008) bestanden über den gesamten Untersuchungszeitraum statistisch Unterschiede. Nach Errichtung der Leit- und Sperreinrichtungen wiesen wir einen hoch signifikant geringeren Anteil tief fliegender Individuen nach (U-test, $p < 0.001$, zweiseitig bezüglich des Verhältnisses hoch- (Verhaltengruppe D/E) zu niedrig fliegenden Individuen (Gruppen A + BC); U-test für 2007 (Referenz/Wand): $U = 66$, $n1 = 11$; $n2 = 6$, $p = 0.0009$**; U-test für 2008 (Referenz/Zaun): $U = 49$, $n1 = 7$; $n2 = 7$, $p = 0.0017$**).

Im Bereich der Probefläche K schneidet die Autobahn A 38 ein Waldgebiet. Querungsversuche von Fledermäusen wurden an beiden untersuchten Probestellen, mit Metallgitterzaun (K Wand) und ohne (Referenz Kref) dokumentiert. Die Zahl, der an der Stelle Kref in insgesamt 16 Nächten in 2007 und 2008 beobachteten Fledermäuse ist um annähernd 40 % resp. 60 % geringer als an der Stelle K. (Hochfliegende Arten und „parallel“, die Wand entlang fliegende Individuen blieben hier unberücksichtigt). An der Wand ist die Gruppe der Arten mit konturfolgendem Verhalten fast nicht präsent, vgl. Abbildung 8-36. (2007: 0 Beobachtungen, 2008: 1). Die Artengruppe B/C, also u.U. noch im Verkehrsraum fliegende Arten, hatte einen Anteil zwischen 23,3 % (2007) und 27,5 % (2008), die Gruppe der Arten, die die Wand bzw. die Autobahn hoch überflogen, zwischen 76,7 % (2007) und 70,6 % (2008).

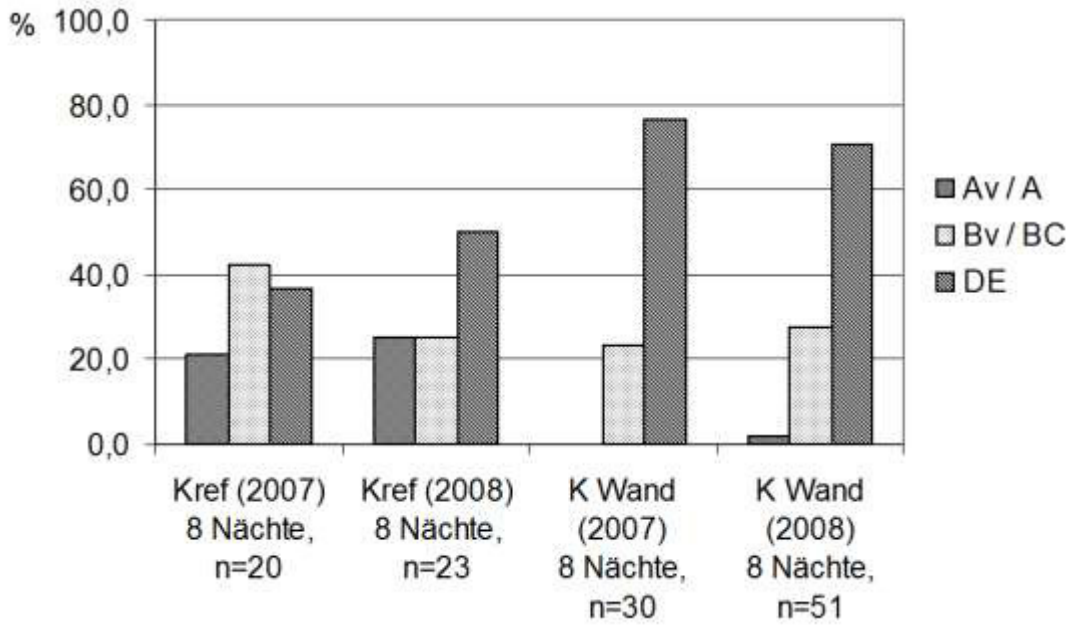


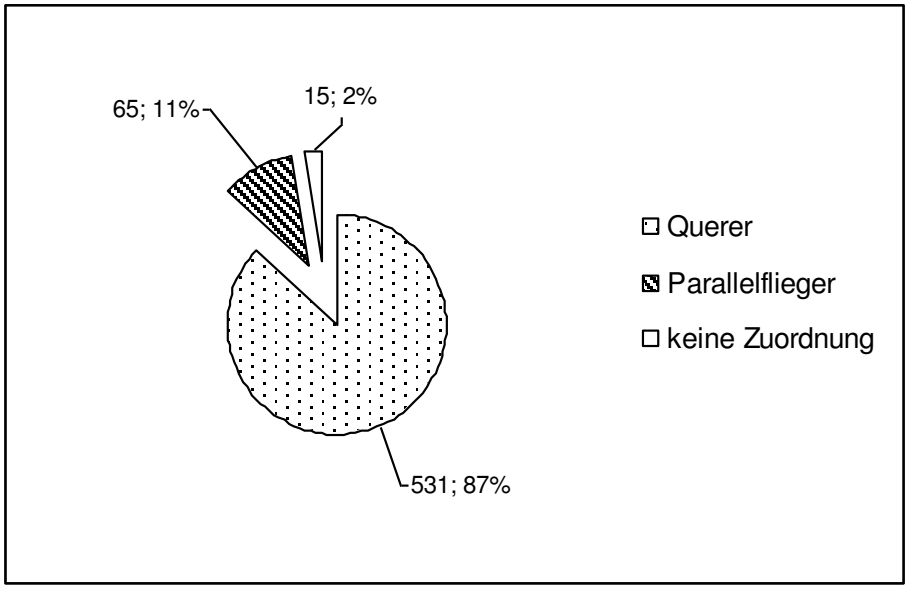
Abbildung 8-36: Querungsverhalten an der Probefläche K mit Drahtgitterzaun (K Wand) im Vergleich zu einem nahe gelegenen Vergleichsstandort ohne Zaun (Kref) (Daten 2007, 2008)

Zwischen dem beobachteten Flugverhalten an den Referenzpunkten (Kref) und im Straßenbereich vor der Metallgitterwand (K 2007+2008) bestanden über den gesamten Untersuchungszeitraum statistisch hoch signifikante Unterschiede (U-test, $p < 0.001$, zweiseitig) bezüglich des Verhältnisses der hoch- (Gruppe D/E) zu niedrig fliegenden Individuen (Gruppen A + B/C: U-test für Referenz/Metallgitterwand: $U = 256$, $n1 = 16$; $n2 = 16$, $p = 0{,}00014$**). Insoweit bestehen Übereinstimmungen mit den Ergebnissen für die Probefläche D.

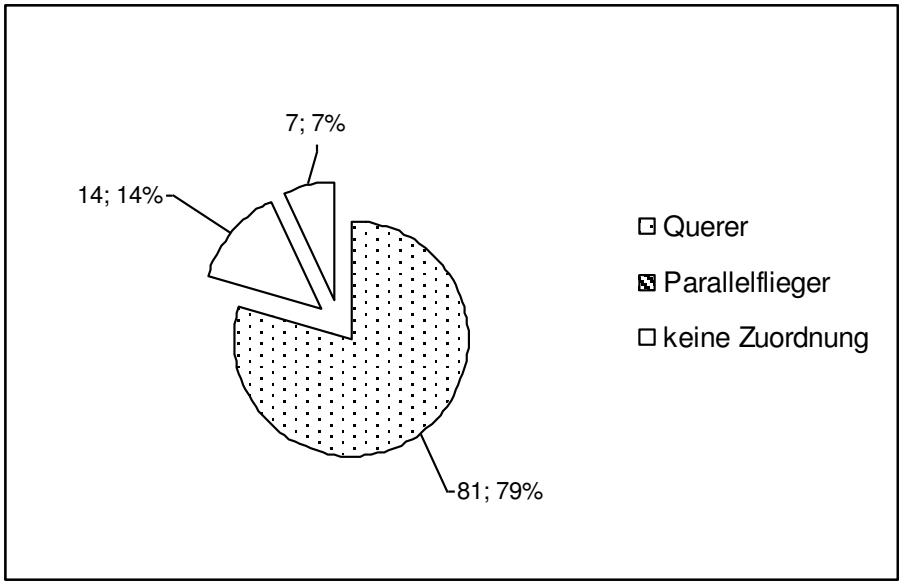
8.3.3.2 Leitwirkung von Wänden und Schutzzäunen

Zur Untersuchung der Frage, in welchem Umfang die Fledermäuse an den Wänden und Zäunen entlang fliegen und jene insoweit als Leiteinrichtungen dienen, wurden die Video- und Detektoraufzeichnungen in Bezug auf das Verhalten auf der der „Landschaft“ zugewandten Seite (vgl. Abbildung 8 34) ausgewertet. Ein Teil, der an den Leit- und Sperreinrichtungen aktiven Individuen, überquerten die Lärmschutzwand bzw. den Zaun an der Probefläche D an der Bundesstraße 9 resp. die Metallgitterwand K an der Autobahn A38 nicht, sondern flogen an ihnen entlang. Neben den Querungen wurden auch diese Parallelflüge aufgezeichnet (Abbildung 8-37). Soweit die „Parallelflieger“ identifiziert werden konnten, dominierten das Mausohr (D 2007: 61 von 65 Beobachtungen; K 2007/08: 0) bzw. Langohren (spec.) (K 2007/08: 7 von 14). Technisch bedingt war es nicht möglich, die Individuen mehr als einige Meter zu verfolgen, bis sie aus dem Licht der IR-Scheinwerfer bzw. dem Aufnahmewinkel der Kamera verschwunden waren. Aufgrund von Geräteausfällen war keine Erfassung für die Probefläche D2 im Jahr 2008 möglich.

Ob die parallel fliegenden Individuen möglicherweise den Wänden bzw. dem Zaun entlang flogen, um (bei der Probefläche K) die nahe liegende Unterführung unter der Straße zu nutzen, ist daher unbekannt. Bei einzelnen unsystematischen Detektorbegehungen wurden im Bereich der Unterführung der Probefläche K Fledermäuse beim Transfer und auch jagend detektiert. Im Bereich der Probefläche D bestand keine vergleichbare Möglichkeit; die dortige Unterführung liegt abseits des Hauptflugweges der Mausohren und wurde nach unseren Beobachtungen von der Zwergfledermaus nur vereinzelt und vom Langohr nur einmal angenommen.



Probefläche D



Probefläche K

Abbildung 8-37: Anteil der an den Leit- und Sperreinrichtungen entlang fliegenden Fledermaus-Individuen („Parallelflieger"; oben: Probefläche D 2007, unten: Probefläche K 2007/08)

8.3.4 Diskussion

8.3.4.1 Methodenkritischen Auseinandersetzung

Kernaussagen der Untersuchungen beruhen auf Paarvergleichen: Messbereich Wände/Zäune *versus* Kontrollbereich an der Straße ohne entsprechende Struktur. Bei den Untersuchungen an Wänden und Zäunen bestand das erhebliche Problem, den Überflug über der Straße und die dabei eingehaltene Flughöhe - idealerweise lückenlos - zu verfolgen. Dies war bei der B9, einer zweispurigen Straße mit einer Videokamera vergleichsweise einfach möglich und begründet die hohe Zahl auswertbarer Videosequenzen an der Probefläche D. An der breiteren Autobahn A38 reichte unter günstigen Bedingungen eine Kamera gerade, um die ca. 30 m breite „Schneise" zu überwachen. Teilweise musste eine zweite Kamera fehlende Informationen in Bezug auf die zweite Fahrspur liefern, was jedoch nur selten gelang. In erster Linie liefern die Kameras eine Information über das Verhalten vor bzw. hinter der Wand

und im Bereich der der Kamera am nächsten liegenden Fahrstreifen; in größerer Entfernung wird die Auswertbarkeit sehr viel geringer. Die sehr konservative Auswahl der Videosequenzen, die auch auswertbar waren, reduzierte die Fallzahl für die Probefläche K ganz erheblich (81 auswertbare Fälle über 16 Nächte in 2 Jahren). Gerade vor dem Hintergrund der extrem aufwändigen Aufnahmen, auch aufgrund der Anfälligkeit der Aufnahmen gegenüber Störungen jedweder Art (Überstrahlungen der Aufnahmen durch Autoscheinwerfer, witterungsbedingte Beeinträchtigungen, technische Probleme u.a. aufgrund des Winddruckes vorbeifahrender Fahrzeuge) werden die zur Verfügung stehenden Daten als repräsentative Stichprobe angesehen, die erste Hinweise liefert, in Zukunft aber mit möglicherweise anderer, verbesserter Technik verbreitert werden muss.

8.3.4.2 Wirksamkeit von Schutzzäunen und -wänden als Leit- und Sperreinrichtungen

Leit- und Sperreinrichtungen sollen Fledermäuse zwingen, in ausreichend großen Höhen Straßen zu queren oder den Einflug in den Straßenraum zu meiden. Diesbezüglichlich erbrachten unsere Untersuchungen an zwei Schutzwänden und an einem Zaun ein differenziertes Bild: während in dem Zaunexperiment von SWILD & NACHTaktiv (2007) nur etwa 5% der beobachteten Kleinen Hufeisennasen den Zaun überhaupt überflogen, überwog bei den, von uns untersuchten Arten und Situationen, der Anteil der Querer mit 79 % – 87 %. Wie von BIEDERMANN et al. bei der Kleinen Hufeisennase beobachtet (ebd.), hatten wir allerdings auch den Geländeeindruck, dass speziell die beiden Langohr-Arten und möglicherweise auch die Bechsteinfledermaus öfter an der Leiteinrichtung entlang flogen oder umkehrten als dass sie die Trasse querten. Diese beiden Arten repräsentieren die streng strukturgebunden fliegenden Arten auf den von uns untersuchten Probeflächen. Diese Beobachtungen können aus den geschilderten methodischen Gründen nicht weiter mit exakten Daten belegt werden. Sie stimmen aber mit unseren Befunden aus der Telemetrie individuell besenderter Bechsteinfledermäuse an stark befahrenen Autobahnen an der Autobahn A3 bei Würzburg (KERTH & MELBER 2009, in diesem Bericht in Kap. 4.3.6) sowie an der Autobahn A1/A60 bei Altrich (Kap. 4.4.4 in diesem Bericht) überein.

Auf unseren Probeflächen überquerten die Fledermaus-Individuen das Gelände bzw. die Straße in den Abschnitten ohne Wand/Zaun (Referenzflächen) mehrheitlich tief. Diese Individuen sind entsprechend potenziell kollisionsgefährdet. An der Bundesstraße 9 (Probefläche D) konnte dieses Verhalten für das Mausohr gut belegt werden. Die Art fliegt im Wald und im Offenland aufgrund ihres Beutesuchverhaltens sehr bodennah, bei Transferflügen aber auch in größerer Höhe. In der von uns untersuchten Situation in der Nähe der Wochenstube bei der Probefläche D stellten wir eine starke potenzielle Kollisionsgefährdung fest. Im Zeitraum vor dem Bau bzw. vor Eröffnung der Bundesstraße für den Verkehr querten hier (Probefläche Dref 2006) fast 70 % aller beobachteten Individuen niedrig. Für die im Vergleich untersuchte Situation im Wald (Autobahn A38, Probefläche K) sind keine entsprechenden Daten der Situation vor dem Bau bzw. vor Verkehrsfreigabe im Jahr 2006 verfügbar. Unsere Untersuchung ergab aber, dass der Anteil niedrig querender Individuen mit über 60 % im 1. Jahr und mit über 40 % im 2. Jahr nach Verkehrsfreigabe hoch war. Zugleich deutet der Rückgang auch auf eine Anpassung mit der Zeit. Die Beobachtung deckt sich mit unserer Feststellung in Kap. 4 für die Bechsteinfledermaus. Ältere bzw. verkehrsreichere Straßen haben in Bezug auf die Populationen dieser Art eine höhere Barrierewirkung als neue bzw. noch schwach von Verkehr frequentierte. Gemessen an diesen Zahlen haben sowohl Wände wie Zäune einen eindeutigen Effekt: bei der Wand D und dem Zaun D kehrte sich das Verhältnis von im Straßenraum niedrig fliegenden Individuen zu hoch die Straße querenden Individuen tendenziell um (vgl. Abbildung 8-35). Der näher an der Straße stehende, dafür allerdings nur 3 m über Fahrbahn hohe Zaun erwies sich als wirksamer. Der Anteil von sehr niedrig, auf Pkw-Niveau querenden Individuen ging von fast 60 % (Ausgangssituation Dref 2006) auf unter 10 % zurück. Zugleich verblieb der Anteil der mittelhoch fliegenden und die Straße querenden Arten bei der Wand und auch beim Zaun bei noch anähernd 40 % (2007) bzw. über 20 % (2008) vergleichsweise hoch. Die unterschiedlichen Werte in

den Jahren 2007 und 2008 bzw. der offenbar geringere Effekt der Wand gegenüber dem ab 2008 getesteten Zaun können nicht einfach auf nur eine Ursache zurückgeführt werden. Vermutlich kumulieren hier probeflächenspezifische Eigenschaften: Die Anlage war zum Untersuchungszeitpunkt neu und für die Tiere noch ungewohnt. Die Wand D1 hatte einen deutlich größeren Abstand (ca. 20 m) zur Straße als der Zaun D2. Die festgestellte höhere Wirksamkeit des Zaunes ist vermutlich nicht allein auf die unmittelbare Straßennähe zurückzuführen. Vor dem Hintergrund unserer Erkenntnisse zu den Kollisionsursachen (vgl. in Kap. 1) ist anzunehmen, dass die Verkehrsdichte auf der Straße mit ursächlich war: Zum Untersuchungszeitpunkt 2007 fehlte noch jeglicher Verkehr auf der Straße. In 2008 war wiederum der LKW-Verkehr gering, weil die Strecke nach allgemeiner Verkehrsfreigabe vor dem Hintergrund der Mautumfahrung für den überörtlichen LKW–Verkehr gesperrt blieb. Naheliegend ist auch, dass die vegetationsarmen Böschungsflächen, welche im Zuge der Baufertigstellung (2007) hergestellt wurden und im Zuge des Zaunbaues in 2008 noch einmal entstanden, auf beiden Seiten der Straße Mausohren zum Jagen einluden. Dies könnte zu einem häufigeren niedrigen Flug zwischen Wand und Straße (in 2007) bzw. unmittelbar vor dem Zaun (2008) geführt haben und damit ein häufigeres niedriges Queren provoziert haben. Insoweit geben die Werte einen guten Eindruck über die Wirksamkeit von Zäunen und Wänden und Risikofaktoren gerade im kritischen ersten Zeitraum nach Inbetriebnahme der Straße.

In der Waldumgebung an der Autobahn A38 flogen bereits, in dem als Referenz beprobten Abschnitt, mehr Fledermäuse in größerer Höhe. Im Kronenbereich der Wälder auf beiden Seiten der Straße jagende Arten halten vermutlich in größerer Zahl (nach unseren Ergebnissen in 40 % - 50 % der Fälle) von vornherein eine größere Höhe beim Überfliegen einer Schneise, hier der Autobahn, ein. Dies entspricht näherungsweise dem von BACH (2008) entworfenen Bild des „hop-over“. Ein anderer Teil Individuen quert niedrig und kann dabei kollidieren. Unsere Untersuchung an der Probefläche K ergab, dass die Errichtung einer Leit- und Sperreinrichtung trotz abweichender Ausgangslage als im Offenland der Probefläche D, den Anteil hoch fliegender Individuen signifikant anheben kann und insoweit zur Kollisionsvermeidung beitragen kann. Trotz Wand querte allerdings ein nicht geringer Teil (> 20 bis < 30%) auch nach Errichtung der Metallgitterwand noch in einem Bogen (Querungstyp BC, vgl. Abbildung 8 36), der die Individuen im Bereich des Verkehrs verbleiben lässt und eine Kollisionsgefahr provoziert.

In der Literatur wird die Frage aufgeworfen, ob in dieser Situation eine dritte Leit- und Sperreinrichtung im Mittelsteifen z.B. einer Autobahn (vgl. FGSV 2008: 45) zu einer erheblichen Wirkungssteigerung beitragen kann. Bedauerlicherweise konnten wir die Untersuchungen aus Vorstudie, baubegleitender Untersuchung und Untersuchung nach Fertigstellung an der einzigen, uns bekannten realisierten, dreigliedrigen Leit- und Sperreinrichtung an einer Autobahn nicht abschließen, weil die Wand erst im Jahr 2009 fertig gestellt wird. Aus unseren bisherigen Untersuchungen ergeben sich keine Hinweise, dass die Wirksamkeit einer Überflughilfe durch eine zusätzliche Konstruktion einer Schutzwand auf dem Mittelstreifen erheblich gesteigert werden könnte. Aufgrund der Beobachtungen, dass vor allem strukturgebundene Arten an Zäunen und Wänden entlang fliegen (Kap. 8.3.3), kann außerdem nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne Individuen auch den Mittelstreifenzaun als Leitstruktur nutzen, daran entlang fliegen und dann erst recht zu kollidieren drohen. Auch die von BRINKMANN befragten Experten erwarteten höchstens eine geringe Wirksamkeit (BRINKMANN et al. 2008: 87).

In den von uns untersuchten Fallbeispielen haben sich die Leit- und Sperreinrichtungen in dem Sinne als wirksam erwiesen, als die Kollisionsgefahr für eine signfikant große Zahl von Individuen reduziert wurde.[112] Die von uns untersuchten Fallbeispiele geben erste Erkenntnisse, die durch Verbreiterung der Untersuchungen weiter abgesichert werden müssen. Bereits aus den wenigen Beispielen ist aber erkennbar, dass unterschiedliche Landschaftssituationen (Wald, Offenland) hinsichtlich der Problemlagen

[112] Wände und Zäune als Mittel des Kollisionsschutzes sind andererseits nicht effektiv in dem Sinne, dass eine, durch verkehrsbedingte Kollisionsgefahr, generell vermieden wird. Dies würde eine 100%ige Wirksamkeit erfordern.

und hinsichtlich in ihrer Wirksamkeit in Bezug auf die Lenkung/den Kollisionsschutz für Fledermäuse unterschieden werden müssen. Außerdem wird erkennbar, dass Spezifika des jeweiligen Einzelfalles die Wirksamkeit von Leit- und Sperreinrichtungen stark in die eine oder die andere Richtung beeinflussen. In Feld-Querungssituationen (Offenland, ebenes Gelände) fliegen relativ viele Individuen bodennah bzw. Struktur folgend. Schneisen (der Bereich zwischen den Schutzwänden) werden tendenziell niedrig überflogen. Wände und Zäune können den Anteil der Individuen, die „hoch“ queren, in signifikanter Weise erhöhen. Je schmaler die Schneise ist und je höher die Individuen aus dem umgebenden Bestand herausfliegen und in den Straßenbereich gelangen, umso größer ist der Anteil der Tiere, die in „sicherer“ Höhe die (Straßen-) Schneise queren. Mäßig und wenig strukturgebundene Arten (z.B. die Gatt. *Pipistrellus*, aber - entsprechend dem Artenspektrum der Probefläche K - auch *Myotis*-Arten wie die Bartfledermäuse) neigen nach unserem Gesamteindruck nicht dazu, nach Queren der Leit- und Sperreinrichtung (Wand, Zaun) wieder bodennah zu fliegen. Das entsprechende Meideverhalten bzw. die Tendenz eine Schneise hoch zu überwinden, wird bei stärker strukturfolgenden bzw. bodenjagenden Arten (Mausohr, Bechsteinfledermaus, Langohren) vermutlich durch eine geringe Schneisenbreite, aber auch durch starken Verkehr (Schall, Lichtimpulse) positiv beeinflusst, d.h. verstärkt. Diese Interpretation stützt sich sowohl auf den Vergleich D 2007 und D 2008 (diese Untersuchung) und auf unsere Untersuchungsergebnisse bezüglich des Mausohrs, der Bechsteinfledermaus und weiterer Arten (Mopsfledermaus) in den Untersuchungen zur Zerschneidungswirkung (Kap. 4) sowie zur Kollisionsgefährdung (Kap. 6.1).

9 Berücksichtigung der rechtlichen Verpflichtungen zum Fledermausschutz in Verfahren der Straßenplanung und der Planung von Schienenverkehrswegen

Die Ausführungen in diesem Kapitel sind entsprechend dem Stand der Gesetze und der Rechtsprechung bis Ende 2013 aktualisiert.

9.1 Einführung, rechtlicher Rahmen

9.1.1 Zu beachtendes Schutzregime, rechtliche Verpflichtungen

Alle in Deutschland vorkommenden Fledermausarten sind in Anhang IV FFH-Richtlinie[113] (FFH-RL) gelistet und unterliegen damit dem speziellen Artenschutzrecht (Art. 12, 16 FFH-RL). Einige Arten sind zudem in Anhang II FFH-RL aufgeführt. Für diese Arten des Anhangs II FFH-RL hat Deutschland nach den Bestimmungen des Art. 6 FFH-RL ein kohärentes Schutzgebietsnetz durch Meldung und Unterschutzstellung geschaffen.

Tabelle 9-1: In der FFH-RL Anhang II und Anhang IV aufgeführte Arten

Artname*		Anhang II FFH-RL	Anhang IV FFH-RL
Eptesicus nilssonii	Nordfledermaus		v
Eptesicus serotinus	Breitflügelfledermaus		v
Myotis alcathoe	Nymphenfledermaus		v
Myotis bechsteinii	Bechsteinfledermaus	v	v
Myotis brandtii	Große Bartfledermaus		v
Myotis dasycneme	Teichfledermaus	v	v
Myotis daubentonii	Wasserfledermaus		v
Myotis emarginatus	Wimperfledermaus	v	v
Myotis Myotis	Großes Mausohr	v	v
Myotis mystacinus	Kleine Bartfledermaus		v
Myotis nattereri	Fransenfledermaus		v
Nyctalus leisleri	Kleiner Abendsegler		v
Nyctalus noctula	Abendsegler		v
Pipistrellus nathusii	Rauhautfledermaus		v
Pipistrellus Pipistrellus	Zwergfledermaus		v
Pipistrellus pygmaeus	Mückenfledermaus		v
Plecotus auritus	Braunes Langohr		v
Plecotus austriacus	Graues Langohr		v
Rhinolophus ferrumequinum	Große Hufeisennase	v	v
Rhinolophus hipposideros	Kleine Hufeisennase	v	v
Vespertitio murinus	Zweifarbfledermaus		v

* Die weiteren Arten Alpenfledermaus (*Hypsugo savii*), die Langflügelfledermaus (*Miniopterus schreibersii*) und die Weißrandfledermaus (*Pipistrellus kuhlii*) haben in Deutschland nur eine Randverbreitung oder kommen ausnahmsweise als Gäste vor und sind ohne Bedeutung für die hier behandelten Inhalte.

Die europäischen Vorgaben der Art. 12 FFH-Richtlinie sind durch § 44 Bundesnaturschutzgesetz BNatSchG[114] in nationales Recht umgesetzt, die Ausnahmebedingungen des Art. 16 FFH-Richtlinie durch § 45 Abs. 7 BNatSchG. Insoweit sind die Verbote des Artenschutzes und die Ausnahmen von diesen (§§ 44, 45 BNatSchG) sowie der Gebietsschutz nach § 34 BNatSchG relevant.

[113] Richtlinie 92/43/EWG (Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, FFH-RL).

[114] Bundesnaturschutzgesetz vom 29.07.2009 (BGBl. I S. 2542), zuletzt durch Artikel 4 Absatz 100 des Gesetzes vom 07.08.2013 (BGBl. I S. 3154) geändert.

Die Vorhabenszulassung ist das Ergebnis eines gestuften Planungsprozesses, in dem der Artenschutz und der FFH-Gebietsschutz - jedenfalls in Bezug auf die Fledermausarten - jeweils unabhängig von der Eingriffsregelung eigenständig zu berücksichtigen und zu bewältigen sind. Die Vorschriften des Artenschutzes sind, wie die des Natura-2000-Gebietsschutzes, striktes Recht und somit abwägungsfest. Die Bewältigung von Beeinträchtigungen von Fledermäusen erfolgt entsprechend den gesetzlichen Anforderungen im Zuge des gestuften Planungsprozesses auf verschiedenen Ebenen:

- In einem Artenschutzbeitrag, der Bestandteil der UVS bzw. des LBP wird (vgl. in den Regelwerken RLBP (BMVBS 2011) und RUVS (BMVBS 2009, Entwurf).
- Ggf. als Bestandteil einer FFH-Verträglichkeitsprüfung (sofern bezüglich der Fledermäuse eigenständige Erhaltungsziele festgelegt sind oder sie als charakteristische Arten eines Lebensraumtyps Gegenstand der Erhaltungsziele eines FFH-Gebietes sind).

Zugleich muss die Planung die Kriterien der Eingriffsregelung nach § 15 BNatSchG erfüllen, vgl. auch hierzu die allgemeinen Hinweise im Regelwerk RLBP (BMVBS 2011) sowie ergänzend die Hinweise im Urteil des BVerwG v. 14.07.2011 – 9 A 12.10 – [Ortsumgehung Freiberg].

Die gebietsschutzrechtlichen und artenschutzrechtlichen Bedingungen für die Umsetzung eines Vorhabens müssen spätestens im Rahmen der Planfeststellung erfüllt sein. Es ist dafür unabdingbar, den Fledermausschutz als artenschutz- bzw. gebietsschutzrechtliches Thema so früh wie möglich zu bearbeiten. Andernfalls könnten Konflikte erst spät erkannt werden, die auf der Planfeststellungsebene kaum mehr aufgelöst werden und dort zu einer Unzulässigkeit des Vorhabens führen können.

9.1.2 Artenschutzrechtliche Regelungen der §§ 44, 45 BNatSchG

Die zentralen Vorschriften des Artenschutzes finden sich in § 44 und § 45 BNatSchG.

§ 44 Abs. 1 beinhaltet in Bezug auf für die streng geschützten Fledermausarten folgende Zugriffsverbote:

(1) Es ist verboten,

1. wild lebenden Tieren der besonders geschützten Arten nachzustellen, sie zu fangen, zu verletzen oder zu töten oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören,

2. wild lebende Tiere der streng geschützten Arten und der europäischen Vogelarten während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwinterungs- und Wanderungszeiten erheblich zu stören; eine erhebliche Störung liegt vor, wenn sich durch die Störung der Erhaltungszustand der lokalen Population einer Art verschlechtert,

3. Fortpflanzungs- oder Ruhestätten der wild lebenden Tiere der besonders geschützten Arten aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören.

Für die Fälle, in denen Fledermäuse durch ein Straßenbauvorhaben, das zugleich die Voraussetzungen eines nach § 19 BNatSchG zulässigen Eingriffes in Natur und Landschaft erfüllt, betroffen sind, bestimmt § 44 Abs. 5 BNatSchG eine Eingrenzung der Zugriffsverbote:

(5) Für nach § 15 zulässige Eingriffe in Natur und Landschaft sowie für Vorhaben im Sinne des § 18 Absatz 2 Satz 1, die nach den Vorschriften des Baugesetzbuches zulässig sind, gelten die Zugriffs-, Besitz- und Vermarktungsverbote nach Maßgabe der Sätze 2 bis 5. Sind in Anhang IV Buchstabe a der Richtlinie 92/43/ EWG aufgeführte Tierarten, europäische Vogelarten oder solche Arten betroffen, die in einer Rechtsverordnung nach § 54 Absatz 1 Nummer 2 aufgeführt sind, liegt ein

Verstoß gegen das Verbot des Absatzes 1 Nummer 3 und im Hinblick auf damit verbundene unvermeidbare Beeinträchtigungen wild lebender Tiere auch gegen das Verbot des Absatzes 1 Nummer 1 nicht vor, soweit die ökologische Funktion der von dem Eingriff oder Vorhaben betroffenen Fortpflanzungs- oder Ruhestätten im räumlichen Zusammenhang weiterhin erfüllt wird. Soweit erforderlich, können auch vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen festgesetzt werden.

§ 45 BNatSchG (7) bestimmt:
Die nach Landesrecht für Naturschutz und Landschaftspflege zuständigen Behörden sowie im Fall des Verbringens aus dem Ausland das Bundesamt für Naturschutz können von den Verboten des § 44 im Einzelfall weitere Ausnahmen zulassen

1. *zur Abwendung erheblicher land-, forst-, fischerei-, wasser- oder sonstiger erheblicher wirtschaftlicher Schäden,*
2. *zum Schutz der natürlich vorkommenden Tier- und Pflanzenwelt,*
3. *für Zwecke der Forschung, Lehre, Bildung oder Wiederansiedlung oder diesen Zwecken dienende Maßnahmen der Aufzucht oder künstlichen Vermehrung,*
4. *im Interesse der Gesundheit des Menschen, der öffentlichen Sicherheit, einschließlich der Verteidigung und des Schutzes der Zivilbevölkerung, oder der maßgeblich günstigen Auswirkungen auf die Umwelt oder*
5. *aus anderen zwingenden Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses einschließlich solcher sozialer oder wirtschaftlicher Art.*

Eine Ausnahme darf nur zugelassen werden, wenn zumutbare Alternativen nicht gegeben sind und sich der Erhaltungszustand der Populationen einer Art nicht verschlechtert, soweit nicht Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 92/43/EWG weiter gehende Anforderungen enthält. Artikel 16 Absatz 3 der Richtlinie 92/43/EWG und Artikel 9 Absatz 2 der Richtlinie 2009/147/EG sind zu beachten. Die Landesregierungen können Ausnahmen auch allgemein durch Rechtsverordnung zulassen. Sie können die Ermächtigung nach Satz 4 durch Rechtsverordnung auf andere Landesbehörden übertragen.

9.1.3 Regelungen des FFH-Gebietsschutzes nach § 34 BNatSchG

Wird ein FFH-Gebiet, in dem Fledermausarten des Anhangs II der FFH-RL in den Erhaltungszielen benannt sind, durch ein Straßenbauvorhaben betroffen, sind die Vorgaben des § 34 BNatSchG zu befolgen. In § 34 BNatSchG ist geregelt:

§ 34 Verträglichkeit und Unzulässigkeit von Projekten, Ausnahmen

(1) Projekte, die nicht unmittelbar der Verwaltung eines Gebiets von gemeinschaftlicher Bedeutung oder eines Europäischen Vogelschutzgebiets dienen, sind soweit sie einzeln oder im Zusammenwirken mit anderen Projekten oder Plänen geeignet sind, ein Gebiet von gemeinschaftlicher Bedeutung oder ein Europäisches Vogelschutzgebiet erheblich zu beeinträchtigen, vor ihrer Zulassung oder Durchführung auf ihre Verträglichkeit mit den Erhaltungszielen eines Gebiets von gemeinschaftlicher Bedeutung oder eines Europäischen Vogelschutzgebiets zu überprüfen. Bei Schutzgebieten im Sinne des § 22 Abs. 1 ergeben sich die Maßstäbe für die Verträglichkeit aus dem Schutzzweck und den dazu erlassenen Vorschriften.

(2) Ergibt die Prüfung der Verträglichkeit, dass das Projekt zu erheblichen Beeinträchtigungen eines in Absatz 1 genannten Gebiets in seinen für die Erhaltungsziele oder den Schutzzweck maßgeblichen Bestandteilen führen kann, ist es unzulässig.

(3) Abweichend von Absatz 2 darf ein Projekt nur zugelassen oder durchgeführt werden, soweit es
1. aus zwingenden Gründen des überwiegenden öffentlichen Interesses, einschließlich solcher sozialer oder wirtschaftlicher Art, notwendig ist und
2. zumutbare Alternativen, den mit dem Projekt verfolgten Zweck an anderer Stelle ohne oder mit geringeren Beeinträchtigungen zu erreichen, nicht gegeben sind.

Entsprechend muss in einer FFH-VP (zum Rahmen und zu den fachlichen Inhalten und Maßstäben s. im Leitfaden FFH-VP des BMVBW (2004) bzw. im Gutachten FFH-VP, KIFL et al. 2004) der Nachweis erbracht werden, dass ggf. betroffene Fledermauspopulationen nachweislich, evtl. unter Rückgriff auf Vermeidungsmaßnahmen, nicht erheblich beeinträchtigt werden oder – falls eine Beeinträchtigung nicht vermeidbar ist – die Ausnahmevoraussetzungen in fachlicher Hinsicht vorliegen.

9.1.4 Verhältnis Artenschutz und Gebietsschutz

Die artenschutzrechtlichen Anforderungen gelten auch in Natura 2000-Gebieten. Auch für Arten in FFH-Gebieten, die gleichzeitig in Anhang II und Anhang IV der FFH-RL aufgeführt sind, gelten die artenschutzrechtlichen Bestimmungen. Neben der Prüfung nach § 34 BNatSchG (s. im Leitfaden FFH-VP, BMVBW 2004) ist eine eigenständige artenschutzrechtliche Prüfung erforderlich (vgl. KOMMISSION 2007, I.2.3b, Rn. 41 - 43).

9.1.5 Rechtliche Anforderungen nach Eingriffsregelung und Verhältnis zum Artenschutz

Bezüglich des Wortlaut des § 15 BNatSchG wird auf das Gesetz verwiesen (http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bnatschg_2009/gesamt.pdf).

Die Eingriffsregelung nach dem Bundesnaturschutzgesetz ist ein "Folgenbewältigungsinstrument", bei dem die Lebensräume und –anforderungen aller Fledermäuse in angemessener Weise zu berücksichtigen sind entsprechend der Kaskade:

1. Vermeidung von Beeinträchtigungen durch den Aus- oder Neubau,
2. Ausgleich von Beeinträchtigungen mit dem Ziel, die unvermeidbar gestörten Funktionen des Naturhaushalts gleichartig und gleichwertig wiederherzustellen oder
3. Ersatz für Beeinträchtigungen, falls ein Ausgleich nicht möglich ist, mit dem Ziel, für die nicht ausgleichbaren Beeinträchtigungen von Natur und Landschaft gleichwertige Ersatzmaßnahmen durchzuführen. Ausgleich und Ersatz bilden zusammen die Kompensation.

Bezüglich der für die Planung relevanten Kongruenzen und Unterschiede zwischen Artenschutz und naturschutzrechtlicher Eingriffsregelung wird auf die RLBP (BMVBS 2011) verwiesen. Für beide Instrumente gilt, dass sie in den Planungsentscheidungen über Bundesverkehrswege als strikt zu beachtendes Recht einzustufen sind. Ein zentraler Unterschied besteht darin, dass die Eingriffsregelung den Naturhaushalt insgesamt einbezieht, während der Artenschutz ein spezielles Segment des Naturhaushalts betrachtet. Ein selbständiger Anwendungsbereich der Eingriffsregelung verbleibt für Beeinträchtigungen, die nicht von den Verboten des § 44 BNatSchG erfasst sind und zugleich das Vorkommen von Fledermäusen nachteilig betreffen. Vermeidbare Beeinträchtigungen sind zu unterlassen (§ 15 (1) BNatSchG), unvermeidbare Beeinträchtigungen durch Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege auszugleichen (Ausgleichsmaßnahmen) oder zu ersetzen (Ersatzmaßnahmen).

Zum Verhältnis von Eingrifsregelung und Artenschutz machte das BVerwG in seinem Urteil vom 14.07.2011 AZ. 9 A 12/10 – OU Freiberg (Rn. 115 – 130) deutlich, dass die Privilegierung nach § 44 Abs. 5 BNatSchG nur zum Zuge kommt, wenn das Vorhaben nach § 15 BNatSchG zulässig ist. Führt

ein Vorhaben zu Beeinträchtigungen, die den Vorgaben der Eingriffsregelung widersprechen, ist der mit dem Vorhaben verbundene Eingriff insgesamt unzulässig. Auch anderen vom Vorhaben ausgehenden Beeinträchtigungen bleibt dann die Privilegierung des § 44 Abs. 5 Satz 2 und 3 BNatSchG verwehrt.

9.1.6 Rechtliche Anforderungen nach weiteren Vorschriften des Naturschutzrechtes und des Umwelthaftungsrechtes

Zum 14. November 2007 ist das Umweltschadensgesetz (USchadG)[115] in Kraft getreten, mit dem die Richtlinie 2004/35/EG über Umwelthaftung und zur Vermeidung und Sanierung von Umweltschäden (UH-RL) umgesetzt wird. Die Richtlinienumsetzung erfolgte als Artikelgesetz, das neben dem Stammgesetz (§§ 1-13 USchadG und Anlagen 1-3) auch die Änderung u.a. des BNatSchG (§19 BNatSchG „Schäden an bestimmten Arten und natürlichen Lebensräumen“ (Biodiversitätsschäden)) vorsah. Umweltschäden im Sinne des § 2 Nr. 1 USchadG sind damit (u.a.) Schädigungen von Arten und natürlichen Lebensräumen nach Maßgabe des § 19 des BNatSchG. Entsprechend hat der Verursacher

- *Schäden an Arten nach Anhang II oder IV FFH-RL,*
- *Schäden an Lebensräumen der Arten nach Anhang II FFH-RL sowie*
- *Schäden an Fortpflanzungs- und Ruhestätten der Arten nach Anhang IV FFH-RL*

zu vermeiden (§ 19 Abs. 2 und 3 BNatSchG) oder zu sanieren (§ 19 Abs. 4 BNatSchG). Im Unterschied zum Artenschutzrecht sind nach USchadG, über die Fortpflanzungs- und Ruhestätten hinaus, alle Lebensräume der nach Anhang IV FFH-RL geschützten Fledermausarten geschützt, also auch Nahrungshabitate oder Habitate, die für Wander- und Wechselbeziehungen von Bedeutung sind.

Bezüglich der weiteren speziellen Regelungen in Bezug auf den Anwendungsbereich und die Anwendungskriterien wird auf den Ergebnisbericht zum Forschungsprojekt „Bewertung erheblicher Biodiversitätsschäden im Rahmen der Umwelthaftung“ (BOSCH et al. 2013) verwiesen.

Im Sinne des Umweltschadensgesetzes erhebliche Umweltschäden (s. in BOSCH et al. 2013) sind auch infolge relevanter beruflicher Tätigkeiten im Rahmen von Straßenbauvorhaben denkbar. Unabhängig von den Details der gesetzlichen Regelung ist hier relevant, dass eine Haftung für Schäden gemäß § 19 BNatSchG nur ausgeschlossen ist, wenn die nachteiligen Wirkungen zuvor ermittelt und in einer Projektzulassung nach §§ 34 oder § 45 Abs. 7 oder § 15 BNatSchG von den zuständigen Behörden genehmigt wurden oder zulässig sind.

Im Hinblick auf das USchadG ist primär von Bedeutung, dass die erheblichen und nachteiligen Auswirkungen auf die Arten und Lebensräume mit der Planfeststellung bekannt und genehmigt werden. Eine „Enthaftung“ i. S. des § 19 Abs.1 BNatSchG erfolgt im Rahmen der artenschutzrechtlichen Prüfung, sofern sich der Erhaltungszustand der betroffenen Art/Population nicht verschlechtert oder dieser durch entsprechende Maßnahmen zur Sicherung des Erhaltungszustandes wiederhergestellt werden kann, bzw. die Funktionalität der Lebensstätten durch vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen i. S. des § 44 Abs. 5 BNatSchG aufrecht erhalten werden kann.

[115] Umweltschadensgesetz vom 10.05.2007 (BGBl. I S. 666), zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 23. Juli 2013 (BGBl. I S. 2565) geändert.

9.1.7 Synergien

Wegen der unterschiedlichen Rechtsfolgen der Instrumente, die den Naturschutz allgemein betreffen, wurde bereits im Leitfaden FFH-VP (BMVBW 2004, S. 15) empfohlen, die Ergebnisse von FFH-VP, UVP und Eingriffsregelung getrennt darzustellen. Dies gilt letztlich auch für die Ergebnisse einer artenschutzrechtlichen Prüfung, da diese genauso wie die FFH-VP zur Unzulässigkeit führen können, ohne dass sie mit den Ergebnissen einer FFH-Verträglichkeitsprüfung vollständig konform sein müssen.
Gleichwohl ist ein Planungsprozess stets möglichst rationell und wirtschaftlich zu gestalten. Hinsichtlich des Zusammenspiels der zum Einsatz zu bringenden Planungsinstrumente bietet es sich an, Abstimmungen und Verschränkungen dort vorzunehmen, wo Kongruenzen bestehen und wo das Recht dies zulässt. Dies gilt insbesondere zur Vermeidung von Doppelarbeit bei der Datenerhebung sowie zur Vermeidung von Widersprüchen in der Bewertung.

Synergien betreffen in gleicher Weise die Fragen der Kompensierbarkeit, wo ein einheitliches Kompensationskonzept erstellt werden sollte, das den artenschutzrechtlichen Erfordernissen Rechnung trägt.

9.2 Hinweise zur fledermauskundlich - spezifischen Ausfüllung der unbestimmten Rechtsbegriffe

9.2.1 Bestandserfassung, Untersuchungstiefe

Mittels eigener Erhebungen, durch Auswertung vorliegender Daten Dritter sowie Potenzialabschätzung wird festgestellt, welche Arten in welcher Bearbeitungstiefe erfasst werden müssen und ob eigene Erfassungen erforderlich sind. Für bestimmte Fragestellungen müssen spezielle Methoden angewandt werden.

Im Hinblick auf die Eingriffsregelung hat das BVerwG zum rechtlich geforderten Umfang der Ermittlung von Tier- und Pflanzenarten mehrfach geurteilt, dass Eingriffe in Natur und Landschaft sich nur dann zutreffend bewerten lassen, wenn hinreichend aussagekräftiges Datenmaterial zur Verfügung steht. Die Frage, in welchem Ausmaß die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts oder das Landschaftsbild beeinträchtigt wird, sei nur auf der Grundlage zuverlässiger Feststellungen über den vorhandenen Zustand von Natur und Landschaft sachgerecht zu beantworten (z.B. BVerwG, Urteil vom 31.01.2002, 4 A 15/0; Rn. 90, mit Verweisen auf frühere Urteile).

In Bezug auf die Verträglichkeitsprüfung für FFH-Gebiete hat das BVerwG in seinem Urteil vom 17.01.2007 (9 A 20.25) in Bezug auf Anhang II - Arten eine hohe Datenqualität gefordert und mit Bezug zu einem Urteil des EuGH („Herzmuschel“, Urteil vom 07.09.2004, C-127/02) den besten wissenschaftlichen Erkenntnisstand eingefordert. Zwar ist es zulässig, mit Prognosewahrscheinlichkeiten und Schätzungen zu arbeiten, sofern diese kenntlich gemacht und begründet werden. Als mögliche Methoden zu Schätzungen zu gelangen werden Analogieschluss und Worst-Case-Betrachtung benannt. Im Zweifelsfall verbleibende negative Auswirkungen des Vorhabens werden unterstellt (BVerwG, Urteil vom 21.06.2006, A 28.05, BVerwG E 126; 166 <181>; auch BVerwG, Urteil vom 16.03.2006, 4 A 1075.04, BVerwG E 125; 116 <294 f., Rn. 492>). Dies entspricht der in der Wissenschaft anerkannten konservativen Risikoabschätzung. Andererseits darf von der Klärung im Einzelfall, also auch von Erfassungen, nicht abgesehen werden, sofern die Risikoprognose unzureichend bleibt und die Auswirkungen auf das als wahr unterstellte Vorkommen im Unklaren bleiben (BVerwG, 17.01.2007, Rn. 153: Wahrunterstellung; s. auch das Urteil des BVerwG vom 06.11.2013 Az 9 A 9.12 - Neubau der Bundesautobahn A 20 im Abschnitt von Weede bis Wittenborn).

Diese Anforderungen sind insoweit auf den Artenschutz übertragbar, als die Bestandserfassungen in methodischer Hinsicht nicht zu beanstanden sein dürfen. V.a. müssen sie ein für die Prüfung der Verbots- und ggf. der Ausnahmekriterien hinreichend aussagekräftiges Datenmaterial produzieren. Zugleich hat das BVerwG mit Hinweis auf die unterschiedlichen Zielsetzungen von Artenschutz und FFH-Gebietsschutz verdeutlicht, dass im Kontext des Artenschutzes auch andere Anforderungen genügen können. Jedenfalls sind die Standards im Artenschutz nicht dem Gebietsschutz vergleichbar formalisiert (BVerwG, Urteil vom 09.07.2008, Rn. 54 ff.). Bezüglich der artenschutzrechtlich geschützten Arten sind weder ein bestimmter Untersuchungsumfang festgelegt noch bestimmte Methoden. Die zum Einsatz kommenden Methoden müssen allerdings geeignet sein, Beeinträchtigungen zu erkennen und ggf. auch die Rechtfertigung für eine Ausnahme fachlich zu begründen. Aktuell sind die fledermauskundlichen Feldmethoden noch dadurch gekennzeichnet, dass zahlreiche Ansätze nebeneinander existieren und keine Standardisierung erreicht ist.[116]

[116] In anderen Anwendungsfeldern etablieren sich Standards hinsichtlich der Erfassung der Fledermäuse im Rahmen der FFH-Berichtspflichten nach Art. 11 und Art. 17 FFH-RL (SCHNITTER et al. 2006). Weitere Ansätze existieren in Standardisierungsvorschlägen für Fledermauserfassungen in europäischen Nachbarländern (z.B. dem Leitfaden zur Fledermauserfassung des britischen BAT CONSERVATION TRUST 2007).

Das Artenschutzrecht verlangt nicht, dass im Rahmen der Sachermittlung jeder rein abstrakten Möglichkeit, die eine oder andere Art könne vorkommen, nachgegangen wird.[117] Sind von konkreten Bestandserfassungen vor Ort keine weiterführenden Erkenntnisse zu erwarten, müssen sie auch nicht durchgeführt werden. Untersuchungen quasi „ins Blaue hinein" sind nicht veranlasst (vgl. BVerwG, Urteil vom 09.07.2008, 9 A 14.07, „A 30, Bad Oeynhausen", Rn. 54ff; BVerwG, Beschluss vom 13.03.2008, 9 VR 10.07, „A4, Jena Leutratal" Rn. 37). Bei Fledermäusen stößt die Art-Differenzierung z. T. auf methodische Probleme, weil verschiedene Gattungen mit den verfügbaren Methoden der Detektoraufnahme nicht artgenau determiniert werden können (Braunes/Graues Langohr, Große/Kleine Bartfledermaus). Die Differenzierung dieser Arten ist nur mittels ergänzender Netzfänge möglich und kann aufgrund des damit verbundenen Aufwandes nicht flächendeckend, für jeden Standort durchgeführt werden. Sofern die Problemlage die Artdifferenzierung nicht zwingend macht, kann es genügen, die Arten gebündelt als Gruppe zu behandeln. „Es kann selbstverständlich Fälle geben, in denen eine ganze Artengruppe mit ähnlichen Situationen konfrontiert ist und ähnliche Bedürfnisse hat und somit global vorgegangen werden kann" (KOMMISSION 2007, I.2.3.b Seite 16, Fn. 27). Vgl. auch das o.g. Urteil des BVerwG vom 09.07.2008, Rn. 74.

Die Abgrenzung des Untersuchungsraumes ist nach sachlichem Erfordernis vorzunehmen. Bezüglich der artenschutzrelevanten Fragen bedeutet dies, dass artspezifisch das relevante Raumgefüge (Aktionsraum, Populationsstruktur) zu Grunde zu legen ist: In der Regel müssen die Daten für die betroffene lokale Population erstellt werden, jedenfalls mit Blick auf die Beurteilung erheblicher Störungen. Sind Arten betroffen, die auch im lokalen Bezug in Metapopulationen strukturiert sind wie bspw. das Langohr (*Plecotus* spec.), müssen auch Beziehungen über die ggf. im Eingriffsraum angetroffene Teilpopulation berücksichtigt und ggf. erhoben werden. Bei Arten mit großen Raumansprüchen (z.B. Mausohr) kann sich die Bestandsaufnahme u.U. auf die vom Eingriff betroffenen Teilfunktionen (z.B. Jagdhabitat) im Aktionsareal der Kolonien beschränken, wenn andere Teilfunktionen des Lebensraumes nicht beeinträchtigt werden.

9.2.2 Eintreten erheblicher Beeinträchtigungen nach gebietsschutzrechtlichen Kriterien

Den Bewertungsmaßstäben kommt im Rahmen der Verträglichkeitsprüfung eine besondere Bedeutung zu, die sich aus dem Übergang von der Prognose zur Bewertung ergibt: Im Rahmen der Wirkungsprognose werden die voraussichtlichen Veränderungen der Arten hinsichtlich ihrer maßgeblichen Bestandteile bzw. Funktionen ermittelt (Sachebene). Im Rahmen der Bewertung werden ausgewählte Maßstäbe auf diese Veränderungen angewendet.

Nach der Leitentscheidung des Bundesverwaltungsgerichts zur Westumfahrung Halle (A 143) (Urteil vom 17.1.2007, Az. 9 A 20.05) ist bei der Beurteilung zu berücksichtigen (amtliche Leitsätze):

6. *… Grundsätzlich ist jede Beeinträchtigung von Erhaltungszielen erheblich und muss als „Beeinträchtigung des Gebiets als solchem" gewertet werden.*
7. *Mit Blick auf die Erhaltungsziele des FFH-Gebiets stellt allein der günstige Erhaltungszustand der geschützten Lebensräume und Arten ein geeignetes Bewertungskriterium dar, wenn die vorrangig naturschutzfachliche Fragestellung zu beantworten ist, ob ein Straßenbauvorhaben das Gebiet erheblich beeinträchtigt. Zu prüfen ist, ob sicher ist, dass ein günstiger Erhaltungszustand trotz Durchführung des Vorhabens stabil bleiben wird.*

[117] Der EuGH (Urteil vom 18.05.2006, C 221/04; Rn. 62) hatte festgestellt, dass von einem Artvorkommen und einer notwendigen Bewältigung des Artenschutzrechtes nur ausgegangen werden müsse, falls gesicherte Informationen über das Vorkommen (dort: von Fischottern im fraglichen Jagdrevier) vorliegen und die Angaben nicht nur die Möglichkeit eines solchen Vorkommens belegen.

8. *Fortbestehende vernünftige Zweifel an der Wirksamkeit des Schutzkonzepts stehen einer Zulassung des Vorhabens entgegen. Die FFH-Verträglichkeitsprüfung kann ebenso wenig mit einem positiven Ergebnis abgeschlossen werden, wenn ein durch das Vorhaben verursachter ökologischer Schaden durch das Schutzkonzept nur abgemildert würde. Die dann allenfalls konfliktmindernden Vorkehrungen sind nur als Kohärenzsicherungsmaßnahmen zu berücksichtigen, falls eine Abweichungsentscheidung getroffen werden soll (Art. 6 Abs. 4 FFH-RL).*
9. *In Ansehung des Vorsorgegrundsatzes ist die objektive Wahrscheinlichkeit oder die Gefahr erheblicher Beeinträchtigungen im Grundsatz nicht anders einzustufen als die Gewissheit eines Schadens. Wenn bei einem Vorhaben aufgrund der Vorprüfung ernsthaft die Besorgnis nachteiliger Auswirkungen entstanden ist, kann dieser Verdacht nur durch eine schlüssige naturschutzfachliche Argumentation ausgeräumt werden, mit der ein Gegenbeweis geführt wird.*
10. *Ein Gegenbeweis im Rahmen der FFH-Verträglichkeitsprüfung setzt die Berücksichtigung der besten einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnisse voraus und macht die Ausschöpfung aller wissenschaftlichen Mittel und Quellen erforderlich. Dies bedeutet nicht, dass Forschungsaufträge zu vergeben sind um Erkenntnislücken und methodische Unsicherheiten der Wissenschaft zu beheben.*

Diese Leitsätze werden ergänzt und präzisiert durch das Urteil des BVerwG Az. 9A 3.06 vom 12.03.2008 (Hessisch Lichtenau II, Leitsätze):

4. *Die im Rahmen der Verträglichkeitsprüfung zur Anwendung kommende Methode der Be standserfassung und -bewertung geschützter Lebensraumtypen oder Arten ist nicht normativ festgelegt. Die Methodenwahl muss aber dem für die Verträglichkeitsprüfung allgemein maßgeblichen Standard der „besten einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnisse“ entsprechen.*
6. *Kompensationsmaßnahmen i.S. d. naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung sind nur ausnahmsweise geeignet, die andernfalls fehlende FFH-Verträglichkeit eines Vorhabens sicherzustellen, da sie in der Regel erst deutlich verzögert wirken und ihr Erfolg selten mit einer jeden vernünftigen Zweifel ausschließenden Sicherheit vorhergesagt werden kann.*

Vorrangig aus diesen Urteilen des BVerwG ergeben sich folgende Leitlinien für die Bewertung von Beeinträchtigungen von Anhang II - Arten: Ob ein Straßenbauvorhaben zu „erheblichen Beeinträchtigungen“ führen kann, ist vorrangig eine naturschutzfachliche Fragestellung, die anhand der Umstände des jeweiligen Einzelfalles beantwortet werden muss (Urteil vom 17.01.2007, Rn. 43).

Als relevanten Beurteilungsmaßstab benennt das BVerwG die konkreten Erhaltungsziele des Gebietes (mit Verweis auf EuGH vom 14.09.2004 - Herzmuschel), die raumspezifisch zu interpretieren sind und den „günstigen Erhaltungszustand“. Die Schwelle zur „Erheblichkeit“ ist gebiets- und erhaltungszielspezifisch zu ermitteln (Urteil vom 17.01.2007, Rn. 44 ff.).

„Anders als für den Verlust von LRT-Flächen kann für den Verlust von Habitatflächen geschützter Arten nicht die Grundannahme zum Tragen kommen, im Regelfall sei jeder Flächenverlust erheblich“ (Urteil des BVerwG vom 12.03.2008, Rn. 132). Bezüglich der Anhang II – Arten (also auch von Fledermäusen) „kommt es für den günstigen Erhaltungszustand einer Art nicht auf die Beständigkeit der Habitatfläche, sondern auf die Beständigkeit der Art an. Verluste von Habitatflächen führen deshalb nicht ohne weiteres zu einer Verschlechterung des Erhaltungszustandes der geschützten Art. Entscheidendes Beurteilungskriterium ist vielmehr das der Stabilität, das die Fähigkeit umschreibt, nach einer Störung wieder zum ursprünglichen Gleichgewicht zurückzukehren. Ist die Population dazu in der Lage, sei es, dass sie für ihren dauerhaften Bestand in der bisherigen Qualität und Quantität auf die verlorengehende Fläche nicht angewiesen ist, sei es, dass sie auf andere Flächen ohne Qualitäts- und Quantitätseinbußen ausweichen kann, so bleibt ein günstiger Erhaltungszustand erhalten und ist demnach eine erhebliche

Beeinträchtigung zu verneinen“ (vgl. Urteil des BVerwG vom 17.01.2007, Rn. 43 ff, zitiert aus Urteil vom 12.03.2008, Rn. 132).

Verbleibende Erkenntnis- und Bewertungsdefizite bzw. Risiken dürfen (und müssen zugleich) durch ein hinreichend wirksames Risikomanagement aufgefangen werden (BVerwG Urteil vom 17.01.2007, Rn.36).

Im Leitfaden FFH-VP des BMVBW (BMVBW 2004) resp. dem entsprechenden grundlegenden Gutachten (KIFL et al. 2004) sind als Anhalt für die Bewertung Differenzierungsmerkmale angegeben. Dabei wird die Stabilität des Erhaltungszustands (eines LRT oder) einer Art als Ausgangspunkt für die Bewertung erheblicher Beeinträchtigungen herangezogen (ebd., S. 39 ff.).

Alle, für den Erhaltungszustand einer Art in einem FFH-Gebiet maßgeblichen Bestandteile, Habitate und Funktionen sind vor nachteiligen Veränderungen geschützt und sind damit auch Gegenstand der Verträglichkeitsprüfung. Bezüglich der Fledermäuse sind dies artbezogen:

- Wochenstuben-, Balz- und Winterquartiere, sonstige Quartiere (Zwischen-/Sommerquartiere)[118], Quartierverbund,
- essenzielle Flugwege / Habitatverbund,
- essenzielle Nahrungshabitate.

In diesem Forschungsbericht finden sich viele Beispiele, unter welchen Bedingungen eine Struktur, z.B. eine Hecke oder ein Bachlauf mit Ufergehölz maßgeblich für eine Fledermauskolonie ist. GARLAND & MARKHAM (2007) unterscheiden die Hecke, die als einzige das Wochenstubenquartier einer Wasserfledermaus mit den Jagdhabitaten verbindet und damit essenziell ist, von einer Situation, in der eine von sieben Hecken entfällt und diese auch keine zentrale Funktion ausübt (nicht essenziell). Ein bedeutsames Jagdhabitat zeichnet sich in der Regel durch eine arttypisch hohe Dichte jagender Individuen aus bzw. wird regelmäßig von den Kolonietieren aufgesucht. Baumbewohnende Fledermausarten benötigen nahe beieinander liegend ein großes Angebot an natürlichen Höhlen. Die Mitglieder einer Kolonie nutzen während eines Sommers u.U. viele verschiedene Baumhöhlen als Tagesquartiere und wechseln häufig, oft alle 2-3 Tage zwischen den Quartieren. Trotzdem werden dieselben Quartierbäume zu einem Gutteil über mehrere Jahre genutzt. Offenbar ist für waldbewohnende Fledermausarten ein Quartiersystem, das sich wie beschrieben entwickelt hat, das kalkulierbar ist und über mehrere Jahre verfügbar ist, von großer Bedeutung. Werden dagegen wechselnde und inkonstante, nur über kurze Zeit bestehende Habitate beeinträchtigt, kann dies bei der Beurteilung von Beeinträchtigungen ebenfalls eine Rolle spielen und - je nach Überlebensstrategie der betroffenen Art – begründen, dass eine erhebliche Beeinträchtigung verneint wird.

Orientierungswerte, bis zu welchem Flächenverlust an Tierhabitaten der Arten nach Anhang II FFH-RL innerhalb eines FFH-Gebietes erhebliche Beeinträchtigungen im Regelfall auszuschließen sind, wurden im F+E-Vorhaben des BfN „Ermittlung von erheblichen Beeinträchtigungen im Rahmen der FFH-VP“ (LAMBRECHT & TRAUTNER 2007, S.44 ff.) vorgeschlagen. Ebenso wird vorgeschlagen (S. 83) funktionale Beeinträchtigungen entsprechend ihrer Wirkintensität, Wirkdauer usw. als graduelle Verschlechterungen gemessen am vollständigen Funktionsverlust in Wert zu setzen. Die Ermittlung des Schwellenwertes erfolgt dann durch Umrechung von Beeinträchtigungen mit partiellem Funktionsverlust zu einem mit den Orientierungswerten vergleichbaren Äquivalenzwert (ebd., S. 83). Diesen Überlegungen

[118] Auch hier ist ggf. nach der Bedeutung für die lokale Population bzw. die Gebietspopulation zu unterscheiden (vgl. GARLAND & MARKHAM 2007). Z.B. kommt Sommerquartieren, die nur von einzelnen Fledermaus-Männchen belegt werden (können), eine geringere Bedeutung zu als den Wochenstubenquartieren.

von LAMBRECHT & TRAUTNER (2007) ist im Prinzip zu folgen. Sie vereinfachen die rechtliche Handhabung, solange die Prämisse, dass die Anwendbarkeit auch nach fachlichen Kriterien im Einzelfall gegeben ist, eingehalten ist. Wie stark der ggf. partielle Funktionsverlust ist, was gemessen am gesamten Aktionsraum eines Fledermausvorkommens ein bedeutender Flugweg oder ein bedeutendes Nahrungs- resp. Jagdhabitat für eine Fledermaus-Art in einem FFH-Gebiet darstellt, muss nach fachbiologischen Kriterien mit Gebietsbezug im Einzelfall ermittelt werden. Die Schwellenwerte für den Flächenverlust von Lebensraumtypen von LAMBRECHT & TRAUTNER (2007) fanden als Orientierungsmaßstab obergerichtliche Anerkennung (Urteil vom 12.03.2008 – Hess. Lichtenau II, Rn. 125). In Bezug auf die Beeinträchtigung von Tierhabitaten werden sie – unter Verweis auf art- und gebietsspezifische Faktoren - aber nicht zwingend als die Erheblichkeit begründend verstanden. Nach dem Urteil des BVerwG vom 12.03.2008 (9 A 3.06 – Hess. Lichtenau II, Rn. 132, im Anschluss an o.g. Urteil vom 17.0.2007, Rn. 43 ff) können die Eigenschaften der Gebietspopulation bzw. der Art einen gebietsbezogen anderen Schwellenwert für den Eintritt in die Erheblichkeit sowohl nach oben wie nach unten begründen.

Die Zerschneidung von Flugwegen von Fledermausarten zwischen Quartier und Jagdgebieten, die <u>außerhalb</u> eines FFH-Gebiets bestehen, kann eine erhebliche Beeinträchtigung der Funktion von Quartier und Jagdgebieten im FFH-Gebiet darstellen (BVerwG Beschluss vom 26.11.2007 - 4 BN 46.07)[119]. Außerhalb existierende Jagdhabitate sind jedoch nicht unbedingt einzuschließen. Das BVerwG bezeichnete es als „systemwidrig, die Nahrungshabitate losgelöst von der Gebietsabgrenzung als durch die Erhaltungsziele des Gebiets mitumfasst zu behandeln“ (Urteil des BVerwG vom 14.04.2010 9 A 5.08 Leitsatz 1).

9.2.3 Eintreten der artenschutzrechtlichen Verbotstatbestände

9.2.3.1 Notwendigkeit fallbezogener Beurteilung, „naturschutzfachliche Einschätzungsprärogative“

Im Artenschutzrecht sind konkrete Verbote geregelt, die der Zulassung eines Vorhabens entgegenstehen. Besondere Auslegung und fachliche Erläuterung verlangen einerseits die im BNatSchG normierten Verbote (§ 44 Abs. 1 Nr. 1 – 3 BNatSchG) und andererseits die Regelung in § 44 Abs. 5 BNatSchG, denn ihre Anwendung erfordert fachliche Bewertungen. Den zuständigen Behörden werden – anders als bei der Bewertung erheblicher Beeinträchtigungen von Anhang II – Arten in FFH-Gebieten nach Art. 6.3 FFH-RL - vergleichsweise weite Einschätzungsspielräume eingeräumt („naturschutzfachliche Einschätzungsprärogative“), vgl. BVerwG, Urteil vom 09.07.2008 Az. 4A 15.07 – Bad Oeynhausen, Leitsätze 4 und 5:

4. *Die für den Habitatschutz geltenden Anforderungen können nicht unbesehen und unterschiedslos auf den allgemeinen Artenschutz übertragen werden.*
5. *Bei der Prüfung, ob artenschutzrechtliche Verbotstatbestände erfüllt sind, steht der Planfeststellungsbehörde eine naturschutzfachliche Einschätzungsprärogative sowohl bei der ökologischen Bestandsaufnahme als auch bei deren Bewertung zu, namentlich bei der Quantifizierung möglicher Betroffenheiten und bei der Beurteilung ihrer populationsbezogenen Wirkungen. Die gerichtliche Kontrolle ist darauf beschränkt, ob die Einschätzungen der Planfeststellungsbehörde im konkreten Einzelfall naturschutzfachlich vertretbar sind und nicht auf einem unzulänglichen oder gar ungeeigneten Bewertungsverfahren beruhen.*

[119] Im behandelten Fall eines, an ein FFH-Gebiet angrenzenden Baugebietes, wurde dies für den aus Sicht des Klägers beeinträchtigten Flugweg von zwei Fledermausarten (Mausohr, Bechsteinfledermaus) verneint, weil das Gericht angesichts bestehender Vorbelastungen und flächenbezogen geringfügiger Inanspruchnahme die Funktionsbeeinträchtigung eines Flugweges außerhalb des FFH-Gebietes als geringfügig und tolerabel einstufte.

9.2.3.2 Verbot Tiere zu verletzen oder zu töten oder ihre Entwicklungsformen zu beschädigen oder zu zerstören

Schutzgut sind alle wild lebenden Tiere, so dass sich ein Abstellen auf die lokale Population verbietet (BVerwG, Urteil vom 09.07.2008 Az. 4A 15.07 – Bad Oeynhausen, Rn. 91). Eine Relativierung weg vom streng individuenbezogenen Maßstab erfährt die Norm aber durch die Differenzierung zwischen Gefährdungen, die verboten sind, weil sie abwendbar sind, und solchen, die trotz planerischer Gegenmaßnahmen unabwendbar (straßentypisch) bleiben.[120] Entsprechend diesem Rahmen ist bezüglich des Verbotes, Tiere zu verletzen oder zu töten oder ihre Entwicklungsformen zu beschädigen oder zu zerstören (§ 44 Abs.1 Nr.1 BNatSchG) zwischen der Errichtung bzw. Anlage einer Straße und deren Betrieb zu unterscheiden:

Werden im Zuge der baubedingten Zerstörung von Fortpflanzungs- oder Ruhestätten einzelne Tiere verletzt oder gar getötet, erfüllt dies – im Zuge von Planungs- und Zulassungsverfahren – nicht den Verbotstatbestand, solange die ökologische Funktion der betroffenen Lebensstätten im räumlichen Zusammenhang weiterhin erfüllt wird. Auch in diesem Fall ist das Tötungsrisiko durch geeignete Vermeidungsmaßnahmen zu reduzieren, obwohl § 44 Abs. 5 Satz 2 BNatSchG dies nicht explizit fordert. Jedoch ergibt sich dies unmittelbar aus den o.g. Anforderungen des EuGH. Liegen beispielsweise Quartiere unmittelbar im Baufeld, kann die Tötung von Tieren durch Freiräumung außerhalb der Zeit, in der die Tiere die Höhlen ggf. besetzt halten, ggf. in Verbindung mit einer methodischen Kontrolle möglicher Brut-/ Ruhestätten in dem gesetzlich geforderten Umfang vermieden werden.[121]

Unabwendbare Tierkollisionen im Verkehr nach Inbetriebnahme einer Straße erfüllen nicht den Verbotstatbestand des § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG (BUNDESREGIERUNG 2007). Im Urteil von 09.07.2008 – 4A 14.07 – Bad Oeynhausen (Leitsatz 6) stellt das BVerwG auf die signifikante Gefahrerhöhung ab:

6. *Der Tatbestand des Tötungsverbots gemäß § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG ist bei der Gefahr von Kollisionen im Straßenverkehr nur dann erfüllt, wenn sich durch das Straßenbauvorhaben das Kollisionsrisiko für die geschützten Tiere unter Berücksichtigung der vorgesehenen Schadensvermeidungsmaßnahmen signifikant erhöht.*

(vgl. auch im Urteilsabdruck Rn. 91 ff.; ebenso: 12.03.2008, 9A 3.06 – Hess. Lichtenau II, Rn. 219).

„Unabwendbar“ in diesem Sinn sind Tierkollisionen nur dann, wenn das vorhabensbedingte Kollisionsrisiko in der Planung durch Bestandserfassung und Konfliktanalyse angemessen berücksichtigt und durch geeignete Vermeidungsmaßnahmen entsprechend den Artanforderungen reduziert wurde. Als abwendbar kommen dagegen Fälle in Betracht, wenn mangels entsprechender planerischer Gegenmaßnahmen als bedeutsam erkannte Flugwege einer (als im Allgemeinen niedrig fliegend und damit als kollisionsdisponiert bekannten) Fledermausart zerschnitten würden, ohne dass geeignete planerische Vermeidungsmaßnahmen ergriffen wurden.

Folgende Hinweise, wann sich „eine signifikante Risikoerhöhung“ für Fledermäuse infolge des Betriebs eines Verkehrsweges z.B. durch einen Wald ergibt, gaben die Gerichte bislang in fachlicher Hinsicht (BVerwG, Urteil 09.07.2008 9 A 14.07, Rn. 94, Rn. 219; Urteil vom 12.11.2011 9 A 12.10, Rn. 99):

- Prädisposition (geringe Flughöhe von meist 1,5 – 2,5 m; Überwiegen des Verkehrs an den bekannten Todesursachen; hier für Eulen) bzw. „artspezifische Verhaltensweisen“,

[120] Gemäß der Rechtsprechung des EuGH, Urteil vom 18.05.2006, C 221/04; Leitsatz; vgl. auch Rn. 70 -72 des Urteils Ebenso: EuGH Urteil vom 30.01.2002 – C 103/00, 20.10.2005 – C 6/04; Tötung als unausweichliche Konsequenz eines im Übrigen rechtmäßigen Verwaltungshandelns.

[121] Mit Bezug zu den individuenbezogenen Verboten des Artenschutzes im BNatSchG a.F. urteilte das BVerwG (Urteil vom 21.06.2006 - 9A28.05), dass das Verbot, Individuen etwa im Zusammenhang mit der Baudurchführung zu töten, regelmäßig etwa dadurch vermieden werden muss, dass vor Beginn der Brutsaison entlang des Trassenabschnitts, der zur Überbauung vorgesehen ist, eine Baufeldfreistellung durchgeführt wird.

- „Hauptflugrouten“ von Fledermäusen,
- „häufige Frequentierung des durchschnittenen Raums“,
- „bevorzugte Jagdgebiete“ von Fledermäusen sowie
- mangelnde Wirksamkeit vorgesehener Schutzmaßnahmen.

Diese Merkmale müssen aus fachbiologischer Sicht konkretisiert werden. Aspekte, die nicht allgemein vornormiert werden können, wie z.B. die Einstufung der Empfindlichkeit (allgemeine Disposition) einer Art gegenüber Kollision, weil sie generell niedrig fliegt, müssen vom Sachverständigen resp. der zuständigen Behörde im Einzelfall beurteilt werden („naturschutzfachliche Einschätzungsprärogative“).

Unsicherheiten ergeben sich für die Beurteilung, weil der Risikobegriff zunächst als Rechtsbegriff (signifikante Gefahrerhöhung/allgemeines Lebensrisiko) gehandhabt wird.[122] Ausgehend von einem „gewissen Risiko“, das mit jedem Kfz-Verkehr verbunden ist auf der einen Seite und einer „merklichen Gefahrerhöhung“ infolge besonderer Verhältnisse an einer Straße auf der anderen Seite unterschied das OVG Münster[123] im Hinblick auf eine signifikante Gefahrerhöhung für Rastvögel infolge einer Umnutzung eines Flughafens zwischen einem „individualisierbaren Anliegen“ und der „völlig unbestimmbaren Eintrittswahrscheinlichkeit“ (Urteilsabdruck S. 23) für das einzelne Individuum und sah in letzterem keinen Grund, die signifikante Gefahrerhöhung zu bejahen. In der mündlichen Verhandlung erörterte das BVerwG zur OU Grimma am 07.12.05 (BVerwG, 9 A 63.04) in eine vergleichbare Richtung, indem es nach einem erhöhten Kollisionsrisiko, das über das allgemeine Lebensrisiko hinausgeht, fragte. Danach erfüllt das Verletzungs- und Tötungsrisiko keinen Schädigungs- und Störungstatbestand, wenn es sich um „ein äußerst seltenes Ereignis“ handelt und „zum allgemeinen, nicht zu vermeidenden“ Risiko für die Individuen zählt. Die Beurteilung des Kollisionsrisikos entzieht sich in der Regel auch weiterhin einer präziseren Abgrenzung, weil eine enge Ursachen-Wirkungsbeziehung – populations- und individuenbezogen – nur im Einzelfall herstellbar ist, selbst wenn ein aufwändiges Monitoring stattfindet. Eher verwiesen die Gerichte auf Maßnahmen, die geeignet sind eine „gesteigerte Gefährdungssituation“ auszuschließen (BVerwG Urteil vom 12.11.2011 9 A 12.10, Rn. 99). Vgl. auch in den Urteilen des BVerwG vom 09.07.2008 Rn. 95: Leiteinrichtungen, Überflugvorkehrungen und vom 17.01.2007 Rn. 88, Rn. 153.

In Fällen, in denen Zweifel über die Wirksamkeit der Maßnahmen aufgrund von wissenschaftlichen Erkenntnisdefiziten verbleiben, wird ein Risikomanagement für erforderlich gehalten (vgl. Kap. 9.4). Im Kontext FFH-Gebietsschutz vgl. BVerwG, Urteil vom 17.01.2007, bezügl. typischer näherer Festlegungen z.B. OVG Bautzen[124]. Ein umfassendes Risikomanagement, das als Bestandteil auch ein Monito-

---

[122] Vgl. z.B. ROGALL, K. (1992): Informationseingriff und Gesetzesvorbehalt im Strafprozess. S. 61.

[123] Vgl. OVG Münster, 03.01.2006 20 D 118/03.AK Luftlandeplatz Weeze-Laarbruch http://www.schutz-gegen-mgl.de/downloads/Urteilsspruch_Weeze_Laarbruch_OVG_NRW_3_1_2006.pdf (27.03.2009), Urteilsabdruck S. 23.

[124] OVG Bautzen, Beschluss v. 12.11.2007 -5 BS 336/07 - [Waldschlößchenbrücke]: Mit Beschluss vom 12.11.2007 - 5 BS 336/07 - hat das OVG Bautzen die Entscheidung des Verwaltungsgerichtes Dresden vom 9.08.2007 - 3 K 712/07 – abgeändert und insbesondere Auflagen zum Schutz der Kleinen Hufeisennase verfügt. (Im Hauptsacheverfahren wies das Verwaltungsgericht Dresden mit Urteil v. 30.10.2008 - 3 K 923/04 - dann die Klagen zurück). In dem Beschwerdeverfahren stritten die Beteiligten im Wesentlichen über eine mögliche Gefährdung der streng geschützten Fledermausart Kleine Hufeisennase durch die beabsichtigte Errichtung und Nutzung der Waldschlößchenbrücke. Insbesondere wurde eine Gefährdung aufgrund des sog. »Falleneffekts« geltend gemacht. Die Fledermäuse würden durch die bei Dunkelheit um die Beleuchtung der Brücke angelockten Insekten zu deren Jagd animiert. Für diesen Fall bestehe eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass sich die Insekten fallen ließen, um den Fledermäusen zu entkommen. Folge hiervon sei, dass die Kleine Hufeisennase dann mit vorbeifahrenden Fahrzeugen kollidiere. Das Gericht kam zu dem Schluss, dass derzeit nicht abschließend beurteilt werden könne, ob eine Gefährdung der Kleinen Hufeisennase im Fall der Jagd nach Insekten, welche durch die Brückenbeleuchtung angezogen werden, vorliege. Dieser etwaigen Gefährdung könne jedoch aller Voraussicht nach durch eine Nachbesserung des den Bau der Brücke erlaubenden Planfeststellungsbeschlusses begegnet werden. Bis dahin könne eine etwaige Gefährdung durch die vom Gericht verfügten Auflagen vermieden werden.

ring enthält, wurde bislang von Gerichten vor allem im Zusammentreffen mit Aspekten des FFH-Gebietsschutzes auferlegt. Im Zusammenhang mit den artenschutzrechtlichen Verpflichtungen weist das BVerwG im Urteil zur OU Freiberg auf das Instrument hin, macht zugleich aber deutlich, dass das Monitoring kein zulässiges Mittel darstellt um behördliche Ermittlungsdefizite und Bewertungsmängel zu kompensieren (BVerwG Urteil vom 12.11.2011 9 A 12.10, Rn. 105).

Die KOMMISSION (2007, Rn. 59, 60) hält ein Monitoring sowohl im Hinblick auf die Wirksamkeit von sogenannten CEF-Maßnahmen zur Vermeidung des Verbotseintrittes (KOMMISSION 2007, Rn. 75) als auch zur Überwachung des günstigen Erhaltungszustandes im Zusammenhang mit der Erteilung von artenschutzrechtlichen Ausnahmen (ebd., Rn. 59, 60) im Vollzug des europäischen Artenschutzes für erforderlich.

9.2.3.3 Erhebliche Störung der lokalen Population insbesondere während bestimmter Zeiten

Das Störungsverbot des § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG bezieht sich auf die Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwinterungs- und Wanderungszeiten. Faktisch liegt damit in Bezug auf Fledermäuse ein ganzjähriges Störungsverbot vor, da diese fünf Lebensphasen den gesamten individuellen Lebenszyklus der meisten Fledermausarten nahezu lückenlos abdecken, vgl. in Abbildung 9-1:

- Die Fortpflanzungs- und Aufzuchtzeit umfasst die Zeit der Balz, der Paarung, der Geburts- und Aufzuchtphase, bis die Jungtiere eigenständig die Quartiere verlassen und jagen.
- Die Wanderungszeiten sind gekennzeichnet durch die spätsommerliche Schwarmphase/ Dispersionsphase der Jungen und die periodische Bewegung zwischen den Sommer- und Winterquartieren im Frühjahr wie im Herbst.
- Die Überwinterungszeit umfasst die Phase der Inaktivität gewöhnlich – aber nicht nur – im Winter.

Störwirkungen können sich ergeben in Form von

- Irritationen der Tiere durch den Straßenverkehr (Beunruhigung/Scheuchwirkung infolge Lärm, Licht oder Fahrzeuge/Maschinen)
- Zerschneidung der Flugwege, Lärm- und Lichtimmissionen

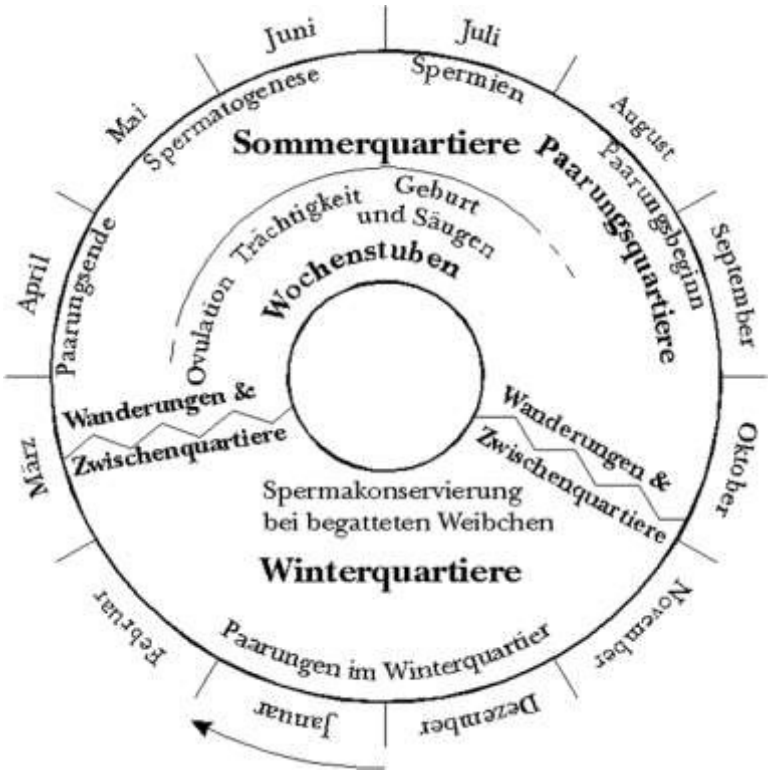
Durch diese Auflagen wird der Freistaat Sachsen verpflichtet, durch verkehrsbeschränkende Maßnahmen auf der Waldschlößchenbrücke das Risiko einer Kollision der Kleinen Hufeisennase mit Kraftfahrzeugen aufgrund des sog. »Falleneffekts« zu minimieren. Hierbei handelt es sich um die Verpflichtung zu einer Beschränkung der höchstzulässigen Geschwindigkeit auf 30 km/h auf der Waldschlößchenbrücke während der »Nachtzeiten« von April bis Oktober des Jahres. Damit wird nach Auffassung des Senats sichergestellt, dass selbst bei einer Überschreitung der höchstzulässigen Geschwindigkeit um 30 km/h kein Kollisionsrisiko der Kleinen Hufeisennase mit Fahrzeugen bestehe. Das dem Planfeststellungsbeschluss zugrunde liegende Gutachten gehe zu Recht davon aus, dass eine zunehmende Kollisionsgefahr der Kleinen Hufeisennase nur gegenüber schneller als 60 km/h fahrenden Fahrzeugen bestehe. Durch die zugleich verfügte Verpflichtung zur Installierung von 2 Geschwindigkeitsmessstellen auf der Waldschlößchenbrücke werde gewährleistet, dass die Geschwindigkeitsbeschränkung im Wesentlichen eingehalten werde. Die zeitliche Begrenzung des Tempolimits berücksichtige, dass die Kleine Hufeisennase erst bei völliger Dunkelheit ausschwärme und jage. Endgültig könne ein möglicher Fehler des Planfeststellungsbeschlusses etwa durch die Beauflagung von Bepflanzungen, die Leitstrukturen vorgäben und die Kleine Hufeisennase veranlassten, die Brücke unterhalb der Fahrbahn zu queren und damit das Kollisionsrisiko minderten, beseitigt werden. Möglich sei es auch, die Wirkung der in Betracht kommenden Brückenbeleuchtung näher zu untersuchen und die am besten geeigneten Beleuchtungsmittel festzulegen. Denkbar sei auch die Anordnung von Beobachtungsmaßnahmen (sog. Monitoring). Gerade bei wissenschaftlicher Unsicherheit über die Wirksamkeit von Schutz- und Kompensationsmaßnahmen könne es sich anbieten, durch ein Monitoring weitere Erkenntnisse über Beeinträchtigungen zu gewinnen und dementsprechend die Durchführung des Vorhabens zu steuern.

- Verkleinerung von Jagdhabitaten.

Vgl. BVerwG (Urteile vom 12.03.2008, Rn. 230 und 09.07.2008, Rn. 105).

Wie die Aufzählung der relevanten Störwirkungen zeigt, ergeben sich zwischen dem Tatbestand der Störung und dem Tatbestand der Beschädigung von Fortpflanzungs- und Ruhestätten fließende Übergänge: Werden Fledermäuse an ihren Quartieren oder im nahen Quartierumfeld gestört, können diese Quartiere u.U. nicht mehr ihre Funktion als Fortpflanzungs- und Ruhestätte erfüllen. Wird z.B. eine dauerhafte Aufgabe eines Quartiers einer Fledermaus-Wochenstube als Folge einer Störwirkung prognostiziert, folgt aus der Störwirkung eine Beschädigung.

Störungen sind dann erheblich (und führen zum Eintritt des Verbottatbestandes), sofern sich durch die Störung der Erhaltungszustand der lokalen Population verschlechtert. Wann die Störung insoweit erheblich ist, ist eine fachbiologische Frage und vom Sachverständigen im Einzelfall zu beurteilen.



Quelle: http://www.userpage.fu-berlin.de/~redel/examen/zyklus.gif

Abbildung 9-1: Lebenszyklus von Fledermäusen

9.2.3.4 Beschädigen und Zerstören von Fortpflanzungs- und Ruhestätten

Welche Habitate bzw. Habitatfunktionen eines Tieres unter den Schutz fallen, wird unterschiedlich ausgelegt. Sicher fallen unter den Schutz die Wochenstuben-, Übertagungs-, Balz- und Winterquartiere von Fledermäusen (BVerwG Beschluss 13.03.2008 Az. 9 VR 10/07 – A4, Jagdbergtunnel). Nahrungshabitate sind generell nicht geschützt (BVerwG 09.07.2008, Rn. 100). Überlegungen, die eng begrenzten Fortpflanzungs- und Ruhestätten aufzuweiten und diese insbesondere um Bereiche der Nahrungshabitate sowie die essenziellen Flugrouten zu ergänzen (z.B. verneinend: GELLERMANN & SCHREIBER

2007; funktional begründend dafür: KIEL 2007, LÜTTMANN 2007[125]), sind von den Gerichten bislang nicht übernommen worden. Bei der weitergehenden Prüfung nach § 44 Abs. 5 nimmt das BVerwG allerdings auf räumliche Zusammenhänge Bezug: „Was als Fortpflanzungs- oder Ruhestätte im Sinne des Art. 12 Abs. 1 Buchst. d FFH-RL anzusehen ist, ist eine in erster Linie naturschutzfachliche Frage, die je nach den Verhaltensweisen der verschiedenen Arten unterschiedlich beantwortet werden kann. Danach kann die Gesamtheit mehrerer im Dienst der Fortpflanzungs- oder Ruhefunktion stehender Plätze, die in räumlichem Zusammenhang einen Verbund bilden, als geschützte Fortpflanzungs- bzw. Ruhestätte im Sinne des Art. 12 Abs. 1 Buchst. d FFH-RL sein. Im deutschen Artenschutzrecht kommt dieser funktionale Gesichtspunkt bei der Anwendung des § 42 Abs. 5 Satz 2 und 3 BNatSchG [alte Fassung 2002] zum Tragen“ (BVerwG 9 A 39/07, Urteil vom 18.03.2009, Leitsatz 4 - A 44 Ratingen – Velbert). Im BVerwG-Beschluss 9 A 73.07 vom 13.05.2009 (BAB A4 Düren-Kerpen) wurde gebilligt, dass bei Beschädigung oder Zerstörung eines einzelnen Baumes der Verbotstatbestand des § 44 Abs. 1 Nr. 3 BNatSchG als nicht erfüllt angesehen werden müsse, solange die übrigen Bäume die Funktion de gerodeten Baumes mit übernehmen können. Verwiesen wurde darauf, dass die (bei diesem Urteil relevante) Bechsteinfledermaus nicht nur eine einzelne Baumhöhle, sondern einen Verbundkomplex von ca. 10 verschiedenen Höhlen nutze.

In Abhängigkeit von der Art und vom Einzelfall sind also unterschiedliche räumliche Abgrenzungen der Fortpflanzungs- und Ruhestätten vertretbar. Das BVerwG gibt diesbezüglich vor, Ziel müsse es sein, „die Teile eines Habitates zu schützen, denen für die Arterhaltung eine besondere Bedeutung zukommt“. Dazu gehörten „auch die Lebensstrukturen und am Standort vorhandenen besonderen Gegebenheiten, derer es bedarf, damit sich die Art erfolgreich reproduzieren kann“ (BVerwG Beschluss v. 13.03.2008 9 VR 10/07 – Jagdbergtunnel – Rn. 31). Fachlich besteht weitgehend Konsens darüber, dass die Habitate artbezogen nach funktionalen Zentren abgegrenzt werden sollen. In ihrem artenschutzrechtlichem Leitfaden schlägt die KOMMISSION (2007, Rn. 62) vor, zwei verschiedene Fallkonstellationen der Abgrenzung nach dem Raumanspruch der Arten zu unterscheiden. Bezogen auf Fledermäuse führt die KOMMISSION (2007) dies bedauerlicherweise nur für eine Art, den Kleinabendsegler *Nyctalus leisleri*, aus. Diese Art gehört zu den mittel- bis großräumig agierenden Arten, deren Aktionsraum zwischen Quartier und Jagdhabitaten wird mit durchschnittlich 1 – 9 km, bis zu 17 km angegeben wird. Für diese Art führt die KOMMISSION in ihrem Beispiel (KOMMISSION 2007, Rn. 62 ff.) in Bezug auf die Abgrenzung der geschützten Fortpflanzungs- und Ruhestätten nur die in den verschiedenen Lebensphasen genutzten Quartiere auf. Ein Beispiel für eine eher kleinräumig agierende Fledermausart findet sich im Leitfaden der KOMMISSION nicht. Im Analogieschluss könnte aber folgende Abgrenzung vorgenommen werden (vgl. KIEL 2007):

- Bechsteinfledermaus (kleinräumig agierende Art): der <u>Waldbereich</u> im Sommerlebensraum, in dem das Zentrum des Kolonieaktionsraumes mit den Baumquartieren liegt, die ggf. in schnellem Wechsel als (funktional zentrale) Wochenstubenquartiere dienen, sowie die Winterquartiere. Diese Abgrenzung schließt innerhalb des umgrenzten Raumes auch aktuell nicht besetzte, im Rahmen des arttypisch häufigen Quartierwechsels aber regelmäßig genutzte Höhlen ein.
- Mausohr (großräumig agierende Art): die <u>Funktionsträger</u> innerhalb des Gesamtlebensraumes: Wochenstube, Übertagungs-, Balz- und Winterquartiere.[126]

[125] Nach dieser Auffassung kann die Beschädigung von Nahrungshabitaten im Einzelfall trotzdem einen Verbotstatbestand auslösen, sofern ihr Fortfall die Funktionalität der Lebensstätte im räumlichen Zusammenhang in Frage stellt. Zu denken ist z. B. an tradierte Flugwege-Verbindungen bei Fledermäusen und Flächen, die in der Nähe des Wochenstubenquartiers von Fledermäusen z.B. als Nahrungshabitate und als Balzhabitate Mehrfachfunktion haben. Innerhalb des u.U. großräumigen Aktionsraumes einer Art sind allerdings auch bei dieser Betrachtungsweise nicht alle Habitate geschützt; die geschützten (essenziellen) Habitate von Arten wie bspw. des Mausohrs müssten spezifisch angesprochen werden.

[126] Bei Arten mit einem großen Raumanspruch bestehen die geschützten Fortpflanzungs- und Ruhestätten aus kleineren, abgrenzbaren Teillebensräumen innerhalb des weiträumigen Gesamtlebensraums (KOMMISSION 2007:

Nach fachlichen Gesichtspunkten muss auch die Frage beantwortet werden, unter welchen Umständen der Verbotseintritt zu bejahen ist, soweit nicht aktuell besetzte Fortpflanzungs- und Ruhestätten beeinträchtigt werden, sondern lediglich solche, die möglicherweise künftig bewohnt werden oder den Individuen als alternatives Angebot (Höhlenpotenzial, Quartierpotenzial) zur Verfügung stehen. Grundsätzlich gilt das Schutzregime des § 44 BNatSchG auch dann, wenn eine Lebensstätte außerhalb der Fortpflanzungs- und Ruhezeiten vorübergehend nicht genutzt wird, aber eine Nutzungstradition besteht (BVerwG 12.03.2008, Rn. 222). Gebäudebewohner und auch viele Fledermausarten mit Baumhöhlenquartieren nutzen über Jahre dieselben Baumquartiere als Wochenstuben oder als Paarungsquartiere (z.B. Abendsegler). Sofern die Nutzung stets derselben Höhle für die erfolgreiche Reproduktion der Art allerdings nicht erforderlich ist, „wenn die Höhlenbewohner zwar auf Spechthöhlen angewiesen sind, nicht aber notwendigerweise auf immer dieselben“ (BVerwG, Urteil vom 13.03.2008, Rn. 30-33)[127] und für die betroffenen Individuen Ausweichmöglichkeiten im nahen Umfeld bestehen (oder ggf. durch Maßnahmen geschaffen werden, s.u.)[128], kann sich die Fallbeurteilung anders darstellen (BVerwG, ebd., 12.03.2008, Rn. 222). Das BVerwG (Urteil vom 09.07.2008, Rn. 100) hatte verneint, dass potenziell genutzte Höhlen unter den Schutz fallen.[129] Unter den methodischen Rahmenbedingungen einer fledermauskundlichen Geländeerfassung dürfte es aber im Regelfall zweifelhaft bleiben, ob eine Baumhöhle im o.g. Sinne aktuell und/oder wiederkehrend genutzt wird, da die Frage z.B. durch Telemetrie, Abfangen vor der Höhle, Baumbesteigung mit Höhlenspiegelung, selten allein aufgrund von Beobachtungen z.B. des Ein- oder Ausschwärmens zu klären sein wird. Deswegen sind die tatsächliche Nutzung, Ausweichmöglichkeiten und die „rein potenzielle“ Nutzung schwierig gegeneinander abzugrenzen. Um Verfahrenssicherheit zu gewährleisten, können diese Strukturen/Funktionen ggf. vorsorglich als Bestandteil der geschützten Lebensstätten angenommen werden. Dieses Vorgehen empfiehlt sich vor allem, sofern sich andernfalls offensichtlich Engpasssituationen für das Überleben ergeben, also die Funktionalität der Lebensstätte insgesamt in Frage steht.

Nahrungshabitate und Wanderkorridore sowie sonstige räumliche Funktionsbeziehungen sind keine unmittelbaren Bestandteile von Fortpflanzungs- und Ruhestätten. Bei der Beurteilung der Schädigungstatbestände ist allerdings zu prüfen, ob die Beeinträchtigung derartiger Habitatbestandteile mittelbar zu einer Beschädigung der Fortpflanzungs- oder Ruhestätten d. h. zu einer erheblichen Verminderung oder einem Verlust der Fortpflanzungs- und Ruhefunktionen führen kann (RUNGE et al. 2010: 9).

9.2.4 Günstiger Erhaltungszustand

Im Rahmen der gebietsschutz- oder der artenschutzrechtlichen Prüfung eines Vorhabens ist ggf. zu beurteilen, wie der Erhaltungszustand einer Art ist resp. ob dieser durch das Vorhaben erheblich nachteilig beeinflusst wird. Bezüglich des artenschutzrechtlichen Störungsverbotes muss der Erhaltungszustand der „lokalen Population" beurteilt werden. Darüber hinaus ist im ggf. notwendigen, nachgelagerten artenschutzrechtlichen Ausnahmeverfahren nach § 45 Abs. 7 BNatSchG zu prüfen, ob sich der Erhaltungszustand der Populationen einer Art nicht verschlechtert. Im Rahmen der FFH-Verträglichkeitsprüfung von Vorhaben steht die Gebietspopulation im Zentrum der Untersuchungen und Bewertung.

Der günstige Erhaltungszustand kann beschrieben werden als eine Situation, in der eine Art in Qualität und Quantität zufriedenstellend gedeiht und gute Aussichten bestehen, dass sich dies in der Zukunft

---

Rn. 62). Dies wird am Beispiel des Kleinabendsegler N. leisleri im Leitfaden der KOMMISSION erläutert (ebd., S. 47).

[127] In den Urteilspassagen Rn. 31 – 33 werden aus Sicht der Autoren Aspekte des Tötens und der Beschädigung nicht transparent getrennt.

[128] Vgl. Urteil des BVerwG vom 21.06.2006 – 9 A 28.05 – Stralsund im Hinblick auf Ersatzhabitate für den Wachtelkönig.

[129] Vgl. dazu OVG Münster (Urteil vom 13.07.2006, 20 D 80/05.AK, Rn. 93, 94).

genauso gut fortsetzt (KOMMISSION 2007: Rn. 14). Zur Bewertung des aktuellen und des angestrebten Erhaltungszustands sind die in Art. 1 lit. i FFH-RL genannten Kriterien und Parameter (Populationsdynamik, Verbreitungsgebiet, genügend großer Lebensraum, langfristige Überlebensaussichten) heranzuziehen. Diese Parameter und Kriterien müssen artspezifisch ausgefüllt werden. Anhalte zur Konkretisierung und inhaltlichen Ausfüllung dieser Kriterien geben die vom Bundesamt für Naturschutz und den Landesnaturschutzbehörden entwickelten Schemata zur Bewertung des Erhaltungszustandes von Fledermaus-Arten nach Art. 11/17 FFH-RL (vgl. SCHNITTER et al. 2006, PAN & ILÖK 2010; aktuelle Versionen auf den Internetseiten des BfN und der Landesnaturschutzverwaltungen).

Eine Verschlechterung des Erhaltungszustandes ist immer dann anzunehmen, wenn sich der Fortpflanzungserfolg der lokalen Population (möglicherweise) deutlich verringert oder die Populationsgröße infolge der Vorhabensverwirklichung deutlich abnimmt. Bei Fledermausarten können u.U. bereits Beeinträchtigungen einzelner Individuen populationsrelevant sein, weil Fledermäuse oftmals in kleinen Populationen existieren und eine geringe Reproduktionsrate haben, so dass Verluste einzelner Individuen schnell auf die Population „durchschlagen“.

9.2.5 Lokale Population

Der Begriff der „lokalen“ Population ist weder in der FFH-RL noch im Bundesnaturschutzgesetz normiert. In der Begründung zur Novelle des $BNatSchG_{2007}$ (BT-Drs. 16/5100) bleibt die Definition abstrakt: „Eine lokale Population umfasst diejenigen (Teil-) Habitate und Aktivitätsbereiche der Individuen einer Art, die in einem für die Lebens(-raum)ansprüche der Art ausreichenden räumlich/funktionalen Zusammenhang stehen." KIEL (2007) definiert die lokale Population als „Gruppe von Individuen einer Art, die eine Fortpflanzungs- oder Überdauerungsgemeinschaft bilden und einen zusammenhängenden Raum gemeinsam bewohnen“. Lokale Populationen können dann allgemein als eine Gruppe von Individuen angesehen werden, die räumlich zusammengehören, so dass die Wahrscheinlichkeit der Paarung und Fortpflanzung zwischen allen Individuen gleich groß ist. Von benachbarten Populationen werden aber immer wieder Individuen hinzukommen oder aus der lokalen Population in andere abwandern. Dadurch (und vor allem aufgrund des Zusammmentreffens an den Schwarmquartieren) kommt es zu einem Genfluss zwischen lokalen Populationen. Dementsprechend sind die Übergänge fließend.

Bei Fledermäusen muss die Abgrenzung der lokalen Population artbezogen vorgenommen werden. In der Regel wird die Wochenstubenkolonie mit ihrem Quartier(system) und ihrem Aktionsraum um diese Quartiere herum die lokale Population bzw. den Bezugsraum bilden. Zudem ist bei Fledermäusen bei der Abgrenzung der lokalen Population(en) eine Unterscheidung zwischen den (mehr oder weniger geschlossenen) Wochenstubenkolonien im Sommer und den Überdauerungsgemeinschaften im Winterquartier sowie Schwarmpopulationen (an den Schwarmquartieren) notwendig.

Bei der Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*) bspw. umfasst die Wochenstubenkolonie im Durchschnitt 20 reproduzierende Weibchen, weitere nicht reproduzierende Weibchen und Jungtiere. Männchen leben einzeln im Umfeld verstreut. Die bis zu 50 Quartiere pro Wochenstubenkolonie werden kleinräumig in ca. 350 – 800 m Umkreis alle 2 – 3 Tage gewechselt (vgl. Abbildung 9-2), wobei die Verbände sich häufig aufteilen und zeitweise wieder zusammenfinden (so genannte „fission-fusion-society“, vgl. KERTH & KÖNIG 1999). Ein derartiger Verband nutzt eine Gesamtfläche an Jagdhabitaten von etwa 250 ha. Die meisten Jagdgebiete der Weibchen liegen in Waldflächen innerhalb von meist recht engen Radien von wenigen hundert bis tausend Meter um die Quartiere. Junge Weibchen bleiben ihren Geburtsverbänden für gewöhnlich treu, während junge Männchen abwandern.

Auch beim Braunen Langohr (*Plecotus auritus*) bestehen die Wochenstubenkolonien aus nah verwandten Tieren, in die auch der eigene weibliche Nachwuchs rekrutiert wird (vgl. z. B. VAN RIESEN & DOLCH 2003). Diese stellen invariable Reproduktionsgemeinschaften dar, die in sich geschlossen sind

und keinen Austausch mit benachbarten Kolonien haben. Räumlich benachbarte Gruppen leben somit weitgehend isoliert. Trotzdem können sich die Aktionsräume überlappen (vgl. Abbildung 9-3). Entsprechend ist wie bereits oben beschrieben die Abgrenzung gegenüber anderen Lokalpopulationen vielfach unscharf und daher nicht objektiv möglich. Die Abgrenzung der „lokalen Population(en)“ beim Braunen Langohr in dem in Abbildung 9-3 dargestellten Beispiel wird wegen der strengen Kolonietreue der Art entsprechend der Quartierwahl/Vergesellschaftung der Individuen in drei Lokalpopulationen vorgenommen werden.

Bei anderen Arten sind die Individuen weniger kolonietreu: bspw. kann sich eine Wochenstubenkolonie der siedlungsgebundenen Zwergfledermaus je nach (Quartier-) Situation auf mehrere Subkolonien aufteilen, die mehrere benachbarte Quartiere gleichzeitig nutzen (SIMON et al. 2004). Ein Austausch von Individuen zwischen Kolonien in verschiedenen Ortschaften (Kolonieverbund) findet nach diesen Autoren nur in Einzelfällen statt. Entsprechend kann die lokale Population pragmatisch nach der Ortslage abgegrenzt werden. In größeren Siedlungen können sich mehrere Wochenstuben befinden, die jeweils eigenständige lokale Population bilden (ebd.). Bei Waldarten könnte alternativ der Wald, der Lebensraum der aufgrund der räumlichen Nähe miteinander verbundenen drei Kolonien ist (vgl. Abbildung 9-3), zur Abgrenzung der lokalen Population herangezogen werden.

Im Winter versammeln sich die Individuen in Winterquartieren. Bei einigen Arten können sich sehr viele Individuen aus einem u.U. größeren Einzugsbereich in einem zentralen Winterquartier versammeln. Häufig sind Winterquartiere, die von jeweils wenigen Individuen einer Art aufgesucht werden. Die lokale Überwinterungsgemeinschaft ist entweder das einzelne Winterquartier oder es besteht aus den Individuen der in einem räumlichen Zusammenhang liegenden Winterquartiere.

Abbildung 9-2: Quartierwechselverhalten bei der Bechsteinfledermaus (aus: DIETZ & PIR 2005)

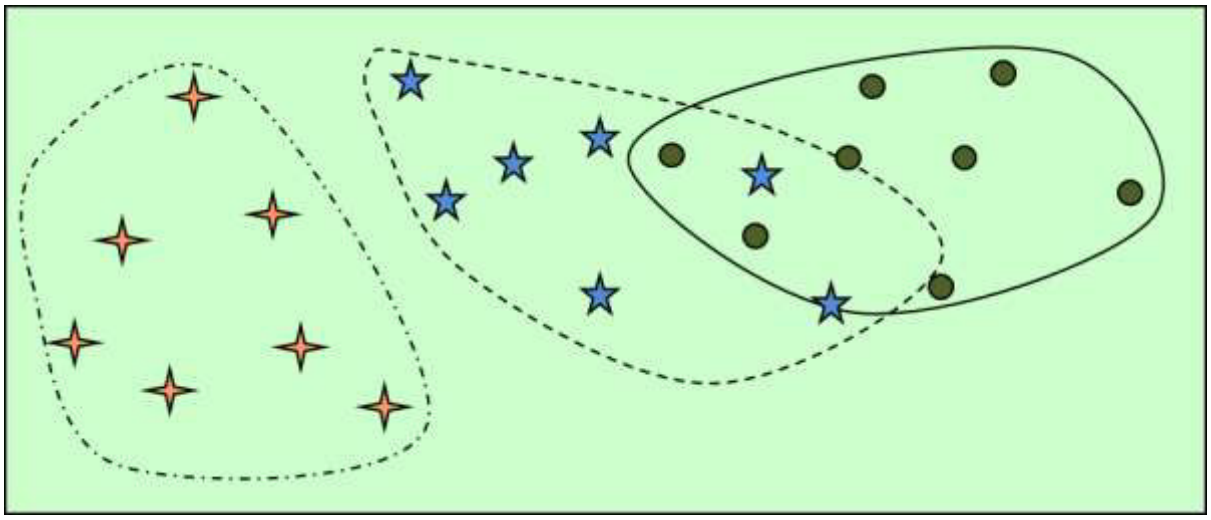


Abbildung 9-3: Schematisierte Darstellung des Quartiersystems von drei benachbarten Kolonien des Braunen Langohrs (*Plecotus auritus*). Der gemeinsam besiedelte Wald ist grün dargestellt, die von der jeweiligen Wochenstubenkolonie genutzten Quartiere mit farbigen Symbolen. (Aus: B. LEHMANN, Büro *MYOTIS*, unveröff.)

9.2.6 Erhalt der ökologischen Funktion der Fortpflanzungs- und Ruhestätten im räumlichen Zusammenhang

Nach § 44 Abs. 5 BNatSchG löst ein genehmigungspflichtiges Vorhaben die Verbotstatbestände des § 44 Abs. 1 Nr. 3 BNatSchG dann nicht aus, wenn die ökologische Funktion der betroffenen Fortpflanzungs- und Ruhestätten trotz Eingriff in ihrem räumlichen Zusammenhang weiterhin erfüllt wird.

Bei Fledermausarten, bei denen die Fortpflanzung in Kolonien organisiert ist, wird der räumliche Zusammenhang durch die Aktionsräume der reproduzierenden Individuen definiert. Der Erhalt der ökologischen Funktion der Fortpflanzungsstätte hängt dementsprechend davon ab, ob die Mitglieder der Wochenstubenkolonie weiterhin innerhalb ihrer „normalen“ Aktionsradien (Bechsteinfledermaus und Braunes Langohr < 1 – max. 3,5 km, Mopsfledermaus bis zu 4 – 5 km, Männchen eher quartiernah, Große Bartfledermaus 7 – 11 km, Großes Mausohr 5 – 15 km) die von ihnen benötigten Ressourcen (Quartiere, Nahrungshabitate, u.U. Leitstrukturen zwischen Teilhabitaten) vorfinden.

Bei Fledermäusen empfiehlt sich deswegen, den räumlichen Zusammenhang – je nach Kontext - mit dem Aktionsbereich der Wochenstubenkolonie bzw. mit dem Aktionsbereich der von dem jeweiligen Eingriff betroffenen Gruppe von Individuen dieser Kolonie gleich zu setzen. Diese Betrachtung darf sich auch auf die Aussage des Bundesverwaltungsgerichtes im Urteil vom 09.07.2008 – Bad Oeynhausen – stützen: „Der Sache nach wird damit [mit der Regelung des Zerstörungsverbotes in der Novelle des $BNatSchG_{2007}$] in eingeschränktem Umfang eine populationsbezogene Erheblichkeitsschwelle eingeführt“ (Rn. 98).

9.2.7 Fachliche Aspekte der naturschutzrechtlichen Ausnahmemöglichkeiten von den Verboten nach § 45 Abs. 7 BNatSchG

Sofern ein Verstoß gegen die Verbotstatbestände für europäisch geschützte Arten nicht abwendbar ist, schließt sich die Prüfung der in § 45 Abs. 7 BNatSchG genannten Ausnahmemöglichkeiten an. Bezüglich der Inhalte und fachlichen Erarbeitungsschritte wird auf die Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau (RLBP) (BMVBS 2011) verwiesen sowie auf das zugrundeliegende Gutachten (BOSCH et al. 2009).

Folgendes soll hier aber explizit hervorgehoben werden: Voraussetzung für die Beanspruchung einer Ausnahme ist,

- dass sich der Erhaltungszustand der lokalen, vom Vorhaben betroffenen Populationen nicht negativ verändert,
- dass die Eingriffsfolgen ohne nachteiligen Einfluss auf den Erhaltungszustand der funktional verbundenen Populationen bleiben, etwa weil diese Populationen den Verlust ohne weiteres verkraften oder weil für diese Populationen Maßnahmen zur Herstellung eines günstigen Erhaltungszustandes (Risikomanagement, Nachkontrollen) eingeleitet sind und diese durch den Eingriff auch nicht beeinträchtigt werden.

Werden also Maßnahmen ergriffen, die den Erhaltungszustand der Fledermauskolonien positiv beeinflussen und geschieht dies frühzeitig vor dem Eingriff, erweitert dies die Handlungsoptionen für einen Vorhabenträger. Schließlich ist in vielen Fällen anzunehmen, dass frühzeitig ergriffene Maßnahmen zur Optimierung der Habitate der Fledermäuse, z.B. die Sanierung eines Fledermausquartieres, den Erhaltungszustand stark ins Positive steuern helfen.

9.3 Maßnahmen zur Vermeidung von erheblichen Beeinträchtigungen sowie zur Verhinderung des Verbotseintritts

Gegebenenfalls lassen sich die (erheblichen) Beeinträchtigungen von Fledermausarten durch geeignete Maßnahmen abwenden. Werden Arten des Anhang II FFH-RL (nach § 34 BNatSchG) beeinträchtigt oder führen der Bau oder der Betrieb einer Straße zum Eintritt der Verbote nach § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG, kommen Vermeidungsmaßnahmen in Betracht. Zu den Vermeidungsmaßnahmen zählen z.B. Tunnel, die helfen, Habitate der geschützten Arten zu schonen, Querungshilfen und Leit- und Sperreinrichtungen für Fledermäuse als Maßnahmen zur Erhaltung des Habitatverbundes und gegen Kollisionen (vgl. BVerwG, Urteil vom 09.07.2008, Rn. 94). Vermeidungsmaßnahmen sind also meist bauwerksbezogene, auch temporär befristete Vorkehrungen, die dafür sorgen, dass sich bestimmte negative (Teil-) Wirkungen des Eingriffes nicht entfalten können und die projektbedingte Einwirkung nicht erheblich ist. Im Kontext des FFH-Gebietsschutzes muss der Erfolg der Maßnahmen nach fachlichen Gesichtspunkten sicher sein, die Prognosesicherheit muss sehr hoch (mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit) bzw. die Maßnahmenwirksamkeit allgemein belegt sein.

Zur Abwendung artenschutzrechtlicher Verbote kommen weiterhin sogenannte vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen in Betracht (§ 44 Abs. 5 BNatSchG), vgl. hierzu in der Richtlinie RLBP (BMVBS 2011, BOSCH et al. 2009). Diese Maßnahmen entsprechen den von der Europäischen Kommission eingeführten „Maßnahmen zur Sicherung der kontinuierlichen ökologischen Funktionalität von Fortpflanzungs- und Ruhestätten“ („CEF-Maßnahmen“), vgl. KOMMISSION 2007: Rn. 73 ff.).[130] In Betracht kommen:

- kurzfristige Bereitstellung von Nahrungshabitaten, z.B. durch Schaffung insektenreicher Flachgewässer,
- kurzfristige Bereitstellung von Quartierhabitaten, z.B. durch Schutz und Sanierung vorhandener, aber abgängiger Siedlungsquartiere.

Im Ergebnis müssen diese Maßnahmen, sollen sie ihren Zweck erfüllen, kurzfristig[131] Ersatz bereitstellen für die absehbar Verlust gehenden Habitate bzw. Ressourcen, vgl. in der RLBP, BMVBS 2011 und BOSCH et al. 2009). Hat eine Fortpflanzungs- oder Ruhestätte nach Durchführung dieser Maßnahmen mindestens die gleiche (oder eine größere) Ausdehnung und eine gleiche (oder bessere) Qualität für die zu schützende Art, so liegt keine Beeinträchtigung der Funktion, Qualität oder Integrität der betreffenden Stätte vor (KOMMISSION 2007: Rn. 75). Nach den Vorstellungen der europäischen KOMMISSION im artenschutzrechtlichen Leitfaden (2007) muss eine Stabilisierung der betroffenen Population nachgewiesen werden, bevor die Beeinträchtigung stattfindet.[132]

Welche Anforderungen an die Funktionserfüllung bzw. ihren Nachweis im Einzelnen bestehen ist dem Leitfaden der KOMMISSION nicht zu entnehmen. Sicherlich sind Maßnahmen ausreichend (nach MKUNLV 2010):

---

[130] CEF-Maßnahmen: “measures that ensure the continued ecological functionality of a breeding site/resting place” (KOMMISSION 2007, englische Sprachfassung, Rn. 73 ff.). In der deutschen Übersetzung des artenschutzrechtlichen Leitfadens der KOMMISSION als „funktionserhaltende Maßnahmen“ bezeichnet. (KOMMISSION 2007, engl. Sprachfass., Rn. 73 ff.).

[131] Spätestens bis zum Eintritt der Beeinträchtigung, die den artenschutzrechtlichen Verbotstatbestand auslösen würde.

[132] Im Falle des grenzüberschreitenden Gewerbegebietes Aachen/Heerlen („Avantis“) beklagte die KOMMISSION, dass rechtzeitige Maßnahmen zum Ausgleich der Beeinträchtigung bzw. Zerstörung der Fortpflanzungs- und Ruhestätten einer Hamsterpopulation unterblieben waren, obwohl eine vorgezogene Maßnahmendurchführung möglich gewesen wäre. „Ausreichende ‚Kompensationsmaßnahmen' müssen eine Stabilisierung der Hamsterpopulation im ‚Kompensationsgebiet' nachweisen, bevor die Beeinträchtigung und Zerstörung der optimalen Plätze im Industriegebiet beginnt" (EU-KOMMISSION 2000a, S. 5, in: THUM & WÄTZOLD 2007).

- wenn die neu geschaffene Lebensstätte mit allen notwendigen Habitatelementen und -strukturen aufgrund der Durchführung mindestens die gleiche Ausdehnung und eine gleiche oder bessere Qualität hat UND
- wenn die zeitnahe Besiedlung der neu geschaffenen Lebensstätte unter Beachtung der aktuellen fachwissenschaftlichen Erkenntnisse mit einer hohen Prognosesicherheit durch Referenzbeispiele oder fachgutachterliches Votum attestiert werden kann ODER
  wenn die betreffende Art die Lebensstätte nachweislich angenommen hat.

Für eine ausführliche Darstellung bezüglich der anzulegenden Kriterien und geeigneter vorgezogener Ausgleichsmaßnahmen für Fledermäuse wird auf die Forschungsberichte von RUNGE et al. (2010) und MKUNLV (2013) verwiesen.

9.4 Umgang mit Prognoseunsicherheiten: Risikomanagement

Auslöser für ein Risikomanagement sind (durch projektbezogene Untersuchungen nicht ausräumbare) Prognoseunsicherheiten entweder bei der Beurteilung der Projektwirkungen oder der Sicherheit der Gegenmaßnahmen. Erkennt die Planfeststellungsbehörde pflichtgemäß (d.h. erkennt auch im Vorlauf deren Gutachter), dass bestimmte Maßnahmen risikobehaftet sind, muss sie ein „Risikomanagement" vorsehen, welches sie in der Form von Nebenbestimmungen festsetzt (BVerwG, Urteil vom 17.01.2007, 9 A 20/05; Rn. 37 - A143 Westumfahrung Halle). Bezügl. typischer näherer Festlegungen z.B. OVG Bautzen[133].

Das gilt für die Bewältigung der Eingriffsregelung, für den Artenschutz und für die FFH-Verträglichkeitsprüfung.

Im Zusammenhang mit erforderlichen Maßnahmen für die Fledermausarten des Anhangs II FFH-RL und Anhangs IV FFH-RL besteht angesichts der in diesem Bericht sowie von anderen Autoren betonten Defizite an wissenschaftlichen Grundlagen eine besondere Veranlassung, im Rahmen der Projektzulassung ein Risikomanagement festzulegen. Unter Risikomanagement versteht man den planvollen Umgang mit Risiken. Risikomanagement umfasst ausgehend von dem – FFH-gebietsschutzrechtlich wie artenschutzrechtlich relevanten - Ziel „Günstiger Erhaltungszustand" ein Monitoring

- der Maßnahmen bzw. der noch ein Risiko begründenden Elemente UND
- der vom Eingriff und / oder den Maßnahmen betroffenen (Teil-) Population vor, während und nach Realisierung des Projektes bzw. von Projektbestandteilen UND

[133] OVG Bautzen, Beschluss v. 12.11.2007 -5 BS 336/07 - [Waldschlößchenbrücke]: Mit Beschluss vom 12.11.2007 - 5 BS 336/07 - hat das OVG Bautzen die Entscheidung des Verwaltungsgerichtes Dresden vom 9.08.2007 - 3 K 712/07 – abgeändert und insbesondere Auflagen zum Schutz der Kleinen Hufeisennase verfügt. (Im Hauptsacheverfahren wies das Verwaltungsgericht Dresden mit Urteil v. 30.10.2008 - 3 K 923/04 - dann die Klagen zurück). In dem Beschwerdeverfahren stritten die Beteiligten im Wesentlichen über eine mögliche Gefährdung der streng geschützten Fledermausart Kleine Hufeisennase durch die beabsichtigte Errichtung und Nutzung der Waldschlößchenbrücke. Insbesondere wurde eine Gefährdung aufgrund des sog. »Falleneffekts« geltend gemacht. Die Fledermäuse würden durch die bei Dunkelheit um die Beleuchtung der Brücke angelockten Insekten zu deren Jagd animiert. Für diesen Fall bestehe eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass sich die Insekten fallen ließen, um den Fledermäusen zu entkommen. Folge hiervon sei, dass die Kleine Hufeisennase dann mit vorbeifahrenden Fahrzeugen kollidiere. Das Gericht kam zu dem Schluss, dass derzeit nicht abschließend beurteilt werden könne, ob eine Gefährdung der Kleinen Hufeisennase im Fall der Jagd nach Insekten, welche durch die Brückenbeleuchtung angezogen werden, vorliege. Dieser etwaigen Gefährdung könne jedoch aller Voraussicht nach durch eine Nachbesserung des den Bau der Brücke erlaubenden Planfeststellungsbeschlusses begegnet werden. Bis dahin könne eine etwaige Gefährdung durch die vom Gericht verfügten Auflagen vermieden werden. Durch diese Auflagen wird der Freistaat Sachsen verpflichtet, durch verkehrsbeschränkende Maßnahmen auf der Waldschlößchenbrücke das Risiko einer Kollision der Kleinen Hufeisennase mit Kraftfahrzeugen aufgrund des sog. »Falleneffekts« zu minimieren. Hierbei handelt es sich um die Verpflichtung zu einer Beschränkung der höchstzulässigen Geschwindigkeit auf 30 km/h auf der Waldschlößchenbrücke während der »Nachtzeiten« von April bis Oktober des Jahres. Damit wird nach Auffassung des Senats sichergestellt, dass selbst bei einer Überschreitung der höchstzulässigen Geschwindigkeit um 30 km/h kein Kollisionsrisiko der Kleinen Hufeisennase mit Fahrzeugen bestehe. Das dem Planfeststellungsbeschluss zugrunde liegende Gutachten gehe zu Recht davon aus, dass eine zunehmende Kollisionsgefahr der Kleinen Hufeisennase nur gegenüber schneller als 60 km/h fahrenden Fahrzeugen bestehe. Durch die zugleich verfügte Verpflichtung zur Installierung von 2 Geschwindigkeitsmessstellen auf der Waldschlößchenbrücke werde gewährleistet, dass die Geschwindigkeitsbeschränkung im Wesentlichen eingehalten werde. Die zeitliche Begrenzung des Tempolimits berücksichtige, dass die Kleine Hufeisennase erst bei völliger Dunkelheit ausschwärme und jage. Endgültig könne ein möglicher Fehler des Planfeststellungsbeschlusses etwa durch die Beauflagung von Bepflanzungen, die Leitstrukturen vorgäben und die Kleine Hufeisennase veranlassten, die Brücke unterhalb der Fahrbahn zu queren und damit das Kollisionsrisiko minderten, beseitigt werden. Möglich sei es auch, die Wirkung der in Betracht kommenden Brückenbeleuchtung näher zu untersuchen und die am besten geeigneten Beleuchtungsmittel festzulegen. Denkbar sei auch die Anordnung von Beobachtungsmaßnahmen (sog. Monitoring). Gerade bei wissenschaftlicher Unsicherheit über die Wirksamkeit von Schutz- und Kompensationsmaßnahmen könne es sich anbieten, durch ein Monitoring weitere Erkenntnisse über Beeinträchtigungen zu gewinnen und dementsprechend die Durchführung des Vorhabens zu steuern.

- Korrekturen, im Fall des Erkennens von Fehlentwicklungen bzw eines ausbleibenden Erfolgs.

Vgl. hierzu weitere Angaben in der RLBP (BMVBS 2011, BOSCH et al. 2009).

Im Zulassungsverfahren ist für den letzten Fall zu regeln, welche ergänzenden Korrektur- und Vorsorgemaßnahmen ggf. zu ergreifen sind, wenn das Monitoring inklusive Erfolgskontrolle die Prognose nicht bestätigen sollte (s. MKULNV 2010).

10 Synthese

10.1 Intention und Belastbarkeit der Synthese, Beurteilung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes

Im Folgenden werden die im Forschungsprojekt näher untersuchten Wirkungen und Wirkungsketten, die durch Bau, Anlage und Betrieb von Straßen entstehen und Beeinträchtigungen hervorrufen können und die verschiedenen in Betracht kommenden Gegenmaßnahmen dargestellt. Das geschieht im Kontext der planerisch zu bewältigenden rechtlichen Verpflichtungen (Kap. 9), die Fledermauspopulation(en) eines FFH-Gebietes nicht erheblich zu beeinträchtigen resp. in einem „günstigen Erhaltungszustand“ zu bewahren bzw. die Fledermäuse im Sinne der artenschutzrechtlichen Bestimmungen nicht zu beeinträchtigen (Töten, Beschädigen, Stören). Sowohl die Beurteilung der Beeinträchtigungen wie auch die Maßnahmen zur Vermeidung von Beeinträchtigungen sollen den Anspruch des besten wissenschaftlichen Erkenntnisstandes erfüllen.

Diesem Anspruch begegnen die bis heute vorhandenen Kenntnisse über die „Straßenökologie“ von Fledermäusen, die ausgesprochen defizitär sind. Zerschneidungswirkungen von Verkehrswegen auf Fledermäuse wurden nur im Einzelfall wissenschaftlich untersucht (s. Kap. 1). Es war bislang auch nicht empirisch untersucht, ob z. B. der Jagderfolg der Arten durch verkehrsbedingten Schall beeinträchtigt werden kann, obwohl der Charakter des durch den Verkehr indizierten Schalls dies indizierte (POHLE 1998). Insoweit waren auch in Bezug auf die Planung von Straßen und Schienenwegen keine Wirkungskorridore / Wirkungsschwellen in Bezug auf die Fledermäuse ableitbar (HERRMANN 2001, RECK et al. 2001, ROLL 2004). Eine im Jahr 2007 angestellte Recherche der bislang publizierten empirischen Arbeiten über die Wirksamkeit von Querungshilfen für Fledermäuse über Straßen durch KEELEY (2008) ergab lediglich sechs einschlägige Ergebnisse (BACH et al. 2004, BACH & MÜLLER-STIEß 2005, FUHRMANN & KIEFER 1996, RACEY 2006[134], SIEMERS et al. 2007 – unveröff. Zwischenbericht[135], WRAY et al. 2006).[136] Die Beeinträchtigungsprognose und die Prognose der Wirksamkeit von Vermeidungsmaßnahmen im Rahmen der Planung von Straßen- und Schienenverkehrswegen stützt sich dementsprechend notgedrungen fast ausschließlich auf Expertenurteile (AG QUERUNGSHILFEN 2003, LIMPENS et al. 2005, BRINKMANN et al. 2008, FGSV 2008), weswegen der britische BAT CONSERVATION TRUST (BCT 2007b) und ALTRINGHAM (2008) praktisch alle denkbaren Vermeidungsmaßnahmen als möglicherweise wirksam, aber bislang nicht erprobt, einstuften.

Vor diesem Hintergrund und den zugleich drängenden Fragen der Planungspraxis waren die Forschungsfragen breit gestreut. Zeitaufwändige populationsbezogene Fragestellungen und Untersuchungsansätze konnten insofern von vornherein nur verfolgt werden, soweit auf Grunddaten vorhandener, längerfristig angelegter Untersuchungen zurückgegriffen werden konnte. Diese Möglichkeiten bestanden in den Bechsteinfledermaus-Kolonien an der Autobahn A3 bei Würzburg (G. KERTH und Mitarbeiter) und ansatzweise in Bechsteinfledermaus-Kolonien in der Eifel an den Autobahnen A60 und A1 (M. WEISHAAR und Mitarbeiter). Andere Fragestellungen, zu den Störwirkungen von Lärm und Lichtimmissionen, konnten durch die Laborexperimente von B. SIEMERS und A. SCHAUB in vergleichsweise kurzer Zeit einer grundsätzlichen Klärung zugeführt werden. Die Geländeuntersuchungen wurden nach Möglichkeit methodisch so angelegt, dass z.B. durch paarige Stichproben und ausreichende Stichprobengröße die typischen Unsicherheiten gering blieben. Einige Untersuchungen, z.B. die zuletzt angestellten Untersuchungen zur Wirksamkeit von Leit- und Sperreinrichtungen haben dagegen den Cha-

[134] Darin enthaltene Fallstudien.

[135] Hierbei handelt es sich um unseren Zwischenbericht 03/2007.

[136] Hinzuzufügen ist die Arbeit von BIEDERMANN (2008) bzw. NACHTaktiv & SWILD (2008).

rakter von Fallstudien: Hier blieb die Stichprobenmenge zwangsläufig gering, weil kaum geeignete Probeflächen zu finden waren und weil die geringe Dichte von Fledermäusen an einer bestimmten Stelle an einer Straße auch nur geringe Fallzahlen ermöglichte. Da diese Untersuchungen, insbesondere die Vorauswahl der Probeflächen bzw. die hierzu notwendigen Voruntersuchungen (zu den Schwierigkeiten s. z.B. Kap. 8.3), extrem aufwändig sind, war nicht zu vermeiden, dass die Stichprobengröße dieser Untersuchungsansätze gering geblieben ist.

Obwohl in jüngerer Zeit praktisch bei jedem Verkehrsinfrastrukturvorhaben fledermauskundliche Geländeuntersuchungen angestellt werden, konnten die Ergebnisse dieser Studien nur selten genutzt werden, um die Datenbasis zu verbreitern. Solche Studien werden in der Regel mit gänzlich anderen Fragestellungen angestellt und die Untersuchungen erfolgen bisher in den wenigsten Fällen nach standardisierten Methoden (s. Kap. 8). Dass diesen Aspekten bislang auch in wissenschaftlichen Studien z.T. geringe Aufmerksamkeit gegeben wird, erschwert die projektübergreifende Auswertungen (vgl. BUWAL 2005).

Trotz der an manchen Stellen beschriebenen Einschränkungen (vgl. in den Kap. 2 bis 8) verdichten die Forschungsergebnisse des vorliegenden Projektes das verfügbare Wissen an wichtigen Stellen. Zu einigen Themen, z.B. den Wirkungen von Lärm und Licht, baubedingten Wirkungen und der Wirksamkeit von Wänden und Zäunen als Leit- und Sperreinrichtung werden erstmalig Daten präsentiert. Die Ergebnisse v.a. der Geländestudien zeigen nach unserer Einschätzung Tendenzen, müssen aber dringend durch weitere Untersuchungen und eine deutlich verbreiterte Datenbasis weiter abgesichert werden. Deswegen muss der Anwender die Daten und Aussagen vorliegender Berichte sorgfältig nutzen und sich der Grenzen der Verallgemeinerbarkeit bewusst bleiben.

10.2 Methodischer Fehlerquellen im Rahmen der Bewertung von Flächenverlusten und Funktionsbeeinträchtigungen

Auf den Umstand, dass Fledermausuntersuchungen in den wenigsten Fällen nach standardisierten Methoden erfolgen, wurde bereits hingewiesen. Jedoch muss dies mit anderer Blickrichtung, nämlich auf die der Bewertung von Beeinträchtigungen durch den Bau von Straßen und Schienenwegen noch einmal aufgegriffen werden.

Alle, für den Erhaltungszustand einer Art in einem FFH-Gebiet maßgeblichen Bestandteile, Habitate und Funktionen sind vor nachteiligen Veränderungen geschützt. Diese maßgeblichen Bestandteile der Fledermauslebensräume bzw. der Gebiete müssen mittels Geländemethoden abgegrenzt werden. Bezüglich der Fledermäuse sind dies neben den Quartieren (Sommer-, Wochenstuben-, Zwischen-, Balz- und Winterquartiere) die essenziellen Flugwege sowie die überlebenswichtigen (essenziellen) Nahrungshabitate. Ein bedeutsames Jagdhabitat zeichnet sich in der Regel durch eine arttypisch hohe Dichte jagender Individuen aus bzw. wird regelmäßig von den Kolonietieren aufgesucht.

Zur Abschätzung der Aktivitätsdichte kommen Detektormethoden zum Einsatz sowie Netzfänge zur Feststellung der Arten und des Reproduktionsstatus. Eine einheitliche Methodik innerhalb derselben Untersuchung (z.B. Punkt-Stop-Methoden mit denselben Detektoren[137], mehrfach wiederholt nach einem weitgehend standardisiertem Erfassungsschema durchgeführt) erlaubt einen Vergleich unterschiedlicher Probeflächen innerhalb derselben Untersuchung in Bezug auf die Eignung als Fledermaus-Habitat. Ein weitergehender Vergleich zwischen verschiedenen Habitattypen oder mit anderen Untersuchungen aus anderen Gebieten ist aber angesichts der herrschenden geringen methodischen Standardisierung problematisch.

[137] In der Gelände-Fledermauskunde kamen bislang schon aus Kostengründen nur selten kalibrierte Erfassungsgeräte zur Anwendung.

Für die Abgrenzungen der Habitate wird in neuerer Zeit zunehmend auf Telemetrieuntersuchungen gesetzt. Zur Auswertung telemetrischer Fragestellungen werden die Minimum-Convex-Polygon (MCP) – Methode, Kernel-Methoden oder die direkte „Beobachtung“ (homing-in-on-the-animal) als Methoden genutzt (vgl. KENWARD 2001). Alle Telemetrieergebnisse sind - je nach Auswertemethode - mit spezifischen Ungenauigkeiten verbunden. Die MCP-Methode differenziert bspw. bei der Berechnung von Aufenthaltsgebieten nicht zwischen verschiedenen Nutzungsgraden. Alle Methoden erfordern ein sehr gutes methodisches Wissen, damit biologisch aussagekräftige Analysen heraus kommen (vgl. in Kap. 4). Oft erfüllen Untersuchungen im Vorfeld einer Straßenplanung z.B. bezüglich der Datenmenge für einzelne Individuen oder bezüglich der Repräsentativität der Stichprobe (zu wenige Individuen, vgl. z.B. AEBISCHER et al. 1993) nicht die Grundbedingungen für abgesicherte Aussagen über Aktionsräume und Aktionsraumgrenzen zur Anwendung in der Planung: Die durch Telemetrie ermittelten Jagdgebietsgrößen und die Grenzen sind zwar untereinander gut vergleichbar, variieren aber stark und haben als Zahlenwerte keine absolute Aussagekraft. Entsprechend dürfen diese Methodengrenzen und Fehlerspannen bei der Heranziehung von Telemetriedaten z.B. zur Bilanzierung von Flächenverlusten im Rahmen der FFH-VP vor dem Hintergrund der scharfen Rechtsfolgen einer erheblichen Beeinträchtigung maßgeblicher Habitate durch Flächenverlust nicht außer Acht bleiben.

10.3 Wirkungen von Bau, Anlage und Betrieb von Straßen und Bahntrassen auf Fledermäuse

Tabelle 10-1 zeigt die Wirkfaktoren und deren mögliche Auswirkungen für Fledermäuse an Straßen und Bahntrassen in Übersicht. Die von Straßen und Bahntrassen ausgehenden Wirkungen werden unterteilt in baubedingte, anlagenbedingte und betriebsbedingte Faktoren (RICHARZ 2000, ROLL 2004). Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Wirkungen mit steigender Dimension des Bauwerks und der Frequentierung und Geschwindigkeit des Verkehrs zunehmen (vgl. GLITZNER et al. 1999, AG QUERUNGSHILFEN 2003, ROLL 2004). Dies ist bezüglich der Fledermäuse jedoch nicht in jedem Einzelfall bzw. jeder Wirkung zutreffend, vgl. im Folgenden.

10.3.1 Baubedingte / temporäre Störungen und Entzug von Habitaten

Baubedingte Faktoren, d.h. Störungen, die in Bezug auf die Aktionsräume der meisten Arten kleinflächig bleiben und in der Regel temporär während der Bauphase auftreten und den Entzug von Habitaten durch den Baubetrieb zur Folge haben könnten, konnten wir im Rahmen unserer Untersuchungen nur ansatzweise studieren: Wirkungen des Neubaues konnten WEISHAAR und Mitarbeiter während der Herstellung der Autobahn A60 in der Eifel (2002 – 2004) im Bereich der Bechsteinfledermaus-Kolonien im Vorfeld der in Kap. 4.4 dargestellten Untersuchungen beobachten. Diese Autobahn quert den Aktionsraum einiger Mitglieder der in Kap. 4.4 beschriebenen Bechsteinfledermaus-Kolonien, lässt die (bis 2004 untersuchten) Quartierwälder aber unbeeinträchtigt. Ab Ende 2007 konnten G. KERTH und M. MELBER die Folgen des Ausbaues der Autobahn A3 von vier auf sechs Fahrstreifen über mehr als eine Saison untersuchen (Kap. 5). Hier waren v. a. die Reaktionen der beidseitig der A3 beheimateten Bechsteinfledermäuse und Mopsfledermäuse im Fokus.

Tabelle 10-1: Wirkfaktoren und mögliche Auswirkungen auf die Fledermausfauna an Straßen und Bahntrassen

	Wirkfaktoren	**Mögliche Auswirkung auf die Fledermausfauna**
Bau	▪ Fällarbeiten ▪ **(vorübergehende) Flächeninanspruchnahme durch Baustelleneinrichtung, Baustraßen usw.** ▪ **Lärm- und Lichtemission durch Baubetrieb in der Nacht oder in der Nähe von Quartieren** ▪ Erschütterungen durch Baubetrieb (Bohrungen, Sprengungen etc.)	⇒ Tierverluste in Quartierbäumen, Verluste vorhandener und potenzieller Quartiere ⇒ Zerstörung unterirdischer Quartiere, Beunruhigung ⇒ Störung; Entzug von essenziellen Habitaten ⇒ Entzug / Graduelle Beeinträchtigung von essenziellen Habitaten
Anlage	▪ Flächeninanspruchnahme ▪ **Zerschneidung, Querungshindernisse**	⇒ Verlust von vorhandenen und potenziellen Quartieren, Jagdhabitaten, Leitstrukturen durch Entfernen der Vegetation ⇒ „Schneiseneffekte“, Barriereeffekte
Betrieb	▪ **Verkehr (Kollisionen,** Sogeffekt, Luftverwirbelung**)** ▪ **Schallemission** ▪ **Lichtemission (z.B. Straßenbeleuchtung, Fahrlicht, Lichtblitze der Oberleitung von Bahnen)**	⇒ Verkehrstod ⇒ Störung (Vertreibungseffekte) ⇒ Barriereeffekte

Wirkungen, die im Forschungsvorhaben näher betrachtet wurden, sind fett hervorgehoben.

10.3.1.1 Störwirkungen

Die Ausbaumaßnahmen an der A3 fanden unter Verkehr statt. Sie verursachten den Verlust an Bäumen und der Strauchschicht am Waldmantel direkt an der Trasse für die Fahrbahnverbreiterung. Außerdem wurden die Waldwege in den Aufenthaltsgebieten der beiden Kolonien während des Tages und während der Nacht stark durch Baufahrzeuge befahren. Trotz dieser Wirkungen ergaben sich keine Hinweise, dass die im Wald jagenden Bechstein- und Mopsfledermäuse auf den mit den nächtlichen Baustellenbetrieb einhergehenden Störungen (Lärm- und Lichtemissionen) mit der Verlegung ihrer Jagdgebiete oder durch Aufgabe von Quartieren reagierten. Es konnte bei beiden untersuchten Bechsteinfledermaus-Kolonien eine geringfügige Verlagerung der Quartiernutzung weg von der Autobahn A3 beobachtet werden und ein Einfluss der Bautätigkeiten konnte deswegen nicht völlig ausgeschlossen werden. Jedoch waren andere Faktoren, hier das Abhängen eines autobahnnahen Fledermauskastens, der einer lokalen Kolonie regelmäßig als Quartier diente, als Verursacher genauso wahrscheinlich. Einflüsse auf die Gebietsnutzung durch Mopsfledermäuse wurden nicht festgestellt.

Die Bechsteinfledermaus gilt als besonders störempfindliche Waldart. Deswegen ist nicht anzunehmen, dass der Baubetrieb zwangsläufig zu erheblichen Beeinträchtigungen der lokalen Fledermaus-Kolonien infolge Störungen führt.

10.3.1.2 Baubedingtes Versperren von Flugwegen

Baumaßnahmen können die Nutzung von Querungsmöglichkeiten über die Straße hinweg beeinflussen. Vorhandene Flugwege der lokalen Kolonien, die im Zuge eines Neubaues gequert wurden, blieben während der Bauphase bestehen. Die von uns an der Autobahn A60 näher beobachteten Bechsteinfledermäuse querten das Baufeld während der Bauphase soweit dies nachvollziehbar war wie vor dem Bau. Eine Talbrücke an der Autobahn A60 wurde bereits nach kurzer Zeit genutzt (vgl. in Kap. 4.4).

Wurden im Zuge eines Ausbaues vorhandene, von den lokalen Kolonien genutzte Querungshilfen durch die Bautätigkeit (Gerüste, Licht usw.) verstellt, reduzierte dies ihre Funktion als sichere Querungsmöglichkeit dagegen signifikant (KERTH & MELBER, s. Kap. 5). Aufgrund der Ergebnisse der Labortests von SIEMERS & SCHAUB (Kap. 2.2) ist auch anzunehmen, dass entsprechende Barrieren auch infolge Lichteinwirkungen entstehen können. Auch in der Literatur ist beschrieben, dass Beleuchtungswirkungen auf Quartiere oder lokal ausgeprägte Flugwege u.U. zur Folge haben, dass diese zeitweilig aufgegeben werden (u.a. DOWNS et al. 2003, MAY 2000, eig. Beob.). So entstandene Barrieren führen u.U. dazu, dass die Erreichbarkeit von Waldflächen bei vegetationsnah fliegenden Arten wie der Bechsteinfledermaus und anderen Mitgliedern der Gattung *Myotis*, die auf die Unterführung zum Queren angewiesen sind (vergleiche KERTH & MELBER 2009), nachteilig verändert wird. Zudem sind die Individuen gezwungen, die Straße abseits der Querungshilfen – u.U. durch den fließenden Verkehr - zu queren. Allerdings bleibt die Störung temporär: nach den Beobachtungen an der Autobahn A3 führte das Versperren nicht zu einer permanenten Versperrung / Vergrämung; nach Abbau der Barrieren in der Unterführung Schenkensee stiegen die Durchflüge wieder an. Dasselbe Phänomen beobachteten wir bei Mausohren an einer kurzzeitig für den Durchflug verstellten Querungshilfe unter einer Bundesstraße (s. Kap. 8.1.3.3). V.a. im Falle eines Ausbaues sind erhebliche Beeinträchtigungen der lokalen Fledermaus-Kolonien infolge Barrierewirkungen durch den Baubetrieb möglich, sofern etablierte Flugwege längerfristig versperrt werden und die Individuen die Straße durch den fließenden Verkehr queren müssen.

Auch Quartiersnutzungen können beeinträchtigt werden, wenn Baugerüste und Baustellenausleuchtung bei Sanierungen und Ausbauarbeiten in bestehenden Brücken und Tunnel den Quartiereingang blockieren oder den Ein- und Ausflug behindern (vgl. FUHRMANN in Kap. 7).

10.3.2 Anlage- und betriebsbedingte Barriere-/ Zerschneidungswirkungen

Fledermausquartiere sind mit den verschiedenen Jagdgebieten über bestimmte Flugwege miteinander verbunden. Verkehrswege, Straßen und Schienenwege, welche die offene Landschaft, Wälder und Heckengebiete durchschneiden, können Teillebensräume voneinander trennen und eine gravierende Barriere darstellen (z.B. KERTH & MELBER 2009). Ausschließlich anlagebedingte Barrierewirkungen von Verkehrswegen auf Fledermäuse, also Wirkungen des Bauwerkes als solchem, sind aber in der Literatur und aufgrund unserer Untersuchungen nicht belegbar. Alle Fledermausarten, die in den verschiedenen Untersuchungsmodulen Gegenstand der Untersuchungen waren, waren in der Lage die Schneise der neu angelegten Autobahn zu queren, und insofern mindestens kurzzeitig dem Straßenverkehr ausgesetzt. Hierfür spricht auch die Tatsache, dass praktisch alle heimischen Fledermausarten schon als Kollisionsopfer des Straßenverkehrs identifiziert wurden (vgl. die Zusammenstellung in Kap. 6.1). Dies gilt auch für die von uns wegen ihrer Empfindlichkeit als Indikatorart gewählte Bechsteinfledermaus: Populationen, die in fragmentierten Wäldern leben, verbringen einen erheblichen Teil ihrer nächtlichen Flugzeit über Freiflächen (WAGNER et al. 1997, FÖA 2002, 2003, LÜTTMANN et al. 2003). Die schwach befahrene Autobahn A60 wurde von Bechsteinfledermäusen regelmäßig überflogen (s. Kap. 4.4). Selbst Arten, die aufgrund ihrer nur wenige Meter reichenden Echoortungsleistung auch bei Transferflügen als streng strukturgebunden gelten und von denen vermutet wird, dass sie Probleme haben größere Lücken z.B. in Leitstrukturen zu überwinden (z.B. MARTINDALE 2007), werden beim Queren von Autobahnen Kollisionsopfer (z.B. Hufeisennasen: LODÉ 2000, WRAY et al. 2006, NACHTaktiv & SWILD 2008).

An den Autobahnen A3 und A1 sowie der A60 konnten wir das Querungsverhalten von Bechsteinfledermäusen und weiteren Arten über mehrere Jahre untersuchen. Der Vergleich dieser Daten von stark (A3) und schwach verkehrsbelasteten Autobahnen (A60) und unsere weiteren Erkenntnisse bezüglich

der Auswirkungen von Störungen durch Licht und Lärm, Auftreten von Kollisionen und Vermeidungsmaßnahmen lassen nur den Schluss zu, dass anlagebedingte Wirkungen bezüglich der Gefährdung von Fledermäusen v.a. als mitwirkende Parameter von Bedeutung sind: Offenbar werden die betriebsbedingten Wirkungen, v.a. Kollisionsgefahren und Barrierewirkungen, in Abhängigkeit von der jeweiligen Gradientenlage (Damm, Einschnitt oder Gleichlage) verstärkt oder vermindert (LÜTTMANN et al. in Kap. 6.1), was auch den Beobachtungen von MARTENS & MOSTERT (1990) und HÄUSSLER & KALKO (1991) entspricht.

Insgesamt ist für Bechsteinfledermäuse keine Barrierewirkung in dem Sinne anzunehmen, dass Straßen für Migrationen ein Hindernis darstellen. Stark befahrene Straßen werden trotzdem nicht regelmäßig überflogen, wenn z. B. Nahrungs- und Wochenstubenhabitate durch die Straße getrennt werden, was mit Blick auf die Störeffekte erklärbar ist: An der stark verkehrsfrequentierten Autobahn A3 überquerten die Weibchen der Bechsteinfledermaus-Kolonien die Autobahn nur ausnahmsweise und nur durch eine Unterführung. Nur einmal konnte während der Untersuchung im Jahr 2004 ein Tier beim Überfliegen der A3 beobachtet werden, als die Unterführung Schenkensee gerade mit Netzen verschlossen war. Dasselbe Tier hatte zuvor die Unterführung zum Queren genutzt. In der Eifel an der Autobahn A1 wurden vergleichbare Zerschneidungswirkungen identifiziert. Dagegen hatte die noch junge, erst in 2002 in Betrieb genommene Autobahn A60 (Kolonien GI, vgl. Kap. 4) zum Untersuchungszeitpunkt keine nachweisbare Zerschneidungswirkung auf die von uns untersuchten Bechsteinfledermaus-Kolonien.

Mopsfledermausweibchen querten mehrheitlich die A3 zum Jagen und nutzten auch Tagesquartiere beiderseits der Autobahn. Daher ist bei der Mopsfledermaus mit keiner oder einer nur geringen Zerschneidungswirkung zu rechnen.

Die unterschiedliche Wirkung der Autobahn auf Bechstein- und Mopsfledermaus erklärt sich wahrscheinlich aus deren unterschiedlicher Ökologie (KERTH & MELBER 2009). Bechsteinfledermäuse jagen kleinräumig und nahe am Substrat (Vegetation und Waldboden), Mopsfledermäuse dagegen jagen großräumig und weiter vom Substrat entfernt (MESCHEDE & HELLER 2000). Zudem unterscheidet sich die Flügelmorphologie beider Arten. Mit ihren schmäleren Flügeln ist die Mopsfledermaus wie auch andere schmalflügelige Arten wie z.B. Kleiner und Großer Abendsegler besser an den freien Luftraum und den Streckenflug angepasst und damit offensichtlich besser in der Lage eine Autobahn zu queren (KERTH & MELBER 2009).

Für die offensichtliche Meidung des Straßenraums durch die Bechsteinfledermäuse kommen an der Autobahn A3 mehrere Ursachen in Betracht: Die sehr hohe Verkehrsbelastung erzeugt Störwirkungen durch die Fahrzeugbewegung, Schall und Licht. Eine betriebsbedingte Barrierewirkung von Straßen entsteht vermutlich durch das Zusammenwirken dieser Faktoren. Dass die Zerschneidung auch eine Folge der Kollision ist, weil „querungswillige“ Individuen infolge Kollisionen aus den Kolonien nach und nach eliminiert werden, kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Langfristige Daten über die Populationsentwicklung von Fledermäusen an Autobahnen in den, der Verkehrsfreigabe folgenden Jahren, fehlen. Die Feststellung, dass sich die autobahnnahen Bechsteinfledermaus-Kolonien seit Beginn des Monitorings durch die Arbeitsgruppe KERTH über 14 Jahre nicht schlechter entwickelt haben als autobahnferne Populationen (vgl. in Kap. 4), spricht aber gegen die Annahme, dass verkehrsbedingte Mortalität die autobahnnahen Populationen an der Autobahn A3 dauerhaft prägt und u.U. erheblich belastet, d.h. langfristig zum Aussterben bringt.

Mit entscheidend dürfte auch die Funktion der vorhandenen (zerschnittenen) Flugwege bzw. der voneinander getrennten Habitate für die Populationen der betrachteten Arten und die z.B. durch Querungshilfen geschaffenen Möglichkeiten einer sicheren Querung an bestimmten Stellen sein. Die Ergebnisse aus der Eifel (GI) zeigen, dass auch breitflügelige Arten wie die Bechsteinfledermaus, ähnlich wie schmalflügelige Arten die Autobahn überfliegen, solange die Autobahn noch relativ „neu“ und/oder die

Verkehrsfrequenz gering ist. Dies gilt vermutlich besonders, wenn Offenlandhabitate Teil ihres Lebensraumes sind. Nach unseren Beobachtungen (s. im Kap. 6) fliegen breitflügelige Arten aber dabei in der Regel tiefer und sind dadurch auch stärker kollisionsgefährdet. Andererseits nutzten auch die die Autobahn nachweislich hoch querenden Mopsfledermäuse häufig die an der A3 vorhandene Unterführung, um die Autobahn zu queren.

Denkbar wäre auch, dass die Unterschiede in der Lebensweise der verschiedenen Kolonien begründet sind. Die Untersuchungsfläche GI unterscheidet sich von denen in Probefläche AL (beide in der Eifel) und in Würzburg substanziell: Im Gegensatz zu den Gebieten in Würzburg und mit Einschränkungen auch zum Gebiet AL handelt es sich bei der Untersuchungsfläche GI um eine fragmentierte Feld-Wald-Landschaft. Die Erwartung, dass auf der dem Quartierwald abgewandten, anderen Seite der Autobahn besonders wertvolle Jagdhabitate liegen, die Querungen begünstigen, bestätigte sich nach unseren Untersuchungen nicht (Kap. 4.4). Die Jagdgebiete in GI sind raumspezifisch groß und verteilen sich auch raumspezifisch, entsprechend der Verteilung der Ressourcen im Raum und nicht als Folge der Zerschneidung des Aktionsraumes durch eine Autobahn. Die Aktionsräume der Kolonien in GI sind nach Größe und Verteilung vergleichbar mit anderen, an Wald armen „Offenland-Populationen“ der Bechsteinfledermaus z.B. in Westfalen, die abseits von Autobahnen liegen (FÖA 2003a). Für Bechsteinfledermäuse, die zwischen Quartier und Jagdgebiet große Entfernungen über offene Flächen zurücklegen, stellt eine Autobahn möglicherweise ein geringeres Hindernis dar, als für stark waldgebundene Individuen.

Die Autobahn A3 und die Autobahn A1 sind „alte“ Autobahnen (A3: seit 1955 für den Verkehr freigegeben, A1: um 1974), die Autobahn A60 ist dagegen „jung“ (Freigabe in 2002) und hat auch mit Abstand die entsprechende, geringste Verkehrsbelastung. Vor dem Hintergrund der Querungspräferenzen stellt sich die Frage, ob bei den Kolonien an der Autobahn A3 und an der A1 in der Eifel Adaptions- bzw. Selektionseffekte zu Tage treten: Es liegt nahe, dass sich infolge der Barrierewirkung Jagdgebiete bzw. Aktionsräume der Kolonien entlang der zerschneidenden Trasse geändert haben, mit der Folge, dass die Konkurrenz zwischen den Weibchen um die verbleibenden Jagdgebiete erheblich zugenommen hat. Bei den „alten“ Autobahnen A3 (Würzburg) und A1 (Eifel) ist auch nicht auszuschließen, dass die Zerschneidung der Wälder bzw. der Aktionsräume der Bechsteinfledermaus-Kolonien in den ersten Jahren nach Verkehrsfreigabe eine erhöhte Mortalität z.B. infolge Kollisionen nach sich gezogen hat. Die Folgen der Zerschneidung auf die Populationen sind aber heute nach vielen Jahren Autobahnbetrieb nicht mehr nachweisbar. Das Monitoring der Bechsteinfledermaus-Populationen auf beiden Seiten der Autobahn A3 über mittlerweile ca. 15 Jahre ergab keine Hinweise auf eine anhaltende signifikante Belastung der Populationen durch straßenbedingte Wirkungen. Jedenfalls konnten wir keine Unterschiede zwischen Populationen autobahnnaher und autobahnferner Populationen feststellen. In Bezug auf die Kolonien an den Autobahnen A1 und A60 (Kolonien AL und GI) kann darüber nicht geurteilt werden, da längerfristige Daten über die Populationsentwicklung zumindest der Autobahn nahen bzw. die Autobahn querenden Kolonien noch fehlen.

10.3.3 Störungen durch Lärm- und Lichtwirkungen

10.3.3.1 Lärm / Schall

Fledermäuse orientieren sich mit Hilfe von Echoortung. Viele Arten entdecken und lokalisieren auch ihre Beuteinsekten anhand derer Echos. Diese Arten finden ihre Beute mindestens teilweise, indem sie auf Lauf- bzw. Fluggeräusche oder Kommunikationslaute der Beuteinsekten lauschen. Unter den in Deutschland heimischen Fledermäusen ist das Große Mausohr potenziell „lärmempfindlich“; für die beiden Langohrfledermaus-Arten (*Plecotus* spec.) und die Bechsteinfledermaus mit ähnlicher Nahrungserwerbsstrategie wird eine vergleichbare Empfindlichkeit angenommen (Kap. 2.1). In den von SIEMERS

& SCHAUB ausgeführten Laborexperimenten (Kap. 2.1) wurde erstmals nachgewiesen, dass Mausohren sehr lärmintensive, z. B. trassennahe Bereiche zur Beutesuche graduell meiden.

Sehr deutliche Schallwirkungen wurden bei Trassenentfernungen von 7,5 und 15 m gemessen. Relevante Auswirkungen von Schallbelastungen, die sich in einer Erhöhung der Zeit äußern, die ein Mausohr im Lärmsektor benötigt, um seine Beute zu finden bzw. durch die entsprechende Reduzierung der Sucheffizienz, waren unter den im Laborexperiment simulierten Bedingungen bis 50 m Entfernung zur Trasse noch nachweisbar und werden an entsprechend stark verkehrlich belasteten Straßen noch bis 60 m vermutet. Für geringere Verkehrsdichten als bei den im Labor simulierten, müssen die Werte für die Sucheffizienz entsprechend der Kenndaten aus den Laboruntersuchungen noch umgerechnet werden, vgl. Tabelle 10-2.

Zur Beurteilung der Erheblichkeit von lärmbedingten Beeinträchtigungen kommt es darauf an, welche Verkehrsbelastung während der Nachtstunden zu erwarten ist, ob lärmempfindliche Arten betroffen sind und ob maßgebliche Jagdhabitate in relevantem Umfang (gemessen an der Gesamtausdehnung dieser Habitate) innerhalb von Bereichen mit erheblichen Lärmeinwirkungen existieren. Wird die Beute-Sucheffizienz einer Fledermausart in einem Jagdgebiet durch Überlagerung mit Verkehrsschall funktional um mehr als 10% reduziert (Tabellenwerte ≤ 90%, vgl. resultierende Sucheffizienz in Tabelle 10-2), wird von einer graduellen funktionalen Beeinträchtigung dieses Jagdgebietes ausgegangen.[138]

Ist die graduell funktional betroffene Fläche in Bezug auf die Jagdgebiete der betroffenen Fledermausart zudem relevant groß (%-Anteil am Jagdhabitat), kann dies als erhebliche funktionale Beeinträchtigung im Sinne der rechtlichen Anwendungsbereiche eingestuft werden.

Tabelle 10-2: Sucheffizienz jagender Mausohren in 25 m und 50 m Entfernung von Autobahnen unterschiedlicher Verkehrsfrequenz (DTV, Kfz/Std. nachts) im Verhältnis zur Kontrollsituation (Stille)

DTV	KFZ / Std. nachts (22-6 Uhr)	Lärmzeit (Std.) (%)	Zeit ohne Lärm (Std.) (%)	resultierende Sucheffizienz (%) im Trassenabstand von	
				25 m (#Faktor 0,43)	50 m (#Faktor 0,65)
5.000	*55	0,03	0,97	0,98	0,99
10.000	*110	0,06	0,94	0,97	0,98
15.000	210	0,12	0,88	0,93	0,96
20.000	280	0,16	0,84	0,91	0,95
30.000	420	0,23	0,77	0,87	0,92
35.714	**500**	**0,28**	**0,72**	**0,84**	0,90
45.000	630	0,35	0,65	0,80	0,88
57.143	800	0,44	0,56	0,75	0,84
60.000	840	0,47	0,53	0,73	0,84
80.000	1120	0,62	0,38	0,65	0,78
100.000	1400	0,78	0,22	0,56	0,73

Die Berechnung der Sucheffizienz ist in Kap. 2.1.4.2, Seite 26, im Einzelnen dargestellt.

Fett: Berechnungsbeispiel für diesen DTV-Wert in Kap. 2.1 (SIEMERS & SCHAUB, dieser Bericht, Seite 26)

* 0,011 Umrechnungsfaktor DTV (nachts, 22-6 Uhr) und KFZ / Std. (nachts, 22-6 Uhr) für Bundesstraße, ansonsten 0,014 für Autobahn, nach RLS-90: Tab. 3.

Detektionsleistung unter Schalleintrag, lt. Kap. 2.1 (SIEMERS & SCHAUB, dieser Bericht)

[138] Der Wert wird gutachterlich vorgeschlagen. Er ist mangels Nachweisweismöglichkeiten nicht wissenschaftlich, sondern nur durch Konvention ableitbar.

Bei den übrigen Fledermausarten handelt es sich um „aktiv akustisch“, also mittels Echoortung jagende Arten, deren Ultraschallsignale nur in zu vernachlässigendem Umfang von Verkehrslärmfrequenzen überlagert werden; nachhaltige Wirkungen von Lärm mit der Folge der Aufgabe bzw. Meidung von Flugwegen sind sehr unwahrscheinlich (SCHAUB et al. 2008). Wirkungen durch Verkehrsschall auf die aktiv ortenden Arten können – abstrakt - zwar nicht ausgeschlossen werden, führen unter den hier betrachteten Bedingungen des Verkehrswege-Ausbaues und Neubaues aber nach derzeitigem Kenntnisstand nicht zu erheblichen Beeinträchtigungen der betroffenen Individuen und Populationen.

10.3.3.2 Lichtwirkungen

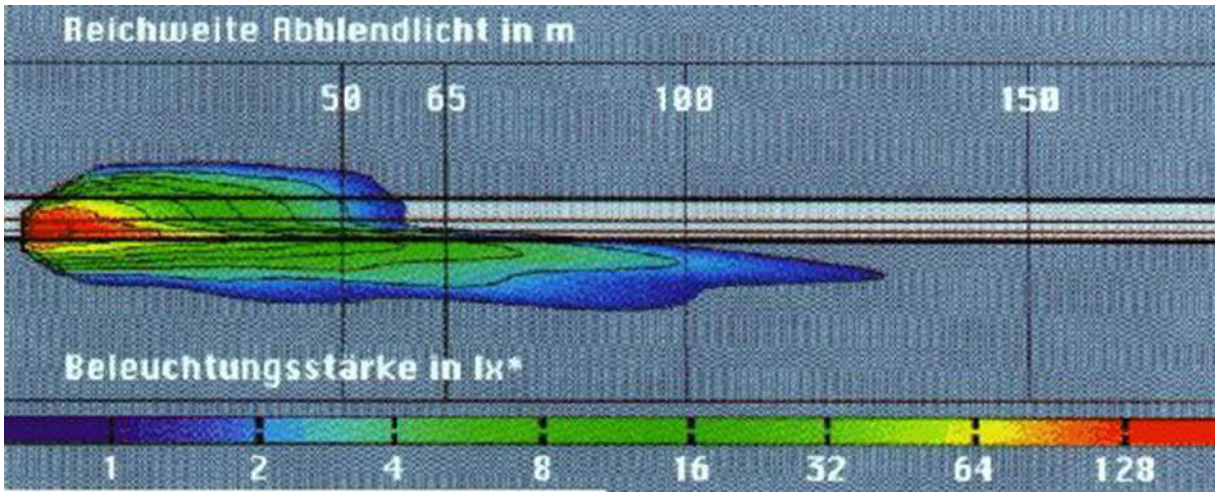
Licht kann einerseits eine störende/vertreibende Wirkung auf Fledermausarten haben, die die Habitate im nahen Umfeld der Straße z.B. für die nächtliche Jagd nutzen. Andererseits locken künstliche Lichtquellen im Straßenbereich Insekten an, die ihrerseits für Fledermäuse attraktive Nahrungsquellen darstellen können (EISENBEIS & HASSEL 2000). Zu unterscheiden sind betriebsbedingte Wirkungen des fahrenden Verkehrs von baubedingten Störungen durch Licht infolge stationärer Baustellenbeleuchtung und Befahren mit Fahrzeugen und anlagebedingte Wirkungen (stationäre Beleuchtung z. B. auf Parkplätzen und auf Brücken sowie vor Tunnelportalen).

Die Sichtung der einschlägigen Literatur ergab zu den Wirkungen von betriebsbedingten, beweglichen Lichtquellen wie Kfz-Scheinwerfern keine Daten. Unsere Untersuchungen simulierten die betriebsbedingten Effekte, indem Große Mausohren im Labor verschiedenen Lichtimpulsen unterschiedlicher Lichtquellen ausgesetzt wurden (vgl. in Kap. 2.2 in diesem Bericht). Gegenüber den Dunkelphasen ergaben alle getesteten Lichtwirkungen („Straßenleuchte“, Halogenleuchten und Xenonleuchten) ein signifikantes Meideverhalten. Untereinander unterschieden sich die Lichtquellen nur leicht in ihrer Störwirkung auf die Fledermäuse. Die stationäre Beleuchtung von oben („Straßenbeleuchtung“) erzeugte eine etwas niedrigere Meidereaktion gegenüber den vier bewegten PKW-Scheinwerfern. Entsprechend der Laborergebnisse wirkt Licht also störend auf das Große Mausohr, sofern Jagdgebietsflächen oder Flugrouten in unmittelbarer Nähe zur geplanten Trasse liegen. Zu beachten ist die je nach Situation unterschiedliche Reichweite der Wirkung.

Nach Geländebeobachtungen reagieren Mausohren auf Scheinwerferlicht im Bereich von traditionellen Flugrouten unmittelbar mit plötzlichem Ausweichen in beschattete Bereiche (LÜTTMANN; eigene Beobachtungen im Zuge der Untersuchungen zur Kollisionsgefährdung in diesem Bericht). Im Siedlungsbereich fliegt das Große Mausohr bevorzugt entlang stark beschatteter Routen (M. SIMON mdl.) Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen sind aufgrund von wenigen Geländeerfahrungswerten auch praxisrelevant und auf die breitflügeligen, langsam fliegenden Arten (*Plecotus*, *Myotis* und *Rhinolophus*) übertragbar: Auch die von uns als vergleichbar empfindlich eingestufte Bechsteinfledermaus weicht aus dem Lichtkegel eines plötzlich aufflammenden Handscheinwerfers aus (LÜTTMANN eig. Beobachtung), ebenso wie Wasserfledermäuse (FUHRMANN eig. Beob.). Kleine Hufeisennasen meiden beleuchtete Straßenabschnitte (RACEY 2006).

Bezüglich der Wirkung unter Geländebedingungen sind zunächst die Beleuchtung durch vorbeifahrende Fahrzeuge und stationäre Beleuchtungssituationen (Straßenbeleuchtung) zu unterscheiden: Autoscheinwerfer sind in Europa (ausschließlich Großbritannien) so ausgelegt, dass sie die rechten Fahrbahn besonders weit ausleuchten. Der Lichtkegel ist asymmetrisch; auf zweispurigen Strecken darf das Licht den Gegenverkehr nicht blenden. Die Reichweite von Abblendlicht wird mit bis zu 150 m bei asymmetrischer Lichtverteilung angegeben, sonst mit 40-70 m (nach Angaben der Fa. Hella, vgl. Abbildung 10-1). Bei Fernlicht beträgt die Sichtweite bis zu 200 m. Die Blend- bzw. Störwirkung reicht jedoch bei beiden Lichtarten darüber hinaus, jedenfalls bei Tierarten, die bereits auf Lichtreize (nicht nur auf das Angeleuchtet werden in dem Sinne, dass der Fahrer die Tiere sieht) empfindlich reagieren. Der hori-

zontale Lichtkegel (Ausleuchtung aus Sicht des Fahrers) beiderseits der Straße wird auf ca. 15 m geschätzt, danach wird die Beleuchtungsintensität sehr gering, vgl. Abbildung 10-1. Je nach Relief bzw. streckencharakteristisch können darüber hinaus weitere Bereiche durch Fahrscheinwerfer beleuchtet werden. Bezüglich des Öffnungswinkels liegen keine Angaben vor; nach eigenen Recherchen bei Schweinwerfer-Herstellern ist dieser herstellerabhängig. Grundsätzlich ist Abblendlicht stärker nach unten auf die Straße gerichtet als Fernlicht. Wirkungen von Frontschweinwerfer-Licht von einem Damm bzw. von einer Brücke auf den Talboden, zumindest Streulicht-Einfluss, erscheinen je nach Brückenkonstruktion grundsätzlich nicht ausgeschlossen, wenn z. B. randliche Schutzvorkehrungen (Spritzschutz o.ä.) bis zur Höhe der Autoscheinwerfer fehlen. Bei großer Brückenhöhe kann statt des Talbodens der obere Talrand einem Lichteinfluss ausgesetzt sein.



Quelle: Fa. HELLA, http://mitglied.lycos.de/Autoelektrik/Egc.htm, Download 26.09.2008

Abbildung 10-1: Asymmetrisches Abblendlicht

Die Ergebnisse von KERTH & MELBER (s. Kap. 5) zum Einfluss des Baubetriebs zeigten, dass die o.g. Ergebnisse der Laborstudien (SCHAUB & SIEMERS in Kap. 2) nicht ohne Weiteres auf jede Beleuchtungssituation anwendbar sind. Die nicht direkt, sondern höchstens von Streulicht betroffenen Jagdhabitate, die an eine Autobahnbaustelle angrenzten, wurden von Bechsteinfledermäusen während der Bauphase nicht wesentlich anders genutzt als vor der Bauphase (Kap. 5). Eine starke Wirkung kann direktes Licht haben: In der Region Schaffhausen kam die Nutzung eines Flugweges von Wasserfledermäusen innerhalb weniger Nächte zum Erliegen, nachdem an der Stelle, wo der Flugweg einen Weg querte, eine stationäre Beleuchtung in Betrieb genommen wurde (ALDER 1993). Eine daraufhin vorgenommene Verschattung der Beleuchtungskörper in Richtung Flugweg führte wiederum dazu, dass die Fledermäuse nach einigen Wochen wieder „normal“ den Weg querten.

Die Störung durch das Licht ist zudem art- bzw. artengruppenspezifisch und abhängig von der Jagdstrategie der Arten (BLAKE et al. 1994, de JONG & AHLÉN 1991, MAY 2000, RYDELL 1992; zusammenfassend: JONES 2000). Arten wie der Große Abendsegler, die Breitflügelfledermaus und *Pipistrellus*-Arten (Zwergfledermaus, Rauhautfledermaus), die mehr oder weniger strukturunabhängig im freien Luftraum Insektennahrung suchen, sind wenig empfindlich gegen das Licht. Große Abendsegler und Breitflügelfledermäuse wurden z.B. von BACH dabei beobachtet, wie sie direkt über dem beleuchteten Straßenraum der A27 (Walsrode - Bremen) jagten (BACH mdl.); Zwergfledermäuse machen insbesondere Jagd auf Insekten, die durch das Licht angezogen werden (HELMER & LIMPENS 1991, siehe auch LIMPENS et al. 2005). Möglicherweise gehört die Mückenfledermaus jedoch zu den eher lichtempfindlichen Arten, s. DOWNS et al. (2003). Dagegen sind breitflügelige, ihre Nahrung von Oberflächen ab-

sammelnde Arten tendenziell empfindlicher gegenüber Störungen durch Licht; es wird davon ausgegangen, dass die *Plecotus*, *Myotis*- und *Rhinolophus*-Arten gegenüber starkem resp. hellem Licht im Allgemeinen empfindlich sind bzw. starke Lichtfelder an Straßen meiden (vgl. JONES 2000), wobei die Intensität der Störung wiederum artspezifisch unterschiedlich ist. Als besonders empfindlich gelten die Wasserfledermaus und die Teichfledermaus: Eine Kontrolle an bekannten Flugwegen zeigte, dass Wasserfledermäuse immer dort Wege und Straßen überflogen, wo die größte Dunkelheit herrschte (ALDER 1993). Jagdaktivitäten der Teichfledermaus gingen unter dem Einfluss einer künstlichen Beleuchtung um 60 % zurück, obgleich die Insektendichte zunahm (KUIJPER et al. 2008). Ein Nachtbau in Fledermaushabitaten dieser empfindlichen Arten sollte generell nicht vorgesehen werden und muss für den Nahbereich der besonders fledermausbedeutsamen Habitate auch speziell untersagt werden.

Von stationären Lichtquellen werden je nach Lampentyp u.U. Insekten und damit Fledermausnahrung z.B. für *Pipistrellus*-Arten und Abendsegler in großer Menge angelockt. Der Wirkungsgrad der verschiedenen Leuchten ist von der verwendeten Beleuchtungstechnik abhängig: Nach EISENBEIS (2001) bewirkt das UV-haltige weiße Licht von Straßenbeleuchtungen (Quecksilberdampfhochdrucklampen) den stärksten Insektenanflug, gefolgt von Licht aus Natrium-Xenon- und Natriumdampfhochdrucklampen; GLITZNER et al. (1999: 19, 20) weisen für Natrium-Niederdrucklampen eine mittlere, für Natriumdampf-Hochdrucklampen „keine Anziehungskraft“ aus. Für neuerdings verstärkt eingesetzte LED-Leuchten liegen keine Daten vor. Bewegte Lichtquellen (Fahrlicht) haben auf Insekten vermutlich eine geringe Anziehungswirkung (KOLLIGS 2000).

10.3.4 Betriebsbedingte Fallenwirkung, Tierkollisionen

10.3.4.1 Wirkungen

Für Fledermäuse liegen bislang kaum publizierte Untersuchungen vor, die die Verkehrsmortalität in Relation zu artbezogenen Faktoren und der Aktivitätsdichte von Fledermäusen einerseits und bauwerks- und verkehrsbezogenen Faktoren andererseits setzen (z.B. LESINSKI 2007, 2008; GAISLER et al. 2009, RUSSEL et al. 2009). Diese und die eigenen Untersuchungen beleuchten insbesondere diese artbezogenen (intrinsischen) und von äußeren Einflüssen abhängigen, extrinsischen Faktoren und versuchen Abhängigkeiten aufzuzeigen. Jedoch basieren die Ergebnisse bislang durchweg auf wenigen Daten. Die Aussagen müssen deswegen als Tendenzaussagen bewertet werden, die noch auf einer breiteren Datenbasis und in einer breit angelegten Fachdiskussion evaluiert werden.

Bereits infolge des nächtlichen Baustellenverkehrs im Wald kann es selbst auf wenig befahrenen Waldwegen zu Verkehrsopfern von Fledermäusen kommen (KERTH, unpubliziert; siehe Kap. 5). Insbesondere Arten, die nahe am Boden oder entlang von Waldwegen jagen wie die Bechsteinfledermaus, sind potenzielle Kollisionsopfer. Es wird vermutet, dass nachdem die Straße in Betrieb gegangen ist, Kollisionen häufiger auftreten, wenn Aktionsräume von Individuen / Teilpopulationen von frequentierten Strecken direkt durchschnitten werden, also Wanderungen über die Trasse erforderlich sind oder wenn der Nahbereich der Trasse von vielen Tieren frequentiert wird, weil bspw. auf den Böschungen Habitate oder auf der Straße selbst Ressourcen (Nahrung) angeboten werden und diese gleichzeitig in der Umgebung nur begrenzt vorhanden sind.

10.3.4.2 Intrinsische kollisionsbeeinflussende Faktoren

Fast alle einheimischen Fledermausarten werden als Kollisionsopfer in der Literatur aufgeführt (s. Kap. 6.1.4.3). Darunter sind auch die im Forschungsprojekt näher betrachteten Arten Bechsteinfledermaus,

Großes Mausohr und Mopsfledermaus. Auch für die Planungspraxis ist von Relevanz, ob und ggf. welche Fledermausarten dispositionsbedingt, aufgrund arteigener Faktoren einem erhöhten Kollisionsrisiko an Straßen unterliegen.[139] Generell wird davon ausgegangen, dass vor allem Arten dem Verkehr zum Opfer fallen (vgl. HAENSEL & RACKOW (1996), LESINSKI (2007, 2008), GAISLER et al. (2009), RUSSEL et al. 2009 und unsere eigenen Ergebnisse):

- die niedrig jagen und - mehr oder weniger eng angelehnt - an Geländestrukturen entlang fliegen und dabei tendenziell häufig im Gefahrenbereich des Straßenverkehrs Querungen vornehmen, beispielsweise um Jagdgebiete zu erreichen,
- deren Aktionsradius besonders groß ist, so dass die Individuen viele Straßen regelmäßig queren müssen,
- die Nahrungshabitate bzw. -quellen nutzen, die sich aus straßenspezifischen Strukturen ergeben (z.B. jagen Fledermäuse Insekten, die von Lichtquellen am Straßenrand angezogen wurden).

An normalerweise unbeleuchteten Verkehrswegen (vom Licht der Fahrzeuge abgesehen) sind vor allem breitflügelige Arten, die in relativ niedrigen Flughöhen unter 3 m und bodennah (< 2 m) jagen und die Flugrouten nutzen, im besonderen Maße kollisionsgefährdet (vgl. die Artenliste in Kap. 6.1.4.3). Besonders gefährdet scheinen die Jungtiere dieser Arten während der Zeit des ersten Ausflugs Ende Juli und im August zu sein (HAENSEL & RACKOW 1996, LESINSKI 2007, GAISLER et al. 2009), auch wenn wir dies in unseren eigenen Untersuchungen nicht explizit feststellen konnten. Eine erste Abschätzung der artbezogenen Disposition der einzelnen Arten für Kollisionen ist in der „Arbeitshilfe für den Fledermausschutz an Straßen“ zusammengestellt (BMVBS in Vorb.). Diese Einschätzung beruht auf den empirischen Ergebnissen, nutzt aber auch die Summe der anekdotischen Beobachtungen aller beteiligten Fledermauskundler.

Die artbezogenen Faktoren bringen auch eine Konzentration der Überflüge an einem oder mehreren (zerschnittenen) Flugwegen mit sich, weil viele Arten sich entlang tradierter Flugrouten und Wegemarkierungen zwischen Quartier und Jagdgebieten bewegen. Deren Lage und die Entfernung zwischen Straße und dem (Wochenstuben-)Quartier der Art (Landschaftsfaktoren, s. im Folgenden) bestimmen den Anteil der Tiere, die den Verkehrsweg regelmäßig queren müssen und damit die Wahrscheinlichkeit, mit der die Individuen mit dem Verkehr kollidieren können.

Die Kollisionsgefährdung des Braunen Langohrs z.B. wird auch dadurch beeinflusst, dass die gegenüber Licht und Geräuschbelastung empfindliche Art, die Flugwege über größere Freiflächen meidet (MARTINDALE 2007), vermutlich auch ein Meideverhalten gegenüber Straßen und eine Präferenz für „sichere“ Querungsmöglichkeiten zeigt. Entsprechendes haben KERTH & MELBER (2009) für die Bechsteinfledermauskolonien an der Autobahn A3 beschrieben, vgl. in Kap. 4.3. Die Mopsfledermaus jagt meist in größerer Höhe im Kronenraum und ist insoweit dem Straßenverkehr weniger stark ausgesetzt. Trotzdem treten Kollisionen von Mopsfledermäusen stellenweise gehäuft auf (RUDOLPH et al. 2003). Wie unsere Untersuchungen in vieler Hinsicht gezeigt haben, orientieren sich fast alle Fledermausarten nämlich – nach Möglichkeit, d.h. sofern Hecken und andere Strukturen in einem Landschaftsraum zur Verfügung stehen - mehr oder weniger eng an diesen Leitelementen, relativ unabhängig davon ob sie auch „strukturungebunden fliegen können“. Dies kann zu erhöhter Kollisionsgefahr an Stellen führen,

[139] Mit dem Urteil des BVerwG vom 09.07.2008 (9A 14.07 - Nordumfahrung Bad Oeynhausen) wurden die Anforderungen an die Beurteilung des Tötungsrisikos infolge von Kollisionen präzisiert. Der Verbotstatbestand ist dem Urteil zufolge nicht dann erst erfüllt, wenn die Population gefährdet ist, sondern bereits bei einem signifikant erhöhten individuenbezogenen Kollisionsrisiko. Signifikant erhöht meint, eine Risikoerhöhung gegenüber dem durchschnittlichen Gefährdungsrisiko für Tiere, das immer mit Straßen, die Lebensräume zerschneiden, verbunden ist.

an denen Leitstrukturen auf die Straße führen (vgl. LESIŃSKY 2007 und im Kap. 6.1) oder Querungshilfen ihre Funktion aufgrund irgendwelcher Faktoren wie z.B. zeitweiliger Versperrung (Kap. 5 und 8) nicht erfüllen können. Von wenigen Heckenzügen strukturierte Offenlandflächen querten sowohl Bechsteinfledermäuse in einem Fall (FÖA 2003a) wie auch Mopsfledermäuse in weiteren Fällen (FÖA unveröff., MELBER unveröff.) überwiegend entlang der vorhandenen linearen Strukturen.

10.3.4.3 Extrinsische kollisionsbeeinflussende Faktoren

Das Ausmaß einer kollisionsbedingten Wirkung ist nach unseren Untersuchungen (Kap. 6.1) über die artbezogenen Faktoren (Disposition) hinaus abhängig einerseits von dem Gradienten (Damm-, Einschnitt-, Gleichlage) der geplanten Straße (dazu bereits Hinweise in MARTENS & MOSTERT 1990, HÄUSSLER & KALKO 1991, WEISHAAR 1992) resp. des Schienenweges, andererseits von den begleitenden Vegetationsstrukturen (z.B. LESINSKI 2007) und dem nächtlichen Verkehrsaufkommen (vgl. LUGON & ROUÉ 1999, LÜTTMANN et al. in Kap. 6). Diese Faktoren, die artbezogenen und die bauwerks- und verkehrsflussbezogenen, wirken multifaktoriell zusammen (Kap. 6). Nach den genannten Literaturangaben und unseren eigenen Untersuchungen wirken folgende Faktoren z.T. Risiko senkend z.T. Risiko erhöhend:

- Einschnitte (tiefer 3 m) im Wald wie im strukturreichen Offenland senken das Kollisionsrisiko resp. die Zahl der hier querenden Individuen. Einschnitte wurden tendenziell gemieden (nicht überflogen) oder hoch (jedenfalls höher als im Bereich der Gleich- oder Dammlagen) überflogen. Der Unterschied zwischen Gleichlage und Einschnitt kann nach unseren Untersuchungen bis -50% Querungsaktivität betragen (Kap. 6). Einschnittssituationen werden daher als vergleichsweise sichere Trassenabschnitte eingestuft.
  Jedoch sind auch Einschnittslagen situationsabhängig bzw. im Kontext der Gesamtsituation fallbezogen bzw. artbezogen zu beurteilen: Einschnitte mit langen, flachen Böschungen in Verbindung mit Bepflanzungen oder Wildschutzzäunen, die Flugbewegungen in den Einschnitt lenken, haben nach Berichten von NACHTaktiv & SWILD (2008) offenbar dazu geführt, dass Kleine Hufeisennasen in den Verkehr flogen, statt vorhandene Querungshilfen zu nutzen. In Bezug auf Mausohren ist bei der Neuanlage eines längeren Straßeneinschnitts nach unseren Erkenntnissen zu erwarten, dass die vegetationsarmen Böschungsflächen im Zeitraum der Bauphase die Erbeutung von Laufkäfern begünstigen und (vermutlich) ein verstärktes Erkundungsverhalten einsetzt.
  Dammlagen können sowohl Fallensituationen schaffen wie auch Leitstrukturen sein (vgl. auch MARTENS & MOSTERT 1990, HÄUSSLER & KALKO 1991, WEISHAAR 1992).
  Eisenbahntunnel können im Vergleich mit der Strecke besondere Gefahrenstellen darstellen (Kap. 6.2)
- Auf die Straße zulaufende Vegetationsstrukturen, die als Leitlinien fungieren (können), erhöhen das Kollisionsrisiko signifikant, sofern an der Querungsstelle keine Querungsmöglichkeit in Gestalt einer Über- oder Unterführung angeboten wird (eigene Ergebnisse in Kap. 6 und LÉSINSKY 2007).
- Geschlossene Vegetationsstrukturen an der Straße bzw. entlang der Straße können das Kollisionsrisiko signifikant erhöhen, sofern die Vegetation so nah an der Straße steht, dass die entlang der Hecken fliegenden Individuen zwangsläufig in den Verkehr geraten (eigene Ergebnisse, Kap. 6). An schmalen, zweispurigen Straßen können großkronige Bäume auf beiden Seiten der Straße dagegen das Kollisionsrisiko verringern, weil sie sichere Querungsmöglichkeiten oberhalb des Verkehrsflusses bieten.[140] Obwohl unsere Kollisionsuntersuchungen (Kap. 6) diesbezüglich keine Erkenntnisse erbrachten, sprechen andere Beobachtungen dafür: KERTH & MELBER (2009) machten entsprechende Beobachtungen von Bechsteinfledermäusen an zweispurigen Bundes- und Landstraßen, die

[140] Sogenannte „Hop-over“-Situationen, vgl. LIMPENS et al. (2005) bzw. BACH (2008).

die von uns untersuchten Koloniewälder in Würzburg zerteilen. Zwei von FÖA (2003a) telemetrierte Bechsteinfledermaus-Weibchen querten die Bundesstraße B68 bei Halle/Westfalen aus dem Offenland kommend regelmäßig im Kronenbereich von an der Straße stehenden Solitärbäumen und mieden den benachbarten Abschnitt ohne Vegetation zum Queren. DIETZ (mdl. Mitt.) berichtete aufgrund von Telemetrieuntersuchungen, dass auch eine vierspurige Autobahn an vergleichbar strukturierten Stellen von Bechsteinfledermäusen gequert wurde.[141] Wo entsprechend hohe Strukturen („Baldachine") neben den Straßen fehlten, wurden auch von RUSSEL et al. (2009) weniger Fledermäuse gezählt und Fledermäuse flogen im Allgemeinen niedriger über die Straße und u.U. in den Verkehr.

Das Ausmaß einer kollisionsbedingten Wirkung ist außerdem abhängig vom nächtlichen Verkehrsaufkommen und von der Fahrgeschwindigkeit (Kap. 6.1).

- Schwach verkehrsfrequentierte Straßen wiesen höhere Fledermausvorkommen im Straßenraum und eine hohe (potenzielle) Kollisionsgefährdung im Sinne unserer Definition in Kap. 6.1 auf. Schmalflügelige Arten sind allerdings zum Teil in der Lage den auf solchen Straßen vergleichsweise langsam, zwischen 60 und 80 km/h fahrenden Fahrzeugen auszuweichen (vgl. LUGON & ROUÉ 1999). Breitflügelige Arten zeigten nach unseren Daten aus den Transektuntersuchungen kaum Ausweichbewegungen. Das einzige von uns als verunfallt wiedergefundene Bechsteinfledermausindividuum aus den von uns in der Eifel telemetrierten Kolonien fanden wir an einer baumbestandenen Kreisstraße.
- Stark verkehrsfrequentierte, breite Straßen wiesen geringere Fledermauszahlen auf (Kap. 6.1) und dementsprechend auch eine geringere Menge potenzieller Kollisionsopfer. Ein stark verkehrsfrequentierter Straßenraum stellt zudem einen unattraktiven (Jagd-)Raum für licht- und lärmmeidende Fledermäuse, insbesondere für die passiv Beute ortenden Myotis-Arten (Großes Mausohr, Bechsteinfledermaus) und die Langohr-Arten (Plecotus) als Folge der Verlärmung und vieler Lichtimpulse nahe der Trasse dar. Diese Arten werden den Straßenraum und die Straßenquerung tendenziell meiden.

Bereits diese Faktoren wirken multifaktoriell zusammen und erschweren jeglichen Versuch einer Modellierung (vgl. 10.3.4.4). Sekundär können sich aus der veränderten Topographie/Situation aber auch andere/neue Flugwege ergeben (Beispiele bei ALTRINGHAM 2008). Diese Entwicklungen können sowohl die Kollisionsgefahr mindern als auch erhöhen: Beginnend mit der Freistellung des Baufeldes, im Zuge der einige Jahre dauernden Bauausführung, sind Änderungen im Flugverhalten im Bereich des Straßenneubaues zu erwarten. Diese können auch zu einer positiven Kanalisierung führen, insbesondere wenn die Maßnahmen auf eine Kanalisierung zu Querungshilfen über die Straße (s. im Kap. 5) oder zu neuen Habitaten abseits der Straße hin ausgelegt werden.

10.3.4.4 Quantifizierung der Mortalität und Einfluss des Kollisionstodes auf den Erhaltungszustand der Population

Eine Abschätzung des Risikos lässt sich grundsätzlich über die Zahl der Tiere ableiten, die von einem Kollisionsrisiko bedroht sind, wenn sie Trassenquerungen vornehmen müssen. Eine erhöhte Gefährdung besteht vermutlich während der ersten Mobilitätsphase der Jungtiere, wenn diese sukzessive ihr Quartierumfeld erkunden und ihren Aktionsradius somit erweitern. Werden Querungen über den ge-

[141] Telemetrieergebnisse an der Autobahn A61 im Raum Mayen (Vortrag anlässlich der Bund-Länder-Dienstbesprechung zum Fledermausschutz des BMVBS am 03.11.2008).

planten Trassenverlauf durchgeführt und behalten die Individuen diesen Weg auch weiterhin bei, unterliegen sie einem Kollisionsrisiko im Jahresverlauf. Auf eine Population wirken eine Vielzahl von Faktoren, die ihre Entwicklung beeinflussen, u.a. Nahrungsverfügbarkeit, Konkurrenz um Nahrung, Reproduktionserfolg, Krankheiten und weitere Faktoren. Zu den von außen einwirkenden Faktoren kann auch eine erhöhte Mortalitätsrate infolge von Kollision im Straßenverkehr gehören: In dem von RUSSEL et al. (2009) dokumentierten Fall berechneten die Autoren für die betroffene Fledermaus-Kolonie an einer neu erbauten Autobahn in den USA eine zusätzliche Mortalität infolge Straßenverkehr < 1% bis 5%. Dieser Faktor kann für den günstigen Erhaltungszustand einer Kolonie ein Schlüssel sein: Modellhafte Berechnungen (BIEDERMANN et al. 2004, FÖA unveröff.) ergaben, dass die Überlebensrate für das langfristige Überleben der Modell-Fledermaus-Kolonien um den Faktor 10 bedeutender war als die Reproduktionsrate.

Wünschenswert wäre also die Berechnung der zusätzlichen Mortalität von Fledermäusen durch den Straßenverkehr einerseits und in Bezug auf die Erhaltung der jeweils betroffenen Fledrmauskolonie die Berechnung der maximal tolerierbaren zusätzlichen Mortalität.

Versuche, die Mortalität von Säugetieren oder Vögeln durch Straßenverkehr mit Hilfe von Simulationsmodellen zu prognostizieren (FRANK et al. 2001, FINKE et al. 2003, VAN LANGEVELDE & JAARSMA 2004, LIN 2007) haben generell die experimentelle Phase noch nicht verlassen. Für unsere eigenen Ansätze Fledermaus-Mortalität zu berechnen, trifft dies insbesondere zu. Eine quantitativ verlässliche Prognose ist mit den bisherigen Ergebnissen noch nicht leistbar. Die von uns angestellten Modellrechnungen für Modellarten (Mausohr, Bechsteinfledermaus) ergaben in Abhängigeit von der Verkehrsdichte und dem Verkehrsfluss bislang keine Ergebnisse, welche mit den von uns in den Geländeuntersuchungen beobachten Verteilungen der Kollisionsgefährdung in Übereinstimmung zu bringen gewesen wären. Viele wichtige Größen können nicht berücksichtigt werden.

Auch die Prognosewerkzeuge, mit denen die Auswirkungen auf die Populationsentwicklung abgeschätzt werden können, existieren erst als Gegenstand der Forschung (s.o.). In fledermausrelevanten Fragestellungen der Straßenplanung wurden diese Modelle bislang höchstens im Einzelfall eingesetzt (BIEDERMANN et al. 2004, DIETZ & BIRLENBACH 2006, K. FRANK in FÖA 2003a), weil sie zuvor noch eine aufwändige Anpassung erforderten. Für das Große Mausohr wurde in einer Studie des INSTITUTES FÜR TIERÖKOLOGIE UND NATURBILDUNG (2005, in: DIETZ & BIRLENBACH 2006), die das Modell ULM[142] nutzt, errechnet, dass eine „zusätzliche Erhöhung der Mortalitätsrate“ um 5 % einen zuvor positiven Bestandstrend umkehrt und dass eine um 10 % erhöhte Mortalitätsrate eine Population binnen 30 Jahren zum Erlöschen bringt.[143] Eine „zusätzliche Erhöhung der Mortalitätsrate“ um 2 % verhinderte in dem rechnerisch simulierten Fall eine positive Bestandsentwicklung, machte aber ein Überleben der Kolonie rechnerisch wahrscheinlich. Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen BIEDERMANN et al. (2004) bei der Anwendung eines Populationsmodells für die Kleine Hufeisennase: Eine um 5-10 % erhöhte zusätzliche Mortalität führte mittelfristig zum Aussterben der Kolonie.

Eigens für ein Projekt angestellte Berechnungen der kritischen zusätzlichen Mortalität werden bis auf Weiteres kaum zielführend sein, weil sie keine grundsätzlich anderen Ergebnisse erbringen werden. Für wesentliche Eingangswerte (z.B. Überlebensrate) und die Parameterwahl stehen keine anderen ausreichend verlässlichen, gebietsbezogenen Werte zur Verfügung. Zuverlässige Angaben zu jährlichen Reproduktionsraten können nur selten und nicht mit den Methoden der Standard-Monitoring-Programme gewonnen werden. Insoweit muss bis auf weiteres auf exemplarisch ermittelte Angaben in der Literatur zurückgegriffen werden. Die genannten Werte (≤ 5%) haben sich in Modellrechnungen unter verschiedenen Konstellationen tendenziell bestätigt.

---

[142] LEGENDRE & CLOBERT (1995).

[143] DIETZ & BIRLENBACH (2006) sind für die Berechnung davon ausgegangen, dass die Reproduktionsrate ≥ 80% bei den überlebenden Weibchen ab dem 2. Lebensjahr beträgt.

Unter Vorsorgegesichtspunkten sollte aber lediglich eine Schwelle ≤ 1 % projektbedingter zusätzlicher Mortalität als zweifelsfrei noch tolerierbar angenommen werden, um den Erhaltungszustand nicht zu gefährden.[144] Kommen nämlich in Jahren mit ungünstiger Wetterlage zusätzliche Faktoren hinzu, die die Sterberate erhöhen, kann dies kumulativ auf eine lokale Population wirken. Bei Mausohrpopulationen haben bspw. ungünstige Witterungseinflüsse (lange Kälte-/ Regenphasen, große Hitze) einen erheblichen Einfluss auf den Reproduktionserfolg und somit auf die Entwicklung der Koloniegröße (HEUSER unveröff.). Diese Einbußen durch Umweltstochastik müssen folglich in günstigen Jahren ausgeglichen werden, damit die Population wächst oder stabil bleibt.

10.4 Wirksame Maßnahmen zur Vermeidung von Beeinträchtigungen

10.4.1 Der Begriff „Wirksamkeit“, Einschätzung der Wirksamkeit von Maßnahmen

Sind Beeinträchtigungen der Fledermausarten als Folge der o.g. bau-, anlage- und betriebsbedingten Wirkungen absehbar resp. nicht auszuschließen, muss der Vorhabenträger sich bemühen, diese Beeinträchtigungen möglichst ganz zu vermeiden resp. die Wirkungen zu vermindern. In ihren Leitfäden zum Gebiets- und Artenschutz (Guidance document) erläutert die KOMMISSION die von ihr gesehenen Möglichkeiten, Schadenbegrenzungsmaßnahmen zur Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen einer Anhang II-Art in einem FFH-Gebiet vorzusehen (KOMMISSION 2000: 40) bzw. sogenannte CEF-Maßnahmen (measures that ensure the continued ecological functionality) bei der Beurteilung der Verbotstatbestände der Artikel 12 FFH-RL zu berücksichtigen (KOMMISSION 2007). Solche „Maßnahmen … müssen den Charakter von schadensbegrenzenden Maßnahmen haben (d. h. auf eine Minimierung, wenn nicht gar die Beseitigung der negativen Auswirkungen abzielen)“ (KOMMISSION 2007: 55).[145] Sie müssen eine hohe Erfolgschance / Wirksamkeit aufweisen und auf der optimalen Fachpraxis basieren (KOMMISSION 2007: 70).

Die Wirksamkeit von Schadensbegrenzungsmaßnahmen muss mit Bezug zur betroffenen Gebietspopulation (des FFH-Gebietes) beurteilt werden, die Wirksamkeit artenschutzrechtlich veranlasster Maßnahmen mit Bezug zu den betroffenen Individuen bzw. zur lokalen Population.[146]

Die Bewertung des Erkenntnisstandes in BCT (2007b), ALTRINGHAM (2008) und BRINKMANN et al. (2008) lässt demgegenüber große Lücken erkennen. Wirksamkeitsbelege auf der Populationsebene

---

[144] Die Europäische Kommission (2008) äußerst sich zur tolerierbaren zusätzlichen Mortalität im Zusammenhang mit den Anforderungen der Vogelschutzrichtlinie zur Jagd. Unter Punkt 3.5.34 wird ausgeführt: „Die Entnahme darf sich nur unwesentlich auf die Populationsdynamik der betreffenden Arten auswirken. Eine Zahl von 1 % oder weniger entspricht dieser Bedingung, da die Parameter der Populationsdynamik selten mit einer Genauigkeit von weniger als einem Prozentpunkt bekannt sind und eine Entnahme von weniger als 1 % mathematisch gesehen in Modellstudien ignoriert werden kann.“

[145] Maßnahmen, die „aktiv zur Verbesserung oder Erweiterung einer bestimmten Fortpflanzungs- oder Ruhestätte beitragen, so dass es zu keinem Zeitpunkt zu einer Reduzierung oder einem Verlust der ökologischen Funktionalität dieser Stätte kommt“ (KOMMISSION 2007: ebd.), sind im Kontext des Artenschutzes zwar ebenfalls möglich. Solche Maßnahmen sind aber nicht Gegenstand der empirischen Untersuchungen des Forschungsvorhabens und werden insoweit im Folgenden nicht weiter betrachtet.

[146] Die fachliche und rechtliche Diskussion, ob der in § 44 Abs. 1 Nr. 3 BNatSchG angesprochene Lebensstättenschutz in seinem räumlichen Zusammenhang einerseits und die lokale Population der betroffenen Arten anderseits denselben Bezug haben, bleibt hier ausgeblendet. Gleiches gilt für die Frage, ob Maßnahmen zu Abwendung einer signifikanten Steigerung des Tötungsrisikos letztlich vor dem Hintergrund eines Bezugs zur lokalen Population zu bewerten sind.

fehlen gänzlich (für Grünbrücken allgemein: HOLDEREGGER & DI GIULIO 2007). Für Fledermauspopulationen weist z.B. ALTRINGHAM (2008) auf das Fehlen von Nachweisen hin, dass die Maßnahmen zu annähernd 100 % der Population zugute kommen, also Barrierewirkungen und Kollisionsrisiken gänzlich vermieden werden. Zweifel hinsichtlich der Beweislage, was die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Verhinderung von Kollisionen bei Fledermäusen betrifft, äußerte auch das BVerwG (Urteil vom 17.01.2007 9A20.05, Rn. 153).

Zugleich werden in der Fachliteratur generell die erheblichen Methodenprobleme anerkannt, die Nachweise bislang verhindern. Empirische Untersuchungen zur Wirksamkeit von fledermausspezifischen Bauwerken sind nicht zuletzt wegen der geringen Zahl bislang realisierter Maßnahmen selten (BACH et al. 2004, BACH & MÜLLER-STIEß 2005, BIEDERMANN 2008, FÖA 2002, FUHRMANN & KIEFER 1996, KERTH & MELBER 2009, NACHTaktiv & SWILD 2008, SWILD & NACHTaktiv 2007, WRAY et al. 2006). Auf Grund unterschiedlicher methodischer Ansätze (z.B. unterschiedliche Detektortypen, Horchboxen, Infrarot- und Wärmebildkameras bei gleichzeitig geringer Standardisierung der Methoden und Kalibrierung der Geräte) können die Ergebnisse der Studien zudem nur bedingt miteinander verglichen werden.

Weil der Kenntnisstand einerseits noch gering ist, die Planungspraxis aber nach Leitlinien verlangt, werden zwangsläufig notwendige Maßnahmen bislang allein aufgrund von Experteneinschätzungen und teils auf der Grundlage anekdotischen Wissens als „wirksam“ bzw. „nicht wirksam“ eingestuft und in Leitfäden zum Handlungsstandard gemacht (z.B. AG QUERUNGSHILFEN 2003, BRINKMANN et al. 2008, FGSV 2008, LIMPENS et al. 2005). Vermutlich um der Uneinheitlichkeit von Bewertungen entgegen zu wirken hatte BRINKMANN (in BRINKMANN et al. 2008: 102) die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Vermeidung von Beeinträchtigungen von Fledermäusen im Straßenbau mittels eines im Vergleich zu den vorliegenden Handlungsleitfäden methodisch differenzierteren Befragungsansatzes jüngst erneut von Fledermausexperten abschätzen lassen. Er hatte dabei die Wirksamkeit auf einer Ordinalskala danach beurteilen lassen, wie viele Individuen eine Querungshilfe nach dem Geländeeindruck der Experten benutzen.[147] Da die Arbeit von BRINKMANN nur auszugsweise vorliegt, kann nicht beurteilt werden, ob es gelungen ist, die typischen Schätzfehler einer Delphibefragung gering zu halten, insbesondere weil den einzelnen Experteneinschätzungen wiederum keine empirische Datenbasis zugrunde lag, sondern ein, durch den jeweiligen Arbeitsschwerpunkt geprägter, Erfahrungshintergrund. Vor dem Hintergrund der Ergebnisse, die mit diesem Forschungsbericht vorgelegt werden und die die empirische Grundlage erweitern, müssen die Einschätzungen überprüft werden.

In vorliegendem Forschungsbericht wird trotz der verbreiterten Bewertungsbasis aber keine explizite Bewertung der Wirksamkeit einzelner Maßnahmentypen vorgenommen. Dies wird wie folgt begründet: Wie dargelegt, ist der Erhaltungszustand der Populationen – über alle zu beachtenden Rechtsinstrumente, Eingriffsregelung, Artenschutzrecht und FFH-Verträglichkeitsprüfung hinweg – Bezugspunkt für die Bewertung. Eine Verschlechterung des Erhaltungszustandes ist immer dann anzunehmen, wenn sich als Folge der Störung die Größe oder der Fortpflanzungserfolg der lokalen Population signifikant und nachhaltig verringert. Signifikant hat die Bedeutung von `bezeichnend´, `bedeutsam`.148 Wann eine Änderung bezeichnend bzw. bedeutsam ist, kann sich nur aus dem Kontext des Einzelfalles ergeben Das Vorhandensein wirksamer Leit- und Sperreinrichtungen kann ein Hinweis darauf sein, dass signifikante Erhöhungen des Kollisionsrisikos nicht zu befürchten sind (BVerwG, Urteil 9 A 39.07 vom 18.03.2009 - Neubau der Bundesautobahn A 44 zwischen Ratingen und Velbert), jedoch muss auch

[147] Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen nach BRINKMANN (in Vorb.) entsprechend einer Experteneinschätzung: Wie viele Tiere nutzen die Querungshilfe: 5 sehr geeignet alle oder fast alle Tiere, 4 geeignet die allermeisten Tiere, 3 bedingt geeignet rund die Hälfte der Tiere, 2 wenig geeignet nur ein kleiner Teil der Tiere, 1 ungeeignet keine oder fast keine Tiere.

[148] Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS), Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften. Abruf: 26.05.2009.

das Maßnahmenkonzept anhand seines jeweils erwarteten konkreten Beitrages zum Schutz der Art(en) vor Ort beurteilt werden.149
Zur Vorbereitung dieser im Einzelfall vorzunehmenden Bewertung (vgl. Tabelle 10-3) können die Ergebnisse des Forschungsprojektes aber genutzt werden, die grundsätzliche Funktionsfähigkeit einer Maßnahme zu bewerten. Als Merkmale gelten neben statistischen (s. in den Kap. 2 – 8) auch funktionale:

- Eine Maßnahme zeichnet sich aufgrund des erreichten Erkenntnisstandes durch eine arttypisch hohe Dichte Transfer fliegender oder jagender Individuen aus,
- Referenzstandorte an/auf der Straße weisen eine arttypisch sehr geringe (am besten nicht existente) Dichte Transfer fliegender oder jagender Individuen aus,
- eine Maßnahme wird regelmäßig von den Kolonietieren aufgesucht/genutzt. (Die Bewertung erfordert Telemetriedaten, die nur ausnahmsweise vorliegen).

10.4.2 Zeitraum bis zur Annahme neuer Querungshilfen

Erfahrungswerte bzw. systematische Untersuchungen, welche Zeit Fledermäuse benötigen, um neu errichtete Querungshilfen zu akzeptieren, liegen kaum vor. Die eigenen Untersuchungen an der Autobahn A3 deuten darauf hin, dass neue Querungshilfen von Fledermäusen sehr schnell genutzt werden (können), dokumentieren aber erst den Beginn eines Anpassungsprozesses und müssen in Bezug auf die Zeit nach dem Ausbau um weitere Untersuchungen ergänzt werden, bevor abschließende Bewertungen möglich sind. Obwohl die drei neu gebauten Kleintierdurchlässe ebenso wie die neu gebaute Grünbrücke im Untersuchungszeitraum nicht fertig gestellt wurden, konnten in halb fertigen Kleintierdurchlässen[150] bereits Anflüge derselben Arten (Großes Mausohr, Mopsfledermaus sowie unbestimmte kleinere *Myotis*-Arten) festgestellt werden, die auch in bereits vorhandenen Unterführungen im Untersuchungsgebiet dominieren (siehe Kap. 5). Es wird also tendenziell damit gerechnet, dass geeignete[151] Unterführungen schon bald nach ihrer Fertigstellung (d.h. in der folgenden Aktivitätsperiode) von vegetationsnah fliegenden Fledermäusen zum Queren der Autobahn genutzt werden. Bezüglich anderer Bauwerkstypen, die als Vermeidungsmaßnahmen in Betracht kommen, gelten folgende Einschätzungen, die aber durchweg durch weitere (längere) Untersuchungen noch unterfüttert werden müssen:

- Talbrücken wurden bereits während der Bauphase unterflogen (eig. Daten der Telemetrie von Bechsteinfledermäusen an der Autobahn A60, s. Kap. 4).
- Die in einem Flugkorridor / Wechselbereich von Bechsteinfledermäusen gelegene Grünbrücke (nutzbare Breite 50 m) an der Autobahn A1 „wurde in der ersten Vegetationsperiode nach Eröffnung durch

---

[149] Dazu ein Beispiel aus dem Artenschutzrecht: Bei häufigen und weit verbreiteten Arten können nur Störungen an den Populationszentren in diesem Sinne signifikante Beeinträchtigungen mit sich bringen bzw. initiieren. Bei landesweit seltenen Arten mit geringen Populationsgrößen kann eine signifikante Verschlechterung bereits dann vorliegen, wenn die Fortpflanzungsfähigkeit, der Reproduktionserfolg oder die Überlebenschancen einzelner Individuen beeinträchtigt werden. In diesem Forschungsbericht finden sich viele Beispiele, unter welchen Bedingungen eine Struktur, z.B. eine Hecke oder ein Bachlauf mit Ufergehölz, maßgeblich für eine Fledermaus-Kolonie ist. GARLAND & MARKHAM (2007) unterscheiden die Hecke, die als einzige das Wochenstubenquartier einer Wasserfledermaus mit den Jagdhabitaten verbindet und damit essenziell bzw. signifikant in o.g. Sinn ist, von einer Situation, in der eine von sieben Hecken entfällt und diese auch keine zentrale Funktion ausübt. Ähnlich stellt sich die Frage nach der Signifikanz der Wirkung einer Schadensbegrenzungsmaßnahme, bspw. einer Grünbrücke.

[150] Durchlässe mit Ellipsenform mit 2,66 m max. Breite und 2,31 m max. Höhe.

[151] Ob die Kleintierdurchlässe für diese Arten eine ähnlich hohe Funktionalität als Querungshilfe erlangen können wie die im Untersuchungsgebiet bestehenden größeren Unterführungen Schenkensee (lH 4,5 x lB 4 x Länge 31 m) und Heidingsfeld, kann erst nach weiteren Untersuchungen bewertet werden, wird aber angesichts der in Kap. 8.1 dargestellten Ergebnisse nicht unbedingt erwartet.

Fledermäuse genutzt“ (BETTENDORF 2010, auszugsweise veröff. in STEPHAN & BETTENDORF 2011).

- Leit- und Sperreinrichtungen werden unmittelbar genutzt (s. Kap. 8.3).

Damit die Bauwerke kurzfristig ihre Funktion erfüllen können, müssen sie für die Zielarten geeignet sein. Besonders günstige Voraussetzungen für die kurzfristige Wirksamkeit bestehen, wenn z.B. Querungshilfen über eine Autobahn Flugwege, die vor dem Straßenbau existieren, räumlich und funktional fortsetzen. Ein bisher noch weitgehend unbeachtetes Problem kann resultieren, wenn sich sekundär aus der infolge Straßenbau meist völlig veränderten Topographie / Situation im Bereich der Baustelle andere Flugwege entwickeln. ALTRINGHAM (2008) benennt Beispiele aus Großbritannien, wo diese Veränderungen durch die Planung nur unzureichend prognostiziert wurden und dazu führten, dass Vermeidungsbauwerke längere Zeit, möglicherweise dauerhaft, funktionslos blieben.

10.4.3 Vermeidungs- bzw. Schadensbegrenzungsmaßnahmen

Unter Vermeidungsmaßnahmen bzw. Schadensbegrenzungsmaßnahmen werden im Kontext unserer Arbeit Maßnahmen verstanden, die dazu dienen, Zerschneidungswirkungen und Kollisionstod zu verhindern oder wesentlich zu verringern:

- Unterführungen: Gewässerunterführungen unter einer Straße, Unterführungen von landwirtschaftlichen Wegen, sonstige Unterführungen z.B. von anderen Verkehrswegen, Eisenbahnstrecken usw.
- Überführungen: Grünbrücken, „Fledermaus-Brücken“ (vgl. FGSV 2008: 44), begrünte technische Brücken („Heckenbrücken“, vgl. BRINKMANN et al. 2008: 82), technische Brücken.
- Leit- und Sperreinrichtungen (FGSV 2008: 62): Leitstrukturen bzw. –pflanzungen in Form von Hecken / Gebüschen oder Leit- und Sperrwänden, Leit- und Sperrzäune.

Eine Zerschneidungswirkung und ein Kollisionsrisiko kann durch die fachgerechte Planung, Positionierung und ggf. Nachbesserung technischer Lösungen (Bauwerke) gemindert werden, wenn es gelingt, Flugwege über die Trasse aufrecht zu erhalten und so zu beeinflussen, dass die Fledermäuse nicht den direkten Gefahrenbereich durch Kraftfahrzeugverkehr queren. Hierbei ist vor allem die fachgerechte Kombination der o.g. Lösungsansätze als günstig anzusehen (vgl. FGSV 2008).

Die Maßnahmen müssen artspezifisch konzipiert werden und die spezifische landschaftliche Konfiguration, d.h. die funktionale Verteilung von Quartieren, Flugwegen und Jagdhabitaten in einer Landschaft, berücksichtigen. Im Wesentlichen werden die Anforderungen an Querungshilfen bzw. Leit- und Sperreinrichtungen durch das Flug- und Beutesuchverhalten bestimmt. Grob unterscheidbar sind breitflügelige bzw. schmalflügelige Arten:

- Breitflügelige Arten, die im Allgemeinen langsam und sehr eng strukturgebunden bzw. -folgend fliegen
- breitflügelige Arten, die schwach strukturgebunden, aber tendenziell strukturfolgend fliegen
- schmalflügelige, schnell fliegende Arten, die überwiegend im halboffenen Kronenraum hoher Bäume bzw. frei über den Kronen fliegen und selten in Bodennähe kommen und keine Leitstrukturen im o.g. Sinn benötigen.

Eine Zusammenstellung der als wirksam angesehenen Maßnahmen ist in Übersicht aus Tabelle 10-3 zu entnehmen. Bezüglich weiterer Details wird auf die einzelnen Fachkapitel des Forschungsberichtes

(Kap. 2 – 8) und die „Arbeitshilfe zum Fledermausschutz im Straßenbau“ (BMVBS in Vorb.) verwiesen. Die Tabelle berücksichtigt ausschließlich die Fragestellungen und Ergebnisse des vorliegenden Forschungsberichtes, also z.B. keine Aspekte der Flächeninanspruchnahme durch den Bau einer Straßen- oder Bahntrasse.

Tabelle 10-3: Wirksamkeit möglicher Maßnahmen zur Vermeidung von Beeinträchtigungen

Wirkung	Mögliche Gegenmaßnahme	Wirksamkeit
Zerschneidung von (Teil-) Lebensräumen	Generell: Querungshilfen	
	Unterführungen Nur bei Dammlage möglich. Anbindung an vorhandene Leitstrukturen (Hecken, Waldränder, Waldschneisen)	Unterführungen können zur gefahrlosen Querung beitragen, wenn sie einen geeigneten Querschnitt aufweisen (Kap. 8.1). Eine Dimensionierung sollte entsprechend den Artanforderungen erfolgen, s. Kap. 8.1. Unterführungen stellen besonders wirksame Querungshilfen dar. Die in Experten-Empfehlungen (AG QUERUNGSHILFEN 2003, LIMPENS et al. 2005, BRINKMANN et al. 2008, FGSV 2008) geforderten Bauwerksdimensionen haben sich in den empirischen Untersuchungen tendenziell bestätigt. Zugleich erlaubt die festgestellte Varianz Abweichungen, wenn diese aufgrund von örtlichen Spezifika begründet sind (landschaftliche Besonderheiten). Der Nachweis, dass die Maßnahmen populationswirksam sind, also Barrierewirkungen und Kollisionsrisiken gänzlich vermieden werden, steht jedoch aus.
	(Tal-)Brücken	Talbrücken tragen zur gefahrlosen Querung wesentlich bei (Kap. 4, Kap. 8.1). Talbrücken stellen besonders wirksame Querungshilfen dar.
	Grünbrücken Fledermausbrücken Anbindung an vorhandene Leitstrukturen (Hecken, Waldränder, Waldschneisen)	Sehr gute Funktionsfähigkeit bereits nach wenigen Jahren (Kap. 8.2). Die Funktionsfähigkeit einer Fledermaus-Querungshilfe (Grünbrücke, Fledermausbrücke, begrünte Brücke) hängt in erster Linie von der Ausprägung geeigneter Vegetation auf der Brücke und der Qualität der Anbindung an das Umfeld (Wald) ab. Die diesbezüglichen Anforderungen sind artspezifisch. Für die Mehrzahl der Arten günstig/wichtig ist eine möglichst zweiseitige Abschirmung durch Gehölze, einem „Hohlweg“ vergleichbar.[152] Für einige Arten reichen weniger ausgeprägte Vegetationsstrukturen (Kap. 8.2)
	Unbegrünte Brücken, Schilderbrücken	In der Regel keine Funktion als Querungshilfe. Ausnahmesituationen sind denkbar, wenn eine technische Brücke als verbindendes Element Querungen von Fledermäusen zwischen beidseitig vorhandenen Leitstrukturen, die bis an die Straße heran reichen, unterstützt (Hop-over-Situation, LIMPENS et al. 2005)
	Lage im Einschnitt Verwallung der Trassenseite(n), wenn erhöhtes Risiko indiziert ist	Je stärker eine Art den Konturen folgend fliegt, umso höher ist die Gefahr, dass die Tiere in den Einschnitt abtauchen und die Trasse niedrig queren (s. z.B. Kleine Hufeisennase; BIEDERMANN 2008). Trotzdem wird eine Einschnittssituation oder eine sekundäre Einschnittslage infolge Verwallung als im Vergleich zur Gleichlage sicherer Trassenabschnitt eingestuft; bis 50% Tiere mieden den Einschnitt oder überfliegen ihn hoch (Kap. 6.1). Bechsteinfledermäuse nutzten nach Telemetrieergebnissen neben der Grünbrücke bevorzugt eine Einschnittlage zum Queren der Autobahn A1 (STEPHAN & BETTENDORF 2011).
Kollisionsrisiko	Leit- und Sperreinrichtungen (auch temporär) beidseitig der Trasse	Kurzfristig wirksame Minderungsmaßnahme. Reduziert die Zahl der kollisionsgefährdeten Querer je nach Situation (Wald, Offenland, Querungshilfen) um ca. 40-70% (Kap. 8.3). In Kombination mit Querungshilfen ist eine gesteigerte Wirkung zu erwarten.
	(dichte) Leit- und Sperrpflanzungen beidseitig der Trasse	Mittel- und langfristig wirksame Minderungsmaßnahme (erst nach Erreichen einer ausreichend dichten Struktur und einer Wuchshöhe von größer 3-4 m); Wirkungsgrad dann vermutlich wie oben (s. Kap. 6.1.4.4).

[152] Nach BACH (2008) zeigte sich, „dass die breiten Brücken (53-65 m breit) eine höhere Fledermausaktivität aufwiesen als schmalere Brücken. Bei Brücken unter 40 m traten keine eindeutigen Unterschiede auf, da sie von anderen Faktoren überlagert wurden.“ „Ein weiterer Faktor ist die Bepflanzung der Grünbrücken mit Büschen und Bäumen als Leitlinie und Schutz...“. „Es zeigte sich, dass Grünbrücken mit guten Strukturen deutlich höhere Fledermausaktivitäten aufwiesen als mit lückigen oder einseitigen Gehölzreihen“.

Wirkung	Mögliche Gegenmaßnahme	Wirksamkeit
	Schutzpflanzungen / Sperreinrichtungen (Wände/Zäune) auf dem Mittelstreifen	Keine ausreichenden Geländebefunde verfügbar (Untersuchungen bis Manuskriptschluss nicht abgeschlossen). Bei breiteren Trassen und fehlenden Querungshilfen möglicherweise im Einzelfall sinnvolle Ergänzung der Leit- und Kollisionsschutzvorkehrungen am Fahrbahnrand. Vor Einsatz sind weitere Grunddaten erforderlich; aufgrund von Zwischenergebnissen der noch unabgeschlossenen Untersuchungen (s. Kap. 8.3) kann nicht ausgeschlossen werden, dass Individuen (möglicherweise v.a. unerfahrene Jungtiere) zu einem Entlangfliegen an den Mittelstreifen-Einrichtungen provoziert werden, was die Kollisionsgefahr sekundär erhöht.
	Kappen von Hecken-Leitstrukturen im Offenland, Umlenkung, Verwallung / Bepflanzung von Waldwegen, die in Gleichlage auf die Trasse oder zu Gefährdungsschwerpunkten führen	Keine wissenschaftliche Geländebefunde verfügbar. Hinweise aus „Heckenexperimenten“ (BRITSCHGI et al. 2004) und anekdotischen Beobachtungen sprechen dafür, dass die Maßnahme im Einzelfall genutzt werden kann, die traditionelle Nutzung eines Flugweges zu unterbinden und ggf. umzulenken. Leitlinien werden nur solange genutzt, wie die strukturellen Voraussetzungen bestehen. Enge, zugewachsene Schneisen im Wald werden gemieden (vgl. ASCHOFF et al. 2006).
Meidung infolge Licht-/ Schallimmission während des Betriebes	Auf Querungshilfen: Irritationsschutzwände Im Grenzbereich zu bedeutsamen Habitaten: temporäre, lichtversperrende Zäunung Schutzpflanzungen	Einige Fledermausarten meiden stark schall- und lichtbeeinflusste Bereiche (Kap. 2). V.a. Flugrouten dieser Arten müssen vor Störungen geschützt werden; Abschirmung ist essenziell für die Funktionsfähigkeit der Querungshilfen (FGSV 2008, BRINKMANN 2008). Abschirmung im Grenzbereich zu bedeutsamen Habitaten kann vermutlich dazu beitragen, Funktionen als Jagdhabitat zu erhalten (wenn deren Funktionsminderung erheblich ist und nicht anderweitig kompensiert werden kann); empirische Daten sind jedoch nicht verfügbar.
Meidung infolge Licht-/ Schallimmission während der Bauzeit	Verzicht auf Bauarbeiten in fledermausbedeutsamen Habitaten in den Dämmerungs- und Nachtzeiten in der Zeit vom 1. April bis 15. Oktober	Keine unmittelbaren wissenschaftliche Geländebefunde verfügbar. In Fällen intensiver Beleuchtung starke Störwirkungen durch Licht für *Myotis*-Arten im Analogieschluss ableitbar (Kap. 2.2, vgl. auch ALDER 1993, BLAKE et al. 1994, MAY 2000). Von Baulärm sind mit Blick auf die Ergebnise der Untersuchungen zu Schallwirkungen (Kap. 2) keine relevanten Wirkungen zu erwarten.

Hinsichtlich der Standortkonzeption von Querungshilfen ist zu beachten, dass möglichst alle essenziellen/bedeutsamen Flugwege aufrechterhalten werden sollen. Abweichungen sind möglich, wenn Flugwege sehr nahe nebeneinander existieren: Funktionale Querungshilfen können offenbar einem Trichter gleich einen gewissen „Sog“ auf die Querungsbewegungen im Umfeld ausüben. Dies konnte jedenfalls an Talbrücken, die neu erstellt worden waren, in empirischen Untersuchungen festgestellt werden (Kap. 4). Der Effekt trat auch nicht erst nach langer Gewöhnung auf, sondern kurzfristig, noch während der Bauphase. Die Wirkung kann vermutlich durch eine entsprechende Einbindung in funktionale Leitlinien unterstützt werden. Wo keine entsprechenden Flugwege ausgeprägt sind (z.B. im geschlossenen Wald), sollte die Entfernung zwischen Querungsmöglichkeiten nicht größer als 1000 m werden, vgl. die Ergebnisse in Kap. 4. Querungshilfen bedürfen dann einer spezifischen Anordnung im Raum, wenn tradierte Flugwegebeziehungen aufrechterhalten werden sollen.

Wo örtlich konzentrierte Flugwege nicht vorhanden sind, können andere, nicht allein auf das Schutzgut „Fledermaus“ ausgelegte Kriterien für die Anordnung der Querungshilfen zu Hilfe genommen werden. Die Einbindung der Funktionalität für Fledermäuse muss dann peripher durch Leitpflanzungen, dichte Schutzpflanzungen und ggf. weitere vorgreifende technische Lösungen, wie Leit- und Sperrwände, erfolgen. Sekundär können sich aus der veränderten Situation andere Flugwege ergeben, die ebenso vorausschauend prognostiziert und durch entsprechende Maßnahmen in Gestalt von Leitlinienpflanzungen aktiv entwickelt werden müssen.

10.4.4 Ergänzende Maßnahmen

Die Kapazität eines Lebensraumes (Quartierhabitate und –eignung, Nahrungshabitate und Nahrungsangebot) ist für den günstigen Erhaltungszustand einer Fledermauskolonie von entscheidender Bedeutung. Dem Ansatz der CEF-Maßnahmen folgend (KOMMISSION 2007) kann das Reaktionspotenzial

der Kolonien gegenüber Beeinträchtigungen durch vorgezogene Verbesserung der Lebensraumkapazität im räumlichen Zusammenhang erhöht werden. Solche Maßnahmen zur Verbesserung der Habitatkapazität müssen artbezogen entwickelt werden.

Quartierschutz

Der Schutz des Quartiers / der Quartiere stellt einen Schlüssel zum Erhalt des günstigen Erhaltungszustandes der Fledermauspopulationen dar. Quartierschutz muss deswegen immer als Element eines Maßnahmenkonzeptes erwogen werden.

Lenkungsmaßnahmen im Offenland und im Wald

Alle (relevanten, d.h. durch Straßen potenziell beeinträchtigten) Fledermausarten nutzen lineare Strukturen im Wald und im Offenland mehr oder weniger stark als Leitelemente auf dem Weg zwischen Quartieren und auf dem Weg in die Jagdgebiete. Besonders herausragende, vermutlich besonders nahrungsreiche Habitate werden gezielt angeflogen, bspw. einzelne Gewässer oder großkronige Einzelbäume auf einer Weide, die Bechsteinfledermäusen als Jagdgebiet dienten (LÜTTMANN et al. 2003). Entsprechend können die Flugbewegungen von Fledermausarten durch Manipulation der Leitstrukturen / Orientierungspunkte auch – in Grenzen – beeinflusst werden. Lenkungsmaßnahme in der Feldflur können durch Hinzufügen oder Wegnahme von Heckenpflanzungen vorgenommen werden. BRITSCHGI et al. (2004) berichten von einem Experiment mit einer künstlichen Heckenpflanzung, die innerhalb des kurzen Zeitraumes des Experiments allerdings nur von einem geringen Teil der betroffenen Kolonie angenommen wurde. Neu gepflanzte Hecken an der Autobahn A17 wurden nach 2-3 Jahren Entwicklungszeit dagegen von der Kleinen Hufeisennase und weiteren Arten als Leitlinien zu den Querungshilfen genutzt (BIEDERMANN/SCHORCHT mdl.)[153]. Lenkungsmaßnahmen im Wald können durch die Anlage von (artspezifisch breiten) Waldschneisen realisiert werden. Breite Schneisen von 5 – 10 m können z.B. Mausohren einen günstigen Flugraum bieten und gleichzeitig die Bodenjagd ermöglichen. Eine entsprechende Anordnung / Zuordnung der Leitlinien vorausgesetzt, können diese Sekundärmaßnahmen die Akzeptanz der Querungshilfen vermutlich steigern. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen ist im Analogieschluss aus dem Flugverhalten und der generellen Präferenz von Fledermäusen für Randlinien ableitbar (VERBOOM 1998). Der Wirkungsgrad entsprechender Maßnahmen ist aufgrund fehlender wiss. Daten aber ex ante nicht quantitativ prognostizierbar. Experimentelle Untersuchungen zu diesem Thema z.B. durch ASCHOFF et al. (2006) legen nahe, dass verengte Flugwege im Wald von Fledermäusen deutlich weniger genutzt werden, bzw. die Aufweitung solcher Flugwege zur häufigeren Nutzung führt. Die Funktionalität dieser Lenkungsmöglichkeit ist in hohem Maß abhängig vom Raumwiderstand der umgebenden Flächen: In einem lichten Hallenwald kann keine Lenkung erwartet werden, in dichten Beständen (Jungwuchs, Dickung) kann die Maßnahme dagegen relativ wirksam sein. Bevor entsprechende Maßnahmen eingestellt werden, muss aber der Aufwand für die langfristige Funktionssicherung durch Freischnitt, Mahd o.ä. bedacht werden.

Maßnahmen zur Verbesserung der Habitatkapazität

Für Fledermausarten, die an naturnahen Gewässern mit einem entsprechend nachhaltigen Angebot an Insekten geeignete, hochwertige Nahrungshabitate finden, können bspw. Habitate im Aktionsraum der Kolonien ergänzt und effektiv aufgewertet werden, indem vorhandene Gewässer saniert oder strukturreiche Gewässer neu geschaffen werden.[154] Zugleich beeinflussen diese Habitate aufgrund ihrer herausragenden Eignung auch das räumliche Verhalten der Arten („Leuchttürme“ innerhalb der Aktionsareale der Arten).

---

[153] Wir danken Frau Dipl.-Ing. Karin Wolfram (DEGES), die das Monitoring-Projekt an der A17 betreut, für ergänzende Informationen.

[154] Fledermäuse sind vor allem in extrem heißen Sommerphasen darauf angewiesen, quartiernah und ggf. auch am Tage ihren Wasserhaushalt zu ergänzen. Quartiere in oder an Gebäuden können an Tagen mit hoher

10.5 Risikomanagement

10.5.1 Definition, Arbeitsschritte, Methodenprobleme

Unter Risikomanagement (RM) versteht man den planvollen Umgang mit Risiken; dies beinhaltet die systematische Erfassung und Bewertung von Risiken sowie die Steuerung auf festgestellte Risiken mit Korrektur- und Vorsorgemaßnahmen. Der Begriff Monitoring beschreibt die systematische Erfassung, Beobachtung und Überwachung eines Vorgangs oder Prozesses mittels technischer Hilfsmittel oder anderer Beobachtungssysteme als Bestandteil des RM. Insofern sind Risikomanagement und Monitoring eng miteinander verzahnt. Näheres zum Begriffsverständnis und zum Verständnis des Risikomanagements s. in der Richtlinie RLBP (BMVBS 2011) bzw. im Gutachten (BOSCH et al. 2009).

Ziel des nachfolgend beschriebenen Risikomanagements ist die Sicherstellung der Wirksamkeit der in diesem Bericht behandelten Vermeidungsmaßnahmen, d.h. die Klärung, wie sich betroffene Vorkommen unter dem Einfluss der Projektwirkungen einerseits und der ggf. ergriffenen Vermeidungsmaßnahmen entwickeln (z. B. die Überprüfung der Wirksamkeit von Überflughilfen für Fledermäuse; vgl. Monitoring für die Fledermausart Kleine Hufeisennase im Rahmen des Neubaus der BAB A 17 bei Pirna, in BRINKMANN et al. 2008).

Die folgende Darstellung orientiert sich an den vom BVerwG im Urteil zur Westumfahrung Halle formulierten Anforderungen (Urteil des BVerwG vom 17.01.2007. 9 A 20.05, Leitsätze 6 und 11 sowie Kap. 1.12 des amtlichen Urteilsabdrucks). Dort wird das Risikomanagenment im Kontext der Erheblichkeitsbewertung im Rahmen der FFH-VP angesprochen.[155] Folgende Arbeitsschritte muss ein Risikomanagement inkl. Monitoring allgemein erfüllen (s. Abbildung 10-2): Zunächst müssen die Prognoseunsicherheiten formuliert werden. Daraus ergibt sich das Erfordernis, vorsorgliche und/oder nachsorgende Maßnahmen vorzusehen.

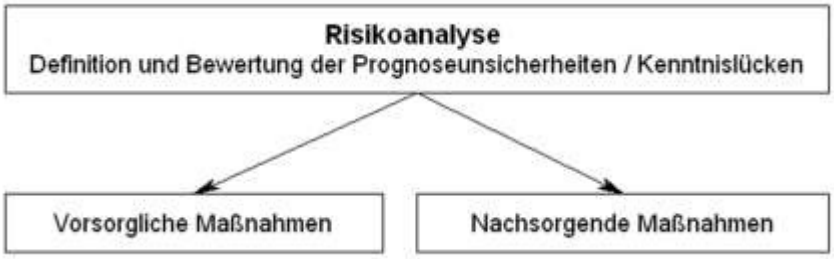


Abbildung 10-2: Arbeitsschritte innerhalb des Risikomanagements / Teil 1

Sonneneinstrahlung überhitzen, ohne dass den Tieren ein Ausweichen auf günstigere Hangplätze oder in Quartiere mit günstigeren Temperatureigenschaften möglich ist. Um dem Risiko einer letalen Überhitzung oder Austrocknung zu entgehen, ist es möglich, dass Fledermäuse sogar am Tage ihr Quartier verlassen um Wasser aufzunehmen. Quartiernahe Wasserstellen minimieren daher die Gefahr, das Fledermäuse von potenziellen Prädatoren erbeutet werden und sind auch als Jagdhabitate von Bedeutung.

[155] In der Ausnahme nach Art. 6 (4) FFH-RL bzw. Art. 16 FFH-RL sind vorrangig kompensierende Maßnahmen (Kohärenzmaßnahmen, FCS-Maßnahmen) vorzusehen, die z.B. in Form von habitataufwertenden Nutzungsänderungen realisiert werden können. Ein Maßnahmenkonzept zur Kohärenzsicherung bedingt zwar in der Regel auch ein Monitoring der Maßnahmen, um ihre Wirksamkeit zu belegen (so jedenfalls die Auffassung der Europäischen Kommission, vgl. ATECMA 2005, KOMMISSION 2007); trotzdem müssen Kohärenzmaßnahmen nicht die hohen Anforderungen von Schadensbegrenzungsmaßnahmen hinsichtlich der Prognosesicherheit erfüllen. Die für den Habitatschutz geltenden Anforderungen können ebenso „nicht unbesehen und unterschiedslos auf den allgemeinen Artenschutz übertragen werden“ (vgl. BVerwG Urteil 9 A 14.07 vom 09.07.2008 - Bad Oeynhausen BAB A30, Leitsatz 4). Entsprechend kann auch bezüglich der Anforderungen an das Monitoring von artenschutzrechtlich veranlassten Maßnahmen davon ausgegangen werden, dass (graduelle) Abstufungen bezüglich der zu erbringenden Nachweise gerechtfertigt sein können.

Kernarbeitsschritt eines Risikomanagements ist die Risikokontrolle, die i. d. R. mit Hilfe eines Monitorings durchgeführt wird. In diesem Arbeitsschritt werden die, in den vorangegangenen Arbeitsschritten festgelegten Parameter, überprüft (Abbildung 10-3).

Abbildung 10-3: Arbeitsschritte innerhalb des Risikomanagements / Teil 2

Das Risikomanagement endet nach diesem Arbeitsgang, wenn das benannte Risiko anhand der festgelegten Kontrollparameter ausgeräumt und eine langfristige Stabilität des angestrebten Zustands erwartet werden kann. Bei Nichterreichung des angestrebten Zielzustandes sind für eine Risikobewältigung Nachbesserungen durchzuführen; diese müssen wiederum einer Kontrolle / einem Monitoring unterzogen werden, bis der gewünschte Zielzustand erreicht ist. Möglicherweise sind jedoch die Voraussetzungen zur Erreichung der Erfolgskriterien aufgrund externer, nicht straßenbürtiger Faktoren nicht mehr gegeben, z.B. weil sich die Rahmenbedingungen im Umfeld durch Störeinflüsse ändern. In diesem Fall ist in Abstimmung mit den zuständigen Fachbehörden eine Modifikation durchzuführen. Dieser Schritt ist nicht Gegenstand des Risikomanagements.

Das Risikomanagement setzt ein vorgreifendes[156], bau- und betriebsbegleitendes Monitoring voraus, um Veränderungen zu dokumentieren und Konfliktpunkte zeitnah zu erkennen. Die aus dem Monitoring resultierenden Ergebnisse müssen fachgerecht in die Optimierung von Maßnahmen einfließen und situationsgerecht umgesetzt werden. Die Untersuchungen müssen in folgenden Phasen ablaufen: Voruntersuchungen, baubegleitende Untersuchungen und betriebsbegleitende Untersuchungen. Von entscheidender Bedeutung ist die parallele Untersuchung von Referenzzuständen bzw. Referenzflächen, vgl. in ROEDENBECK et al. (2007).

[156] Gemeint ist ≥ 2 - 3 Jahre vor Baubeginn.

Die Methoden und Reaktionsnormen des Risikomanagements sind entsprechend der in der Planung prognostizierten Wirkungspfade und der entsprechend objektiv bestehenden Risiken im Rahmen der Erstellung der PF-Unterlagen detailliert zu entwickeln und im PF-Beschluss i.d.R. als Teil der Nebenbestimmungen festzulegen. Die folgenden Angaben sollen lediglich einen Rahmen geben.

Je nachdem, welche kritischen Pfade aufgrund der Prognose identifiziert wurden, bspw. die Erreichbarkeit geeigneter Jagdhabitate oder das Kollisionsrisiko resp. die Maßnahmenwirksamkeit zur Verminderung des Kollisionsrisikos, muss das Risikomanagement auf diese Aspekte hin ausgelegt werden:

- Nicht- oder Schlechtdurchführung von Maßnahmen (Umweltbaukontrolle, Herstellungskontrolle),
- Wirksamkeit der Maßnahmen (Pflege- und Funktionskontrolle),
- Erhaltungszustand der Kolonie(n): Die betroffene(n) Wochenstubenkolonie(n) darf sich nicht negativer entwickeln als in Referenzkolonien (Monitoring der Populationsentwicklung).

Anerkannt werden von allen Autoren generell die erheblichen Methodenprobleme, die Nachweise der Wirksamkeit von Maßnahmen vor allem in Bezug auf die Populationswirksamkeit bislang verhindern bzw. den Nachweis der langfristigen Unschädlichkeit des jeweiliges Vorhabens schwierig bzw. zumindest aufwändig machen:

- Hintergrunddaten in Bezug auf die Population(en) sind in der Regel nicht verfügbar. Für Maus-ohrkolonien wären bspw. langjährige systematische Zählungen (mindestens in der Tiefe der „Vilm-Kriterien“ zum Mausohrmonitoring, BIEDERMANN et al. 2003) erforderlich.
- Bisher in der Praxis etablierte Untersuchungsansätze bzw. die damit erhobenen Populationsparameter (Monitoring, s.o.) sind in der Regel nicht geeignet, Veränderungen der Population(en) (u.a. „Wochenstubentieren“) im Bereich von 1 % (kritische zusätzliche Mortalität, s.o.) zu belegen und abzusichern.

Entsprechend wird es in der Praxis nur unter selten vorhandenen Rahmenbedingungen mit einem multimethodischen Ansatz gelingen, schlüssig einen Zusammenhang zwischen den evtl. festgestellten Populationsveränderungen und projekteigenen und projektfremden Ursachen bzw. der Nicht-Wirksamkeit bestimmter Schadensbegrenzungsmaßnahmen herzustellen. Im Fall einer Fehlentwicklung, wenn bspw. die Anzahl der festgestellten „Wochenstubentiere“ abnimmt, soll ein Vorhabenträger schließlich zu Nachbesserungen veranlasst werden. Erfolgreich kann ein populationsbezogenes Monitoring sein, wenn die Populationen, wie im Beispiel der Kolonien der Kleinen Hufeisennase an der A17 (NACHTaktiv & SWILD 2008), einerseits gut bekannt sind und eindeutig lokalisiert und beobachtet werden können, andererseits ein umfassender mehrschichtiger Methodenansatz möglich ist. Denn angesichts „normaler“ Populationsgrößen-Schwankungen von Jahr zu Jahr muss immer beachtet werden, in wie weit die Bestandsveränderung in der dem Monitoring unterworfenen Kolonie auch von einem „Missmanagement“ der umliegenden Wochenstuben (Referenzquartiere), d.h. von nachteiligen Entwicklungen der Quartiere, der Flugwege und der Jagdhabitate abhängig ist. Vgl. hierzu beispielhaft das Konzept der Untersuchung an Bechsteinfledermaus-Kolonien während des Ausbaues der A3 in Würzburg, Kap. 5. Vor diesem Hintergrund ist ein populationsbezogener Ansatz bis zur Lösung der angesprochenen methodischen Probleme und bis eine entsprechende Datenbasis zum Vergleich bereit steht, ausnahmsweise sinnvoll, als Regelfall aber – auch mit Blick auf den Aufwand – nicht angemessen.

Insofern werden sich Nachkontrollen in der Regel auf Nachweise der Wirksamkeit der Maßnahmen konzentrieren. Z.B. kann untersucht werden, ob eine Querungshilfe von den Zielarten genutzt wird. Zumeist wird man auf Grund der beobachteten Nutzungsfrequenzen der Bauwerke / Querungshilfen im Vergleich zu Referenzstandorten zunächst auf eine relative Wirksamkeit schließen. Indirekt kann u.U.

auf die Wirkung in den Bezugspopulationen (Kolonien) geschlossen werden. Ggf. müssen dazu ergänzende Daten hinzugezogen werden. Z.B. kann eine Untersuchung der Jagdgebietsnutzung vor und nach dem Eingriff (durch Telemetrie) weitergehende Rückschlüsse auf bestehende bzw. nicht vorhandene Barriereeffekte einer Autobahn erlauben.

10.5.2 Beschreibung des Monitorings

Monitoring des Erhaltungszustandes der Kolonie(n)

- Vorgreifendes Monitoring der betroffenen Kolonie und mindestens eines Referenzquartiers. Nach Möglichkeit sollte die Stichprobe weitere Wochenstuben in nächstmöglicher Nähe zur Kolonie umfassen, um Schwankungen der Populationsgröße vergleichen und ursachenbezogen bewerten zu können[157]. Dies beinhaltet Populationszählungen und Abschätzung der Reproduktionsrate durch jährliche Zählung der Jungtiere/Jungtiersterblichkeit. [Voraussetzung ist, dass die Kolonie(n) überhaupt zugänglich sind, bspw. weil sie an bekannten Stellen im Siedlungsraum ihr Quartier haben (z.B. Mausohr) oder weil die Kolonie(n) ihre Quartiere in Fledermauskästen im Wald haben.] Als Methoden kommen automatische Zähleinrichtungen (Lichtschranken) über längere Erfassungszeiträume in Betracht und stichpunktartig durchgeführte Zählungen mittels visueller Kontrolle. Bei einigen Arten werden entsprechende Daten bereits durch das landesweite Art-Monitoring nach Art. 11/17 FFH-RL erhoben.
- Vorgreifendes Monitoring mittels akustischer und optischer Erfassungsmethoden zur Erfassung der Gebietsnutzung (v.a. in Waldflächen) im geplanten Trassenverlauf, in Maßnahmenbereichen und auf Referenzflächen.

Maßnahmenkontrollen im Zuge der Baudurchführung vor Betriebsfreigabe

- Visuelle Kontrollen der Maßnahmen mit Nachbesserungsmöglichkeit.
- baubegleitendes Monitoring mittels akustischer und visueller Methoden: Erfassung der Gebietsnutzung im geplanten Trassenverlauf bzw. in prognostizierten Konfliktbereichen.

Funktionskontrollen / Wirkungskontrollen nach Verkehrsfreigabe

- Betriebsbegleitendes Monitoring zur Nutzung von Fledermäusen im Trassenbereich und bei verbleibenden konfliktträchtigen Bereichen, die aufgrund des baubegleitenden Monitorings identifiziert werden zum Bsp. im 1., 3., 5. und 8. Jahr nach Verkehrsfreigabe mittels akustischer und visueller Methoden, im Einzelnen Arten- und Aktivitätsmonitoring auf und unter Querungshilfen sowie an Referenzstandorten an den Fahrbahnen.
- Als Mindestlaufzeit sollte das Querungsverhalten von Fledermäusen im Trassenverlauf über 5 Entwicklungs-/ Reproduktionsjahre (April / Mai – August / September) bzw. 5 Wiederholungen untersucht werden, um ein verbleibendes Risiko trotz Minderungsmaßnahmen einschätzen zu können. Dieses Monitoring dient zur Kontrolle / Optimierung der umgesetzten Minderungsmaßnahmen.

Risikobewältigung durch Nachbesserungen

Es wird davon ausgegangen, dass die Maßnahmen nach bestem Wissen prognostiziert, projektiert und umgesetzt werden. Trotzdem sind Nachbesserungsoptionen integraler Bestandteil des Risikomanage-

[157] Diese Daten dienen auch einer möglichen Beweispflicht, falls sich negative Auswirkungen ergeben sollten.

ments. Nachträgliche Korrekturmaßnahmen lassen sich nur aufgrund der Monitoringergebnisse entsprechend festgestellter Entwicklungen, die den Prognosen zuwiderlaufen, iterativ festlegen. In Betracht kommen neben qualitativen Verbesserungen an den Maßnahmen (z.B. Modifikation der Bepflanzungen) insbesondere Maßnahmen zur Habitatverbesserung (Vergrößerung des Nahrungs- und Quartierangebotes). Werden Nachbesserungen / Ergänzungen der Minderungsmaßnahmen notwendig, erfordern diese wiederum ein nachfolgendes Monitoring.

11 Weiterer Forschungsbedarf, Weiterentwicklung der bestehenden Ansätze

Verbesserung der Datenbasis und der Vergleichbarkeit der Daten

Empirische Untersuchungen zur Wirksamkeit von fledermausspezifischen Bauwerken sind nicht zuletzt wegen der geringen Zahl bislang realisierter Maßnahmen selten (s. Kap. 10.4.1). Aufgrund der geringen Stichprobengröße ist die Prognosesicherheit gering. Die Datenbasis muss durch Untersuchung weiterer, repräsentativer Bauwerke und Streckenabschnitte verbreitert werden. Auf Grund unterschiedlicher methodischer Ansätze (z.B. unterschiedliche Detektorgattungen, Horchboxen, Infrarot- und Wärmebildkameras bei gleichzeitig geringer Standardisierung der Methoden und Kalibrierung der Geräte) können die Ergebnisse der Studien zudem nur bedingt miteinander verglichen werden.

Ziel muss deshalb eine Vereinheitlichung der Datenaufnahmen sowie eine zentrale Datenablage für möglichst alle Nachkontrollen an Fledermausquerungshilfen sein. Entsprechende Initiativen zur Standardisierung bestehen z.B. in der Schweiz (vgl. VOSER et al. 2005); allerdings lassen diese die Gruppe der Fledermäuse derzeitig noch außen vor.

Erhebung von Daten zu den populationsökologischen Folgen des Verkehrstodes

Ein bislang kaum methodisch zu bewältigendes Problem ist es, die Folgen des Kollisionstodes auf einem bestimmten Trassenabschnitt abzuschätzen. Die ggf. aufgefundenen, kollidierten Individuen, v.a. Jungtiere, können in der Regel nicht den Quellpopulationen zugeordnet werden. In Zukunft sollte verstärkt überprüft werden, ob molekulare und DNS-basierte Methoden eingesetzt werden können, dieses Delta der individuellen Zuordnung zu schließen und methodisch für die Anwendung in Monitoringprozeduren weiter zu entwickeln. Eine erste entsprechende Anwendung im Rahmen der Erforschung des Kollisionstodes von Fledermäusen stellt die Arbeit von RUSSEL et al. (2009) über eine Kolonie von *Myotis sodalis* in den USA dar. Aufgrund umfangreicher Vorarbeiten ausbaufähig in dieser Hinsicht sind die eigenen Untersuchungen an den Bechsteinfledermaus-Kolonien an der Autobahn A3 in Würzburg sowie in der Eifel an der A1 und A60.

Fortführung des Monitorings zum Ausbau der Autobahn A3 und Autobahn A60 im Hinblick auf Anpassungsprozesse

Erfahrungswerte bzw. systematische Untersuchungen, welche Zeit Fledermäuse benötigen, um neu errichtete Querungshilfen zu akzeptieren, liegen kaum vor. Die eigenen Untersuchungen an der Autobahn A3 deuten darauf hin, dass neue Querungshilfen von Fledermäusen nach kurzer Zeit genutzt werden, dokumentieren aber erst den Beginn eines Anpassungsprozesses. Die Daten müssen in Bezug auf die Zeit nach dem Ausbau um weitere Untersuchungen ergänzt werden, bevor abschließende Bewertungen möglich sind.

An der erst 2003 für den Verkehr freigegebenen Autobahn A60 wurden bislang keine Zerschneidungswirkungen auf die Bechsteinfledermaus-Populationen identifiziert, die Bechsteinfledermausweibchen der Kolonie(n) an den seit langem bestehenden Autobahnen A1 und A3 mieden mehrheitlich das Queren der Autobahn. Ob die unterschiedlichen Verhaltensweisen das Ergebnis eines an alten Autobahnen heute nicht mehr nachweisbaren Anpassungseffektes bzw. Folge des Aussterbens der zur Querung gezwungenen Koloniemitglieder sind, kann nur durch ein langfristig angelegtes Monitoring des Verhaltens der Bechsteinfledermaus-Kolonien an der Autobahn A60 geklärt werden.
Angesichts der vorliegenden Daten bestehen hier und in wenigen weiteren Projektgebieten, z.B. im Bereich der Kolonien der Kleinen Hufeisennase, die seit längerer Zeit an der Autobahn A17 einem Monitoring unterliegen (BIEDERMANN 2008, NACHTaktiv & SWILD 2008), besonders günstige Erfolgsvoraussetzungen, einen Ursache – Wirkungsbezug zwischen Autobahnbau und –betrieb und Entwicklung der Fledermauspopulationen herzustellen.

12 Literaturverzeichnis

Abel, C.; Abel, W.; Schlegel, D.; Rehbein, G. (2002): Größtes Winterquartier vom Großen Abendsegler (*Nyctalus noctula*) in Niedersachsen in der Autobahnbrücke bei Kleinenbremen. – Mitt. AG-Zool. Heimatforschung Niedersachsen 8: 9–11. Hannover.

Aebischer, N. J.; Robertson, P.A.; Kenward, R.E. (1993): Compositional analysis of habitat use from animal radiotracking data. Ecology 74 (5). 1313-1325.

AG Querungshilfen (2003): Querungshilfen für Fledermäuse. Schadensbegrenzung bei der Lebensraumzerschneidung durch Verkehrsprojekte. Kenntnisstand - Untersuchungsbedarf im Einzelfall - fachliche Standards zur Ausführung. Positionspapier der Arbeitsgemeinschaft. http://www.buero-brinkmann.de/Positionspapier_2003_4.pdf Download vom 24.03.2009.

AGFH (1994): Die Fledermäuse Hessens. Geschichte, Vorkommen, Bestand und Schutz. – Verlag Manfred Hennecke, 245 S. Remshalden-Buoch.

Ahlén, I. (1981): Identification of Scandinavian bats by their sounds. The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Wildlife Ecology, Uppsala, Report 6: 56 S.

Alder, H.-U. (1993): Licht - Hindernis auf Flugstrassen. FMGR Info 1: 5-7.

Altmeyer, A. (2007): Wirkungen einer Schnellzugstrecke auf die Fledermausfauna benachbarter Wälder. – Diplomarbeit an der Universität Trier, Fachbereich VI - Geographie/ Geowissenschaften, Studiengang Angewandte Umweltwissenschaften, Fach Biogeographie. 73 Seiten.

Altringham, J. (2008): Bat Ecology and Mitigation. May 2008. Summary of Proof of Evidence. On behalf of the White Horse Alliance. Public Inquiry into the A350 Westbury Bypass. www.wiltshire.gov.uk/westbury-bypass-inquiry-proof-altringham.pdf. 39 pp. (01.10.2008).

Anderson, M.E.; Racey, P.A. (1991): Feeding-Behavior of Captive Brown Long-Eared Bats, *Plecotus auritus*. Animal Behaviour, 42: 489-493.

Arlettaz, R. (1996): Feeding behaviour and foraging strategy of free-living mouse-eared bats, *Myotis myotis* and *Myotis blythii*. Animal Behaviour, 51: 1-11.

Arlettaz, R. (1999): Habitat selection as a major resource partitioning mechanism between the two sympatric sibling bat species *Myotis myotis* and *Myotis blythii*. Journal of Animal Ecology, 68: 460-471.

Arlettaz, R.; Godat, S.; Meyer, H. (2000): Competition for food by expanding pipistrelle bat populations (*Pipistrellus pipistrellus*) might contribute to the decline of lesser horseshoe bats (*Rhinolophus hipposideros*). Biological Conservation 93: 55-60.

Arlettaz, R.; Jones, G.; Racey, P.A. (2001): Effect of acoustic clutter on prey detection by bats. Nature, 414: 742-745.

Arnett, E.B.; Hayes J.P. (2000): Bat use of roosting boxes installed under flat-bottom bridges in western Oregon. – Wildlife Society Bulletin 28: 890 – 894.

Arnold, A., M. Braun, U. Häussler, B. Heinz, A. Nagel & G. Rietschel (1997): Rheinbrücke bei Mannheim als Fledermausfalle. – carolinea 55: 81 – 93. Karlsruhe.

Arthur, L. (2007): Mortalité routière des chauves-souris. http://www.museum-bourges.net/html/index_etudes.htm.

Aschoff, T.; Holdenried, M.; Markmann, U.; Runkel, V. (2006): Forstliche Maßnahmen zur Verbesse-

rung von Jagdlebensräumen von Fledermäusen. Abschlussbericht für die Vorlage der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, unveröffentlicht.

ATECMA (2005): Study to provide guidelines for application of compensatory measures under Article 6(4) of the Habitats Directive 92/43/EEC. Final report. (revised, March 205), 113pp.

Audet, D. (1990): Foraging behavior and habitat use by a gleaning bat, *Myotis myotis* (Chiroptera: Vespertilionidae). Journal of Mammalogy 71: 420-427.

Bach, L. (1998): Ethologische Studien an Fledermäusen. Ein Beitrag zur Landschaftsplanung. Artenschutzreport 8. 14-17.

Bach, L. (2008): Fledermäuse und Querungshilfen. Zusammenfassung des Vortrags. Veranstaltung: Eingriffsplanungen und Managementpläne für Fledermäuse" Österreichische Akademie für Umwelt und Natur. 31. 01. - 01.02.2008. Schloß Hagenberg, A-4232 Hagenberg. www.natur-ooe.at/natur_ooe/media/pdf_content_natur/VortragBach.pdf. 5pp.

Bach, L. & H. Limpens (2000): Faunistische Sonderuntersuchungen. – Faunistische Sonderuntersuchungen zum LBP BAB A44 (VKE 50 Sontra-Ulfen) - Fachbeitrag Fledermäuse. - unveröff. Gutachten i.A. der FÖA, Trier: 36 S. + Karten.

Bach, L.; Limpens, H. J. G. A.; Burkhardt, P. (2004): Tunnels as a possibility to connect bat habitats. Mammalia 68 (4): 411-420.

Bach, L.; Müller-Stieß, H. (2005): Fachbeitrag Fledermäuse an ausgewählten Grünbrücken zur Effizienzkontrolle von Wildtierpassagen in Baden-Württemberg. Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 02.247/2002/LR. Teilbericht 24 S. + Anhang. http://www.bach-freilandforschung.de/download/ Bach_etal_2005_ Gruenbruecken.pdf (14.02.2009). Kurzfassung in: Georgii, B. et al. (Bearb.). Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Heft 971.

Bafaluy, J.J. (2000): Roadkill mortality of bats on roads in the south of the province of Huesca. (Originaltitel: Mortandad de murciélagos por atropello en carreteras del sur de la provincia de Huesca). Galemys 12. Boletín SECEM (Sociedad Española para la Conservación y Estudio de los Mamíferos) 2000 JUN; 12 (1) ISSN: 11378700; 15-23.

Baker, P.; Harris, S.; Robertson, C.; Saunders, G.; White, P. (2004): Is it possible to monitor mammal population changes from counts of road traffic casualties? An analysis using Bristol's red foxes *Vulpes vulpes* as an example. Mammal Review. Vol. 34 (1-2). 115.

Barataud, M. (2000): Fledermäuse. 27 europäische Arten. Das Standardwerk zum Bestimmen, Buch und 2 Audio CDs.

Bat Conservation Trust (BCT) (2007a): Bat Surveys. Good Practice Guidelines. Hrsg. Bat Conservation Trust. 87pp.

Bat Conservation Trust (BCT) (2007b): Mitigation Conference Proceedings University of Leicester 25-26 April 2007. 124 S. www.bats.org.uk.

Bauerova, Z. (1978): Contribution to the trophic ecology of *Myotis myotis*. Folia Zoologica, 27: 305-316.

Bettendorf, J. (2010): Quartiernutzungs- und Jagdhabitatnutzungsstrategien einer Bechsteinfledermauskolonie (Myotis bechsteinii, KUHL 1818), in einem durch die Autobahn A1 zerschnittenen Waldgebiet in der Nähe von Wittlich. Diplomarbeit Universität Trier. 122 S.

Biedermann, M. (2008): Wirksamkeit von Schadensbegrenzungsmaßnahmen für die Kleine Hufeisennase am Beispiel der neu gebauten Autobahn Dresden-Prag. Dipl. Biol. Martin Biedermann –

NACHTaktiv – Biologen f. Fledermauskunde GbR, Deutschland. Tagung Eingriffsplanungen und Managementpläne für Fledermäuse. 31.1. und 1.2.2008. Oö. Akademie für Umwelt und Natur, Institut für Naturschutz. Schloss Hagenberg. www.fledermausschutz.at/downloads/Vortrag-Biedermann.pdf.

Biedermann, M.; Meyer, I.; Boye, P. (2003): Bundesweites Bestandsmonitoring von Fledermäusen soll mit dem Mausohr beginnen. Eine Fachtagung auf der Insel Vilm vereinbarte eine zweijährige Testphase. Natur & Landschaft 78 (3): 89–92.

Biedermann, M.; Meyer, I.; Schorcht, W.; Bontadina, F. (2004): Sonderuntersuchung zur Wochenstube der Kleinen Hufeisennase in Friedrichswalde-Ottendorf/Sachsen. BMS GbR, Erfurt & SWILD, Zürich im Auftrag der DEGES, Berlin, unveröffentlicht, 104pp.

Blake, D.; Hutson, A.M.; Racey, P.A.; Rydell, J.; Speakman, J.R. (1994): Use of lamplit roads by foraging bats in southern England. Journal of Zoology 234: 453-462.

BMVBS (2009): Richtlinien für Umweltverträglichkeitsstudien im Straßenbau (RUVS). Handbuch Umweltschutz im Straßenbau. Teil I: Naturschutz und Landschaftspflege. Ausgabe 2008. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Ref. S13 (Entwurf). (Als Mskr. veröff.).

BMVBS (2011): Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau (RLBP). Handbuch Umweltschutz im Straßenbau Teil II: Naturschutz und Landschaftspflege. Ausgabe 2011 (Richtlinie, Musterkarten, Legendenheft). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Ref. Stb13. Erarbeitet durch einen Bund-/Länder-Arbeitskreis auf der Grundlage der Ergebnisse des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens FE 02.233/2003/LR „Entwicklung von Methodiken zur Umsetzung der Eingriffsregelung und Entwicklung von Musterplänen zur landschaftspflegerischen Begleitplanung (Musterkarten LBP). Bonn. (Eingeführt mit VkBl. 2011 S. 983. ARS-Nr. 13/2011 v. 18.10.2011).

BMVBW (2004): Leitfaden zur FFH-Verträglichkeitsprüfung im Bundesfernstraßenbau (Leitfaden FFH-VP) - Ausgabe 2004 -. Bundsministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Bonn. Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 21/2004 (20.09.2004); 84 pp. (Leitfaden), 14 pp. (Musterkarten) + Anhänge.

Boldogh, S.; Dobrosi, D.; Samu, P. (2007): The effects of the illumination of buildings on house-dwelling bats and its conservation consequences. Acta Chiropterologica 9: 527-534.

Bosch & Partner, FÖA Landschaftsplanung; GÖTZE Rechtsanwälte (2013): Bewertung erheblicher Biodiversitätsschäden im Rahmen der Umwelthaftung. FKZ 3510 82 2700. Endbericht. Dezember 2013. Auftraggeber: Bundesamt für Naturschutz, Leipzig. 177 S.

Bosch & Partner; FÖA Landschaftsplanung; Smeets & Damatschek; Gassner, E. (2009): Entwicklung von Methodiken zur Umsetzung der Eingriffsregelung und artenschutzrechtlicher Regelungen des BNatSchG sowie Entwicklung von Darstellungsformen für landschaftspflegerische Begleitpläne im Bundesfernstraßenbau. Gutachten. Ergebnisse des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens FE 02.233/2003/LR des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Bonn. http://www.strassenbau.niedersachsen.de/download/70456/Gutachten_zu_den_RLBP_Ausgabe_2009.pdf

Braun, M.; Dieterlen, F.; /Hrsg. (2003): Die Säugetiere Baden-Württembergs. Band 1. Allgemeiner Teil. Fledermäuse (Chiroptera). Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, 687 S.

Brinkmann, R. (2008): Fledermäuse und Verkehr – eine Einführung. Dr. Robert Brinkmann – Planungsbüro Brinkmann, Deutschland. Tagung Eingriffsplanungen und Managementpläne für

Fledermäuse. 31.1. und 1.2.2008. Oö. Akademie für Umwelt und Natur, Institut für Naturschutz. Schloss Hagenberg. http://www.fledermausschutz.at/downloads/Vortrag-Brinkmann.pdf.

Brinkmann, R.; Bach, L.; Dense, C.; Limpens, H.J.G.A.; Mäscher, G.; Rahmel, U. (1996): Fledermäuse in Naturschutz- und Eingriffsplanungen. Hinweise zur Erfassung, Bewertung und planerischen Integration. Naturschutz und Landschaftsplanung 28 (8). 229-236.

Brinkmann, R.; Biedermann, M.; Bontadina, F.; Dietz, M.; Hintemann, G.; Karst, I.; Schmidt, C.; Schorcht, W. (2008): Planung und Gestaltung von Querungshilfen für Fledermäuse. – Ein Leitfaden für Straßenbauvorhaben im Freistaat Sachsen. Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit, 134 Seiten.

Brinkmann, R.; Schauer-Weisshahn, H.; Bontadina, F. (2006): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg. http://www.rp.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/ 1156476/rpf-windkraft-fledermaeuse.pdf.

Britschgi, A.; Theiler, A.; Bontadina, F. (2004): Wirkungskontrolle von Verbindungsstrukturen. Teilbericht innerhalb der Sonderuntersuchung zur Wochenstube der Kleinen Hufeisennase in Friedrichswalde-Ottendorf/Sachsen. Unveröffentlichter Bericht, ausgeführt von BMS GbR, Erfurt & SWILD, Zürich im Auftrage der DEGES, Berlin, 23 Seiten. http://www.swild.ch/deges/Hecke.pdf.

Brumm, H.; Slabbekoorn, H. (2005): Acoustic communication in noise. Advances in the study of behaviour 35: 151-209.

Buchen, C. (1998): Felsüberwinternde Fledermäuse im Morsbacher Bergland (Oberbergischer Kreis, Reg.-Bez. Köln) in den Jahren 1974-1997. – Nyctalus (N.F.) 6(6): 594 – 608. Berlin.

Buchen, C. (2005): Das Mausohr (*Myotis myotis*) im Morsbacher Bergland (Oberbergischer Kreis, Reg.-Bez. Köln) in den Jahren 1974-2004. – Nyctalus (N.F.) 10(2): 155 – 159. Berlin.

Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (2002): Systematik der Biotoptypen- und Nutzungskartierung. (Kartieranleitung, dt./engl.). Standard-Biotoptypen und Nutzungstypen für die CIR-Luftbild-gestützte Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung für die Bundesrepublik Deutschland. Bundesamt für Naturschutz. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 73. 340 S.

BUWAL (2005): Standardisierte Wirkungskontrolle an Wildtierpassagen. Grundlagenbericht. Bern, 27 S. + Anhang. http://www.bafu.admin.ch/jagd_wildtiere/00484/00791/ index.html?lang=de&download=NHzLpZig7t,lnp6I0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCDdYJ_gmym162dpYbUzd,Gpd6emK2Oz9aGodetmqaN19XI2IdvoaCVZ,s-.pdf.

Capo, G.; Chaut, J.; Arthur, L. (2006): Quatre ans d'étude de mortalité sur deux kilomètres routier proche d'un site d'hibernation. Symbioses 15: 45-46.

Corben, C. (2004): Zero-crossings analysis for bat identification: an overview. Pp. 95-107 in Brigham, R. M., et al., eds. Bat Echolocation Research: tools, techniques and analysis. Bat Conservation International, Austin, Texas

Cowles, F. (1972): Railroad-caused Fires: What starts them, what keeps them going. Fire Control Notes 33. 12-14.

Crampton, L.H.; Barclay, R.M.R. (1996): Habitat selction by bats in fragmented and unfragmented aspen mixedwood stands of different ages. In: R M. R. Barclay & R. M. Brigham (Hrsgg.): Bats

and Forests Symposium: 238-259.

Davis, R. & E.L. Cockrum (1963): Bridges used as day-roosts by bats. – Journal of Mammalogy 44: 428 – 430.

Dense, C. (1992): Telemetrische Studien zur Habitatsnutzung und zum Aktivitätsmuster der Breitflügelfledermaus *Eptesicus serotinus* Schreber 1777 im Osnabrücker Hügelland. – Diplomarbeit an der Universität Osnabrück: 120 S.

Dietz, C. (2005): Fledermäuse schützen. Berücksichtigung des Fledermausschutzes bei der Sanierung von Natursteinbrücken und Wasserdurchlässen. – Innenministerium Baden-Württemberg (Hrsg.), 39 S., Stuttgart.

Dietz, M.; Birlenbach, K. (2006): Lebensraumfragmentierung und die Bedeutung der FFH-Richtlinie für den Schutz von Säugetieren mit großen Raumansprüchen. NAH Akademie-Berichte 5: 21-31. Wetzlar 2006.

Dietz, M. / Institut für Tierökologie und Naturbildung (2005): Vertiefendes Gutachten zur Erfassung der Flugrouten und Aktionsräume einer Kolonie des Großen Mausohrs *Myotis myotis* in Meiningen/Welkershausen im Zuge der geplanten Ortsumgehung B 19, 2. Teilabschnitt, 2. Bauabschnitt. Schlussbericht. Freistaat Thüringen vertreten durch das Straßenbauamt Südthüringen: 27 S. Unveröff.

Dietz, M.; Pir, J. (2005): Fledermäuse in den Wäldern Luxemburgs.- Le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg Administration des Eaux et Foréts (Hrsg.). Luxemburg, 32 S.

Dietz, M.; Weber M. (2000): Baubuch Fledermäuse. Eine Ideensammlung für fledermausgerechtes Bauen. – Arbeitskreis Wildbiologie an der Universität Gießen (Hrsg.), 252 S. Gießen

Downs, N.C.; Beaton, V.; Guest, J.; Polanski, J.; Robinson, S.L.; Racey, P.A. (2003): The effects of illuminating the roost entrance on the emergence behaviour of *Pipistrellus pygmaeus*. Biological Conservation 111: 247-252.

Duverge, P.L.; Jones, G.; Rydell, J.; Ransome, R.D. (2000): Functional significance of emergence timing in bats. Ecography 23: 32-40.

Eisenbeis, G. (2001): Künstliches Licht und Insekten: eine vergleichende Studie in Rheinhessen. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, 67: 75-101.

Eisenbeis, G.; Hassel, F. (2000): Zur Anziehung nachtaktiver Insekten durch Straßenlaternen - eine Studie kommunaler Beleuchtungseinrichtungen in der Agrarlandschaft Rheinhessens. - Natur und Landschaft 75. Jg. 4: 145-156

Eklöf, J. (2003): Vision in echolocating bats, PhD thesis, p. 477. Göteborg: Göteborg University.

Ellwanger, G.; Schröder, E. (Bearb.) (2006): Management von Natura 2000-Gebieten. Erfahrungen aus Deutschland und ausgewählten anderen Mitgliedstaaten der Europäischen Union. Naturschutz und Biologische Vielfalt 26. Bonn-Bad Godesberg. 302 S.

Fenton, M. B.; Bouchard, S.; Vonhof, M.J.; Zigouris, J. (2001): Time-expansion and zero-crossing period meter systems present significantly different views of echolocation calls of bats, Journal of Mammalogy: 721-727.

FGSV (2008): Merkblatt zur Anlage von Querungshilfen für Tiere und zur Vernetzung von Lebensräumen an Straßen (MAQ). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. AK 2.9 Landschaftsgestaltung. Heft 261. Köln. 82 S.

Fiedler, K.-P.S. (1978): Das Vorkommen der Fledermausarten (Microchiroptera) im Rhein-Neckar-

Raum. – Veröff. Natursch. Landschaftspfl. Bad.-Württ. 47/48: 231 – 276.

Finke, J.; Köster, F.; Frank, K.; Sonnenschein, M. (2003): A Software Tool for Assessing the Effect of Traffic on Wildlife Populations. In: A. Gnauck, R. Heinrichs (Eds.): "The Information Society and Enlargement of the European Union" 17th International Symposium Informatics for Environmental Protection, part II, Marburg, Metropolis-Verlag: 692-699.

Fitzsimons, P.; Hill, D.; Greenaway, F. (2002): Patterns of habitat use by female Bechstein's bats (*Myotis bechsteinii*) from a maternity colony in a British woodland. http://www.lifesci.sussex.ac.uk/research/sbrg/radio-tracking%20Mb.doc (28.08.2004).

FÖA (2002): Untersuchungen zur Auswirkung des Autobahnbaues auf das Jagdverhalten und die Revierverteilung von Bechsteinfledermäusen. Grundlagendaten für die Bewertung möglicher erheblicher Beeinträchtigungen der Population der FFH-Art im Tatenhauser Wald (NRW) durch die geplante A 33. Gutachten der FÖA Landschaftsplanung, Trier. Bearb. Lüttmann, J.; Kerth, G.; Weishaar, M. Stand 02/2002. Im Auftrag des Landesbetrieb Straßen NRW, Niederlassung Bielefeld. 59pp. + Anhänge. www.foea.de/f_referenzstoerungsoekologie.html.

FÖA (2003a): Untersuchungen zum Jagdverhalten von Bechsteinfledermäusen im Tatenhauser Wald. Grundlagendaten zur Ergänzung der FFH-Verträglichkeitsprüfung für die A 33, Abschnitt 7.1 im FFH-Gebiet Tatenhauser Wald (NRW). Bearb. Lüttmann, J. und Mitarbeiter. Beratung: Kerth, G.; Weishaar, M., Frank, K. Gutachten der FÖA Landschaftsplanung, Trier. Stand 2/03. Im Auftrag des Landesbetrieb Straßen NRW, Niederlassung Bielefeld. 19 pp. + Anhang.

FÖA (2003b): Geländeerhebungen für die FFH-VU Wälder der Ringgau-Südabdachung in den Abschnitten VKE 50 und VKE 60 der Autobahn A44. Ergebnisse der Fledermaus-Geländeerfassung 2003. Gutachten im Auftrag des ASV Eschwege. Unveröff. 19 S.

FÖA (2003c): Ergebnisse der Fledermaus-Geländeerfassungen 2003. Geländeerhebungen für die Planung der Autobahn A44 in den Abschnitten VKE 40.1 – 40.2. Unveröff. Gutachten i.A. des ASV Eschwege.

Frank, K.; Eulberg, P.; Hertweck, K.; Henle, K. (2001): A simulation model for assessing otter mortality due to traffic. IUCN Otter spec. Group Bull: 64-68.

Frank, K; Hertweck, K.; Henle, K. (2001): Ein Simulationsmodell zur Abschätzung des Effekts von Straßenverkehr auf das Überleben von Arten mit großer Raumnutzung. In: Endbericht zum Teilprojekt 3.1 des BMBF-Verbundprojektes "Auswirkungen und Funktionen unzerschnittener, störungsarmer Lebensräume für Wirbeltierarten mit großer Raumnutzung". UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, PF 2, D-04301 Leipzig. Sektion Ökosystemanalyse, Projektbereich Naturnahe Landschaften. 9 S.

Freitag, B.; Friedrich, C. (1996): Hohlkastenbrücken von Autobahnen und Schnellstraßen der Steiermark (Austria) als Fledermausquartiere. – Mitt. Naturwiss. Ver. Steiermark 126: 223 – 226.

Fröhlich & Sporbeck (2005): Erneuerung des Jähroder-Tunnels, Strecke 3511 Bingen-Saarbrücken. – Gutachten im Auftrag der DB Projekt GmbH.

Fuhrmann, M. (1991): Untersuchungen zur Biologie des Braunes Langohrs (*Plecotus auritus* L. 1758) im Lennebergwald bei Mainz. Diplomarbeit an der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, 126 S. Mainz.

Fuhrmann, M. (1992): Schwerpunktprogramm (1.3): "Autobahnbrücken als Fledermausquartiere". Bericht zum Artenschutzprojekt Fledermäuse (Chiroptera) in Rheinland-Pfalz für das Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht.

Fuhrmann, M.; Godmann, O. (1992): Artenschutzprojekt Fledermäuse in Wiesbaden. Erfassung von Fledermausvorkommen im Stadtrandbereich. Unveröffentl. Bericht an das Umweltamt der Landeshauptstadt Wiesbaden, 60 S. + Anhang. Wiesbaden.

Fuhrmann, M.; Kiefer, A. (1996): Fledermausschutz bei einer Straßenplanung: Ergebnisse einer zweijährigen Untersuchung an einem Wochenstubenquartier von Großen Mausohren (*Myotis myotis* BORKHAUSEN, 1797). Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz, Beiheft 21: 133–140. Landau.

Gaisler, J.; Rehák, Z.; Bartonièka, T. (2009): Bat casualties by road traffic (Brno-Vienna). Acta Theriologica 54. 147–155.

Garland, L.; Markham, S. (2007): Is important bat foraging and commuting habitat legally protected? Ecology and Environmental Management in practice. 2007 (Dezember). Institute of Ecology and Environmental Management. http://www.ieem.net, 13 S.

Garniel, A.; Daunicht, W.; Ojowski, U.; Mierwald, U.; Bredemeier, B.; Diekmann, B.; Escheid, A.; Wiggershaus, A. (2007): Vögel und Verkehrslärm. Schlussbericht. Langfassung. November 2007. Kieler Institut für Landschaftsökologie. FuE-Vorhaben 02.237/2003/LR des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung, Bonn / Kiel. 273 S. http://www.kifl.de/pdf/VuL%20Lang%20doc%202007-Webfassung.zip (22.10.2013).

GBM (2004): Strecke 3507 Wiesbaden – Niederlahnstrein. Empfehlung zur Kompensationsmaßnahme Bunker Kaub und Sprengstollen Loreleytunnel. – Gutachten im Auftrag der DB ProjektBau GmbH, 12 S., Limburg.

Gebhard, J. (1997): Fledermäuse. Birkhäuser Verlag, 381 S. Basel.

Gellermann, M.; Schreiber, M. (2007): Schutz wildlebender Tiere und Pflanzen in staatlichen Planungs- und Zulassungsverfahren. Leitfaden für die Praxis. Schriftenreihe Natur und Recht, Berlin (Springer), 505 S.

Georgii, B. (2007): Rothirsch, Haselmaus, Laufkäfer & Co. – Anforderungen an Verkehrswegequerungen für Wildtiere. Schriftenreihe des Landesjagdverbandes Bayern – Grünbrücken. 19-26.

Georgii, B.; Peters-Ostenberg, E.; Henneberg, M.; Herrmann, M.; Müller-Stieß, H.; Bach, L. (2007): Nutzung von Grünbrücken und anderen Querungshilfen durch Säugetiere - Erfolgskontrolle. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 02.247/2002/LR. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik. Heft 971. 79 S. + Anhang.

Gessner, B (2007): Akustisches Monitoring durch das Anabat-System: Messung von Fledermausaktivität in verschiedenen Biotoptypen, Dendrocopos 34: 13-34.

Glitzner, I.; Bayerlein, P.; Brugger, C.; Paill, W.; Schlögel, B.; Tataruch, F. (1999): Anlage- und betriebsbedingte Auswirkungen von Straßen auf die Tierwelt. Literaturstudie. Endbericht. Erstellt im Auftrag des Magistrates der Stadt Wien, Abt. 22 - Umweltschutz. "G5" - Game Management, Graz. (Beiträge zum Umweltschutz H. 60/99), 176 S. + 59 S. Anhang.

Godmann, O. (1997): Verluste in einem Winterquartier des Großen Abendseglers (*Nyctalus noctula*). Jahrbücher des Nass. Ver. f. Naturkunde 118: 125 – 126. Wiesbaden.

Goerlitz, H.R.; Greif, S.; Siemers, B.M. (2008): Cues for acoustic detection of prey: Insect rustling sounds and the influence of walking substrate. Journal of Experimental Biology 211: 2799-2806.

Goerlitz, H.R.; Siemers, B.M. (2007): Sensory ecology of prey rustling sounds: acoustical features and their classification by wild Grey Mouse Lemurs. Functional Ecology 21: 143-153.

Grandison, K.; Diamond, J.; Tyler, J.; Mesch, M. (2003): Monitoring and evaluation results of bat protection efforts. Southern Utah University. Cedar City, Utah. https://fs.ogm.utah.gov/PUB/MINES/AMR_Related/NAAMLP/BioVeg/Grandiso.pdf.

Griffin, D.R.; Galambos, R. (1941): The sensory basis of obstacle avoidance by flying bats. Journal of Experimental Zoology 86: 481-506.

Griffin, D.R.; Grinnell, A.D. (1958): Ability of bats to discriminate echoes from louder noise. Science, 128: 145-147.

Güttinger, R.; Zahn, A.; Krapp, F.; Schober, W. (2001): *Myotis myotis* (Borkhausen, 1797) Großes Mausohr, Großmausohr. In: F. Krapp (Hrsg.): Handbuch der Säugetiere Europas 4.1. Wiebelsheim, Aula Verlag, Band 4/I: Fledertiere (Chiroptera): 123-207.

Haensel, J.; Rackow, W. (1996): Fledermäuse als Verkehrsopfer – ein neuer Report. Nyctalus (N.F.) 6 (1): 29-47.

Harrje, C. (1994): Fledermaus-Massenwinterquartier in der Levensauer Kanalhochbrücke bei Kiel. – Nyctalus (N.F.) 5(3/4): 274 – 276. Berlin.

Häussler, U.; Braun, M.; Arnold, A.; Heinz, B.; Nagel, A.; Rietschel, G. (1997): Motorway bridge turns out to be a trap for the noctule bat. Myotis 35: 17–39. Bonn.

Häussler, U.; Kalko, E. (1991): Untersuchung der Fledermausfauna der Lorcher Baggerseen. In: Bay, F.; Rodi, D.: Wirksamkeitsuntersuchungen von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen im Straßenbau - dargestellt am Beispiel B 29, Lorcher Baggerseen. Forschung, Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft 605/hrsg. vom Bundesminister für Verkehr: 18 S.

Heck, K.; Barz, J. (2000): Die Nutzung zweier Autobahnbrücken in Nordhessen durch das Mausohr (*Myotis myotis*) und Beobachtungen zur Störungstoleranz. Nyctalus (N.F.) 7 (3): 298–309. Berlin.

Helmer, W.; Limpens, H.J.G.A. (1991): Echos in der Landschaft – über Fledermäuse und ökologische Infrastruktur. Dendrocropus 18: 3-8.

Herrmann, M. (2001): Lärmwirkung auf frei lebende Säugetiere. Spielräume und Grenzen der Anpassungsfähigkeit. Angewandte Landschaftsökologie 44: 41-69.

Herrmann, M.; Klar, N.; Bach, L. (2006): F. E.-Vorhaben 02.220/2002/LR/Sachstandsbericht 2005: Untersuchungen über die bioökologische Wirksamkeit von Grünbrücken über Verkehrswege. Teil C) Rheinland-Pfalz: Wirksamkeitsuntersuchung der Grünbrücken und Wilddurchlässe, Neubau der B50 Wittlich Platten. Longkamp. i. A. des Landesbetriebs Straßen und Verkehr Rheinland-Pfalz. 36 S. + Anlagen.

Highways Agency (1999a): Environmental design and management. Nature conservation advice in relation to bats (includes new title pages dated Feb 2001) (Superseded by HA IAN 116/08), 1999. http://www.thenbs.com/PublicationIndex/DocumentSummary.aspx?PubID=289&DocID=252206

Highways Agency (1999b): The good roads guide. New roads. Nature conservation management in relation to bats. Environmental design 10, section 1, part 8, HA 80/99: 35 S. Norwich.

Highways Agency (2008): Nature conservation advice in relation to bats. Interim Advice Note 116/08. Highways Agency, The Scottish executive Development Department, The national Assembly for Wales, The Department for Regional Development. IAN 116/08 (Oct 08). www.standardsforhighways.co.uk/ians/pdfs/ian116.pdf (08.03.2009). 57 pp.

Holderegger, R.; Di Giulio, M. (2007): Grünbrücken funktionieren gut! Aber was heißt das? Inf.bl. Landsch. 66: 4-5.

Holderied, M.W.; von Helversen, O. (2003): Echolocation range and wingbeat period match in aerial-hawking bats. Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences 270: 2293-2299.

Horn, J. (2006): Die Entwicklung neuer Kästen aus Styropor für den Einsatz in Fledermaus-Winterquartieren. Nyctalus (N.F.) 11 (1): 11–18. Berlin.

Hötker, H.; Jeromin, H.; Thomson, K.M. (2006): Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Vögel und Fledermäuse - eine Literaturstudie. Informationsdienst des Naturschutz Niedersachsens 1 (2006): 38-46.

Hübner, G. (2000): Wasserdurchlässe einer stillgelegten historischen Bahnlinie als Fledermaus-Winterquartiere. Nyctalus (N.F.) 7(3): 243–250. Berlin.

Hübner, G. (2001): Winterschlafendes Mausohr (*Myotis moytis*) in einem Straßentunnel. Nyctalus (N.F.) 7(6): 654–6550. Berlin.

Hübner, M.; Wiegrebe, L. (2003): The effect of temporal structure on rustling-sound detection in the gleaning bat, *Megaderma lyra*. Journal of Comparative Physiology A 189: 337-346.

Iuell, B.; Bekker, H.; Cuperus, R.; Dufek, J.; Fry, G.; Hicks, C.; Hlavác, V.; Keller, V.; Rosell, C.; Sangwine, T.; Torslov, N.; Wandall, B.; Le Maire, B./(Hrsg.) (2003): Wildlife and traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions, COST 341. 172 S. Brüssel.

Jones, J. (2000): Impact of lighting on bats. http://www.lbp.org.uk/downloads/Publications/Management/lighting_and_bats.pdf, download 29.09.08.

Jong, J. de; Ahlen, I. (1991): Factors effecting the distribution pattern of bats in Uppland, central Sweden. Holarctic ecology 14: 92-96.

Jüdes, U. (1989): Analysis of the distribution of flying bats along line-transects. In: V. Hanak, I. Horacek & J. Gaisler (eds.): European Bat Research 1967. Charles Univ. Press. 311-316. Prague.

Keeley, A. (2008): Mitigating the Effects of Roadways on Bats. NAU School of forestry. Vortrag 06.02.2008. Erweitertes Vortragsmanuskript, zur Publ. Vorgesehen. http://www.for.nau.edu/mosaddphp/Seminar/Recordings/080206/AnnikaKeeley.html

Keeley, B.; Tuttle, M.D. (2000): Bats in American Bridges. Bat Conservation International, Resource Publication 4, Austin: 44 S. (download von http://www.batcon.org.brigde/ambatsbridges am 17.10.2005)

Keil, M.; Keil, A.; Zahn, A. (2005): Die Flugwege von Wimperfledermäusen (*Myotis emarginatus*) in Quartiernähe. Nyctalus (N.F.) 10/Heft 1: 61-66.

Kenward, R. (2001): A manual for wildlife radio tagging. Academic Press, New York. 311 S.

Kerth, G.; Ebert, C.; Schmidtke, C. (2006): Group decision-making in fission-fusion societies: Evidence from two field experiments in Bechstein's bats. Proceedings of the Royal Society London B, 273: 2785-2790.

Kerth, G.; König, B. (1999): Fission, fusion and nonrandom associations in female Bechstein's bats (*Myotis bechsteinii*). Behaviour 136: 1187–1202.

Kerth, G.; Mayer, F.; König, B. (2000): MtDNA reveals that female Bechstein's bats live in closed societies. Molecular Ecology, 9: 793-800.

Kerth, G.; Mayer, F.; Petit, E. (2002): Extreme sex-biased dispersal in the communally breeding, non-migratory Bechstein's bat (*Myotis bechsteinii*). Molecular Ecology 11: 1491-1498.

Kerth, G.; Melber, M. (2009): Species-specific barrier effects of a motorway on the habitat use of two threatened forest-living bat species. Biological Conservation. Vol. 142 (2): 270 – 279.

Kerth, G.; Morf, L. (2004): Behavioural and genetic data suggest that Bechstein's bats predominantely mate outside the breeding habitat. Ethology, 110: 987-999.

Kerth, G.; Petit, E. (2005): Colonization and dispersal in a social species, the Bechstein's bat (*Myotis bechsteinii*). Molecular Ecology, 14: 3943–3950.

Kerth, G.; Reckardt, K. (2003): Information transfer about roosts in female Bechstein's bats. Proceedings of the Royal Society London B, 270: 511-515.

Kerth, G.; Wagner, M.; König, B. (2001b): Roosting together - foraging apart: information transfer about food is unlikely to explain sociality in female Bechstein's bats (*Myotis bechsteinii*). Behavioral Ecology and Sociobiology, 50: 283-291.

Kerth, G.; Weissmann, K.; König, B. (2001a): Day roost selection in female Bechstein's bats (*Myotis bechsteinii*): a field experiment to determine the influence of roost temperature. Oecologia, 126: 1-9.

Kiefer, A. (1993) Ausflugbeobachtungen an einer Kolonie von Myotis myotis in Dienheim. Bericht zur Hauptuntersuchung 1993. Im Auftrag von FÖA Landschaftsplanung. Trier. Bearb. Biodata GmbH Mainz. 14 S. Unveröff.

Kiefer, A. (2004) Gattung *Plecotus* Geoffroy, 1818 – Langohrfledermäuse. In Handbuch der Säugetiere Europas, Niethammer J. & F. Krapp (Hrsg.), Aula Verlag, Band 4/II: Fledertiere (Chiroptera) 943-952.

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

Kiefer, A.; Sander, U. (1993): Auswirkungen von Straßenbau und Verkehr auf Fledermäuse: eine vorläufige Bilanzierung und Literaturauswertung. Naturschutz und Landschaftsplanung 25 (6): 211-216.

Kiefer, A.; Schreiber, C.; Veith, M. (1996): Felsüberwinternde Fledermäuse (Mammalia, Chiroptera) im Regierungsbezirk Koblenz (BRD, Rheinland-Pfalz) – Vergleich zweier Kartierungsperioden. Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz, Beiheft 21: 5 – 34. Landau.

Kiel, E. (2007): Einführung: Geschützte Arten in Nordrhein-Westfalen. Stand 20.12.2007. http://www.naturschutz-fachinformationssysteme-nrw.de/artenschutz/content/downloads/einfuehrung_geschuetzte_arten.pdf, 28 S.

Kienzle, J. (2001): Analyse von Einzelfahrzeugdaten – Verkehr verstehen. Diplomarbeit am Institut für Straßen- und Verkehrswesen (Prof. Kühne). Univ. Stuttgart.

KIFL; Cochet Consult & Trüper; Gondesen Partner (2004): Gutachten zum Leitfaden zur FFH-Verträglichkeitsprüfung im Bundesfernstraßenbau. F.E. 02.221/2002/LR: Entwicklung von Methodiken und Darstellungsformen für FFH-Verträglichkeitsprüfungen (FFH-VP) im Sinne der EU-Richtlinien zu Vogelschutz- und FFH-Gebieten. Bearb. Kieler Institut für Landschaftsökologie Dr. U.

Mierwald, Planungsgesellschaft Umwelt, Stadt und Verkehr - Cochet Consult, Trüper, Gondesen Partner. Im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Referat S 13, Bonn (Schlussfassung 10/2004).

Klenke, R.; Schultz, A.; Lutze, G. (2006): Mathematisch-kybernetische Habitatmodellierung und Analyse von Landschaftszerschneidungen. In: Baier, H.; Erdmann, F.; Holz, R.; Waterstraat, A. (2006): Freiraum und Naturschutz - Die Wirkungen von Störungen und Zerschneidungen in der Landschaft.

Klupsch, A. (2004): Optimierung von Fledermaus-Winterquartieren durch Hohlblocksteine. Nyctalus (N.F.) 9(5): 447 – 450. Berlin.

Kock, D. & H. Felten (1980): Massensterben von Fledermäusen – Bestandsreduktion durch Unfälle. Natur & Museum 110 (10): 314 – 317. Frankfurt/M.

Koettnitz, J.; Heuser, R.(1994): Fledermäuse in großen Autobahn-Brücken Hessens. In: Arbeitsgemeinschaft für Fledermausschutz in Hessen (AGFH): Die Fledermäuse Hessens. Geschichte, Vorkommen, Bestand und Schutz. Verlag M. Hennecke, Remshalden-Buoch: 171-180.

Kolb, A. (1961): Sinnesleistungen einheimischer Fledermäuse bei der Nahrungssuche und Nahrungsauswahl auf dem Boden und in der Luft. Zeitschrift für vergleichende Physiologie, 44: 550-564.

Kolligs, D. (2000): Ökologische Auswirkungen künstlicher Lichtquellen auf nachtaktive Insekten, insbesondere Schmetterlinge (Lepidoptera). Faunistisch Ökologische Mitteilungen (Suppl. 28), Kiel, 136 S.

Kommission (2000): Natura 2000 - Gebietsmanagement. Die Vorgaben des Artikels 6 der Habitat-Richtlinie 92/43/EWG. Leitfaden der EU-Kommission. Version 12/2000. Amt für amtliche Veröffentlichungen der europäischen Gemeinschaften: http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/art6/provision_of_art6_de.pdf. 77 S. + Anhänge.

Kommission (2007): Leitfaden zum strengen Schutzsystem für Tierarten von gemeinschaftlichem Interesse im Rahmen der FFH-Richtlinie 92/43 EWG. Stand 02/2007. 96pp. http://www.naturschutz-fachinformationssysteme-nrw.de/artenschutz/content/downloads/guidance-doc-art12-deutsch.pdf

Kommission (2008):Leitfaden zu den Jagdbestimmungen der Richtlinie 79/409/EWG des Rates über die Erhaltung der wild lebenden Vogelarten (Vogelschutzrichtlinie), Stand Februar 2008. http://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/wild-birds/hunting/docs/hunting_guide_de.pdf, Abruf 21.11.2012. 103 S.

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

Kugelschafter, K.; Walther, B. (1998-2000): Untersuchung des Fledermausvorkommens in der Autobahn A4-BW 215 Ilmbrücke Mellingen. Gutachten im Auftrag des Autobahnamtes Thüringen. 35 S.

Kuijper, D.P.J.; Schut, J.; van Dullemen, D.; Toorman, H.; Goossens, N.; Ouwehand, J.; Limpens, H.J.G.A. (2008): Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). Lutra 51 (1): 37-49 http://www.zoogdiervereniging.nl/sites/default/files/imce/ nieuwesite/Publicatie%20fotos/ Lutra/downloads/Lutra%2051-1%20Kuijper%20et%20al.pdf

Kunz, T.; Arnett, E.B.; Cooper, B.M.; Erickson, W.P.; Larkin, R.P.; Mabee, T.; Morrison, M.L.; Strickland, M.D.; Szewczak, J.M. (2007): Assessing Impacts of Wind-Energy Development on Nocturnally Active Birds and Bats: A Guidance Document. Journal of Wildlife Management 71 (6): 2449–2466.

Kurtze, W. (1991): Die Breitflügelfledermaus (*Eptesicus serotinus*) in Nordniedersachsen. Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen 26: 63-94.

Kusenbach, J. (2005): Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Fledermäuse. Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen 2005 (2): 56-61.

Lambrecht, H.; Trautner, J. (2007): Fachinformationssystem und Fachkonventionen zur Bestimmung der Erheblichkeit im Rahmen der FFH-VP. Endbericht zum Teil Fachkonventionen, Schlussstand Juni 2007. F+E-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. FKZ 804 82 004 [unter Mitarb. von K. Kockele, R. Steiner, R. Brinkmann, D. Bernotat, E. Gassner & G. Kaule]. Hannover, Filderstadt. 160 S. http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/natura2000/bfn-fue_ffh-fkv_bericht_und_anhang_juni__2007.zip.

Lee, Y.F.; McCracken, G.F. (2002): Foraging activity and food resource use of Brazilian free-tailed bats, Tadarida brasiliensis (Molossidae). Ecoscience 9: 306-313.

Legendre, S.; Clobert, J. (1995): ULM, A Software for Conservation and Evolutionary Biologists. Journal of Applied Statistics 22: 817-834.

Lemaire, M.; Arthur, L. (1999): Les chauvres-souris et les routes. Bats and roads. - in: Actes des troisièmes rencontres "Routes et faune sauvage ". Ministère de l´Equipement, des Transports et du Logement et Ministère de l´Amenagement du Territoire et de l´Environnement, 30 septembre au octobre 1996. 3eme rencontre Route et Faune Sauvage. Museum of Natural History, Bourges, France, S. 139-150.

Lemaire, M.; Arthur, L. (1999): Les ponts et les chauves-souris sur le département du Cher. – Arvicola 11 (4): 1–12.

Lesiński, G. (2006): Linear landscape elements and bat casualties on roads. Ann. Zool. Fennici. 45: 00-00 preprint. http://www.sekj.org/PDF/anz44-free/Lesinski-free.pdf.

Lesiński, G. (2007): Bat road casualties and factors determining their number. Mammalia. 71 (3): 138-142.

Lesiński, G. (2008): Linear landscape elements and bat casualties on roads - an example. Ann. Zool. Fennici 45: 277-280. Helsinki.

Lesiński, G.; Sikora, A.; Olszewski, A. (2010): Bat casualties on a road crossing a mosaic landscape. European Journal of Wildlife Research, Volume 57, Issue 2. http://dx.doi.org/10.1007/s10344-010-0414-9 (27.07.2011). 217-223.

Lex, P; Wittich, K.-P. (2002): Begünstigt das Mikroklima an Bahntrassen die Entstehung von Böschungs- und Waldbränden? ATZ – Der Wald (2). 66-70.

Limpens, H.J.G.A. (1993): Fledermäuse in der Landschaft. Eine systematische Erfassungsmethode mit Hilfe von Fledermausdetektoren. Nyctalus (N.F.), Berlin 4 (6): 561-575.

Limpens, H.J.G.A.; Helmer, W.; van Winden, A.; Mostert, K. (1989): Bats and linear landscape elements. Lutra 32:1-20.

Limpens, H.J.G.A.; Kapteyn, K. (1991): Bats, their behaviour and linear landscape elements. Myotis 29: 39–48. Bonn.

Limpens, H.J.G.A.; Roschen, A. (1995): Bestimmung mitteleuropäischer Fledermausarten anhand ihrer Rufe. Lern- und Übungskassette mit Begleitheft. BAG Fledermausschutz im Naturschutzbund Deutschland, NABU-Projektgruppe Fledermauserfassung in Niedersachsen, 45 S.

Limpens, H.J.G.A.; Twisk, P.; Veenbaas, G. (2005): Bats and road construction. Hrsg. Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management. Directorate-General for Public Works and Water Management, Road and Hydraulic Engineering Institute (Delft/NL) & Association for the Study and Conservation of Mammals (Arnhem/NL). 24 S. http://www.verkeerenwaterstaat.nl/kennisplein/2/7/273409/DWW-2005-033%20Bats% 20and%20road%20construction%20.pdf (14.04.2009).

Lin, S.-C. (2007): Surveying and Modelling Road Kill. The 2007 International Conference on Ecology & Transportation, Little Rock, Arkansas: 20.-25. Mai 2007.

Lodé, T. (2000): Effect of a Motorway on Mortality and Isolation of Wildlife Populations. Ambio. Vol. 29 (3): 163-166.

Longcore, T.; Rich, C. (2004): Ecological light pollution. Frontiers in Ecology and the Environment 2: 191-198.

Louis, H.W. (2008): Der Biodiversitätsschaden nach § 21 a des Bundesnaturschutzgesetzes. Natur und Recht 30: 163-170.

Lugon, A.; Roué, S. Y. (1999): Études de l'impact du TGV sur les populations de minioptères de la vallée de l'Ognon. Rapport final. Par: ECOCONSEIL CH-2300 LA Chaux-de-Fonds. Réseau Ferré de France. Mission TGV Rhin-Rhone. Besancon. 22 S. (= Actes des 6. Rencontres nationales CHAUVES-SOURIS de la Société Francaise d´Etude et de Protection des Mammiféres. Bourges, 27./26.11.1999).

Lugon, A.; Roué, S. Y. (2002): Impacts d'une ligne TGV sur les routes de vol du Minioptère de Schreibers: de l'étude aux propositions d'aménagements. Symbioses n.s. 6: 47-48

Lustrat, P.; Julien, J.-F. (1997): Monitoring of an important hibernaculum in Paris (France). – Myotis 35: 109 – 110. Bonn.

Lüttmann, J. (2004): Verträglichkeitsprüfung gemäß § 26 Thüringer Naturschutzgesetz für das FFH-Meldegebiet "Bleicheroder Berge" (DE 4528-301). Autobahn A 38, Verkehrseinheit AS östlich Breitenworbis bis westlich AS Bleicherode (VKE 5614). Stand 11. November 2004. FÖA Landschaftsplanung. Gutachten im Auftrag der DEGES.

Lüttmann, J. (2007): Artenschutz und Straßenplanung. Spannungsfeld zwischen rechtlicher Norm und praktischer Umsetzung. Naturschutz und Landschaftsplanung 39 (8). 236-241.

Lüttmann, J. (2011): Fachvortrag zu Arbeitskreis 6: Fledermausschutz beim Straßenbau. FGSV-Landschaftstagung 2011 in Stralsund am 19./20. Mai 2011. Unveröff. Mskr.

Lüttmann, J. (2013): Beeinflussen Querungshilfen und Schutzzäune das Querungsverhalten von Fledermäusen? Poster FGSV-Landschaftstagung 2013 in Biberach. http://www.fgsv.de/fileadmin/Veranstaltungen/2013/Landschaftstagung/Poster_2.9.6/B_9_-_Poster__FGSV-Landschaftstagung_2013.pdf

Lüttmann, J.; Kerth, G.; Weishaar, M. (2002) Untersuchungen zur Auswirkung des Autobahnbaues auf das Jagdverhalten und die Revierverteilung von Bechsteinfledermäusen. Grundlagendaten für

die Bewertung möglicher erheblicher Beeinträchtigungen der Population der FFH-Art im Tatenhauser Wald (NRW) durch die geplante A 33. FÖA Landschaftsplanung, Trier. Stand 02/2002. Im Auftrag des Landesbetrieb Straßen NRW, Niederlassung Bielefeld. 59pp. + Anhänge. www.foea.de.

Lüttmann, J.; Uhl, R.; Matzik, D.; Bach, L.; Winter, U.; Weishaar, M. (2001): Autobahn A 33, Bauabschnitt 7/1, FFH-VU Tatenhauser Wald, Teilgutachten zur möglichen Beeinträchtigung der Bechsteinfledermaus. Erläuterungsbericht, 26 S. + Anhang.

Lüttmann, J.; Weishaar, M.; Gessner, B. (2003): Nächtliche Aufenthaltsgebiete und Jagdverhalten von Kolonien der Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteinii*) im Gutland. Dendrocopos 30: 17-27.

Mader, H.-J. (1979) Die Isolationswirkung von Verkehrsstraßen auf Tierpopulationen untersucht am Beispiel von Arthropoden und Kleinsäugern der Waldbiozönose. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 19: 1-131.

Mader, H.-J. (1981) Der Konflikt Straße-Tierwelt aus ökologischer Sicht. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 22: 99 S.

Malo, J.E.; Suárez, F.; Díez, A. (2004): Can we mitigate animal-vehicle accidents using pre-dictive models? Journal of Applied Ecology (41): 701-710.

Martens, V.; Mostert, K. (1990): Vleermuizen in het herinrichtingsgebied stadsrand Zwolle in 1990. Gemeente Zwolle/ Natuur- Milieu- en Faunabeheer provincie Overijssel/ Vleermuiswerkgroep Nederland SVO: 34 S.

Martindale, R. (2007): Bats and gaps in hedges. Bat Conservation Trust. 31.08.- 02.09.2007 Conference abstracts 2007. http://www.bats.org.uk/news_events/ documents/ABSTRACTSSept07.pdf.

May, J. (2000): Guidelines: Impact of lighting on bats. London Bat Group. London Biodiversity Partnership, Project Officer. http://www.lbp.org.uk/07library/LIGHTING%20AND%20BATS.pdf

McAney, K. (1992): Bats and bridges. A report on the importance of bridges to bats. National parks and wildlife service, 11 S. Galway.

Merz, H. (1993): Fledermäuse als Opfer des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg. Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ. 75: 151-156.

Meschede, A.; Heller, K.-G. (2000): Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Wäldern. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 66: 1 – 374. Bonn, Bad Godesberg.

Meschede, A.; Rudolph, B. (2004): Fledermäuse in Bayern. Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Landesbund für Vogelschutz in Bayern e.V. (LBV) und Bund Naturschutz in Bayern e.V. (BN), 411 S.

Meyer, C.F.J.; Schwarz, C.J.; Fahr, J. (2004): Activity patterns and habitat preferences of insectivorous bats in a West African forest-savanna mosaic. – Journal of Tropical Ecology 20: 397–407.

Milne, D.; Armstrong, M.; Fisher, A.; Flores, T.; Pavey, C. (2004): A comparison of three survey methods for collecting bat echolocation calls and species-accumulation rates from nightly Anabat recordings. Wildlife Research. 31 (1): 57–63.

Mitchell-Jones, A.J. (2004): Bat Mitigation Guidelines. English Nature: 1-75.

Mitchell-Jones, A.J.; McLeish, A.P. (2004): Bat Workers' Manual (3rd Edition). Joint Nature Conservation Committee forum. http://www.jncc.gov.uk/ pdf/ batwork_manualpt1.pdf. 170 pp.

MKULNV (2010): Verwaltungsvorschrift zur Anwendung der nationalen Vorschriften zur Umsetzung der Richtlinien 92/43/EWG (FFH-RL) und 2009/147/EG (V-RL) zum Artenschutz bei Planungs- oder Zulassungsverfahren (VV-Artenschutz). 1. Änderung vom 15.09.2010. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW; Land Nordrhein-Westfalen 40 pp. http://www.naturschutzinformationen-nrw.de/artenschutz/de/downloads.

MKULNV (2013): Leitfaden „Wirksamkeit von Artenschutzmaßnahmen" für die Berücksichtigung artenschutzrechtlich erforderlicher Maßnahmen in Nordrhein-Westfalen. Forschungsprojekt des Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz (MKULNV) Nordrhein-Westfalen (Az.: III-4 - 615.17.03.09). Bearb. FÖA Landschaftsplanung GmbH (Trier): J. Bettendorf, R. Heuser, U. Jahns-Lüttmann, M. Klußmann, J. Lüttmann; Bosch & Partner GmbH: L. Vaut; Kieler Institut für Landschaftsökologie: R. Wittenberg. Schlussbericht. Stand: 5.2.2013. Online im Fachinformationssystem (FIS) „Geschützte Arten in Nordrhein-Westfalen" http://www.naturschutzinformationen-nrw.de/artenschutz/de/massn.

Mohl, B.; Surlykke, A. (1989) Detection of sonar signals in the presence of pulses of masking noise by the echolocating bat, *Eptesicus fuscus*. Journal of Comparative Physiology A 165: 119-124.

Moss, C.F.; Schnitzler, H.U. (1995): Behavioral studies of auditory information processing. In: Hearing by Bats Popper AN, Fay RR, Springer, New York, 87-145.

Müller, A.; Widmer, W. (1992): Beobachtungen an einem Männchen-Einzelquartier des Großen Mausohrs (*Myotis myotis*). – Myotis 30: 139 – 144. Bonn.

Müller-Stieß, H.; Bach L.; Stieß, B. (2002): Untersuchungen von Fledermäusen unter besonderer Berücksichtigung von Raumbewegungen und Jagdarealen an der Autobahn A38 w AS Heiligenstadt bis w AS Leinefelde (VKE 5612). Endbericht. Unveröff. Gutachten im Auftrag Büro Helk-Ilmplan GmbH, Mellingen/DEGES. 37 S.

Müller-Westermeier, G; Kreis, A.; Dittmann, E. (1999): Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland. Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), CD-Rom. Offenbach a.M.

NACHTaktiv & SWILD (2006): S 170 OU Friedrichswalde-Ottendorf, VKE 315. Nachuntersuchung 2006 Konfliktbereich S 5 zur Sonderuntersuchung „Kleine Hufeisennase Friedrichswalde Ottendorf/Sachsen". Unveröffentlichter Bericht im Auftrag der DEGES, Berlin, 40 Seiten. http://www.swild.ch/deges/Studie_Hufeisennasen_S5.pdf (15.03.2009).

NACHTaktiv & SWILD (2008): Monitoring von Schadensbegrenzungsmaßnahmen für die Kleine Hufeisennase, Autobahn A17, VKE 391.3 – Funktionskontrolle 2007. - Unveröffentlichter Bericht. im Auftrag der DEGES, Berlin, 47 Seiten. http://www.swild.ch/deges/.

Nachtigall, W. (1996): Flugverhalten der Kohlmeise *Parus major* am Nistkasten: Möglichkeiten und Grenzen von Vogelfluganalysen durch Camcorder mit Hochgeschwindigkeitsverschluß. Journal of Ornithology. Vol. 137 (4): 463 - 477.

Nagel, A. (1997): Die Ilmbrücke bei Mellingen (Thüringen) als Fledermausquartier. Nyctalus (N.F.) 6 (3): 280–282. Berlin.

Navara, K.J.; Nelson, R.J. (2007): The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences. Journal of Pineal Research 43: 215-224.

Neuweiler, G. (1993): Biologie der Fledermäuse. Stuttgart. 229 S.

PAN, ILÖK (2010): Bewertung des Erhaltungszustandes der Arten nach Anhang II und IV der Flora–Fauna–Habitat–Richtlinie in Deutschland; Überarbeitete Bewertungsbögen der Bund–Länder-Arbeitskreise als Grundlage für ein bundesweites FFH-Monitoring (Stand September 2010). J. Sachteleben, Planungsbüro für angewandten Naturschutz GmbH (PAN) & T. Fartmann, Institut für Landschaftsökologie Münster (ILÖK) (Auftragnehmer). Gutachten im Auftrag des BfN, FKZ 805 82 013. http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/monitoring/Bewertungsschemata_Arten_2010.pdf (22.05.2012)

Perrin, L.P.A. (1988): Zur Biologie des Abendseglers *Nyctalus noctula* (Schreber, 1774) in der Regio Basiliensis. Diss. Universität Basel, Naturhist. Museum Basel, 157 S. Basel.

Pinno, S. (1999): Untersuchung von Fledermaus-Winterquartieren in der Westfälischen Bucht. Diplomarbeit an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster,FB Geowissenschaften. 96 S. Dinslaken.

Pohle, A. (1998): Straßenlärm und Tiere. LÖBF-Jahresbericht 1997: 112-117.

Pysarczuk, S. (2004): Die Bedeutung von Brücken für Fledermäuse. Magisterarbeit Uni Salzburg. 72 S. Linz.

Racey, A. (2006): Best practise in enhancement of highway-design for bats. Highways Agency Report. UK. http://www.ha-research.gov.uk/projects/projectdocuments.php?method=download&ID=193.

Rackow, W.; Schlegel, D. (1994): Fledermäuse (Chiroptera) als Verkehrsopfer in Niedersachsen. Nyctalus (N.F.), Berlin 5 (1): 11-16.

Reck, H.; Rassmus, J.; Klump, G. M.; Böttcher, M.; Brüning, H.; Gutsmiedl, I.; Herden, C.; Lutz, K.; Mehl, U.; Penn-Bressel, G.; Roweck, H.; Trautner, J.; Wende, W.; Winkelmann, C.; Zschalich, A. (2001): Auswirkungen von Lärm und Planungsinstrumente des Naturschutzes, Ergebnisse einer Fachtagung - ein Überblick. Naturschutz und Landschaftsplanung 33 (5): 145-149.

Reddy, E.; Fenton, M.B. (2003): Exploiting vulnerable prey: moths and red bats (*Lasiurus borealis*; Vespertilionidae). Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie 81: 1553-1560.

Reiter, G.; Zahn, A. (2006): Leitfaden zur Sanierung von Fledermausquartieren im Alpenraum. Interreg IIIB-Projekt. 132 S. + Anhang

Richarz, K. (2000): Auswirkungen von Verkehrsstraßen auf Fledermäuse. Laufener Seminarbeiträge 2: 71-84.

Rieger, I. (1998): Auch bei uns ein Straßenbrücken-Fledermaus-Quartier (UH001). FlipFlop 4/1998: 5–7. Rheinfall.

Rodrigues, L., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Goodwin, J. & Harbusch, C. (2008): Leitfaden für die Berücksichtigung von Fledermäusen bei Windenergieprojekten. EUROBATS Publication Series No. 3 (deutsche Fassung). UNEP/EUROBATS Sekretariat, Bonn, Deutschland, 57 S.

Roer, H. (1987): Rheinische Mausohren (*Myotis myotis*) überwintern bei Frosttemperaturen in einem Wochenstubenquartier. Myotis 25: 77–83. Bonn.

Roer, H. (1995): Gefährdung und Schutz von Fledermäusen in Brückenbauten, dargestellt an zwei Beispielen aus Westdeutschland. Tier und Museum 4 (2): 50-54.

Roll, E.; EBA (2004): Hinweise zur ökologischen Wirkungsprognose in UVP, LBP und FFH-Verträglichkeitsprüfungen bei Aus- und Neubaumaßnahmen von Eisenbahnen des Bundes. Eisenbahn-

Bundesamt. Bearb. E. Roll. Stand 3/2004. http://www.eisenbahn-bundesamt.de/Service/files/23_Wirkungsprognose.pdf, Download Dezember 2004.

Rudolph, B.-U. (2004): Mopsfledermaus *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774). In: Fledermäuse in Bayern. Hrsg.: LfU, BN, LBV, Bearb.: A. Meschede, B.-U. Rudolph, Ulmer Verlag, Stuttgart, 340-355.

Rudolph, B.-U.; Hammer, M.; Zahn, A. (2003): Die Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) in Bayern. Nyctalus 8 (6): 564-580.

Rudolph, B.-U.; Kerth, G.; Schlapp, G.; Wolz, I. (2004): Bechsteinfledermaus *Myotis bechsteinii* (Kuhl, 1817). In: Fledermäuse in Bayern. Hrsg.: LfU, BN, LBV, Bearb.: A. Meschede, B.-U. Rudolph, Ulmer Verlag, Stuttgart, 188-202.

Runge, H.; Simon, M.; Widdig, T. (2010): Rahmenbedingungen für die Wirksamkeit von Maßnahmen des Artenschutzes bei Infrastrukturvorhaben, Umweltforschungsplan 2007 - Forschungskennziffer 3507 82 080 Endbericht, FuE-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz - FKZ 3507 82 080, (unter Mitarb. von: Louis, H. W.; Reich, M.; Bernotat, D.; Mayer, F.; Dohm, P.; Köstermeyer, H.; Smit-Viergutz, J.; Szeder, K.).- Hannover, Marburg.

Russ, J.; Briggs, Ph., Wembridge D. (2006/2007): The Bats & Roadside Mammals Survey 2007. Final Report on Third Year of Study. Bat Conservation Trust London & The Mammals Trust UK (Hrsg.). http://www.bats.org.uk/nbmp/documents/BRMReport2007.pdf (16.03.2006).

Russell, A.L.; Butchkoski, C.; Saidak, L.; McCracken, G. (2009): Road-killed bats, highway design, and the commuting ecology of bats. Endang. Species Res: Preprint, Published online September 9, 2006. http://www.int-res.com/articles/esr2006/theme/ bats/batspp2.pdf.

Rydell, J. (1992): Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. Functional Ecology 6: 744-750.

Rydell, J; Bushby, A.; Cosgrove, C.C.; Racey, P.A. (1994): Habitat use by bats along rivers in north east Scotland. – Folia Zoologica 43: 417 – 424.

Rydell, J.; Racey, P. A. (1995): Street lamps and the feeding ecology of insectivorous bats. Symposia of the Zoological Society of London 67: 291-307.

Rydell, J.; Speakman, J.R. (1995): Evolution of Nocturnality in Bats. Potential Competitors and Predators During Their Early History. Biological Journal of the Linnean Society 54: 183-191.

Sachanowicz, K. (2004): Brücken als ein neuer Quartiertyp der Mopsfledermaus, *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774) im Sommer und Herbst. Nyctalus (N.F.) 9 (3): 412–413. Berlin.

Safi, K.; Kerth, G. (2004): A comparative analysis of specialization and extinction risk in temperate-zone bats. Conservation Biology, 18 (5): 1293-1303.

Schaub, A.; Ostwald, J.; Siemers, B.M. (2008): Foraging bats avoid noise. Journal of Experimental Biology, 211: 3174-3160.

Schikore, T.; Zimmermann, M. (2000): Von der Flugstraße über den Wochenstubennachweis zum Quartier der Teichfledermaus (*Myotis dasycneme*) in der Wesermarsch – erster Fortpflanzungsnachweis dieser Art in Niedersachsen. Nyctalus (N.F.) 7(4): 383–395. Berlin.

Schlapp, G. (1990): Populationsdichte und Habitatansprüche der Bechsteinfledermaus *Myotis bechsteini* (Kuhl, 1616) im Steigerwald (Forstamt Ebrach). Myotis 28: 39-58.

Schlapp, G. (1996) Bestandserfassung und Schutz von Fledermäusen in Bayern. In: Schr.R. Bayer.Landesamt für Umweltschutz 137: 268–272.

Schmidt, U. (2002): Morphologie und Funktion der sensorischen Systeme bei Chiropteren. In: - Handbuch der Zoologie/ begr. von Willy Kükenthal. Fortgef. von M. Beier; Bd. 8, Mammalia (Hrsg. M. S. Fischer), Teilbd. 61. Chiroptera/ Vol. 2. Berlin, de Gruyter.

Schnitter, P., Eichen, C., Ellwanger, G., Neukirchen, M. & E. Schröder (Bearb.) (2006): Empfehlungen für die Erfassung und Bewertung von Arten als Basis für das Monitoring nach Artikel 11 und 17 der FFH-Richtlinie in Deutschland. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Halle), Sonderheft 2.

Schnitzler, H.U.; Kalko, E.K.V. (2001): Echolocation by insect-eating bats. Bioscience 51 (7): 557-569.

Schnitzler, H.U.; Moss, C.F.; Denzinger, A. (2003): From spatial orientation to food acquisition in echolocating bats. Trends in Ecology & Evolution 18: 386-394.

Schober, W. (2004): Ergebnisse einer 15-jährigen Beringungsstudie an einer Mausohr (*Myotis myotis*)-Wochenstube. Nyctalus (N.F.) 9 (3): 295–304. Berlin.

Schober, W.; Grimmberger, E. (1998): Die Fledermäuse Europas. Kennen, Bestimmen, Schützen. Kosmos Verlag, 265 S. Stuttgart.

Schönmann, H.; Kuchenmeister, B.; Kunk, M. (2001): Fledermäuse. Flora und Fauna im Landkreis Main-Spessart.

Schröpfer, R.; Feldmann, R.; Vierhaus, H. (1964): Die Säugetiere Westfalens. Hrsg. Westfälisches Museum für Naturkunde. Landschaftsverband Westfalen-Lippe, 393 S.

Semrl, M.; Presetnik, P.; Gregorc, T. (2012): First proper "after construction" monitoring in Slovenia immediately reveals bats (Chiroptera) as highway traffic casualties. – Poster: 2012 IENE International Conference – Safeguarding Ecological Functions Across Transport infrastructure. October 21–24, 2012 Potsdam, Germany.

Shiel, C. (1999): Bridge usage by bats in County Leitrim and County Sligo. http://www.heritagecouncil.ie/publications/bats/tables.html

Siemers, B.M.; Goerlitz, H.R.; Robsomanitrandrasana, E.; Piep, M.; Ramanamanjato, J.B.; Rakotondravony, D.; Ramilijaona, O.; Ganzhorn, J.U. (2007): Sensory basis of food detection in wild *Microcebus murinus*. International Journal of Primatology, 28: im Druck.

Siemers, B.M.; Güttinger, R. (2006): Prey conspicuousness can explain apparent prey selectivity. Current Biology 16: R157-R159.

Siemers, B.M.; Kaipf, I.; Schnitzler, H.U. (1999): The use of day roosts and foraging grounds by Natterer's bats (*Myotis nattereri* Kuhl, 1818) from a colony in southern Germany. Zeitschrift für Saugetierkunde-International Journal of Mammalian Biology 64: 241-245.

Siemers, B.M.; Page, R. (2009): Behavioral studies of bats in captivity: methodology, training, and experimental design. In: Kunz T, Parsons S (Eds.) Ecological and behavioral methods for the study of bats. Johns Hopkins University Press, im Druck.

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

Siemers, B.M.; Swift, S.M. (2006): Differences in sensory ecology contribute to resource partitioning in the bats *Myotis bechsteinii* and *Myotis nattereri* (Chiroptera: Vespertilionidae). Behavioral Ecology and Sociobiology, 59: 373-380.

Simmons, N.B. (2005): Order Chiroptera. In Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference, Vol. 1 eds. D.E. Wilson and D.M. Reeder: 312-529. Baltimore: John Hopkins Univ. Press.

Simon, M.; Hüttenbügel, S.; Smit-Viergutz, J. (2004): Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Dörfern und Städten. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.). Münster. 276 S.

Simon, M.; Widdig, T. (2003): Ökologische Spezialuntersuchungen zum Großen Mausohr und zur Bechsteinfledermaus im Bereich der Autobahnplanung der Autobahn A 44: Untersuchungen im Jahr 2003 in VKE 32 und 33. Marburg. unveröffentlichtes Gutachten i.A. des Amtes für Straßen- und Verkehrswesen Kassel.

Skiba, R. (2003): Europäische Fledermäuse; Westarp Wissenschaften. Neue Brehm-Bücherei, Bd. 648, 1. Aufl.

Slater, F. M. (2002): An assessment of wildlife road casualties - the potential discrepancy between numbers counted and numbers killed, Web ecology 3, 2002: 33-42.

Speakman, J.R. (1990): The function of daylight flying in British bats. Journal of Zoology 220: 101-113.

Speakman, J.R. (1991): Why do insectivorous bats in Britain not fly in daylight more frequently? Functional Ecology 5: 518-524.

Spitzenberger, F. (1992): Der Abendsegler (*Nyctalus noctula* Schreber, 1774) in Österreich. Nyctalus (N.F.) 4 (3): 274–276. Berlin.

Stephan, S., Bettendorf, J. (2011): Homeranges von 19 Bechsteinfledermäusen in Bezug auf die Autobahn A1. Poster. Fachtagung zur "Populationsökologie und Habitatansprüche der Bechsteinfledermaus (Myotis Bechsteinii)" vom 25.-26.02.2011 in Bad Nauheim. http://www.oeko-log.com/fledermaeuse13.pdf

Stratmann, B. (2006): Zur Kollisionswahrscheinlichkeit fliegender oder jagender Fledermäuse bei der Querung von Verkehrswegen. Nyctalus (n.F.). H. 4: 266-276.

Stutz, H.-P.; Haffner, M. (1993): Richtlinien für die Erhaltung von Fledermausquartieren in und an Bäumen, Brücken und Höhlen. Koordinationsstelle Ost für Fledermausschutz (Hrsg.): Aktiver Fledermausschutz, Band II: 1–45. Zürich.

Swift, S.M. (1980): Activity patterns of pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*) in north-east Scotland. Journal of Zoology 190: 285-295.

SWILD & NACHTaktiv (2007) Schadensbegrenzung für die Kleine Hufeisennase an Straßen - Experimente zur Wirksamkeit von Schutzzäunen. Unveröffentlichter Bericht im Auftrag der DEGES, Berlin, 31 Seiten. Unveröff. Bericht. http://www.swild.ch/deges/.

Taylor, R.J.; O'Neill, M. G. (1988): Summer activity patterns of insectivorous bats and their prey in Tasmania. In: Aust. Wildl. Res. 15: 533–539.

Thum, R.; Wätzold, F. (2007): Artenschutz durch handelbare Zertifikate? Natur und Recht. 29 (5): 299-307.

Traxler, A.; Wegteitner, S.; Jaklitsch, H. (2004): Vogelschlag, Meideverhalten und Habitatnutzung an bestehenden Windkraftanlagen. Forschungsbericht. Endbericht 12/2004. Büro BIOME. http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/ Vogelschutz/Studie_Vogelschlag_Oesterreich.pdf.

Van Langevelde, F.; Jaarsma, C. (2004): Using traffic flow theory to model traffic mortality in mammals. Landscape Ecology 19: 895-907.

Van Riesen, J.; Dolch, D. (2003): Ergebnisse einer Langzeitstudie an einer Reproduktionsgemeinschaft des Braunen Langohrs (*Plecotus auritus* L., 1758) in einem Fledermauskastenrevier in Nord-Brandenburg. Nyctalus (NF) 8 (5): 427–435.

Verboom, B. (1998): The use of edge habitats by commuting and foraging bats. Dissertation an der Landbouwuniversiteit Wageningen, 123 S.

Verboom, B.; Spoelstra, K. (1999): Effects of food abundance and wind on the use of tree lines by an insectivorous bat, *Pipistrellus pipistrellus*. Can. J. Zool. 77 (9): 1393–1401.

Vollmer, A.; Rackow, W. (2002): Nordfledermaus, (*Eptesicus nilssonii* Keyserling & Blasius, 1839), als Eisenbahn-Verkehrsopfer im Südharz. Nyctalus (N.F.) 8 (3): 306. Berlin.

Voser, M.; Brauchli, N.; Righetti, A.; Bebié, N. (2005): Standardisierte Wirkungskontrolle an Wildtierpassagen – Grundlagenbericht und Handlungsanleitung. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Schweiz. 62 S.

Wagner, M.; Kerth, G.; König (1997): Jagdverhalten und Raumnutzung von Bechsteinfledermäusen in unterschiedlichen Lebensräumen. Verh. Dtsch. Zool. Ges. 90. 397.

Walther, B. (2001): Quartiernutzung und Nahrungsökologie des Großen Mausohrs (*Myotis myotis*) in der Autobahnbrücke bei Mellingen (Thüringen). Diplomarbeit, Inst. f. Ökologie, Friedrich-Schiller-Univ. Jena, 69 S.

Weber, C. (2002): Einfluss von Nahrungsangebot und Habitatcharakter auf die Aktivität von Fledermäusen (Mammalia: Chiroptera) an Waldstrukturen im Pfälzerwald. Dissertation an der Universität Kaiserslautern, 224 S.

Weishaar, M. (1992): Landschaftsbewertung anhand von Fledermausvorkommen. Dendrocopos19: 19–25.

Werner, M. (1996): Die Aichtalbrücke - Quartier und Todesfalle für Fledermäuse. Der Flattermann, Regionalbeilage Bad.-Württem. 8: 16–22.

White, G. C.; Garrott, R. A. (1990): Analysis of wildlife radio-tracking data. Academic Press, London. 383 S.

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

Wolz, I. (1988): Ergebnisse automatischer Aktivitätsaufzeichnungen an Wochenstubenkolonien der Bechsteinfledermaus (*Myotis bechsteini*). Zeitschrift für Säugetierkunde 53: 257–266.

Wray, S.; Reason, P.; Wells, D.; Cresswell, W.; Walker, H. (2006): Design, installation, and monitoring of safe crossing points for bats on a new highway scheme in Wales. In: Proceedings of the 2005 International Conference on Ecology and Transportation, Eds. Irwin CL, Garrett P, McDermott KP. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC: 369-379. http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1326&context=jmie/roadeco.

Zahn, A. (2005): Untersuchungen zur Bestandsentwicklung und zum Schutz von Fledermäusen in Südbayern im Zeitraum 1.5.2004 - 30.4.2005. Bericht im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt.

Zahn, A. Krüger-Barvels K.; Maier, S. (1998): Jahreszeitliche Variation der erfassbaren Fledermausaktivitäten in Jagdbiotopen. In: Naturschutz und Landschaftsplanung 30, Nr. 11: 353–355.

Zar, J.H. (1999): Biostatistical analysis. 4. Aufl. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Modularer Aufbau des Forschungsvorhabens 2
Abbildung 2-1: Beispiele für Laufgeräusche von Carbus monilis auf trockener Laubstreu (oben) und Wiese (unten). Links jeweils oben Spektrogrammdarstellung (Frequenzen in kHz), darunter Oszillogramm (Lautstärke; ohne Einheit) und Zeitsignal (eine Sekunde), rechts die verwendete Laufarena. 7
Abbildung 2-2: Versuchsaufbau für Experiment 1 9
Abbildung 2-3: Stimuli für Experiment 1 (links Zeitsignal, rechts Spektrogrammdarstellung und gemitteltes Spektrum (orange) (Prinzipdarstellungen) 10
Abbildung 2-4: Videoaufnahme des Flugraumes mit dem 8 x 8 Feld der 64 Landeplattformen für Experiment 2. Im Hintergrund fliegt eine Fledermaus; im Vordergrund hängt einer, an der Rückwand hängen drei der insg. sechs Lautsprecher zur Beschallung des Feldes. 11
Abbildung 2-5: Stimuli für Experiment 2; oben Spektrogrammdarstellung und gemitteltes Spektrum (orange), unten Zeitsignal 12
Abbildung 2-6: An Autobahnen gemessene Schallemission, 1/4 Zoll Mikrofon; n (7,5m Trassendistanz) = 111, n (15m) = 85, n (25m) = 87; MW + STABW; horizontale schwarze Linie: Grenze der Aufnahmeempfindlichkeit des Mikrofons (Systemrauschen) 16
Abbildung 2-7: An Autobahnen gemessene Schallemission, 1/2 Zoll Mikrofon; n (7,5m Trassendistanz) = 117, n (15m) = 92, n (25m) = 63; MW + STABW 16
Abbildung 2-8: An ICE-Trasse gemessene Schallemission, 1/2 Zoll Mikrofon; n (7,5m Trassendistanz) = 11, n (15m) = 11, n (25m) = 9; MW + STABW 17
Abbildung 2-9: An mit Diesellok befahrenen Trassen gemessene Schallemission (Dieseltraktion), 1/2 Zoll Mikrofon; n (7,5m Trassendistanz) = 10, n (15m) = 7, n (25m) = 11; MW + STABW 17
Abbildung 2-10: Schematisierte Abbildung zur potenziellen Maskierung von Käferlaufgeräuschen durch Verkehrslärm (vereinfacht). Rot: Bereich des Verkehrslärms (7,5m Trassendistanz); blau: Bereich der Laufgeräusche; violett: Überlappungsbereich 18
Abbildung 2-11: Flugzeit im Stimuluskompartiment (Experiment 1); MW + Standardfehler 19
Abbildung 2-12: Fänge im Stimuluskompartiment (Experiment 1); MW + Standardfehler 19
Abbildung 2-13: Erfolgreiche Detektion der korrekten Plattform im 1-min Zeitfenster; MW + Standardabweichung (Experiment 2, Hauptexperiment) 21
Abbildung 2-14: Suchzeit vom Beginn der Präsentation des Stimulus bis zur Landung auf der korrekten Plattform; MW + Standardabweichung (Experiment 2, Hauptexperiment) 21
Abbildung 2-15: Erfolgreiche Detektion der korrekten Plattform im 1-min Zeitfenster; MW + Standardabweichung (Experiment 2, Kontrollexperiment. 22
Abbildung 2-16: Suchzeit vom Beginn der Präsentation des Stimulus bis zur Landung auf der korrekten Plattform; MW + Standardabweichung (Experiment 2, Kontrollexperiment) 22
Abbildung 2-17: Aufsicht Versuchsraum (Grundfläche 13m x 6m); rechts des Vorhanges befindet sich das experimentelle „Jagdgebiet“ 29
Abbildung 2-18 : Seitenansicht Versuchsraum 29
Abbildung 2-19: Einfluss verschiedener Lichtstimuli auf den Aufenthalt von Fledermäusen (Großes Mausohr) in einem experimentellen Jagdgebiet im Labor. 31
Abbildung 2-20 : Einfluss verschiedener Lichtstimuli auf die Anzahl von Beutefängen (Fangversuchen) pro Versuchsdurchlauf (1 Minute Jagdzeit) 32
Abbildung 3-1: Raumverteilung der untersuchten Waldränder an Bahnstrecken 36
Abbildung 3-2: AnaBat-Installation an breiter Trasse (B01, links) und korrespondierendem Kontrollstandort (rechts 39
Abbildung 3-3: AnaBat-Installation an 2-gleisiger Zugstrecke (B17, links) und korrespondierendem Kontrollstandort (rechts) 39

Abbildung 3-4: AnaBat-Installation an 1-gleisiger Zugstrecke (B15, links) und korrespondierendem Kontrollstandort (rechts) 39
Abbildung 3-5: AnaBat-Installation an stillgelegter Zugstrecke (B21, links) und korrespondierendem Kontrollstandort (rechts) 40
Abbildung 3-6: Untersuchungskonzept 2005 (a) und 2006 (b) 41
Abbildung 3-7: Zählschema zur Ermittlung der Fledermausaktivität (Minutenaktivität MA) in einem 10-Minuten-Erfassungsfenster 42
Abbildung 3-8: Untersuchungsstellen der Punkt-Stop-Kartierung im Untersuchungsgebiet „Elzer Wald“....44
Abbildung 3-9: Untersuchungsstellen der Punkt-Stop-Kartierung im Untersuchungsgebiet an der Bahnstrecke 3507 im Mittelrheintal bei Kamp-Bornhofen (Rheinland-Pfalz) – in markierter Kirche Wochenstube von Großen Mausohren (*Myotis Myotis*) mit 1800 Weibchen 45
Abbildung 3-10: Paarvergleich durchschnittlicher Fledermausflugaktivitäten entlang von Waldrändern neben Bahnstrecken *versus* Waldrändern an Vergleichsplätzen (Auflistung von links nach rechts mit abnehmender Zugverkehrsdichte) 46
Abbildung 3-11: Vergleich der Fledermausakivität dreier Artengruppen an Bahnstrecken mit nächtlichem Zugverkehr mit Vergleichsstandorten 47
Abbildung 3-12: Vergleich der mittleren Fledermausaktivität dreier Artengruppen an Bahnstrecken ohne nächtlichen Zugverkehr mit Vergleichsstandorten 47
Abbildung 3-13: Vergleich von mittlerer Fledermausaktivität und mittlerer Zugdurchfahrtsdauer an 18 Bahnstrecken (zu denen Zugdaten vorlagen) 48
Abbildung 3-14: Vergleich von mittlerer Fledermausaktivität und Trassenbreite der untersuchten Bahnstrecken 48
Abbildung 3-15: Fledermausaktivität 2005 an Waldrändern: trassennah (WRn) und trassenfern (WRf)....49
Abbildung 3-16: Fledermausaktivität 2005 an Waldrändern: trassennah (WRn) und trassenfern (WRf), differenziert nach Artengruppe 50
Abbildung 3-17: Fledermausaktivität im Waldinnenbestand: trassennah in 25 Meter Entfernung vom Waldrand, Wt_n, bzw. trassenfern in 100 Meter vom Waldrand, Wt_f (Untersuchungsjahr 2005) 51
Abbildung 3-18: Fledermausaktivität in trassennahen (linkes Säulenpaar) und trassenfernen (rechtes Säulenpaar) Wäldern: jeweils 25 m vom Waldrand (Wt_n, W_n) im Wald, bzw. 100 m vom Waldrand (Wt_f, W_f) entfernt (Untersuchungsjahr 2006) 51
Abbildung 3-19: Fledermausaktivität nach Ergebnissen der Horchboxen (Waldrand trassennah (WR_n), trassenfern (WR_f), im trassennahen Wald in 25 Meter (Wt_n) und in 100 Meter Entfernung zum Waldrand (Wt_f) 52
Abbildung 3-20: Fledermausaktivitäten an verschiedenen Standorten im Elzer Wald in unterschiedlichen Distanzen zum Verkehrsweg (Punkt-Stop-Kartierung 2005 und 2006) 54
Abbildung 3-21: Fledermausaktivitäten anhand der Punkt-Stop-Kartierung 2005 im Untersuchungsgebiet bei Kamp-Bornhofen....55
Abbildung 3-22: Fledermausaktivitäten bei der Punkt-Stop-Kartierung 2005 im Untersuchungsgebiet KB, mit und ohne Zugvorbeifahrt....56
Abbildung 4-1: Untersuchungsgebiet Würzburg im Guttenberger Wald (rote Umrandung) 62
Abbildung 4-2: Untersuchungsgebiet und Quartierwälder in Probefläche GI an der Autobahn A60....64
Abbildung 4-3: Untersuchungsgebiet und Quartierwälder in Probefläche AL 65
Abbildung 4-4: Aufenthaltsgebiete (MCP 95%) der 28 in den Sommern 2004 bis 2006 telemetrierten weiblichen Bechsteinfledermäuse aus 6 Kolonien im Guttenberger Wald an der Autobahn A3....71
Abbildung 4-5: Aufenthaltsgebiete (MCP 100) der 6 in den Sommern 2004 und 2006 telemetrierten weiblichen Mopsfledermäuse im Guttenberger Wald an der Autobahn A3 72

Abbildung 4-6: Jagdgebietsgrößen von 6 Mopsfledermaus-Weibchen in Relation zur Distanz der Jagdgebiete zur Autobahn 76
Abbildung 4-7: Jagdgebietsgrößen von 38 Bechsteinfledermaus-Weibchen in Relation zur Distanz der Jagdgebiete zur Autobahn 77
Abbildung 4-8: Entwicklung von vier Kolonien der Bechsteinfledermaus in unterschiedlicher Distanz zur nächsten Autobahn über 11 Jahre (UH: 3770m, HB: 4330m, BS: 520m, GB2: 320m) 79
Abbildung 4-9: Verteilung der mitochondrialen DNA-Typen (basierend auf 3 Markern) auf 9 Kolonien der Bechsteinfledermaus im Bereich der Autobahn A3 sowie auf 36 in Kästen lebende Männchen und 16 Männchen, die mit Netzen gefangen wurden ..81
Abbildung 4-10: Verteilung der Habitattypen im Bereich der Aufenthaltsgebiete (MCP 95) der Kolonien GB2 und KL 83
Abbildung 4-11: Aufenthaltsgebiete (MCP 95) von 17 Bechsteinfledermausweibchen in Probefläche AL (Autobahndreieck A1/A60) 88
Abbildung 4-12: Aufenthaltsgebiete (MCP 95) von 17 in 2001 bis 2006 telemetrierten Bechsteinfledermausweibchen aus drei Kolonien in Probefläche GI (Autobahn A60) 89
Abbildung 4-13: Flächenangebot (rot) und -nutzung (grün) nördlich (positiver Bereich) und südlich (negativer Bereich) der Autobahn im Bereich der Probefläche GI (LÜTTMANN et al. unpubl.) 92
Abbildung 5-1: Untersuchungsgebiet mit den Aufenthaltsgebieten von 6 Bechsteinfledermauskolonien (Polygone mit Kolonienamen) und Verortung näher untersuchter Baumaßnahmen im Zuge des Ausbaues der Autobahn A3 100
Abbildung 5-2: Batcorder in Unterführung Schenkensee. Im Hintergrund ist die nahezu vollständige Versperrung durch Gerüste zu sehen 103
Abbildung 5-3: Aufenthaltsgebiete (MCP 95%) der 18 in 2007 bis 2008 telemetrierten Bechsteinfledermäuse aus 2 Kolonien im Guttenberger Wald 105
Abbildung 5-4: Aufenthaltsgebiete (MCP 100%) der 3 in den Sommern 2007 und 2008 telemetrierten weiblichen Mopsfledermäuse im Guttenberger Wald. Für BB05 wurde (gestrichelt) das MCP100 aus dem Jahr 2006 mit angegeben 105
Abbildung 5-5: Koloniegebiete der Kolonien GB2 und KL 107
Abbildung 5-6: Durch Gerüste versperrte Unterführung Schenkensee 108
Abbildung 5-7: Verlauf der Fledermausaktivität an der Unterführung Schenkensee während des Untersuchungszeitraumes 109
Abbildung 5-8: Verlauf der Durchquerungen der Unterführung Schenkensee durch Fledermäuse vor, während und nach der Versperrung 110
Abbildung 5-9: Bestandsverlauf zwischen 1996 und 2008 in 4 mit Transpondern markierten Kolonien der Bechsteinfledermaus, die in unterschiedlicher Distanz zur nächsten Autobahn leben 111
Abbildung 5-10: Verteilung der mitochondrialen DNA-Typen (basierend auf 2 Mikrosatelliten) auf 10 Kolonien der Bechsteinfledermaus (254 Weibchen) im Bereich der Autobahn A3 sowie auf 51 in Kästen lebende Männchen und 17 Männchen, die mit Netzen gefangen wurden 113
Abbildung 5-11: Beiderseits der Autobahn A3 kam es im Bereich der Bechsteinfledermauskolonien GB2 und KL zu Rodungen von Buschwerk und Bäumen auf einem Streifen von rund 20 Metern 115
Abbildung 5-12: Mit Erdaushub beladene Lastwagen auf einem Waldweg im Zentrum des Aufenthaltsgebietes der Bechsteinfledermauskolonie GB2 im Frühsommer 2008 116
Abbildung 5-13: Totes frisch flügges Jungtier einer Bechsteinfledermauskolonie auf einem Waldweg im Irtenberger Wald bei Würzburg 117
Abbildung 6-1: Definition des Gefährdungsbereichs als Quadrat aus Fahrspurbreite (Kfz plus Zuschlag) und Fahrzeughöhe (Pkw/Lkw) (i: Fledermaus innerhalb des Gefährdungsbereichs, a: außerhalb) 120

Abbildung 6-2: Boxplot der Fledermaus-Aktivität (Individuen/km, Medianwert, Varianz bei Teilstrecken) im Straßenraum auf verschiedenen Straßen(unter-)abschnitten im Offenland, Halboffenland und Wald 123
Abbildung 6-3: Fledermaus-Aktivität (Individuen/km) im Straßenraum in Abhängigkeit von der Verkehrsbelastung (DTV) und der Straßenbreite (2-, 4-spurig) (Medianwert und Varianz bilden die unterschiedliche Aktivität in den einzelnen Streckenabschnitten ab) 125
Abbildung 6-4: Anteil von Transferflügen im Straßenraum (kFlm kleine Fledermausarten, gFlm große Fledermausarten; Gesamtzahl der beobachteten Fledermäuse = 100%. Medianwert, Varianz bei 11 Teilstrecken) 126
Abbildung 6-5: Änderung der Flughöhe und -richtung bei Fledermaus-Gruppen (GFlm große Fledermausarten n = 61, KFlm kleine Fledermausarten n = 142) bei Annäherung von Fahrzeugen (11 Teilstrecken) 127
Abbildung 6-6: Fledermäuse im Straßenraum in Abhängigkeit von der Struktur am Straßenrand SR1 (fehlend bis locker) – SR3 (dichtes Begleitgrün) 128
Abbildung 6-7: Einfluss der Gradiente auf das Auftreten im Gefährdungsbereich (n = Anzahl Abschnitte) 129
Abbildung 6-8: Verteilung von Fledermäusen (rot, Individuen/100 m) und Insekten (Häufigkeitsklassen) auf 601 untersuchten Straßenabschnitten. Berücksichtigt sind alle Abschnitte unabhängig vom Fledermausvorkommen 130
Abbildung 6-9: Untersuchungsfläche BKY (Bahntunnel, 1 Gleisstrang, Dieseltraktion) 140
Abbildung 6-10: Untersuchungsfläche BR1 (Bahnstrecke, 1 Gleisstrang, Dieseltraktion) 140
Abbildung 6-11: Untersuchungsfläche BR2 (Bahntunnel, 2 Gleisstränge, elektrifiziert) 141
Abbildung 6-12: Definition des Gefährdungsbereiches (weißes Fenster) 142
Abbildung 6-13: Aktivität von Fledermäusen bezogen auf die Gradientenelemente Tunnel, Tunnelportal und freie Strecke (alle Fledermäuse, Indiv./Min.) 144
Abbildung 6-14: Vergleich der Fledermaus-Aktivität (Indiv./Nacht resp. Testfahrt mit Bahn) innerhalb und außerhalb des Gefährdungsbereiches 145
Abbildung 6-15: Aktivität von (vorwiegend Zwerg-)Fledermäusen im Tunnel BKY (Juli 2005) nach Hochbox-Aufzeichnungen 146
Abbildung 6-16: Fledermausaktivität und Tunnellänge 147
Abbildung 6-17: Aufenthaltsort von Fledermäusen im Tunnel bei Annäherung an das Beobachtungsfahrzeug 147
Abbildung 6-18: An der grob verputzten Tunneldecke hängende Fledermaus unmittelbar vor einer Zugdurchfahrt im Tunnel BKY (15.08.2006, Foto: Lüttmann) 148
Abbildung 7-1: Styrodurkasten (Eigenbau) im Brückenkopf einer Autobahnbrücke 155
Abbildung 7-2: Tunnel und Brücken an Verkehrswegen mit Fledermausbesatz (Quelle: eigene Kontrollen und Sekundärquellen, 1950 – 2007) 157
Abbildung 7-3: Häufigkeit des Nachweises verschiedener Fledermausarten in Großbrücken 158
Abbildung 7-4: Schemazeichnung einer Autobahnbrücke mit Widerlagern und Hohlwannenkammern unter der Fahrbahn sowie Einzeichnung typischer Fledermaus-Hangplätze (aus KOETTNITZ & HEUSER 1994) 159
Abbildung 7-5: Zahl der Fledermausarten in Brücken unterschiedlichen Alters 160
Abbildung 7-6: Zahl der Fledermausarten in Brücken unterschiedlicher Länge 160
Abbildung 7-7: Höchstzahl angetroffener Fledermäuse pro Brücke 161
Abbildung 7-8: Verteilung von Mausohrquartieren in Straßenbrücken im Umfeld zu bekannten Wochenstuben im Lahn-Dill-Kreis (Daten R. HEUSER, ergänzt) 163
Abbildung 7-9: Nachweishäufigkeit der am häufigsten registrierten Fledermausarten in Brückenbauten in den Naturraum-Haupteinheiten Deutschlands 164
Abbildung: 7-10: Totfunde verschiedener Fledermausarten in Brückenbauten im Verhältnis zur Gesamtzahl (n) der Quartiernachweise einer Art 165
Abbildung 7-11: Winterbesatz durch Fledermausarten, differenziert nach der Januar-Mitteltemperatur am Standort der Brücken 165

Abbildung 7-12: Winterbesatz von Zwergfledermäusen und Gr. Abendsegler in Brückenquartieren und Totfundrate an klimatisch unterschiedlichen Standorten (Januar-Mitteltemperatur, 0C) 166
Abbildung 7-13: Sommerbesatz durch Fledermausarten nach Juli-Mitteltemperaturen am Standort der Brückenbauten 167
Abbildung 7-14: Differenzierung des sommerlichen Quartierbesatzes in Einzelquartiere und Wochenstuben des Großen Mausohrs in Brücken an Standorten unterschiedlicher Sommerwärme (Juli-Mitteltemperatur, ^{0}C) 167
Abbildung 7-15: Fledermausüberwinterungsquartier in der Theißtal-Autobahnbrücke 169
Abbildung 7-16: Fledermausflugaktivität im Nordbogen der Theißtalbrücke (Autobahn A3) bei Niedernhausen Mitte November 2005 bis Ende April 2006, ermittelt aus AnaBat-Rufaufzeichnungen in 39 exemplarischen Nächten 170
Abbildung 7-17: Fledermausbesatz in der Brexbachtalbrücke, beispielhaft in einer der 28 Hohlkammern unter der Fahrbahn 172
Abbildung 7-18: Vergleich von Temperaturwerten innerhalb und außerhalb der Styrodurkästen in Talbrücken von vier Autobahnen und einer ICE-Strecke 175
Abbildung 7-19: In oder an 19 Tunneln nachgewiesene Fledermausarten 177
Abbildung 7-20: Beispiele inspizierter Tunnel 178
Abbildung 7-21: Winterbesatz durch Fledermausarten, differenziert nach der Januar-Mitteltemperatur am Standort der Tunnel 179
Abbildung 7-22: Temperaturwerte im Cramberger Tunnel (Lahntalbahn 3710) 181
Abbildung 7-23: Vergleich von Fledermausaktivitäten vor und in drei Eisenbahntunnel im Lahntal 182
Abbildung 8-1: Lage der untersuchten Wege- und Bachdurchlässe unter Autobahnen im Großraum „Montabaur-Koblenz-Bingen-Rhein-Main“ 195
Abbildung 8-2: Beispiele untersuchter Wegeunterführungen (von links nach rechts D07, D08, D02) 197
Abbildung 8-3: Beispiele untersuchter Bachdurchlässe (von links nach rechts D12, D11, D15) ..197
Abbildung 8-4: Lage der untersuchten Brücken und „Halbbrücken“ über Straßen im Großraum „Montabaur-Koblenz-Bingen-Rhein-Main“ 198
Abbildung 8-5: Beispiele untersuchter Wegebrücken über Autobahnen (links B24, rechts B22)..199
Abbildung 8-6: Untersuchte „Halbbrücken“ an Autobahn A3 (links Radaranlage, rechts Verkehrsschild) 199
Abbildung 8-7: Probefläche Berlin-Halle (Wegebrücke über die L782 bei Halle/Westf.) 199
Abbildung 8-8: AnaBat (links) und Ultraschallmikrofon auf Teleskopstange, installiert im Autobahnmittelstreifen 200
Abbildung 8-9: Mittlere Fledermausflugaktivität in 13 Unterführungsbauwerken und darüber befindlichem Autobahnmittelstreifen 202
Abbildung 8-10: Fledermausaktivität (alle Arten) im Verhältnis zur Bauwerksdimension 203
Abbildung 8-11: Durchschnittliche Fledermausflugaktivitäten im Bereich aller 17 untersuchten Durchlässe bzw. der darüber befindlichen Autobahnmittelstreifen, differenziert nach drei Fledermausartengruppen 204
Abbildung 8-12: Nahe beieinander liegende Durchlässe unter der Autobahn A3 bei Idstein-Wörsdorf (Hessen) mit unterschiedlicher Artenzusammensetzung der dort fliegenden Fledermäuse 205
Abbildung 8-13: Vergleich der Fledermausaktivität am Autobahnmittelstreifen der Autobahn A3 und im Wörsbachdurchlass (PF D15). Stündliche Auswertung aus AnaBat-Rufaufzeichnungen 206
Abbildung 8-14: Fledermausaktivität (zwei Artengruppen) im Verhältnis zur Bauwerksdimension (Lichte Weite – Längen-Index) von 7 Bach-Durchlässen 207
Abbildung 8-15: Nutzung von 2 Unterführungsbauwerken an der B7 (A, B) durch Große Mausohren während 5 Nächten. 208

Abbildung 8-16: Vergleich der Fledermausflugaktivität (Mittelwert) von sieben Brücken sowie drei Halbbrücken mit Kontrollen in jeweils 100 m Entfernung 209
Abbildung 8-17: Vergleich der Fledermausflugaktivität auf 2 Wirtschaftswegebrücken (B-Hal und B-Wo) mit der Aktivität am Waldrand nebenan 210
Abbildung 8-18: Spektrum der Querschnittsflächen von durch Fledermausarten genutzten Unterführungsbauwerken 214
Abbildung 8-19: Spektrum der Durchlasslängen von durch Fledermausarten genutzten Unterführungsbauwerken 215
Abbildung 8-20: Querungshilfe OBER (Wirtschaftsweg mit beidseitigen Gehölzreihen, Juni 2008) 220
Abbildung 8-21: Querungshilfe POT (Symbolbild einer vergleichbaren Grünbrücke an der A36 in Frankreich/Elsass, aus GEORGII 2007. Rechts Detailbild der Probefläche im August 2008) 220
Abbildung 8-22: Querungshilfe DOCK (Juli 2008) 220
Abbildung 8-23: Wirtschaftswegebrücke HALLE1 (links) und Begrünung HALLE2 (während der Begrünungsarbeiten im Juli 2008) 221
Abbildung 8-24: Nutzung der Grünbrücken im Vergleich zu Referenzpunkten am Brückenkopf (RefB, am Waldrand) 224
Abbildung 8-25: Nutzung der Grünbrücken als Flugweg bzw. als Jagdhabitat (Aktivität, %) 225
Abbildung 8-26: Nutzung (Aktivität) aller Fledermaus-Arten auf der Brücke in Abhängigkeit von der Breite 226
Abbildung 8-27: Flugverhalten von Fledermäusen auf den Grünbrücken nach Videoaufzeichnungen (Aktivität, %) 227
Abbildung 8-28: Veränderung der Aktivität von Fledermäusen nach künstlicher Begrünung der Wirtschaftswegebrücke HALLE (Detektor, Artengruppenaktivität/Std. für die Zeiträume Z0 vor Begrünung und Z1 – Z3 nach der Begrünung) 228
Abbildung 8-29: Von Bäumen am Straßenrand geprägte Überflugmöglichkeit („Hop-over“) (Abbildung aus BACH 2008) 232
Abbildung 8-30: Möglicher Flugweg von Kleinen Hufeisennasen an straßenbegleitenden Zäunungen (aus: WRAY et al. 2006: 375) 233
Abbildung 8-31: Probefläche Lärmschutzwand D1 an der Bundesstraße 9 (in der Bildmitte rechts das Wochenstubenquartier des Gr. Mausohrs in der Kirche in Dienheim) (2007) 235
Abbildung 8-32: Probefläche Zaun D2 (errichtet 2008) und Situation des Flugweges der Gr. Mausohren aus dem Quartier vor dem Bau von Wand bzw. Zaun im Jahr 2006 .235
Abbildung 8-33: Probefläche Metallgitterwand K (errichtet 2006) 236
Abbildung 8-34: Auswertungsklassen nach dem Typ der Querung (links: Verhaltensmuster vor Errichtung von Wand/Zaun, rechts: Verhaltensmuster nachher; s. Text) 237
Abbildung 8-35: Veränderung des Anteils niedrig/bodennah fliegender Individuen nach Einbau verschiedener Leit- und Sperreinrichtungen auf der Probefläche D 239
Abbildung 8-36: Querungsverhalten an der Probefläche K mit Drahtgitterzaun (K Wand) im Vergleich zu einem nahe gelegenen Vergleichsstandort ohne Zaun (Kref) (Daten 2007, 2008) 240
Abbildung 8-37: Anteil der an den Leit- und Sperreinrichtungen entlang fliegenden Fledermaus-Individuen („Parallelflieger“; oben: Probefläche D 2007, unten: Probefläche K 2007/08) 242
Abbildung 9-1: Lebenszyklus von Fledermäusen 260
Abbildung 9-2: Quartierwechselverhalten bei der Bechsteinfledermaus (aus: DIETZ & PIR 2005) 264
Abbildung 9-3: Schematisierte Darstellung des Quartiersystems von drei benachbarten Kolonien des Braunen Langohrs (*Plecotus auritus*). Der gemeinsam besiedelte Wald ist grün dargestellt, die von der jeweiligen Wochenstubenkolonie genutzten Quartiere mit farbigen Symbolen. (Aus: B. LEHMANN, Büro *MYOTIS*, unveröff.) 265
Abbildung 10-1: Asymmetrisches Abblendlicht 280

Abbildung 10-2: Arbeitsschritte innerhalb des Risikomanagements / Teil 1 293
Abbildung 10-3: Arbeitsschritte innerhalb des Risikomanagements / Teil 2 294

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Einfluss von Laufsubstrat und Befeuchtung auf die Amplituden der Laufgeräusche typischer Mausohrbeute 14
Tabelle 2-2: Frequenzgehalt der Laufgeräusche typischer Mausohrbeute (Laufkäfer *Carabus monilis)*....14
Tabelle 2-3: Experiment 1, Ergebnisse von post-hoc durchgeführten gepaarten t-tests 20
Tabelle 2-4: Experiment 2, Hauptexperiment, Ergebnisse von post-hoc durch-geführten gepaarten t-Tests....20
Tabelle 2-5: Experiment 2, Kontrollexperiment, Ergebnisse von post-hoc durchgeführten gepaarten t-tests....22
Tabelle 2-6: Zusammenfassung der Suchzeiten für verschiedene Trassenentfernungen und daraus abgeleitete Sucheffizienzen, jeweils bezogen auf die Kontrollsituation (Stille)....25
Tabelle 2-7: Abgestrahlte Lichtintensitäten der verwendeten Lichtstimuli....30
Tabelle 2-8: Prozentuale Verteilung erfolgreicher und erfolgloser Fangversuche für die Dunkelphasen und die Lichtstimuli (Daten gepoolt für alle fünf Lichtstimuli). 33
Tabelle 2-9: P-Werte aus paarweisem Vergleich der Aufenthaltszeiten im „Jagdgebiet“ für die verschiedenen Stimuli (gepaarte t-tests, Bonferroni Korrektur) 33
Tabelle 3-1: Wirkfaktoren und mögliche Auswirkungen auf die Fledermausfauna an Bahntrassen....35
Tabelle 3-2: Standorte und Erhebungszeiten an den untersuchten Bahnstrecken....37
Tabelle 3-3: Untersuchungszeitraum und -intensität im Gebiet ZE....42
Tabelle 3-4: Gemessene Temperatur der Beobachtungsnächte [°C] und geschätzte Insektenaktivität [Mittelwerte pro Nacht], Registrierung 2 m über Grund....53
Tabelle 4-1: Probeflächen Eifel (Übersicht)....63
Tabelle 4-2: Zusammenfassung der Telemetriedaten der im Guttenberger Wald an der Autobahn A3 zwischen 2004 und 2006 untersuchten 6 Kolonien der Bechsteinfledermaus (MB) sowie einer Kolonie der Mopsfledermaus (MO)....70
Tabelle 4-3: Radius der erreichbaren Kreisfläche (m) um die jeweiligen Tagesquartiere und Anteile dieser Kreisfläche, welche sich jeweils südlich (S) bzw. nördlich (N) der Autobahn A3 befinden, im Vergleich zur Anzahl der realen Aufenthaltspunkte (APT) sowie deren aktuelle (AP) und erwartete (ER) Verteilung in Bezug zur Autobahn (nördlich oder südlich)....74
Tabelle 4-4: Artenspektrum und Fangorte von 139 bei Netzfängen erfassten Individuen aus 7 Arten 78
Tabelle 4-5: Zusammenfassung der Telemetriedaten (Aktionsräume, Jagdgebiete) 86
Tabelle 4-6: Vergleich Aktionsraumgrößen und Querungsverhalten 90
Tabelle 4-7: Vergleich Aktionsraumgrößen und Querungsverhalten (Nichtquerer mit Querungspotenzial und Querer) 90
Tabelle 4-8: Vergleich Aktionsraumgrößen und Nähe zur Autobahn 90
Tabelle 4-9: Vergleich von beobachteter und erwarteter Querungshäufigkeit. 93
Tabelle 4-10: Gradientenangebot für überquerende Tiere 94
Tabelle 4-11: Gegenüberstellung der Überflüge in Damm- und Gleichlage mit dem Gradientenangebot im MCP 100 (6 Tiere) 94
Tabelle 4-12: Querungen im Bereich der Talbrücke (Untersuchungsgebiet GI, Autobahn A60) ..95
Tabelle 4-13: Querungen im Bereich kleinerer Unter- und Überführungen....96
Tabelle 5-1: Zusammenfassung der Telemetriedaten der im Guttenberger Wald 2007 und 2008 untersuchten 2 Kolonien der Bechsteinfledermaus (MB) sowie einer Kolonie der Mopsfledermaus (MO) 104
Tabelle 5-2: Überlappungen der Aufenthaltsgebiete mehrfach telemetrierter Tiere 106
Tabelle 5-3: Mittlerer Abstand der Aufenthaltspunkte mehrfach telemetrierter Tiere zur Autobahn 106

Tabelle 5-4: Artenspektrum und Fangorte von 79 bei Netzfängen erfassten Individuen aus 7 Arten in 2007 und 2008 108
Tabelle 5-5: Anteil reproduzierender Weibchen und Anzahl Jungtiere im Spätsommer in 5 Kolonien der Bechsteinfledermaus zw. 2005 und 2008 111
Tabelle 6-1: Untersuchungsflächen (Transektstrecken) 119
Tabelle 6-2: Übersicht über die zur Auswertung herangezogenen Straßenrand- und Umfeld-Parameter 121
Tabelle 6-3: Frequenz der Arten im „Gefährdungsbereich“ nach Videodaten und Präsenz in Totfunden auf europäischen Straßen nach Literaturdaten 124
Tabelle 6-4: Rangfolge der Kollisionsgefährdung nach Literaturdaten (Präsenz in Totfunden auf europäischen Straßen) 135
Tabelle 6-5: Zeitfenster potenzieller Kollisionen (grau unterlegt) von Mausohr-Fledermäusen aus der Kolonie Reil mit Zügen 149
Tabelle 7-1: Intensivuntersuchungen an sieben Brücken und vier Tunnel 153
Tabelle 7-2: Quartierstatus des Fledermausbesatzes in Brücken unterschiedlicher Höhenlage 162
Tabelle 7-3: An Hangplätzen in Talbrücken mittels Datenlogger gemessene Temperaturen 168
Tabelle 7-4: Temperaturmesswerte über den Zeitraum 22. Oktober 2005 bis 04. März 2006 an der Theißtal-Autobahnbrücke (Autobahn A3) 170
Tabelle 7-5: Temperaturmesswerte über den Zeitraum 13. September 2006 bis 27. Februar 2007 in der Brexbachtal-Autobahnbrücke (Autobahn A48) 172
Tabelle 7-6: Temperaturmesswerte von Mitte September 2006 bis Ende Februar 2007 in und neben Styrodurkästen, installiert in Talbrücken 173
Tabelle 7-7: Quartiernutzung und Höhenlage der Tunnel 177
Tabelle 7-8: An Hangplätzen in Tunnel gemessene Temperaturen 179
Tabelle 7-9: Temperaturwerte im Cramberger Tunnel der Lahntalbahn (3710) 180
Tabelle 7-10: Temperaturwerte im Loreley Tunnel (Mittelrheinstrecke, rechts, 3507) 183
Tabelle 7-11: In Verkehrswegebauten überwinternde Fledermausarten und ihre allgemeinen Temperaturpreferenzen im Winterquartier 186
Tabelle 7-12: Beispiele für Störungen und Gefährdungen von Fledermäusen in Brücken und Tunnel 191
Tabelle 8-1: Untersuchte Unterführungsbauwerke 196
Tabelle 8-2: Untersuchte Überführungsbauwerke und „Halbbrücken“ 197
Tabelle 8-3: Fledermaus-Aktivität unterschiedlicher Artengruppen an Unterführungsbauwerken im Vergleich mit dem Verkehrswege-Mittelsteifen 202
Tabelle 8-4: Mittlere Fledermausaktivität (Präsenz) von drei Artengruppen in Unterführungsbauwerken sowie an Kontrollstandorten im Autobahnmittelstreifen 204
Tabelle 8-5: Gruppenaktivität der Fledermäuse nach AnaBat-Daten über jeweils zwei Nächte pro Aufstellungsort an Autobahnbrücken 209
Tabelle 8-6: Angaben aus Sekundärquellen zur Nutzung von Durchlässen unter Verkehrswegen durch verschiedene Fledermausarten 213
Tabelle 8-7: Angaben aus Sekundärquellen zur Nutzung von Brücken (Wirtschaftswege- und Straßenüberführungen, Grünbrücken) über Verkehrswege durch Fledermausarten 217
Tabelle 8-8: Probeflächen Überquerungshilfen 219
Tabelle 8-9: Untersuchungszeiträume 222
Tabelle 8-10: Auf den Grünbrücken und im Umfeld am Waldrand (Referenz B) festgestellte Fledermausarten (nach Detektoraufnahmen) 223
Tabelle 8-11: Probeflächen 234
Tabelle 8-12: Im Bereich der Probeflächen (Leit- und Sperreinrichtungen D und K) und im Umfeld in Vorjahren (Vorher) und zum Zeitpunkt der Untersuchung (Referenz Dref, Kref) festgestellte Fledermausarten (nach Detektoraufnahmen und Netzfängen) 238

Tabelle 9-1: In der FFH-RL Anhang II und Anhang IV aufgeführte Arten 246
Tabelle 10-1: Wirkfaktoren und mögliche Auswirkungen auf die Fledermausfauna an Straßen und Bahntrassen.....274
Tabelle 10-2: Sucheffizienz jagender Mausohren in 25 m und 50 m Entfernung von Autobahnen unterschiedlicher Verkehrsfrequenz (DTV, Kfz/Std. nachts) im Verhältnis zur Kontrollsituation (Stille) 278
Tabelle 10-3: Wirksamkeit möglicher Maßnahmen zur Vermeidung von Beeinträchtigungen....290