

Umsetzung der Naturschutzforschung am Windtestfeld an Land

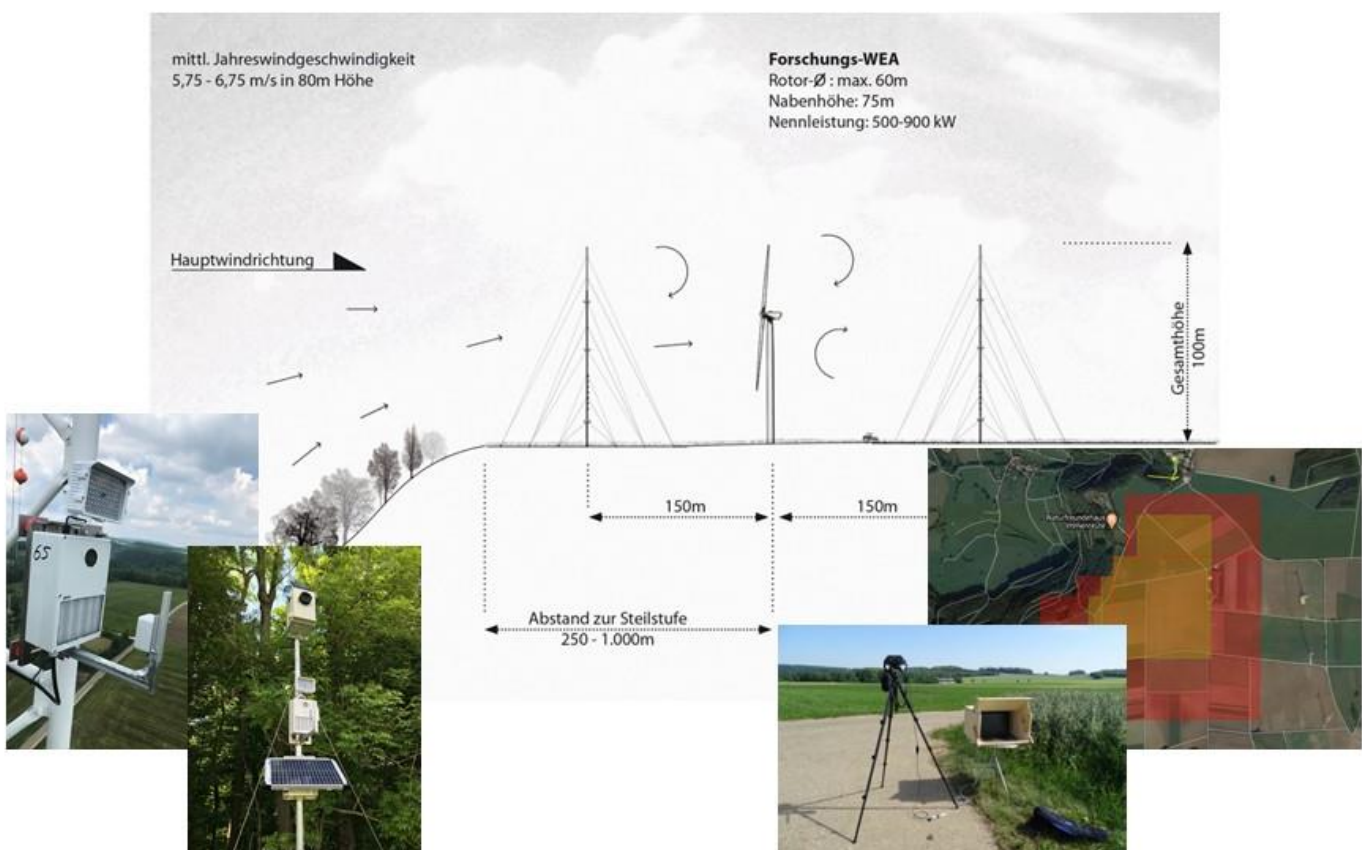
NatForWINSENT II: Phase 1 – Vorher-Untersuchungen

Frank Musiol, Jan Anger, Herbert Stark, Janine Aschwanden,
Felix Liechti, Bruntje Lüdtke, Johanna Hurst, Horst Schauer-
Weisshahn, Klaus Hochradel, Christof Happ, Hendrik Reers,
Sarah Radford, Johanna Grimm, Wolfgang Lissak und
Thomas Klingseis

BfN-Schriften

649

2023





Umsetzung der Naturschutzforschung am Windtestfeld an Land

NatForWINSENT II: Phase 1 – Vorher-Untersuchungen

Frank Musiol, Jan Anger, Herbert Stark, Janine Aschwanden,
Felix Liechti, Bruntje Lüdtkje, Johanna Hurst, Horst Schauer-
Weisshahn, Klaus Hochradel, Christof Happ, Hendrik Reers,
Sarah Radford, Johanna Grimm, Wolfgang Lissak und
Thomas Klingseis

Impressum

Titelbild: Untersuchungen am Windtestfeld (ZSW; TUM)

Adressen der Autorinnen und Autoren:

Dr. Frank Musiol Jan Anger Dr. Herbert Stark	Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) Meitnerstraße 1, 70563 Stuttgart E-Mail: frank.musiol@zsw-bw.de
Dr. Janine Aschwanden Dr. Felix Liechi	Schweizerische Vogelwarte Seerose 1, CH-6204 Sempach E-Mail: janine.aschwanden@vogelwarte.ch
Bruntje Lüdtke Johanna Hurst Horst Schauer-Weissahn	Freiburger Institut für angewandte Tierökologie GmbH Dunantstraße 9, 79110 Freiburg E-Mail: luedtke@frinat.de
Dr. Klaus Hochradel Christof Happ	Institut für Mess- und Sensortechnik, UMIT Eduard Wallnöfer-Zentrum 1, A-6060 Hall i. Tirol E-Mail: Klaus.Hochradel@umit.at
Dr. Hendrik Reers Sarah Radford Johanna Grimm Wolfgang Lissak	OekoFor GbR Kunzenweg 24, 79117 Freiburg E-Mail: reers@oekofofor.de Fachbüro für ökologische Planungen Schubartstraße 12, 73092 Heiningen E-Mail: wolfgang.lissak@t-online.de
Thomas Klingseis	bio-scouting Riedstraße 46, 72070 Tübingen E-Mail: info@bio-scouting.de

Fachbetreuung im BfN:

Jens Ponitka Fachgebiet II 4.3 „Naturschutz und erneuerbare Energien“

Förderhinweis:

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (FKZ: 3518 86 0100).

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).

BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter www.bfn.de/publikationen heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
URL: www.bfn.de

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.



Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt (creativecommons.org/licenses).

ISBN 978-3-89624-410-9

DOI 10.19217/skr649

Bonn 2023

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	19
1 Zusammenfassung	21
1.1 Vögel	21
1.2 Fledermäuse	23
1.3 Wärmebild	24
1.4 Insektenabundanz	25
1.5 Ausblick	27
2 Einleitung	28
2.1 Hintergrund	28
3 Vögel	31
3.1 Konzeptionelle Ausarbeitung experimenteller Untersuchungsansätze	31
3.1.1 Betriebszustände WEA	31
3.1.2 Farbgebung WEA	31
3.1.3 Abschaltung in Abhängigkeit Flugaktivität und Einfluss auf Ertrag	32
3.1.4 Abschaltdistanz und Minderung Kollisionsrisiko	32
3.1.5 Vogelschlag und meteorologische Parameter	33
3.1.6 Effekt Befeuern	33
3.2 Radaruntersuchung	33
3.2.1 Ziele und Fragestellungen Radaruntersuchung	33
3.2.2 Beschreibung Funktion Radargerät und Datenprozessierung	34
3.2.3 Inbetriebnahme Radargerät und Datengrundlagen	36
3.2.4 Ergebnisse Standardauswertung Radardaten	37
3.2.4.1 Vögel	37
3.2.4.2 Insekten	42
3.2.5 Einfluss meteorologischer Parameter auf generelle Flugaktivität	47
3.2.5.1 Meteorologische Parameter erfasst an den Windmessmasten	47
3.2.5.2 Meteorologische Parameter erfasst vom Ceilometer	47
3.2.5.3 Zusammenhänge Wetterstatus, Sichtweiten und Regenwahrscheinlichkeit	48
3.2.5.4 Statistische Auswertung des Einflusses meteorologischer Parameter	49
3.2.5.5 Ergebnisse: Einfluss meteorologischer Parameter auf Vogelzug im Rotorbereich	50
3.2.5.6 Ergebnisse: Einfluss meteorologischer Parameter auf Insektenaktivität im Rotorbereich	55
3.2.6 Diskussion: generelle Flugbewegungen	57
3.2.6.1 Vogelzugintensität und Kollisionsrisiko	57
3.2.6.2 Insektenaktivität	58
3.2.6.3 Fledermausaktivität	59
3.2.6.4 Fazit: generelle Flugaktivität Phase 1	60
3.3 Laser-Range-Finder Untersuchungen	60
3.3.1 Beschreibung Methode LRF und Datenbereinigung	61
3.3.2 Datengrundlagen LRF	62
3.3.3 Raumnutzung basierend auf LRF-Daten	64
3.4 Telemetrie	65
3.4.1 Fangmethoden	65
3.4.2 Befestigung und Einstellungen GPS-Sender	67

3.4.3	Datengrundlagen GPS und Datenselektion	68
3.4.3.1	Datengrundlagen GPS	68
3.4.3.2	Datenselektion plausible Ortungen.....	69
3.4.3.3	Korrektur Flughöhe und Flughöhe über Boden.....	69
3.4.3.4	Datenselektion Ortungen im Flug	69
3.4.3.5	Erstellung Flugwege und standardisierter Datensatz.....	70
3.4.4	Raumnutzung basierend auf GPS-Daten	70
3.5	Individuelle Flugbewegungen (LRF- und GPS) und Einfluss meteorologischer Parameter	73
3.5.1	Ziele und Fragestellungen: Individuelle Flugbewegungen	73
3.5.2	Statistische Auswertung: Einfluss meteorologischer Parameter auf individuelle Flugbewegungen	73
3.5.3	Beschreibung Flughöhen, Fluggeschwindigkeiten und Flugrichtungen (LRF- und GPS-Daten).....	73
3.5.4	Fluggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Flughöhe (LRF- und GPS-Daten)....	75
3.5.5	Minimale Distanzen bezüglich geplanter WEA (LRF- und GPS-Daten)	76
3.5.6	Flugaktivität im Jahresverlauf (GPS-Daten).....	78
3.5.7	Flugaktivität und Einfluss meteorologischer Parameter (GPS-Daten).....	79
3.5.8	Flughöhe und Einfluss meteorologischer Parameter (LRF- und GPS-Daten)	80
3.5.9	Fluggeschwindigkeit und Einfluss meteorologischer Parameter (LRF- und GPS-Daten)	83
3.5.10	Diskussion: individuelle Flugbewegungen	86
3.5.10.1	Methode der Erfassung	86
3.5.10.2	Flughöhe	86
3.5.10.3	Fluggeschwindigkeiten	87
3.5.10.4	Einfluss meteorologischer Parameter auf Flugaktivität, Flughöhe und Fluggeschwindigkeit.....	87
3.5.10.5	Fazit: individuelle Flugbewegungen Rotmilane (Phase 1)	88
3.6	Test Detektionssysteme zur automatischen Vogelerkennung.....	88
4	Fledermäuse	91
4.1	Punktuelle akustische Erfassungen an Messmasten und in der Umgebung des Testfeldes; Auswertung und Korrelation von Witterungs- und Umweltparametern mit der Fledermausaktivität.....	91
4.1.1	Ziele	91
4.1.2	Material und Methoden.....	92
4.1.2.1	Erfassungssystem Messmast: BATmode S+	92
4.1.2.2	Erfassungssystem Umgebung: Batcorder (Waldbox-Erweiterung)	92
4.1.2.3	Untersuchungsaufbau an den Messmasten	93
4.1.2.4	Untersuchungsaufbau in der Umgebung des Testfelds	96
4.1.2.5	Auswertung akustische Daten	98
4.1.2.6	Statistische Auswertung und Korrelation mit Witterungs- und Umweltparametern	99
4.1.3	Ergebnisse	101
4.1.3.1	Wintererfassung 2018/2019 an Messmast Nordwest.....	101
4.1.3.2	Sommererfassung 2019 an Messmast Nordwest	104
4.1.3.3	Sommererfassung 2020 an Messmast Nordwest und Messmast Nordost	116
4.1.3.4	Modelle für die Fledermausaktivität an den Messmasten	139
4.1.3.5	Sommererfassung 2019 in der Umgebung um das Windtestfeld	145
4.1.3.6	Sommererfassung 2020 in der Umgebung um das Windtestfeld	152
4.1.3.7	Modelle für die Fledermausaktivität in der Umgebung um das Windtestfeld ..	160
4.1.4	Diskussion.....	164
4.1.4.1	Wintererfassung an Messmast Nordwest	164

4.1.4.2	Sommererfassungen an Messmast Nordwest und Messmast Nordost.....	165
4.1.4.3	Sommererfassungen in der Umgebung um das Windtestfeld.....	170
4.2	Konzeptionelle Ausarbeitung experimenteller Untersuchungsansätze	173
4.2.1	Ziele.....	173
4.2.2	Konzeptionelle Ausarbeitung	173
4.2.2.1	Aktive Veränderung des Betriebsmodus zur Untersuchung des Einflusses von Nachlaufströmungen auf die Fledermausaktivität.....	173
4.2.2.2	Untersuchung des Einflusses des Trudelbetriebs auf die Fledermausaktivität und das Verhalten der Tiere	174
4.2.2.3	Überprüfung von Systemen zur Schlagopferdetektion: Test verschiedener in der Entwicklung befindlicher Systeme und Vergleich mit konventionellen Nachsuchen	175
4.2.2.4	Entwicklung einer Abschaltung nach Echtzeitdaten und Vergleich mit konventionellen Methoden	175
4.2.2.5	Überprüfung von Vergrämungsmethoden: Test verschiedener in der Entwicklung befindlicher Systeme und Überprüfung deren Wirkung	176
4.2.2.6	Untersuchung des Einflusses herkömmlicher und IR-basierter Befeuerung auf die Fledermausaktivität und das Verhalten der Tiere.....	177
4.2.2.7	Untersuchung des Einflusses der Farbgebung der WEA auf die Fledermausaktivität und das Verhalten der Tiere	178
4.3	Fazit und Ausblick.....	178
5	Wärmebild	179
5.1	Stereo-Wärmebilderfassung	179
5.1.1	Konzeptionierung	179
5.1.1.1	Auswahl LWIR Kamera.....	181
5.1.1.2	Weitere Systemkomponenten	182
5.1.2	Umsetzung der Konzeptionierung	182
5.1.2.1	Hardware	182
5.1.2.2	Software	183
5.1.3	Ergebnisse.....	186
5.1.3.1	Segmentierung	186
5.1.3.2	Kalibrierung und Triangulation	187
5.1.3.3	Aufnahmen im Windtestfeld	189
5.2	Wärmebild-Schlagopfererfassung	190
5.2.1	Konzeptionierung	191
5.2.1.1	Kameras	192
5.2.1.2	Systemkomponenten	192
5.2.1.3	Tageslichtaufnahmen – automatische Detektion	193
5.2.1.4	Tageslichtaufnahmen - manuelle Nachkontrolle.....	195
5.2.1.5	Aufnahmen in der Nacht / Dämmerung	195
5.2.2	Umsetzung der Schlagopferkamera.....	196
5.2.2.1	Hardware	196
5.2.2.2	Konzeptionelle Ergebnisse.....	198
5.2.2.3	Software	202
5.2.3	Ergebnisse.....	206
6	Insektenabundanz.....	211
6.1	Einleitung.....	211
6.2	Methode.....	212
6.2.1	Erfassungskonzept	212
6.2.2	Insektenfotofalle.....	212
6.2.2.1	Beleuchtungsmittel.....	212

6.2.2.2	Konstruktion	213
6.2.2.3	Technischer Aufbau	215
6.2.2.4	Funktionsweise	217
6.2.3	Erfassungspunkte im Untersuchungsgebiet und Geräteinstallation	218
6.2.4	Erfassungen im Jahr 2021	220
6.2.5	Auswertungsprinzip – Insektenabundanz	221
6.2.6	Deskriptive Analyse	222
6.2.7	Statistische Modellierung der Einflussparameter	222
6.3	Ergebnisse	224
6.3.1	Datenlagen Insektenabundanz	224
6.3.1.1	Laufzeiten und Bildpaare	224
6.3.1.2	Gespeicherte und gesendete Aufnahmen	226
6.3.2	Deskriptive Analyse	229
6.3.2.1	Insektenabundanz	229
6.3.2.2	Insektenabundanz in Abhängigkeit vom Standort	231
6.3.2.3	Insektenabundanz in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern	236
6.3.2.4	Insektenabundanz und Fledermausaktivität	243
6.3.3	Statistische Modellierung der Einflussparameter	252
6.3.3.1	Insektenabundanz	253
6.3.3.2	Fledermausaktivität	255
6.4	Diskussion	260
6.4.1	Konstruktion und Technische Umsetzung	260
6.4.2	Auswertung	260
6.4.3	Insektenabundanz	261
6.4.3.1	Insektenabundanz – Gesamt	261
6.4.3.2	Insektenabundanz – Standortabhängig	261
6.4.3.3	Insektenabundanz in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern	263
6.4.4	Insektenabundanz und Fledermausaktivität	265
7	Fazit und Ausblick	268
	Literaturverzeichnis	270

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Radargerät BirdScanMR1 (links) und Ceilometer.....	35
Abb. 2:	Beispiele von mit dem BirdScanMR1 erfassten Echosignaturen	35
Abb. 3:	Fünf Minuten Ausschnitt aus der kontinuierlich laufenden Radarmessung	36
Abb. 4:	Standort des Radargerätes	37
Abb. 5:	Verlauf der Flugaktivität am Tag (gelb) und in der Nacht (blau).....	39
Abb. 6:	Verteilung der Flügelschlagfrequenzen zu den Hauptzugzeiten im Frühling und Herbst für den Flugtyp Singvogel	41
Abb. 7:	Höhenverteilung der Flugaktivität zu den Hauptzugzeiten im Frühling (links) und Herbst (rechts).....	42
Abb. 8:	Zeitlicher Verlauf der relativen Insektenaktivität am Tag (gelb) und in der Nacht (blau)	44
Abb. 9:	Höhenverteilung der Flugaktivität der Insekten pro Periode	45
Abb. 10:	Verteilung der Flugrichtungen der Insekten.....	45
Abb. 11:	Verteilung der Flügelschlagfrequenzen von Insekten	46
Abb. 12:	Zusammenhänge Wetterstatus und Sichtweiten	49
Abb. 13:	Effekte der Meteo-Parameter (Messmasten) auf den Vogelzug insgesamt (50 – 1.100 m ü.B.)	52
Abb. 14:	Effekte der Meteo-Parameter (Messmasten) auf den Vogelzug im Rotorbereich (50 – 120 m ü.B.).....	52
Abb. 15:	Effekte der Meteo-Parameter (Ceilometer) auf den Vogelzug insgesamt (50 – 1.100 m ü.B.)	53
Abb. 16:	Effekte der Meteo-Parameter (Ceilometer) auf den Vogelzug im Rotorbereich (50 – 120 m ü.B.).....	53
Abb. 17:	Effekte der Meteo-Parameter (Messmasten) auf Zugintensität.....	54
Abb. 18:	Effekte der Meteo-Parameter (Ceilometer) auf Zugintensität	54
Abb. 19:	Höhenverteilung des Vogelzugs bei klarer Sicht und Nebel	55
Abb. 20:	Einfluss der Meteo-Parameter (Messmasten) auf die Insektenaktivität (Anzahl Echos)	56
Abb. 21:	Einfluss der Meteo-Parameter (Ceilometer) auf die Insektenaktivität (Anzahl Echos)	56
Abb. 22:	Einfluss der Meteo-Parameter (Messmasten) auf die Insektenaktivität (Anzahl Echos)	57
Abb. 23:	Einfluss der Meteo-Parameter (Ceilometer) auf die Insektenaktivität (Anzahl Echos)	57
Abb. 24:	Sichtbeobachtungen im Bereich des Testfelds (a) mittels Laser-Range-Finder (LRF, b).	61
Abb. 25:	Illustration der Messmethodik mit dem Laser-Range-Finder	62
Abb. 26:	Mittels LRF erfasste Flugbewegungen von Rotmilanen im Jahr 2019.	63
Abb. 27:	Mittels LRF erfasste Flugbewegungen von Rotmilanen im Jahr 2020.	63

Abb. 28:	Mittels LRF erfasste Flugbewegungen von Rotmilanen im Jahr 2021 (bis 28.06.2021).....	64
Abb. 29:	Heatmap der mit LRF auf dem Plateau des Testfelds erfassten Positionsdaten (1-min Datensatz) von 2019 - 2021.....	65
Abb. 30:	Fanganlage mit Uhu und Fangnetz (Juni 2019, J. Aschwanden).....	66
Abb. 31:	Rotmilan in Käfigfalle (07.07.2021).....	67
Abb. 32:	GPS-Sender 180909 auf dem Rücken des Rotmilans „Donzi“.....	68
Abb. 33:	Innerer (grün überlagert mit rot) und äußerer (rot) Geofence auf dem Gebiet des Testfelds für den GPS-Sender 180909.....	68
Abb. 34:	Heatmap der mit GPS auf dem Plateau des Testfelds erfassten Positionsdaten (5-min Datensatz) beider besendeter Rotmilane von 2019 - 2021.....	71
Abb. 35:	Aktionsräume im Brutgebiet pro besendetem Rotmilan.....	72
Abb. 36:	Relative Häufigkeitsverteilung der Flughöhen.....	74
Abb. 37:	Relative Häufigkeitsverteilung der Fluggeschwindigkeiten 2019.....	74
Abb. 38:	Relative Häufigkeitsverteilung der Fluggeschwindigkeiten 2020.....	75
Abb. 39:	Relative Häufigkeitsverteilung der Fluggeschwindigkeiten 2021.....	75
Abb. 40:	Ergebnisse der statistischen Analyse zur Fluggeschwindigkeit.....	76
Abb. 41:	Relative Häufigkeitsverteilung der minimale Annäherungsdistanzen 2019 – 2021.....	77
Abb. 42:	Relative Häufigkeitsverteilung der minimalen Annäherungsdistanzen 2019 – 2021.....	77
Abb. 43:	Verlauf der Flugaktivität und der Anzahl Lokalisationen im Brutgebiet.....	78
Abb. 44:	Einfluss von Stunde (links) und Monat (rechts) auf die Flugaktivität von Rotmilanen.....	79
Abb. 45:	Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Flugaktivität von Rotmilanen.....	80
Abb. 46:	Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Flugaktivität von Rotmilanen.....	80
Abb. 47:	Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Flughöhe von Rotmilanen.....	81
Abb. 48:	Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Flughöhe von Rotmilanen.....	82
Abb. 49:	Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich der Forschungs-WEA fliegen.....	82
Abb. 50:	Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich der Forschungs-WEA fliegen.....	82
Abb. 51:	Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich einer WEA Modell Vestas V112 fliegen (80 – 200 m ü.B.).....	83

Abb. 52:	Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich einer WEA Modell Vestas V112 fliegen (80 – 200 m ü.B.).....	83
Abb. 53:	Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen über alle Höhen.	84
Abb. 54:	Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen über alle Höhen.	84
Abb. 55:	Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen im Höhenbereich der Forschungs-WEA.	85
Abb. 56:	Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen im Höhenbereich der Forschungs-WEA.	85
Abb. 57:	Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen im Höhenbereich einer WEA Model Vestas V112.	85
Abb. 58:	Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen im Höhenbereich einer WEA Model Vestas V112.	86
Abb. 59:	Detektionssystem Bioseco im Testfeld.....	89
Abb. 60:	System IdentiFlight in der Nähe des Naturfreundhauses Immenreute.....	89
Abb. 61:	Überblick Gebiet des Testfelds	90
Abb. 62:	An einem Ausleger montierte Mikrofone der zwei BATmode S+-Systeme.	94
Abb. 63:	Wasserschaden am Mikrophon (rechts) und Steckverbindung (links) E_95	95
Abb. 64:	Lage und Bezeichnung der Waldboxen zur Erfassung der Fledermausaktivität in der Umgebung um das Testfeld.....	97
Abb. 65:	Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der Zwergfledermaus pro Messnacht in den verschiedenen Messhöhen im Winter 2018/2019.	102
Abb. 66:	Übersicht der Gesamtaktivität 2018/2019 an Messmast Nordwest in allen Höhen.	103
Abb. 67:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von Temperatur und Windgeschwindigkeit im Winter 2018/2019.	103
Abb. 68:	Anzahl der Aufnahmen an den verschiedenen Mikrofonen an Messmast Nordwest aufgetrennt nach Arten im Jahr 2019.	104
Abb. 69:	Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen im Jahr 2019.	106
Abb. 70:	Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen im Jahr 2019.....	107
Abb. 71:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 5 m Höhe im Jahr 2019.....	107
Abb. 72:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 33 m Höhe im Jahr 2019.....	108
Abb. 73:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 65 m Höhe im Jahr 2019.....	108

Abb. 74:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 95 m Höhe im Jahr 2019.....	109
Abb. 75:	Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2019.....	110
Abb. 76:	Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019.	111
Abb. 77:	Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2019.	111
Abb. 78:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019.	112
Abb. 79:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019.	113
Abb. 80:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Monaten an Messmast Nordwest in 95 m Höhe im Jahr 2019.....	113
Abb. 81:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019.	114
Abb. 82:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019.	115
Abb. 83:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019.	115
Abb. 84:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit vom Niederschlag an Messmast Nordwest im Jahr 2019.	116
Abb. 85:	Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.	120
Abb. 86:	Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.	120
Abb. 87:	Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.	121
Abb. 88:	Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.....	122
Abb. 89:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 5 m Höhe im Jahr 2020.....	122
Abb. 90:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 33 m Höhe im Jahr 2020.....	123
Abb. 91:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 65 m Höhe im Jahr 2020.....	123
Abb. 92:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 95 m Höhe im Jahr 2020.....	124

Abb. 93:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordost in 5 m Höhe im Jahr 2020.....	124
Abb. 94:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordost in 33 m Höhe im Jahr 2020.....	125
Abb. 95:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordost in 65 m Höhe im Jahr 2020.....	125
Abb. 96:	Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordost in 95 m Höhe im Jahr 2020.....	126
Abb. 97:	Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht in den verschiedenen Messhöhen aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) für das Jahr 2020 an Messmast Nordwest.....	127
Abb. 98:	Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht in den verschiedenen Messhöhen aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) für das Jahr 2020 an Messmast Nordost.....	127
Abb. 99:	Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.....	129
Abb. 100:	Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.....	129
Abb. 101:	Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2020.....	130
Abb. 102:	Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2020.....	130
Abb. 103:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.....	131
Abb. 104:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.....	132
Abb. 105:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.....	132
Abb. 106:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.....	133
Abb. 107:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.....	134
Abb. 108:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.....	134
Abb. 109:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.....	135
Abb. 110:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.....	136
Abb. 111:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.....	136
Abb. 112:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.....	137

Abb. 113:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von atmosphärischer Stabilität (dargestellt als Turbulente kinetische Energie TKE) und Windgeschwindigkeit an Messmast Nordost im Sommer 2020.....	138
Abb. 114:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit vom Niederschlag an Messmast Nordwest im Jahr 2020.	139
Abb. 115:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit vom Niederschlag an Messmast Nordost im Jahr 2020.	139
Abb. 116:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Jahreszeit.	141
Abb. 117:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Nachtzeit.	141
Abb. 118:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Temperatur.	142
Abb. 119:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.....	142
Abb. 120:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Regenwahrscheinlichkeit.....	143
Abb. 121:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Jahreszeit.	143
Abb. 122:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Nachtzeit.....	144
Abb. 123:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Temperatur.	144
Abb. 124:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.....	145
Abb. 125:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Regenwahrscheinlichkeit.....	145
Abb. 126:	Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Standorten im Jahr 2019.....	147
Abb. 127:	Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019.	148
Abb. 128:	Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht an den verschiedenen Standorten aufgeteilt nach den Arten(-gruppen) im Jahr 2019.	148
Abb. 129:	Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019.....	149

Abb. 130:	Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen an den verschiedenen Messstandorten aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2019.....	149
Abb. 131:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019.....	150
Abb. 132:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019.....	151
Abb. 133:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019.....	151
Abb. 134:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit vom Niederschlag an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019.....	152
Abb. 135:	Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Standorten im Jahr 2020.....	153
Abb. 136:	Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020.....	155
Abb. 137:	Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht an den verschiedenen Standorten aufgeteilt nach den Arten(-gruppen) im Jahr 2020.....	155
Abb. 138:	Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020.....	156
Abb. 139:	Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen an den verschiedenen Messstandorten aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2020.....	157
Abb. 140:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020.....	158
Abb. 141:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020.....	158
Abb. 142:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020.....	159
Abb. 143:	Fledermausaktivität in Abhängigkeit vom Niederschlag an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020.....	160
Abb. 144:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus in der Umgebung des Testfelds.....	161
Abb. 145:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Raufhautfledermaus in der Umgebung des Testfelds.....	162
Abb. 146:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in der Umgebung des Testfelds.....	163
Abb. 147:	Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Myotis/Plecotus-Gruppe in der Umgebung des Testfelds.....	164
Abb. 148:	LWIR Aufnahme bei klarem Himmel während Abenddämmerung.....	179
Abb. 149:	Konzept Stereo-Wärmebilderfassung.....	180
Abb. 150:	Stereotriangulation bei planar angeordneten Kameras.....	180
Abb. 151:	Konzept zur Detektion der 3D-Flugbahnen.....	182

Abb. 152:	Auf Basis der Auswertung der Bildnummern (oben) und der internen Zeitstempel (unten) werden Listen einander entsprechender Bilder beider Kameras erzeugt.....	183
Abb. 153:	Für die Triangulation ist eine genaue Bestimmung der Lage der beiden Kameras zueinander erforderlich (Intrinsische Parameter).....	184
Abb. 154:	Die Epipolargeometrie bildet die Grundlage für die Kalibrierung mit Hilfe von Punktkorrespondenzen.....	184
Abb. 155:	Definition Essential Matrix	185
Abb. 156:	Die Fundamentalmatrix ordnet die Punkte aus Bild A den Punkten aus Bild B zu.....	185
Abb. 157:	Wärmepads zur Kalibrierung der Wärmebildkameras.....	186
Abb. 158:	Evaluierung eines Algorithmus zur Flugbahndetektion	187
Abb. 159:	Kalibrierung mit Hilfe einiger hundert Aufnahmen der beiden Wärmepads (rot).	187
Abb. 160:	GPS Flugbahn der Drohne (links) und berechnete 3D Punkte aus den Daten der beiden Wärmebild-Kameras (rechts).....	188
Abb. 161:	Auszug eines Kalibrierungsfluges der Drohne an der UMIT in Hall in Tirol	189
Abb. 162:	Obere Wärmebildkamera montiert am NW-Mast in einer Höhe von 20 m.....	189
Abb. 163:	Wärmebildaufnahme im Windtestfeld; Blick vom NW-Mast Richtung NE-Mast	190
Abb. 164:	Kalibrierungsflug im Windtestfeld zwischen den Messmasten bis zu einer Höhe von 100 m.....	190
Abb. 165:	Schlagopfersystem bei Montage in der Gondel mit skizzierter Blickrichtung der Kameras.....	191
Abb. 166:	Schema des Systems mit Hardware- und Softwarekomponenten.	192
Abb. 167:	Mit einem Spektrometer aufgenommene normalisierte Kurven, welche die Reflektivität verschiedener Oberflächen charakterisieren.	193
Abb. 168:	Dieselbe Szene mit verschiedenen Filtern aufgenommen.	194
Abb. 169:	Messpositionen für spektrale Reflexion an einem Rotmilan der Tiroler Landesmuseen.....	194
Abb. 170:	Spektrale Reflexion der Vegetation sowie der drei Messpunkte des Rotmilans	195
Abb. 171:	Anordnung der Schlagopferkameras.	196
Abb. 172:	Transmissionskurve des Objektives.	197
Abb. 173:	Transmissionskurven der verwendeten Filter.	197
Abb. 174:	Nachdem die meisten Kamera-Sensoren für Anwendungen im visuellen Spektrum ausgelegt sind, ist es notwendig, dessen Sensitivität bei längeren Wellenlängen zu betrachten.	197
Abb. 175:	Montage des Schlagopfersystems (rot) in der Gondel der WEA mit Blickrichtung (blau) nach unten.	198
Abb. 176:	Testaufnahme von einem Raben, der in der Wiese sitzt.....	198
Abb. 177:	Testaufnahme zeigt denselben Raben aus Abb. 176, der mit dem NIR-Filter aufgenommen und als Grauwert-Bild dargestellt wurde.....	199

Abb. 178:	Differenzbildung zeigt, dass der Rabe auf Basis von NIR-Bildern einfach detektierbar wird.	199
Abb. 179:	Originale NIR Testaufnahme der Zwergfledermaus in 70 Metern Abstand.	200
Abb. 180:	Mit Mittelwert-Differenzbild-Verfahren erzeugte Bilder der toten Zwergfledermaus im Abstand von etwa 70 Metern einige Sekunden nachdem sie dort in der Wiese platziert wurde.	200
Abb. 181:	Testaufnahme bei Tageslicht.	201
Abb. 182:	Abkühlkurven der Phantome mit Temperaturverlauf (links). Wärmebildaufnahme der Phantome (rechts).	201
Abb. 183:	Testaufnahmen mit einer Drohne.	202
Abb. 184:	Alle Aufnahmen zeigen denselben Ausschnitt der VIS Kamera.	203
Abb. 185:	Ausgabe einer entwickelten Software für die manuelle Überprüfung von Schlagopferdetektionen.	203
Abb. 186:	Analysierte Bildfolge aus acht Bildern.	204
Abb. 187:	Körperwarmes Testobjekt mit etwa 5 cm Größe in Gras.	205
Abb. 188:	Strukturelle Differenz der Detektion aus Abb. 187.	206
Abb. 189:	Installation des Schlagopfersystems am NW Mast.	206
Abb. 190:	Phantome für die Detektion bei Tage und nachts mit den dazugehörigen Positionen aus Abb. 191.	207
Abb. 191:	Bildbereich des Systems auf 75 m Höhe mit den eingezeichneten Positionen.	207
Abb. 192:	Abkühlkurve des Fledermausphantoms über einen Zeitraum von 5 min.	208
Abb. 193:	Visuelle Sensitivität von Menschen und Insekten.	213
Abb. 194:	Konstruktion der Insektenfotofalle.	214
Abb. 195:	Installierte Insektenfotofalle im Umfeld der Messmasten.	215
Abb. 196:	Innenansicht der Hauptbox der Insektenfotofalle mit ihren Komponenten.	216
Abb. 197:	Gehäusedeckel der Hauptbox der Insektenfotofalle mit integrierter Leuchtplatte sowie ausgesparten Sichtfenster für die IR-Kamera im Inneren der Box.	216
Abb. 198:	Innenansicht der Mini-Box am Trägerarm der Insektenfotofalle mit IR-Strahler und IR-Kamera.	217
Abb. 199:	Schematische Funktionsweise der Insektenfotofalle.	218
Abb. 200:	Übersicht über die Standorte der Insektenfotofallen.	219
Abb. 201:	Installierte Insektenfotofallen am Dreibein – unterhalb des Fledermausdetektors – (linkes Bild) und am Messmasten (rechtes Bild).	220
Abb. 202:	Sichtung der Bildpaare mithilfe der App „EcoFindBug“.	222
Abb. 203:	Laufzeiten der Insektenfotofallen in Tagen während des Erfassungszeitraums (Mitte Mai 2020 bis Anfang November 2020).	225
Abb. 204:	Aufnahmen der Umgebungskamera installierter Insektenfotofallen.	226
Abb. 205:	Aufnahme einer Eule durch die Umgebungskamera an der Insektenfotofalle SN 005.	227

Abb. 206:	Hochauflösende Aufnahmen der Anlockfläche verschiedener Insektenfotofallen.....	228
Abb. 207:	Aufnahmen von Insekten auf der Leuchtplatte der Insektenfotofallen. Es sind Vertreter aus unterschiedlichen Ordnungen zu sehen.	230
Abb. 208:	Überblick über die gemessenen Körperlängen der auf der Leuchtplatte erfassten Insekten, farblich codiert nach ihrer Ordnung.....	231
Abb. 209:	Absolute (A) und relative Anzahl (B) sowie die gemessenen Körperlängen (C) erfasster Insekten an den Umfeld-Insektenfotofallen.	233
Abb. 210:	Absolute (A) und relative Anzahl (B) sowie die gemessenen Körperlängen (C) erfasster Insekten an den Messmast-Insektenfotofallen in den unterschiedlichen Erfassungshöhen.....	235
Abb. 211:	Überblick über die Körperlänge aller gemessenen Insekten über die verschiedenen Erfassungshöhen.	236
Abb. 212:	Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Umfeld-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Temperatur.	237
Abb. 213:	Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Umfeld-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit.....	237
Abb. 214:	Absolute Anzahl an Bildern mit Insektennachweisen (orangene Punkte) an den Umfeld-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur vorherrschenden Temperatur und Windgeschwindigkeit.....	238
Abb. 215:	Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Umfeld-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Windrichtung.	239
Abb. 216:	Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Umfeld-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Regenwahrscheinlichkeit.....	239
Abb. 217:	Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Messmast-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Temperatur.....	240
Abb. 218:	Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Messmast-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit.	240
Abb. 219:	Absolute Anzahl an Bildern mit Insektennachweisen (orangene Punkte) an den Messmast-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur vorherrschenden Temperatur und Windgeschwindigkeit.....	241
Abb. 220:	Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Messmast-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Windrichtung.....	242
Abb. 221:	Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Messmast-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Regenwahrscheinlichkeit.	242
Abb. 222:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 001 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	244

Abb. 223:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 002 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	244
Abb. 224:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 003 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	245
Abb. 225:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 004 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	245
Abb. 226:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 005 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	246
Abb. 227:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 006 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	246
Abb. 228:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 007 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	247
Abb. 229:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 008 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	247
Abb. 230:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 009 (Messmast NW in 10 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	248
Abb. 231:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 010 (Messmast in 35 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	248
Abb. 232:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 011 (Messmast in 65 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	249
Abb. 233:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 012 (Messmast in 95 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	249
Abb. 234:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 013 (Messmast in 10 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	250
Abb. 235:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 014 (Messmast in 35 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	250
Abb. 236:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 015 (Messmast in 65 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	251
Abb. 237:	Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 016 (Messmast in 95 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020.....	251
Abb. 238:	Insektennachweise in Abhängigkeit zum akustischen Nachweis von Fledermäusen über die Nacht und das Jahr 2020.....	252

Abb. 239:	Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Temperatur.	253
Abb. 240:	Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit.	254
Abb. 241:	Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Erfassungshöhe.	255
Abb. 242:	Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Temperatur.....	256
Abb. 243:	Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit.....	256
Abb. 244:	Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Regenwahrscheinlichkeit.....	257
Abb. 245:	Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Erfassungshöhe.	257
Abb. 246:	Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Nachtzeit (hier als Perzentil angegeben).	258
Abb. 247:	Geglättete relative Häufigkeit der Fledermausaktivität über die Nacht in Abhängigkeit zur Erfassungshöhe.	259
Abb. 248:	Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt.....	259

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Mittlere Flugaktivität zur Hauptzugzeit im Herbst und Frühling pro Höhenintervall, Tageszeit und Jahr sowie gemittelt über beide Hauptzugzeiten und Jahre.	40
Tab. 2:	Zusammensetzung des Vogelzugs nach Flugtypen (prozentuale Anteile) zu den Hauptzugzeiten im Frühling und Herbst im Höhenbereich von 50 – 1.100 m ü.B.	40
Tab. 3:	Zusammensetzung des Vogelzugs nach Flugtypen (prozentuale Anteile) zu den Hauptzugzeiten im Frühling und Herbst im Höhenbereich von 50 – 120 m ü.B.	40
Tab. 4:	Einstellungen Datenaufnahmefrequenz in Abhängigkeit des Batterieladestatus des Senders 180909.....	68
Tab. 5:	Zeiträume Datengrundlagen im Brutgebiet pro besedertem Rotmilan.	69
Tab. 6:	Größe der Fläche der Aktionsräume (km ²) mit der statistischen Unsicherheit pro Periode, Jahr und Individuum.....	71
Tab. 7:	Aktiv- und Ausfallzeiten der Fledermaus-Erfassungseinheiten während der Sommererfassung 2019 am Messmast Nordwest.....	95
Tab. 8:	Aktiv- und Ausfallzeiten der Fledermaus-Erfassungseinheiten während der Sommererfassung 2020 am Messmast Nordwest und Messmast Nordost.....	96
Tab. 9:	Aktiv- und Ausfallzeiten der Fledermaus-Erfassungseinheiten in der Umgebung um das Testfeld von 2019.....	97
Tab. 10:	Aktiv- und Ausfallzeiten der Fledermaus-Erfassungseinheiten in der Umgebung um das Testfeld von 2020.....	98
Tab. 11:	Bestimmungskategorien für die Zuordnung der Aufnahmen der akustischen Erfassungen zu bestimmten Arten bzw. Artengruppen.....	99
Tab. 12:	Zuordnung der Messpunkte für die Erfassung der Witterungsparameter zu den akustischen Fledermauserfassungen.....	100
Tab. 13:	Überblick über die verwendeten Modellformeln.....	101
Tab. 14:	Zusammenfassende Darstellung der Aufnahmezeiten und Aufnahmeanzahl an den verschiedenen Mikrofonen an Messmast Nordwest im Winter 2018/2019.....	102
Tab. 15:	Zusammenfassende Darstellung der Aufnahmezeiten und Aufnahmeanzahl an den verschiedenen Mikrofonen an Messmast Nordwest im Jahr 2019.....	104
Tab. 16:	Übersicht über die Anzahl akustischer Messungen mit Fledermausrufen am Messmast Nordwest im Jahr 2019.	105
Tab. 17:	Zusammenfassende Darstellung der Aufnahmezeiten und Aufnahmeanzahl an den verschiedenen Mikrofonen an Messmast Nordwest und Messmast Nordost im Jahr 2020.	117
Tab. 18:	Übersicht über die Anzahl akustischer Aufnahmen mit Fledermausrufen am Messmast Nordwest im Jahr 2020.	118
Tab. 19:	Übersicht über das Ergebnis der akustischen Erfassungen am Messmast Nordost im Jahr 2020.....	119

Tab. 20:	Überblick über die Anzahl akustischer Aufnahmen mit Fledermausrufen an den 8 Messstationen in der Umgebung um das Testfeld im Jahr 2019.....	146
Tab. 21:	Überblick über die Anzahl akustischer Aufnahmen mit Fledermausrufen an den 8 Messstationen in der Umgebung um das Testfeld im Jahr 2020.....	153
Tab. 22:	Mögliche Wärmebildkameras mit ihren wichtigsten Eigenschaften	181
Tab. 23:	Wärmebildkameras mit den verschiedenen Brennweiten und den äquivalenten Pixelflächen in einem Abstand von 150 m	181
Tab. 24:	Empfindlichkeit des LWIR-Systems bei nächtlichen Abwurftests	208
Tab. 25:	Falsch-positive Detektionen des LWIR-Systems	208
Tab. 26:	Ermittelte Empfindlichkeit des VIS-Systems auf Basis der Abwurftests	209
Tab. 27:	VIS-System und seine falsch-positiven Detektionen.....	209
Tab. 28:	Überblick über Installation, Abbau und Standort aller Insektenfotofallen nach ihren Seriennummern (SN).....	220
Tab. 29:	Überblick über die Gerätelaufzeit alle installierten Insektenfotofallen nach ihren Seriennummern (SN).....	225
Tab. 30:	Übersicht der auf der Leuchtplatte erfassten Insekten.....	229

1 Zusammenfassung

Im baden-württembergischen Landkreis Göppingen entsteht auf der Gemarkung Geislingen-Stöten mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie sowie des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg das Windenergie-testfeld WINSENT. Es wird aus zwei 100 Meter hohen Forschungs-Windenergieanlagen sowie vier Windmessmasten gleicher Höhe bestehen. Messmasten und Windenergieanlagen (WEA) sind mit vielfältigen Erfassungsgeräten ausgestattet. Hier widmen sich Windenergieforscherinnen und -forscher verschiedenen Fragestellungen zur technischen Optimierung der Windenergienutzung im bergig-komplexen Gelände. Das Testfeld bietet auch die Möglichkeit, Naturschutzbegleitforschung durchzuführen. Deshalb wurden im Vorhaben „NatForWINSSENT-Naturschutzforschung am Windenergie-testfeld“ Forschungskonzepte für Vögel und Fledermäuse erstellt. Im Fokus stehen die Entwicklung und die Bewertung der Wirksamkeit von Vermeidungsmaßnahmen.

Das Vorhaben „NatForWINSSENT-II – Umsetzung der Naturschutzforschung am Windenergie-testfeld an Land“, ist in zwei Phasen eingeteilt. Phase 1 ist Gegenstand dieses Berichts und bezieht sich auf die Zeit vor Errichtung der Windenergieanlagen. Sie dient der Aufnahme von Basisdaten, die Grundlagen für spätere Vergleiche bieten sollen. In dieser ersten Phase wurde schwerpunktmäßig untersucht, wie sich Vorkommen und Verhalten von Vögeln und Fledermäusen sowie die Insektenabundanz am Standort des Testfelds vor Errichtung der Windenergieanlagen darstellen. Die ab dem Jahr 2022 vorgesehene Phase 2 dient dann der experimentellen Untersuchung von Forschungsfragen bei in Betrieb befindlichen Windenergieanlagen und zum Vorher-Nachher-Vergleich.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse von Phase 1, getrennt nach den Forschungsthemen bzw. den entsprechenden Arbeitspaketen des Vorhabens Vögel, Fledermäuse, Wärmebild und Insektenabundanz, zusammengefasst und ein Ausblick gegeben.

1.1 Vögel

Die zentralen Ziele im Bereich Vogelforschung sind die Konzipierung und der Test von Vermeidungsmaßnahmen zum Schutz von Vögeln vor Kollisionen mit Windenergieanlagen. Im Rahmen von Phase 1 (vor dem Bau) wurden der Ist-Zustand der lokalen Flugbewegungen (Raumnutzung) und Daten zu unterschiedlichen Flugparametern erhoben sowie Fragestellungen zum Flugverhalten von Vögeln in Abhängigkeit diverser meteorologischer Parameter untersucht. Zudem wurden automatische Vogeldetektionssysteme getestet.

Die generelle Flugaktivität im Gebiet (Vögel und Insekten) wurde kontinuierlich mittels Radar erfasst. Weiter wurden möglichst hochaufgelöste, dreidimensionale Daten zu individuellen Flugwegen von Rotmilanen mittels Laser-Range-Finder und Telemetrie-Sendern gesammelt. Diese Datengrundlagen wurden schließlich mit den meteorologischen Daten verschnitten, die von den Sensoren auf dem Testfeld erfasst worden sind.

Aus den Radardaten wurden für verschiedene Höhenbereiche die Anzahl Vögel und Insekten pro km und h bestimmt. Von besonderem Interesse sind die Höhenbereiche der auf dem Testfeld geplanten Windenergieanlagen (50 – 120 m) und stellvertretend für eine moderne WEA der Höhenbereich 80 – 200 m.

Die GPS-Daten stammen von 2 männlichen Rotmilanen, die in der Umgebung des Testfelds gefangen und besendert worden sind. Aus den GPS-Daten wurden in einem ersten Schritt die plausiblen Ortungen herausgefiltert und nach der Verschneidung mit den Meteo-Daten die Höhe über Boden barometrisch korrigiert. Danach wurden diejenigen Ortungen bestimmt, bei denen sich die Rotmilane im Flug befunden haben. Der Datensatz umfasst rund 370.000

Ortungen, wovon rund 200'000 als im Flug gewertet worden sind. Daraus resultieren im Umkreis von 1,5 km um das Testfeld auf dem Plateau der Schwäbischen Alb rund 2.800 Flugwege.

Die LRF-Daten stammen von diversen Individuen und wurden jeweils an ausgewählten Tagen zwischen März bis Oktober 2019 – 2021 erfasst. Dabei werden die Vögel manuell mit dem LRF verfolgt und per Knopfdruck so oft wie möglich die Position des Vogels verortet. Die Plausibilität der einzelnen Ortungen wurde jeweils überprüft und schließlich zu Flugwegen zusammengesetzt. Die Fluggeschwindigkeit wurde basierend auf Entfernung und Zeit zwischen den einzelnen Ortungen berechnet. Der LRF-Datensatz umfasst von Rotmilanen rund 11'000 einzelne Ortungen, die zu 517 Flugwegen zusammengesetzt und mit den Meteo-Daten verschnitten werden konnten.

Die LRF- und GPS-Flugwege wurden auch dazu genutzt, die Detektionseigenschaften von zwei automatischen Vogel detektionssystemen zu testen. Ein Test erfolgte im Herbst 2019, ein zweiter Test im Frühling 2020.

Die Auswertung der Radardaten zeigt, dass das Testfeld in einem Gebiet mit einer durchschnittlichen Vogelzugintensität liegt. Der saisonale Verlauf, die Flugrichtungen, die Zusammensetzung und Höhenverteilung des Vogelzugs entsprechen hinsichtlich Topografie und geografischer Lage den Erwartungen. Im Höhenbereich des Rotors der geplanten Forschungs-WEA ziehen zur Hauptzugzeit rund 22% der Vögel und im Höhenbereich des Rotors einer WEA Modell Vestas V112 rund 30% der Vögel. Bei ungünstigen Wetterbedingungen (Gegenwind und/oder Regen) sind insgesamt weniger Vögel unterwegs, diese ziehen dann aber tendenziell tiefer und damit eher im Höhenbereich der Rotoren. In Situationen mit Nebel bis zum Boden (horizontale und vertikale Sichtweite weniger als 200 m) sind insgesamt weniger Vögel unterwegs und der Vogelzug verschiebt sich in größere Höhen.

Zur räumlichen und zeitlichen Verteilung der Insektenaktivität im Zusammenhang mit meteorologischen Parametern ist bisher wenig bekannt. Die vorliegende Studie liefert dazu erste Erkenntnisse. Im Frühling/Sommer waren, erfasst über das Radar, tagsüber mehr Insekten unterwegs als nachts während im Herbst am Tag und in der Nacht gleich viele Insekten unterwegs waren. Gerichtete Flugbewegungen, die auf Zugverhalten schließen lassen, waren vor allem im Herbst ersichtlich. Im freien Luftraum oberhalb des Radargerätes ist zwischen 50 m bis 100 m über Boden mit zunehmender Höhe keine Abnahme der Insektenaktivität ersichtlich. Mit Ausnahme der Temperatur waren die Effekte der meteorologischen Parameter auf die Insektenaktivität eher schwach. Die Richtungen der Effekte entsprachen aber den Erwartungen. Je besser das Wetter ist (warm, trocken, weite Sicht), umso mehr Insekten sind aktiv und je schlechter das Wetter ist (kalt, nass, eingeschränkte Sicht) umso weniger Insekten sind aktiv. Die Insektenaktivität stieg mit Zunahme der Temperatur exponentiell an.

Zur Ortung der Rotmilane im Luftraum wurden zwei unterschiedliche Erfassungsmethoden angewandt (GPS und LRF). Es ist aus den Auswertungen ersichtlich, dass die Erfassungsmethode das Niveau der Ergebnisse beeinflusst. Daher sind für Modellierungen und die Interpretation der Daten die Berücksichtigung der Erfassungsmethode wichtig. Die meisten Ortungen von Rotmilanen im Flug lagen ober- oder unterhalb des Höhenbereichs der Forschungs-WEA oder einer WEA Modell Vestas V112. 65% fanden unterhalb von 50 m ü.B. statt. Im Verlauf eines zusammenhängenden Flugwegs kreuzten die zwei besenderten Rotmilane bei 69% der Flugwege mindestens einmal den Höhenbereich der geplanten Forschungs-WEA. Der Höhenbereich einer WEA Modell Vestas V112 wäre bei 53% der Flugwege mindestens einmal gekreuzt worden. Die mittlere Fluggeschwindigkeit betrug 27,2 km/h ($\pm 12,6$ km/h) und nahm mit der Flughöhe zu. 75% der Werte lagen unterhalb von

34 km/h und 90% der Werte unterhalb von 43 km/h. Der Einfluss der meteorologischen Parameter auf die Flugaktivität, Flughöhe und Fluggeschwindigkeit war insgesamt eher gering. Deutlich ist, dass die Flugaktivität der Rotmilane mit zunehmend schlechter Witterung (Regen, Nebel) sank und dass Rotmilane bei starkem Wind und nasser Witterung tiefer fliegen als bei Schwachwind und trockener Witterung.

Die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane auf Rotorhöhe der Forschungs-WEA oder einer WEA Modell Vestas V112 fliegen, war am Standort unter allen Meteo-Konstellationen geringer als 50%. Würde also bei einer bestimmten Meteo-Konstellation abgeschaltet werden, so wäre man unter diesen Bedingungen lediglich mit einer Wahrscheinlichkeit von maximal 50% sicher, dass wirklich Rotmilane im kritischen Höhenbereich unterwegs sind. Wird umgekehrt bei einer bestimmten Meteo-Konstellation nicht abgeschaltet, so würde das Risiko 50% betragen, dass doch Rotmilane im kritischen Höhenbereich fliegen und einem Kollisionsrisiko ausgesetzt sind. Eine Abschaltung von WEA rein aufgrund von meteorologischen Bedingungen erscheint daher auf Grundlage der bisherigen Ergebnisse nicht zielführend.

1.2 Fledermäuse

Ein Ziel der Naturschutzbegleitforschung am Windenergiefeld ist es, das Vorkommen und Verhalten von Fledermäusen an WEA besser zu verstehen. Für eine solide Datenbasis muss die Fledermausaktivität bereits vor Errichtung der WEA umfassend, dauerhaft und in verschiedenen Höhen erfasst werden. Dies erfolgte in den Jahren 2019 bis 2021 in jeweils vier Höhen an einem bzw. zwei Messmasten sowie zusätzlich an acht Standorten im unmittelbaren Umfeld des Testfelds. Die vorliegenden Auswertungen beziehen sich bislang auf die Jahre 2019 und 2020.

In den Jahren 2019 und 2020 wurde ein breites Artenspektrum aufgezeichnet, wobei es aber deutliche Unterschiede bezüglich des Vorkommens in verschiedenen Messhöhen gab. Damit bestätigt die Voruntersuchung am Windenergiefeld die Ergebnisse anderer Studien zur Höhenverteilung von verschiedenen Fledermausarten. Während in Bodennähe das gesamte Artenspektrum der *Pipistrellus*-Arten, Nyctaloiden, der *Myotis*- und *Plecotus*-Gruppe und sogar der seltenen Mopsfledermaus aufgezeichnet wurde, wurden mit zunehmender Höhe fast ausschließlich die Arten detektiert, die regelmäßig auch als Schlagopfer unter WEA gefunden werden: die Zwergfledermaus, die Rauhauffledermaus und die Nyctaloid-Gruppe mit den Abendseglern. Über beide Jahre betrachtet wurde die höchste Aktivität jeweils in den Sommermonaten Juni bis September aufgezeichnet, wobei sich der Verlauf zwischen den verschiedenen Messhöhen, Jahren und Messmasten etwas unterschied. Die nächtliche Aktivität stieg zu Beginn der Nacht relativ schnell stark an, erreichte bereits im 2. Nachtzehntel ihren Höhepunkt und fiel danach langsam ab. Hierbei gab es artspezifische Unterschiede, die sich zwischen den Messhöhen, Jahren und Messmasten stark ähnelten.

Sowohl bei den Erfassungen an den Messmasten als auch im Umfeld zeigten sich in beiden Messjahren deutliche Zusammenhänge zwischen der Fledermausaktivität und der Windgeschwindigkeit, der Windrichtung, der Temperatur, dem Niederschlag und der atmosphärischen Stabilität. So nahm die Fledermausaktivität mit steigender Windgeschwindigkeit und mit steigendem Niederschlag ab sowie mit steigenden Temperaturen zu. Diese Abhängigkeiten wurden bereits in vielen Studien an Windenergieanlagen bestätigt und sind Voraussetzung dafür, dass die witterungsabhängigen Abschaltzeiten als Vermeidungsmaßnahme funktionieren. Als Ausnahme erwies sich auch in dieser Studie in beiden Messjahren die Rauhauffledermaus. Sie flog noch bei höheren Windgeschwindigkeiten. Eine Analyse der einzelnen Monate im Jahr 2019 zeigt, dass dies nicht nur an dem verstärkten Auftreten der

Art im Herbst lag, sondern sich das Verhalten tatsächlich auch in den einzelnen Monaten von den anderen Arten unterschied.

Die Windrichtung ist ein Faktor, dessen Einfluss auf die Fledermausaktivität bisher weder bei Höhenmessungen noch an Windenergieanlagen untersucht wurde. Die Analysen zeigen, dass sich die Aktivität der Fledermäuse je nach Standort und Messhöhe bei verschiedenen Windrichtungen unterscheiden. In Höhen von 5 m und 33 m waren die Fledermäuse insbesondere an Messmast Nordwest, der näher am Waldrand steht, überproportional häufig bei Bedingungen mit Nordwestwind aktiv. An Messmast Nordost entsprach die Aktivität in Höhen von 5 m und 33 m der Gesamtheit der gemessenen Windrichtungen. Dies deutet darauf hin, dass sich die Fledermäuse bei Nordwestwind wahrscheinlich vermehrt in Waldrandnähe aufhalten, um dort im Windschatten des Waldrandes geschützt jagen zu können. In den größeren Höhen ab 65 m sind die Tiere an beiden Standorten bei dem selteneren Südostwind angetroffen worden. In diesen Höhen fällt am Standort die schützende Funktion des Waldes aufgrund der niedrigeren Baumhöhen weg. Die Rauhaufledermaus dagegen wurde sowohl 2019 als auch 2020 überdurchschnittlich häufig bei Witterungsbedingungen mit Südostwind angetroffen, und dies über alle Höhen und Messmasten hinweg. Dies könnte damit zusammenhängen, dass vor allem im Zug befindliche Tiere aufgenommen wurden, die möglicherweise ähnlich wie auch Zugvögel bei Gegenwind eher tiefer fliegen und dann verstärkt in den Gefährdungsbereich von WEA gelangen.

Bis heute einmalig ist der ermittelte Zusammenhang zwischen der Fledermausaktivität und der atmosphärischen Stabilität. Die ersten hier vorgenommenen Auswertungen deuten darauf hin, dass Fledermäuse insbesondere in Höhen von 65 m und 95 m Witterungsbedingungen mit hoher turbulenter kinetischer Energie auch bei niedrigen Windgeschwindigkeiten meiden.

1.3 Wärmebild

Für die Detektion von Schlagopfern wurde ein Konzept erstellt, das eine kostengünstige automatisierte Dauerüberwachung ermöglichen soll. Das entworfene System hat einen Hardware- und einen Softwareteil. Die Hardware besteht aus einer Wärmebildkamera für die automatische Überwachung bei Nacht, einer Spektalkamera für die Überwachung bei Tageslicht, einer hochauflösenden RGB-Kamera für die manuelle Nachkontrolle der potentiellen Schlagopfer und einer Recheneinheit für die Auswertung. Das gesamte System wird im hinteren Teil der Gondel mit Blickrichtung nach unten montiert, sodass ein Bereich unterhalb der Anlage in der Größe von etwa 70 m x 56 m (Wärmebildkamera) bzw. 80 m x 53 m (Spektalkamera) überwacht wird. Die Software umfasst Algorithmen zur Stabilisierung der Bilder gegen Gondelbewegungen, Auswertung der Bilder im zeitlichen Verlauf und Speicherung der detektierten Ereignisse mit Benachrichtigung. Das System wurde im August 2021 an zwei Tagen am Testfeld mit Hilfe von Phantom-Abwürfen getestet. Da die WEA noch nicht errichtet sind, wurde das System ersatzweise am nordwestlichen Messmast in einer Höhe von 75 Metern installiert. Dabei wurden ein Bund aus mehreren Deckfedern eines Rotmilans als Vogelphantom und mit Quarzsand und Wasser gefüllte Ballons in der Größe eines Abendseglers als Fledermausphantom verwendet. Das Fledermausphantom wurde vor Abwurf auf etwa 32-36°C erwärmt, um die ungefähre Körpertemperatur einer Fledermaus zu simulieren. Die Phantome wurden dann an mehreren definierten Stellen wiederholt platziert und die manuellen Aufzeichnungen mit den Detektionen verglichen. Dabei ergab sich eine Sensitivität von etwa 84% für die Detektion des Rotmilanphantoms und 75% für die Fledermausphantome. Mit der Tageslichtkamera wurden außerdem etwa 0,20 falschpositive Detektionen pro Stunde registriert, mit der Nachtkamera waren es 2,47. Die Analyse der Daten ergab, dass das meiste davon auf nachtaktive Tiere in der Größe einer Fledermaus zurückgeführt werden

konnte, die längere Zeit stillsitzend in der Wiese verbrachten. Weitere Tests sollen deshalb mit einem größeren Zeitfenster erfolgen, um den Effekt der nachtaktiven Tiere reduzieren zu können. Eine erste Auswertung zeigt, dass damit eine Reduktion der Falschpositiv-Rate auf etwa 0.05 pro Stunde möglich ist.

Für die dreidimensionale Erfassung der Flugbahnen von Fledermäusen, die sich im Rotorbereich aufhalten, wurde weiterhin ein Konzept für ein Stereo-Wärmebildkamarasystem für die Bedingungen am Windtestfeld erstellt. Dieses sieht vor, zwei Wärmebildkamaras an einem Messmast in 130 Meter horizontaler Entfernung zu der Windenergieanlage zu installieren und die Daten über einen Rechner zu sammeln und zu synchronisieren. Die Synchronisierung erfolgt mit einem Mikrocontroller und entsprechender Software. Die Auflösung der Wärmebildkamaras ist, verglichen mit Kameras im visuellen Bereich, gering und beträgt 0,3 Megapixel. Die Kameras müssen deshalb, um eine möglichst große Genauigkeit in der Bestimmung des Abstandes der Tiere zu den Kameras zu erreichen, einerseits in einem möglichst großen Abstand zueinander montiert werden. Andererseits müssen dabei die Translation und insbesondere die Rotation möglichst genau bekannt sein.

In der gewählten Konstellation weisen die Kameras einen vertikalen Abstand von 15 Metern auf. Dadurch wird eine hohe Genauigkeit erreicht, jedoch ist eine exakte Bestimmung der dreidimensionalen Rotation der beiden Gehäuse zueinander in diesem Abstand nicht trivial. Deshalb ist eine Kalibrierung der Kameras notwendig, die mit Hilfe der GPS-Flugbahn einer Drohne erfolgte. Das hat neben der Realisierung von Strukturen in der Größenordnung von etwa 200 Metern den Vorteil, dass sich die später aufgenommenen 3D-Flugbahnen von Fledermäusen in einem lotrechten globalen Koordinatensystem befinden.

Das System konnte im Sommer 2020 am Testfeld erfolgreich getestet werden. Dabei wurden die Kameras am Messmast in 5 m und 20 m Höhe montiert und ungefähr in Richtung des gegenüber liegenden Messmasts ausgerichtet. Dann wurde ein Drohnenflug absolviert und die Kameras wurden mit Hilfe von GPS-Punkten des Fluges kalibriert. Die Kontrolle ergab eine durchschnittliche Abweichung von 1,8 Metern. Dies ist vor dem Hintergrund der Ungenauigkeiten des GPS-Signals und der Auflösung der Kameras ein besserer Wert als erwartet. Offen ist aktuell noch die Frage der genauen Detektionsreichweite von verschiedenen Fledermausarten bei diversen Himmelshintergründen (Wolken / offener Himmel). Hier soll eine Aufnahme von Daten im laufenden Betrieb und deren Verschneidung mit akustischen Aufnahmen Abhilfe schaffen.

1.4 Insektenabundanz

Eine Hypothese für das Auftreten von Fledermäusen an WEA ist, dass Fledermäuse Insekten jagen, die sich dort aufhalten. Studien, bei denen zeitgleich die Insektenabundanz und die Fledermausaktivität erfasst wurden, existieren wenige und der tatsächliche Zusammenhang ist bislang nur wenig untersucht. Ziel des Vorhabens ist es daher, das Wissen zu Auftretensmustern von Insekten auszuweiten und damit ggf. die Vorhersage von Fledermausaktivität an WEA verbessern zu können. Vor diesem Hintergrund sollten folgende Fragen geklärt werden: (1) wo und wann halten sich wie viele Insekten an den WEA bzw. an den Messmasten auf, (2) wie wird die Insektenabundanz von meteorologischen Parametern beeinflusst und (3) wie wirkt sich die Insektenabundanz auf die Fledermausaktivität aus.

Zur Erfassung der Insektenabundanz wurde im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts eine neuartige Methode entwickelt, bei der die Insekten über ein automatisiertes, optisches System – die Insektenfotofalle – fotografisch erfasst werden. Die Insektenfotofalle ist mit einer UV-Licht-Leuchtplatte, einem großen IR-Strahler, sowie zwei IR-Kameraeinheiten

ausgestattet. Einmal stündlich werden über die gesamte Nachtlänge für 5 min mittels Leuchtplatte Insekten angelockt. Anschließend werden die angelockten Tiere mithilfe der IR-Kamera fotografisch erfasst. Zeitgleich werden zudem Bilder in den umgebenden Luftraum erstellt, wobei mittels IR-Strahler der erfasste Luftraum ausgeleuchtet wird. Um die Fledermausaktivität mit der Insektenabundanz in Relation setzen zu können, werden beide Erfassungen in direkter räumlicher Nähe, parallel zueinander durchgeführt. Entsprechend wurden 16 Insektenfotofallen installiert - 8 an den beiden Messmasten und 8 im Umfeld. Erfassungen fanden im Jahr 2020 von Juni bis November sowie im Jahr 2021 statt. Der vorliegende Bericht bezieht sich bislang nur auf das Jahr 2020.

Die erstellten Bilder wurden mithilfe einer selbst programmierten Web-Applikation manuell ausgewertet, wobei die Insekten – wenn möglich – bestimmt und ihre Körpergröße vermessen wurde. Aufgrund der geringen Anzahl der Daten der Luftraum-Bilder, fand keine Auswertung dieser Bilder statt. Daher basieren die vorliegenden Ergebnisse ausschließlich auf den Daten der Leuchtplattenkamera. Die Daten wurden deskriptiv und statistisch analysiert, wobei im Modell (GLMM) die Insektenabundanz und Fledermausaktivität als binomiales Maß (Präsenz/Absenz) berücksichtigt und für den Standort korrigiert wurde.

Insgesamt konnten 22.753 Bildpaare ausgewertet und in der Summe 556 Insekten auf der Leuchtplatte nachgewiesen werden. Aufgrund unterschiedlicher technischer Defekte konnte eine durchschnittliche Erfassungsdauer der Insektenfotofallen von rund 57 % erzielt werden. Für die Erfassungen 2021 wurden die meisten Defekte behoben und es wird eine verbesserte Erfassungsquote erwartet. Aufgrund der guten Bildqualität konnte etwa die Hälfte der erfassten Insekten auf Ordnungsniveau bestimmt werden, in 54,5 % war eine Bestimmung, zumeist aufgrund einer geringen Körpergröße der Insekten, nicht möglich. Die meisten Insekten wurden aus der Ordnung der *Lepidoptera* und *Diptera* nachgewiesen. Die Körperlängen variierten von 1,0 mm bis 29,8 mm, wobei die größten Insekten innerhalb der Ordnung der *Lepidoptera* bestimmt wurden.

An den Insektenfotofallen im Umfeld konnten deutlich mehr Insekten (N=526) nachgewiesen werden als an den Insektenfotofallen am Messmasten (N=30). Auch nahm die Anzahl an Insektennachweisen sowie die Körpergröße nachgewiesener Insekten mit zunehmender Erfassungshöhe (Messmast) ab. Ebenfalls veränderte sich die Artzusammensetzung in Abhängigkeit zur Erfassungshöhe, wobei im Umfeld und bis 10 m Höhe hauptsächlich *Lepidoptera*, mit zunehmender Erfassungshöhe jedoch ausschließlich *Hymenoptera* nachgewiesen wurden. Berücksichtigt werden müssen hier jedoch die vergleichsweise geringe Datenmenge sowie der Anteil unbestimmter Insekten. Trotzdem decken sich diese Ergebnisse mit vergleichbaren Studien, die an WEA durchgeführt wurden. In den Vergleichsstudien kamen unterschiedliche Erfassungsmethoden zum Einsatz (Saugfalle, Lichtfalle und Klebfalle), aber auch hier wurden insgesamt nur wenige und kleine Insekten in Gondelhöhe erfasst. Hinsichtlich der deskriptiv untersuchten meteorologischen Parameter Temperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung zeigte sich, dass die meisten Insekten bei Temperaturen ab 10 °C, bei niedrigen Windgeschwindigkeiten bis etwa 5 m/s sowie bei nordwestlicher Windrichtung nachgewiesen wurden. Das galt sowohl für die Insektenfotofallen im Umfeld als auch am Messmasten. Die statistische Modellierung der Gesamtdaten zeigt einen positiven Zusammenhang für die Temperatur sowie einen negativen Zusammenhang für die Windgeschwindigkeit und die Erfassungshöhe auf die Nachweiswahrscheinlichkeit eines Insektes. Die Regenwahrscheinlichkeit hatte hingegen keinen signifikanten Einfluss auf die Insektenabundanz. Andere Studien kommen zu vergleichbaren Ergebnissen, was zeigt, dass mit der Insektenfotofalle eine geeignete Methode entwickelt werden konnte, um die Insektenabundanz zu erfassen.

Die Modellierung der Daten der Fledermausaktivität zeigt die gleichen Zusammenhänge wie für die Insekten hinsichtlich der Temperatur (positiv), der Windgeschwindigkeit (negativ) und der Erfassungshöhe (negativ). Die Regenwahrscheinlichkeit hatte auf die Fledermausaktivität einen negativen Einfluss ebenso wie die Nachtzeit (negativ). Diese Zusammenhänge sind bereits bekannt. In der vorliegenden Studie konnte zudem jedoch – soweit ersichtlich – erstmals auch ein positiver Zusammenhang zwischen der Nachweiswahrscheinlichkeit von Fledermäusen und Insekten nachgewiesen werden. Das heißt, je höher die Wahrscheinlichkeit war, Insekten nachzuweisen, desto höher war auch die Wahrscheinlichkeit, Fledermäuse nachzuweisen. Die Ergebnisse zeigen zudem, dass Insekten und Fledermäuse ähnliche Wetterbedingungen bevorzugen, ein Anstieg der Insektenabundanz aber nicht zufällig mit einem Anstieg der Fledermausaktivität einhergeht. Möglicherweise verweilen Fledermäuse länger an einem Ort, an dem sie erfolgreich Beute gemacht haben und sind dort dann auch mit höherer Wahrscheinlichkeit nachweisbar. In Projektphase 2 sollen die Insektenfotofallen weiter optimiert und die qualitative und quantitative Aussagekraft der Erfassungen verbessert werden, um auf diese Weise die Insektenabundanz und ihre Rolle im ökologischen Kontext – hier im speziellen in Bezug auf die Fledermausaktivität – besser zu verstehen.

1.5 Ausblick

Ziel des Forschungsvorhabens NatForWINSSENT-II ist es, auch mit Blick auf die kommenden Untersuchungen der Phase 2 nach Inbetriebnahme der Forschungs-Windenergieanlagen, möglichst viele Wissenslücken zu schließen und auf dieser Grundlage Vermeidungsmaßnahmen und Lösungsansätze im Bereich Artenschutz zu konzipieren, die einen wertvollen Beitrag zur Förderung eines naturverträglichen Ausbaus der Windenergie liefern.

Die in diesem Bericht vorgestellten ersten Ergebnisse der Vorher-Untersuchungen zeigen, dass die Möglichkeiten für die Naturschutzforschung am Windenergie-testfeld und die damit verbundenen Potenziale für die Entwicklung und den Test von Vermeidungsmaßnahmen hervorragend sind. Die umfassende technische Ausstattung des Testfelds bietet einzigartige Voraussetzungen für die detaillierte Untersuchung zahlreicher Forschungsfragen. Die Perspektiven für einen umfassenden Erkenntnisgewinn im weiteren Projektverlauf zeigen bereits die ersten Ergebnisse der im Rahmen von Phase 1 durchgeführten Untersuchungen auf.

Auf der Grundlage der Forschungsergebnisse in Phase 1 werden für die kommende Phase 2 des Vorhabens nach Inbetriebnahme der Forschungs-Windenergieanlagen schwerpunktmäßig experimentelle Untersuchungen konzipiert, welche die die Konzeption, Fortentwicklung und Überprüfung von Vermeidungsmaßnahmen im besonderen Fokus haben. Im Wesentlichen konnten die skizzierten Untersuchungen in dieser Weise bislang nirgendwo durchgeführt werden. Dies betrifft vor allem die Eingriffe in das Betriebsregime der Anlagen, um das Verhalten von Vögeln, Fledermäusen und Insekten bei unterschiedlichen Betriebszuständen – zwischen maximaler Drehzahl und Trudelbetrieb – analysieren zu können.

Die Forschungsmöglichkeiten für den Naturschutz am Windenergie-testfeld WINSSENT sind als einzigartige Chance für den Erkenntnisgewinn und die Erarbeitung von tragfähigen, insbesondere technischen Lösungen für die bessere Vermeidung von Konflikten zwischen der Windenergienutzung an Land und dem Artenschutz zu sehen. Digitalisierung und rasante technische Entwicklungen insbesondere im Bereich der künstlichen Intelligenz werden in den kommenden Jahren noch ungeahnte Möglichkeiten bieten und Beiträge für eine naturverträgliche Windenergienutzung liefern.

2 Einleitung

Im Vorhaben NatForWINSENT wurden zwischen Sommer 2017 und Herbst 2018 Forschungskonzepte für die Entwicklung und den Test von Vermeidungsmaßnahmen für Vögel und Fledermäuse beim Betrieb von Windenergieanlagen erarbeitet mit besonderem Fokus auf den Möglichkeiten des seinerzeit noch in Planung befindlichen Windenergiefelds WINSENT auf der Schwäbischen Alb bietet. Diese wurden mit einschlägigen Expertinnen und Experten in zwei Expertengruppen sowie einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe abgestimmt. Das Vorhaben NatForWINSENT-II verfolgt die Umsetzung dieser Konzepte und ist in zwei Phasen eingeteilt: Die diesem Bericht zugrundeliegende Phase 1 fand bereits vor der Inbetriebnahme der Windenergieanlagen statt und widmete sich neben konzeptionellen Arbeiten und dem Aufbau der notwendigen Infrastruktur insbesondere der Erfassung von Grunddaten. Daneben wurden bereits technische Vermeidungssysteme auf Ihre Erkennungsgüte hin getestet. In Phase 2 sollen nach Inbetriebnahme der Windenergieanlagen umfassende experimentelle Untersuchungen zu – insbesondere technischen – Vermeidungsmaßnahmen und Vorher/Nachher-Vergleiche durchgeführt werden.

Die hier beschriebene Phase 1 des Vorhabens ist am 15.11.2018 gestartet, die Laufzeit war ursprünglich bis zum 31.5.2020 vorgesehen. Da jedoch aufgrund von Verzögerungen im Genehmigungsverfahren des Testfelds Phase 2 nicht wie ursprünglich geplant zum 1.6.2020 starten konnte, wurde Phase 1 insgesamt bis zum 30.11.2021 verlängert, um die Zeit noch für die Verdichtung der verfügbaren Daten und die zusätzliche Aufnahme auch von Daten zur Insektenabundanz nutzen zu können. Somit konnte der Grundzustand über drei Saisons (Insekten über zwei Saisons) aufgezeichnet werden, so dass eine höchst solide Datenbasis gelegt werden konnte. Im Frühjahr 2022 sollen nun die Windenergieanlagen errichtet und anschließend mit experimentellen Untersuchungen gemäß Phase 2 gestartet werden.

2.1 Hintergrund

Die Windenergie ist eine der tragenden Säulen der Transformation des Energiesystems. Der Ausbau der Windenergienutzung ist jedoch seit geraumer Zeit deutlich zurückgegangen. Zur Erreichung der nationalen Klimaschutzziele wird aber wiederum eine Vervielfachung der jährlichen Zubauanteile notwendig werden. Es werden verschiedene Gründe für den stockenden Windenergieausbau verantwortlich gemacht. Konflikte zwischen dem Ausbau der Windenergienutzung und dem Naturschutz, d. h. insbesondere im Bereich des Artenschutzes bei Vögeln und Fledermäusen, werden in Deutschland seit Beginn der umfangreichen Windenergienutzung immer wieder thematisiert und stellen Beteiligte vor Herausforderungen. Lösungen für den Artenschutz können daher einen wertvollen Beitrag liefern, den zügigen Ausbau der Windenergie zu fördern.

Dass Vögel und Fledermäuse mit Windenergieanlagen kollidieren und so zu Tode kommen können, ist grundsätzlich unstrittig. In der Regel sind daher im Rahmen des immissionschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens die artenschutzrechtlichen Verbotstatbestände abzu prüfen. Im Fokus stehen hier Artengruppen wie z. B. Greifvögel und Fledermäuse und insbesondere solche Arten, für die in Deutschland besondere Erhaltungsverpflichtungen bestehen. Zu nennen ist hier insbesondere der Rotmilan. In Folge der genannten Konflikte sind zahlreiche Untersuchungsstandards für sog. windenergieempfindliche Arten etabliert sowie Kriterien wie insbesondere Abstandsempfehlungen beispielsweise zu Brutstätten empfindlicher Vogelarten definiert und in unterschiedlicher Weise in die Leitpläne der Bundesländer integriert worden. Zum Standard in Genehmigungsverfahren gehören inzwischen auch bestimmte Vermeidungsmaßnahmen, die das Kollisionsrisiko senken sollen. Hierbei können

technische Lösungen aufgrund des rasanten Fortschritts zukünftig ein wichtiger Baustein zur Konfliktminimierung sein.

Die deutschen Ziele im Rahmen der Energiewende und für den Klimaschutz machen einen weiteren Ausbau der Windenergienutzung an Land unerlässlich. Wurden in der Anfangsphase der Windenergienutzung insbesondere küstennahe Standorte und solche im norddeutschen Flachland genutzt, so liegt der Fokus des Ausbaus nun mehr und mehr auch auf Mittelgebirgsräumen in Süd- und Westdeutschland. Da die Standortverfügbarkeit immer eingeschränkter wird, ist es sachdienlich, neben der sorgfältigen Standortwahl und der Einhaltung von Abständen zukünftig auch verstärkt insbesondere technische Vermeidungsmaßnahmen in den Fokus zu nehmen, die es ermöglichen, Standorte, bei denen ohne diese Maßnahmen ein signifikant erhöhtes Tötungsrisiko nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, mit ihnen aber schon, nutzbar zu machen.

Das für die Erforschung verschiedener Fragestellungen zur technischen Optimierung der Windenergienutzung in bergigem Gelände auf der Gemarkung Geislingen-Stötten im Landkreis Göppingen vom Windenergie Forschungscluster Süd (WindForS) geplante und vom ZSW betriebene Windenergie Testfeld WINSENT bietet die Möglichkeit, neben den technischen Aspekten auch solche des Naturschutzes zu untersuchen.

Die Konzeption des Windenergie-Testfeldes wurde im Rahmen des WindForS-Projekts „KonTest“ (BMW/PTJ, FKZ 0325656A-C) wissenschaftlich erarbeitet und begleitet. So wurden Kriterien an den Standort und an die Forschungs-Windenergieanlage sowie an die messtechnische Ausstattung erstellt. Es wurden mögliche Windenergiestandorte in komplex-bergigem Gelände untersucht, welche typische Eigenschaften in Bezug auf Strömungsbedingungen aufweisen und ideal für die Entwicklung und Erprobung neuer Technologien sind. Ein geeigneter Standort für das Testfeld wurde auf der Gemarkung Stötten der Stadt Geislingen an der Steige, Baden-Württemberg, gefunden, welcher im Rahmen des KonTest-Vorhabens zusätzlich durch verschiedene Mess-, Simulations- und Untersuchungsverfahren bewertet werden konnte. Auch die ökologische Begleitforschung wurde, nicht zuletzt aufgrund der Erfahrungen der WindForS-Partner im Offshore-Testfeld „alpha ventus“, als sehr wichtig angesehen und wurde als Bestandteil zukünftiger Forschungsthemen auf dem Testfeld mit aufgenommen. An „KonTest“ anknüpfend entsteht derzeit im BMW-Projekt „Wind Science and Engineering in Complex Terrain (WINSENT, FKZ 0324129A-F, 2016-2020)“ dieses Testfeld als Plattform für Forschung und Industrie. Dazu werden zwei Windenergieanlagen mit einer Nennleistung von jeweils rund 750 Kilowatt und einer Nabenhöhe von rund 75 Metern errichtet. Ihr Rotordurchmesser beträgt rund 50 Meter, die Gesamthöhe damit 100 Meter. Zu den Alleinstellungsmerkmalen des Projekts zählt, dass die Wissenschaftler uneingeschränkter Zugriff auf die komplette Steuerungstechnik und die Konstruktionsdaten der Anlagen haben werden, um deren Verhalten genauestens analysieren und neue Betriebsmodi unter Berücksichtigung externer Faktoren testen zu können. Schon beim Bau werden die Windenergieanlagen mit Mess-Sensoren ausgestattet – vom Fundament bis zu den Rotorblättern.

Vor und hinter jeder Anlage wird ein jeweils 100 Meter hoher Windmessmast errichtet, an dem insbesondere meteorologische Parameter wie z. B. Geschwindigkeit und Richtung des Windes, Temperatur, Luftfeuchtigkeit sowie Luftdruck zeitlich hoch aufgelöst gemessen werden. Modernste Lasertechnik erfasst zudem die An- und Nachlaufströmung der Windenergieanlage. Die Ausstattung bietet auch für die Naturschutzforschung mehrere Vorteile, da insbesondere die Windmessmasten für die Installation entsprechender Sensorik zur Verfügung stehen. Da die Realisierung des Windenergie Testfeldes in unterschiedliche Phasen aufgeteilt ist, war die Möglichkeit gegeben, auch im Rahmen der Naturschutzforschung zunächst einen Ist-Zustand ohne die Einflüsse der Windenergieanlagen auf die Strömung und die

Fauna aufzunehmen. Entsprechend wurden im Rahmen dieses Vorhabens bereits seit Ende des Jahres 2018 Untersuchungen zu Fledermäusen, seit Frühjahr 2019 für Vögel und seit Mai 2020 für Insekten durchgeführt und umfangreiche Daten gesammelt und ausgewertet.

Im Herbst 2017 und Herbst 2018 wurden die ersten beiden Messmasten der Testfeldkonstellation errichtet und mit Messtechnik ausgestattet. Die aktuellen meteorologischen Messdaten sind fortlaufend online abrufbar (<https://www.windfors.de/en/2018/10/winsent-weather-data-updates/>). Der Mast Nordwest wurde im Rahmen eines baden-württembergischen Landesvorhabens bereits im Herbst 2018 mit akustischer Fledermauserfassung in vier verschiedenen Höhen sowie zwei Richtungen ausgestattet. Seit dem Frühjahr 2020 sind die Messungen auf Grundlage der ersten Auswertungen auf eine Richtung beschränkt worden. Der zweite Mast (Nordost) wurde im Frühjahr 2020 ebenfalls mit akustischer Fledermauserfassungstechnik in denselben Höhen ausgestattet. Die Erfassungstechnik für die restlichen beiden Messmasten, deren Errichtung im Frühjahr 2022 vorgesehen ist, konnte im Rahmen dieses Vorhabens ebenso bereits beschafft und vorbereitet werden und wird entsprechend im Frühjahr 2022 installiert und in Betrieb genommen.

Dem ZSW als Leitung des in diesem Bericht beschriebenen Vorhabens obliegen zugleich der Betrieb und die technische Leitung des Testfelds. Dadurch konnte und kann stets eine enge Abstimmung und Verzahnung zwischen Planung, Bau und Betrieb des Windenergie-testfelds und der umfangreichen messtechnischen Ausstattung auf der einen und der Naturschutzbegleitforschung auf der anderen Seite gewährleistet werden. Die Federführung der Naturschutzforschungsarbeiten selbst hat das ZSW der Schweizerische Vogelwarte für den Bereich Vögel und dem Freiburger Institut für angewandte Tierökologie (FrlnaT) für die Fledermäuse im Rahmen von Unteraufträgen übertragen.

Im Rahmen des Vorhabens „NatForWINSENT, FKZ 3517 86 1600, wurden zwischen Juli 2017 und Mai 2018 Forschungskonzepte für die Naturschutzbegleitforschung am Windenergie-testfeld für die Bereiche Vögel und Fledermäuse entwickelt. Dabei stand neben der Dringlichkeit der Forschungsfragen im Zusammenhang mit Vermeidungsmaßnahmen auch immer die Frage im Mittelpunkt, für die Bearbeitung welcher Forschungsfragen die Testfeldkonstellation besonders in Frage kommt.

Das Vorhaben „NatForWINSENT-II“ widmet sich der schrittweisen Umsetzung dieser Forschungskonzepte. Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die Arbeiten der Phase 1 („Vorher-Untersuchungen“) vor Errichtung der Forschungs-Windenergieanlagen und ist im Folgenden nach den Arbeitspaketen des Vorhabens gegliedert.

3 Vögel

3.1 Konzeptionelle Ausarbeitung experimenteller Untersuchungsansätze

Es wurden mögliche experimentelle Untersuchungsansätze für Phase 2 des Vorhabens (nach Inbetriebnahme der WEA) skizziert und mit dem Expertenkreis Vögel des Vorhabens diskutiert und priorisiert. Die Ansätze wurden anschließend grob konzeptionell ausgearbeitet. Es ergab sich die Liste folgender Themen, die in absteigender Priorität wiedergegeben wird:

1. Untersuchung des Effekts unterschiedlicher Rotorgeschwindigkeiten bzw. Betriebszustände auf das Flugverhalten von Großvögeln.
2. Untersuchung des Effekts von Farbgebungen der WEA auf das Flugverhalten (insbesondere: Schwarzmarkierungen Rotorblatt) von Großvögeln.
3. Untersuchungen zur bedarfsgerechten Abschaltung: Wie oft müsste in Abhängigkeit der Flugaktivität von Großvögeln (Anzahl Flugbewegungen pro Tag) an einem Standort potenziell abgeschaltet werden? Wie hoch ist der resultierende potenzielle Ertragsverlust?
4. Untersuchungen zu Detektionsdistanz und Abschaltungen – mit welcher Minderung des Kollisionsrisikos für Großvögel ist bei welcher Abschaltedistanz zu rechnen?
5. Untersuchung des Zusammenhangs von meteorologischen Zuständen und Vogelschlag
6. Untersuchung des Effekts von Befeuern

Bezüglich konkreter Untersuchungen und Versuchsdesigns spielen eine Reihe weiterer Umsetzbarkeitsaspekte wie Laufzeit des Projektes, Finanzierung oder der Ausschluss gegenseitiger Beeinflussungen verschiedener Maßnahmen eine Rolle.

3.1.1 Betriebszustände WEA

Für Fledermäuse wurde festgestellt, dass die Erhöhung der Einschaltwindgeschwindigkeit (minimale Windgeschwindigkeit, bei welcher die Stromproduktion der WEA beginnt) oder die bedarfsgerechte Reduktion der Rotationsgeschwindigkeit (Rotorblätter aus dem Wind drehen) die Anzahl Kollisionsopfer an WEA reduziert (Berthinussen et al. 2021). Auch für Vögel (Steinadler) konnte gezeigt werden, dass die bedarfsgerechte Reduktion der Rotationsgeschwindigkeit, die Anzahl der Kollisionsopfer reduziert (McClure et al. 2021). Die Rotationsgeschwindigkeit einer WEA hat dementsprechend einen Einfluss auf das Kollisionsrisiko.

Bisher wurde noch nie untersucht, ob und wie unterschiedliche Rotorgeschwindigkeiten das Flugverhalten von Vögeln bezüglich der WEA beeinflussen. Unter Umständen könnte bereits eine Drosselung der maximalen Rotationsgeschwindigkeit der WEA das Kollisionsrisiko verringern.

Für derartige Untersuchungen muss ein exaktes Versuchsdesign festgelegt werden. Dabei ist eine Erfassung von möglichst vielen und hoch aufgelösten Flugwegen von Rotmilanen bei unterschiedlichen Rotorgeschwindigkeiten der WEA notwendig. Weiter erfordert eine solche Untersuchung die Bestimmung von Parametern des Flugverhaltens, die den Effekt der Rotorgeschwindigkeiten auf das Kollisionsrisiko zeigen können.

Das Testfeld ist für eine solche Untersuchung optimal geeignet, da auf den Betrieb der WEA aktiv Einfluss genommen werden kann.

3.1.2 Farbgebung WEA

Auf der norwegischen Insel Smøla konnte für Seeadler eine Reduktion der Anzahl Schlagopfer erreicht werden, indem ein Rotorblatt einer WEA schwarz eingefärbt worden ist (May

et al. 2020). Die Autoren betonen aber, dass die Studie unbedingt an anderen Standorten wiederholt werden sollte, da die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Vogelarten und Landschaften überprüft werden muss.

Zur Untersuchung muss ein exaktes Versuchsdesign festgelegt werden. Dabei ist eine Erfassung von möglichst vielen und hoch aufgelösten Flugwegen von Rotmilanen zumindest vor und nach der Einfärbung eines Rotorblattes notwendig. Weiter erfordert eine solche Untersuchung die Bestimmung von Parametern des Flugverhaltens, die den Effekt der Färbung auf das Kollisionsrisiko zeigen können. . Methodische Herausforderungen und weitere Umsetzungsaspekte sind zu berücksichtigen (KNE 2021).

Das Testfeld ist für eine solche Untersuchung optimal geeignet, da die WEA nach Bedarf eingefärbt werden können.

3.1.3 Abschaltung in Abhängigkeit Flugaktivität und Einfluss auf Ertrag

Im Zusammenhang mit einer bedarfsgerechten Abschaltung sind für einen Betreiber vor allem die Fragen zentral wie häufig abgestellt werden muss und wie groß der daraus resultierende Ertragsverlust ist. Die Häufigkeit der Abschaltungen an einem Ort hängt von der Flugaktivität der lokalen Vögel ab. Je größer die Flugaktivität ist, umso häufiger ist mit Abschaltungen zu rechnen und desto größer wird der Ertragsverlust.

Diese Fragestellungen sind zwischenzeitlich bereits anderweitig untersucht und die Ergebnisse an der Abschlussveranstaltung des KNE „Anforderungen an technische Überwachungs- und Abschaltssysteme an Windenergieanlagen“ am 14.10.2020 vorgestellt worden (Holzmüller 2020, Reichenbach & Aussieker 2020). Daher kann diese Thematik aus der Liste entfernt werden.

3.1.4 Abschaltdistanz und Minderung Kollisionsrisiko

Nach Eingang des Befehls zur Abschaltung benötigen WEA eine gewisse Zeit, bis sich der Rotor verlangsamt hat (Austrudeln). Wenn sich ein Vogel einer WEA annähert, muss der Befehl zur Abschaltung daher rechtzeitig erfolgen, d.h. bevor der Vogel eine gewisse minimale Distanz zur WEA unterschritten hat. Wie schnell ein Vogel eine gewisse Strecke zurücklegt, hängt von seiner Fluggeschwindigkeit und der Geradlinigkeit seines Flugwegs ab. Je schneller und geradliniger ein Vogel fliegt, umso früher muss der Befehl zur Abschaltung erfolgen, d.h. umso größer muss die minimale Distanz zur WEA sein. Je später der Befehl zur Abschaltung in Abhängigkeit der Fluggeschwindigkeit und der Geradlinigkeit ausgelöst wird, umso größer ist das verbleibende Kollisionsrisiko.

Vor diesem Hintergrund stellen sich die Fragen, wie groß mit Blick auf die Einführung und Anwendung von Antikollisionssystemen (Bruns et al. 2021) die minimalen Distanzen für unterschiedliche Vogelarten sein müssen und mit welcher Minderung des Kollisionsrisikos ab welchen Distanzen zu rechnen ist.

Die Analysen dieser Fragestellungen können zum Teil theoretisch und unabhängig vom Testfeld durchgeführt werden. Für einzelne Vogelarten liegen aufgrund der Flugwegerfassungen auf dem Testfeld bereits Erfahrungswerte zu z. B. Fluggeschwindigkeiten vor. Werte zur Geradlinigkeit von Flugwegen können ebenfalls anhand der bestehenden Daten eruiert werden. So sind für bestimmte Fragestellungen wie Verifizierung der Eingangsdaten für theoretische Berechnungen oder Daten zum Ausweichverhalten die umfangreichen Daten des Testfeldes nutzbar.

3.1.5 Vogelschlag und meteorologische Parameter

Auf topographisch erhöhtem Gelände scheinen vor allem nachziehende Kleinvögel an WEA zu kollidieren (Aschwanden et al. 2018). Derzeit ist jedoch unbekannt, wie die Anzahlen von Kollisionen mit der Intensität des Vogelzuges und den lokalen Wetterbedingungen zusammenhängen. Vermutet wird ein Zusammenhang mit den lokalen Sichtbedingungen.

Für die Klärung dieser Frage müsste kontinuierlich die Anzahl Schlagopfer erfasst werden und in Bezug zu Zugintensität und meteorologischen Parametern gesetzt werden. Da sich das Testfeld auf topographisch erhöhtem Gelände befindet und die Zugintensität mittels Radar sowie die meteorologischen Parameter bereits kontinuierlich erfasst werden, würde sich das Projekt für die Untersuchung dieser Art von Fragestellung hervorragend eignen. Zur Schlagopfererfassung könnte die im Rahmen des Projekts entwickelte Schlagopferkamera zum Einsatz kommen.

3.1.6 Effekt Befeuerung

Es ist bekannt, dass nachziehende Vögel von Licht angezogen werden (van Doren et al. 2017, Rebke et al. 2019). Im Zusammenhang mit Kollisionen an WEA stellt sich die Frage ob und wie stark Vögel nachts vom Befeuerungslicht an WEA angezogen werden.

Zur Untersuchung dieser Fragestellung müsste die mittels Radar gemessene nächtliche Zugintensität in Abhängigkeit unterschiedlicher Befeuerungen analysiert werden. Dabei könnte eine Situation „ohne Befeuerung“ mit einer Situation „mit Befeuerung“ oder eine Situation „mit schwachem Licht“ mit einer Situation „mit starkem Licht“ oder gegebenenfalls unterschiedlichen Lichtquellen verglichen werden.

Weiterhin wäre ein Vergleich der Anzahl Schlagopfer bei unterschiedlichen Befeuerungen an den WEA denkbar. Zur Schlagopfererfassung könnte die im Rahmen des Projekts entwickelte Schlagopferkamera zum Einsatz kommen.

Das Testfeld würde sich für die Untersuchung dieser Fragestellung anbieten, weil die Zugintensität bereits kontinuierlich erfasst wird. Zudem könnte in das Lichtregime eingegriffen werden, so dass ein exaktes Versuchsdesign festgelegt werden könnte. Möglicherweise könnte man auch Lichtquellen an den Messmasten anbringen, um zu überprüfen, ob eine Beeinflussung der lokalen Zugintensität und gegebenenfalls auch der Insektenabundanz oder Fledermausaktivität feststellbar ist.

3.2 Radaruntersuchung

3.2.1 Ziele und Fragestellungen Radaruntersuchung

Hauptziel der Radaruntersuchungen in Phase 1 war die Erfassung des Ist-Zustands der generellen Flugaktivität von (ziehenden) Vögeln und Insekten im Gebiet des Testfelds vor der Errichtung der WEA. Dabei sollen vertiefte Erkenntnisse zur räumlichen und zeitlichen Verteilung der Flugaktivität von Vögeln und Insekten im Zusammenhang mit meteorologischen Parametern gewonnen werden. Diese dienen später als Grundlage für vergleichende Analysen der Flugaktivität. Dazu werden folgende Fragestellungen statistisch untersucht:

- Frage 1: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Zugintensität insgesamt sowie im Rotorbereich der Forschungs-WEA?
- Frage 2: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Wahrscheinlichkeit, dass die Zugintensität im Rotorbereich der Forschungs-WEA größer ist als in den Höhenintervallen oberhalb des Rotorbereichs?

- Frage 3: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Insektenaktivität im Rotorbereich der Forschungs-WEA?

3.2.2 Beschreibung Funktion Radargerät und Datenprozessierung

Bei dem eingesetzten Radargerät handelt es sich um das Modell BirdscanMR1 (X-Band, 25 KW) der Swiss Birdradar Solutions AG, Winterthur, Schweiz (Abb. 1). Dieses Gerät ist für die Erfassung von Vögeln kalibriert und basiert auf einem handelsüblichen Marineradar (Sperry Marine LTD, UK), das mit einer Hornantenne ausgerüstet wurde und im feststehenden und drehenden Modus betrieben werden kann. Betrieb und Messmodus können bei bestehender Internetverbindung remotemäßig kontrolliert werden. Der zeitliche Verlauf der Echostärke (Echosignatur) erlaubt eine Zuordnung der vom Radar erfassten Objekte (=Echos) in Vögel, Insekten und unbestimmte Objekte (Nicht-Vögel) (Abb. 2). Zudem können Vögel anhand der Echosignatur in die vier Gruppen Singvogeltyp, Wasservogeltyp, Seglertyp und Großvögel unterteilt werden. Regelmäßige Schwankungen in der Echosignatur geben Hinweise auf die Flügelschlagfrequenz und damit die Größe der Vögel und Insekten. Flügelschlagfrequenzen lassen sich aber nur für einen Teil der Echos bestimmen.

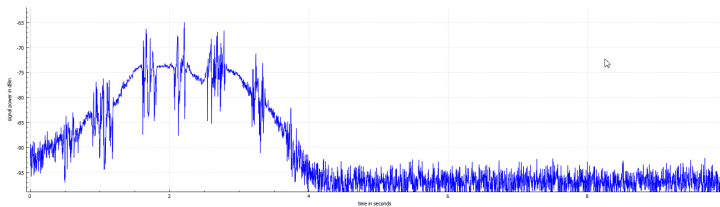
Die Klassierung der vom Radar erfassten Flugobjekte erfolgt in Echtzeit und die Daten werden lokal gespeichert (Abb. 3). Die Daten werden in regelmäßigen Abständen gesichert und von einer lokal zuständigen Person abgeholt. Im Nachgang wird die Plausibilität der Daten überprüft und nötigenfalls eine Bereinigung vorgenommen (z.B. Wetterphänomene). Anhand der bereinigten Daten wird als Maß für die Flugaktivität der Vögel die Anzahl Flugbewegungen pro km und h für verschiedenen Höhenbereiche bis ca. 1.000 m über Boden berechnet. Im Zusammenhang mit den Kollisionen von Vögeln an WEA ist insbesondere die Flugaktivität im Höhenbereich des Rotors wichtig. Ausgehend vom Standort des Radargerätes betrifft der Rotorbereich in etwa das Höhenintervall von 50 – 120 m ü.B. (=704 – 774 m ü.M.).

Die Aktivität von Insekten wird vom Radar bis zu einer Höhe von rund 300-500 m ü.B. erfasst. Bisher ist nicht bekannt, bis in welche Höhen welche Größen von Insekten detektiert werden können. Daher ist für die Insektenerfassung noch keine Kalibrierung des Radargerätes möglich und die Aktivität der Insekten wird nicht in absoluten Zahlen, sondern relativ angegeben. So ist eine Aussage möglich, ob die Insektenaktivität zu einer gegebenen Zeit stark, mittel oder niedrig war. Zur Darstellung der Höhenverteilung der Insektenaktivität (siehe Kap. 3.2.4.2) wurde aber trotzdem versuchsweise eine Berechnung der Flugaktivität pro km und h vorgenommen. Dabei wurde eine Insektengröße von 2 cm angenommen.

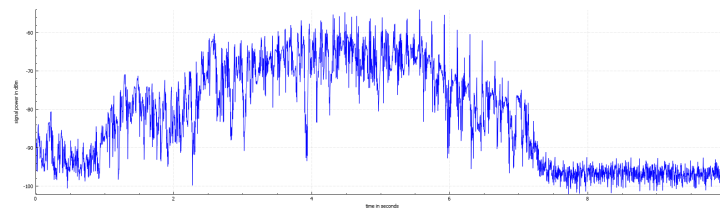


Abb. 1: Radargerät BirdScanMR1 (links) und Ceilometer (rechts, vgl. Kap. 3.2.5.2) auf dem Areal des Naturfreundehauses Immenreute (21.06.2021).

a)



b)



c)

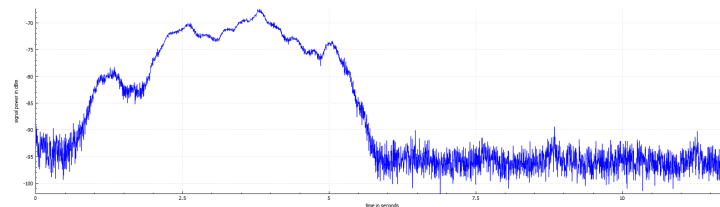


Abb. 2: Beispiele von mit dem BirdScanMR1 erfassten Echosignaturen Singvogel (a), Wasservogel (b) und Insekt (c). Die X-Achse zeigt die Zeit in Sekunden (s) von 0 – 12 s und die Y-Achse die Signalstärke in Dezibel Milliwatt (dBm) von -100 bis -70 dBm.

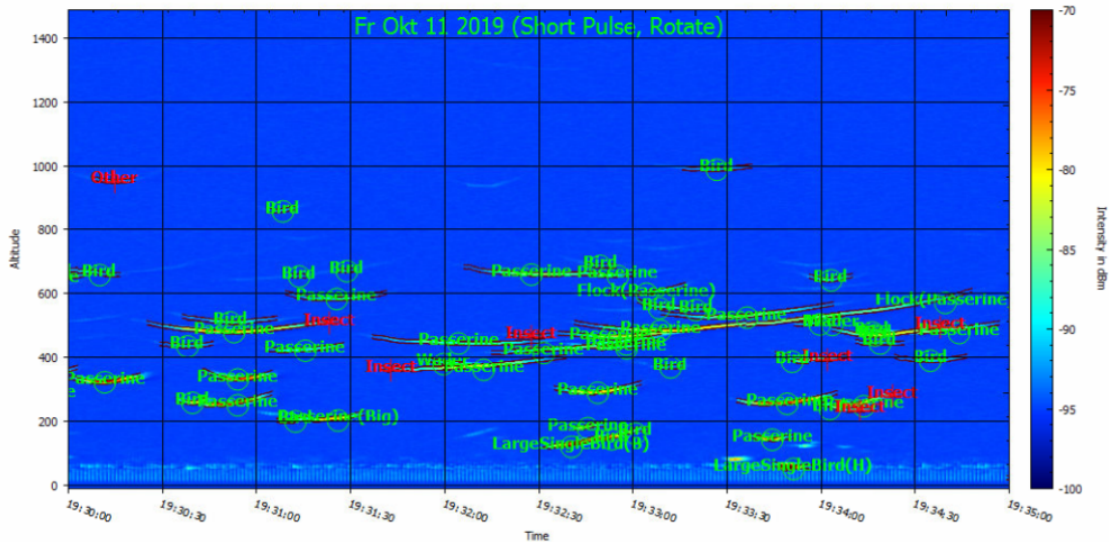


Abb. 3: Fünf Minuten Ausschnitt aus der kontinuierlich laufenden Radarmessung (11. Okt. 2019. 19:30 – 19:35). Die Y-Achse zeigt die Höhe über Boden (m), die X-Achse die Zeit, und die Beschriftung markiert die verschiedenen Echos (grün = Vögel, rot = Insekten).

3.2.3 Inbetriebnahme Radargerät und Datengrundlagen

Nach der Beschaffung des Radargerätes, der Wahl des Standorts (Abb. 4), der baulichen Vorbereitung des Standorts inklusive Beschaffung der Genehmigungen (Baugenehmigung, Frequenzuteilung), wurde das Radargerät am 12.09.2019 in Betrieb genommen (Abb. 1). Seither zeichnet das Radargerät kontinuierlich Daten auf (Abb. 3). Die Einstellungen zur optimalen Erfassung der Insektenaktivität erfolgten am 14.10.2019.

Zur Auswertung der generellen Flugaktivität von (ziehenden) Vögeln/Insekten vor der Errichtung der WEA (Phase 1) stehen zurzeit der Erarbeitung des Abschlussberichts dementsprechend folgende Datengrundlagen zur Verfügung:

- 2. Teil Herbst 2019 (12.09.2019 – 15.11.2019)
- Winter 2019/2020 (16.11.2019 – 14.02.2020)
- Frühling 2020 (15.02.2020 – 15.05.2020)
- Sommer 2020 (16.05.2020 – 14.08.2020)
- Herbst 2020 (15.08.2020 – 15.11.2020)
- Winter 2020/2021 (16.11.2020 – 14.02.2021)
- Frühling 2021 (15.02.2021 – 15.05.2021)
- 1. Teil Sommer 2021 (16.05.2021 – 14.06.2021)



Abb. 4: Standort des Radargerätes (Radarsymbol) nahe dem Testfeld mit den Standorten der bestehenden (weiße Fünfecke) und geplanten (transparente, weiße Fünfecke) meteorologischen Messmasten und den geplanten WEA (transparente rote Dreiecke) (Quelle Luftbild: Google Satellite).

3.2.4 Ergebnisse Standardauswertung Radardaten

Die Standardauswertung der Radardaten zielt darauf ab, den Verlauf der Flugaktivität von Vögeln und Insekten im Bereich des Testfelds räumlich und zeitlich darzustellen und zu beschreiben. Dabei wird die Flugaktivität im Höhenbereich der geplanten WEA hinsichtlich der Kollisionsproblematik jeweils separat visualisiert. Da zur Erfassung der Insekten mittels Radar noch viele Fragen offen sind (z.B. Reichweite des Radargerätes in Abhängigkeit der Insektengröße) sind bezüglich Insekten weniger Auswertungen möglich als bei den Vögeln.

3.2.4.1 Vögel

Der Jahresverlauf der Flugaktivität der Vögel zeigt den typischen Verlauf mit den Zu- und Abnahmen im Verlauf des Herbstes und des Frühlings (Abb. 5). Diese Perioden repräsentieren die Zugzeiten. Im Winter ist die lokale Flugaktivität natürlicherweise sehr niedrig. Im Sommer ist ebenfalls eine gewisse Flugaktivität vorhanden, welche die Bewegungen der lokalen Vögel vor Ort widerspiegelt, insbesondere auch die Flugaktivität von Schwalben und Seglern. Diese Muster sind auch in den spezifisch ausgewählten Höhenintervallen bezüglich der Rotoren von WEA ersichtlich.

Im Durchschnitt waren zu den Hauptzugzeiten (Frühling und Herbst) im Projektgebiet tagsüber total 350 Vögel pro km und h und nachts über 625 Vögel pro km und h unterwegs (Tab. 1). Während gewissen Stunden betragen die maximalen Zugintensitäten nachts über 10'000 bis 16'000 Vögel pro km und h und tagsüber 3'000 bis 4'200 Vögel pro km und h.

Im Höhenbereich 80 – 200 m (Rotorbereich einer WEA Modell Vestas V112) waren im Mittel tagsüber 100 Vögel pro km und h und nachts 170 Vögel pro km und h unterwegs (Tab. 1), mit maximalen stündlichen Werten von 4.000 bis 7.000 Vögeln pro km und h in der Nacht und 1.000 bis 2.000 Vögel pro km und h am Tag. In diesem Höhenbereich waren rund 30% der Zugvögel unterwegs.

Im Höhenbereich von 50 – 120 m (Rotorbereich Forschungs-WEA) lagen diese Werte bei 84 Vögel pro km und h am Tag und bei 117 Vögeln pro km und h in der Nacht (Tab. 1). In diesem Höhenbereich lagen die maximalen stündlichen Werte nachts bei 3.000 bis 4.500 Vögeln pro km und h und tags bei 2.500 bis 3.200 Vögeln pro km und h. Prozentual bewegten sich in diesem Höhenbereich rund 22% der Zugvögel.

Kleine Singvögel machten in allen Höhenbereichen den größten Anteil der Zugvögel aus (Tab. 2 und Tab. 3), die meisten mit Flügelschlagfrequenzen im Bereich von 10 Hz und 15 – 20 Hz (Abb. 6). Diese Frequenzbereiche lassen auf Arten wie Drosseln, Lerchen, Schwalben, Stelzen, Laubsänger und Finken schließen (Bruderer et al. 2010).

Über alle Höhen betrachtet verlaufen die Flugrichtungen tagsüber klar in Richtung NO im Frühling und in Richtung SW im Herbst. Nachtsüber zeigen die Flugrichtungen im Herbst tendenziell leicht mehr in Richtung West, nämlich nach WSW und im Frühling mehr in Richtung Ost, nämlich nach OSO. Dies könnte darauf hindeuten, dass sich Vögel nachts anders orientieren als am Tag. Mit Ausnahme vom Frühling zeigt sich dieses Muster auch im Höhenbereich der Forschungs-WEA.

Die Höhenverteilung des Vogelzuges ist in beiden Zugperioden ähnlich (Abb. 7). Die Zugintensität nimmt sowohl am Tag wie auch in der Nacht mit zunehmender Höhe ab.

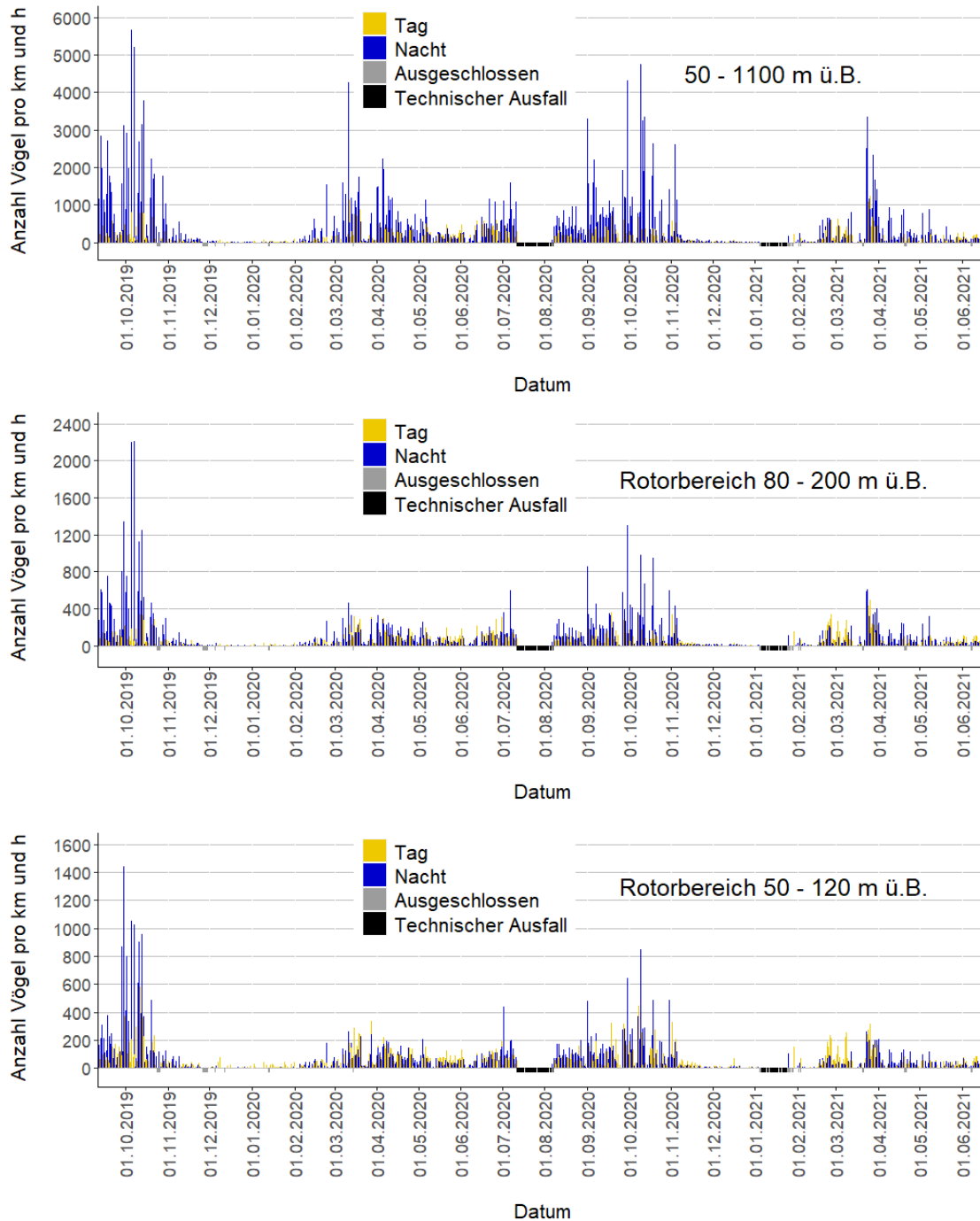


Abb. 5: Verlauf der Flugaktivität am Tag (gelb) und in der Nacht (blau) pro Datum vom 12.09.2019 bis 14.06.2021 in den Höhenbereichen von 50 – 1.100 m ü.B. (oben), 80 – 200 m ü.B. (Mitte) und 50 – 120 m ü.B. (unten). Ausgeschlossen: Aufgrund von einer zu geringen Beobachtungszeit (z.B. wegen Niederschlag) wurde keine Flugaktivität berechnet.

Tab. 1: Mittlere Flugaktivität zur Hauptzugzeit im Herbst und Frühling pro Höhenintervall, Tageszeit und Jahr sowie gemittelt über beide Hauptzugzeiten und Jahre.

Höhenintervall	Tageszeit	Herbst 2019	Frühling 2020	Herbst 2020	Frühling 2021	F und H 2019 - 2021
50 – 1'100	Tag	285 (250)	250 (260)	220 (170)	200 (265)	350 (470)
50 – 1'100	Nacht	1'350 (1'320)	670 (715)	990 (1045)	450 (660)	625 (870)
80 – 200	Tag	105 (94)	88 (86)	90 (80)	87 (108)	100 (100)
80 – 200	Nacht	420 (500)	125 (100)	250 (265)	110 (130)	170 (257)
50 – 120	Tag	120 (125)	83 (77)	96 (93)	60 (75)	84 (86)
50 – 120	Nacht	285 (334)	84 (63)	159 (163)	60 (65)	117 (170)

Tab. 2: Zusammensetzung des Vogelzugs nach Flugtypen (prozentuale Anteile) zu den Hauptzugzeiten im Frühling und Herbst im Höhenbereich von 50 – 1.100 m ü.B.

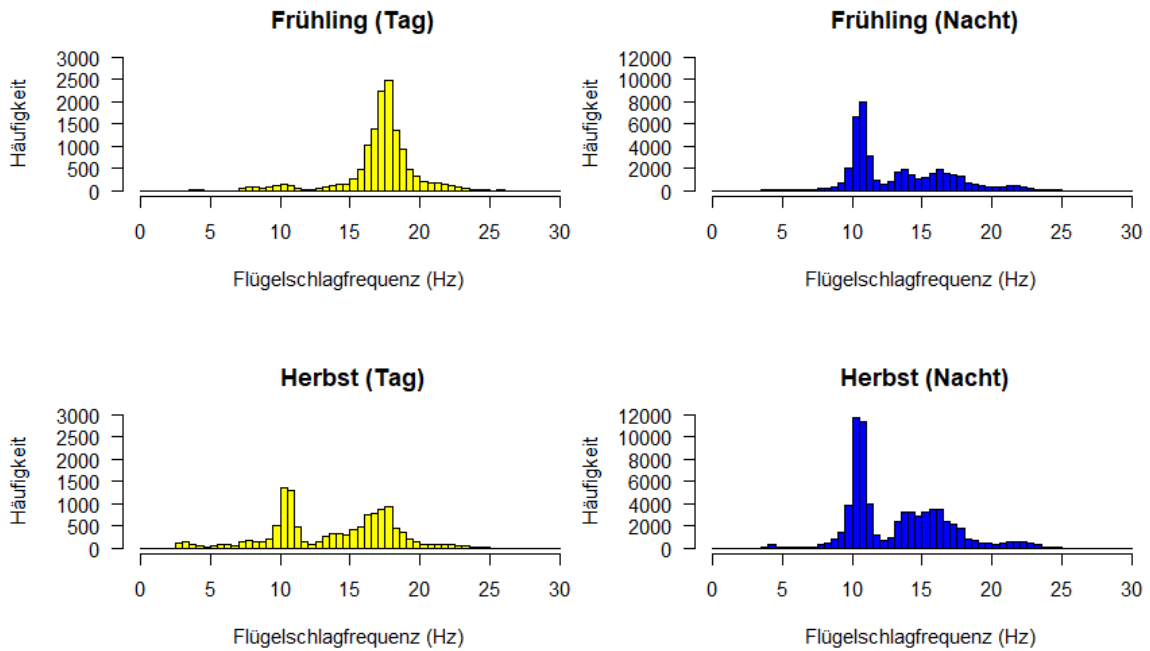
50 – 1'100 m ü. B.	Anteile im Herbst (%)		Anteile im Frühling (%)	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Singvogel	49.9	68.5	58.9	60.6
Wasservogel	1.2	8.1	0.6	12.2
Segler	14.1	1.2	6.9	1.4
Großvogel	6.3	0.2	3.5	0.7
Schwarm	4.2	0.2	3.7	0.3
unbekannt	24.3	21.8	26.4	24.8
Total (%)	100	100	100	100

Tab. 3: Zusammensetzung des Vogelzugs nach Flugtypen (prozentuale Anteile) zu den Hauptzugzeiten im Frühling und Herbst im Höhenbereich von 50 – 120 m ü.B.

50 – 120 m ü. B.	Anteile im Herbst (%)		Anteile im Frühling (%)	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht
Singvogel	60	87.6	68	80.8
Wasservogel	1	2.7	0.9	4.6
Segler	18.7	3.4	9.8	4.3
Großvogel	4.9	0.15	2.4	0.23
Schwarm	2	0.03	1.2	0.07
unbekannt	13.4	6.12	17.7	10
Total (%)	100	100	100	100

a)

Flugtyp Singvogel (50 - 1'100 m ü.B.)



b)

Flugtyp Singvogel (50 - 120 m ü.B.)

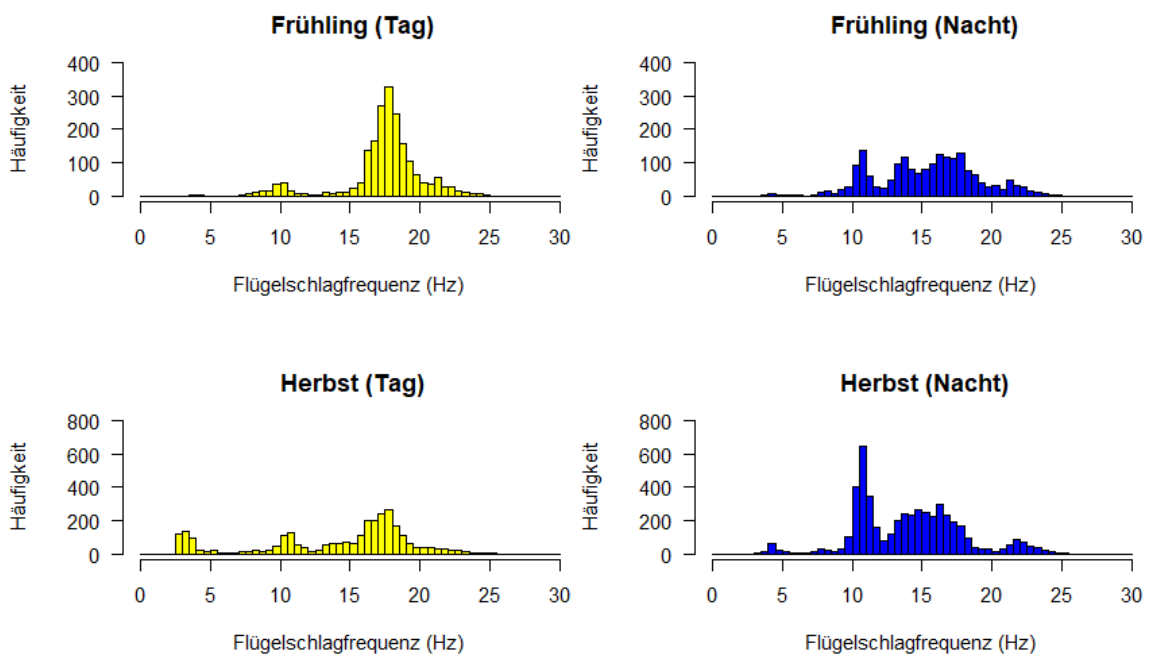
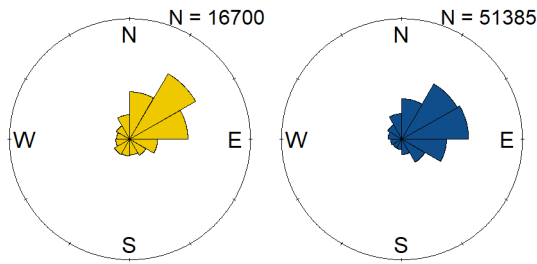
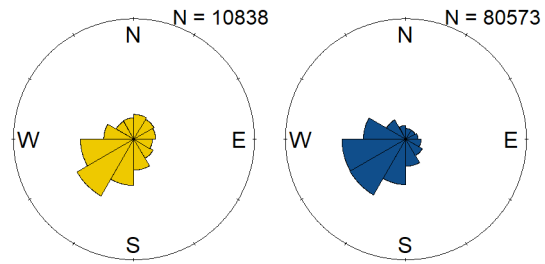


Abb. 6: Verteilung der Flügel Schlagfrequenzen zu den Hauptzugzeiten im Frühling und Herbst für den Flugtyp Singvogel am Tag (gelb) und in der Nacht (blau) in den Höhenbereichen 50 – 1'100 m ü.B. (a) und 50 – 120 m ü.B. (b) vereinigt über die Jahre 2019 – 2021.

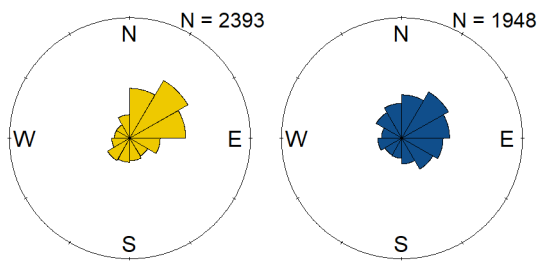
Frühling (50 - 1'100 m ü.B.)



Herbst (50 - 1'100 m ü.B.)



Frühling (50 - 120 m ü.B.)



Herbst (50 - 120 m ü.B.)

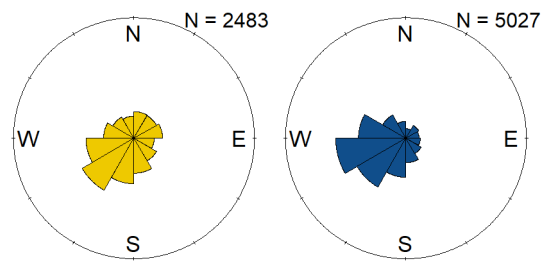


Abb. 9: Verteilung der Flugrichtungen über alle Vogeltypen am Tag (gelb) und in der Nacht (blau) in Abhängigkeit der Saison vereinigt über die Jahre 2019 - 2021 im Höhenbereich 50 – 1'100 m ü.B. (oben) und 50 – 120 m ü.B. (unten).

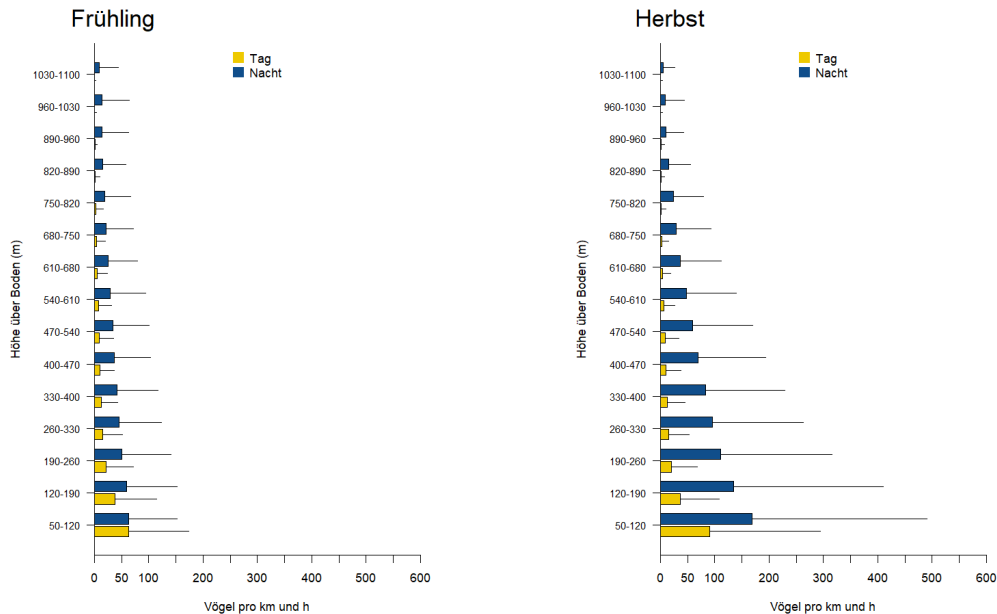


Abb. 7: Höhenverteilung der Flugaktivität zu den Hauptzugzeiten im Frühling (links) und Herbst (rechts) am Tag (gelb) und in der Nacht (blau) vereinigt über alle Vogeltypen und Jahre. Die schwarzen Linien oberhalb der Balken zeigen die Standardabweichung der stündlichen Werte.

3.2.4.2 Insekten

Die Insektenaktivität nimmt in allen betrachteten Höhenbereichen ab Mitte Februar stetig zu und im Verlauf des Herbstes wieder ab (Abb. 8). Summiert über die Zeit und korrigiert für den vom Radar überwachten Raum waren zwischen 50 – 540 m ü.B. pro km grob geschätzt minimal 33 Millionen Insekten unterwegs. Im Höhenbereich der Forschungs-WEA waren es

minimal 14 Millionen und im Höhenbereich einer WEA Model Vestas V112 minimal 18 Millionen. Die Insektenaktivität ist tagsüber größer als nachtsüber. Anders als bei den Vögeln sind hier keine Perioden offensichtlich, die für Insekten als Zugzeit eingestuft werden könnten. Im Jahresverlauf treten gerichtete Bewegungen von Insekten aber vor allem im Herbst auf (Shi et al. 2021), was auf ziehende Insekten hindeutet. Deshalb wurden die Insektendaten zeitlich in zwei Perioden eingeteilt (Periode 1 vom 01.01. – 14.08. und Periode 2 vom 15.08. – 15.11.)

Ab 50 m bis 100 m ü.B. nimmt die Insektenaktivität tendenziell zu und ab 100 m mit zunehmender Höhe über Boden ab (Abb. 9). Dieser Effekt ist in Periode 2 ausgeprägter als in Periode 1.

Die Flugrichtungen sind in alle Richtungen verteilt (Abb. 10). Lediglich in Periode 2 über alle Höhen betrachtet und nachts im Höhenbereich der Rotoren scheinen die Flugrichtungen vermehrt in Richtung SW zu verlaufen. Tagsüber treten viele Insekten mit Flügelschlagfrequenzen im Bereich von 17 Hz und im Bereich von 60 Hz auf (Abb. 11). Nachts liegen die Frequenzen ebenfalls häufig bei 17 Hz aber auch oft im Bereich von 30 Hz. Solche Frequenzen können beispielsweise von Tag- und Nachtfaltern (Lepidoptera), Libellen (Odonata), Netzflüglern (Neuroptera), Eintagsfliegen (Ephemeroptera) und Käfern (Coleoptera) stammen (Tercel et al. 2018). Die Frequenzen von Bienen, Hummeln und Wespen liegen im Bereich von 140 – 200 Hz (Hymenoptera).

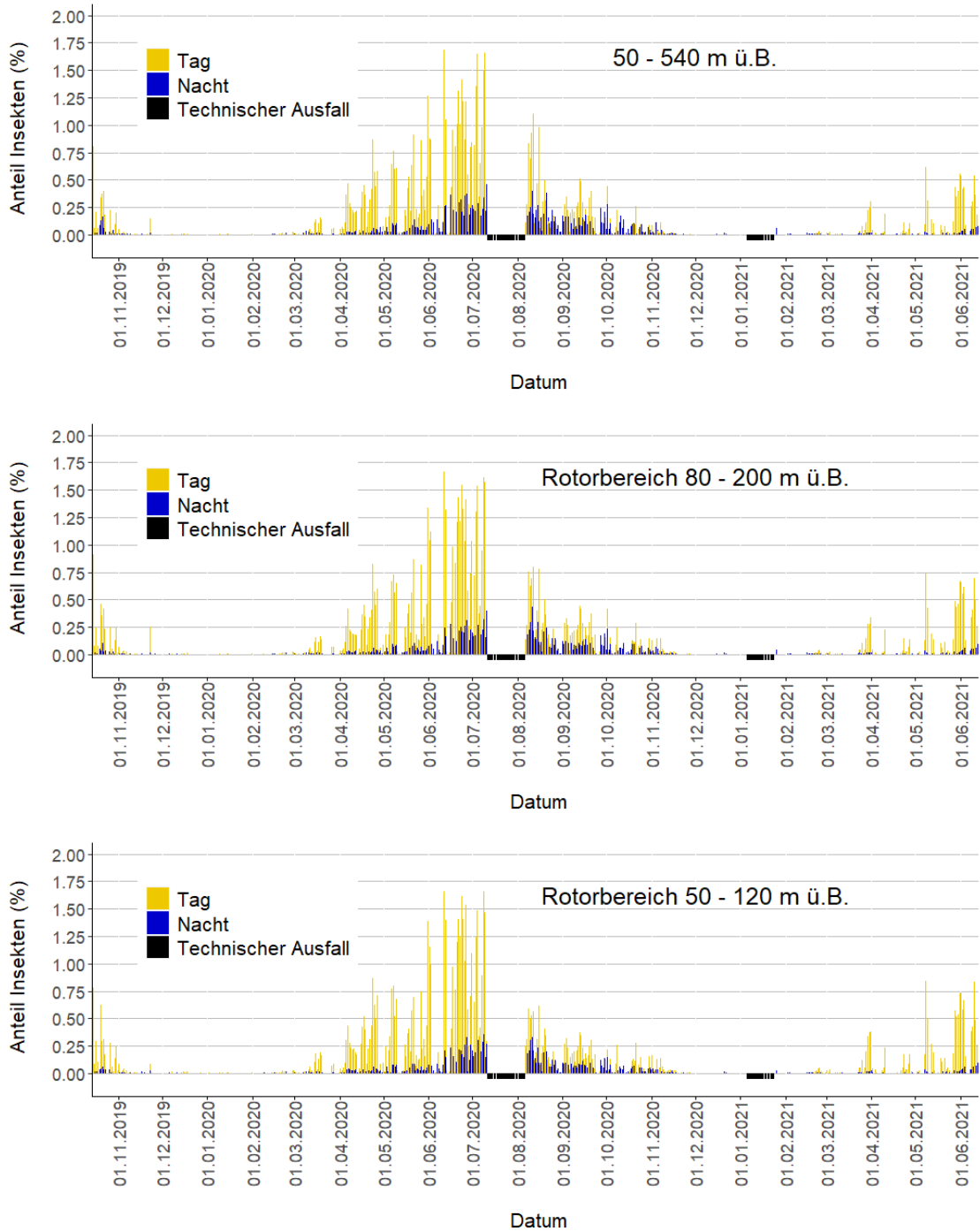


Abb. 8: Zeitlicher Verlauf der relativen Insektenaktivität am Tag (gelb) und in der Nacht (blau) pro Datum vom 14.10.2019 bis 14.06.2021 in den Höhenbereichen von 50 – 1'100 m ü.B. (oben), 80 – 200 m ü.B. (Mitte) und 50 – 120 m ü.B. (unten). Die optimale Einstellung des Radargerätes zur Erfassung von Insekten erfolgte am 14.10.2019. 100% entspricht jeweils dem Total der Anzahl Insekten im ausgewerteten Höhenintervall.

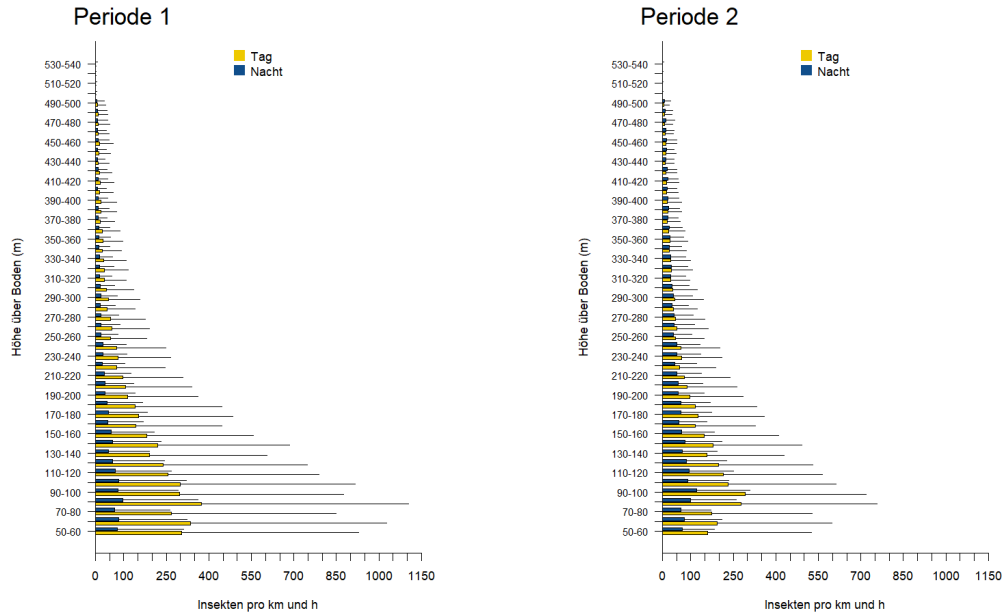


Abb. 9: Höhenverteilung der Flugaktivität der Insekten pro Periode (1: 01.01. – 14.08.; 2: 15.08. – 15.11.) am Tag (gelb) und in der Nacht (blau) ab 50 m ü.B. vereinigt über alle Jahre. Die schwarzen Linien oberhalb der Balken zeigen die Standardabweichung der stündlichen Werte.

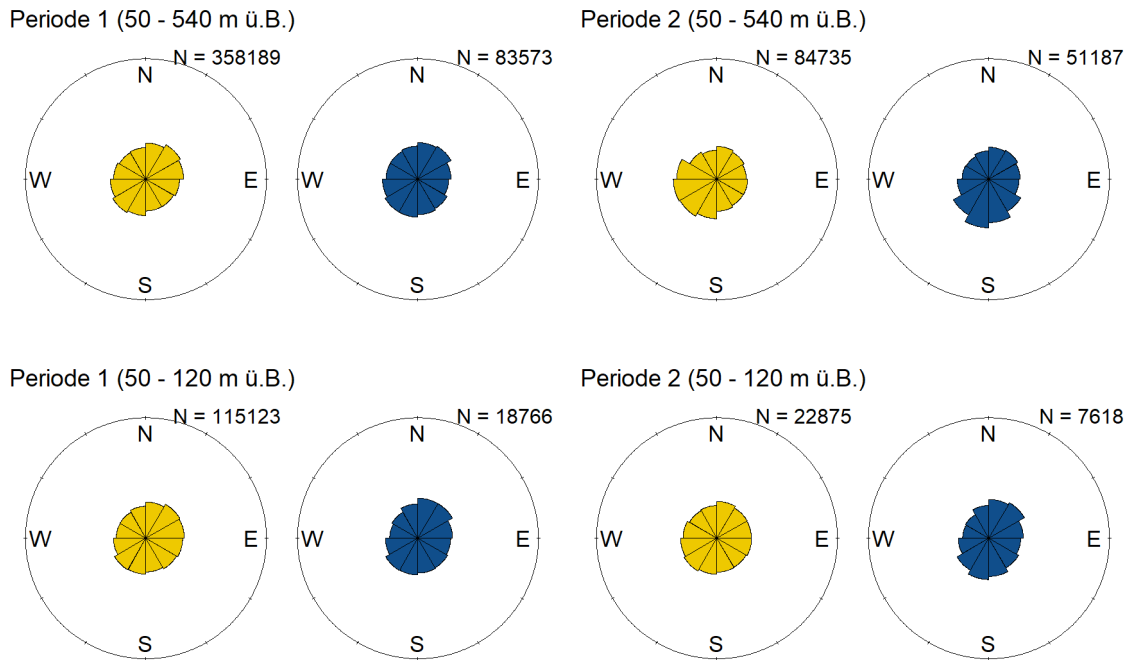
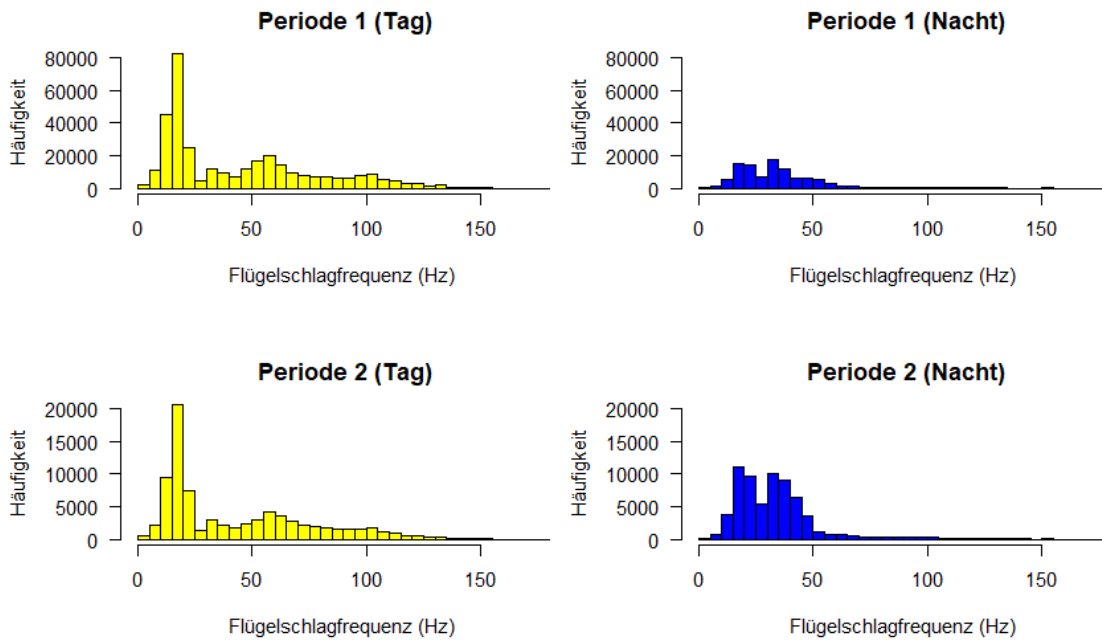


Abb. 10: Verteilung der Flugrichtungen der Insekten am Tag (gelb) und in der Nacht (blau) in Abhängigkeit der Periode (1: 01.01. – 14.08.; 2: 15.08. – 15.11.) vereinigt über die Jahre 2019 - 2021 im Höhenbereich 50 – 540 m ü.B. (oben) und 50 – 120 m ü.B. (unten).

a)

Insekten (50 - 540 m ü.B.)



b)

Insekten (50 - 120 m ü.B.)

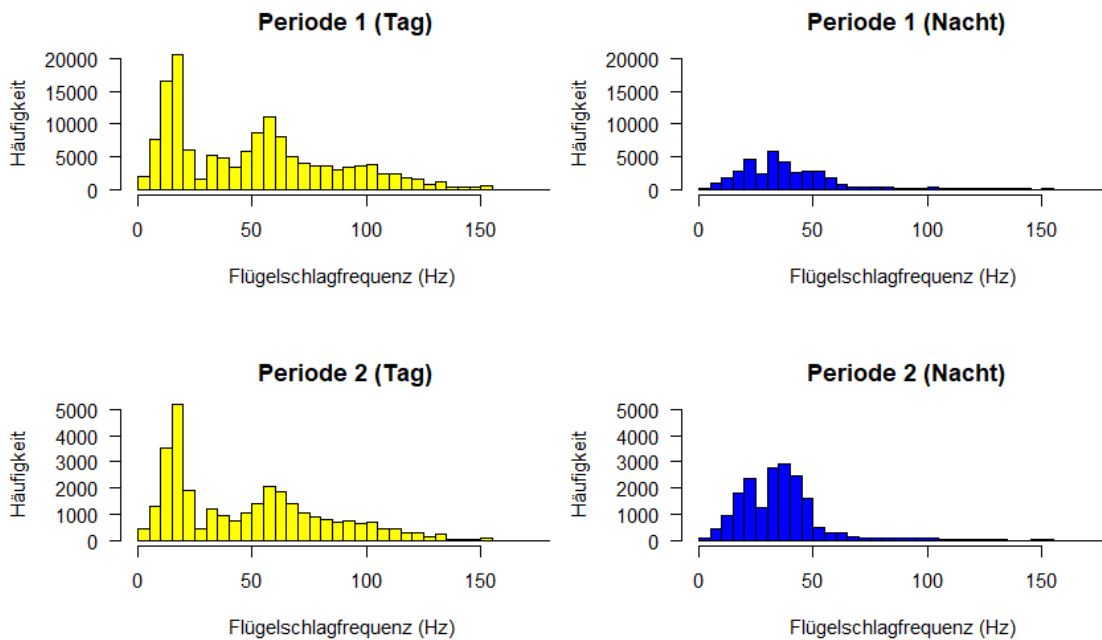


Abb. 11: Verteilung der Flügel Schlagfrequenzen von Insekten in den beiden Perioden (1: 01.01. – 14.08., 2: 15.08. – 15.11.) am Tag (gelb) und in der Nacht (blau) in den Höhenbereichen 50 – 540 m ü.B. (a) und 50 – 120 m ü.B. (b) vereinigt über die Jahre 2019 – 2021.

3.2.5 Einfluss meteorologischer Parameter auf generelle Flugaktivität

3.2.5.1 Meteorologische Parameter erfasst an den Windmessmasten

Seit Beginn der ornithologischen Erfassungen im März 2019 werden auf dem Testfeld an den beiden Messmasten NW und NO auf verschiedenen Höhen kontinuierlich meteorologische Parameter erfasst. Die Werte werden vom ZSW jeweils pro 10-min gemittelt. Zur Untersuchung des Einflusses der meteorologischen Parameter auf die Flugbewegungen der Vögel wurden von den Sensoren der Messmasten die folgenden Parameter verwendet:

- Windgeschwindigkeit in m/s (Windmessmast NW, gemessen auf 100 m ü.G. First-Class Schalenkreuz-Anemometer)
- Windrichtung in Grad (Windmessmast NW, gemessen auf 86 m ü.G. mit einer First-Class Windfahne)
- Temperatur in °C (Windmessmast NW, gemessen auf 96 m ü.G. mit einem Temperatur-Feuchte-Geber im Klimaschutzgehäuse)
- Feuchtigkeit in % relative Feuchte (Windmessmast NW, gemessen auf 96 m ü.G. mit einem Temperatur-Feuchte-Geber im Klimaschutzgehäuse)
- Luftdruck in hPa (Windmessmast NW, gemessen auf 96 m ü.G. mit einem Luftdruckgeber)
- Horizontale Sichtweite in m (Windmessmast NW, gemessen auf 20 m ü.G. als lokale Messgröße mit einem optischen Sichtweitensensor, Messbereich 10m...20.000m)
- Regenwahrscheinlichkeit in % (Windmessmast NO, gemessen auf 10 m ü.G. ermittelt aus der Häufigkeit von Regentropfenereignissen innerhalb von 10 Minuten)

Zur Bereinigung der Daten wurde die Plausibilität der Werte jeweils grafisch aufgrund der Werte über alle Sensoren überprüft. Nicht plausible Werte wurden auf NA gesetzt und wenn möglich durch die auf derselben Höhe gemessenen Werte des jeweils anderen Messmasts ersetzt.

3.2.5.2 Meteorologische Parameter erfasst vom Ceilometer

Das Ceilometer befindet sich direkt neben dem Radargerät (Abb. 1) und ist seit dem 01.11.2019 in Betrieb. Das Gerät misst vertikal mit einem Laserstrahl bis zu einer Reichweite von 15 km in den Luftraum hinein. Die Messungen dienen unter anderem zur Bestimmung des Bewölkungsgrades, der Höhe der unteren Wolkengrenze, der vertikalen Sichtweite und eines „Sky Condition Index“ (trocken, Nebel, Regen, Eis/Schnee). Die Daten werden jeweils vom ZSW für 10-min Intervalle gemittelt.

Die vertikale Sichtweite kann gemäß Handbuch des Ceilometers maximal bis zu einer Höhe von 3 km über Boden bestimmt werden. Bei der Durchsicht der Daten des Ceilometers ist aufgefallen, dass bei trockenem Wetter (Sky Condition Index = 0) oftmals die Werte der vertikalen Sichtweite fehlen, obwohl ein Wert für die Höhe der unteren Wolkengrenze vorhanden ist. In diesem Fall (1) würde man erwarten, dass die vertikale Sichtweite ≥ 3 km ist, wenn die untere Wolkengrenze mehr als 3 km entfernt ist. Umgekehrt (Fall 2) müsste die vertikale Sichtweite der unteren Wolkengrenze entsprechen, wenn die untere Wolkengrenze weniger als 3 km entfernt ist. Auch fehlen die Werte für die vertikale Sichtweite, wenn der Himmel wolkenlos ist. Auch in diesem Fall (3) müsste die vertikale Sichtweite ≥ 3 km sein. In Absprache mit dem ZSW wurde beschlossen, in den Fällen von 1) und 3) die vertikale Sichtweite als ≥ 3 km anzunehmen. Für den Fall 2 sind die Gründe gemäß ZSW unklar und von einer

Ersetzung der fehlenden Werte der vertikalen Sichtweite mit den Werten der unteren Wolkenengrenze wird abgeraten.

Anhand des Sky Condition Index sowie des Bewölkungsgrades wurde eine neue Variable erstellt, die den Informationsgehalt beider Variablen enthält und den Status des Wetters mit folgenden Kategorien widerspiegelt: trocken und wolkenlos, trocken und leicht bewölkt, trocken und stark bewölkt, Regen, Nebel, Schnee/Eisregen. Die Variable wurde aufgrund der Fotos der Umfeldkameras stichprobenweise validiert.

Zur Untersuchung des Einflusses der meteorologischen Parameter auf die Flugbewegungen der Vögel wurden vom Ceilometer die folgenden Parameter verwendet:

- Wetterstatus
- Vertikale Sichtweite (m)

3.2.5.3 Zusammenhänge Wetterstatus, Sichtweiten und Regenwahrscheinlichkeit

Zwischen den Daten der einzelnen Sensoren müssten teilweise logische Zusammenhänge bestehen. Zum Beispiel würde man erwarten, dass die Sichtweiten eingeschränkt sind, wenn das Ceilometer den Wetterstatus „Nebel“ ausgibt. Oder die Regenwahrscheinlichkeit müsste hoch liegen, wenn das Ceilometer den Wetterstatus „Regen“ registriert.

Erwartungsgemäß entspricht der Median der horizontalen Sichtweite bei trockenem Wetter (Wetterstatus 0 – 2) dem Maximum (= klare Sicht, Abb. 12a) und der Median der Regenwahrscheinlichkeit liegt tief (Abb. 12c). Auch vertikal ist die Sichtweite bei trockenem Wetter in den meisten Fällen weit (Abb. 12b). Interessanterweise liegt der Median der horizontalen Sichtweite beim Wetterstatus Regen (= 3) beim Maximum (Abb. 12a), während die vertikale Sichtweite bei Regen im Median bei 1.000 m liegt (Abb. 12b). Seltsamerweise ist beim Wetterstatus Regen aber auch der Median der Regenwahrscheinlichkeit relativ tief (Abb. 12c).

Beim Wetterstatus Nebel liegen die Mediane der Sichtweiten bei 170 m (horizontal) und bei rund 200 m (vertikal). Der Wetterstatus Schnee/Eisregen kam nur in 40 Fällen vor, wobei die vertikale Sichtweite im Median gegen Null geht und horizontal bei 1.500 m liegt. Zwischen horizontaler und vertikaler Sichtweite besteht eine positive Korrelation (Abb. 12d, Pearson Korrelation: $r = 0,56$, $p < 0,001$).

Die hier dargestellten Gegebenheiten müssen bei der Interpretation der Ergebnisse im Hinterkopf behalten werden.

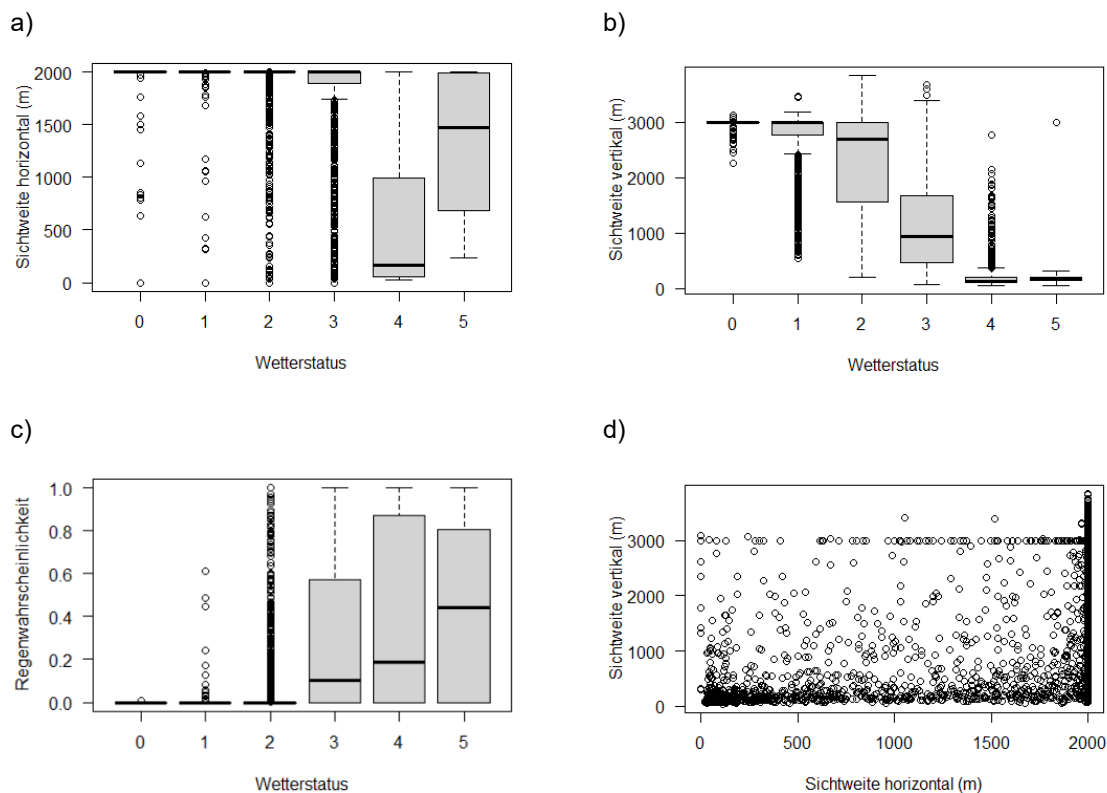


Abb. 12: Zusammenhänge Wetterstatus und Sichtweiten zwischen Wetterstatus und der horizontalen Sichtweite (a), zwischen Wetterstatus und der vertikalen Sichtweite (b), zwischen Wetterstatus und der Regenwahrscheinlichkeit (c) sowie zwischen der horizontalen und vertikalen Sichtweite (d). Wetterstatus: 0 = trocken, wolkenlos, 1 = trocken, leicht bewölkt, 2 = trocken, stark bewölkt, 3 = Regen, 4 = Nebel, 5 = Schnee/Eisregen

3.2.5.4 Statistische Auswertung des Einflusses meteorologischer Parameter

Alle statistischen Auswertungen wurden mit der Software R (Version 4.0.5) (R Development Core Team 2021) und gemäß der Methode von Bayes (Korner-Nievergelt et al. 2015) vorgenommen. Dabei werden Ergebnisse nicht auf p-Werten abgestützt, sondern aufgrund von „posterior-Verteilungen“ 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle (95%-CI) berechnet. Dies bedeutet, dass die Werte der Ergebnisse mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% innerhalb dieser Glaubwürdigkeitsintervalle liegen. Die „posterior-Verteilungen“ werden jeweils mit der Funktion „sim“ des R-Pakets „arm“ (Gelman & Hill 2007) erstellt (10.000 Simulationen).

Bevor aus den Modellergebnissen Schlüsse gezogen wurden, wurde jeweils überprüft, ob die Modellannahmen erfüllt sind (Verteilung der Residuen, zeitliche Autokorrelation). Waren die Modellannahmen nicht erfüllt, wurden entsprechende Maßnahmen getroffen (z.B. Transformation der Zielvariablen oder die Wahl von Modellen, welche die Autokorrelation berücksichtigen können). Die kontinuierlichen erklärenden Variablen wurden jeweils skaliert und als lineare und quadratische Effekte in die Modelle eingebracht.

Bei einer Verschneidung der Daten der Messmasten und des Ceilometers wäre der Datensatz deutlich geschrumpft, da die Messungen mit dem Ceilometer zeitlich später begannen und teilweise Messlücken bestanden. Die Einflüsse der meteorologischen Parameter der Messmasten und des Ceilometers wurden daher jeweils in separaten Modellen ausgewertet, damit jeweils die maximale Anzahl an Daten verwendet werden konnte.

3.2.5.5 Ergebnisse: Einfluss meteorologischer Parameter auf Vogelzug im Rotorbereich

Zur Untersuchung des Einflusses der meteorologischen Parameter auf den Vogelzug wurde der Radardatensatz auf die Zugzeiten beschränkt (Frühling: 15.02. – 15.05., Herbst: 15.08. – 15.11.). Die meteorologischen Parameter wurden stündlich gemittelt und mit den stündlich vorliegenden Zugintensitäten (Vögel pro km und h) pro Höhenintervall verschnitten. Pro Stunde wurde zusätzlich anhand der Windrichtung die Rückenwindunterstützung bezüglich der Hauptzugrichtung der Vögel (Frühling: 45°, Herbst: 225°) bestimmt. Basierend auf diesen Daten wurden 2 Fragestellungen statistisch untersucht:

- Frage 1: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Zugintensität insgesamt sowie im Rotorbereich der Forschungs-WEA?
- Frage 2: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Wahrscheinlichkeit, dass die Zugintensität im Rotorbereich der Forschungs-WEA größer ist als in den Höhenintervallen oberhalb des Rotorbereichs?

Für die statistische Analyse von Frage 1 wurde die Funktion „brm“ aus dem R-Paket „brms“ (Bürkner 2017, 2018) verwendet. Diese Funktion greift via R auf die Programmiersprache Stan zurück und erlaubt eine multivariate bayesianische Analyse unter Berücksichtigung der Autokorrelation, die in den Daten vorhanden ist. Die Schätzung der Glaubwürdigkeitsintervalle beruht darin auf einer Markov-Chain-Monte-Carlo-Simulation (MCMC). Die Daten wurden in den Modellen als Zähldaten behandelt (Poisson-Verteilung), die zahlreiche Nullwerte aufweisen (zero-inflated). Die Zielvariablen waren je in einem Modell die Zugintensitäten im Höhenbereich der Forschungs-WEA sowie die totalen Zugintensitäten über alle Höhenbereiche. Anstelle der Windrichtung floss die Rückenwindunterstützung in die Modelle ein. Dabei bedeutet ein negativer Wert Gegenwind und ein positiver Wert Rückenwind. Als weitere erklärende Variable wurde neben den meteorologischen Parametern die Tageszeit (kategorisch, Tag/Nacht) einbezogen. Als zufällige Variable dienten die Jahre (2019-2021) verkettet mit der Jahreszeit (Frühling/Herbst).

Zur Untersuchung von Frage 2 wurde pro Stunde ausgewertet, in welchem Höhenintervall die Zugintensität am höchsten war. War innerhalb einer Stunde die Zugintensität im Höhenbereich von 70 – 120 m im Vergleich zu den anderen Höhenintervallen am größten, so erhielt diese Beobachtung den Wert 1, wenn nicht, den Wert 0. Diejenigen Stunden, wo die Zugintensität über alle Höhenintervalle 0 war, wurden von der Analyse ausgeschlossen. Für die statistische Analyse wurde ein binomiales, logistisches Modell (Funktion „glm“) verwendet. Die Zielvariable war dementsprechend „Maximum Zugintensität liegt im Rotorbereich“ (ja/nein). Neben den meteorologischen Parametern wurde als weitere erklärende Variable die Tageszeit (kategorisch, Tag/Nacht) einbezogen.

Insgesamt war die nächtliche Zugintensität jeweils größer als diejenige am Tag (Ergebnisse Frage 1: Abb. 13 bis Abb. 16). Der Verlauf der Effekte der meteorologischen Parameter auf die totale Zugintensität (50 – 1.100 m ü.B.) war mit wenigen Ausnahmen (Rückenwindunterstützung, Feuchtigkeit und vertikale Sichtweite) gleich wie der Verlauf der Effekte auf die Zugintensität im Rotorbereich (50 – 120 m ü.B.). Die Effekte sind bei der totalen Zugintensität jedoch meist stärker ausgeprägt. So sank die Zugintensität mit zunehmender Windgeschwindigkeit und zunehmender Regenwahrscheinlichkeit. Weiter stieg die Zugintensität mit steigendem Luftdruck und mit größerer horizontaler Sichtweite. Die Temperatur wirkt sich bis zu einem gewissen Grad positiv und schließlich wieder negativ auf die Zugintensitäten aus. Die Effekte der Feuchtigkeit und der vertikalen Sichtweite sind in beiden Fällen schwach, zeigen aber tendenziell eine gegensätzliche Richtung. Die totale Zugintensität nimmt bis zu einer

gewissen Feuchtigkeit leicht zu und dann wieder ab, während die Zugintensität im Rotorbereich bis zu einer gewissen Feuchtigkeit sinkt und dann wieder ansteigt. Mit zunehmender vertikaler Sichtweite steigt die totale Zugintensität, während die Zugintensität im Rotorbereich mit zunehmender vertikaler Sichtweite abnimmt. Besonders deutlich ist der Unterschied beim Einfluss der Rückenwindunterstützung. Die totale Zugintensität nimmt mit zunehmender Rückenwindunterstützung deutlich zu. Im Höhenbereich der Rotoren verläuft die Kurve der Zugintensität konkav. Sie nimmt mit abnehmendem Gegenwind (negative Werte) ab und mit zunehmendem Rückenwind (positive Werte) wieder zu. Tendenziell sind die Zugintensitäten bei nassen Wetterverhältnissen (Wetterstatus Regen, Nebel, Eisregen/Schnee) tiefer als bei trockenen Wettersituationen.

Insgesamt ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Zugintensität im Rotorbereich grösser ist als oberhalb des Rotors tagsüber größer als nachts (Ergebnisse Frage 2: Abb. 17 und Abb. 18). Diese Wahrscheinlichkeit sinkt mit zunehmender Windgeschwindigkeit, zunehmendem Luftdruck und zunehmender vertikaler Sichtweite. Dahingegen steigt die Wahrscheinlichkeit mit zunehmender Feuchtigkeit, zunehmender Regenwahrscheinlichkeit sowie zunehmender horizontaler Sichtweite. Der Einfluss der Temperatur verläuft glockenförmig. Besonders hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Zugintensität im Rotorbereich größer ist als oberhalb des Rotors bei starkem Gegenwind. Mit Abnahme des Gegenwindes nimmt die Wahrscheinlichkeit stark ab und schließlich mit zunehmendem Rückenwind wieder zu. Der Einfluss des Wetterstatus ist eher schwach ausgeprägt. Lediglich bei Nebel ist die Wahrscheinlichkeit deutlich niedriger als bei den anderen Statusvarianten. Schnee/Eisregen war so selten, dass das Glaubwürdigkeitsintervall sehr breit ist.

Die Sichtweite beeinflusst die Höhenverteilung des Vogelzugs (Abb. 19). Bei horizontal und vertikal eingeschränkter Sicht (< 200 m) nimmt die Zugintensität insgesamt und vor allem im untersten Höhenintervall ab.

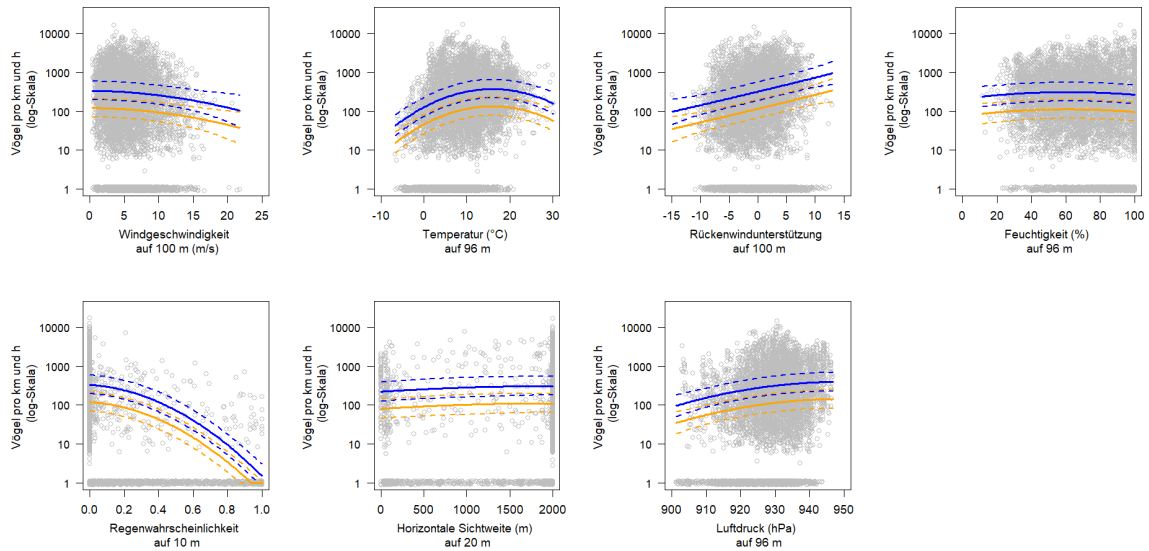


Abb. 13: Effekte der Meteo-Parameter (Messmasten) auf den Vogelzug insgesamt (50 – 1.100 m ü.B.) am Tag (orange) und in der Nacht (blau) vereinigt über die verschiedenen Vogeltypen und Jahre 2019 – 2021. Grau: Datenpunkte, Durchgezogene Linien: Modellschätzungen, Gestrichelte Linien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle. log-Skala = logarithmische Skala.

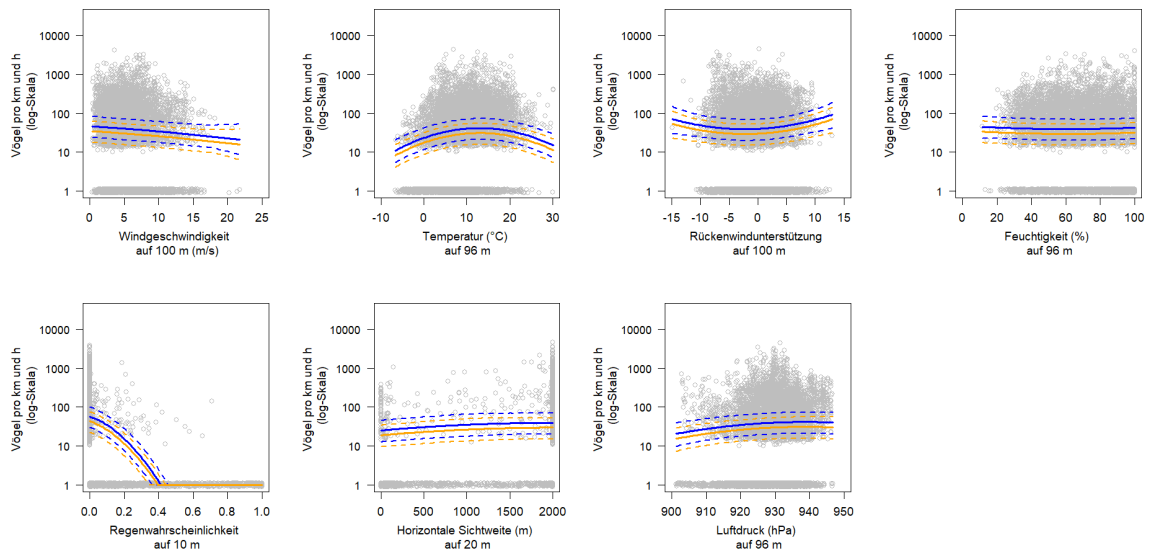


Abb. 14: Effekte der Meteo-Parameter (Messmasten) auf den Vogelzug im Rotorbereich (50 – 120 m ü.B.) am Tag (orange) und in der Nacht (blau) vereinigt über die verschiedenen Vogeltypen und Jahre 2019 – 2021. Grau: Datenpunkte, Durchgezogene Linien: Modellschätzungen, Gestrichelte Linien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle. log-Skala = logarithmische Skala.

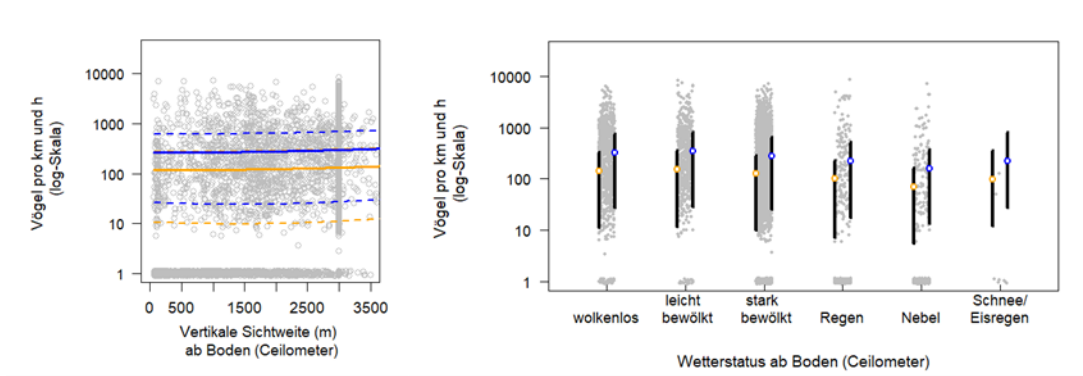


Abb. 15: Effekte der Meteo-Parameter (Ceilometer) auf den Vogelzug insgesamt (50 – 1.100 m ü.B.) am Tag (orange) und in der Nacht (blau) vereinigt über die verschiedenen Vogeltypen und Jahre 2019 – 2021. Grau: Datenpunkte, Durchgezogene Linien/Kreise: Modellschätzungen, Gestrichelte Linien/Schwarze Längslinien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle. log-Skala = logarithmische Skala.

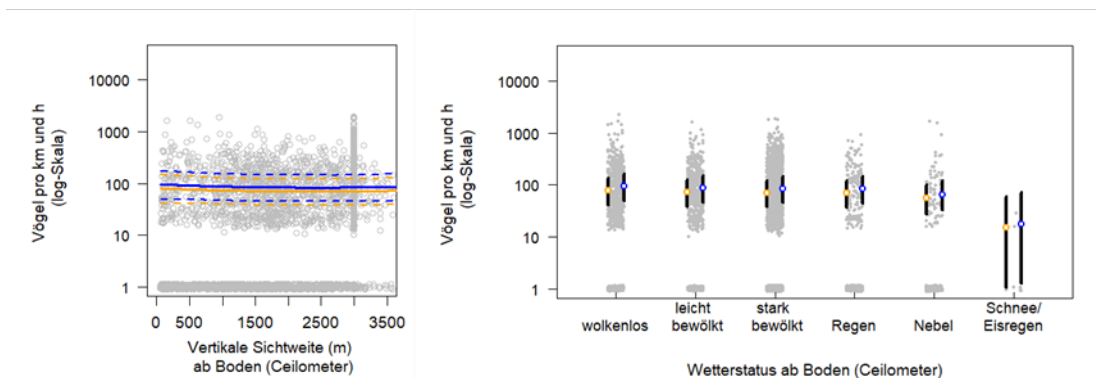


Abb. 16: Effekte der Meteo-Parameter (Ceilometer) auf den Vogelzug im Rotorbereich (50 – 120 m ü.B.) am Tag (orange) und in der Nacht (blau) vereinigt über die verschiedenen Vogeltypen und Jahre 2019 – 2021. Grau: Datenpunkte, Durchgezogene Linien/Kreise: Modellschätzungen, Gestrichelte Linien/Schwarze Längslinien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle. log-Skala = logarithmische Skala.

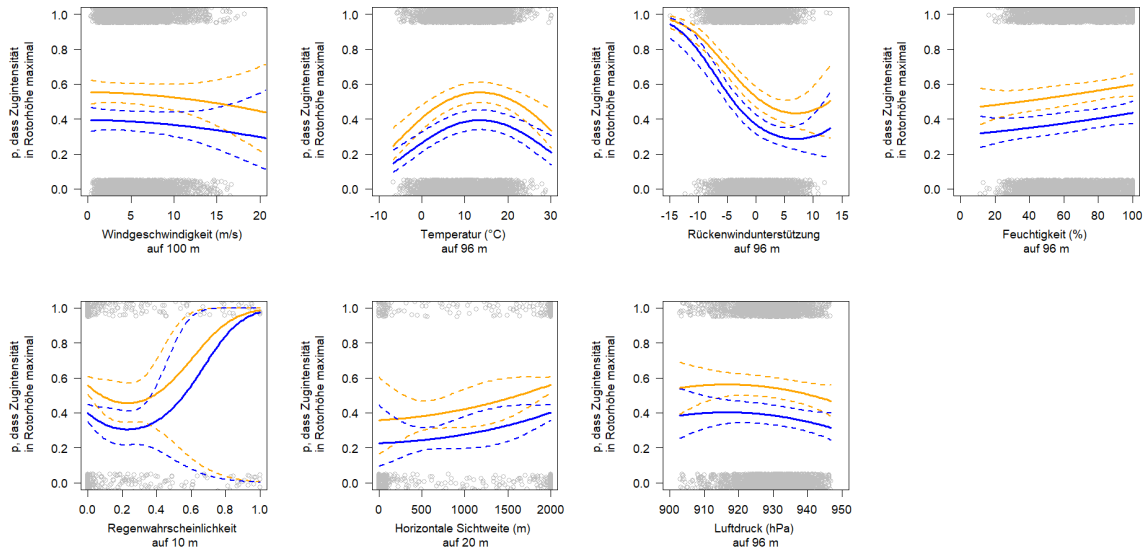


Abb. 17: Effekte der Meteo-Parameter (Messmasten) auf Zugintensität
 Effekte auf die Wahrscheinlichkeit, dass die Zugintensität im Höhenbereich der Rotoren größer ist als in den Höhenintervallen oberhalb der Rotoren am Tag (orange) und in der Nacht (blau) vereinigt über die verschiedenen Vogeltypen und Jahre 2019 – 2021. Grau: Datenpunkte, Durchgezogene Linien: Modellschätzungen, Gestrichelte Linien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle.

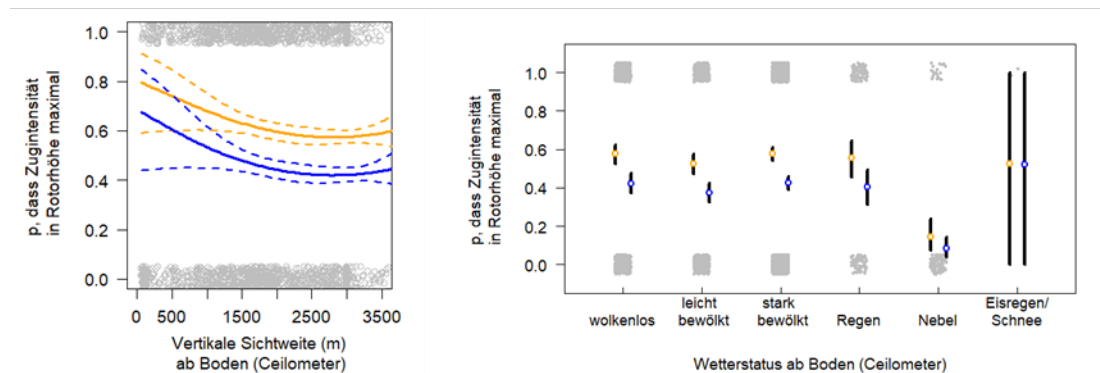


Abb. 18: Effekte der Meteo-Parameter (Ceilometer) auf Zugintensität
 Effekte auf die Wahrscheinlichkeit, dass die Zugintensität im Höhenbereich der Rotoren größer ist als in den Höhenintervallen oberhalb der Rotoren am Tag (orange) und in der Nacht (blau) vereinigt über die verschiedenen Vogeltypen und Jahre 2019 – 2021. Grau: Datenpunkte, Durchgezogene Linien/Kreise: Modellschätzungen, Gestrichelte Linien/Schwarze Längslinien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle.

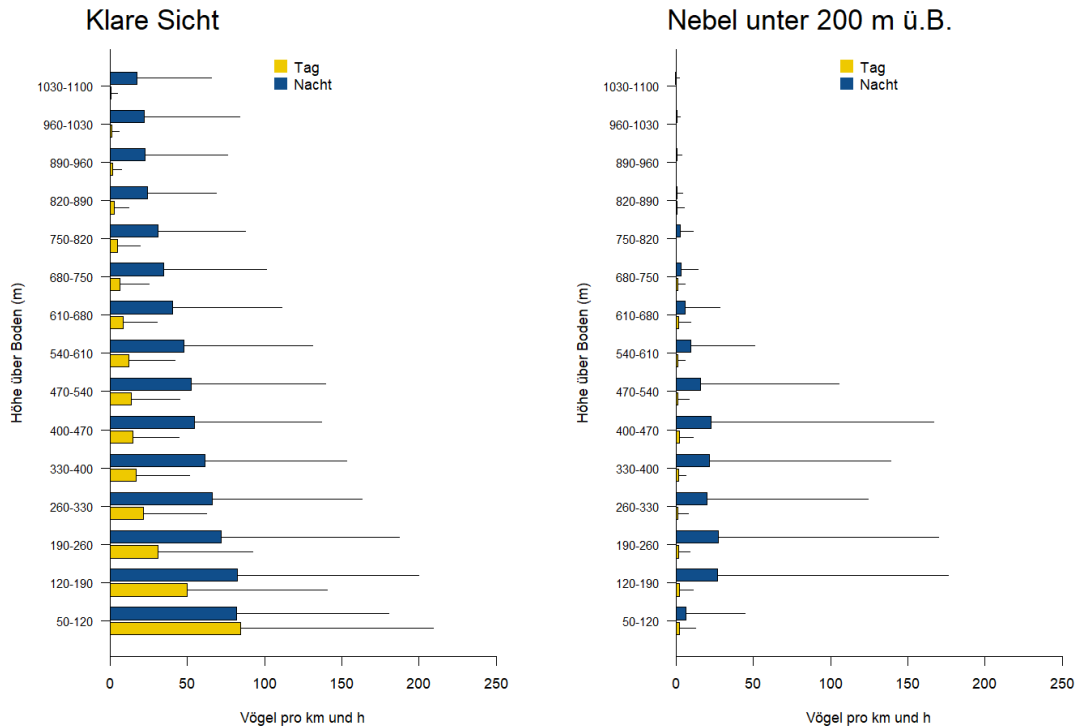


Abb. 19: Höhenverteilung des Vogelzugs bei klarer Sicht und Nebel bei horizontal (2'000 m) und vertikal (3'000 m) klarer Sicht (links) sowie beim Wetterstatus „Nebel“ mit horizontal (<200 m) und vertikal (<200 m) eingeschränkter Sicht (rechts).

3.2.5.6 Ergebnisse: Einfluss meteorologischer Parameter auf Insektenaktivität im Rotorbereich

Zur Untersuchung des Einflusses der meteorologischen Parameter auf die Insektenaktivität wurden die meteorologischen Parameter stündlich gemittelt und mit den stündlich vorliegenden Insektenzahlen pro Höhenintervall verschnitten. Im Jahresverlauf treten gerichtete Bewegungen von Insekten vor allem im Herbst auf (Shi et al. 2021). Deshalb wurde der Datensatz zeitlich in zwei Perioden aufgeteilt (Periode 1 vom 01.01. – 14.08. und Periode 2 vom 15.08. – 15.11.), die getrennt untersucht wurden. Basierend auf diesen Daten wurde die folgende Fragestellung statistisch untersucht:

- Frage 3: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Insektenaktivität im Rotorbereich der Forschungs-WEA?

Zur Analyse wurde dasselbe statistische Modell verwendet wie für die Untersuchung der Zugintensität der Vögel (Funktion „brm“, siehe Kap. 0). Die beiden Perioden wurden dabei getrennt analysiert. Als Zielvariable diente die Anzahl Insekten im Höhenbereich der Forschungs-WEA. Neben den meteorologischen Parametern kamen zusätzlich die kategoriale Variable Tageszeit (Tag, Nacht) zum Einsatz sowie das Datum als zufällige Variable. Für den Datensatz der Herbstperiode wurde anstelle der Windrichtung die Rückenwindunterstützung als Variable ins Modell reingenommen

Im Frühling/Sommer war die Insektenaktivität am Tag größer als in der Nacht, während sich die tägliche und nächtliche Insektenaktivität in der Herbstperiode kaum unterschied (Abb. 20 bis Abb. 23). Die meisten Meteo-Parameter wirkten sich in beiden Perioden ähnlich auf die Insektenaktivität aus. Die Insektenaktivität stieg exponentiell mit zunehmender Temperatur und sank exponentiell mit zunehmender Regenwahrscheinlichkeit. Die meisten Effekte wa-

ren aber sehr schwach ausgeprägt. Der Effekt der Feuchtigkeit auf die Insektenaktivität verlief glockenförmig. Die Insektenaktivität stieg mit zunehmendem Luftdruck und sank mit zunehmender Windgeschwindigkeit. Der Effekt der horizontalen und vertikalen Sichtweite war in der 1. Periode glockenförmig und in der 2. Periode positiv linear. In der 1. Periode war die Insektenaktivität bei NW-Wind größer als bei SO-Wind und in der 2. Periode stieg die Aktivität mit zunehmendem Rückenwind. Bei trockenem Wetter (Wetterstatus 0 – 3) ist die Insektenaktivität größer als bei Regen (= 3) und Nebel (=4). Schnee/Eisregen (=5) war selten und trat nur in Periode 1 auf. Dementsprechend ist die statistische Unsicherheit für diesen Fall groß (= breites Glaubwürdigkeitsintervall).

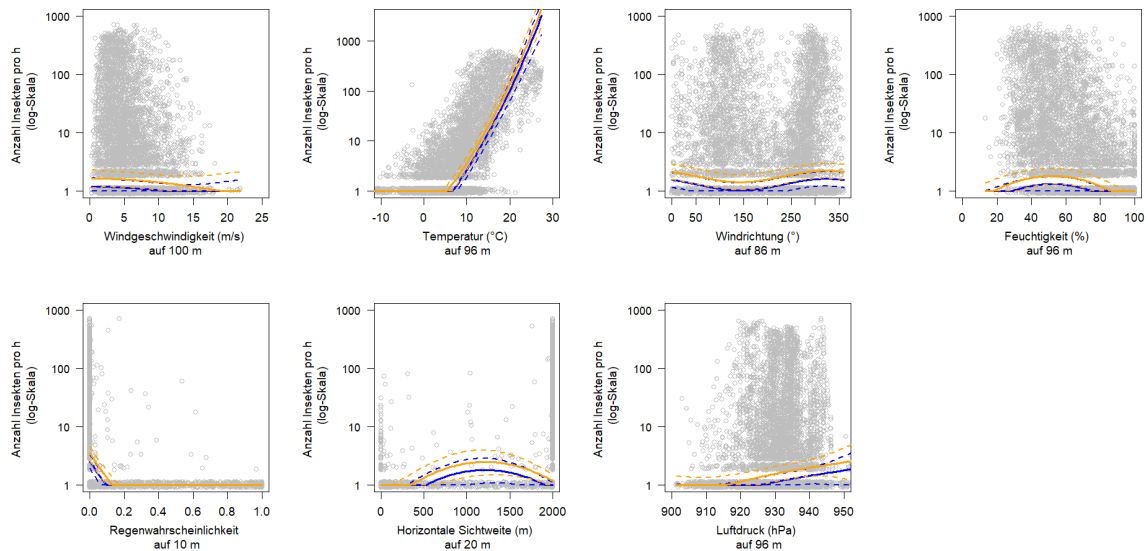


Abb. 20: Einfluss der Meteo-Parameter (Messmasten) auf die Insektenaktivität (Anzahl Echos) im Rotorbereich der Forschungs-WEA während Periode 1 (01.01. – 14.08.) am Tag (orange) und in der Nacht (blau, vom Tag überlagert) vereinigt über die Jahre 2020/2021. Grau: Datenpunkte, Durchgezogene Linien: Modellschätzungen, Gestrichelte Linien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle. log-Skala = logarithmische Skala.

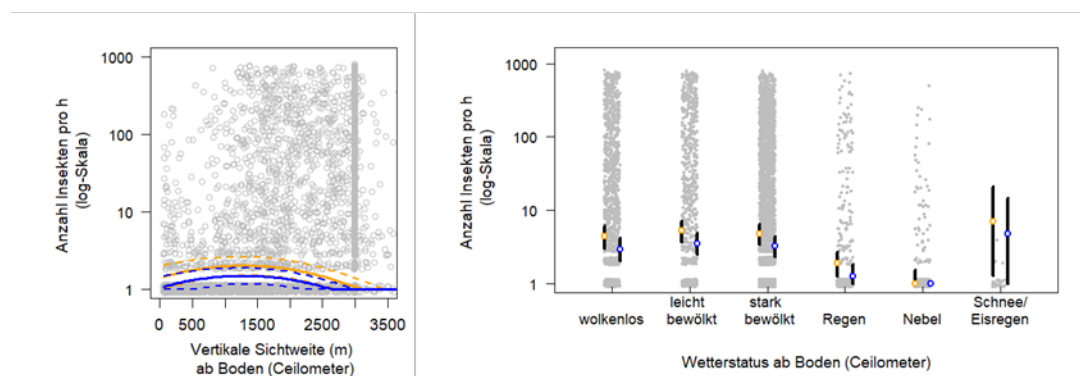


Abb. 21: Einfluss der Meteo-Parameter (Ceilometer) auf die Insektenaktivität (Anzahl Echos) im Rotorbereich der Forschungs-WEA während Periode 1 (01.01. – 14.08.) am Tag (orange) und in der Nacht (blau) vereinigt über die Jahre 2020/2021. Grau: Datenpunkte, Durchgezogene Linien/Kreise: Modellschätzungen, Gestrichelte Linien/Schwarze Längslinien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle. log-Skala = logarithmische Skala.

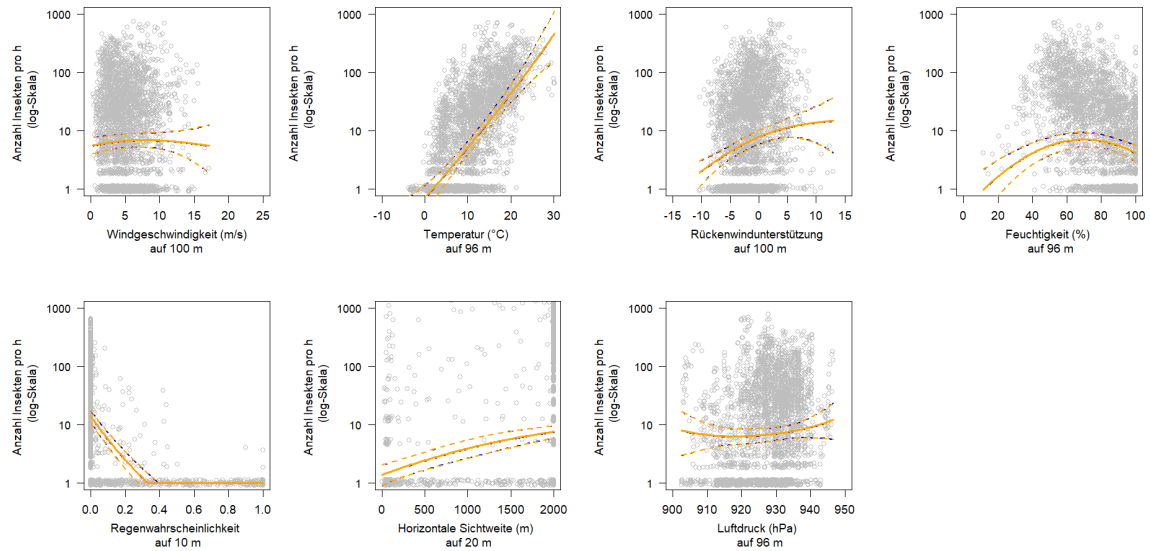


Abb. 22: Einfluss der Meteo-Parameter (Messmasten) auf die Insektenaktivität (Anzahl Echos) im Rotorbereich der Forschungs-WEA während Periode 2 (15.08. – 15.11.) am Tag (orange) und in der Nacht (blau, vom Tag überlagert) vereinigt über die Jahre 2019/2020. Grau: Datenpunkte, Durchgezogene Linien: Modellschätzungen, Gestrichelte Linien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle. log-Skala = logarithmische Skala.

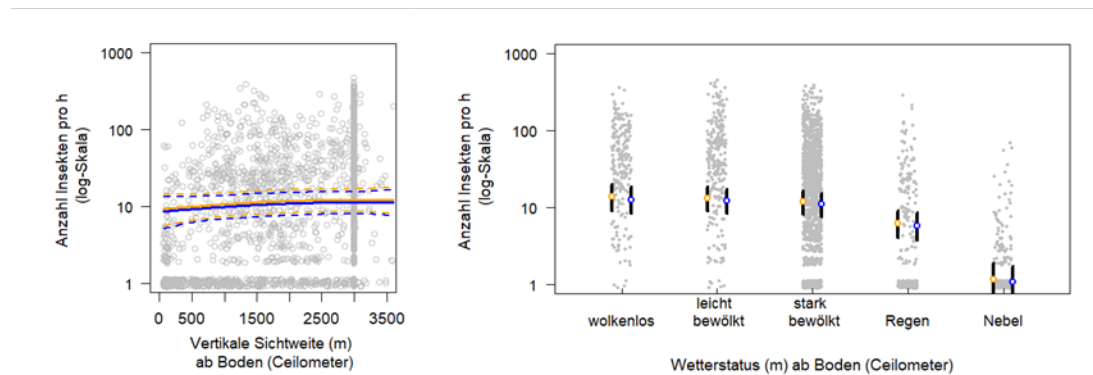


Abb. 23: Einfluss der Meteo-Parameter (Ceilometer) auf die Insektenaktivität (Anzahl Echos) im Rotorbereich der Forschungs-WEA während Periode 2 (15.08. – 15.11.) am Tag (orange) und in der Nacht (blau) vereinigt über die Jahre 2019/2020. Grau: Datenpunkte, Durchgezogene Linien/Kreise: Modellschätzungen, Gestrichelte Linien/Schwarze Längslinien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle. log-Skala = logarithmische Skala.

3.2.6 Diskussion: generelle Flugbewegungen

3.2.6.1 Vogelzugintensität und Kollisionsrisiko

Der Vogelzug verläuft ähnlich einem Fließgewässer in breiter Front und in mehreren Wellen gestaffelt über Europa hinweg (Nilsson et al. 2019, Nussbaumer et al. 2021a). Die topographisch erhöhte Schwäbische Alb ragt in diesen Fluss aus Vögeln hinein. Dementsprechend verläuft der Vogelzug im Projektgebiet räumlich und zeitlich wie auch quantitativ gemäß den Erwartungen für diese Art von topographischen Verhältnissen.

Kleine Singvögel machen wie üblich mit einem Anteil von 50 – 80 % die große Masse des Vogelzugs aus. Im Frühling sind die Zugintensitäten geringer als im Herbst, sowie in der Nacht höher als am Tag. Die Höhenverteilungen von Frühling und Herbst weisen kaum Unterschiede auf. Zeitlich betrachtet zeigt die Flugaktivität der Vögel die üblichen Zu- und Abnahmen der Intensitäten im Verlauf des Frühlings und des Herbsts sowie die wellenartigen Peaks innerhalb der Zugzeiten über alle Höhen betrachtet mit maximalen Werten von 3.000

bis 5.000 Vögel pro km und h. Insofern liegt das Testfeld in einem Gebiet mit einer durchschnittlichen Zugintensität.

Interessant ist der Verlauf des Einflusses der Rückenwindunterstützung bezogen auf alle Höhen sowie auf den Rotorbereich. Der Verlauf bezogen auf alle Höhen zeigt deutlich, dass die totale Zugintensität mit zunehmender Rückwindunterstützung stark zunimmt. Bezogen auf den Höhenbereich der Rotoren ist die Zugintensität bei starkem Gegen- wie auch bei starkem Rückenwind gleich hoch. Das bedeutet, dass Vögel günstige Windverhältnisse bevorzugen und dabei über alle Höhenbereiche verteilt unterwegs sind. Bei ungünstigen Windverhältnissen sind zwar weniger Vögel unterwegs, aber diese konzentrieren sich im untersten Höhenintervall im Bereich der Rotoren. Dieses Ergebnis wird auch von der Analyse der Wahrscheinlichkeit, dass die Zugintensität im Höhenbereich der Rotoren höher ist als in den Höhenintervallen oberhalb der Rotoren, unterstützt. Diese Wahrscheinlichkeit ist bei starkem Gegenwind besonders hoch.

Auch mit vertikal eingeschränkter Sicht, zunehmender Feuchtigkeit und zunehmender Wahrscheinlichkeit für Regen steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Vögel im Bereich der Rotoren der Forschungs-WEA unterwegs sind. Diese Ergebnisse zeigen auf, dass zur Zugzeit bei ungünstigen Wetterverhältnissen zwar weniger Vögel unterwegs sind, aber diese bewegen sich dann tiefer über Boden, was hier dem Höhenbereich der Rotoren der Forschungs-WEA entspricht. In diesen Fällen ist es plausibel anzunehmen, dass dann das Kollisionsrisiko für die ziehenden Vögel erhöht ist.

Zum ersten Mal konnte auch die Sichtweite (horizontal gemessen auf 20 m ü.B. und vertikal) und Messungen von Nebel in Relation zur Zugintensität gesetzt werden. Allerdings ist der Zusammenhang zwischen diesen Meteo-Parametern nicht eindeutig. Situationen, bei welcher das Ceilometer den Wert Nebel ausgibt, kombiniert mit einer horizontalen und vertikalen Sichtweite von weniger als 200 m lassen sich als mit einer bis zum Boden reichenden Nebelsituation interpretieren. Diese Situation hat auf die Höhenverteilung des Vogelzugs insofern einen Einfluss, als der Vogelzug nach oben verschoben wird. Allerdings dürften die wenigen Vögel, die dann im Bereich des Nebels unterwegs sind, einem erhöhten Kollisionsrisiko ausgesetzt sein.

Offen ist nach wie vor die Frage, unter welchen Bedingungen Kollisionsopfer von Kleinvögeln auftreten. Diese Fragestellung wurde auch in den experimentellen Untersuchungsansätzen thematisiert (3.1.5). In Phase 2 könnte die aus AP 4 entwickelte und an den WEA installierte Schlagopferkamera einen Einblick zur Klärung dieser Fragestellung geben.

3.2.6.2 Insektenaktivität

Im Zusammenhang mit dem drastischen Rückgang von Insekten gewinnt die automatische und kontinuierliche Erfassung von Insekten immer mehr an Wichtigkeit (Hallmann et al. 2017, Noskov et al. 2021), da zur räumlichen und zeitlichen Verteilung der Flugaktivität von Insekten bis anhin wenig bekannt ist (Shi et al. 2021). Radarsysteme spielen dabei eine große Rolle. Neben kleinen mobilen Geräten kommen zunehmend auch Wetterradare zur Erfassung der Biomasse von Insekten in Frage (Bauer et al. 2019, Nussbaumer et al. 2021b).

Eine große Frage ist der Einfluss von WEA auf die Insektenaktivität, die wiederum die Flugaktivität von Fledermäusen im Bereich von WEA und damit das Kollisionsrisiko für Fledermäuse beeinflussen könnte. Auch die Kollisionen von Insekten an WEA und ein damit möglicherweise verbundener Rückgang der Insekten wurde bereits diskutiert (Trieb 2018). Trusch et al. (2020) nutzten Insektenfallen, um im Sommer Insekten im Mast- und Gondelbereich einer WEA zu erfassen. Im Gondelbereich, auf 100 m Höhe, waren deutlich weniger Insekten gefangen worden als im Mastbereich. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu den

Ergebnissen aus den Radarmessungen beim Testfeld. Im freien Luftraum oberhalb des Radargerätes sind die Insekten im Frühling/Sommer (Periode 1) zwischen 50 m bis 100 m über Boden sowohl tagsüber wie auch nachts gleichmäßig verteilt. Im Herbst (Periode 2) nimmt die Insektenaktivität ab 50 m bis auf 100 m über Boden sogar zu. Diese Diskrepanz könnte verschiedene Ursachen haben. Einerseits die unterschiedliche Art der Erfassungsmethode und andererseits die Art der Situation, gegeben durch die Präsenz einer vertikalen Struktur. Unter Umständen werden von einer Insektenfalle nicht alle Insektenarten gleich stark angezogen. Dabei könnten die von der Falle angezogenen Insekten räumlich tatsächlich unterschiedlich verteilt sein. Weiter bestehen momentan nur Schätzungen dazu, ab welcher Größe und bis zu welcher Distanz Insekten vom Radar erfasst werden können. Die Erfassung der Insekten im Nahbereich bis auf 100 m über Boden dürfte jedoch nicht von einer abnehmenden Detektionswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Distanz beeinflusst sein. Es ist plausibel anzunehmen, dass die Präsenz einer vertikalen Struktur das Flugverhalten von Insekten beeinflusst. Eine vertikale Struktur könnte je nach Oberfläche Insekten anlocken oder aber auch verscheuchen. Trusch et al. (2020) konnten keine Anlockwirkung der WEA feststellen. Dies erlaubt aber nicht automatisch den Umkehrschluss, dass eine Scheuchwirkung besteht. Denn die Gründe, warum im Bereich der Gondel weniger Insekten gefangen worden sind, können zahlreich sein und müssen nicht unbedingt mit der WEA zu tun haben.

Während einer Nacht fingen Trusch et al. (2020) ausnahmsweise auch im Bereich der Gondel überdurchschnittlich viele Insekten. Die Autoren kommen zum Schluss, dass die Windgeschwindigkeit mit diesem Phänomen zusammenhängen dürfte. In jener Nacht war die Windgeschwindigkeit deutlich tiefer als in den anderen Nächten. Beim Testfeld zeigte sich ebenfalls die Tendenz, dass die Insektenaktivität mit zunehmender Windgeschwindigkeit sank.

Insgesamt waren die meisten Effekte der Meteo-Parameter auf die Insektenaktivität eher schwach. Die Richtungen der Effekte entsprachen aber den Erwartungen. Je schöner das Wetter ist (warm, trocken, weite Sicht), umso mehr Insekten sind aktiv und je schlechter das Wetter ist (kalt, nass, eingeschränkte Sicht), umso weniger Insekten sind aktiv.

Die Einteilung der Insektenaktivität auf 2 Perioden wurde aufgrund der Ergebnisse von Shi et al. (2021) vorgenommen. Die Autoren hatten das Auftreten nächtlicher Insektenaktivität und gerichteter Bewegungen vor allem im Herbst festgestellt, was auf ziehende Insekten hindeutet. Dementsprechend wurde in die statistische Untersuchung anstelle der Windrichtung die Rückenwindunterstützung bezüglich der Hauptzugrichtung einbezogen. Tatsächlich wird die Insektenaktivität im Herbst (Periode 2) von der Rückenwindunterstützung positiv beeinflusst. Man geht davon aus, dass sich ziehende Insekten vom Wind tragen lassen und weniger aktiv in eine Richtung fliegen. Daher macht es Sinn, dass Insekten vor allem dann ziehen, wenn die Windrichtung günstig ist.

Da bis anhin keine vergleichbaren Studien vorgenommen worden sind, haben diese Analysen einen explorativen Charakter und liefern erste Erkenntnisse zur räumlichen und zeitlichen Verteilung der Insektenaktivität im Zusammenhang mit Meteo-Parametern. Offen ist die Verknüpfung dieser Daten mit der Fledermausaktivität aus AP 3 und den Insektenerfassungen mittels Lichtfallen aus AP 5, was einen weiteren Erkenntnisgewinn bringen dürfte.

3.2.6.3 Fledermausaktivität

In den Radardaten sind mit Sicherheit auch Flugbewegungen von Fledermäusen enthalten. Diese lassen sich zurzeit aber noch nicht mit Sicherheit herausfiltern, da der Klassierungsalgorithmus noch nicht mit genügend Referenzdaten von Fledermäusen trainiert werden konnte. Hilfreich könnte hier die in AP 5 erfasste Fledermausaktivität sein. So könnte man

die Radarechos in Nächten mit hoher Fledermausaktivität prüfen und mögliche Referenzdaten identifizieren.

3.2.6.4 Fazit: generelle Flugaktivität Phase 1

- Das Testfeld liegt in einem Gebiet mit einer durchschnittlichen Vogelzugintensität. Der saisonale Verlauf, die Flugrichtungen, die Zusammensetzung und Höhenverteilung des Vogelzugs entsprechen hinsichtlich Topographie und geografischer Lage den Erwartungen.
- Im Höhenbereich des Rotors der zukünftigen Forschungs-WEA ziehen zur Hauptzugzeit rund 22% der Vögel und im Höhenbereich des Rotors einer WEA Modell Vestas V112 rund 30% der Vögel.
- Bei ungünstigen Wetterbedingungen (Gegenwind und/oder Regen) sind insgesamt weniger Vögel unterwegs, diese ziehen dann aber eher tief und damit im Höhenbereich der Rotoren. Für solche Vögel dürfte das Kollisionsrisiko erhöht sein.
- In Situationen mit Nebel bis zum Boden (horizontale und vertikale Sichtweite weniger als 200 m) sind insgesamt weniger Vögel unterwegs und der Vogelzug verschiebt sich in größere Höhen. Vögel, die dann im Bereich des Nebels unterwegs sind, dürften einem erhöhten Kollisionsrisiko ausgesetzt sein.
- Im freien Luftraum oberhalb des Radargerätes ist zwischen 50 m bis 100 m über Boden mit zunehmender Höhe keine Abnahme der Insektenaktivität ersichtlich.
- Mit Ausnahme der Temperatur waren die Effekte der Meteo-Parameter auf die Insektenaktivität eher schwach. Die Richtungen der Effekte entsprachen aber den Erwartungen. Je schöner das Wetter ist (warm, trocken, weite Sicht), umso mehr Insekten sind aktiv und je schlechter das Wetter ist (kalt, nass, eingeschränkte Sicht), umso weniger Insekten sind aktiv.
- Die vorliegende Studie liefert erste Erkenntnisse zur räumlichen und zeitlichen Verteilung der Insektenaktivität im Zusammenhang mit Meteo-Parametern.

3.3 Laser-Range-Finder Untersuchungen

Hauptziel der LRF-Untersuchungen der Phase 1 ist die Erfassung des Ist-Zustands der Raumnutzung windkraftrelevanter Greifvogelarten (v.a. individuelle Flugbewegungen des Rotmilans) im Gebiet des Testfelds vor der Errichtung der WEA. Im vorliegenden Kapitel 3.3.5 werden die Erfassungsmethode, die Datengrundlagen sowie die Raumnutzung vorgestellt. Die Ergebnisse zu Flughöhen, Fluggeschwindigkeiten usw. werden zusammen mit den Ergebnissen aus den telemetrischen Erfassungen in einem Kapitel (Kap. 3.5 Individuelle Flugbewegungen (LRF- und GPS) und Einfluss meteorologische Parameter) erläutert.

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass in einem weiteren Arbeitspaket des Vorhabens, auf das in diesem Skript aber nicht im Detail eingegangen wird, verschiedene Kartierungen windkraftrelevanter Vogelarten im Testfeldgebiet durchgeführt wurden. Diese waren so angelegt, dass die entsprechenden Voruntersuchungen im Rahmen des immissionschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens für das Testfeld insbesondere für die Forschung relevante Arten betreffend – im Fokus stand hier insbesondere der Rotmilan – über mehrere Jahre fortgeführt wurden. So konnten Änderungen, die unabhängig von der späteren Errichtung der Windenergieanlagen geschehen, bereits nachverfolgt werden.

Im Kern konnte durch diese Kartierungen im Rahmen entsprechender Hortsuchen und –kontrollen festgestellt werden, dass regelmäßig 3-4 Rotmilanpaare im 2-km-Radius um die Windenergieanlagen des Testfelds brüteten. Diese vergleichsweise hohe Revierdichte ist die wesentliche Grundlage für die im Folgenden beschriebenen erfolgreichen Untersuchungen mit LRF sowie Telemetrie.

3.3.1 Beschreibung Methode LRF und Datenbereinigung

Die Sichtbeobachtungen erfolgen mit einem Laser-Range-Finder Vector 21 Aero (LRF). Mit dem auf einem Stativ befestigten LRF werden die Flugbewegungen von Vögeln verfolgt, welche im Gebiet unterwegs sind (Abb. 24). Gemessen werden Distanz, Azimut und Elevation zu einem Objekt relativ zum Beobachtungsstandort. Basierend auf diesen Daten kann die Punktposition eines Objekts mit x-, y- und z-Koordinaten berechnet werden. Durch die Verbindung mehrerer solcher Punktpositionen ergeben sich dreidimensionale Flugwege (Abb. 25).

Die Sichtbeobachtungen wurden mit zwei Personen durchgeführt. Eine Person verfolgte einen Vogel mit dem LRF und sammelte per Knopfdruck Punktpositionsdaten, die auf dem Laptop visualisiert und gespeichert wurden. Abhängig vom Flugverhalten und der Distanz zum Vogel kann in den meisten Fällen alle 2 - 8 Sekunden eine Punktposition gespeichert werden. Die zweite Person hilft beim Auffinden der Vögel und ist am Laptop für die Eingabe von Zusatzinformationen wie Vogelart und Flugverhalten zuständig.

Um die Verlässlichkeit der LRF-Messungen zu überprüfen, werden an jedem Beobachtungstag Kalibrierungsmessungen vorgenommen, indem Objekte bekannter Höhe und Position angepeilt werden (z.B. Spitze Meteomasten). Während der Verfolgung von Vögeln mittels LRF kommt es manchmal vor, dass der Laser nicht den Vogel, sondern ein Objekt im Vorder- oder Hintergrund trifft (z.B. Spannseile der Meteomasten, Stromleitungen, Rotorblätter von WEA). Deshalb müssen die Plausibilität der Flugwege überprüft und die Daten bereinigt werden (z.B. anhand der Fluggeschwindigkeit zwischen zwei Punkten).

a)



b)



Abb. 24: Sichtbeobachtungen im Bereich des Testfelds (a) mittels Laser-Range-Finder (LRF, b). Im Holzkasten befindet sich der Laptop zur digitalen Speicherung der Daten.

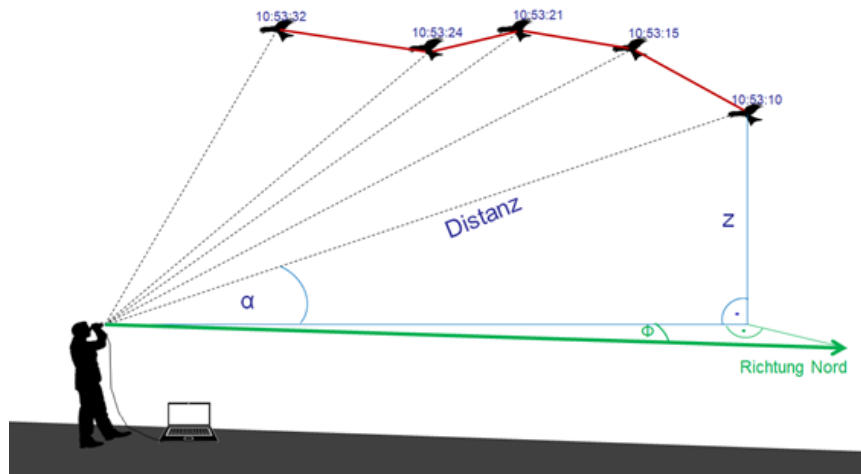


Abb. 25: Illustration der Messmethodik mit dem Laser-Range-Finder (α =Elevation, ϕ =Azimut).

3.3.2 Datengrundlagen LRF

Im Jahr 2019 belaufen sich die geleisteten Beobachtungsstunden total auf 120 h und verteilen sich auf 32 Termine vom 25.03.2019 bis 22.10.2019. Bis zum 15.09.2019 wurden in erster Priorität Flugbewegungen von Rotmilanen erfasst. Ab dem 16.09.2019 lief der Test des Detektionssystems Bioseco (siehe AP 2.5). In diesem Zeitraum wurden auch Flugwege anderer Vogelarten aufgenommen, die sich im Umkreis von 500 m um das Detektionssystem aufhielten. Dabei handelte es sich vorwiegend um die Arten Mäusebussard und Turmfalke. Ab und zu konnten auch Flugbewegungen von Wanderfalke, Sperber oder Habicht erfasst werden. Insgesamt sind vom Rotmilan rund 11'000 Lokalisationen gesammelt worden, die 517 Flugwege ergaben (Abb. 26).

Im Jahr 2020 erfolgten die LRF-Beobachtungen im Rahmen des Tests des automatischen Vogeldetektionssystems IdentiFlight® (siehe AP 2.5) während 9 Terminen für Total 32 h zwischen dem 20.04.2020 bis 18.05.2020. Mit wenigen Ausnahmen (Schwarzmilan, durchziehende Rohrweihen) sind hauptsächlich Flugbewegungen von Rotmilanen erfasst worden. Nach den Erfassungen im Rahmen des Tests sind während weiteren 10 Terminen vom 03.08.2020 – 31.08.2020 über Total 36 h zusätzliche Daten von Flugbewegungen gesammelt worden. So kamen vom Rotmilan für das Jahr 2020 rund 9'000 Lokalisationen zusammen, die zu 377 Flugwegen zusammengesetzt werden konnten (Abb. 27).

Im Jahr 2021 wurden mit dem LRF vom 23.03.2021 bis 28.06.2021 an 14 Terminen über 37 h rund 3.500 Lokalisationen von Rotmilanen gesammelt. Diese konnten zu 169 Flugwegen zusammengesetzt werden (Abb. 28).

Für die Analysen in Phase 1 standen vom Rotmilan somit rund 1'000 Flugwege bestehend aus ca. 23'500 einzelnen Punktlokalisationen zur Verfügung. Auf dem Plateau der Schwäbischen Alb im Umkreis von 2 km um das Testfeld lagen rund 19'000 Lokalisationen. Zur Standardisierung des Datensatzes wurde jeweils maximal ein Wert pro Minute verwendet (1-min Datensatz), woraus ein Datensatz aus rund 3'300 Lokalisationen resultierte.

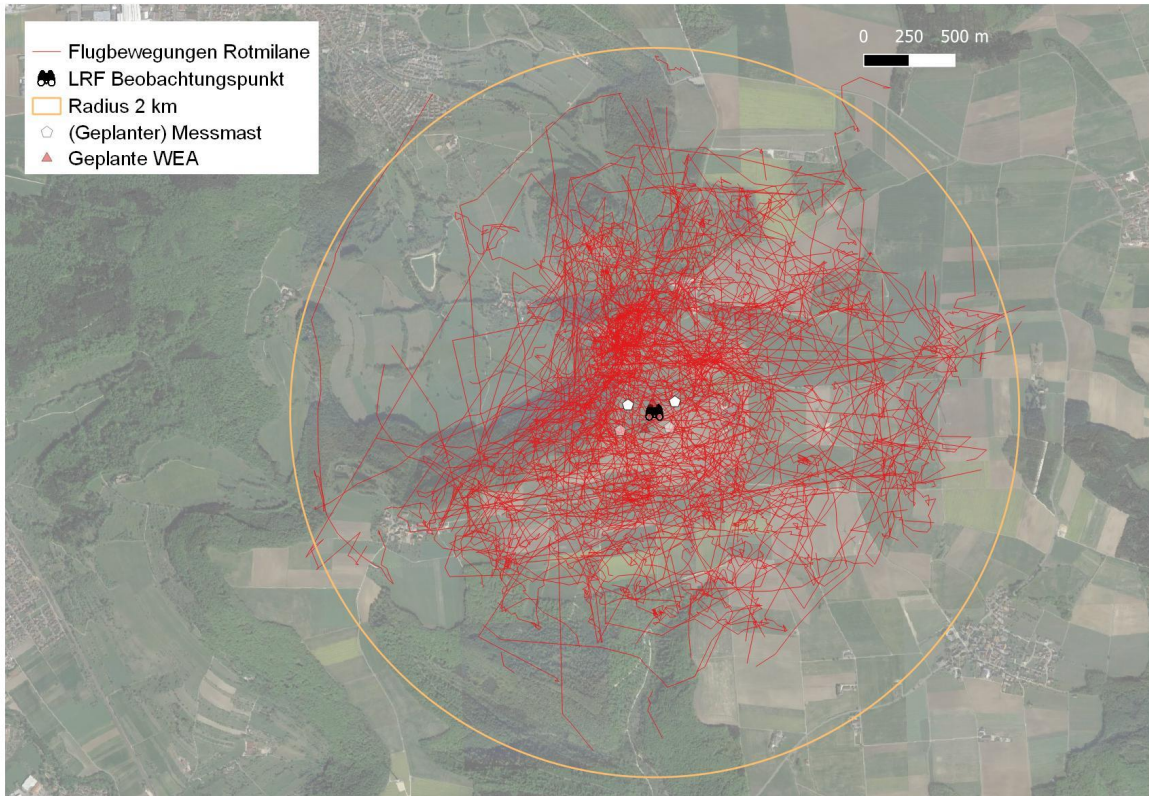


Abb. 26: Mittels LRF erfasste Flugbewegungen von Rotmilanen im Jahr 2019.
(Quelle Luftbild: Google Satellite).

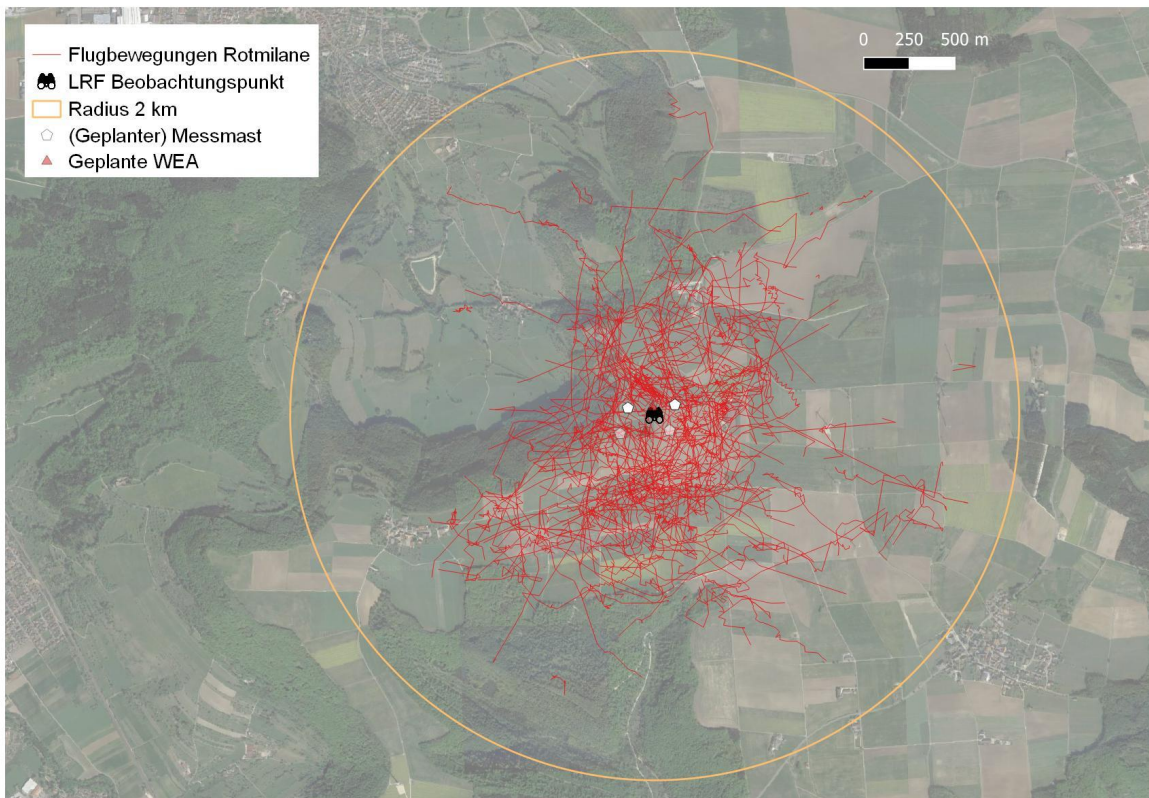


Abb. 27: Mittels LRF erfasste Flugbewegungen von Rotmilanen im Jahr 2020.
(Quelle Luftbild: Google Satellite).

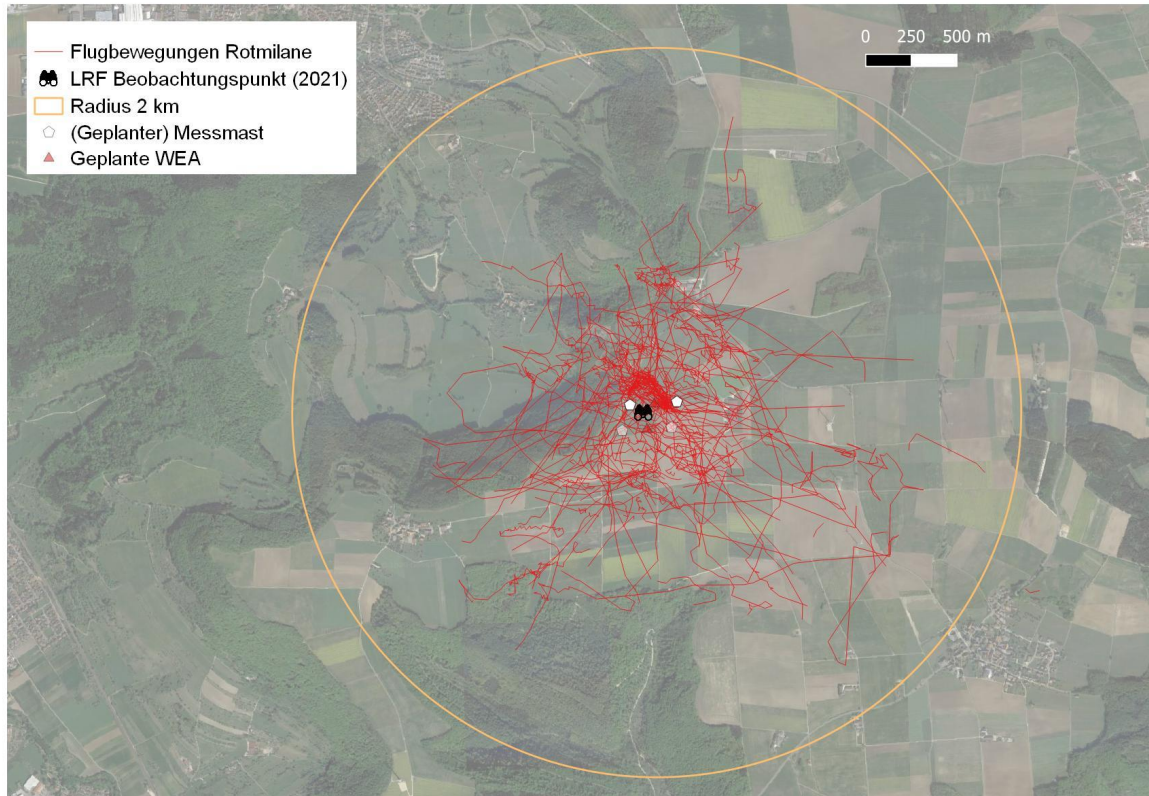


Abb. 28: Mittels LRF erfasste Flugbewegungen von Rotmilanen im Jahr 2021 (bis 28.06.2021).
(Quelle Luftbild: Google Satellite).

3.3.3 Raumnutzung basierend auf LRF-Daten

Die LRF-Daten repräsentieren Positionsdaten von Rotmilanen im Flug. Zur Visualisierung der Raumnutzung im Gebiet des Testfelds wurden die LRF-Datensätze über alle Jahre vereinigt, auf das Plateau der Schwäbischen Alb im Umkreis von 2 km um das Testfeld beschränkt und standardisiert (1-min Datensatz).

Fliegende Rotmilane nutzten im Bereich des Testfelds den ganzen Raum (Abb. 29). Besonders häufig bewegten sie sich aber entlang des Waldes/Albtraufs und unmittelbar nördlich des Testfelds. Da sich ein besetzter Rotmilanhorst in unmittelbarer Nähe des Testfelds befand, dürften viele Flugbewegungen, die der Raumnutzung zu Grund liegen, von diesem Rotmilanpaar stammen.

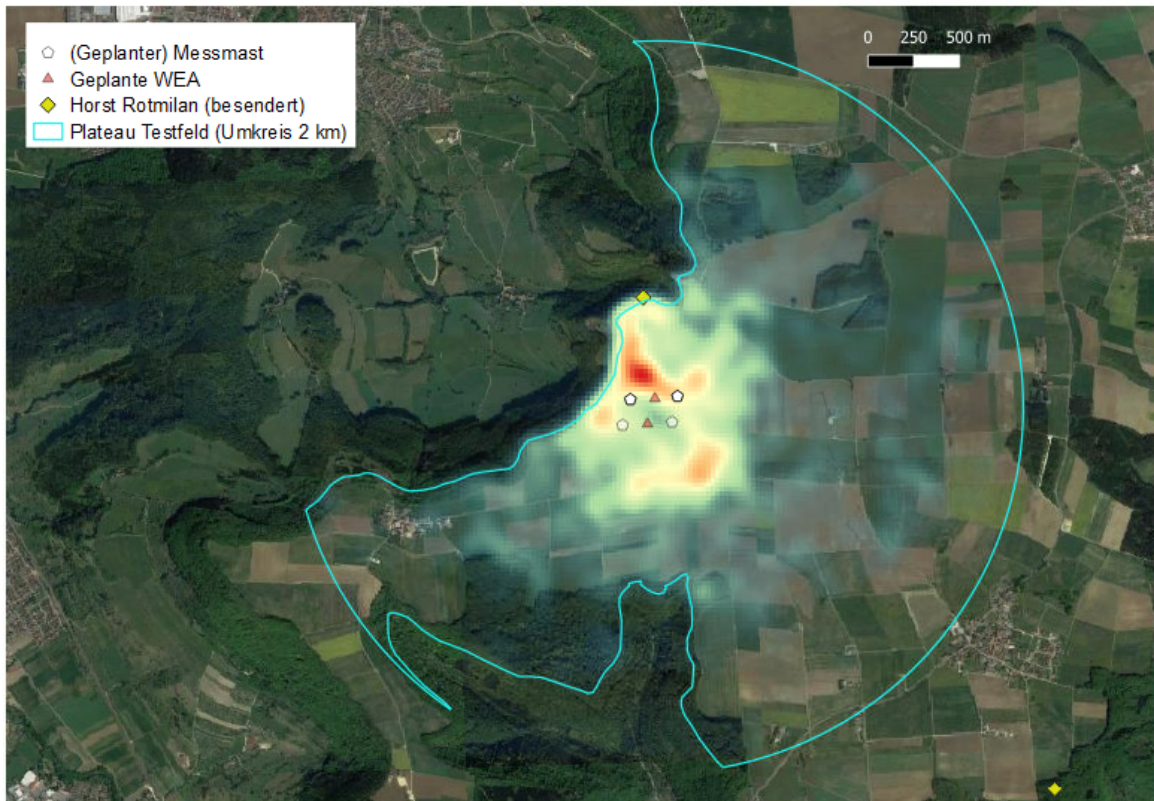


Abb. 29: Heatmap der mit LRF auf dem Plateau des Testfelds erfassten Positionsdaten (1-min Datensatz) von 2019 – 2021. Je rötter, umso mehr Positionsdaten häufen sich an einem Ort. Kriterien für die Erstellung der Karte: Radius 15 Pixel, Skalierung 1:22'000, (Quelle Luftbild: Google Satellite).

3.4 Telemetrie

Hauptziel der telemetrischen Untersuchungen der Phase 1 war die Erhebung von individuellen Flugbewegungen von Rotmilanen zur Erfassung des Ist-Zustands der Raumnutzung im Gebiet des Testfelds vor der Errichtung der WEA. Im vorliegenden Kapitel 3.4 werden die Fangmethoden, die Erfassungsmethode, die Datengrundlagen sowie die Raumnutzung vorgestellt. Die Ergebnisse zur Raumnutzung werden zusammen mit den Ergebnissen aus den Erfassungen mittels Laser-Range-Finder in einem Kapitel (Kap. 3.5 Individuelle Flugbewegungen (LRF- und GPS) und Einfluss meteorologische Parameter) erläutert.

3.4.1 Fangmethoden

Die ersten Fangversuche zur Besenderung der Rotmilane wurden im Frühling 2018 unter der Federführung der Vogelwarte Radolfzell unternommen, die im ganzen Land Baden-Württemberg im Rahmen eines Projekts der LUBW bereits erfolgreich tätig war. Nachdem diese Fangversuche erfolglos blieben, entschied die Schweizerische Vogelwarte, die Fangmethode 2019 abzuändern. Dabei wurde auf eine Methode gesetzt, die sich in der Schweiz im Rahmen eines groß angelegten Forschungsprojekts als besonders erfolgreich erwiesen hatte (Mühlemann 2016). Bei dieser Methode wird zur Anlockung der Rotmilane ein lebender Uhu eingesetzt, welcher zur Brutzeit in der Nähe des Horstes bei einem Fangnetz (Do Ghaza Netz, Größe: 6 m x 4 m) platziert wird (Abb. 30). Die Rotmilane versuchen den Uhu mit Scheingriffen im Sturzflug zu vertreiben und verfangen sich dabei im Netz. Mit dieser Methode konnte am 06.06.2019 ein Rotmilan (Männchen, 180909 „Donzi“) gefangen und be-

sendert werden. Gleichzeitig war im Projektgebiet ein weiterer Rotmilan unterwegs (Männchen, 180810 „Franzl“), der im Rahmen des Projekts der LUBW am 20.05.2019 besendert worden war.

Im Jahr 2020 sind mit derselben Methodik weitere Fangversuche unternommen worden, die jedoch allesamt erfolglos blieben. Für das Jahr 2021 wurde zur Vergrößerung der Erfolgchancen zusätzlich zur Methode mit dem lebenden Uhu eine weitere Fangmethode beantragt und genehmigt. Dabei handelt es sich um eine Käfigfalle („Nordische Krähenfalle“) die zur Anlockung der Vögel mit Fleisch als Köder bestückt wird (Abb. 31). Die Vögel gelangen über eine mittels Sensors gesteuerte Falltür auf einer Seitenwand oder über einen Spalt im Dach der Falle hinein, können diese selbständig aber nicht mehr verlassen. Mit den beiden Fangmethoden konnte 2021 je ein Rotmilan besendert werden. Das Weibchen 191777 („Lise“) wurde am 02.07.2021 mittels Netz und Uhu und das Weibchen 180913 („Lotta“) am 07.07.2021 in der Käfigfalle gefangen.



Abb. 30: Fanganlage mit Uhu und Fangnetz (Juni 2019, J. Aschwanden).



Abb. 31: Rotmilan in Käfigfalle (07.07.2021).

3.4.2 Befestigung und Einstellungen GPS-Sender

Der 25 g schwere GPS-Sender des Typs OrniTrack® E25B 3G wurde mittels Rucksackbefestigung am Vogel angebracht (Abb. 32). Der Sender hat ein Solarpanel und wird unter sonnigen Witterungsverhältnissen immer wieder aufgeladen. Der Sender ist so eingestellt, dass die gespeicherten Daten per GSM einmal pro Tag auf die Webplattform der Firma Ornitela hochgeladen werden. Von dort aus können die Daten vom Nutzer in verschiedenen Datenformaten (.csv, .gpx, .kml, .kmz) und für ausgewählte Zeitfenster heruntergeladen werden. Die GPS-Daten werden auch direkt auf der Webplattform Movebank for animal tracking data gespeichert, die vom Max Planck Institute of Animal Behavior, dem North Carolina Museum of Natural Sciences und der Universität Konstanz koordiniert wird. Mittels Geofence-Funktion wurde der GPS-Sender in Abhängigkeit des Batterieladestatus so programmiert, dass dieser im unmittelbaren Bereich des Testfelds eine höhere Datenaufnahmefrequenz hat als in einem weiter entfernten Umkreis um das Testfeld (Abb. 33 und Tab. 4).



Abb. 32: GPS-Sender 180909 auf dem Rücken des Rotmilans „Donzi“. a) bei der Besenderung am 06.06.2019 (J. Aschwanden), b) und c) im Flug am 20.04.2020 (Kamerasystem IdentiFlight).

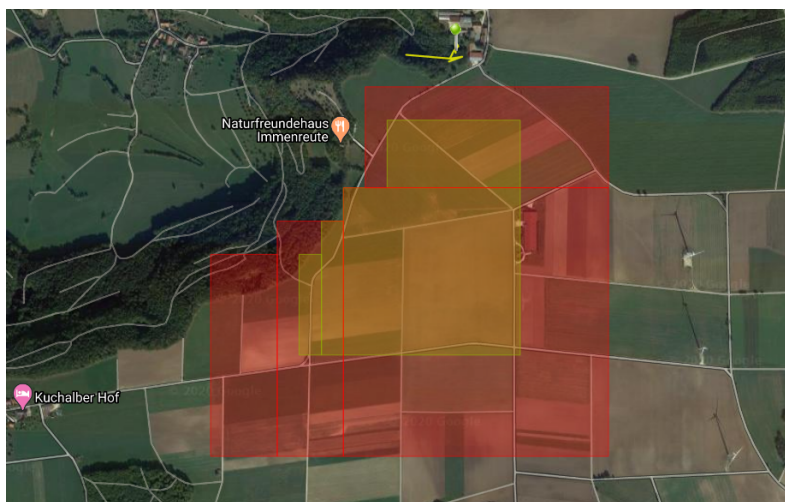


Abb. 33: Innerer (grün überlagert mit rot) und äußerer (rot) Geofence auf dem Gebiet des Testfelds für den GPS-Sender 180909 (Erläuterungen s. Text und Tab. 4, Quelle Luftbild: Google Satellite).

Tab. 4: Einstellungen Datenaufnahmefrequenz in Abhängigkeit des Batterieladestatus des Senders 180909.

Batterieladestatus	Ausserhalb Geofence	Innerer Geofence	Äusserer Geofence
75 – 100%	2 min	5 s	10 s
50 – 75%	5 min	10 s	20 s
25 – 50%	10 min	30 s	60 s
< 25%	30 min	30 min	30 min

3.4.3 Datengrundlagen GPS und Datenselektion

3.4.3.1 Datengrundlagen GPS

Die GPS-Daten der Phase 1 stammen hauptsächlich von den zwei männlichen, 2019 besenderten Rotmilanen (Tab. 5). Im November 2019 sind beide Vögel nach Spanien gezogen und im Februar 2020 wieder zu ihren Horsten auf der Schwäbischen Alb zurückgekehrt. Auch 2021 verließen beide Vögel im November das Brutgebiet, wobei 180909 („Donzi“) kurz darauf in Frankreich nahe der Schweizer Grenze am 14.11.2020 ums Leben kam (Todesursache

unbekannt). Der Vogel wurde nach seinem Tod samt Sender mit größter Wahrscheinlichkeit von einem Fuchs ca. 1 km verschoben, der Sender konnte schließlich vor einem Fuchsbau geborgen werden. 180810 („Franzl“) kehrte im Februar 2021 wieder an seinen angestammten Platz zurück. Im Juli 2021 konnten zwei adulte, weibliche Rotmilane besendert werden (191777 „Lise“ und 180913 „Lotta“).

Tab. 5: Zeiträume Datengrundlagen im Brutgebiet pro besendertem Rotmilan.

Individuum	2019	2020	2021
180810 („Franzl“)	19.05.2019 – 14.11.2019	18.02.2020 – 20.11.2020	20.02.2021 – 30.06.2021
180909 („Donzi“)	06.06.2019 – 10.11.2019	18.02.2020 – 10.11.2020	-
191777 („Lise“)	-	-	Ab 02.07.2021
180913 („Lotta“)	-	-	Ab 07.07.2021

3.4.3.2 Datenselektion plausible Ortungen

Mit GPS bestimmte Positionen sind bekannterweise auf der horizontalen x-y-Ebene und insbesondere auf der vertikalen z-Ebene (Höhe) einer Ungenauigkeit unterworfen (Fischer et al. 2018, Liu et al. 2018, Poessel et al. 2018, Péron et al. 2020). Die Auswahl der plausiblen Daten ist dementsprechend nicht trivial. Die Genauigkeit einer GPS-Ortung hängt unter anderem von der Anzahl verfügbarer Satelliten (je mehr umso besser) wie auch von der geometrischen Anordnung (Konstellation) dieser Satelliten bezüglich des besenderten Tieres ab. Ein Maß für die Qualität der Satellitenkonstellation, die bei einer Ortung vorlag, ist der HDOP-Wert (= Horizontal Dilution of Precision), der von vielen GPS-Sendern zu jeder Position abgespeichert wird. Bei Fischer et al. (2018) ist zu lesen, dass die HDOP-Werte von <1 bis >20 liegen können, wobei >1 als ideal gilt und >20 als „schlecht“. Poessel et al. (2018) geben an, dass sich das Ausmaß und die Streuung des Messfehlers bei Punktpositionen mit einem HDOP-Wert >10 deutlich von demjenigen von Punktpositionen mit einem HDOP-Wert von <4 unterscheidet. In unserem Fall liegen die meisten HDOP-Werte bei ≤ 2) und in den meisten Fällen sind an den Ortungen ≥ 4 Satelliten beteiligt gewesen. Aufgrund dieser Werte haben wir uns für folgende Datenselektion entschieden: HDOP ≤ 2 und Anzahl Satelliten ≥ 4 .

3.4.3.3 Korrektur Flughöhe und Flughöhe über Boden

Die mittels Altimeter bestimmten Flughöhen wurden mit den lokalen Luftdruckwerten korrigiert [(Höhenkorrektur in m = Luftdruck in Standardatmosphäre im Testfeld – lokaler Luftdruck im Testfeld) *8,67]. Alle Auswertungen bezüglich Flughöhe beruhen auf Werten, die auf diese Art und Weise korrigiert worden sind. Zur Bestimmung der Flughöhe über Boden wurden die GPS-Positionen mit einem digitalen Geländemodell (Auflösung 5 m) des Gebietes verschnitten. Dabei wurde für jede Lokalisation die Bodenhöhe in m ü.M. von der korrigierten Flughöhe in m ü.M. subtrahiert. Selbst nach der barometrischen Korrektur treten immer wieder Flughöhen auf, die leicht unterirdisch liegen. Für statistische Analysen wurden negative Werte auf 1 m ü.B. gesetzt.

3.4.3.4 Datenselektion Ortungen im Flug

Die Ungenauigkeit der GPS-Daten bewirkt auch, dass die Entscheidung, ob ein besendertes Tier stationär war oder sich in Bewegungen befunden hat, schwierig ist. So weisen Punktpositionen, wo ein Tier in Wahrheit stationär war, oftmals eine Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung auf. Poessel et al. (2018) betonen, dass es keine perfekte Methode gibt, um den GPS-Positionen eindeutig eine Verhaltensweise des Tieres zuzuordnen. Man solle die

biologischen Gegebenheiten berücksichtigen und die Selektion nicht nur auf einem Parameter abstützen. Eine von Poessel et al. (2018) vorgeschlagene Methode, die mehrfach in wissenschaftlichen Studien verwendet worden ist, ist die Selektion von Flugpositionsdaten aufgrund der Geschwindigkeit in Kombination mit der Höhe über Boden. In unserem Studiengebiet sitzen Rotmilane oft auf Bäumen oder 11 m hohen Stromleitungsmasten. In unserem Fall haben wir dementsprechend entschieden, dass sich ein Rotmilan NICHT im Flug befindet, wenn die Geschwindigkeit <10 km/h und gleichzeitig die Höhe über Boden <30 m betragen. Außerdem haben wir Positionen mit Geschwindigkeitswerten ≥ 120 km/h ausgeschlossen.

3.4.3.5 Erstellung Flugwege und standardisierter Datensatz

Aus den einzelnen Punktpositionsdaten wurden zusammenhängende Flugwege erstellt. Ein Flugweg galt als abgeschlossen, wenn mindestens eine Punktposition folgte, die als „stationär“ gewertet worden ist oder wenn die Zeitdifferenz zur nächsten Punktposition zu groß war. Als minimale Zeitdifferenz wurden 2 min gewählt, da außerhalb des Geofences die minimal mögliche Auflösung der Daten 2 min betrug. Basierend auf diesen Kriterien konnten im Projektgebiet für Phase 1 rund 2.800 Flugwege erstellt werden.

Zur Standardisierung des Datensatzes der Punktpositionsdaten wurde jeweils ein Wert pro 5-min-Intervall verwendet (5-min Datensatz).

3.4.4 Raumnutzung basierend auf GPS-Daten

Zur Visualisierung der Raumnutzung im Gebiet des Testfelds wurden die GPS-Datensätze über die Jahre und Individuen vereinigt, auf das Plateau der Schwäbischen Alb im Umkreis von 2 km um das Testfeld und auf Ortungen im Flug beschränkt sowie standardisiert (5-min Datensatz).

Zusätzlich wurde mittels „continuous-time-movement-Modellen“ aus dem R-Paket „ctmm“ (Calabrese et al. 2016) die Aktionsraumgrößen pro Individuum pro Jahr und pro Zeitperiode berechnet und visualisiert. Die Schätzung der Aktionsraumgröße beruht auf einer „autocorrelated kernel density estimation“ (AKDE), welche die Autokorrelation in den Daten berücksichtigt. Ohne Berücksichtigung der Autokorrelation werden Aktionsraumgrößen zusammen mit der statistischen Ungenauigkeit unterschätzt (Calabrese et al. 2016). Für die Schätzung der Aktionsraumgrößen wurden sämtliche GPS-Daten (im Flug und stationär) aus dem Brutgebiet verwendet. Die Zeitperioden wurden in Anlehnung an Heuck et al. (2019) und Fiedler et al. (2021) folgendermaßen definiert:

- Balzzeit (Paarbildung und Bezug der Horste): ab Eintreffen im Brutgebiet bis 03.31.
- Brutzeit (Bebrütung der Eier): 01.04. bis 16.05.
- Nestlingszeit: 17.05. bis 30.06.
- Ästlingszeit: 01.07. bis 15.08.
- Nachbrutzeit: 16.08 bis Wegzug aus Brutgebiet

Die GPS-Daten stammen von männlichen Rotmilanen, deren Horste nördlich unmittelbar beim Testfeld und etwas weiter als 2 km entfernt südöstlich des Testfelds liegen. Die beiden Individuen durchflogen im Umkreis von 2 km um das Testfeld nur einen Teil des Plateaus besonders häufig (Abb. 34). Ein Ballungszentrum liegt nördlich direkt beim Horst, eines nordöstlich entlang dem Verlauf der Stromleitung und eines südöstlich vom Testfeld. Die Größen der Aktionsräume reichten von $1,7$ km² ($1,6 - 1,8$ km²) bis $58,4$ km² ($54,7 - 62,6$ km²) und

variieren von Individuum zu Individuum, zwischen den Jahren sowie zwischen den Zeitperioden stark (Tab. 6 und Abb. 35).



Abb. 34: Heatmap der mit GPS auf dem Plateau des Testfelds erfassten Positionsdaten (5-min Datensatz) beider besendeter Rotmilane von 2019 - 2021. Je röter, umso mehr Positionsdaten häufen sich an einem Ort. Kriterien für die Erstellung der Karte: Radius 15 Pixel, Skalierung 1:22'000 (Quelle Luftbild: Google Satellite).

Tab. 6: Größe der Fläche der Aktionsräume (km²) mit der statistischen Unsicherheit pro Periode, Jahr und Individuum.
na = nicht verfügbar.

Periode	Jahr	180909 „Donzi“	180810 „Franzi“
Balzzeit	2019	na	na
	2020	5,6 (5,4 – 6,0)	12,7 (11,7 – 13,8)
	2021	na	8,5 (8,1 – 9,1)
Brutzeit	2019	na	na
	2020	3,0 (2,8 – 3,1)	11,6 (11,1 – 12,2)
	2021	na	5,4 (5,2 – 5,6)
Nestlingszeit	2019	7,0 (6,5 – 7,5)	17,7 (16,7 – 18,7)
	2020	10,3 (9,4 – 11,2)	58,4 (54,7 – 62,2)
	2021	na	10,6 (10,2 – 11,0)
Ästlingszeit	2019	11,1 (10,3 – 11,9)	13,0 (12,3 – 13,6)
	2020	2,1 (2,0 – 2,2)	15,2 (14,4 – 16,0)
	2021	na	na
Nachbrutzeit	2019	3,5 (3,1 – 3,9)	5,22 (4,8 – 5,6)
	2020	1,7 (1,6 – 1,8)	20,1 (16,8 – 23,6)
	2021	na	na

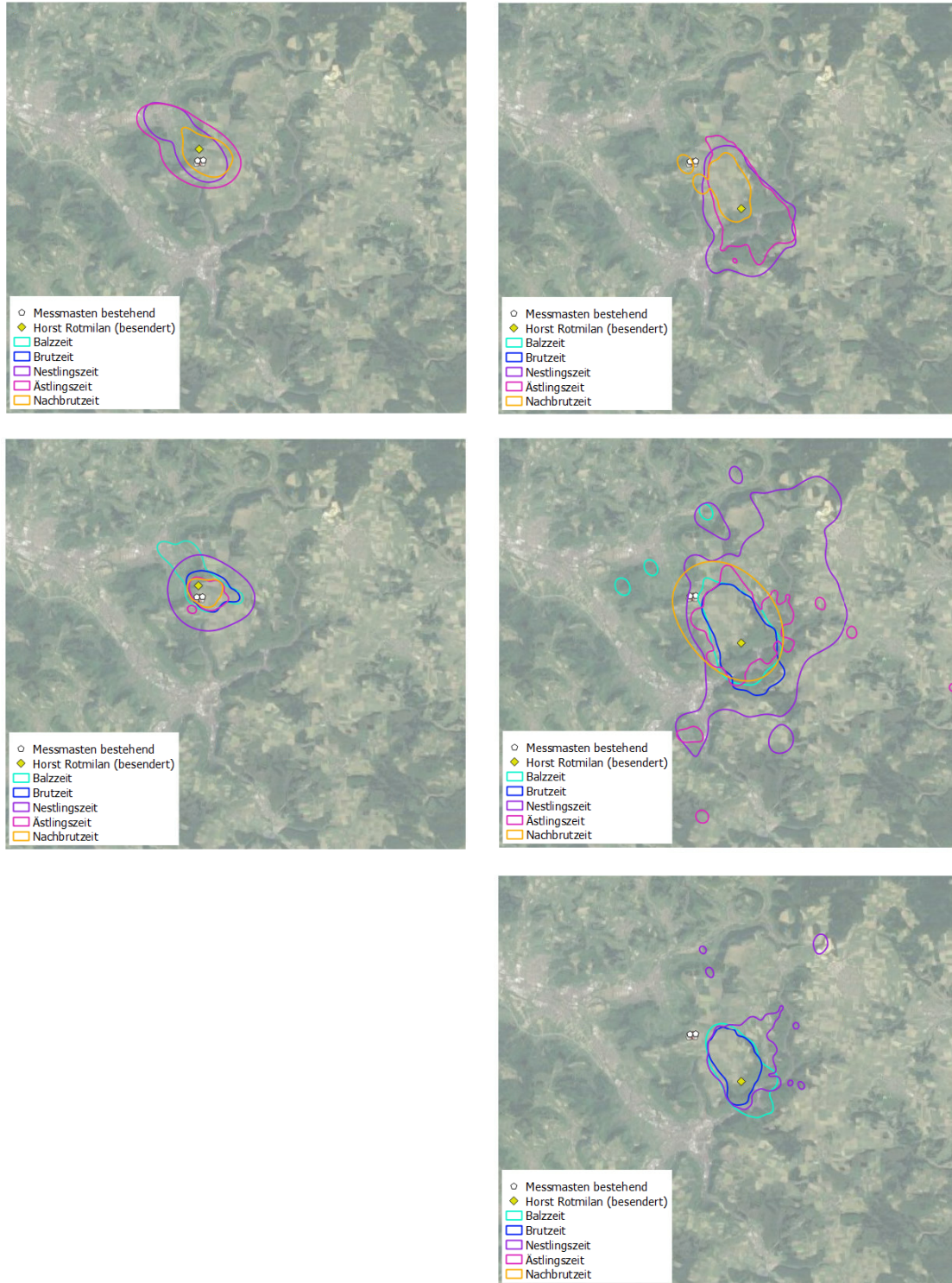


Abb. 35: Aktionsräume im Brutgebiet pro besendertem Rotmilan (links: 180909 „Donzi“, rechts 180810 „Franzi“), pro Jahr (oben: 2019, Mitte: 2020, unten: 2021) und nach Phase des Brutgeschehens. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit wurden die Vertrauensintervalle weggelassen (Quelle Luftbild: Google Satellite).

3.5 Individuelle Flugbewegungen (LRF- und GPS) und Einfluss meteorologischer Parameter

3.5.1 Ziele und Fragestellungen: Individuelle Flugbewegungen

Hauptziel der Erfassungen der individuellen Flugbewegungen während Phase 1 ist die Erfassung des Ist-Zustands im Gebiet des Testfelds vor der Errichtung der WEA. Angestrebt wird ein Erkenntnisgewinn zur Höhenverteilung der Flugbewegungen, zu Fluggeschwindigkeiten und zur Flugaktivität von Rotmilanen im Brutgebiet sowie zu Zusammenhängen mit meteorologischen Parametern. Zur Diskussion steht auch die Frage, ob es eine bestimmte Konstellation von meteorologischen Parametern gibt, wo das Kollisionsrisiko für Rotmilane besonders hoch ist. Dazu wurden folgende Fragestellungen statistisch untersucht:

- Frage 1: Unterscheiden sich die Fluggeschwindigkeiten der Rotmilane in Abhängigkeit der Höhe über Boden?
- Frage 2: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Flugaktivität der Rotmilane?
- Frage 3: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Flughöhe über Boden?
- Frage 4: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich der Rotoren der Forschungs-WEA fliegen?
- Frage 5: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich einer WEA Modell Vestas V112 fliegen?
- Frage 6: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Fluggeschwindigkeit?
- Frage 7: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Fluggeschwindigkeit im Höhenbereich der Forschungs-WEA und einer WEA Modell Vestas V112?

3.5.2 Statistische Auswertung: Einfluss meteorologischer Parameter auf individuelle Flugbewegungen

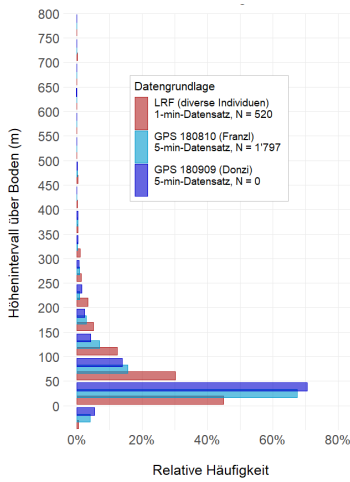
Die Methode der statistischen Auswertungen wurde bereits im Kap. 3.2.5.4 beschrieben.

3.5.3 Beschreibung Flughöhen, Fluggeschwindigkeiten und Flugrichtungen (LRF- und GPS-Daten)

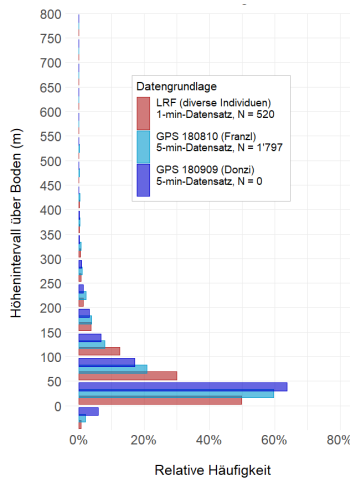
Unabhängig von der Datengrundlage und vom Jahr lagen die meisten im Flug erfolgten Ortungen unterhalb von 50 m über Boden (Abb. 36). Innerhalb des Höhenbereichs der Forschungs-WEA (50 – 100 m ü.B.) lagen gemittelt über die Datengrundlagen sowie über die Jahre rund 20% der Ortungen und innerhalb des Höhenbereichs einer WEA Modell Vestas V112 (100 – 200 m ü.B.) rund 12% der Ortungen. 65% der Werte liegen unter 50 m ü.B., 75% unterhalb von 71 m ü.B. und 90% der Werte unter 133 m ü.B. Bei rund 69% der knapp 2'800 zusammenhängenden GPS-Flugwege kreuzten die Rotmilane mindestens einmal den Höhenbereich der Rotoren der Forschungs-WEA und bei rund 53% den Höhenbereich der Rotoren einer WEA Modell Vestas V112. 31% (Forschungs-WEA) und 47% (WEA Modell Vestas V112) der Flugwege erfolgten ohne, dass der Höhenbereich der Rotoren tangiert worden ist.

Über alle Höhen betrachtet, betragen die Fluggeschwindigkeiten am häufigsten zwischen 20 – 30 km/h (Abb. 37 bis Abb. 39). Gemittelt über die Datengrundlagen sowie über die Jahre ergibt dies eine mittlere Fluggeschwindigkeit von 27,2 km/h ($\pm 12,6$ km/h). 50% der Werte (Median) liegen unter 26 km/h, 75% der Werte (oberes Quartil) unter 34 km/h und 90% der Werte unter 43 km/h.

a) 2019



b) 2020



c) 2021

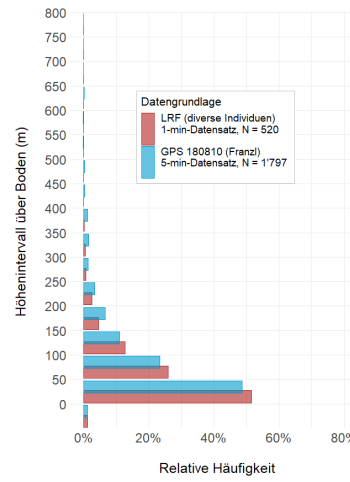


Abb. 36: Relative Häufigkeitsverteilung der Flughöhen 2019 (a), 2020 (b) und 2021 (c) in Abhängigkeit der Datengrundlage (LRF und GPS).

2019

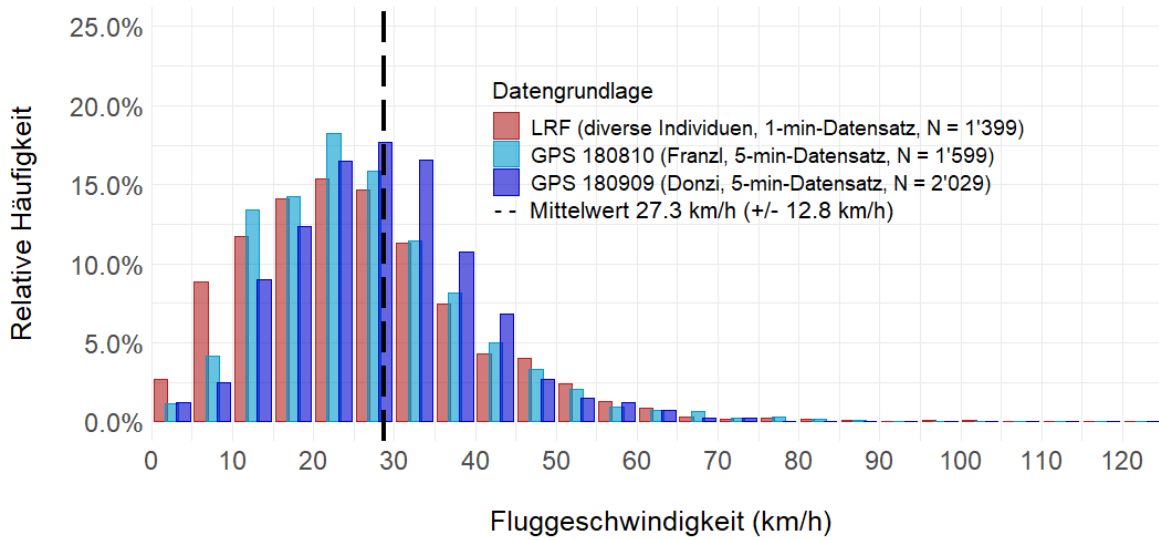


Abb. 37: Relative Häufigkeitsverteilung der Fluggeschwindigkeiten 2019 in Abhängigkeit der Datengrundlage (LRF und GPS).

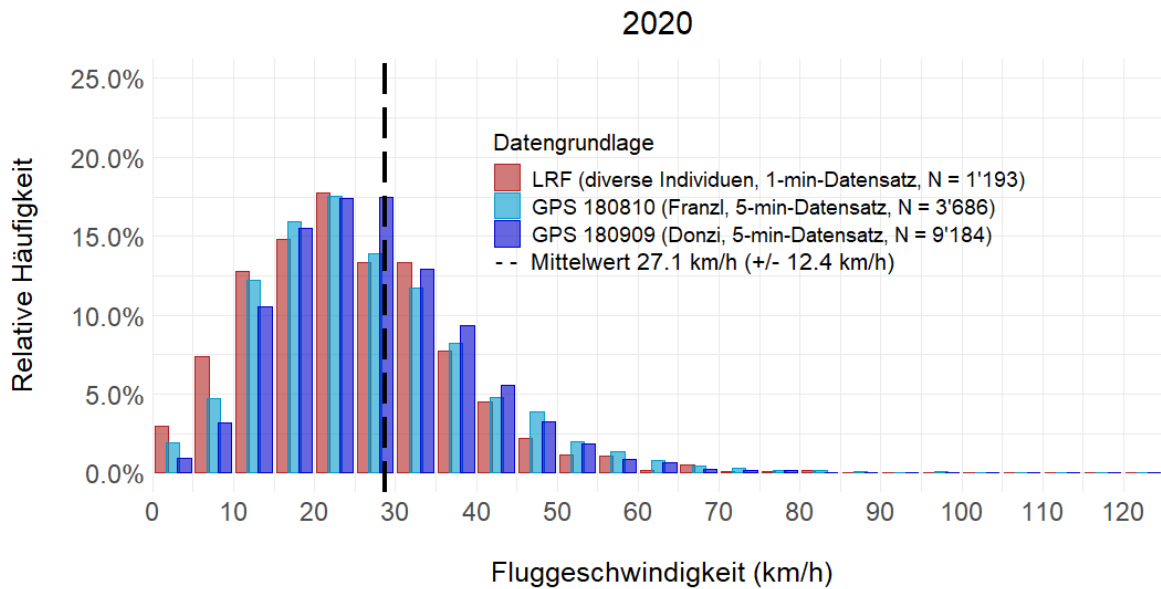


Abb. 38: Relative Häufigkeitsverteilung der Fluggeschwindigkeiten 2020 in Abhängigkeit der Datengrundlage (LRF und GPS).

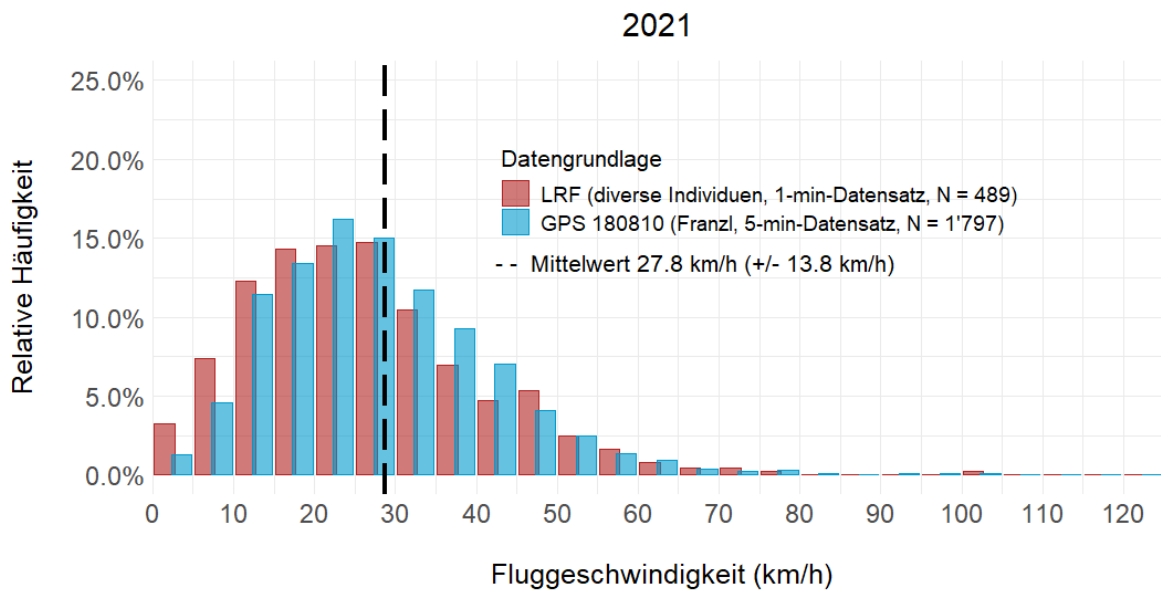


Abb. 39: Relative Häufigkeitsverteilung der Fluggeschwindigkeiten 2021 in Abhängigkeit der Datengrundlage (LRF und GPS).

3.5.4 Fluggeschwindigkeit in Abhängigkeit der Flughöhe (LRF- und GPS-Daten)

Nach dem Befehl zur Abschaltung benötigen WEA eine gewisse Zeit, bis sich der Rotor verlangsamt hat (Austrudeln). Wenn sich ein Rotmilan einer WEA annähert, muss der Befehl zur Abschaltung daher rechtzeitig erfolgen, d.h. bevor der Rotmilan eine gewisse minimale Distanz zur WEA unterschritten hat. Wie schnell ein Rotmilan eine gewisse Strecke zurücklegt, hängt von seiner Fluggeschwindigkeit ab. Je schneller ein Rotmilan fliegt, umso früher müsste der Befehl zur Abschaltung erfolgen, d.h. umso größer müsste die minimale Distanz zur WEA sein.

Wenn Rotmilane in größeren Höhen über Boden schneller unterwegs sind als weiter unten über Boden, müsste bei größeren Windturbinen der Befehl für Abschaltungen bereits früher erfolgen als bei kleineren Windturbinen. Aus diesem Grund wurde mit den LRF- und GPS-Daten folgende Fragestellung statistisch untersucht:

- Frage 1: Unterscheiden sich die Fluggeschwindigkeiten der Rotmilane in Abhängigkeit der Höhe über Boden?

Zur Untersuchung der Fragestellung wurde ein lineares Modell mit der Fluggeschwindigkeit als Zielvariable und dem Höhenintervall sowie der Datengrundlage (LRF/GPS) als erklärende Variablen gerechnet (Funktion lm in R).

Die mit LRF erfassten Fluggeschwindigkeiten sind in allen Höhenintervallen leicht niedriger als die mit GPS erfassten Fluggeschwindigkeiten. Bei beiden Datengrundlagen nimmt die mittlere Fluggeschwindigkeit mit zunehmender Höhe zu (Abb. 40). Bei den LRF-Daten von 22 km/h (95%-CI: 21,6 – 22,5 km/h) auf 32,7 km/h (95%-CI: 31,7 – 33,7 km/h) und bei den GPS-Daten von 25,4 km/h (95%-CI: 25,2 – 25,6 km/h) auf 36,8 km/h (95%-CI: 35,9 – 37,7 km/h). Im Höhenbereich der Forschungs-WEA betragen die Geschwindigkeiten basierend auf den LRF-Daten 25,7 km/h (95%-CI: 25,2 – 26,2 km/h) und basierend auf den GPS-Daten 29,3 km/h (95%-CI: 28,9 – 29,7 km/h).

Im Höhenbereich des Rotors einer WEA Modell Vestas V112 liegt der Median der Fluggeschwindigkeit bei 27,2 km/h bei den LRF-Daten und bei 32,0 km/h bei den GPS-Daten.

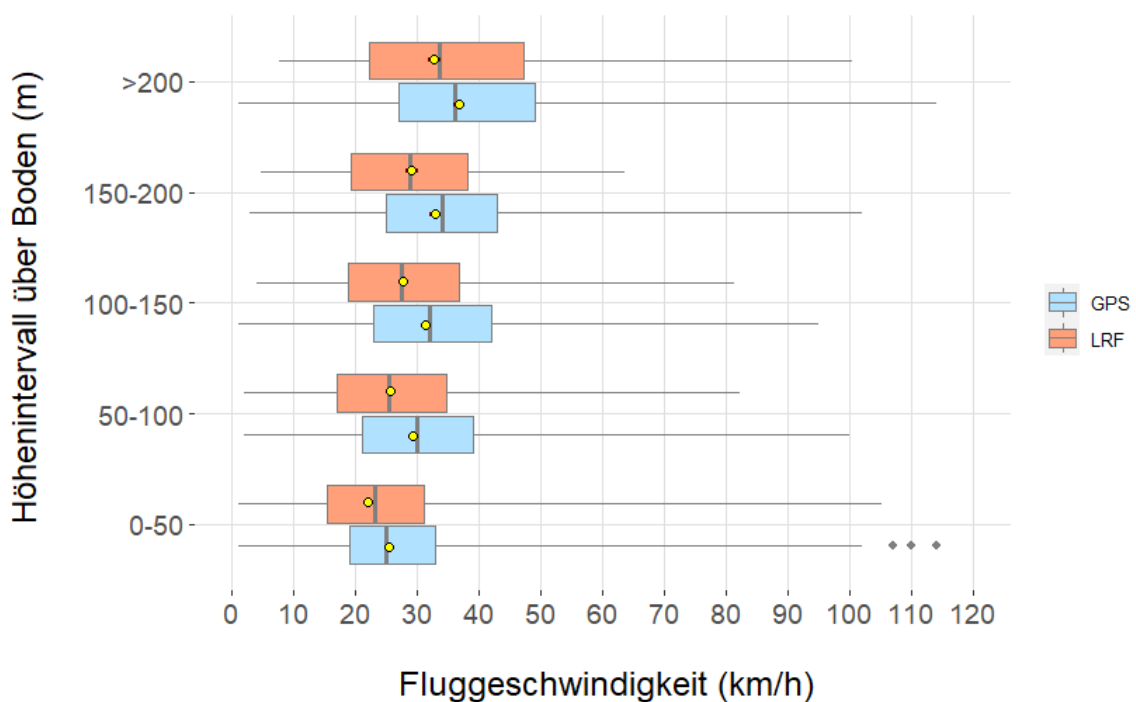


Abb. 40: Ergebnisse der statistischen Analyse zur Fluggeschwindigkeit aus den LRF-Daten (hellrot, N=3'081, 1-min Datensatz) und GPS-Daten (hellblau, N=18'295, 5-min Datensatz) in Abhängigkeit der Höhe. Die Grafik zeigt die Verteilung der Fluggeschwindigkeiten pro Höhenintervall (Boxen) und die Modellwerte (gelbe Kreise mit 95%-CI).

3.5.5 Minimale Distanzen bezüglich geplanter WEA (LRF- und GPS-Daten)

Die Präsenz der WEA könnte die Raumnutzung der Rotmilane in Phase 2 verglichen mit Phase 1 ändern. Dies könnte sich dadurch zeigen, dass Rotmilane in Phase 2 zu den Standorten der WEA mehr Abstand einhalten als in Phase 1.

Deshalb wurde für Phase 1 ausgewertet, wie nahe sich Rotmilane im Flug minimal an die Standorte der geplanten WEA angenähert haben. Dazu wurde für jeden Flugweg die minimale Annäherungsdistanz bezüglich der Position der Nabe der jeweiligen WEA bestimmt.

Ohne Präsenz der WEA haben sich die Rotmilane bis auf die nächstgelegene Distanzklasse von 0 – 50 m an die Standorte der WEA angenähert (Abb. 41 und Abb. 42). Der Rotmilan 180810 („Franzi“) war jedoch eher selten nahe der geplanten WEA, da das Testfeld nicht unmittelbar in seinem Territorium liegt.

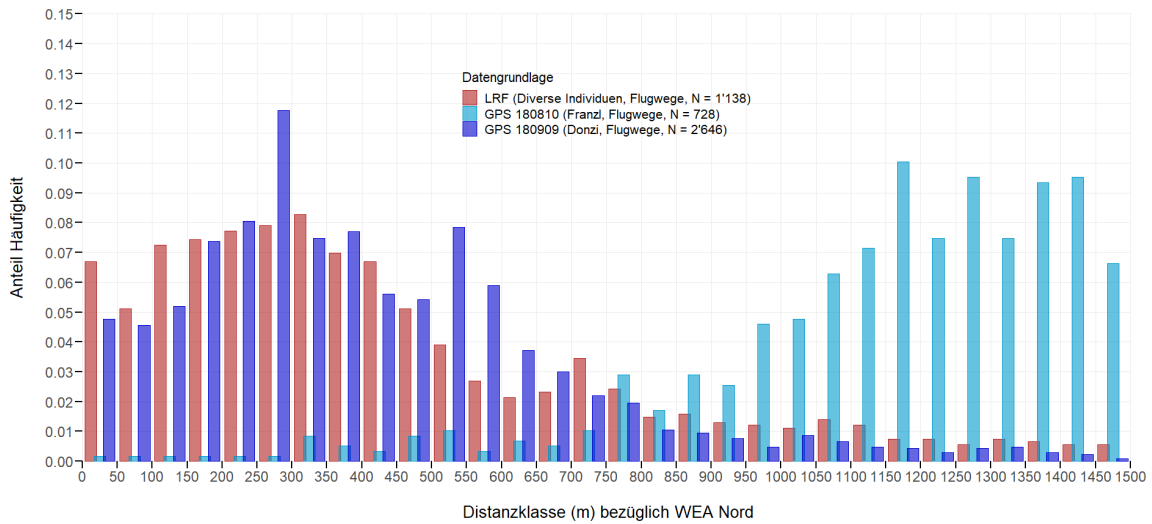


Abb. 41: Relative Häufigkeitsverteilung der minimale Annäherungsdistanzen 2019 – 2021 bezüglich Nabe der geplanten WEA Nord in Abhängigkeit der Datengrundlage (LRF und GPS).

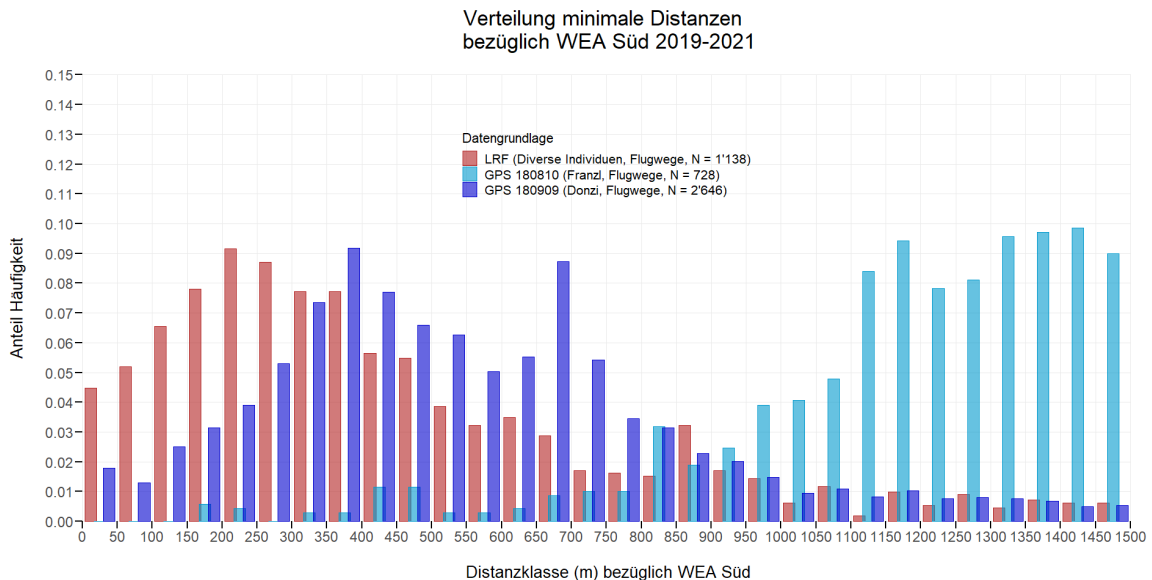
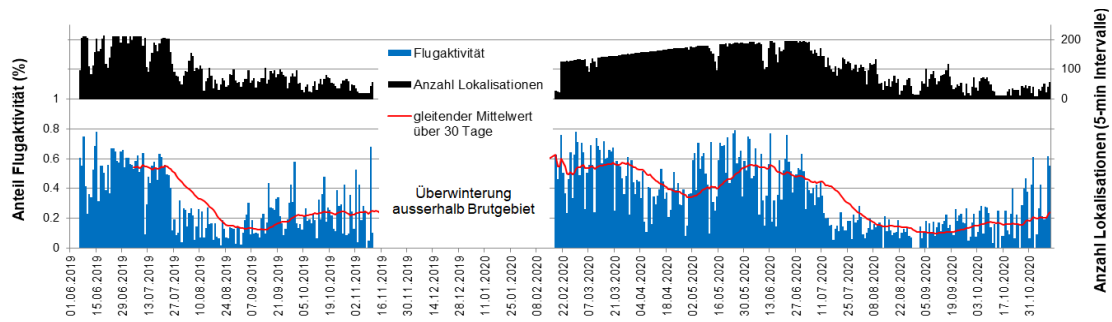


Abb. 42: Relative Häufigkeitsverteilung der minimalen Annäherungsdistanzen 2019 – 2021 bezüglich Nabe der geplanten WEA Süd in Abhängigkeit der Datengrundlage (LRF und GPS).

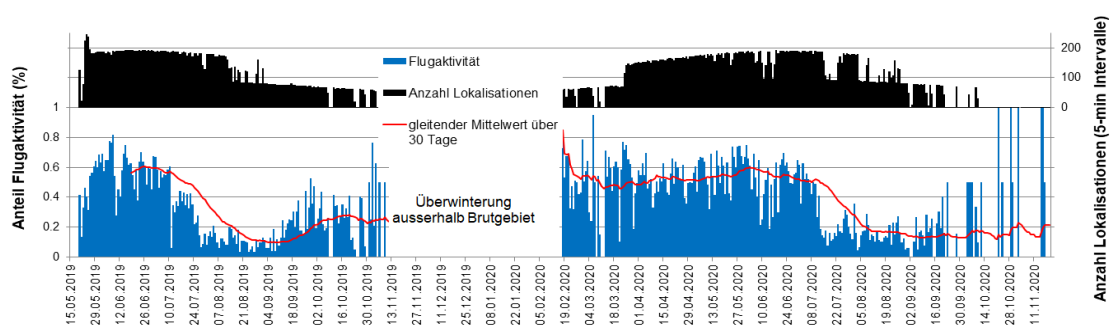
3.5.6 Flugaktivität im Jahresverlauf (GPS-Daten)

Anhand der GPS-Daten (5-min Datensatz, gesamtes Brutgebiet, im Flug und stationär) wurde die tägliche Flugaktivität als Anteil der Lokalisationen im Flug am Total der Lokalisationen bestimmt (Abb. 43). Der über 30 Tage gerechnete gleitende Mittelwert zeigt, dass der Verlauf der Flugaktivität je nach Individuum variiert. Übereinstimmend nimmt bei beiden Individuen die Flugaktivität im Verlauf des Monats Juli ab, wenn die Jungen flügge werden und sich schließlich selbständig versorgen können. Bei 180909 („Donzi“) stagniert die Flugaktivität nach Ankunft im Brutgebiet bis ca. Ende März, nimmt im Verlauf des Aprils ab, nimmt im Verlauf des Mai stetig wieder zu und erreicht im Juni den Höhenpunkt. Bei 180810 („Franzl“) stagniert die Flugaktivität auf ähnlichem Niveau während der ganzen Brutphase. Dasselbe Muster zeigt 180810 („Franzl“) auch im Jahr 2021.

a) 180909 „Donzi“, 2019/2020



b) 180810 „Franzl“, 2019/2020



c) 180810 „Franzl“, 2021

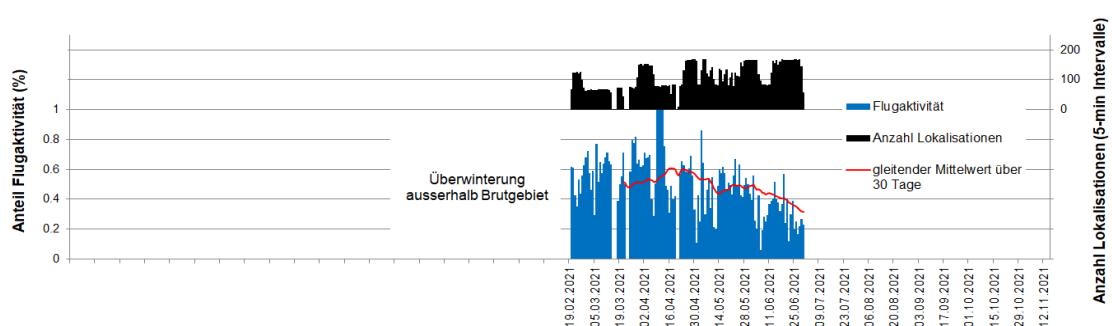


Abb. 43: Verlauf der Flugaktivität und der Anzahl Lokalisationen im Brutgebiet. Vom 06.06.2019 – 10.11.2020 (a, Rotmilan 180909 „Donzi“), vom 20.05.2019 – 20.11.2020 (b, Rotmilan 180810 „Franzl“) und vom 20.02.2021 – 30.06.2021 (c, Rotmilan 180810 „Franzl“).

3.5.7 Flugaktivität und Einfluss meteorologischer Parameter (GPS-Daten)

Zur statistischen Untersuchung des Einflusses der meteorologischen Parameter auf die Flugaktivität wurde die Flugaktivität pro Stunde bestimmt und mit den stündlichen Werten der meteorologischen Parameter verschnitten. Zur Berechnung des Anteils der Flugaktivität standen dementsprechend pro Stunde maximal 6 Werte zur Verfügung. Für die Analyse wurden nur diejenigen Stunden verwendet, wo mindestens 3 Werte zur Verfügung waren. Basierend auf diesen Daten wurde die folgende Fragestellung untersucht:

- Frage 2: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Flugaktivität der Rotmilane?

Für die Modellschätzung wurde die Funktion „brm“ aus dem R-Paket „brms“ (Bürkner 2017, 2018) verwendet (siehe Kap. 0). Die Zielvariable war jeweils die stündliche Flugaktivität. Zusätzlich wurden die Variablen Stunde und Monat als Faktoren in die Analyse aufgenommen. Die Variablen Jahr und Individuum wurden miteinander verkettet und im Modell als zufälliger Effekt integriert.

Stark beeinflusst wird die Flugaktivität von den Faktoren Stunde und Monat (Abb. 44). So nimmt die Flugaktivität gegen Mittag hin zu und gegen Abend wieder ab. Der Einfluss des Monats widerspiegelt deutlich den saisonalen Verlauf der Flugaktivität (siehe Abb. 43). Innerhalb der einzelnen Monate und Stunden sind die Effekte der einzelnen meteorologischen Parameter auf die Flugaktivität eher wenig ausgeprägt (Abb. 45 und Abb. 46). Eine deutliche Wirkung haben vor allem die Windgeschwindigkeit und die Regenwahrscheinlichkeit: Mit steigender Windgeschwindigkeit nimmt die Flugaktivität der Rotmilane zu und mit steigender Regenwahrscheinlichkeit ab. Die Variabilität zwischen den Jahren und Individuen bewirkt, dass die Glaubwürdigkeitsintervalle relativ breit sind.

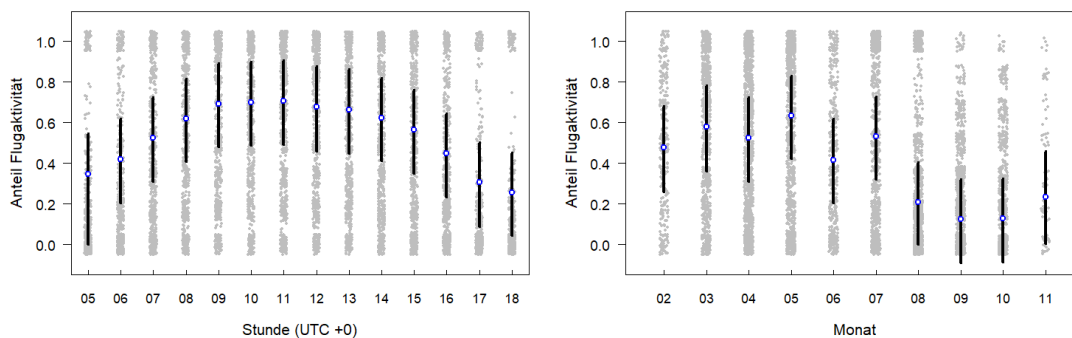


Abb. 44: Einfluss von Stunde (links) und Monat (rechts) auf die Flugaktivität von Rotmilanen. Grau: Datenpunkte, Blaue Kreise: Modellschätzung, Schwarz: 95%-Glaubwürdigkeitsintervall.

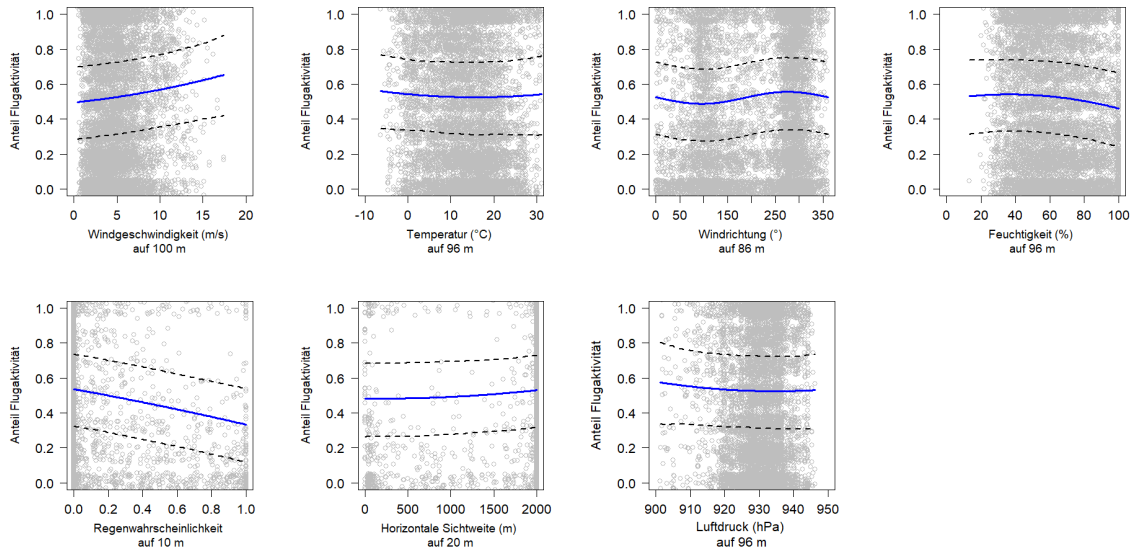


Abb. 45: Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Flugaktivität von Rotmilanen. Grau: Datenpunkte, Blaue Linie: Modellschätzung, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervall. Dargestellt ist der Effekt gemittelt für Stunde 7 im Monat April.

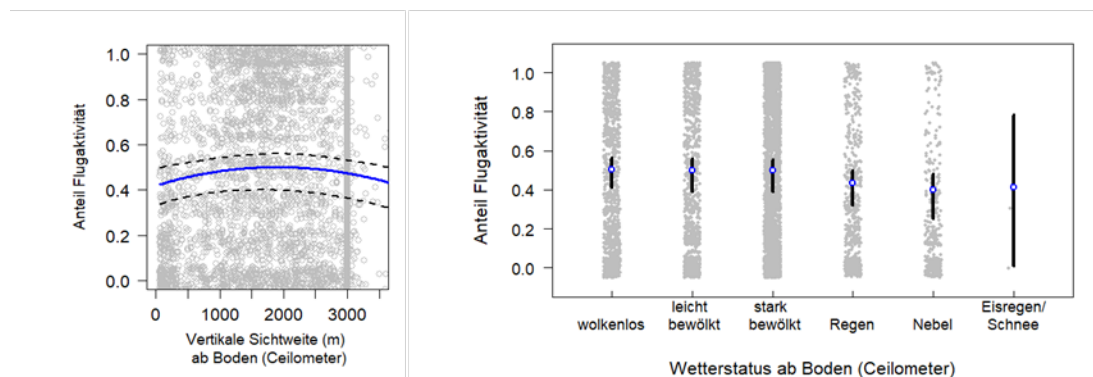


Abb. 46: Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Flugaktivität von Rotmilanen. Grau: Datenpunkte, Blaue Kreise/Linie: Modellschätzung, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervall. Dargestellt ist der Effekt gemittelt für Stunde 7 im Monat April.

3.5.8 Flughöhe und Einfluss meteorologischer Parameter (LRF- und GPS-Daten)

Im Zusammenhang mit dem Kollisionsrisiko an WEA stellt sich die Frage, ob und inwieweit meteorologische Parameter die Flughöhe beeinflussen. Als Datengrundlage wurden die LRF-Daten (1-min Datensatz auf dem Plateau im Umkreis von 2 km um das Testfeld) und GPS-Daten (5-min Datensatz auf dem Plateau im Umkreis von 2 km um das Testfeld) vereinigt. Basierend auf diesen Daten wurden drei Fragestellungen statistisch untersucht:

- Frage 3: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Flughöhe über Boden?
- Frage 4: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich der Rotoren der Forschungs-WEA fliegen?
- Frage 5: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich einer WEA Model Vestas V112 fliegen?

Zur Analyse von Frage 3 wurde ein multivariates, lineares Modell (Funktion „lm“) verwendet. Die Zielvariable war die mit dem Logarithmus transformierte Flughöhe über Boden. Die er-

klärenden Variablen waren die meteorologischen Parameter. Zusätzlich floss die Methode der Erfassung (GPS/LRF) als erklärende Variable ins Modell ein.

Die statistische Analyse der Fragen 4 und 5 erfolgte mit einer logistischen Regression (Funktion „glm“). Dabei erhielten alle Beobachtungen, wo die Flughöhe außerhalb (d.h. oberhalb oder unterhalb) des Höhenbereichs der Rotoren der WEA lag den Wert 0 und alle Beobachtungen, wo die Flughöhe innerhalb des Höhenbereichs der Rotoren der WEA lag den Wert 1. Als erklärende Variablen dienten wiederum die meteorologischen Parameter. Zusätzlich floss die Methode der Erfassung (GPS/LRF) als erklärende Variable in die Modelle ein.

Insgesamt ist die mit LRF gemessene Flughöhe höher als die mit GPS gemessene Flughöhe (Ergebnisse Frage 3: Abb. 47 und Abb. 48). Auch hier sind die meisten Effekte schwach. Die Flughöhe sinkt mit zunehmender Windgeschwindigkeit, zunehmender Feuchtigkeit, zunehmender Regenwahrscheinlichkeit und zunehmendem Luftdruck. Windrichtung und vertikale Sichtweite haben kaum einen Einfluss, während die Flughöhe mit zunehmender horizontaler Sichtweite ansteigt. In Abhängigkeit der Temperatur nimmt die Flughöhe bis zu einem gewissen Grad zu und sinkt anschließend wieder. Bei Regen oder Nebel ist die Flughöhe etwas tiefer als bei trockenen Wetterverhältnissen.

Bei beiden WEA-Typen (Forschungs-WEA und Vestas V112) ist die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich der Rotoren fliegen, generell unter 50% (Ergebnisse Fragen 4 und 5: Abb. 49 bis Abb. 52). Bei den LRF-Daten liegen die Wahrscheinlichkeiten grundsätzlich etwas höher als bei den GPS-Daten. Die Richtungen der Effekte der meteorologischen Parameter sind bei beiden WEA-Typen gleich, jedoch beim Modell Vestas V112 etwas stärker ausgeprägt. So sinkt die Wahrscheinlichkeit im Rotorbereich zu fliegen mit zunehmender Windgeschwindigkeit, zunehmender Feuchtigkeit, zunehmender Regenwahrscheinlichkeit und zunehmendem Luftdruck. Die horizontale Sichtweite beeinflusst die Wahrscheinlichkeit mit zunehmender Sichtweite positiv, während die Effekte von Windrichtung und vertikaler Sichtweite marginal sind. Bei der Temperatur nimmt die Wahrscheinlichkeit bis zu einem gewissen Grad zu und sinkt anschließend wieder ab. Bei trockenen Wetterverhältnissen ist die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane in Rotorhöhe fliegen, größer als bei Regen oder Nebel.

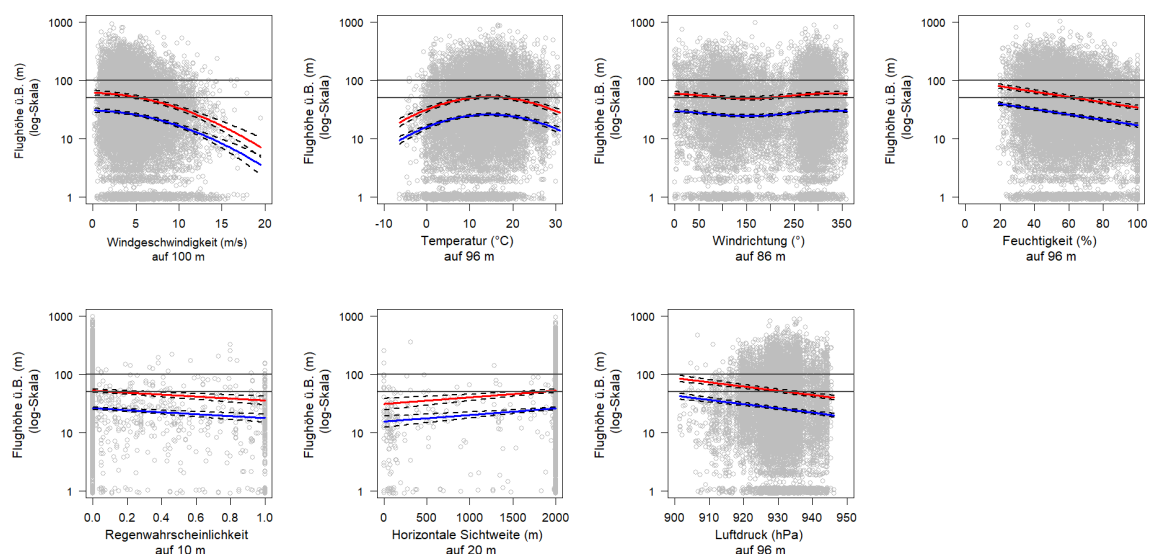


Abb. 47: Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Flughöhe von Rotmilanen. Grau: Datenpunkte, Blaue Linie: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Linie: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle. Schwarz durchgezogene Linie: Obere und untere Grenze des Rotors (50 – 120 m ü.B.). log-Skala = logarithmische Skala.

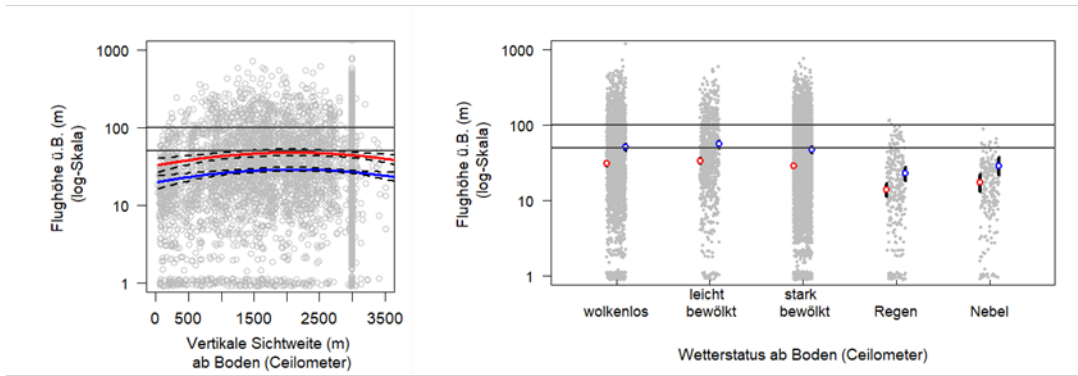


Abb. 48: Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Flughöhe von Rotmilanen. Grau: Datenpunkte, Blaue Kreise/Linie: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Kreise/Linie: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle. log-Skala = logarithmische Skala.

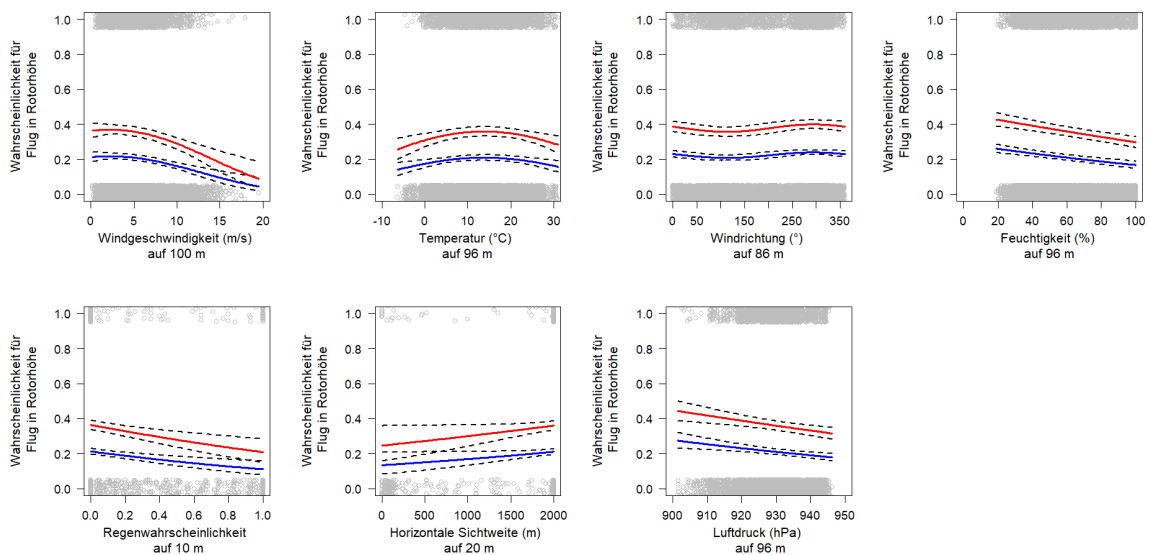


Abb. 49: Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich der Forschungs-WEA fliegen. Grau: Datenpunkte, Blaue Linie: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Linie: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle.

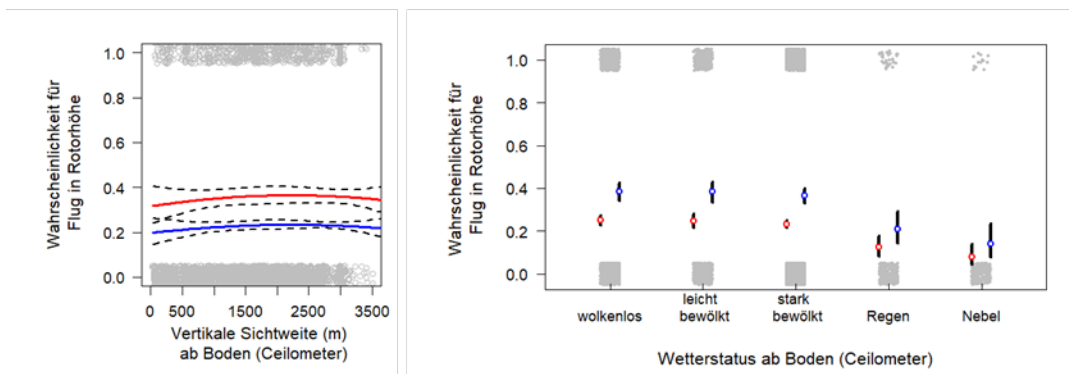


Abb. 50: Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich der Forschungs-WEA fliegen. Grau: Datenpunkte, Blaue Linie/Kreise: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Linie/Kreise: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarze Linien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle.

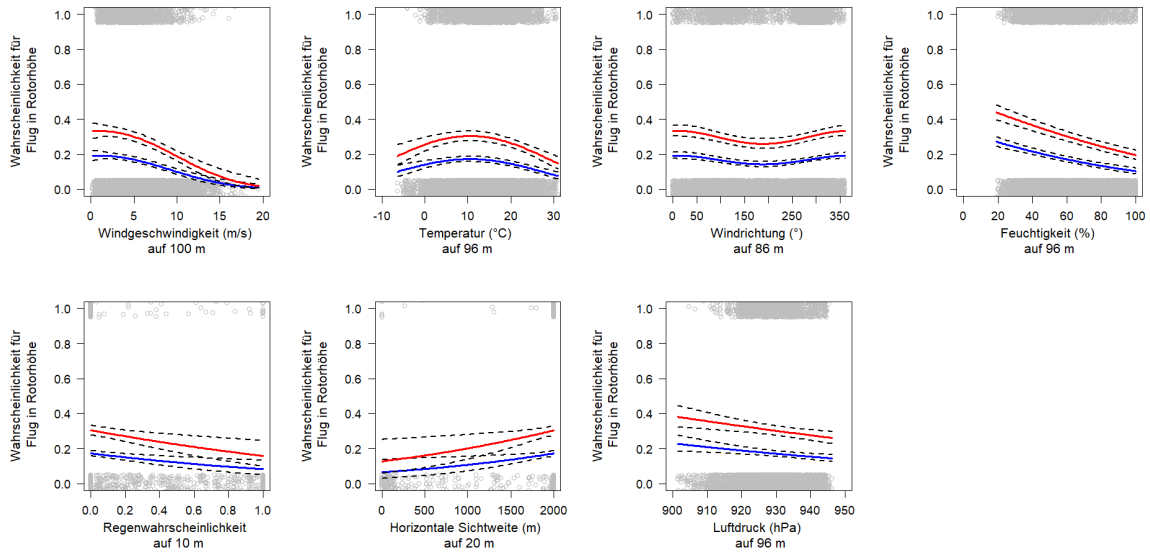


Abb. 51: Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich einer WEA Modell Vestas V112 fliegen (80 – 200 m ü.B.). Grau: Datenpunkte, Blaue Linie: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Linie: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervall.

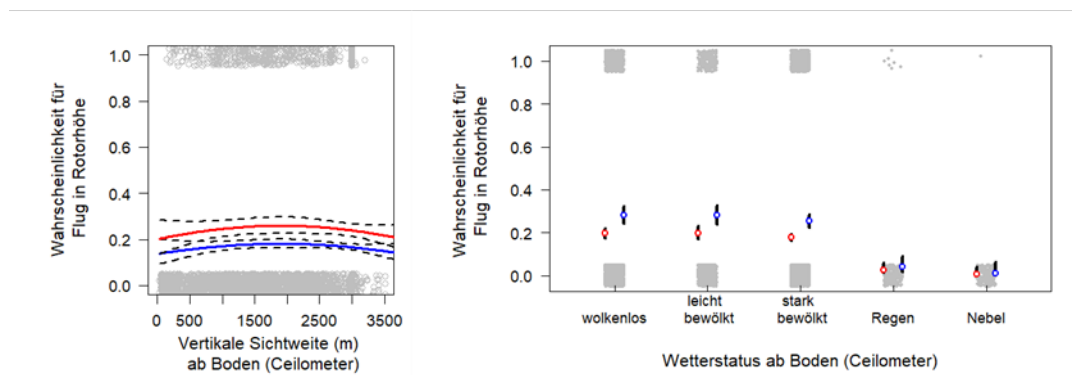


Abb. 52: Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane im Höhenbereich einer WEA Modell Vestas V112 fliegen (80 – 200 m ü.B.). Grau: Datenpunkte, Blaue Linie/Kreise: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Linie/Kreise: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarze Linien: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle.

3.5.9 Fluggeschwindigkeit und Einfluss meteorologischer Parameter (LRF- und GPS-Daten)

Die Fluggeschwindigkeit bestimmt, wie schnell sich Rotmilane einer WEA annähern. Daher stellt sich die Frage, ob und inwieweit meteorologische Parameter die Fluggeschwindigkeit beeinflussen. Als Datengrundlage diente dieselbe, welche zur Analyse der Flughöhe verwendet worden ist (Kap. 3.5.8). Basierend auf diesen Daten wurden drei Fragestellungen statistisch untersucht:

- Frage 6: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Fluggeschwindigkeit?
- Frage 7: Wie beeinflussen die meteorologischen Parameter die Fluggeschwindigkeit im Höhenbereich der Forschungs-WEA und einer WEA Modell Vestas V112?

Beide Fragestellungen wurden mit derselben statistischen Methode untersucht, die bei der Analyse der Flughöhe angewendet worden ist (Kap. 3.5.8). Die Zielvariable war jedoch die

mit der Quadratwurzel transformierte Fluggeschwindigkeit einerseits über alle Höhen und andererseits für die spezifischen Höhenbereiche der WEA.

Auch hier ist die mit GPS gemessene Fluggeschwindigkeit etwas höher als die mit LRF bestimmte Fluggeschwindigkeit (Abb. 47 bis Abb. 58, vgl. Kap. 3.5.4). Alle meteorologischen Parameter haben auf die Fluggeschwindigkeit in allen betrachteten Höhenbereichen höchstens einen geringen Einfluss.

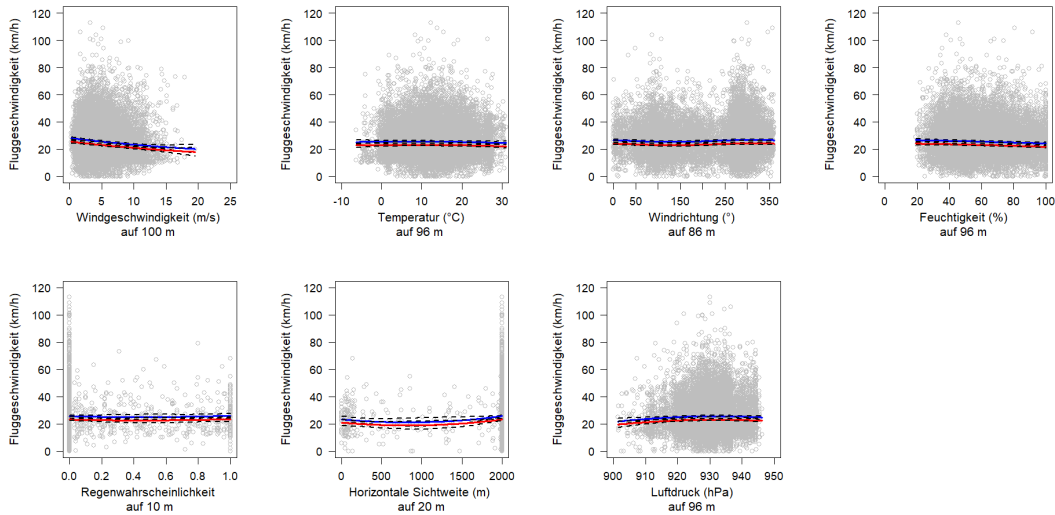


Abb. 53: Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen über alle Höhen.
 Grau: Datenpunkte, Blaue Linie: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Linie: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle.

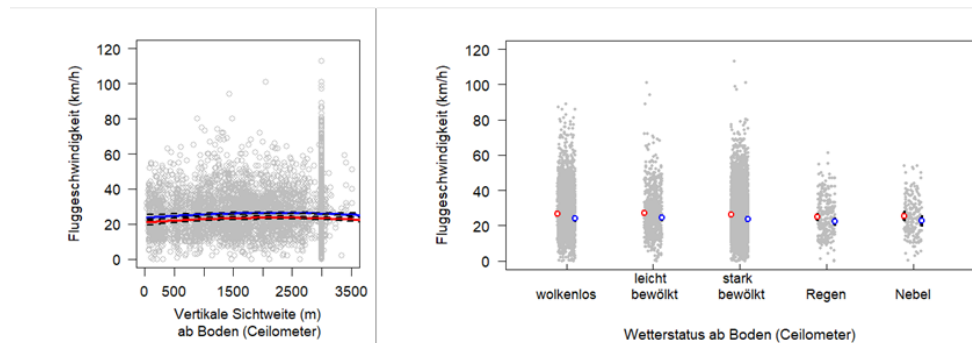


Abb. 54: Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen über alle Höhen.
 Grau: Datenpunkte, Blaue Kreise/Linie: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Kreise/Linie: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle.

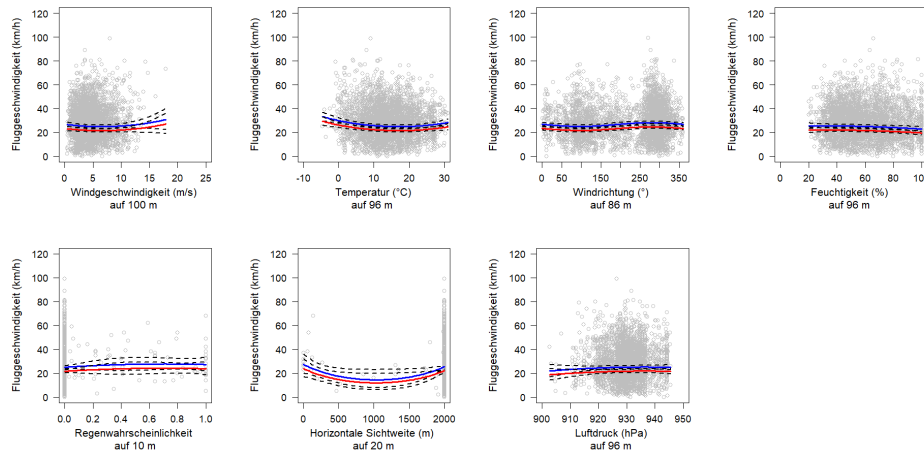


Abb. 55: Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen im Höhenbereich der Forschungs-WEA.
 Grau: Datenpunkte, Blaue Linie: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Linie: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle.

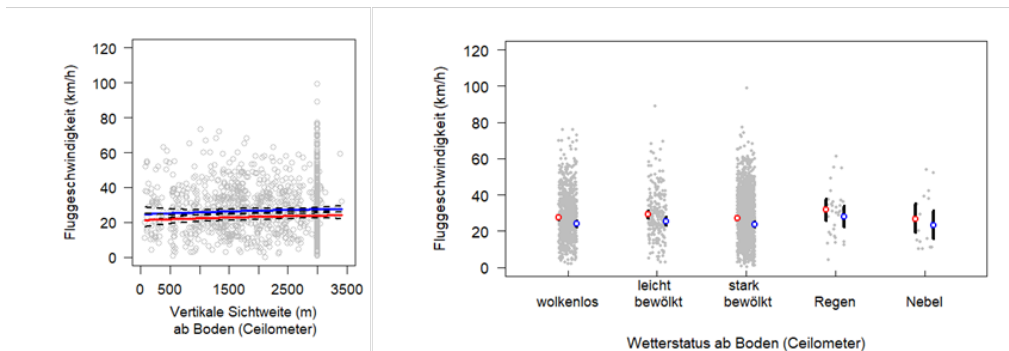


Abb. 56: Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen im Höhenbereich der Forschungs-WEA.
 Grau: Datenpunkte, Blaue Kreise/Linie: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Kreise/Linie: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle.

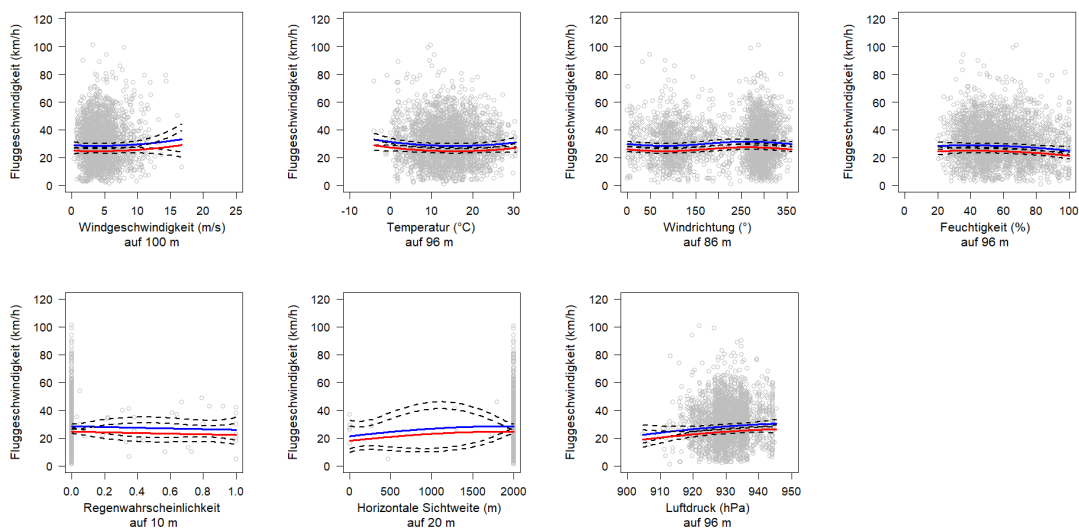


Abb. 57: Einfluss meteorologischer Parameter (Messmasten) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen im Höhenbereich einer WEA Model Vestas V112.
 Grau: Datenpunkte, Blaue Linie: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Linie: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle.

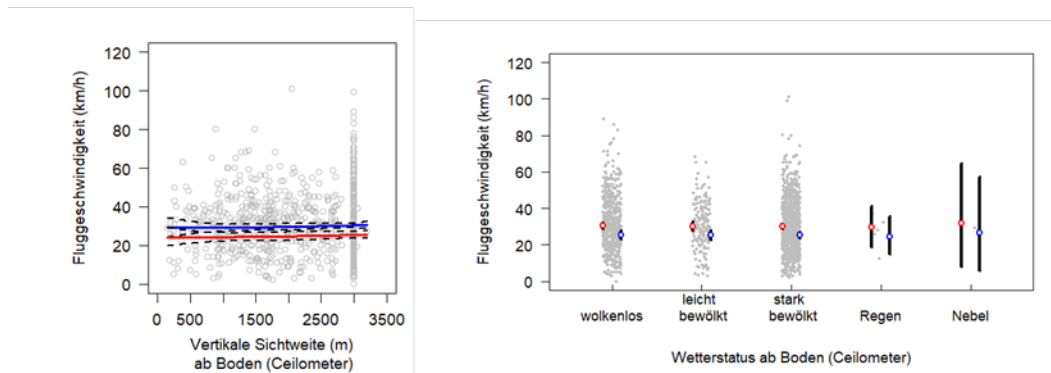


Abb. 58: Einfluss meteorologischer Parameter (Ceilometer) auf die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen im Höhenbereich einer WEA Model Vestas V112.
 Grau: Datenpunkte, Blaue Kreise/Linie: Modellschätzung GPS-Daten, Rote Kreise/Linie: Modellschätzung LRF-Daten, Schwarz gestrichelte Linie: 95%-Glaubwürdigkeitsintervalle.

3.5.10 Diskussion: individuelle Flugbewegungen

3.5.10.1 Methode der Erfassung

Während Phase 1 konnte zu Flugbewegungen von Rotmilanen eine umfassende Datenmenge gesammelt werden, die die ganze Zeitperiode, welche die Rotmilane im Brutgebiet verbringen sowie eine große Bandbreite von Witterungsverhältnissen abdeckt. Dabei ergänzen sich die beiden Erfassungsmethoden (LRF und GPS) ideal. Während die GPS-Daten ein kontinuierliches Bild der Flugbewegungen zweier Individuen abdecken, enthalten die LRF-Daten Flugwege von diversen Individuen.

Die Muster in den Ergebnissen beider Erfassungsmethoden sind jeweils ähnlich. Allerdings bewegen sie sich auf leicht unterschiedlichen Niveaus. So sind die mit LRF erfassten Flughöhen systematisch höher als die mit GPS erfassten Flughöhen und die aufgrund der LRF-Daten berechneten Fluggeschwindigkeiten liegt etwas niedriger als die vom GPS-Sender registrierten Fluggeschwindigkeiten.

Ein Grund dafür könnte sein, dass Sichtbeobachter mit dem LRF je nach Lage einer Flugbewegung im Raum unterschiedliche Detektionswahrscheinlichkeiten haben könnten. Zum Beispiel dürfte es für Sichtbeobachter schwieriger sein, Vögel zu entdecken, die vor dem Wald durchfliegen (Bäume als Hintergrund) als solche, die weiter oben im Himmel fliegen (Himmel als Hintergrund). Zudem decken die LRF-Daten zeitlich jeweils nur eine kleine Stichprobe des Flugverhaltens ab, während die GPS-Daten täglich einen großen Teil der gesamten Aktivitätsphase abdecken. Zudem enthalten die GPS-Daten nur Werte von Männchen, während die LRF-Daten Werte von Männchen und Weibchen enthalten. Eventuell verhalten sich Männchen leicht anders als Weibchen.

Schlussendlich bietet jede Datengrundlage lediglich eine Annäherung an die Wahrheit, da jede Messmethode Ungenauigkeiten aufweist. Aufgrund der großen Datenmenge und der Ähnlichkeit der Ergebnisse über die Jahre (z.B. Verteilung Flughöhen und Fluggeschwindigkeiten) dürften die Werte und Muster der Effekte aber insgesamt verlässlich und belastbar sein.

3.5.10.2 Flughöhe

Im Zusammenhang mit dem Kollisionsrisiko an WEA ist die Flughöhe von Rotmilanen ein wichtiger Parameter.

Vertikal betrachtet zeigen sowohl die LRF-Daten wie auch die GPS-Daten, dass im Brutgebiet die meisten Ortungen im Flug ober- oder unterhalb des Rotorbereichs erfolgen. Bezüglich der geplanten Forschungs-WEA liegen 80% der Ortungen ober- oder unterhalb des Rotorbereichs und bezüglich einer WEA Modell Vestas V112 sind es 88%. Mehr als die Hälfte, nämlich 65% der Ortungen, liegen unterhalb von 50 m über Boden. Dies bedeutet, dass Rotmilane im Brutgebiet häufig nicht auf Höhen fliegen, wo sie an den Rotoren von WEA kollisionsgefährdet sein könnten. Sehr ähnliche Muster von Höhenverteilungen der Flugbewegungen von besenderten Rotmilanen fanden auch Hötker et al. (01.01.2013), Heuck et al. (2019) und Fiedler et al. (2021). In diesen Studien lagen beispielsweise 75% der Werte unterhalb von 104 m (Fiedler et al. 2021), 72% unterhalb von 75 m (Heuck et al. 2019) und 25% lagen in einem Höhenbereich von 50 – 150 m (Hötker et al. 01.01.2013). Allerdings darf man nicht vergessen, dass Rotmilane den Höhenbereich des Rotors durchqueren müssen, um in den Luftraum oberhalb der Rotoren und wieder zurück zu gelangen. Bei rund 69% (bezüglich Forschungs-WEA) und rund 53% (bezüglich WEA Modell Vestas V112) der mit GPS erfassten Flugwege durchkreuzten die Rotmilane mindestens einmal den Höhenbereich des Rotors.

3.5.10.3 Fluggeschwindigkeiten

Die Fluggeschwindigkeit von Vögeln (ground speed) spielt vor allem im Zusammenhang mit der bedarfsgerechten Abschaltung von WEA durch automatische Vogeldetektionssysteme eine große Rolle. Die Fluggeschwindigkeit bestimmt, wie schnell sich ein Vogel an eine WEA annähert. Daraus ergibt sich für die Detektionssysteme die minimal notwendige Erfassungsreichweite, so dass der Befehl zur Abschaltung der WEA rechtzeitig erfolgen kann. Bis anhin war die Fluggeschwindigkeit von Vögeln vor allem im Rahmen von Fragestellungen zum Vogelzug und flugmechanischen Fragestellungen ein Thema (z.B. Bruderer & Boldt 2001, Alerstam et al. 2007, Pfeiffer & Meyburg 2009, Nilsson et al. 2014). Zudem ist die Ermittlung von Fluggeschwindigkeiten anhand von GPS-Daten nicht unbedingt trivial, da die Geschwindigkeit vom Maßstab der Betrachtung abhängt (Noonan et al. 2019). Dementsprechend fehlen Studien mit Angaben zur Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen in Brutgebieten.

Im Gebiet des Testfelds liegt die Fluggeschwindigkeit von Rotmilanen im Mittel über alle Höhen betrachtet bei 27,2 km/h ($\pm 12,6$ km/h). 75% der Werte liegen unter 34 km/h und 90% unter 43 km/h. Hier gilt es allerdings zu beachten, dass die Fluggeschwindigkeit mit zunehmender Höhe über Boden leicht ansteigt. Die Fluggeschwindigkeit im Rotorbereich einer Vestas V112 (80 – 200 m ü.B.) ist rund 2 km/h schneller als im Rotorbereich der Forschungs-WEA (50 – 100 m ü.B.). Dieser Unterschied ist zwar gering, könnte aber bei der minimalen Erfassungsreichweite von Detektionssystemen zum Thema werden, wenn WEA noch höher in den Luftraum hineinragen.

3.5.10.4 Einfluss meteorologischer Parameter auf Flugaktivität, Flughöhe und Fluggeschwindigkeit

Insgesamt sind die Effekte der unterschiedlichen Meteo-Parameter auf die Flugaktivität, auf die Flughöhe sowie auf die Fluggeschwindigkeit eher schwach ausgeprägt. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen aus anderen Studien, in welchen das Flugverhalten von Rotmilanen im Brutgebiet in Abhängigkeit von Wettervariablen untersucht worden ist (Heuck et al. 2019, Fiedler et al. 2021).

Eindeutig klar ist, dass die Flugaktivität von Rotmilanen mit zunehmend schlechter Witterung (Regenwahrscheinlichkeit, Wetterstatus Ceilometer) abnimmt und die Flughöhe mit zunehmender Windgeschwindigkeit sinkt. Dies wurde auch von Heuck et al. (2019) und Fiedler et al. (2021) festgestellt. Man könnte vermuten, dass die Landnutzung, die im Gebiet des

Testfelds nicht erhoben worden ist, ein wichtiger Faktor gewesen wäre. Allerdings hatte die Landnutzung, die in anderen Studien erfasst worden ist, ebenfalls einen geringen Einfluss auf die Flugbewegungen der Rotmilane (Heuck et al. 2019, Fiedler et al. 2021). Dementsprechend wäre auch für die vorliegende Studie kein anderes Ergebnis zu erwarten.

Zum Schutz der Fledermäuse werden WEA beim Auftreten bestimmter Wetterverhältnisse abgeschaltet, weil dann die Fledermäusaktivität mit großer Sicherheit hoch ist. Dabei tritt oft die Frage auf, ob man für eine Abschaltung für Vögel ähnliche Kriterien festlegen könnte. Zur Klärung dieser Frage wurde im Rahmen des vorliegenden Projekts der Einfluss der Meteo-Parameter auf die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane überhaupt im Höhenbereich der Rotoren fliegen, untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Wahrscheinlichkeit unabhängig von der Konstellation der Meteo-Parameter nie mehr als 50% beträgt. Dies bedeutet, dass ein Windparkbetreiber bei einer Abschaltung der WEA rein aufgrund einer bestimmten Konstellation an Meteo-Parametern jeweils nur zu maximal 50% sicher wäre, dass die Rotmilane dann auch wirklich im Höhenbereich der Rotoren unterwegs sind. Umgekehrt würde ein maximal 50%-iges Risiko bestehen, dass doch Rotmilane im kritischen Höhenbereich unterwegs sind, wenn man nicht abschalten würde. Aus ökonomischen und naturschutzfachlichen Gründen dürfte dieser Ansatz daher nicht zielführend sein.

3.5.10.5 Fazit: individuelle Flugbewegungen Rotmilane (Phase 1)

- Die Erfassungsmethode kann das Niveau der Ergebnisse beeinflussen. Daher ist für Modellierungen und die Interpretation der Daten die Berücksichtigung der Erfassungsmethode wichtig.
- Die meisten Ortungen von Rotmilanen im Flug liegen ober- oder unterhalb des Höhenbereichs der Forschungs-WEA oder einer WEA Modell Vestas V112. 65% finden unterhalb von 50 m ü.B. statt.
- Die besenderten Rotmilane kreuzten bei 69% der Flugwege bezüglich einer Forschungs-WEA und bei 53% der Flugwege bezüglich einer WEA Modell Vestas V112 mindestens einmal im Verlauf eines zusammenhängenden Flugwegs die Höhenbereiche der WEA.
- Die mittlere Fluggeschwindigkeit beträgt 27,2 km/h (\pm 12,6 km/h) und steigt mit zunehmender Höhe. 75% der Werte liegen unterhalb von 34 km/h und 90% der Werte unterhalb von 43 km/h.
- Der Einfluss der Meteo-Parameter auf die Flugaktivität und Flughöhe ist insgesamt eher gering. Deutlich ist, dass die Flugaktivität der Rotmilane mit zunehmend schlechter Witterung (Regen, Nebel) sinkt und dass Rotmilane bei starkem Wind und nasser Witterung tiefer fliegen als bei Schwachwind und trockener Witterung.
- Die Wahrscheinlichkeit, dass Rotmilane auf Rotorhöhe der Forschungs-WEA oder einer WEA Modell Vestas V112 fliegen, ist unter allen Meteo-Konstellationen geringer als 50%. Wird bei einer bestimmten Meteo-Konstellation abgeschaltet, so ist man lediglich zu maximal 50% sicher, dass wirklich Rotmilane im kritischen Höhenbereich unterwegs sind. Wird umgekehrt bei einer bestimmten Meteo-Konstellation NICHT abgeschaltet, so beträgt das Risiko 50%, dass doch Rotmilane im kritischen Höhenbereich fliegen und einem Kollisionsrisiko ausgesetzt sind. Eine Abschaltung von WEA rein aufgrund von meteorologischen Bedingungen ist daher nicht zielführend.

3.6 Test Detektionssysteme zur automatischen Vogelerkennung

Anfang 2019 wurde das „Konzept zur Erprobung von Systemen zur Vermeidung von Vogelkollisionen an Windturbinen“ erarbeitet. Gemäß diesem Konzept wurden im Herbst 2019 und

Frühling 2020 Tests von automatischen Vogeldetektionssystemen durchgeführt. Getestet wurden die Detektionseigenschaften des Systems BPS der polnischen Firma Bioseco (Sept./Okt. 2019, Abb. 59) sowie des IdentiFlight® Aerial Detection System der amerikanischen Firma IdentiFlight International, LLC (April/Mai 2020, Abb. 60 und Abb. 61). Die Tests und Ergebnisse liegen in separaten Berichten vor (Aschwanden & Liechti 2020a, 2020b).

a)



b)



Abb. 59: Detektionssystem Bioseco im Testfeld mit dem östlichen Windmessmast im Hintergrund (a) sowie Luftbild mit den Standorten des Detektionssystems (roter Stern), der beiden Windmessmasten (weisse Fünfecke), der LRF-Sichtbeobachtungen (rosa Punkte) und ein Umkreis von 500 m (gelber Kreis) (Quelle Luftbild: Google Satellite).



Abb. 60: System IdentiFlight in der Nähe des Naturfreundehaus Immenreute (Foto von e3, 25.03.2020).

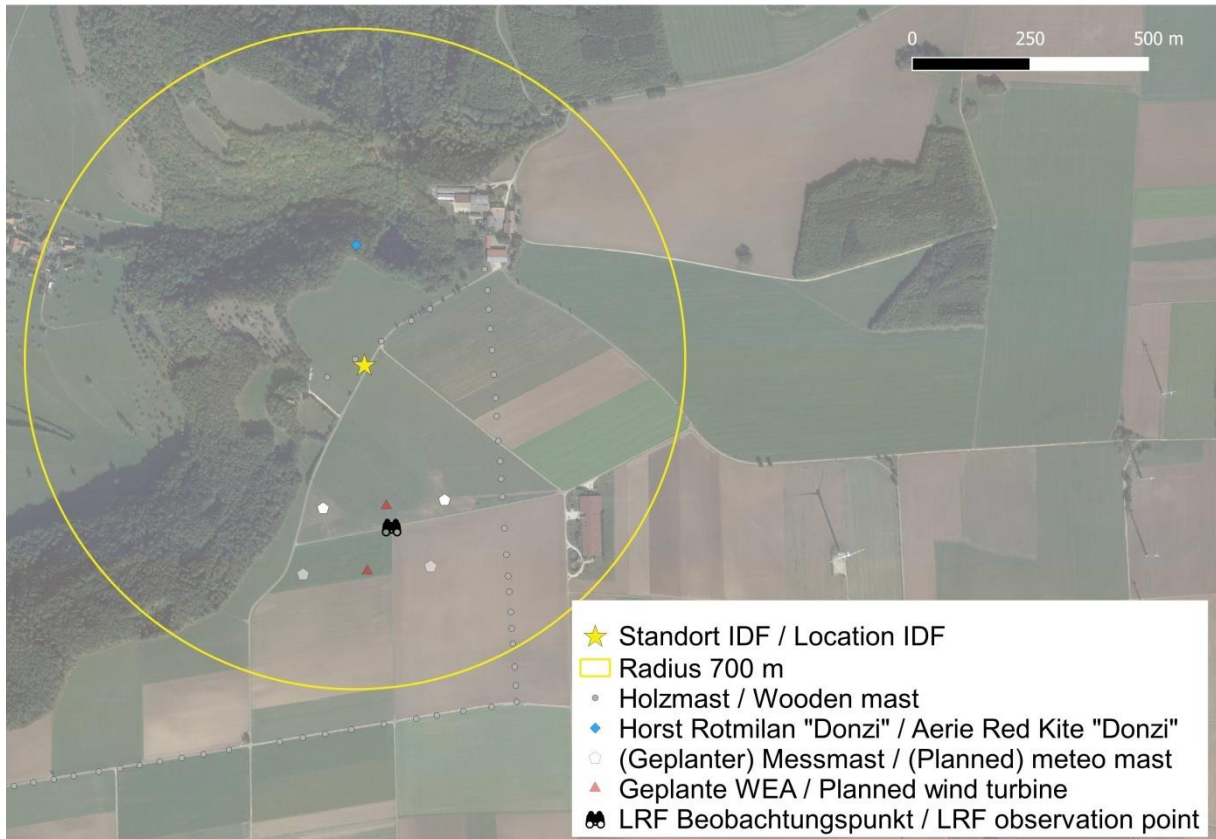


Abb. 61: Überblick Gebiet des Testfelds mit Standort des IDF, den bereits bestehenden und geplanten (transparent) meteorologischen Messmasten, den geplanten WEA, dem Horst des besondern Rotmilans 180909 („Donzi“), dem LRF Beobachtungspunkt, dem Radius von 700 m und den hölzernen Stromleitungsmasten (Quelle Luftbild: Google Satellite).

4 Fledermäuse

Ziel der fledermausbasierten Naturschutzbegleitforschung am Windenergie-testfeld auf der Schwäbischen Alb ist es, zu einem besseren Verständnis über das Fledermausvorkommen und -verhalten an WEA zu gelangen. Die gewonnenen Erkenntnisse aus den Erhebungen sollen die Prognosesicherheit der Fledermausaktivität und damit die bestehenden Vermeidungsmaßnahmen verbessern. Dabei werden bewährte und neuartige Technologien eingesetzt, die es ermöglichen, ökologische Daten sowie Umweltparameter und technische Betriebsdaten in Zusammenhang zu stellen. Neue Ansätze bei Vermeidungsmaßnahmen, wie z.B. die Berücksichtigung der aktuellen Fledermausaktivität zur Abschaltung der Anlagen, sollen im Windtestfeld überprüft werden.

Im Forschungsprojekt fanden Vorher-Untersuchungen in dem geplanten Windtestfeld statt. Diese beschränkten sich auf Datenerhebungen, die an den bereits errichteten Windmessmasten und in der näheren Umgebung des Windtestfelds durchgeführt wurden. In dieser Zeit befanden sich noch keine WEA auf dem Windtestfeld, sodass die gewonnenen Daten einen weitgehend unbeeinflussten Zustand widerspiegeln. Während der Projektlaufzeit wurden Witterungs- und Umweltparameter erfasst und in Abhängigkeit der ökologischen Daten analysiert. Aus den ersten Erkenntnissen sollen, basierend auf der Datenlage, experimentelle Ansätze zur Untersuchung der Wirkzusammenhänge konzeptionell erarbeitet werden.

Im Folgenden werden die einzelnen Arbeitspakete der fledermausbasierten Naturschutzforschung im Detail vorgestellt und die bisherigen Ergebnisse aus den Jahren 2018 bis 2020 dargestellt und diskutiert. Da die beiden Arbeitspakete des Forschungsvorhabens „Punktu-elle akustische Erfassungen an Messmasten und in der Umgebung des Testfeldes“ und „Auswertung und Korrelation von Witterungs- und Umweltparametern mit der Fledermausaktivität“ eng miteinander verknüpft sind, werden sie hier zum besseren Verständnis gemeinsam abgearbeitet.

4.1 Punktuelle akustische Erfassungen an Messmasten und in der Umge- bung des Testfeldes; Auswertung und Korrelation von Witterungs- und Umweltparametern mit der Fledermausaktivität

4.1.1 Ziele

Für eine solide Datenbasis muss die Fledermausaktivität umfassend, dauerhaft und in verschiedenen Höhen erfasst werden. Hierzu eignen sich insbesondere erprobte akustische Verfahren, welche eine Art-/Artgruppenbestimmung der aufgenommenen Fledermausrufe erlauben. Um den Einfluss von WEA auf das Verhalten und die Aktivität von Fledermäusen beurteilen zu können, ist es allerdings nötig, deren Verhaltens- und Aktivitätsmuster in einem weitgehend unbeeinflussten Umfeld zu kennen. Ermöglicht wird dies über stratifizierte akustische Dauererfassungen an den Messmasten im Forschungstestfeld. Über akustische Standarderfassungen können Fledermäuse nicht räumlich verortet werden, sodass keine Informationen über deren Flugverhalten generiert werden können. Durch das Anbringen mehrerer Detektoren in verschiedenen Messhöhen können aber räumliche Unterschiede zwischen der Fledermausaktivität in verschiedenen Höhen festgestellt werden. Zusätzlich werden auch die Aktivität und das Vorkommen der Fledermäuse im Raum um das Testfeld mittels akustischer Methoden untersucht. Die eingesetzte Kombination aus einer detaillierten Erfassung in verschiedenen Höhen innerhalb des Testfelds und einer flächigen, bodennahen Erfassung in der näheren Umgebung des Testfelds ermöglichen eine Einschätzung der Fledermausaktivität im untersuchten Raum. Dabei können artspezifische Rückschlüsse auf das Verhalten und das zeitliche Auftreten gezogen werden.

Die Aktivität von Fledermäusen an WEA ist stark von Witterungsparametern abhängig. Für eine Verbesserung der Vermeidungsmaßnahmen zur Reduktion des Kollisionsrisikos an WEA ist ein besseres Verständnis des Auftretens von Fledermäusen in Abhängigkeit von Witterungsparametern (z.B. Temperatur, Niederschlag) notwendig. Die Vorher-Erfassungen erlauben die Korrelation der Witterungs- und Aktivitätsdaten bereits im unbeeinflussten Zustand, so dass mögliche durch die WEA induzierte Effekte besser identifiziert werden können.

4.1.2 Material und Methoden

4.1.2.1 Erfassungssystem Messmast: BATmode S+

Für die Erfassung der Fledermausrufe in den verschiedenen Höhen des Messmasts wurde das BATmode S+ System (bat bioacoustictechnology GmbH, Winkelhaid) eingesetzt. Das Batmode S+ System nimmt Rufsequenzen von Fledermäusen auf und speichert sie digital mit hoher Qualität (300 kHz, 16 bit) auf der Festplatte des Systemrechners ab und sichert diese extern auf einem USB Flash Drive. Durch eine Aufnahmesteuerung können Störgeräusche zu einem großen Teil ausgeschlossen werden. Die Einstellung der Aufnahmeparameter des BATmode S+ Systems, das auf dem Avisoft-System (Avisoft Bioacoustics, Glienicke) aufbaut, erfolgte nach den Vorgaben des Forschungsvorhabens von Behr et al. (2016b). Der Trigger Threshold wurde auf 37 dB SPL eingestellt. Beim BATmode S+ System wird der Posttrigger über die Hold Zeit von 1 s gesteuert, was dazu führt, dass ganze Rufreihen z.B. des Abendseglers in einer Aufnahme aufgezeichnet werden, während bei dem Batcorder-System durch die Definition des Posttriggers von 200 ms oft nur ein Ruf in einer Aufnahme erscheint, da das Intervall zwischen zwei Rufen dieser Art oft größer ist. Somit sind die Aufnahmezahlen der beiden Systeme nicht direkt vergleichbar.

Das BATmode S+ System besteht aus einem Windows®-Rechner, einem UltraSoundGate (USG), bei dem es sich um einen A/D-Wandler handelt und einer Mikrofoneinheit, in die neben dem Mikrofon ein Ultraschallgeber eingebaut ist. Die Steuerung des Aufnahmegeräts erfolgt über die Batcontrol Software (bat bioacoustictechnology GmbH, Winkelhaid), auf die über WLAN oder über das Internet zugegriffen werden kann. Dies ermöglicht eine Fernüberwachung, die auch die Steuerung des Systems ermöglicht. Über eine tägliche Status-SMS bzw. Email werden Informationen über den Zustand des Systems, die Anzahl der Aufnahmen der letzten Nacht, der vorhandenen Speicherkapazität und weitere Informationen übermittelt. Der in die Mikrofoneinheit eingebaute Signalgeber erzeugt einmal am Tag außerhalb der Aufnahmezeit ein standardisiertes Signal, mit dem die Mikrofonempfindlichkeit gemessen wird. Auch dieser Messwert wird über die Statusmeldung weitergegeben. Die Wartung und Kalibrierung der Mikrofone erfolgt nach jeder Messsaison durch den Hersteller bat bioacoustictechnology GmbH.

4.1.2.2 Erfassungssystem Umgebung: Batcorder (Waldbox-Erweiterung)

Für die Erfassungen in der Umgebung um das Testfeld wurden Batcorder der Firma ecoObs GmbH mit der zusätzlichen Erweiterung für eine wettergeschützte und energetisch autarke Erfassung im Freiland („Waldbox“) verwendet. Der Batcorder nimmt Rufsequenzen von Fledermäusen auf und speichert sie digital mit hoher Qualität (500 kHz, 16 bit) auf einer austauschbaren SDHC-Karte ab. Durch eine Aufnahmesteuerung können Störgeräusche teilweise ausgeschlossen werden. Die Einstellung der Aufnahmeparameter der Batcorder erfolgte nach den Vorgaben des Forschungsvorhabens (Brinkmann et al. 2011). Dabei wurde die Empfindlichkeit auf -36 dB und die Posttrigger-Zeit auf 400 ms eingestellt. Die übrigen

Parameter entsprachen der Standardeinstellung des Herstellers (vgl. Batcorder 3 Bedienungsanleitung V3.00, März 2013). Die Mikrofone wurden vor dem Einsatz vom Hersteller nach einem Standardverfahren kalibriert. Die Waldbox-Erweiterung beinhaltet ein Steuermodul, einen 12 V Bleigel-Akkumulator, ein Solarpanel und ein Scheibenmikrofon. Das Steuermodul regelt nicht nur die Stromversorgung, sondern versendet täglich eine Statusmeldung (SMS) zur Überwachung der Erfassung mit Angaben zur Anzahl der Aufnahmen (von vorhergehender Nacht und gesamt), zum verbleibenden Speicherplatz auf der SDHC-Karte und möglichen Meldungen zu Problemen mit der Stromversorgung. Ein in die Mikrofonhülse eingebauter Signalgeber, der ebenfalls durch das Modul gesteuert wird, erzeugt beim abendlichen Einschalten und morgendlichen Abschalten des Batcorders ein standardisiertes Signal, mit dem die Mikrofonempfindlichkeit gemessen wird. Auch diese Messwerte werden über die Statusmeldung weitergegeben. Als zusätzliche Information wird die Nacht-Tiefsttemperatur übermittelt.

4.1.2.3 Untersuchungsaufbau an den Messmasten

Bereits im Winter 2018/2019 wurde an den Messmasten ein Methodentest durchgeführt, bei dem der erste Messmast Nordwest zwischen dem 14.11.2018 und 13.02.2019 mit acht Ultraschall-Detektoren ausgestattet wurde. Dabei wurden in jeder Höhenstufe (5 m, 33 m, 65 m und 95 m) zwei Mikrofone installiert, eines mit Ausrichtung nach Westen, das zweite mit Ausrichtung nach Osten. Bei den nach Osten ausgerichteten Mikrofonen handelte es sich um das BATmode S+-System mit Avisoft UltraSoundGate 416Hnbm, bei den nach Westen ausgerichteten Mikrofonen um das BATmode S+-System mit Avisoft UltraSoundGate 116Hnbm. Dieses Untersuchungsdesign wurde gewählt, um einerseits die beiden angebotenen Mikrofonsysteme miteinander zu vergleichen und das geeignetste System für die Erfassungen am Forschungstestfeld auszuwählen und andererseits für die zukünftige Anbringung an den weiteren Messmasten die zu bevorzugende Erfassungsausrichtung festzulegen.

Bei der Montage der Erfassungssysteme ergaben sich Probleme mit der Halterung der Mikrofonhülsen. Es stellte sich heraus, dass die Schraube am Hülsenboden, mit der das Mikrofon an der Halterungsstange angeschraubt wird, nur in den Hülsenboden eingeklebt war und sich teilweise schon bei der Vormontage löste. Im Verlauf der Wintererfassung lösten sich noch weitere Mikrofone und hingen dann von der Halterungsstange herunter. Dies hatte im ersten Moment noch keine Auswirkungen auf die Aufnahmefähigkeit der Mikrofone. Die rauen klimatischen Bedingungen, denen die Mikrofone am Mast ausgesetzt sind, hatten allerdings temporär und bei einigen Mikrofonen Auswirkungen auf die Aufnahmefähigkeit. Vereisung bzw. Feuchtigkeit auf der Mikrofonöffnung führen zu einer temporären Verminderung der Aufnahmefähigkeit. Eindringende Feuchtigkeit und Staub können die Empfindlichkeit verringern bzw. zu Schäden an Mikrofonkapsel und Platine führen. So wurde vom Hersteller bei der Nachkalibration bei drei Mikrofonen festgestellt, dass Feuchtigkeit in die Mikrofonhülse eingedrungen war und zur Korrosion auf der Platine geführt hatte. In einem Fall wurde festgestellt, dass das Mikrofon unempfindlich geworden war. Das Eindringen der Feuchtigkeit könnte auf das Herabhängen der gelösten Mikrofone zurückzuführen sein, da die Mikrofonhülsen dann an den Kabeln hängen und Wasser am Kabeldurchgang eindringen kann. Bei einer Kabelmanschette wurde ein Riss festgestellt. Dieser könnte z.B. durch herunterfallende Eisstücke entstanden sein. Schäden durch Eisschlag wurde auch an den Halterungsstangen festgestellt, die nach unten gebogen wurden (vgl. Abb. 62).



Abb. 62: An einem Ausleger montierte Mikrofone der zwei BATmode S+-Systeme.
Links direkt nach der Montage, rechts bei einer Kontrolle am 27.11.2019 mit Vereisung und herabhängendem Mikrofon

Der Hersteller der Detektor-Systeme hat zusammen mit Mitarbeitern des ZSW und der Frl-naT GmbH eine verbesserte und auf die lokalen Bedingungen angepasste Mikrofonhülse entwickelt, sodass Ausfälle zukünftig minimiert werden konnten.

Generell erschwerten es die klimatischen Bedingungen, die Aufnahmekontinuität zu gewährleisten. Zusätzlich führte ein Stromausfall zwischen dem 07.01. und dem 16.01.2019 zu einem längeren Ausfall der Geräte. Außerdem stoppte das BATmode S+-System mit USG 116Hnbm auf 95 Metern zwischen dem 17.01. und dem 28.01.2019 aus einem bisher nicht geklärten Grund die Aufnahme. Im Ergebnisteil werden die tatsächlichen Aufnahmezeiten sowie die Ausfälle der acht Detektoren zusammengefasst. Aufgrund der beträchtlichen Geräteausfälle und Schäden an den Mikrofonen über die Wintermonate wurde von einer weiteren Erfassung im Winter abgesehen. Diese war in Abhängigkeit der Belastbarkeit der Erfassungsgeräte im Projekt vorgesehen. In Hinblick auf die geringen Datenmengen sind die entstehenden Mehrkosten durch eine Wintererfassung gegenüber dem geringen Erkenntnisgewinn nicht zu rechtfertigen.

Für die folgende Sommersaison ließen die Wetterbedingungen vor Ort eine Installation der Geräte an Messmast Nordwest erst wieder am 14.05.2019 zu, dabei wurden die Mikrofone entsprechend der Wintererfassung angeordnet. Die Erfassung wurde bis zum 12.11.2019 fortgeführt. Die Geräte waren jeweils von 14:00 bis 07:00 des Folgetags (MESZ) aufnahmebereit.

Eine Woche nach der Mikrofonmontage fiel das Mikrofon auf 95m Höhe mit Ostausrichtung aus, nur sporadisch wurden die täglichen Kalibriersignale erfasst und zeigten eine extreme Unempfindlichkeit des Mikrofons. Am 18.07.2019 war es möglich, das defekte Mikrofon gegen ein Ersatzmikrofon zu tauschen. Bereits auf den ersten Blick wurde deutlich, dass es sich um einen Wasserschaden handelte (Abb. 63). Offensichtlich genügen die Mikrofonhülse und die Steckverbindung der Kabel den hohen Ansprüchen, die durch die rauen klimatischen Bedingungen am Testfeld und insbesondere in großer Höhe vorherrschen, nicht.

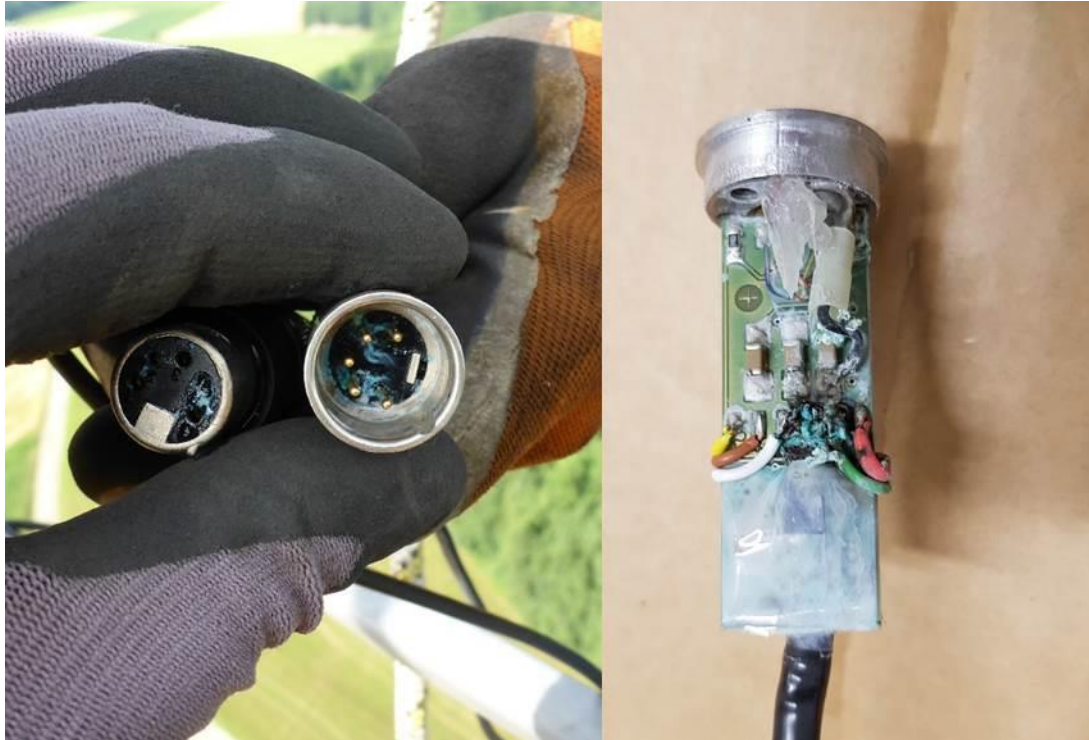


Abb. 63: Wasserschaden am Mikrofon (rechts) und Steckverbindung (links) E_95

Das defekte Mikrofon wurde an den Hersteller geschickt, untersucht und in Zusammenarbeit mit dem ZSW an einer Lösung für das Problem gearbeitet. Die Kabelsteckverbindungen werden nun über ein Gehäuse geschützt und zusätzlich mit Isoliertape gesichert. Das noch standardgemäß verbaute Ersatzmikrofon zeigte bereits am 02.08.2019 erste Ausfallerscheinungen, die nahelegen, dass auch in dieses Mikrofon Wasser eingedrungen war. Der erneute Tausch des Mikrofons E_95 belegte diese Vermutung. Das überarbeitete Mikrofon zeichnete seither ohne weitere Probleme auf. Wegen der hohen Ausfallzeiten der nach Osten ausgerichteten Mikrofone (vor allem in 95m Höhe) sowie der vorläufigen Ergebnisse wurde entschieden, dass für die weiteren Auswertungen nur die nach Westen ausgerichteten Mikrofone verwendet werden. An diesen Mikrofonen gab es nur einzelne Ausfälle durch Stromausfälle oder geplante Abschaltungen am Mast für Elektroüberprüfungen (Tab. 1).

Tab. 7: Aktiv- und Ausfallzeiten der Fledermaus-Erfassungseinheiten während der Sommererfassung 2019 am Messmast Nordwest

(W=Ausrichtung nach Westen, E=Ausrichtung nach Osten)

Erfassungseinheit	Nächte ohne Ausfall	Nächte mit Ausfall	Nächte insgesamt
W_05	177	8	185
W_33	175	10	185
W_65	177	8	185
W_95	168	17	185
E_05	174	11	185
E_33	174	11	185
E_65	174	11	185
E_95	86	99	185

Für die Erfassungen im Jahr 2020 wurden vier BATmode S+ - Systeme am 06.04.2020 durch das ZSW am Messmast Nordwest montiert, wobei die Mikrofone auf den Höhen 5m, 33m, 65m und 95m angebracht und nach Westen ausgerichtet wurden. Der zweite Messmast

Nordost konnte aus technischen Gründen erst am 18.05.2020 mit vier BATmode S+ - Systemen in denselben Höhenstufen ausgestattet werden. In Tab. 8 sind die Ausfallzeiten der Messmast-Erfassungen aufgeführt. An Messmast Nordwest verursachte eine Falschbelegung der Pins am 07.04. einen viertägigen Ausfall sowie vermutlich ein Überspannungseignis am 22.07.2020 einen Ausfall des zentralen Rechners für 29 Tage, sodass bis zum Austausch am 20.08.2020 keine Rufaufnahmen am Nordwestmast aufgezeichnet wurden. An Messmast Nordost traten keine Ausfälle auf. Der Abbau der Systeme erfolgte am 05.11.2020.

Tab. 8: Aktiv- und Ausfallzeiten der Fledermaus-Erfassungseinheiten während der Sommererfassung 2020 am Messmast Nordwest und Messmast Nordost

Erfassungseinheit	Nächte ohne Ausfall	Nächte mit Ausfall	Nächte insgesamt
NW_5	181	33	214
NW_33	181	33	214
NW_65	181	33	214
NW_95	181	33	214
NE_5	172	0	172
NE_33	172	0	172
NE_65	172	0	172
NE_95	172	0	172

Nachdem sämtliche Mikrofone nach dem Abbau im November 2020 überholt und kalibriert wurden, konnten diese nach der Winterpause am 22.04.2021 an Messmast Nordwest und Messmast Nordost nach bekanntem Muster installiert werden. Aufgrund der widrigen Witterungsverhältnisse war eine frühere Montage nicht möglich. Es ist wie in den vorhergehenden Jahren geplant, die BATmode S+-Systeme bis in den November an den Messmasten zu belassen. Die im Jahr 2021 aufgezeichneten Daten sind nicht Bestandteil des hier vorliegenden Berichts.

Im Rahmen der technischen Forschung werden an Messmast Nordwest und Nordost verschiedenste Witterungsparameter bereits umfassend erhoben. In verschiedenen Höhen werden die Windgeschwindigkeit (10, 45, 59, 72, 86 und 100 m), die Windrichtung (34, 59 und 86 m), die Temperatur (3, 23, 45, 72 und 96 m) und die Luftfeuchtigkeit (3, 23, 45, 72 und 96 m) erfasst. Zusätzlich werden Niederschläge, Luftdruck (3 m und 96 m), die Lichtintensität, die Bewölkung, die Sichtweite (20 m) sowie die atmosphärische Stabilität im Testfeld erfasst. Diese Daten stehen in 10-min-Intervallen zur Verfügung. Die Erfassung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweise und zeitlich begrenzt auftretender Ereignisse (z.B. Mahd, Umbrechen, Düngen) wird zukünftig über im Testfeld angebrachte Umfeldkameras sichergestellt. Die technische Umsetzung erfolgt über das ZSW. Das gespeicherte Bildmaterial soll in Hinblick auf oben genannte Aspekte analysiert und wie die Witterungsparameter in die statistische Auswertung integriert werden. So können Korrelationen zwischen der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und der akustischen Fledermausaktivität aufgedeckt werden.

4.1.2.4 Untersuchungsaufbau in der Umgebung des Testfelds

Die Fledermausaktivität in der Umgebung um das Testfeld wird über acht Dauererfassungsgeräte ermittelt. Dabei wird sowohl der Wald am Rande des Albtraufs als auch das umgebende Offenland beprobt. Dadurch können Erkenntnisse zum Auftreten und Verhalten von Fledermäusen außerhalb des Windtestfelds gewonnen werden. Außerdem ermöglicht die Auswertung der gewonnenen Daten eine Einschätzung bezüglich eines möglichen Meide-

oder Attraktionsverhaltens der Fledermäuse gegenüber den später errichteten WEA. Zu diesem Zweck wurden am 28.06.2019 acht Batcorder mit „Waldbox“-Erweiterung ausgebracht und blieben bis zum 06.11.2019 aufnahmebereit. Die Geräte waren jeweils von 15:00 bis 08:00 des Folgetags (MESZ) aktiv. Vier der Geräte befinden sich an der Waldrandkante des Abtraufs, ein Gerät am Schweinemastbetrieb und drei weitere Geräte an Strommasten auf bzw. an Ackerflächen (Abb. 64). Aufgrund von technischen Schwierigkeiten kam es auch hier zu kleineren Ausfallzeiten (Tab. 9). Im Frühjahr 2020 wurden die acht Batcorder wieder an den Standorten von 2019 angebracht. Die Detektoren wurden am 18.03.2020 installiert und waren mit einigen technischen Problemen bis zum 04.11.2020 aktiv (Tab. 10).

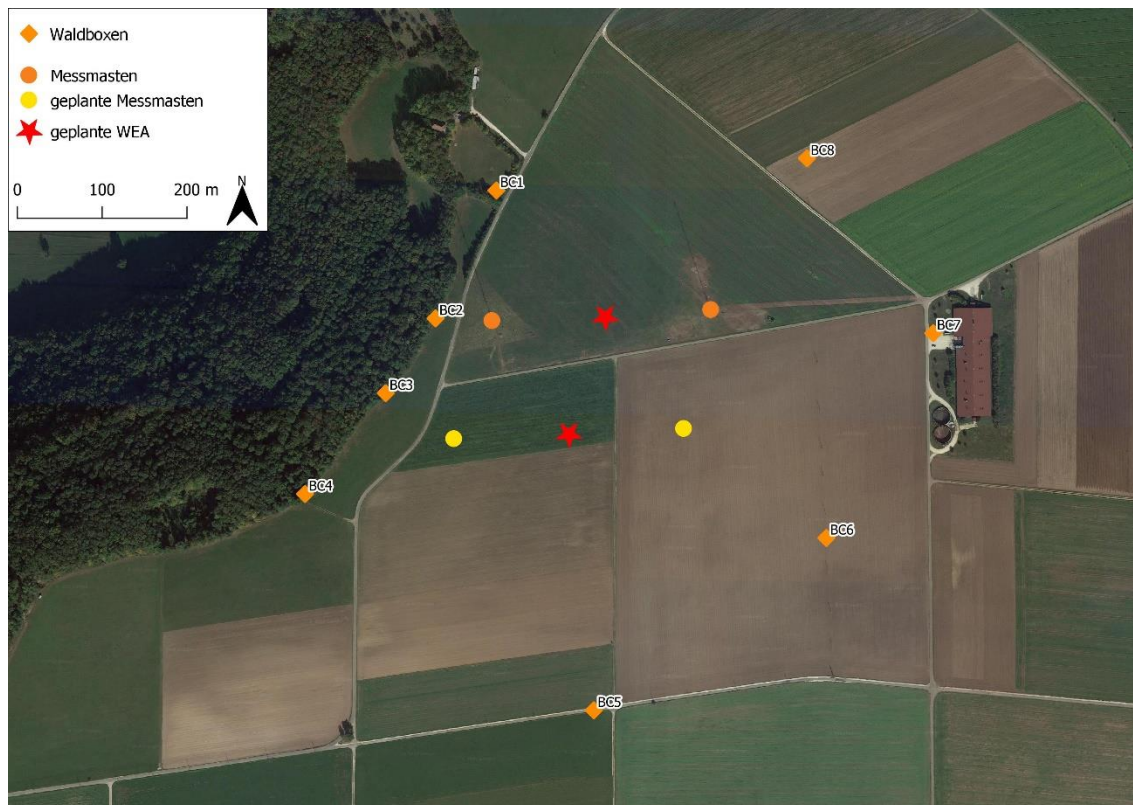


Abb. 64: Lage und Bezeichnung der Waldboxen zur Erfassung der Fledermausaktivität in der Umgebung um das Testfeld
(Quelle Luftbild: Google Satellite)

Tab. 9: Aktiv- und Ausfallzeiten der Fledermaus-Erfassungseinheiten in der Umgebung um das Testfeld von 2019

Erfassungseinheit	Nächte ohne Ausfall	Nächte mit Ausfall	Nächte insgesamt
BC1	132	0	132
BC2	132	0	132
BC3	131	1	132
BC4	132	0	132
BC5	109	23	132
BC6	124	8	132
BC7	132	0	132
BC8	120	12	132

Tab. 10: Aktiv- und Ausfallzeiten der Fledermaus-Erfassungseinheiten in der Umgebung um das Testfeld von 2020

Erfassungseinheit	Nächte ohne Ausfall	Nächte mit Ausfall	Nächte insgesamt
BC1	231	0	231
BC2	225	6	231
BC3	225	6	231
BC4	176	55	231
BC5	193	38	231
BC6	231	0	231
BC7	231	0	231
BC8	231	0	231

4.1.2.5 Auswertung akustische Daten

Die Auswertung der Daten des BatMode-Systems, das auf einem Avisoft UltraSoundGate basiert, erfolgte mit dem Programm BATscreen PRO (Version 2.0.1, 15. Januar 2019) von bioacousticstechnology GmbH. Dabei wurde die Artbestimmung gänzlich manuell durchgeführt, da bestehende automatisierte Auswertelgorithmen für die Gondelerfassung konzipiert wurden und einige Arten und Artengruppen, die im hiesigen Projekt in Bodennähe aufgezeichnet wurden, nicht berücksichtigen. Beim Batcorder der Firma ecoObs, Nürnberg, handelt es sich um eine automatische akustische Erfassungseinheit für die Aufnahme von Ultraschalllauten. Die Rufsequenzen, die mittels der Batcorder in den Waldboxen aufgezeichnet wurden, wurden mit der Software bcAdmin v3.5.6, bcAnalyze2 v1.0 sowie batIdent v1.51 analysiert. Die automatische Identifikation der Software muss im Weiteren auf ihre Plausibilität hin überprüft werden. Dafür wurden alle Rufsequenzen manuell überprüft und die automatische Bestimmung unter Verwendung der aktuellsten Bestimmungsliteratur validiert (Russ 2012). Die Bestimmung erfolgt bei der Gattung *Pipistrellus* und der Mopsfledermaus in der Regel auf Artniveau. Auch Rufe des Abendseglers können eindeutig zugeordnet werden, sofern die Hauptfrequenz unter 20 kHz liegt. Zum Teil werden die Rufsequenzen jedoch nur einer Gruppe ähnlich rufender Arten zugeordnet. Dies ist bei der Gruppe „Nyctaloid“ der Fall, da es oftmals nicht möglich ist, akustisch zwischen den ähnlich rufenden Arten Kleinabendsegler, Abendsegler, Breitflügelfledermaus, Nordfledermaus und Zweifarbfledermaus zu unterscheiden (Tab. 11). Ähnlich verfahren wird, wenn Rufe der Gattung *Pipistrellus* und ähnlich rufender Arten (z.B. Langflügelfledermaus, Alpenfledermaus) nicht eindeutig bestimmt werden können; diese Rufe werden dann der Übergruppe „Pipistrelloid“ zugerechnet. Auch Arten der Gattung *Myotis* und *Plecotus* lassen sich aufgrund ihrer sehr ähnlichen Rufcharakteristika oft nicht auf Artebene aufschlüsseln (Tab. 11).

Tab. 11: Bestimmungskategorien für die Zuordnung der Aufnahmen der akustischen Erfassungen zu bestimmten Arten bzw. Artengruppen

Kategorie	Erläuterung
Art	Abendsegler (<i>Nyctalus noctula</i> , N.noct), Hauptfrequenz <20 kHz Rauhautfledermaus (<i>Pipistrellus nathusii</i> , P.nath), Hauptfrequenz 35-40 kHz Zwergfledermaus (<i>Pipistrellus pipistrellus</i> , P.pipi), Hauptfrequenz 43-50 kHz Mückenfledermaus (<i>Pipistrellus pygmaeus</i> , P.pygm), Hauptfrequenz 53-60 kHz Mopsfledermaus (<i>Barbastella barbastellus</i> , B.barb), typischer Rufverlauf
Nyctaloid	beinhaltet Rufsequenzen von Breitflügel- (<i>Eptesicus serotinus</i>), Nordfledermaus (<i>E. nilssonii</i>), Kleinabendsegler (<i>Nyctalus leisleri</i>), Abendsegler (<i>N. noctula</i>) und Zweifarbfledermaus (<i>Vespertilio murinus</i>)
<i>Myotis</i> sp.	beinhaltet Rufsequenzen der Arten aus der Gattung <i>Myotis</i>
<i>Plecotus</i> sp.	beinhaltet Rufsequenzen der Arten aus der Gattung <i>Plecotus</i>
Pipistrelloid	beinhaltet nicht eindeutig zu bestimmende Aufnahmen der Gattung <i>Pipistrellus</i> und weiterer ähnlich rufender Arten (z.B. Alpenfledermaus, Langflügelfledermaus)

Zur grafischen Veranschaulichung der räumlichen Verteilung der Fledermäuse im Windkrafttestfeld und der Phänologie (über das Jahr und die Nacht) wurde vorläufig die Anzahl der Aufnahmen pro Nacht herangezogen. Für die Korrelationen mit meteorologischen Parametern wurde als Aktivitätsmaß die An- bzw. Abwesenheit der jeweiligen Fledermausart innerhalb von 10-min-Intervallen angewendet.

Die Auswertung der akustischen Daten ist jeweils für die Wintermonate vorgesehen, daher zeigen die hier durchgeführten grafischen Auswertungen die akustischen Daten von Ende 2018 bis Ende 2020. Die akustischen Daten aus dem Jahr 2021 sind nicht Gegenstand des hier vorgelegten Berichts.

4.1.2.6 Statistische Auswertung und Korrelation mit Witterungs- und Umweltparametern

Für den vorliegenden Bericht erfolgte eine Auswertung der Daten mit dem Statistik-Programm R, Grafiken wurden mit dem Package ggplot2 erstellt (Wickham 2016; R Development Core Team 2019). Zum einen wurden das Aktivitätsniveau und die Phänologie der verschiedenen nachgewiesenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an den Windmessmasten sowie an den Messstationen in der Umgebung um das Windtestfeld verglichen. Für diesen Vergleich wurde die Anzahl der Aufnahmen der verschiedenen Artengruppen verwendet und für die Zahl der Aufnahmenächte korrigiert, um die Daten nicht durch die Ausfallzeiten zu verfälschen. Der Vergleich der Aufnahmezahlen ist jeweils für alle am Windmessmast erhobenen Daten sowie für alle in der Umgebung erhobenen Daten möglich, da hier jeweils die gleichen Aufnahmegeräte verwendet wurden. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass der Vergleich der absoluten Anzahl Aufnahmen zwischen den Artengruppen die quantitativen Unterschiede nicht exakt widerspiegelt. Unterschiedliche Ruflautstärken, Frequenzen und Ruflängen führen dazu, dass die Rufe der verschiedenen Arten einerseits mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit aufgezeichnet werden und sich andererseits die Länge der Einzelaufnahmen unterscheidet. Die Anzahl Aufnahmen ist daher ein indirektes Maß für die Aktivität der einzelnen Arten(-gruppen). Ein qualitativer Vergleich ist aber anhand dieses Aktivitätsmaßes gut möglich.

Im zweiten Auswertungsschritt wurde der Zusammenhang zwischen den Aktivitätsdaten und den Witterungsparametern Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Temperatur sowie atmosphärischer Stabilität betrachtet. Dazu erfolgte die Auswertung der Fledermausaktivität auf

Basis von 10-min-Intervallen, da auch die Witterungsdaten in diesen Intervallen vorlagen. Jedem 10-min-Intervall mit Fledermausaktivität wurden die entsprechenden Witterungsbedingungen zugeordnet. Für die Messungen am Mast wurden jeweils die Witterungsdaten des räumlich nächst gelegenen Messpunkts verwendet (Tab. 12). Für die Daten in der Umgebung wurden die Witterungsdaten des westlichen Messmasts verwendet, die am nächsten zum Boden aufgezeichnet wurden. Zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen den Witterungsparametern und der Fledermausaktivität wurden geglättete Histogramme verwendet.

Tab. 12: Zuordnung der Messpunkte für die Erfassung der Witterungsparameter zu den akustischen Fledermauserfassungen in den verschiedenen Höhen am Messmast sowie in der Umgebung

Höhe bzw. Standort des Detektors	Höhe der zugeordneten Messung für Windgeschwindigkeit	Höhe der zugeordneten Messung für Windrichtung	Höhe der zugeordneten Messung für Temperatur	Höhe der zugeordneten Messung für Atm. Stabilität	Höhe der zugeordneten Messung für Niederschlag
Mast 5 m und Umgebung	10 m	3 m	3 m	25 m	10 m
Mast 33 m / 35 m	45 m	34 m	45 m	25 m	10 m
Mast 65 m	59 m	59 m	72 m	75 m	10 m
Mast 95 m	100 m	86 m	96 m	100 m	10 m

Da das Bildmaterial zu den Umweltparametern erst zu einem späten Zeitpunkt während der Auswertungsphase zur Verfügung stand und die aufwendige manuelle Bestimmung viel Zeit in Anspruch nimmt, wurde der Parameter der umgebenden landwirtschaftlichen Bewirtschaftung bisher nicht in der Auswertung berücksichtigt.

Zur statistischen Auswertung der Daten wurden zusätzlich verallgemeinerte lineare gemischte Modelle („generalised linear mixed models“, kurz GLMM) gerechnet. Diese Modelle haben den Vorteil, dass neben den verschiedenen festen Effekten („fixed effects“, d.h. den erklärenden Variablen) auch Zufallseffekte („random effects“) berücksichtigt werden können. Die Berücksichtigung von zufälligen Effekten erlaubt eine Verallgemeinerung der Schätzung durch die erklärenden Variablen, da die zufälligen Effekte im Modell quasi „ausgeblendet“ werden. Es wurden die Daten aus 2019 sowie 2020 und von allen Messpunkten (Umfeld sowie Messmast Nordwest und Messmast Nordost) in die Auswertung aufgenommen.

Alle erklärenden Variablen, die in das Modell mit aufgenommen werden sollten, wurden zunächst auf Korrelationen (Pearson) geprüft, um zu starke gegenseitige Abhängigkeiten auszuschließen. Dazu wurde das R-Paket Corrgram (Wright 2015) genutzt. Die Modelle wurden dann mit dem R-Paket lme4 (Bates et al. 2015) berechnet, Modellannahmen wurden mit dem R-Paket DHARMA (Hartig 2017) überprüft.

Ziel der Modellierung war es die Einflussgröße der verschiedenen Umweltparameter auf die Fledermausaktivität zu analysieren. Dabei wurden getrennte Modelle für die Fledermausaktivität an den Messmasten und an den Standorten in der Umgebung gerechnet. Abhängige Variable der Modellierungen war jeweils die An- bzw. Abwesenheit von Fledermausaktivität im 10-min-Intervall (binomiale Werte Präsenz 1/Absenz 0). Die Modelle wurden aufgrund der unterschiedlichen Aktivitätsmuster getrennt für die verschiedenen Artengruppen berechnet. Berücksichtigt wurden dabei die Arten bzw. Artengruppen Zwergfledermaus, Rauhauffledermaus, Nyctaloid-Gruppe und *Myotis/Plecotus*-Gruppe. Für die Rauhauffledermaus konnte kein Modell am Messmast berechnet werden, da das Modell aufgrund zu weniger Daten nicht

konvergierte. Außerdem wurde auch für ein Modell der *Myotis/Plecotus*-Gruppe am Messmast verzichtet, da diese in der Höhe so gut wie keine Aktivität zeigte. Als Einflussvariablen wurden sowohl in den Modellen für den Messmast als auch für die Umgebung Jahreszeit (Monat), Nachtzeit, Temperatur, Windgeschwindigkeit und Regenwahrscheinlichkeit verwendet. Für Jahreszeit, Nachtzeit und Temperatur wurde jeweils auch der quadratische Effekt berücksichtigt. Um zweigipflige Verteilungen zu modellieren wurde außerdem die Nachtzeit bei der Nyctaloid-Gruppe und die Jahreszeit bei der Flughautfledermaus bis zur vierten Potenz verwendet. Bei den Modellen für den Messmast gingen außerdem die Höhe und die Interaktionen der Variablen Jahreszeit, Nachtzeit, Temperatur und Windgeschwindigkeit mit der Höhe ein. Als Zufallsvariablen wurden bei allen Modellen der Standort und das Jahr berücksichtigt.

Die genaue Zusammensetzung der Formeln für die statistische Modellierung findet sich in Tab. 13.

Tab. 13: Überblick über die verwendeten Modellformeln

Modell	Zielvariable	Einflussvariable	Zufallseffekt
Alle Modelle	Aktivität(Präsenz/Absenz im 10-min-Intervall)	~ Jahreszeit + Jahreszeit ² + Nachtzeit + Nachtzeit ² + Temperatur + Temperatur ² + Windgeschwindigkeit + Regenwahrscheinlichkeit	+ (1 Standort) + (1 Jahr)
Messmast	Zwergfledermaus	+Höhe +Höhe*Jahreszeit +Höhe*Nachtzeit +Höhe*Temperatur +Höhe*Windgeschwindigkeit	
	Nyctaloid-Gruppe	+Nachtzeit ³ + Nachtzeit ⁴ +Höhe +Höhe*Jahreszeit +Höhe*Nachtzeit +Höhe*Temperatur +Höhe*Windgeschwindigkeit	
Umgebung	Zwergfledermaus		
	Rauhautfledermaus	+ Jahreszeit ³ + Jahreszeit ⁴	
	Nyctaloid-Gruppe	+ Nachtzeit ³ + Nachtzeit ⁴	
	<i>Myotis/Plecotus</i> -Gruppe		

Die Berechnung der Modelle erfolgte in Zusammenarbeit mit OekoFor GbR und mit Beratung bei der statistischen Analyse durch die Oikostat GmbH (Schweiz).

4.1.3 Ergebnisse

4.1.3.1 Wintererfassung 2018/2019 an Messmast Nordwest

Trotz der widrigen Umstände konnte während der Wintererfassung Fledermausaktivität an dem Messmast festgestellt werden. Die insgesamt 51 Aufnahmen konnten alle der Zwergfledermaus zugeordnet werden. 44 der Aufnahmen stammen aus der Höhe von fünf Metern, auf 33 Metern wurden noch vier Fledermausrufe detektiert, zwei in 65 Metern Höhe und eine Aufnahme auf 95 Metern. Diese Daten sind in Abb. 65 (hier nur die Daten für die nach Westen ausgerichteten Mikrofone) dargestellt. Die nach Westen ausgerichteten Mikrofone zeigten 27 Rufaufnahmen auf, die nach Osten ausgerichteten Mikrofone mit 24 Aufnahmen geringfügig weniger. Die täglichen Mikrofontests ergaben, dass die Messwerte des morgendlichen Testsignals in etwa 47 % außerhalb des Gültigkeitsbereichs lagen, also die Mikrofonempfindlichkeit zu gering war, insbesondere an den nach Osten ausgerichteten Mikrofonen. Vor allem im Dezember wurde die Fledermausaktivität aufgezeichnet. Da die Aufnahmen an

den unterschiedlich ausgerichteten Mikrofonpaaren zu einem großen Teil in den gleichen Nächten erfolgten und vermutlich dieselben Individuen erfasst wurden, wurden für die Korrelation der Fledermausrufe mit den meteorologischen Daten nur die Rufaufzeichnungen der westlichen Mikrofone verwendet.

Tab. 14: Zusammenfassende Darstellung der Aufnahmezeiten und Aufnahmeanzahl an den verschiedenen Mikrofonen an Messmast Nordwest im Winter 2018/2019

Mikrofon	Nächte aktiv	Nächte mit Ausfall	Anzahl Aufnahmen	Ø Aufnahmen/Nacht
W_05	69	10	23	0,33
E_05	69	10	21	0,30
W_33	44	35	3	0,07
E_33	69	10	1	0,01
W_65	69	10	1	0,01
E_65	69	10	1	0,01
W_95	57	22	0	0
E_95	69	10	1	0,01

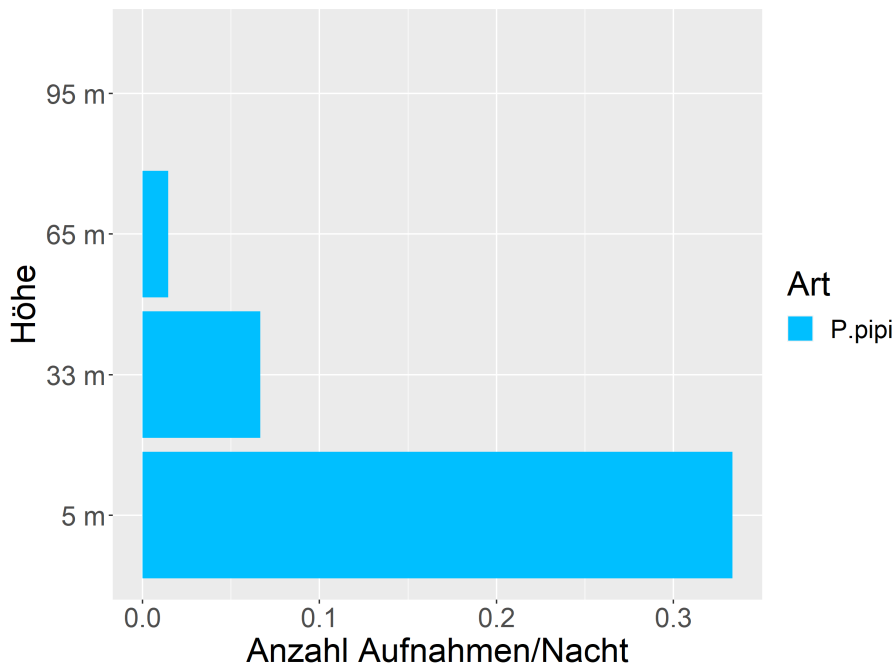


Abb. 65: Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der Zwergfledermaus pro Messnacht in den verschiedenen Messhöhen im Winter 2018/2019.
P.pipi = Zwergfledermaus

Betrachtet man in Abb. 66 die Verteilung der aufgezeichneten Zwergfledermäuse in Zusammenhang mit dem Verlauf der Nachttemperaturen, zeigt sich, dass die Tiere insbesondere in milderer Phasen aktiv waren und dies meist bereits kurz nach Sonnenuntergang. Dennoch wurden auch zwischen 0°C und 5°C einige Zwergfledermäuse an Messmast Nordwest registriert, drei Aufnahmen wurden sogar bei Minustemperaturen aufgezeichnet (Abb. 67). Generell wurden in den Wintermonaten deutlich mehr 10-min-Intervalle mit hohen Windgeschwindigkeiten registriert als in den Sommermonaten. Aber auch während dem Untersuchungszeitraum von Ende November bis Mitte Februar waren die Zwergfledermäuse bei eher niedrigen Windgeschwindigkeiten unter 7 m/s aktiv (Abb. 67). Aufgrund der sehr geringen Auf-

nahmezahlen müssen die aufgezeigten Zusammenhänge allerdings mit Vorsicht betrachtet und können nicht verallgemeinert werden.

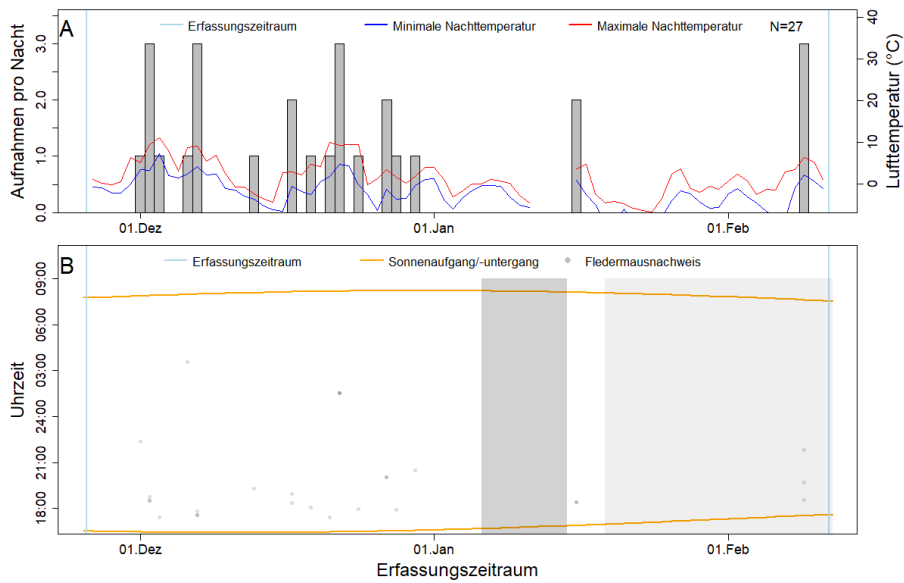


Abb. 66: Übersicht der Gesamtaktivität 2018/2019 an Messmast Nordwest in allen Höhen. In A ist die Anzahl der Aufnahmen pro Nacht über den gesamten Erfassungszeitraum aufgetragen (graue Balken). Zusätzlich ist in Rot der Verlauf der maximalen und in Blau der Verlauf der minimalen Nachttemperaturen zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang dargestellt. In B ist die nächtliche Aktivität über den Erfassungszeitraum aufgetragen. Die orangen Linien zeigen zudem die Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeiten. Beginn und Ende des Erfassungszeitraums sind jeweils durch blaue Linien gekennzeichnet. Ausfallzeiten sind durch graue Balken dargestellt.

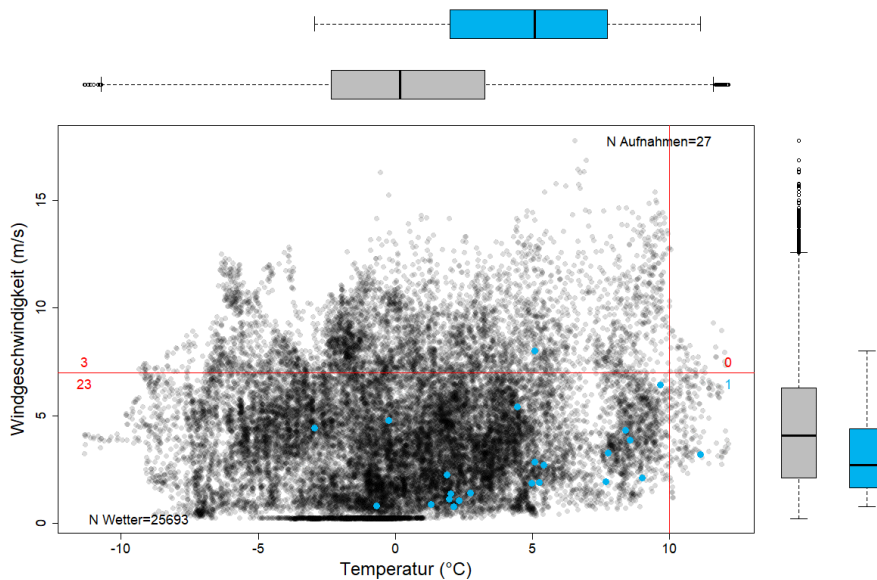


Abb. 67: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von Temperatur und Windgeschwindigkeit im Winter 2018/2019. In der Hauptgrafik sind die Witterungsbedingungen in 10-min-Intervallen mit Fledermausaktivität (blaue Punkte) im Vergleich mit allen 10-min-Intervallen im Messzeitraum (graue Punkte) dargestellt. Die roten Linien kennzeichnen die Schwellenwerte von 10°C und 7m/s. Die Boxplots außen zeigen Mittelwert und 25%-Quartile der Temperatur (oben) und der Windgeschwindigkeit (rechts) in 10-min-Intervallen mit Aktivität (blaue Balken) im Vergleich mit allen Messintervallen (graue Balken).

4.1.3.2 Sommererfassung 2019 an Messmast Nordwest

Obwohl die Mikrofone ihre Umgebung omnidirektional erfassen sollten, wurden an den nach Westen ausgerichteten Mikrofonen in den Höhen 5 und 33 m deutlich mehr Aufnahmen/Nacht erfasst (Tab. 15, Abb. 68). In 65 Metern Höhe wurden in beiden Ausrichtungen ähnlich viele Aufnahmen/Nacht aufgezeichnet, in 95 m Höhe waren es trotz der hohen Ausfallzeiten etwas mehr am nach Osten ausgerichteten Mikrofon. Überschlüssig betrachtet entspricht die Aufnahmeverteilung an beiden Ausrichtungen aber der zu erwartenden Verteilung der Fledermausaktivität über einen Höhengradienten – sinkende Anzahl an Aufnahmen mit steigender Höhe. Aus diesem Grund wurden aufgrund der hohen Ausfallzeiten im Osten für die weiteren Auswertungen die Aufnahmen der nach Westen ausgerichteten Mikrofone gewählt.

Tab. 15: Zusammenfassende Darstellung der Aufnahmezeiten und Aufnahmeanzahl an den verschiedenen Mikrofonen an Messmast Nordwest im Jahr 2019

Mikrofon	Anzahl Nächte mit aktivem Mikrofon	Anzahl Nächte mit Mikrofon-Ausfall	Anzahl Aufnahmen mit Fledermausrufen	Anzahl Aufnahmen mit Fledermausrufen/Nacht
W_05	177	8	10182	58
E_05	174	11	7656	44
W_33	175	10	5004	29
E_33	174	11	2407	14
W_65	177	8	3459	20
E_65	174	11	3525	20
W_95	168	17	1628	10
E_95	86	99	1013	12

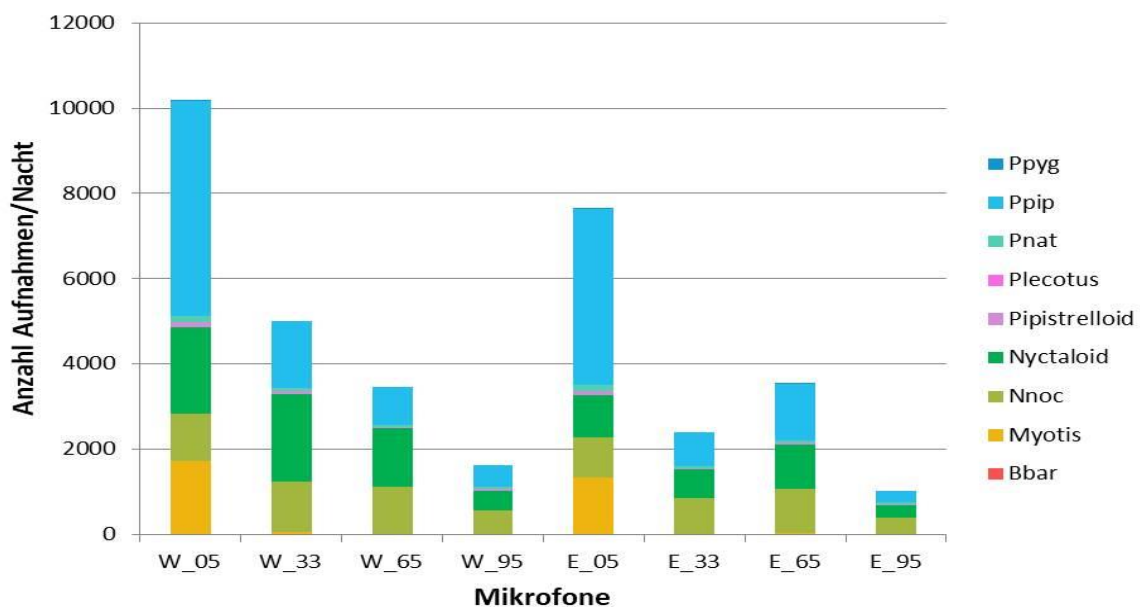


Abb. 68: Anzahl der Aufnahmen an den verschiedenen Mikrofonen an Messmast Nordwest aufgetrennt nach Arten im Jahr 2019.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noc = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

Bei den vier nach Westen ausgerichteten Messstationen am Messmast wurden während der Sommererfassung insgesamt 20.388 Aufnahmen mit Echoortungsrufen von Fledermäusen aufgezeichnet (Tab. 15). Am häufigsten aufgezeichnet wurde die Zwergfledermaus mit 8047 Aufnahmen (39,47%). Darauf folgen mit 5943 Aufnahmen (29,15 %) die Nyctaloid-Gruppe, die Aufnahmen des Kleinabendseglers, Abendseglers, Breitflügelfledermaus, Nordfledermaus und Zweifarbflodermäus beinhalten kann, und der Abendsegler mit 3991 Aufnahmen (19,58 %). Immerhin 1777 (8,72 %) wurden der Gattung *Myotis* zugeordnet. In dieser Gattung können sich die Arten Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*), Brandtfledermaus (*M. brandtii*), Bartfledermaus (*M. mytacinus*), Nymphenfledermaus (*M. alcathoe*), Wimperfledermaus (*M. emarginatus*), Fransenfledermaus (*M. nattereri*), Bechsteinfledermaus (*M. bechsteinii*) und Mausohr (*M. myotis*) verbergen. Immerhin 322 Aufnahmen (1,58%) gelangen von der Rauhautfledermaus. Nicht eindeutig bestimmt werden konnten außerdem 277 Aufnahmen (1,36 %) der Pipistrelloid-Gruppe. Vereinzelt Aufnahmen stammen von der Mopsfledermaus (8 Aufnahmen, 0,04 %), der Mückenfledermaus (10 Aufnahmen, 0,05 %) und der *Plecotus*-Gruppe (13 Aufnahmen, 0,06 %). Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen aufgrund unterschiedlicher Aufnahmewahrscheinlichkeiten zwischen den Artengruppen keinen direkten quantitativen Vergleich ermöglicht, qualitativ werden die Unterschiede aber gut wiedergespiegelt.

Tab. 16: Übersicht über die Anzahl akustischer Messungen mit Fledermausrufen am Messmast Nordwest im Jahr 2019.

Art	5 m	33 m	65 m	95 m	Gesamt	Anteil (%)
Mopsfledermaus (<i>B.barb</i>)	8	0	0	0	8	0,04
<i>Myotis</i> -Gruppe	1719	53	5	0	1777	8,72
Abendsegler (<i>N.noct</i>)	1126	1186	1121	558	3991	19,58
Nyctaloid-Gruppe	2031	2065	1379	468	5943	29,15
Rauhautfledermaus (<i>P.nath</i>)	151	73	44	54	322	1,58
Zwergfledermaus (<i>P.pipi</i>)	5071	1583	891	502	8047	39,47
Mückenfledermaus (<i>P.pygm</i>)	10	0	0	0	10	0,05
Pipistrelloid-Gruppe	112	73	38	54	277	1,36
<i>Plecotus</i> -Gruppe	12	1	0	0	13	0,06
Gesamt	10240	5034	3478	1636	20388	

Die Verteilung der Aktivität über die unterschiedlichen Messhöhen zeigt, dass mit zunehmender Höhe immer weniger Aufnahmen aufgezeichnet wurden (Abb. 68, Abb. 69). Einige Arten bzw. Artengruppen wurden fast ausschließlich in Bodennähe aufgezeichnet, so die Mopsfledermaus, die Mückenfledermaus und die *Plecotus*-Gruppe. Auch die *Myotis*-Gruppe zeigte eine deutliche Präferenz für die unterste Messstation, immerhin 53 Aufnahmen gelangen aber noch in 35 m und 5 in 65 m Höhe. Auch die Aktivität der Zwergfledermaus nimmt mit zunehmender Messhöhe sehr deutlich ab. So wurden von dieser Art am Boden 5071 Aufnahmen aufgezeichnet, in 35 m Höhe nur noch 1583 Aufnahmen, in 95 m Höhe nur noch ein Zehntel der Aktivität am Boden (502 Aufnahmen). Bei der Nyctaloid-Gruppe und vor allem beim Abendsegler dagegen ist die Abnahme der Aktivität mit zunehmender Höhe weniger deutlich. So bleibt beim Abendsegler die Anzahl der Aufnahmen bis in 65 m Höhe auf ähnlichem Niveau und sinkt danach um ca. die Hälfte ab. Daher ist in 35 und 65 m Höhe die Nyctaloid-Gruppe und in 95 m Höhe der Abendsegler die am häufigsten aufgezeichnete Art. Bei der Rauhautfledermaus dagegen nimmt die Aufnahmezahl zwar von 5 bis 65 m deutlich ab, steigt dann aber bei 95 m noch einmal an.

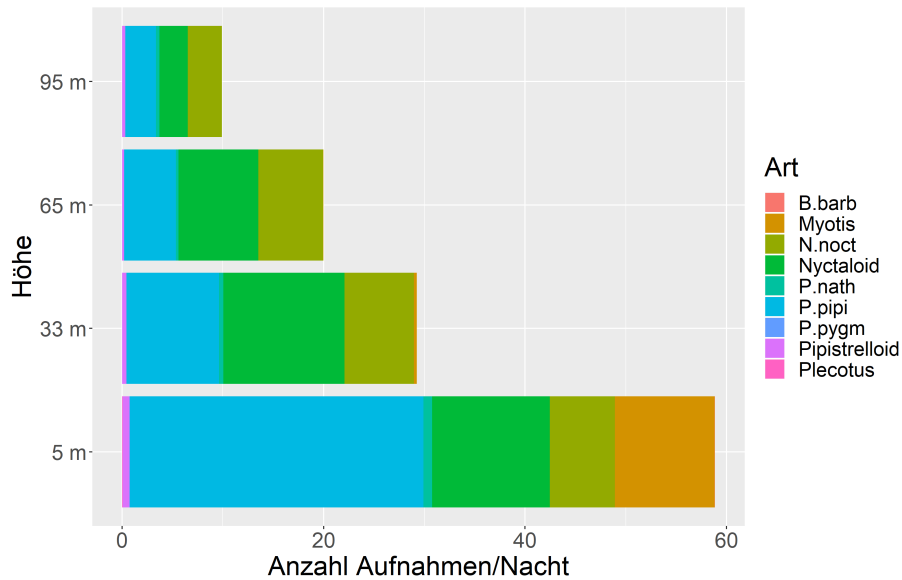


Abb. 69: Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen im Jahr 2019.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

Betrachtet man die Aktivitätsverteilung über die Monate, so zeigt sich im Mai eine deutlich geringere Aktivität als in den Sommermonaten Juni bis September (Abb. 70 bis Abb. 74). Im Oktober fällt die Aktivität dann wieder deutlich ab. Nur noch wenige Aufnahmen wurden im November aufgezeichnet. Der Vergleich der vier Messhöhen zeigt, dass der Aktivitätsverlauf sich nicht deutlich unterscheidet. In allen vier Höhen war die Aktivität von Juni bis September deutlich höher als in den anderen Messmonaten. Allerdings wurde in 65 und 95 m Höhe die höchste Aktivität im Juli festgestellt, während in 35 m Höhe der September und in 5 m Höhe der Juni die höchsten Aktivitäten aufwiesen. Die Aktivität schwankte in allen Messhöhen stark zwischen den einzelnen Nächten. Einzelnächte mit hohen Aktivitäten wurden in den unteren drei Messhöhen vor allem im Juni und September festgestellt. In 95 m Höhe dagegen traten keine Nächte mit hohen Aktivitäten im September auf.

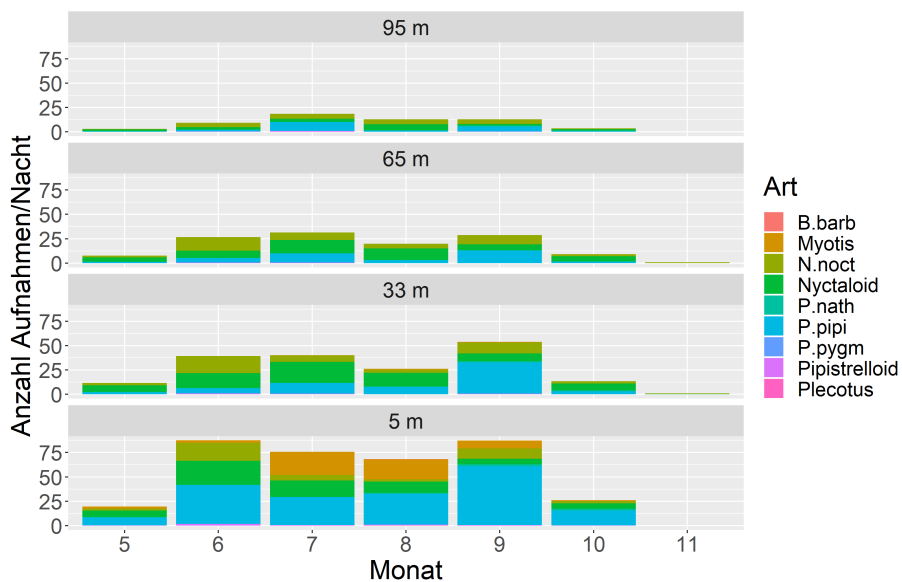


Abb. 70: Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen im Jahr 2019. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B. barb = Mopsfledermaus, N. noct = Abendsegler, P. nath = Rauhauf-fledermaus, P. pipi = Zwergfledermaus, P. pygm = Mückenfledermaus

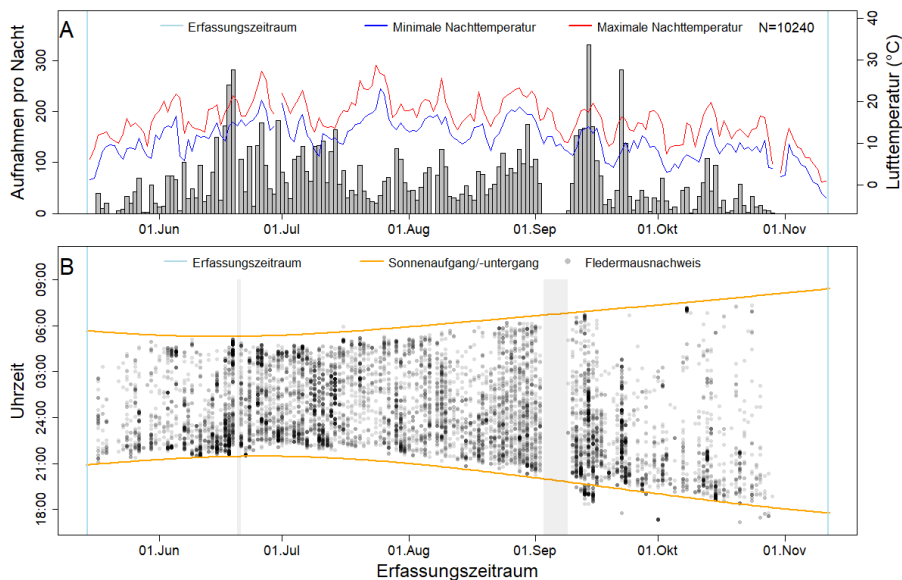


Abb. 71: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 5 m Höhe im Jahr 2019. In A ist die Anzahl der Aufnahmen pro Nacht über den gesamten Erfassungszeitraum aufgetragen (graue Balken). Zusätzlich ist in Rot der Verlauf der maximalen und in Blau der Verlauf der minimalen Nachttemperaturen zwischen Sonnenaufgang und Sonnenaufgang dargestellt. In B ist die nächtliche Aktivität über den Erfassungszeitraum aufgetragen. Die orangen Linien zeigen zudem die Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeiten. Beginn und Ende des Erfassungszeitraums sind jeweils durch blaue Linien gekennzeichnet. Ausfallzeiten sind durch graue Balken dargestellt.

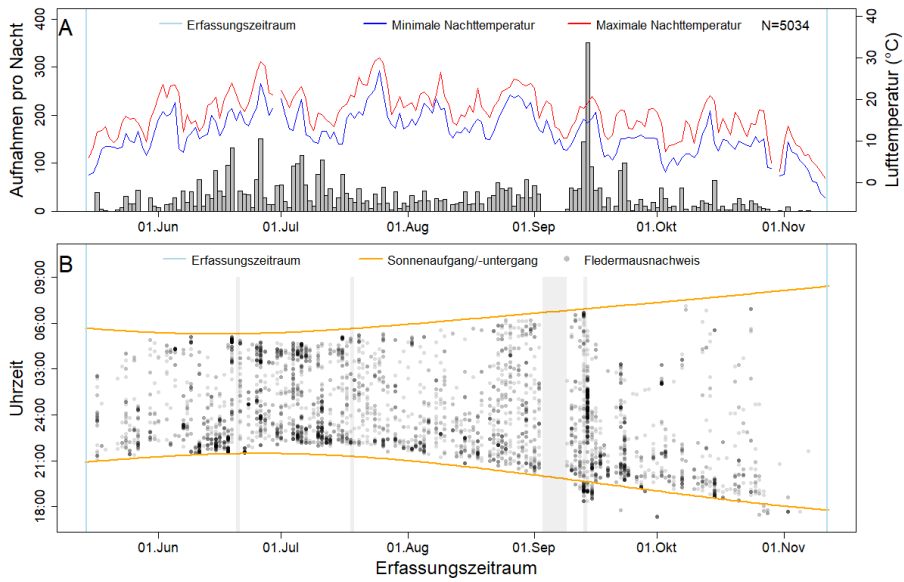


Abb. 72: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 33 m Höhe im Jahr 2019.

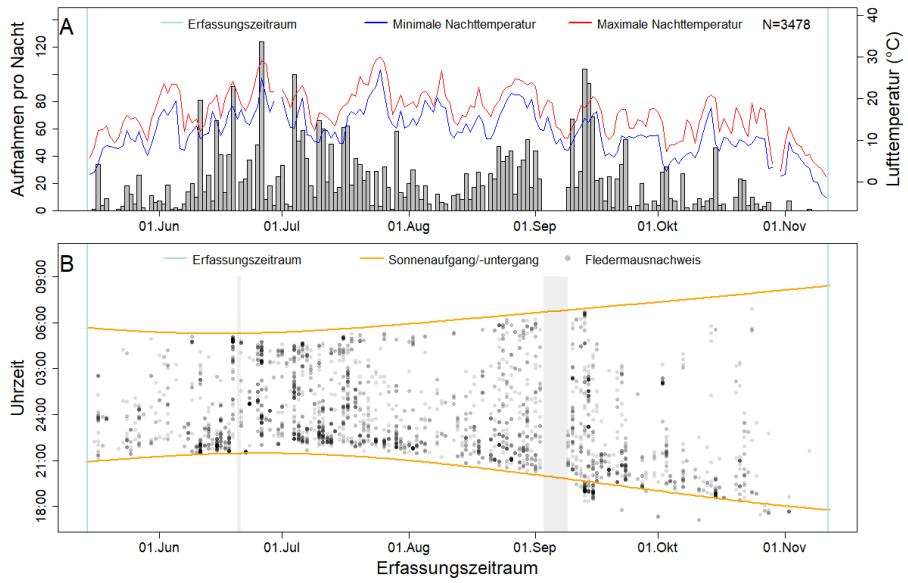


Abb. 73: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 65 m Höhe im Jahr 2019.

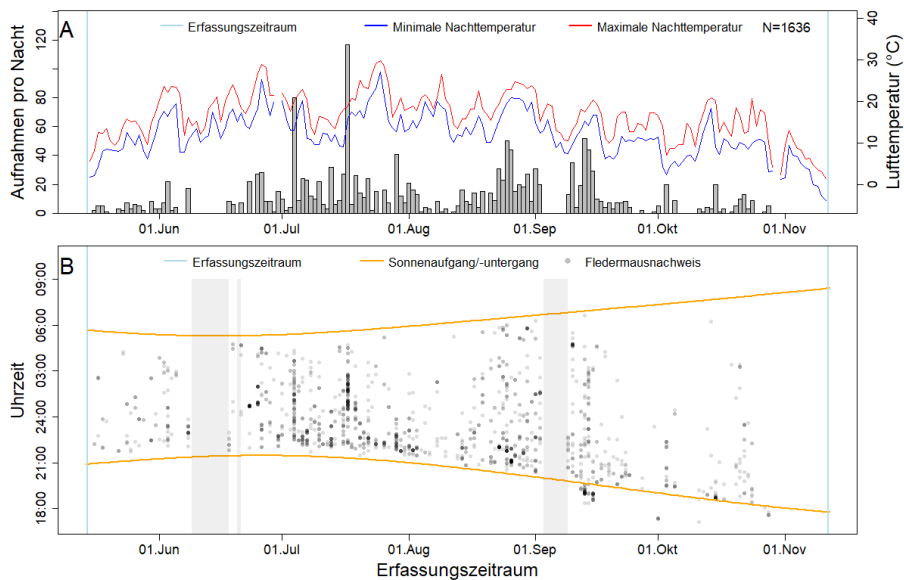


Abb. 74: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 95 m Höhe im Jahr 2019

Sehr deutliche Unterschiede sind zu erkennen, wenn man die Phänologie für die verschiedenen Arten(-gruppen) einzeln betrachtet (Abb. 75). Die Zwergfledermaus als häufigste Art zeigt insgesamt einen deutlichen Aktivitätspeak im September, wobei aber große Unterschiede bezüglich der Verteilung in den verschiedenen Höhen bestehen. So wurden in Bodennähe von Juni bis September durchgehend hohe Aktivitäten festgestellt, während in 33 m und etwas weniger deutlich auch in 65 m ein Peak im September bestand. In 95 m Höhe dagegen war der Juli der Monat mit der höchsten Aktivität. Die Nyctaloid-Gruppe wies von Juni bis August hohe Aktivitäten auf, im Mai, September und Oktober war die Aktivität immer ähnlich hoch auf einem geringeren Niveau. Auch hier gibt es Unterschiede zwischen den Messhöhen, so wurde in Bodennähe die höchste Aktivität im Juni aufgezeichnet in 95 m Höhe dagegen im August. Der Aktivitätsverlauf des Abendseglers unterscheidet sich von der Nyctaloid-Gruppe. Die höchsten Aktivitäten dieser Art wurden insgesamt und in den unteren 3 Messhöhen im Juni und September gemessen. In 95 m Höhe dagegen blieb die Aktivität von Juni bis September auf ähnlichem Niveau. Die Rauhautfledermaus weist ein zweiphasiges Muster mit Aktivitätspeaks im Mai und von August bis Oktober auf, wobei hier der Aktivitätsverlauf in allen Messhöhen ähnlich ist. Die Aktivität der *Myotis*-Gruppe war bis Juni und ab Oktober gering. Hohe Aktivitäten traten vor allem im Juli und August auf, im September sinkt die Aktivität bereits deutlich. Die vereinzelt Rufe der *Plecotus*-Gruppe wurden von August bis Oktober aufgezeichnet, die von Mücken- und Mopsfledermaus im August und September.

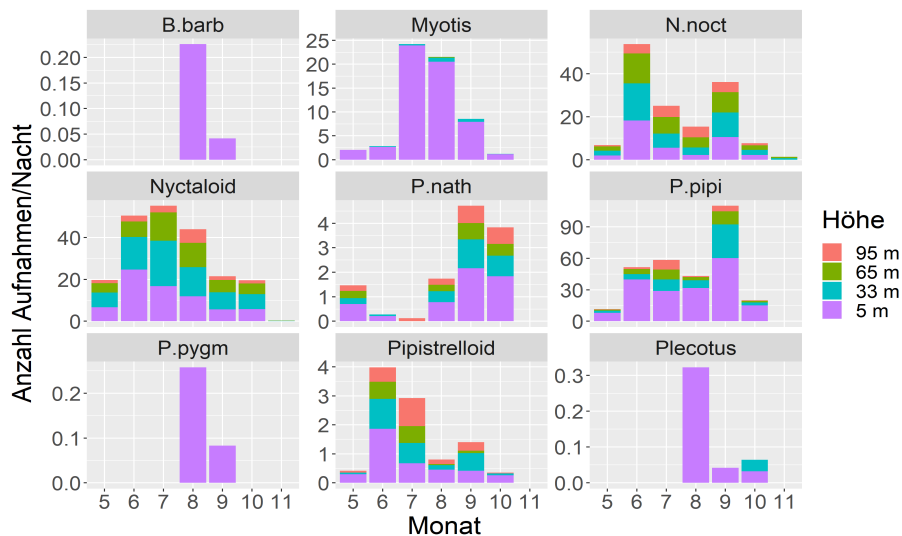


Abb. 75: Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2019.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhaufledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

Der nächtliche Aktivitätsverlauf ist in allen vier Messhöhen ähnlich (Abb. 76). So steigt die Aktivität zu Beginn der Nacht relativ schnell stark an, erreicht dann bereits im 2. Nachtzehntel ihren Höhepunkt und fällt danach langsam ab. Dabei ist der Aktivitätsabfall am Boden weniger stark als in den übrigen Messhöhen. In den Höhen 5 m, 33 m und 65 m ist zudem wieder ein kleiner Aktivitätsanstieg zum Ende der Nacht zu beobachten, der sich in 95 m Höhe nicht widerspiegelt. Die Grafiken Abb. 71 bis Abb. 74 zeigen außerdem, dass in den Herbstmonaten an einigen Tagen bereits vor Sonnenuntergang Aktivität festgestellt werden konnte.

Auch hier gibt es große Unterschiede zwischen den einzelnen Arten(-gruppen) (vgl. Abb. 77). Die Aktivität der Zwergfledermaus folgt im Wesentlichen dem Verlauf der Gesamtktivität. Es erfolgt ein rascher Anstieg mit einem Höhepunkt im 2. Nachtzehntel, danach fällt die Aktivität langsam ab, gegen Ende der Nacht ist noch einmal ein minimaler Anstieg zu beobachten. Die Nyctaloid-Gruppe weist einen deutlichen zweiphasigen Verlauf mit einem zweiten, allerdings etwas kleineren Aktivitätsmaximum gegen Ende der Nacht auf, wobei dieses nur in den unteren 3 Messhöhen zu beobachten ist. Noch deutlicher ist diese Zweiphasigkeit beim Abendsegler, dessen Aktivität zur Nachtmitt sehr stark abfällt. Auch hier ist der 2. Peak aber in 95 m Höhe nur wenig ausgeprägt. Zudem ist beim Abendsegler bereits direkt bei Sonnenuntergang eine relativ hohe Aktivität festzustellen. Ganz anders zeigt sich die Aktivität der Rauhaufledermaus, die deutlich langsamer ansteigt und ihren Höhenpunkt erst gegen Ende der ersten Nachthälfte erreicht, um danach wieder langsam zu sinken. Auch die Aktivität der *Myotis*-Gruppe steigt langsam an, erreicht dann ein Plateau und sinkt erst zum Nachtende hin wieder ab.

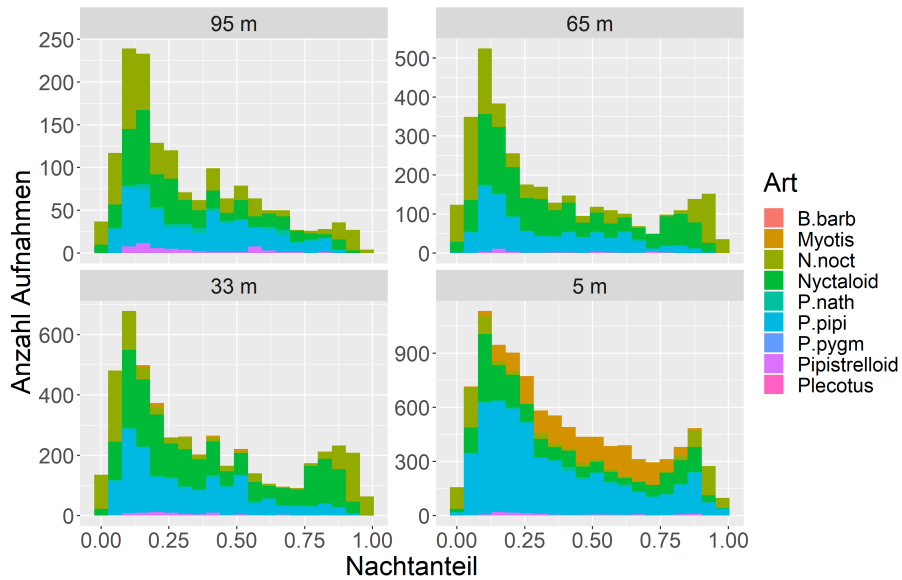


Abb. 76: Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhaufledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

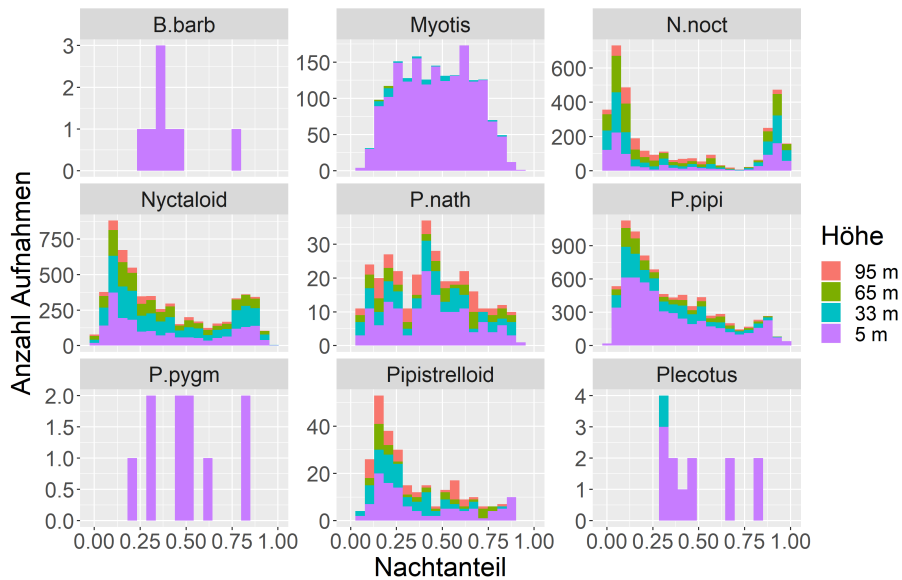


Abb. 77: Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2019. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhaufledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

Es zeigen sich deutliche Zusammenhänge zwischen der Fledermausaktivität und den Witterungsparametern. Die Fledermausaktivität korreliert vor allem mit zunehmender Messhöhe mit der Windgeschwindigkeit (Abb. 78). In 5 m Höhe entspricht die Verteilung der Windgeschwindigkeiten in den 10-min-Intervallen mit Aktivität der verschiedenen Arten-Gruppen noch in etwa der Gesamtverteilung aller Messintervalle. Allerdings wurden in Bodennähe auch nur selten Windgeschwindigkeiten über 5 m/s gemessen. Auch in 33 m Höhe ist nur eine geringe Verschiebung der Dichtekurven der verschiedenen Arten(-gruppen) zu geringeren Windgeschwindigkeiten hin zu erkennen. Erst in 65 m und vor allem in 95 m wird es

deutlich, dass die Verteilung der Aktivität auf die Windgeschwindigkeit von der Gesamtverteilung abweicht und die verschiedenen Arten(-gruppen) gehäuft bei niedrigen Windgeschwindigkeiten auftreten. Dennoch wird auch bei höheren Windgeschwindigkeiten regelmäßig Aktivität gemessen. So wurden in 95 m Höhe bis zur Geschwindigkeit von 6 m/s nur ca. 75 % aller 10-min-Intervalle aufgezeichnet, und bis 7,5 m etwa 90 % (Abb. 79). Ein abweichendes Muster zeigt zudem die Rauhautfledermaus. Diese wurde in allen Höhenstufen, besonders deutlich aber in 65 und 95 m Höhe, sogar bei etwas höheren Windgeschwindigkeiten aufgezeichnet als durchschnittlich gemessen. Betrachtet man die Verteilung in den verschiedenen Monaten, so zeigt sich, dass das abweichende Verhalten der Rauhautfledermaus nicht nur dadurch bedingt ist, dass sie vor allem in den Herbstmonaten auftritt. Vielmehr verhielt sie sich in den Sommermonaten bezüglich der Windgeschwindigkeiten wie die anderen Arten(-gruppen) und war vor allem im Mai und in den Herbstmonaten September und Oktober bei überdurchschnittlich hohen Windgeschwindigkeiten aktiv (Abb. 80).

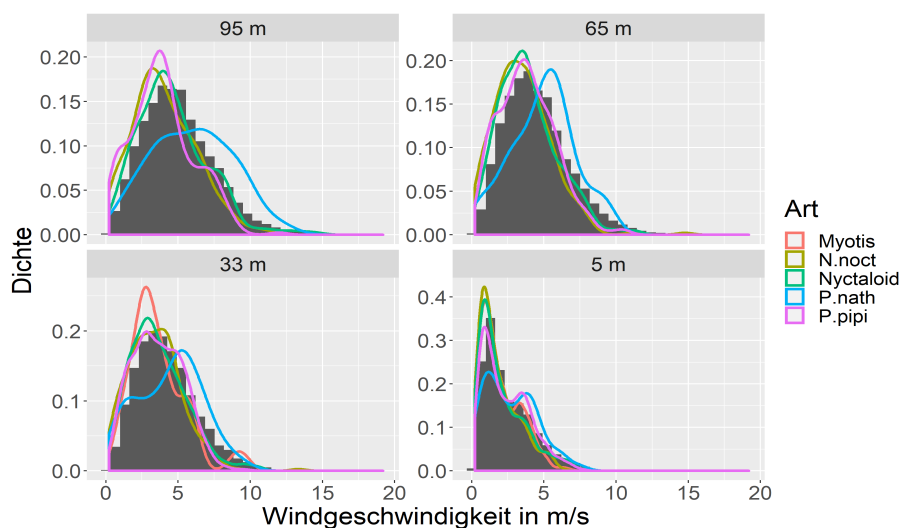


Abb. 78: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019. Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten. Aus Darstellungsgründen wurden die 5 *Myotis*-Rufe, die bei 65 m aufgezeichnet wurden, nicht in die Grafik integriert. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

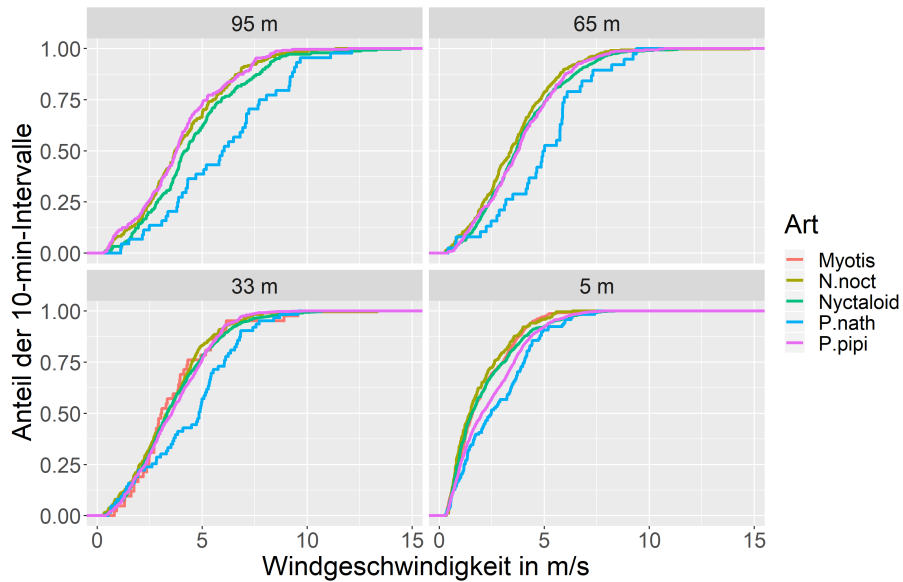


Abb. 79: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019. Für die 5 häufigsten Arten(-gruppen) werden die kumulierten Anteile der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität von niedrigen zu hohen Windgeschwindigkeiten dargestellt. Aus Darstellungsgründen wurden die 5 *Myotis*-Rufe, die bei 65 m aufgezeichnet wurden, nicht in die Grafik integriert. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhaufledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

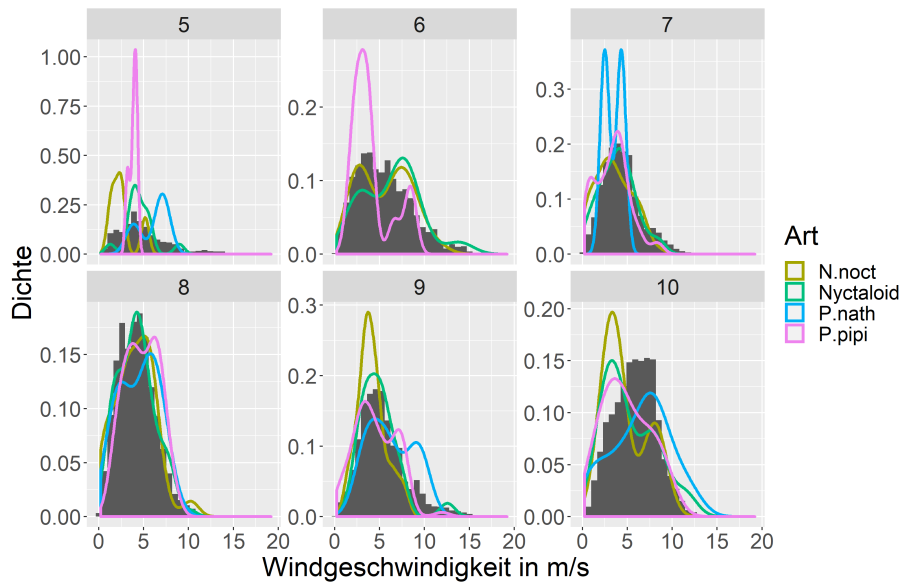


Abb. 80: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Monaten an Messmast Nordwest in 95 m Höhe im Jahr 2019. Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 4 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhaufledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

Da an den Messmasten auch die Windrichtung erfasst wurde, ist erstmals auch eine Auswertung der Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung möglich (Abb. 81). Dabei zeigt sich, dass die Verteilung der Fledermausaktivität deutlich von der Gesamtverteilung der 10-min-Intervalle abweicht. So wehte der Wind größtenteils aus nordwestlicher Richtung. Gerade in den größeren Höhen von 65 und 95 m traten aber vor allem die Arten Zwerg- und Rauhaufledermaus gehäuft bei Südostwind auf. Etwas weniger stark ist diese Tendenz

beim Abendsegler und der Nyctaloid-Gruppe, auch hier wurde deutlich mehr Aktivität bei Südostwind aufgezeichnet als es aufgrund der Verteilung der Windrichtungen zu erwarten gewesen wäre. In Bodennähe tritt nur die Rauhautfledermaus verstärkt bei Südostwind auf, die Verteilung der Aktivitätsintervalle der übrigen Arten(-gruppen) entspricht dagegen im Wesentlichen der Gesamtverteilung.

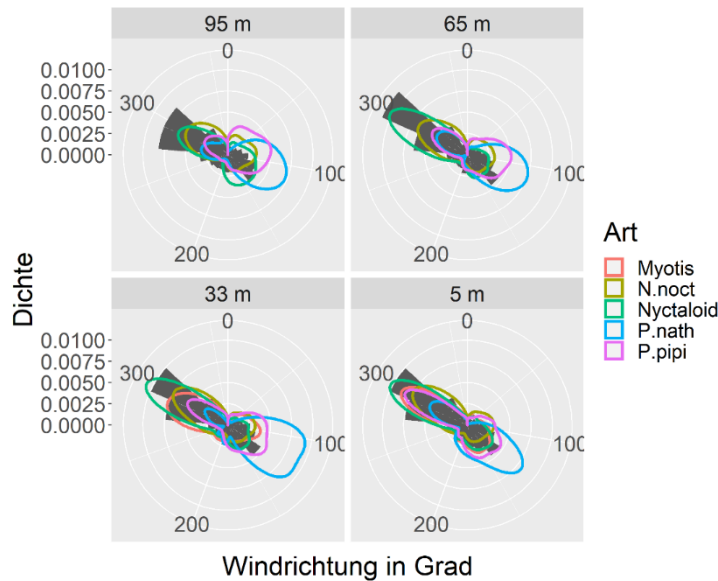


Abb. 81: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windrichtungen dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Windrichtungen. Aus Darstellungsgründen wurden die 5 *Myotis*-Rufe, die bei 65 m aufgezeichnet wurden, weggelassen. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

Die Auswertung der Fledermausaktivität in Bezug zur Temperatur zeigt, dass sowohl bei sehr hohen als auch sehr tiefen Temperaturen nur wenig Aktivität auftritt und sich die Fledermausaktivität vor allem bei mittleren Temperaturen konzentriert (Abb. 82). Dabei dürfte das Ausbleiben von Aktivität bei hohen Temperaturen aber ein Artefakt sein, da diese in der Regel direkt nach Sonnenuntergang gemessen werden, wenn die meisten Arten noch nicht aktiv sind. Vor allem in den oberen Messhöhen sind aber die Verteilungskurven der meisten Arten(-gruppen) im Vergleich zur Gesamtverteilung deutlich zu höheren Temperaturen hin verschoben. Auch hier fällt die Rauhautfledermaus aus dem Raster, da sie insgesamt bei deutlich tieferen Temperaturen aufgezeichnet wurde als die übrigen Arten(-gruppen) und auch im Vergleich zur Gesamtverteilung zu tieferen Temperaturen hin abweicht. Vor allem in 95 m Höhe ist dieser Unterschied sehr stark ausgeprägt (Abb. 83).

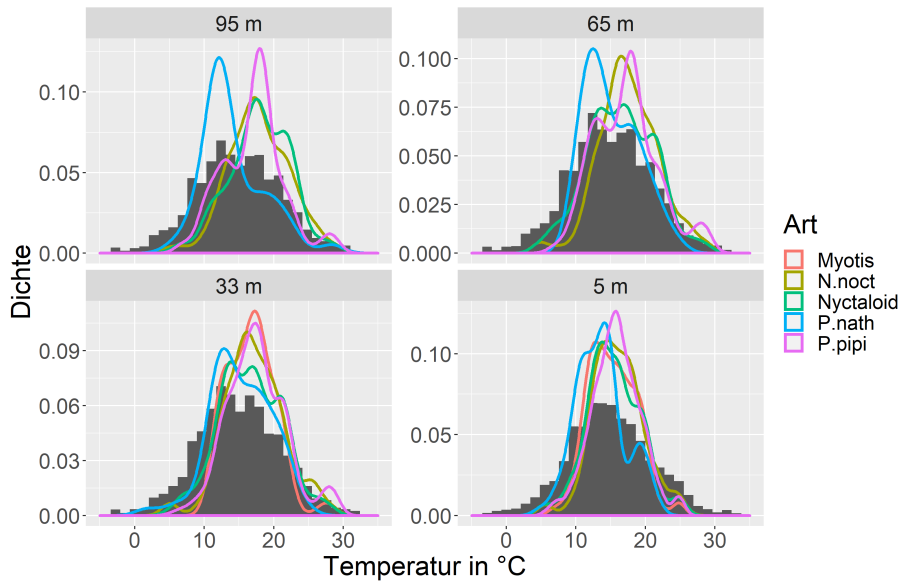


Abb. 82: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019. Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windrichtungen dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Temperaturen. Aus Darstellungsgründen wurden die 5 *Myotis*-Rufe, die bei 65 m aufgezeichnet wurden, weggelassen. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhauffledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

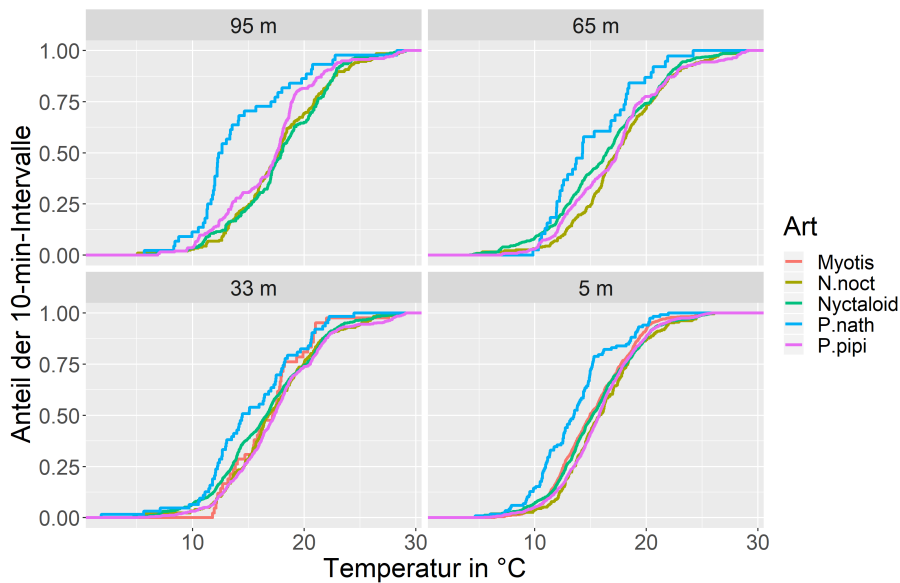


Abb. 83: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2019. Für die 5 häufigsten Arten(-gruppen) werden die kumulierten Anteile der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität von niedrigen zu hohen Temperaturen dargestellt. Aus Darstellungsgründen wurden die 5 *Myotis*-Rufe, die bei 65 m aufgezeichnet wurden, weggelassen. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhauffledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

Abb. 84 zeigt zum einen, dass Regenereignisse während der Erfassungssaison recht selten auftraten. Weiterhin wird deutlich, dass die Fledermausaktivität stark zurückgeht, wenn an Messmast Nordwest in einem 10-min-Intervall Regen registriert wurde. Dieser proportionale Rückgang der Aktivität ist besonders in den Höhen ab 33 m zu beobachten. In Bodennähe konnten bei Regen noch etwas häufiger Fledermäuse nachgewiesen werden. Aber auch in

den Höhen 33 m bis 65 m sinkt die Aktivität nicht gänzlich auf den Nullwert, es sind also auch bei Regen noch vereinzelt Fledermäuse im Luftraum aktiv.

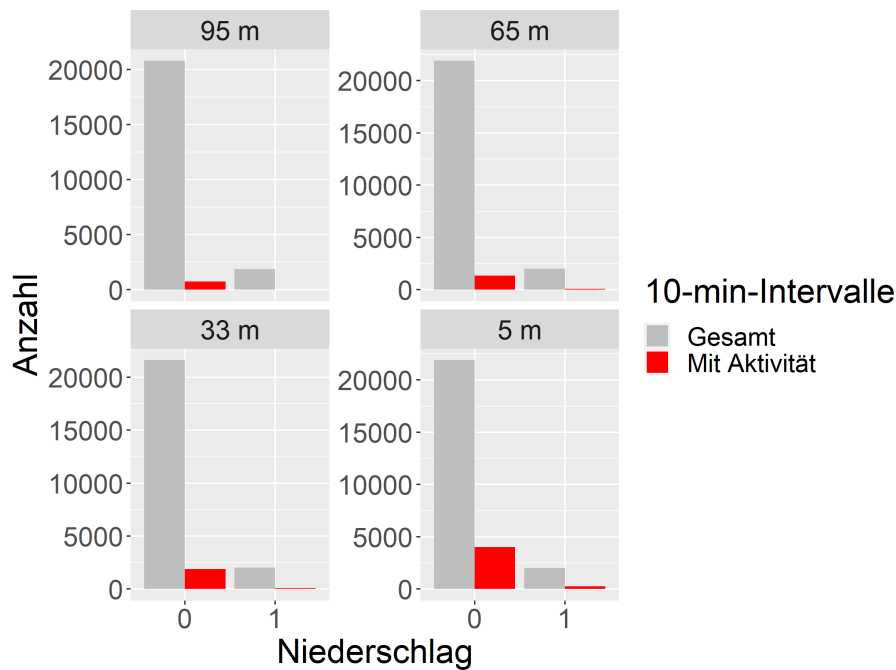


Abb. 84: Fledermausaktivität in Abhängigkeit vom Niederschlag an Messmast Nordwest im Jahr 2019.

Die roten Balken stellen die 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität auf die gemessenen Niederschlagswerte dar, wobei 0 kein Niederschlag bedeutet und 1 für Aufnahmeereignisse bei Niederschlag steht. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Gesamtheit aller 10-min-Intervalle.

4.1.3.3 Sommererfassung 2020 an Messmast Nordwest und Messmast Nordost

Im Jahr 2020 wurden erstmals beide Messmasten mit jeweils vier Mikrofonen ausgestattet. Diese waren an Messmast Nordwest für insgesamt 214 Nächte und an Messmast Nordost für 172 Nächte installiert (Tab. 17). Die Ausfallzeiten beliefen sich im Jahr 2020 auf je vier Tage im April sowie je 25 Tage im August an allen Mikrofonen des Messmast Nordwest. Hier war eine Überspannung am zentralen Rechner für den zeitgleichen Ausfall der vier Mikrofone verantwortlich. In allen anderen Nächten und an Messmast Nordost im gesamten Erfassungszeitraum zeichneten die Mikrofone zuverlässig die anwesenden Fledermäuse auf. Dabei wurden auf 5 m Höhe deutlich mehr Aufnahmen pro Nacht generiert als an den höher gelegenen Mikrofonen (Tab. 17, Abb. 85).

Tab. 17: Zusammenfassende Darstellung der Aufnahmezeiten und Aufnahmeanzahl an den verschiedenen Mikrofonen an Messmast Nordwest und Messmast Nordost im Jahr 2020.

Mikrofon	Anzahl Nächte mit aktivem Mikrofon	Anzahl Nächte mit Mikrofon-Ausfall	Anzahl Aufnahmen mit Fledermausrufen	Anzahl Aufnahmen mit Fledermausrufen/Nacht
NW_5	181	33	16442	91
NW_33	181	33	9707	54
NW_65	181	33	6032	33
NW_95	181	33	2284	13
NE_5	172	0	6610	38
NE_33	172	0	2624	15
NE_65	172	0	1600	9
NE_95	172	0	1172	7

An Messmast Nordwest wurden während der Sommererfassung 2020 insgesamt 34.465 Aufnahmen mit Fledermausrufen identifiziert, wovon 34.007 Rufe eindeutig einer Art oder Artengruppe zugeordnet werden konnten (Tab. 18). Anders als im Jahr 2019 war im Jahr 2020 die Zwergfledermaus mit 11.089 Rufen (32,61 %) nur die zweithäufigste Art an Messmast Nordwest. Die meisten Aufnahmen (16201, 47,64 %) stammten 2020 aus der Artengruppe Nyctaloid, die 2019 noch hinter der Zwergfledermaus rangierte. In der Artengruppe Nyctaloid können sich Aufnahmen des Kleinabendseglers, Abendseglers, Breitflügelfledermaus, Nordfledermaus und Zweifarbfledermaus verbergen. Insgesamt wurden aber von der Artengruppe Nyctaloid sowie der Zwergfledermaus im Jahr 2020 deutlich mehr Aufnahmen detektiert, im Falle der Artengruppe Nyctaloid sind es über 10.000 Aufnahmen mehr. Dies ist zum einen dem längeren Erfassungszeitraum und den geringeren Ausfallzeiten geschuldet, aber auch artspezifische, jährliche Unterschiede kommen hier zum Tragen. Der Abendsegler folgt wie im Jahr zuvor mit 3899 Aufnahmen (11,47 %) als dritthäufigste Art an Messmast Nordwest. Auch 2020 konnte mit 2008 Aufnahmen (5,90 %) die Gattung *Myotis* am vierthäufigsten festgestellt werden. In dieser Gattung können sich die Arten Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*), Brandtfledermaus (*M. brandtii*), Bartfledermaus (*M. mytacinus*), Nymphenfledermaus (*M. alcaethoe*), Wimperfledermaus (*M. emarginatus*), Fransenfledermaus (*M. nattereri*), Bechsteinfledermaus (*M. bechsteinii*) und Mausohr (*M. myotis*) verbergen. Auf diese folgt die Raufhautfledermaus mit noch 544 Rufen (1,60 %) gefolgt von der Gattung *Plecotus* (138 Rufe, 0,41 %). Diese Gruppe beinhaltet die sehr leise rufenden Arten Braunes (*Plecotus aureus*) und Graues Langohr (*Pl. austriacus*). Vereinzelt stammen Aufnahmen von der Mopsfledermaus (65 Aufnahmen, 0,19 %), der Pipistrelloid-Gruppe, deren Rufe nicht eindeutig bestimmt werden konnten (58 Aufnahmen, 0,17 %) sowie der Mückenfledermaus (6 Aufnahmen, 0,02 %). Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen aufgrund unterschiedlicher Aufnahmewahrscheinlichkeiten zwischen den Artengruppen keinen direkten quantitativen Vergleich ermöglicht, qualitativ werden die Unterschiede aber in der Regel gut widerspiegelt.

Tab. 18: Übersicht über die Anzahl akustischer Aufnahmen mit Fledermausrufen am Messmast Nordwest im Jahr 2020.

Art	5 m	33 m	65 m	95 m	Gesamt	Anteil (%)
Mopsfledermaus (<i>B.barb</i>)	52	12	0	0	64	0,19
<i>Myotis</i> -Gruppe	1940	65	2	1	2008	5,90
Abendsegler (<i>N.noct</i>)	1064	1075	1106	654	3899	11,47
Nyctaloid-Gruppe	5986	6023	3548	644	16201	47,64
Rauhautfledermaus (<i>P.nath</i>)	244	133	85	82	544	1,60
Zwergfledermaus (<i>P.pipi</i>)	6811	2297	1202	779	11089	32,61
Mückenfledermaus (<i>P.pygm</i>)	4	0	2	0	6	0,02
Pipistrelloid-Gruppe	45	11	2	0	58	0,17
<i>Plecotus</i> -Gruppe	133	5	0	0	138	0,41
Gesamt	16279	9621	5947	2160	34007	

An Messmast Nordost wurden während der Sommererfassung 2020 insgesamt 12.006 Aufnahmen mit Fledermausrufen identifiziert, wovon 11.875 Rufe eindeutig einer Art oder Artengruppe zugeordnet werden konnten (Tab. 19). Trotz einer ähnlichen Anzahl an aktiven Nächten (172 zu 181), zeichneten die Mikrofone an Messmast Nordost somit etwa 65 % weniger Rufe auf als Messmast Nordwest. Die artspezifische Verteilung der Fledermausaktivität an Messmast Nordost entspricht eher der Verteilung aus dem Jahr 2019 an Messmast Nordwest. Denn am häufigsten aufgezeichnet wurde die Zwergfledermaus mit 7.779 Aufnahmen (65,51 %). Darauf folgen mit 1.935 Aufnahmen (16,29 %) die Nyctaloid-Gruppe, die Aufnahmen des Kleinabendseglers, Abendseglers, Breitflügelfledermaus, Nordfledermaus und Zweifarbfledermaus beinhalten kann, und der Abendsegler mit 1329 Aufnahmen (11,19 %). Immerhin 487 (4,07 %) wurden der Gattung *Myotis* zugeordnet. In dieser Gattung können sich die Arten Wasserfledermaus (*Myotis daubentonii*), Brandtfledermaus (*M. brandtii*), Bartfledermaus (*M. mytacinus*), Nymphenfledermaus (*M. alcathoe*), Wimperfledermaus (*M. e-marginatus*), Fransenfledermaus (*M. nattereri*), Bechsteinfledermaus (*M. bechsteinii*) und Mausohr (*M. myotis*) verbergen. Von der Rauhautfledermaus gelangen 239 Aufnahmen (2,01 %). Nicht eindeutig bestimmt werden konnten außerdem 15 Aufnahmen (0,13 %) der Pipistrelloid-Gruppe. Weitere vereinzelte Aufnahmen stammen von der Mopsfledermaus (39 Aufnahmen, 0,33 %), der Mückenfledermaus (18 Aufnahmen, 0,15 %) und der *Plecotus*-Gruppe (38 Aufnahmen, 0,32 %).

Tab. 19: Übersicht über das Ergebnis der akustischen Erfassungen am Messmast Nordost im Jahr 2020.

Art	5 m	33 m	65 m	95 m	Gesamt	Anteil (%)
Mopsfledermaus (<i>B.barb</i>)	22	17	0	0	39	0,33
<i>Myotis</i> -Gruppe	438	45	0	0	483	4,07
Abendsegler (<i>N.noct</i>)	242	403	353	331	1329	11,19
Nyctaloid-Gruppe	542	713	367	313	1935	16,29
Rauhautfledermaus (<i>P.nath</i>)	103	62	34	40	239	2,01
Zwergfledermaus (<i>P.pipi</i>)	5155	1348	821	455	7779	65,51
Mückenfledermaus (<i>P.pygm</i>)	13	3	1	1	18	0,15
Pipistrelloid-Gruppe	11	1	2	1	15	0,13
<i>Plecotus</i> -Gruppe	33	4	0	1	38	0,32
Gesamt	6559	2596	1578	1142	11875	

Auch im Jahr 2020 nahm die Fledermausaktivität mit zunehmender Höhe an beiden Messmasten deutlich ab (Tab. 18, Tab. 19, Abb. 85, Abb. 86). Dies ist besonders eindrücklich für die Zwergfledermaus zu beobachten, deren Aktivität an Messmast Nordwest von 5 m auf 33 m um 74 % abnahm, an Messmast Nordost immerhin noch um 66 %. Einige Arten und Artengruppen wurden auch 2020 fast ausschließlich in Bodennähe aufgezeichnet und dies sowohl an Messmast Nordwest als auch an Messmast Nordost. Hierzu zählen die Mopsfledermaus, die Mückenfledermaus, die *Myotis*-Gruppe und die *Plecotus*-Gruppe. An Messmast Nordwest wurde lediglich eine Aufnahme der Gattung *Myotis* auf 95 m registriert, an Messmast Nordost jeweils eine Aufnahme der Mückenfledermaus sowie der Gattung *Plecotus*. Diese deutliche Höhenkorrelation gilt allerdings nicht für die Artengruppe Nyctaloid und den Abendsegler. Dies wurde bereits 2019 an Messmast Nordwest festgestellt und kann auch im Jahr 2020 beobachtet werden. An Messmast Nordwest wurden für die Artengruppe Nyctaloid auf Höhe von 65 m die meisten Rufe registriert (6023 Aufnahmen), auf Höhe von 95 m war die Anzahl der Aufnahmen der Nyctaloid-Gruppe deutlich geringer (644 Aufnahmen). An Messmast Nordost wurde die maximale Aufnahmenzahl für die Artengruppe Nyctaloid bereits auf einer Höhe von 33 m erreicht (713 Aufnahmen), in größeren Höhen wurde nicht einmal mehr die Hälfte dieser Anzahl registriert (313). An Messmast Nordwest zeichneten die Mikrofone auf den Höhen 5 m bis 65 m jeweils ähnlich viele Rufe des Abendseglers auf (1064, 1074, 1106 Aufnahmen), erst auf der Höhe von 95 m wurden nur noch 654 Abendsegler-Aufnahmen identifiziert. Dies entspricht dem Muster, das auch 2019 beobachtet werden konnte. An Messmast Nordost ist dieses Muster nicht mehr vorhanden. Hier wurden insgesamt deutlich weniger Aufnahmen des Abendseglers registriert. Die Anzahl nahm von 5 m auf 33 m deutlich zu (242 zu 403 Aufnahmen), in 65 m und 95 m wurden wieder etwas weniger Aufnahmen registriert (von 353 auf 331 Aufnahmen). Anders als 2019 sank die Zahl der registrierten Aufnahmen der Rauhautfledermaus an Messmast Nordwest kontinuierlich bis auf die maximale Höhe von 95 m. An Messmast Nordost war dies ähnlich, wobei auf einer Höhe von 95 m ein geringer Anstieg der Aufnahmenzahl zu beobachten war.

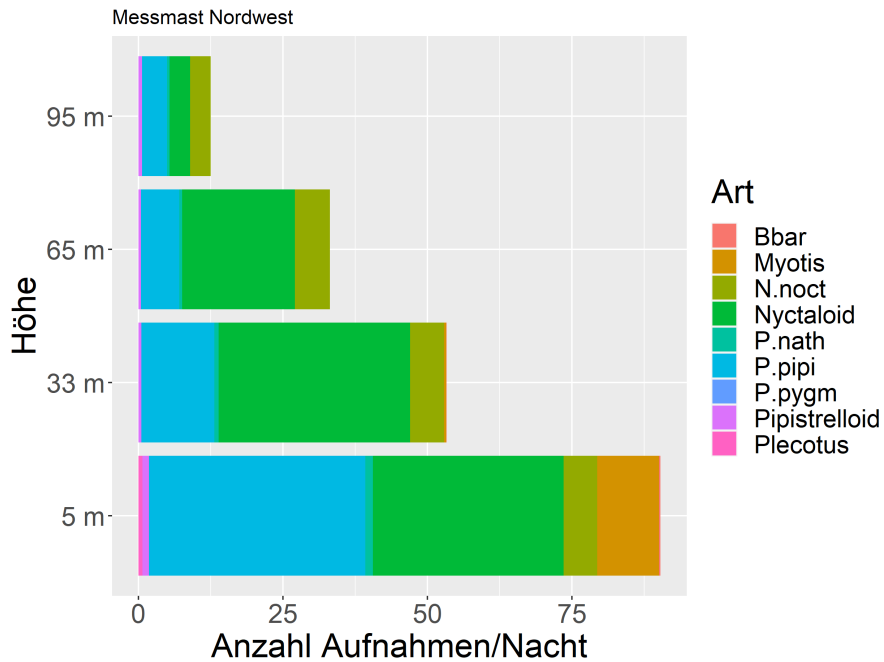


Abb. 85: Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

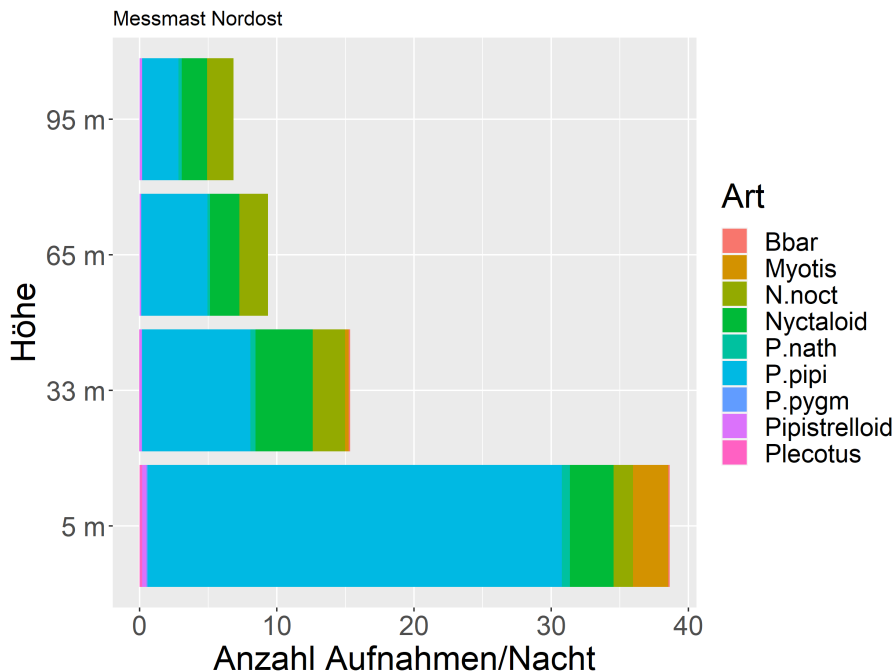


Abb. 86: Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

Die Aktivitätsverteilung über die Monate zeigt an beiden Messmasten den typischen phänologischen Verlauf, der hierzulande von Fledermäusen bekannt ist. So stieg die Aktivität vom Frühjahr über den Sommer hin an und fiel im Herbst wieder ab (Abb. 87, Abb. 88). Ähnlich

wie im Jahr 2019 unterscheidet sich dieser Aktivitätsverlauf auch nicht stark zwischen den verschiedenen Messhöhen. Am Messmast Nordwest starteten die Erfassungen im April mit einer höheren Fledermausaktivität als sie im darauffolgenden Mai gemessen wurde (für alle Höhen). Im Juni stieg die Aktivität ebenfalls in allen Höhen deutlich an. Dieser Trend setzte sich in den Höhen 65 m und 95 m auch im Juli noch fort, in 33 m Höhe stagnierte die Fledermausaktivität, auf 5 m Höhe nahm die Fledermausaktivität im Juli sogar ab. Die recht geringe Anzahl an Aufnahmen pro Nacht auf der niedrigsten Höhe im Juli sowie generell im August kann auf den umfassenden Mikrofonausfall an Messmast Nordwest zurückzuführen sein, der von Ende Juli bis Mitte August andauerte, auch wenn bei den Auswertungen für solche Ausfallzeiten korrigiert wurde. Denn es ist möglich, dass in den verbliebenen Nächten mit funktionsfähigen Mikrofonen die Witterungsbedingungen für eine geringere Aktivität sorgten. Im September stieg die Fledermausaktivität an den beiden unteren Mikrofonstandorten auf 5 m und 33 m wieder an, um dann im Oktober wieder abzunehmen. In den größeren Höhen auf 65 m und 95 m war der Rückgang der Fledermausaktivität zwischen September und Oktober nicht so deutlich wie in den niedrigeren Höhen. In 65 m Höhe nahm die Aktivität im Oktober sogar im Vergleich zum September zu. Der November wies die mit Abstand geringste Fledermausaktivität auf.

An Messmast Nordost stieg die Aktivität der Fledermäuse im Jahr 2020 kontinuierlich über den Sommer an, wobei auf 5 m Höhe der August die höchste Aktivität aufwies und in den größeren Höhen die höchste Aktivität bereits im Juli erreicht wurde. In Bodennähe nahm die Anzahl der Aufnahmen pro Nacht mit dem September stark ab, dieser Trend setzte sich bis in den November fort. An den Messhöhen von 33 m bis 95 m wiesen der August und der September ähnliche Aktivitätswerte auf. Ähnlich wie bei Messmast Nordwest brach die Aktivität anschließend im Oktober und November deutlich ein.

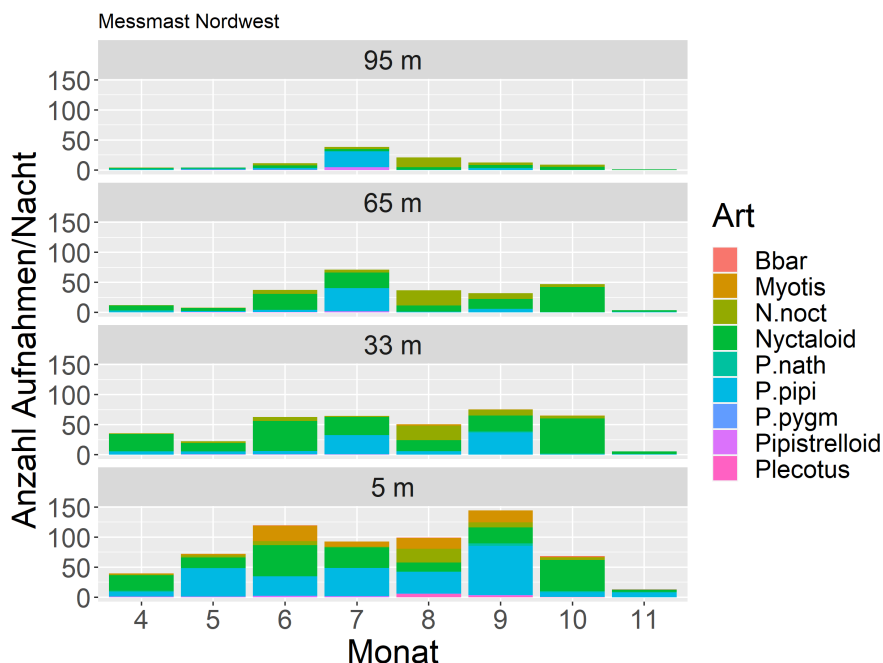


Abb. 87: Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

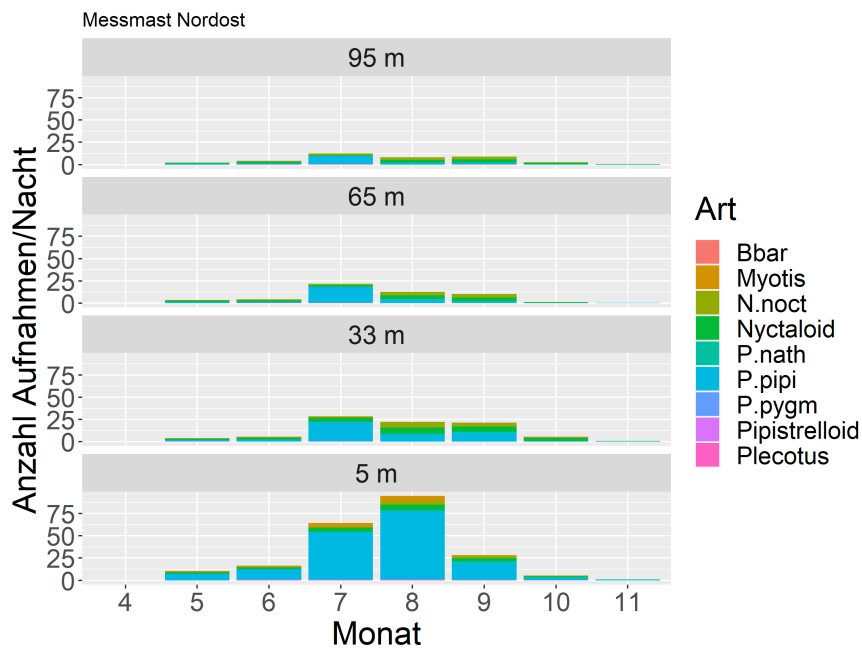


Abb. 88: Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

Die vorhergehend geschilderte phänologische Verteilung der Fledermausaktivität an den beiden Messmasten in den verschiedenen Messhöhen kann auch jeweils in den Abb. 89 bis Abb. 92 (Messmast Nordwest) sowie in Abb. 93 bis Abb. 96 (Messmast Nordost) identifiziert werden.

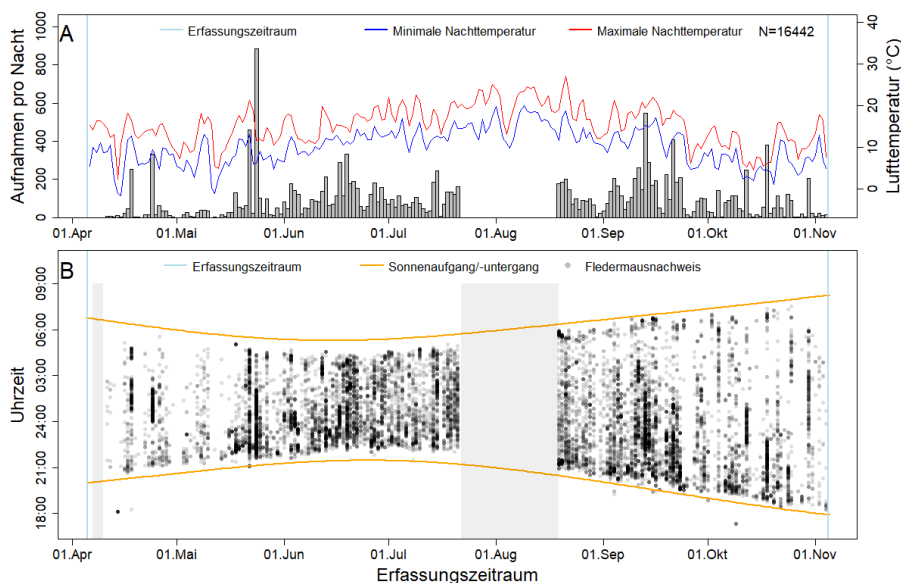


Abb. 89: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 5 m Höhe im Jahr 2020. In A ist die Anzahl der Aufnahmen pro Nacht über den gesamten Erfassungszeitraum aufgetragen (graue Balken). Zusätzlich ist in Rot der Verlauf der maximalen und in Blau der Verlauf der minimalen Nachttemperaturen zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang dargestellt. In B ist die nächtliche Aktivität über den Erfassungszeitraum aufgetragen. Die orangen Linien zeigen zudem die Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeiten. Beginn und Ende des Erfassungszeitraums sind jeweils durch blaue Linien gekennzeichnet. Ausfallzeiten sind durch graue Balken dargestellt.

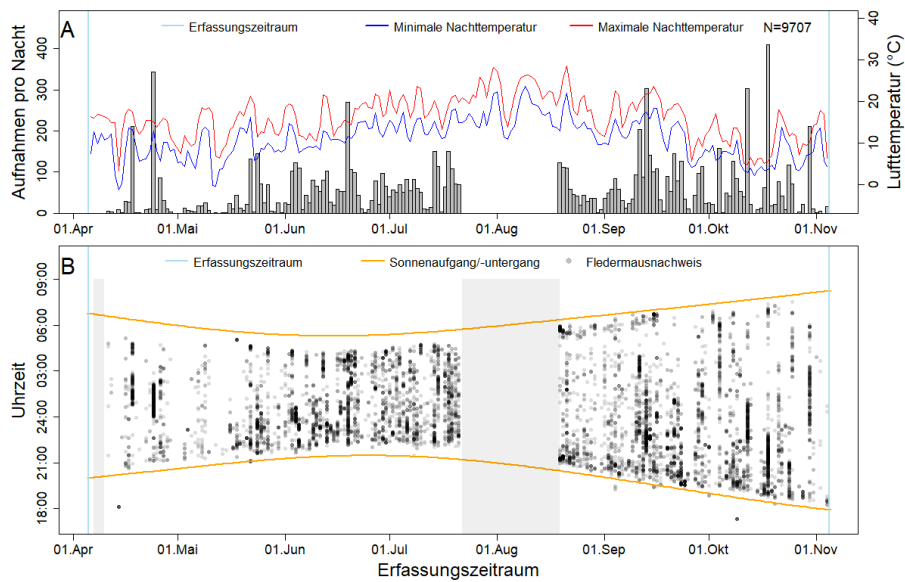


Abb. 90: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 33 m Höhe im Jahr 2020.

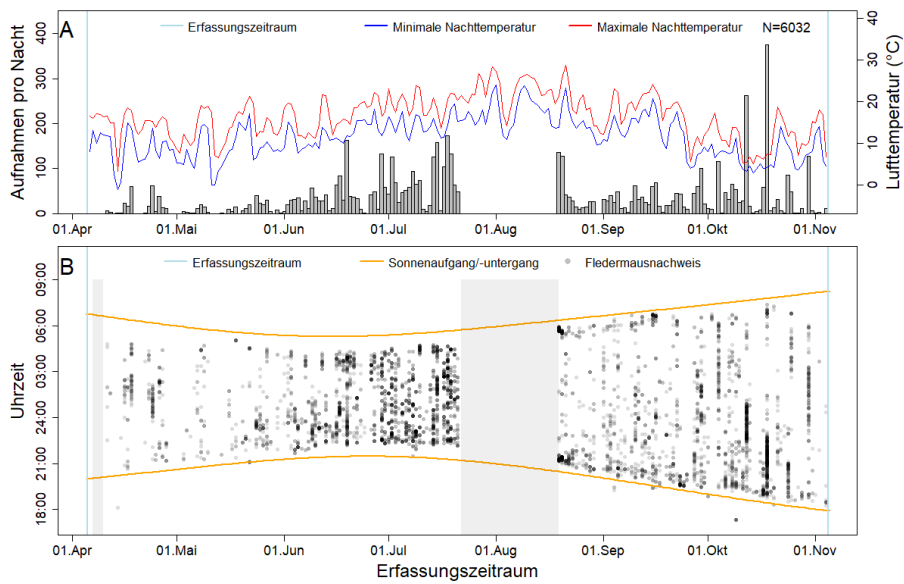


Abb. 91: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 65 m Höhe im Jahr 2020.

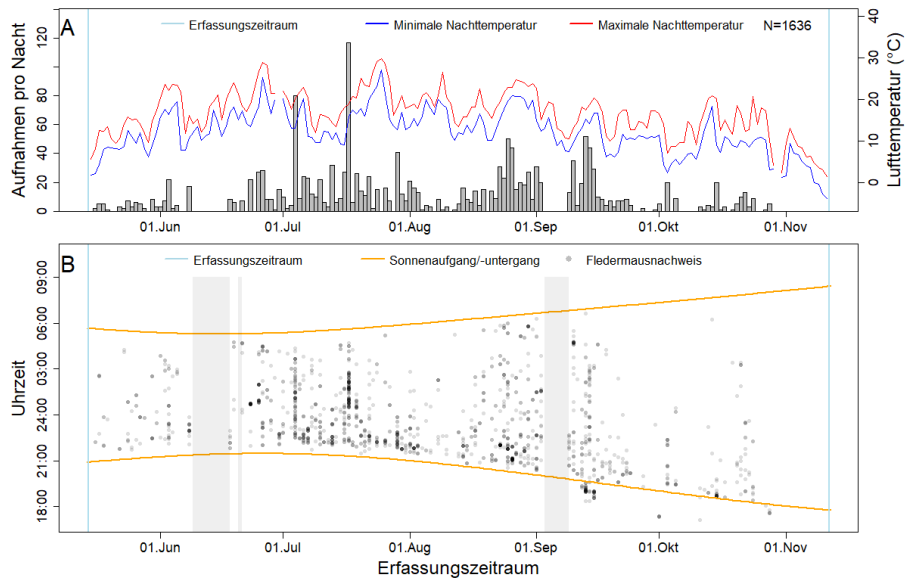


Abb. 92: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordwest in 95 m Höhe im Jahr 2020.

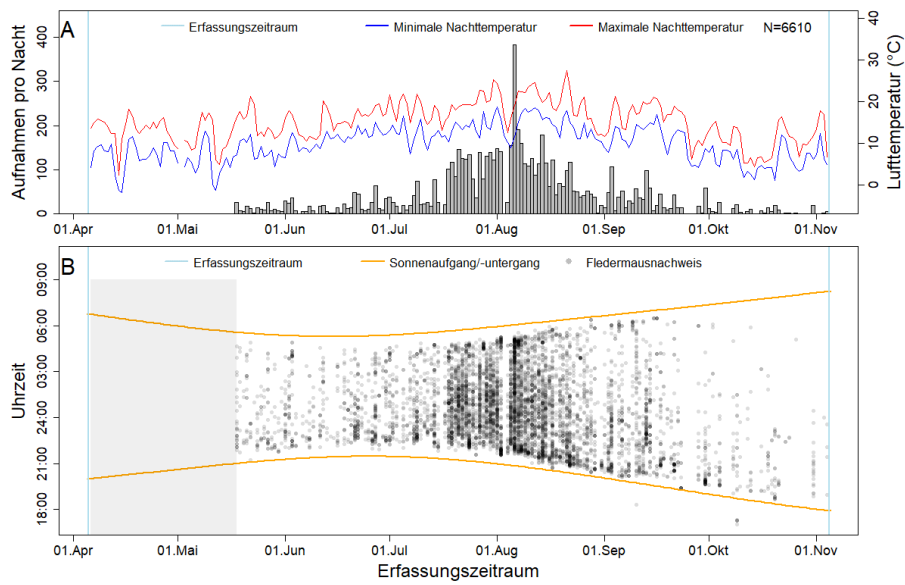


Abb. 93: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordost in 5 m Höhe im Jahr 2020.

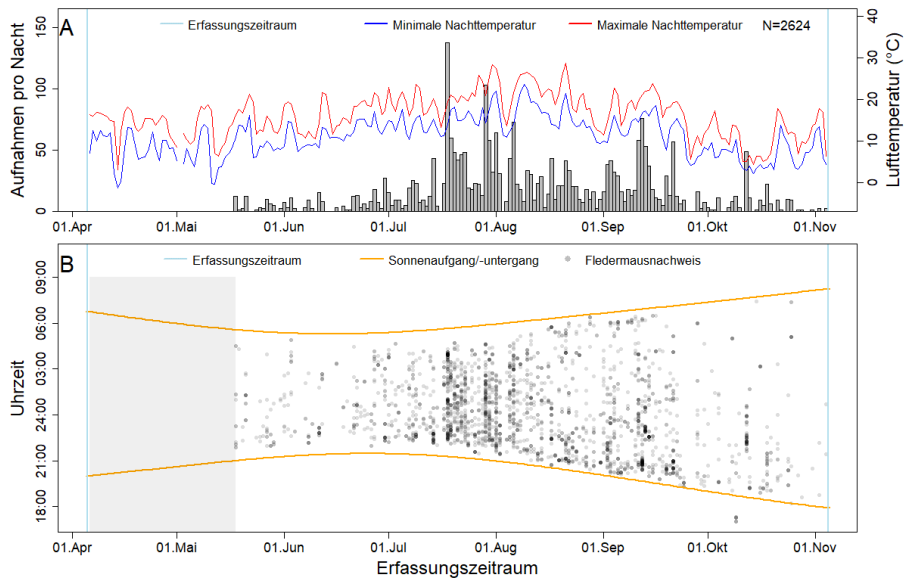


Abb. 94: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordost in 33 m Höhe im Jahr 2020.

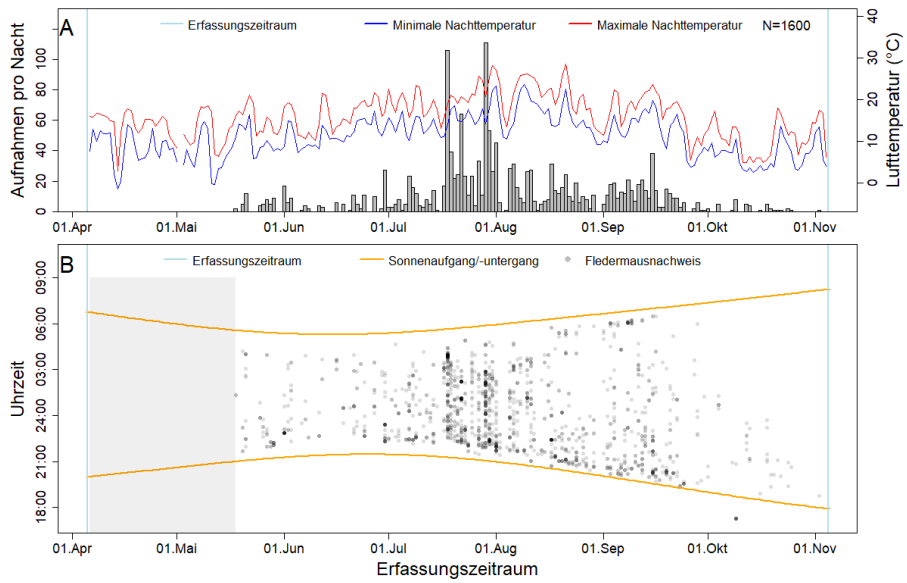


Abb. 95: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordost in 65 m Höhe im Jahr 2020.

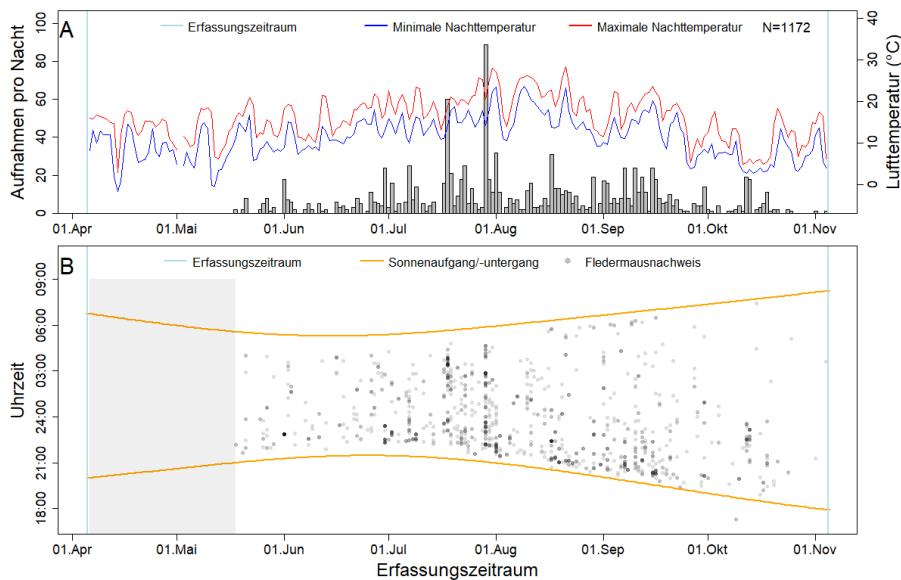


Abb. 96: Übersicht der Gesamtaktivität an Messmast Nordost in 95 m Höhe im Jahr 2020.

Unterschiede in der phänologischen Verteilung der Fledermausaktivität über das Jahr 2020 lassen sich noch deutlicher erkennen, wenn die einzelnen Arten bzw. Artengruppen separat betrachtet werden (Abb. 97, Abb. 98). Die typische monophasische Verteilung mit einem Aktivitätspeak im Sommer (Juli und August) lässt sich insbesondere an Messmast Nordost für die Artengruppen *Myotis*, *Nyctaloid*, *Pipistrelloid*, *Plecotus* sowie für die Arten Mückenfledermaus und Zwergfledermaus zeigen, wobei es leichte Verschiebungen der Peaks über den Sommer gibt (Abb. 98). Die Mopsfledermaus sowie der Abendsegler und die Rauhaufledermaus scheinen in der gezeigten Abb. 98 ebenfalls eine monophasische Aktivitätsverteilung aufzuweisen. Allerdings muss hier berücksichtigt werden, dass der Erfassungszeitraum an Messmast Nordost erst verspätet im Mai begonnen hat. Es ist mit großer Sicherheit anzunehmen, dass zumindest die Rauhaufledermaus sowie der Abendsegler aufgrund ihrer Biologie (Zugverhalten) im Frühjahr ebenfalls hohe Aktivitätsniveaus erreichen, wie dies im Jahr 2019 zu erkennen war. Dieses Zugverhalten spiegelt sich auch in der Höhenverteilung der betreffenden Arten wider. Sowohl der Abendsegler als auch die Rauhaufledermaus, zu Teilen auch die Artengruppen *Nyctaloid* und *Pipistrelloid*, die die genannten Arten enthalten können, wurden deutlich häufiger in Höhen ab 33 m detektiert als die stark strukturgebunden fliegenden Arten der Gattung *Myotis* oder *Plecotus*. An Messmast Nordwest begannen die akustischen Erfassungen bereits im April, sodass der Frühjahrszug der Rauhaufledermaus in Abb. 97 zusätzlich zum Herbstzug deutlich zu erkennen ist. Im Falle des Abendseglers kann das aus 2019 bekannte Muster nicht erneut abgebildet werden, denn es wurde im Frühjahr keine erhöhte Aktivität dieser Art an Messmast Nordwest festgestellt. Bei den monophasisch auftretenden Artengruppen *Myotis*, *Nyctaloid*, *Pipistrelloid*, *Plecotus* und Arten Mückenfledermaus sowie Zwergfledermaus könnte der technische Ausfall der Mikrofone an Messmast Nordwest im Juli und August 2020 dazu geführt haben, dass hier die Aktivitätsverläufe nicht so deutlich abgebildet werden wie es an Messmast Nordost der Fall ist (vgl. Abb. 98).

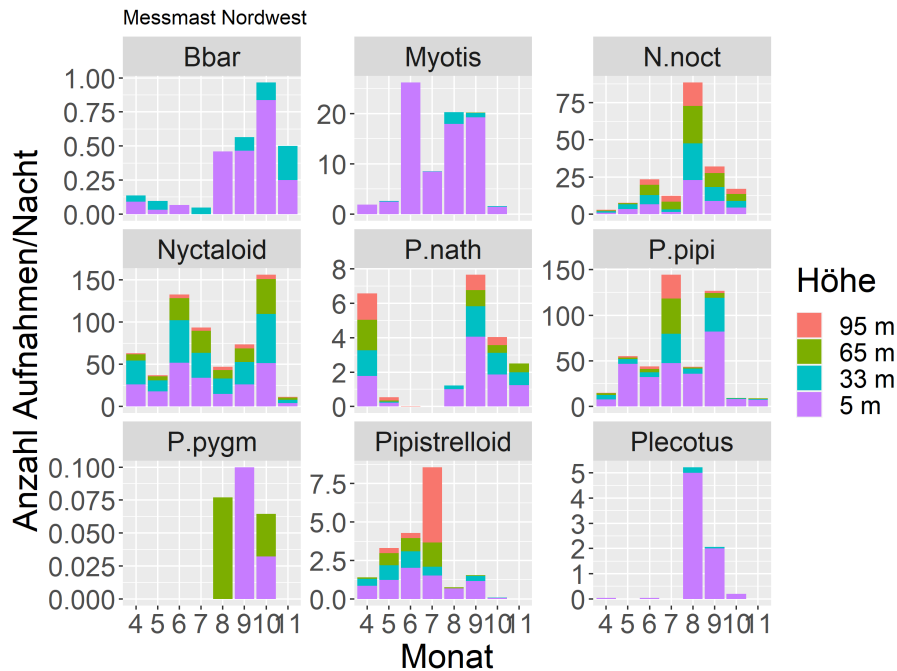


Abb. 97: Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht in den verschiedenen Messhöhen aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) für das Jahr 2020 an Messmast Nordwest. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

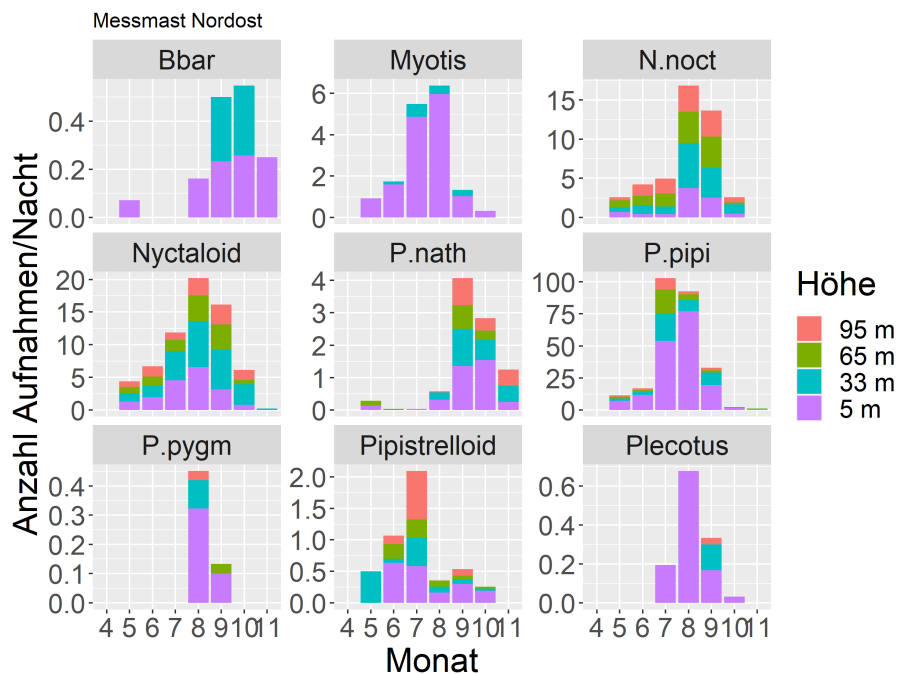


Abb. 98: Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht in den verschiedenen Messhöhen aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) für das Jahr 2020 an Messmast Nordost. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

Wie bereits im Jahr 2019 an Messmast Nordwest festgestellt, ist der nächtliche Aktivitätsverlauf in allen vier Messhöhen ähnlich (Abb. 99, Abb. 100). Dies gilt sowohl für Messmast Nordwest als auch für Messmast Nordost. Auch im Jahr 2020 erreichten die Aktivitätsniveaus bereits im 2. Nachtzehntel ihren Höhepunkt und fielen anschließend langsam ab. Allerdings ist der Aktivitätsabfall an Messmast Nordwest insbesondere für 95 m recht deutlich (Abb. 99). Im Vorjahr sank die Fledermausaktivität auch für die Höhen 33 m und 65 m zum Ende der Nacht deutlich schneller. Vor allem auf 65 m, und etwas weniger ausgeprägt auf 33 m, wurde im Jahr 2020 an Messmast Nordwest über die gesamte Nacht ein relativ hohes Aktivitätsniveau beibehalten. Dies ist vor allem auf den Abendsegler und die Artengruppe Nyctaloid zurückzuführen, die im Jahr 2020 ja deutlich häufiger aufgezeichnet wurden als die Zwergfledermaus. Der Aktivitätsverlauf an Messmast Nordost im Jahr 2020 gleicht stärker dem Verlauf aus dem Jahr 2019 als dem Verlauf am benachbarten Messmast Nordwest im selben Jahr (Abb. 100). Hier ist der Aktivitätsabfall nach Beginn der Nacht am Boden weniger stark ausgeprägt als in den übrigen Messhöhen. Der kleine Aktivitätsanstieg zum Ende der Nacht, der im Jahr 2019 für die Höhen 5 m, 33 m und 65 m zu beobachten war, zeigte sich an Messmast Nordost in 2020 nur für die bodennahe Erfassung auf 5 m.

Auch zwischen den einzelnen Arten(-gruppen) gibt es große Unterschiede bezüglich des nächtlichen Aktivitätsverlaufs, wobei die Muster an Messmast Nordwest und Messmast Nordost ähnlich verlaufen (Abb. 101 und Abb. 102). Die Aktivität der Zwergfledermaus folgt im Wesentlichen dem Verlauf der Gesamtaktivität. Es erfolgt ein rascher Anstieg mit einem Höhepunkt im 2. Nachtzehntel, danach fällt die Aktivität langsam ab. Die Nyctaloid-Gruppe weist einen zweiphasigen Verlauf mit einem zweiten, allerdings recht kleineren Aktivitätsmaximum gegen Ende der Nacht auf, wobei dieses insbesondere an Messmast Nordwest zu beobachten ist. Deutlicher ist diese Zweiphasigkeit beim Abendsegler, dessen Aktivität zur Nachtmitte sehr stark abfällt. Hier ist der 2. Peak in 95 m Höhe nur wenig ausgeprägt. Zudem ist beim Abendsegler bereits direkt zum Sonnenuntergang eine relativ hohe Aktivität festzustellen. Ganz anders zeigt sich die Aktivität der Raufhautfledermaus, die deutlich langsamer ansteigt und ihren Höhepunkt erst gegen Ende der ersten Nachthälfte erreicht, um danach wieder langsam zu sinken. Auch die Aktivität der *Myotis*-Gruppe steigt langsam an, erreicht dann ein Plateau und sinkt erst zum Nachtende hin wieder ab.

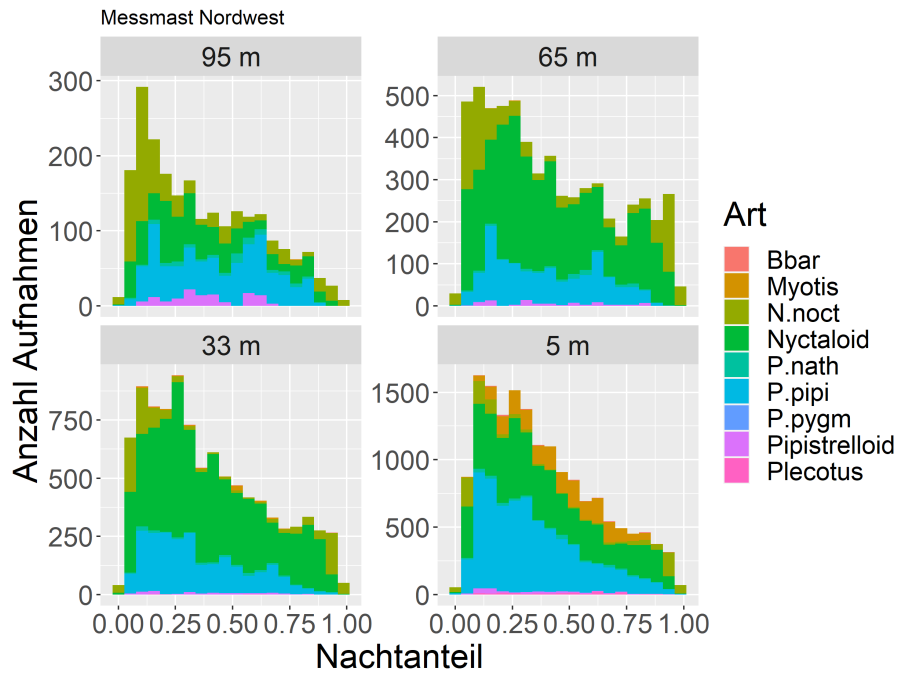


Abb. 99: Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

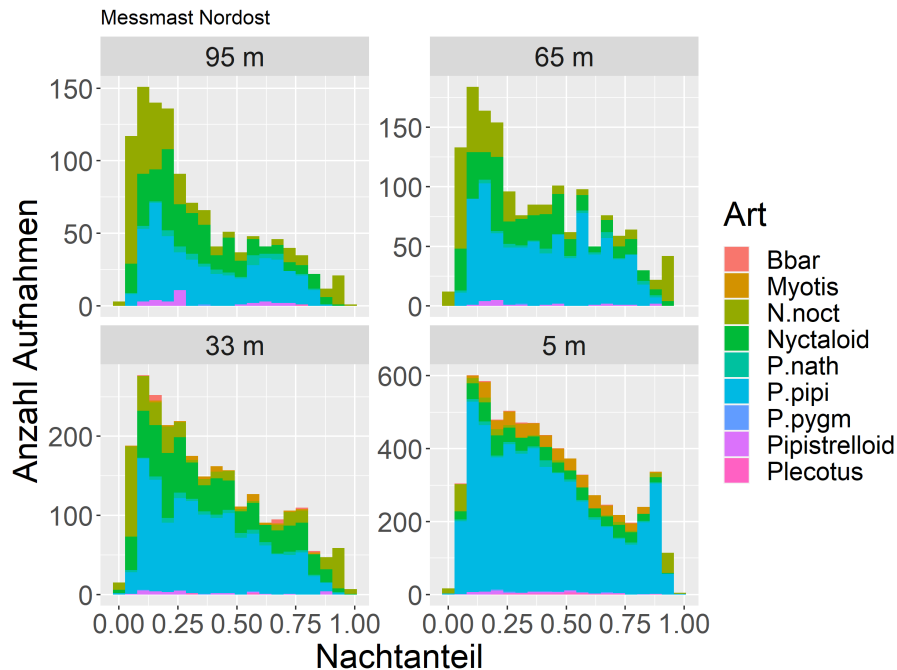


Abb. 100: Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der verschiedenen Arten(-gruppen) in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

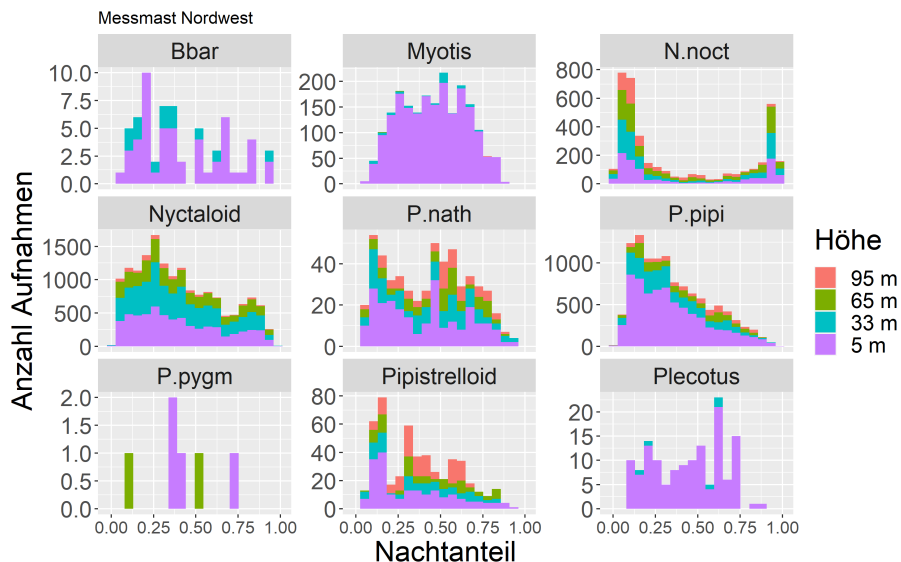


Abb. 101: Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2020. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

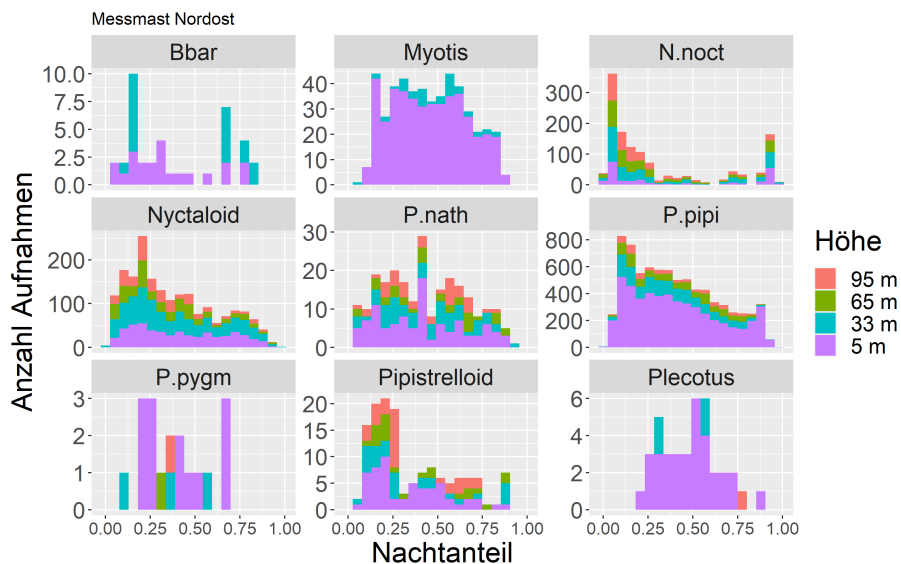


Abb. 102: Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2020. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

Wie bereits im Jahr 2019 an Messmast Nordwest festgestellt, zeigt die Fledermausaktivität auch im Jahr 2020 eine Abhängigkeit bezüglich der Windgeschwindigkeit (Abb. 103, Abb. 104). Die Erfassungen an Messmast Nordwest entsprechen dabei weitestgehend den Mustern, die 2019 an dem Messmast Nordwest identifiziert wurden: In Bodennähe entspricht die Verteilung der 10-min-Intervalle mit Aktivität der verschiedenen Arten-Gruppen in etwa der Gesamtverteilung aller Messintervalle (Abb. 103). Teilweise sind die untersuchten Fledermausarten in den Höhen von 5 m und 33 m sogar bei etwas höheren Windgeschwindigkeiten aktiv. Ab einer Messhöhe von 65 m ist dann für die meisten Arten(-gruppen), wie im Vorjahr, eine leichte Verschiebung der Dichtekurven hin zu niedrigeren Windgeschwindigkeiten zu

erkennen. Dennoch wurde auch bei höheren Windgeschwindigkeiten regelmäßig Aktivität gemessen. So wurden in 95 m Höhe bis zur Geschwindigkeit von 6 m/s nur ca. 75 % aller 10-min-Intervalle aufgezeichnet, und bis 7,5 m/s etwa 90 % (Abb. 105). Erneut weist die Flughautfledermaus ein abweichendes Muster im Vergleich zu den anderen Arten auf, indem sie auch bei deutlich höheren Windgeschwindigkeiten aktiv ist, und dies insbesondere auch in einer Höhe von 95 m. Hier wurden einige Echoortungsrufe der Flughautfledermaus bei über 10 m/s Windgeschwindigkeit aufgezeichnet (Abb. 103, Abb. 105).

Diese Zusammenhänge wurden ebenfalls an Messmast Nordost festgestellt (Abb. 104, Abb. 106). Allerdings sind die Fledermäuse an Messmast Nordost in den bodennahen Höhen von 5 m und 33 m im Vergleich zu Messmast Nordwest proportional häufiger bei höheren Windgeschwindigkeiten aktiv. In den Höhen von 65 m und 95 m verhalten sich die Fledermäuse an beiden Messmasten allerdings ähnlich und die Dichtekurven der Aktivität sind im Vergleich zur Gesamtverteilung deutlich zu tieferen Windgeschwindigkeiten hin verschoben. Allerdings wird auch an Messmast Nordost die Flughautfledermaus noch bei höheren Windgeschwindigkeiten angetroffen.

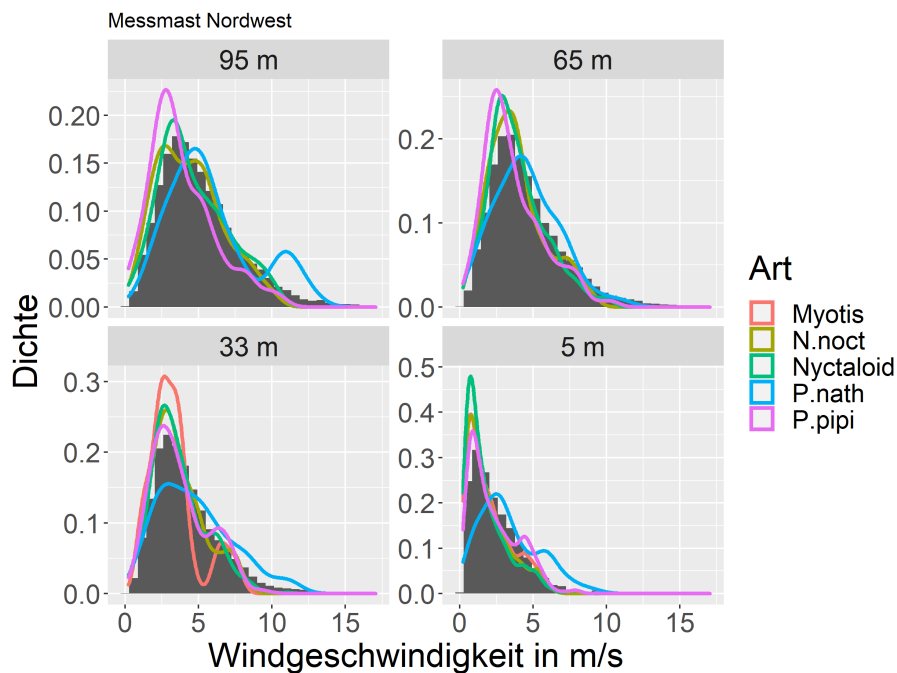


Abb. 103: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten. Aus Darstellungsgründen wurden die 3 *Myotis*-Rufe, die bei 65 m und 95 m aufgezeichnet wurden, nicht in die Grafik integriert. N. noct = Abendsegler, P. nath = Flughautfledermaus, P. pipi = Zwergfledermaus

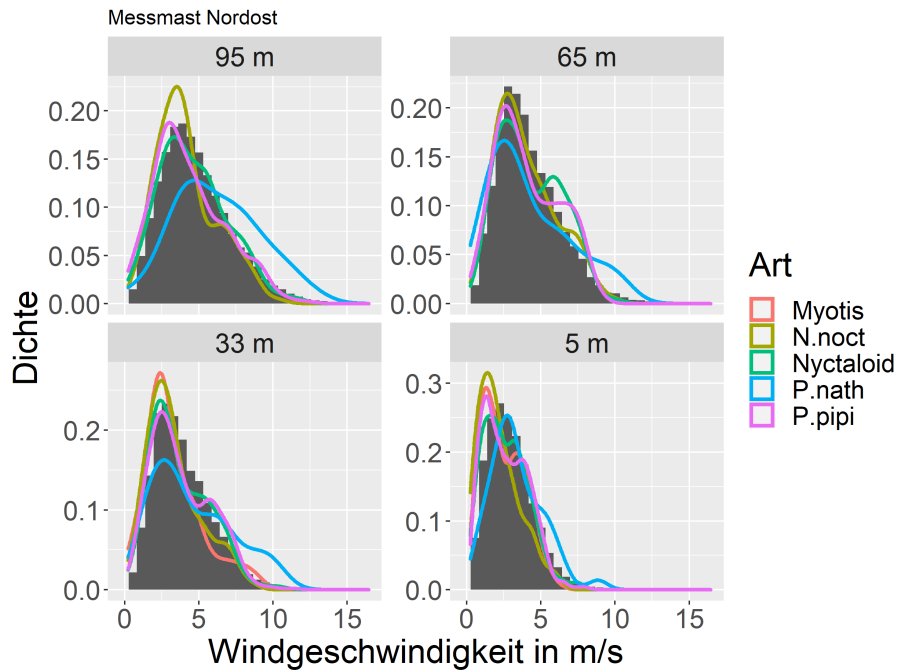


Abb. 104: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhaufledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

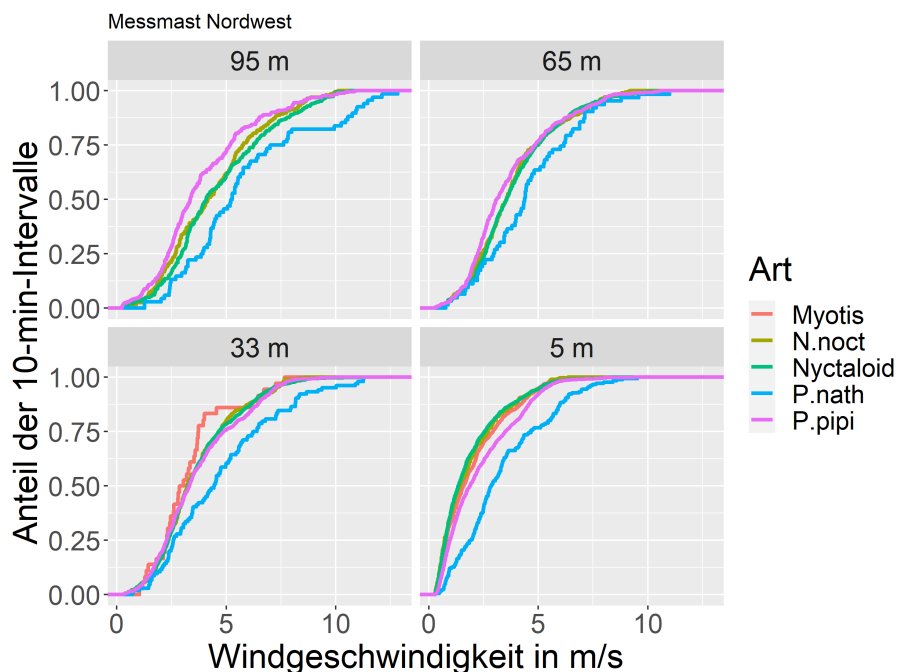


Abb. 105: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.

Für die 5 häufigsten Arten(-gruppen) werden die kumulierten Anteile der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität von niedrigen zu hohen Windgeschwindigkeiten dargestellt. Aus Darstellungsgründen wurden die 3 *Myotis*-Rufe, die bei 65 m und 95 m aufgezeichnet wurden, nicht in die Grafik integriert. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhaufledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

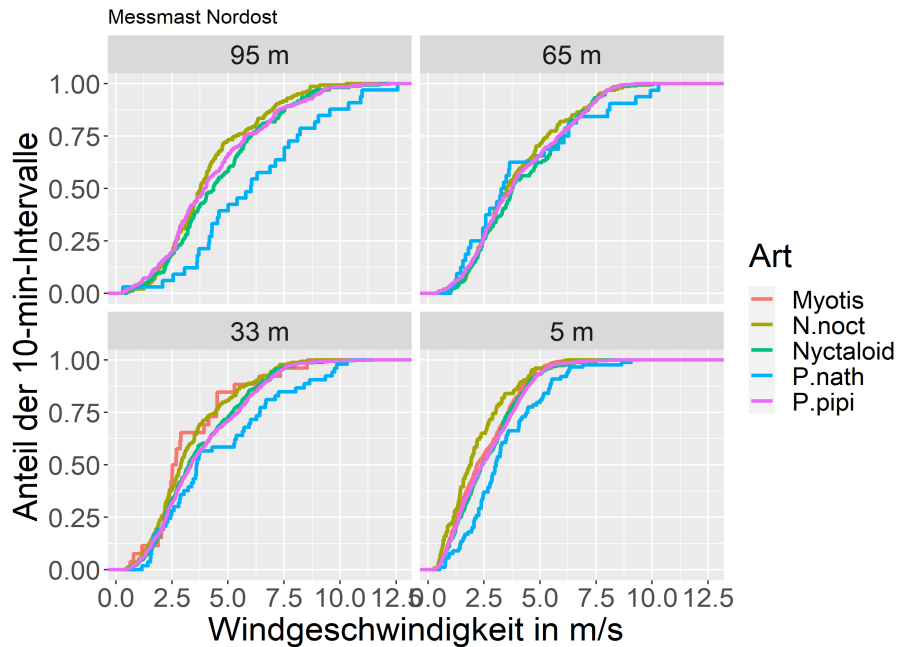


Abb. 106: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.
Für die 5 häufigsten Arten(-gruppen) werden die kumulierten Anteile der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität von niedrigen zu hohen Windgeschwindigkeiten dargestellt. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

Die akustischen Erfassungen der Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung bestätigen die Erkenntnisse aus dem Jahr 2019. Auch im Jahr 2020 konnte an beiden Messmasten festgestellt werden, dass die Verteilung der Fledermausaktivität teils deutlich von der Gesamtverteilung der 10-min-Intervalle abweicht (Abb. 107, Abb. 108). Wie im Vorjahr wehte der Wind 2020 größtenteils aus nordwestlicher Richtung, etwas weniger häufig aus südöstlicher Richtung. Vor allem die Aktivitätsverteilungen an Messmast Nordwest zeigen deutliche Parallelen zwischen den beiden Erfassungsjahren. In den unteren Messhöhen unterscheidet sich die Verteilung der Aktivität auf die Windrichtung bei den meisten Arten(-gruppen) nicht deutlich von der Gesamtverteilung und es tritt mehr Aktivität bei Nordwestwind auf (Abb. 107). Mit zunehmender Höhe weicht die Verteilung der Aktivität aber immer deutlicher von der Gesamtverteilung ab und es wird überproportional viel Aktivität bei Südostwind aufgezeichnet. Erneut fällt außerdem auf, dass die Rauhautfledermaus in allen Messhöhen, auch in Bodennähe, überproportional häufig bei Südostwind aufgezeichnet wurde (Abb. 107). Am Messmast Nordost dagegen wurden bereits in Bodennähe alle betrachteten Fledermausarten(-gruppen) überproportional häufig bei Südostwind nachgewiesen, wobei dieses Muster bei der Rauhautfledermaus noch etwas deutlicher auftritt als bei den anderen Arten(-gruppen) (Abb. 108).

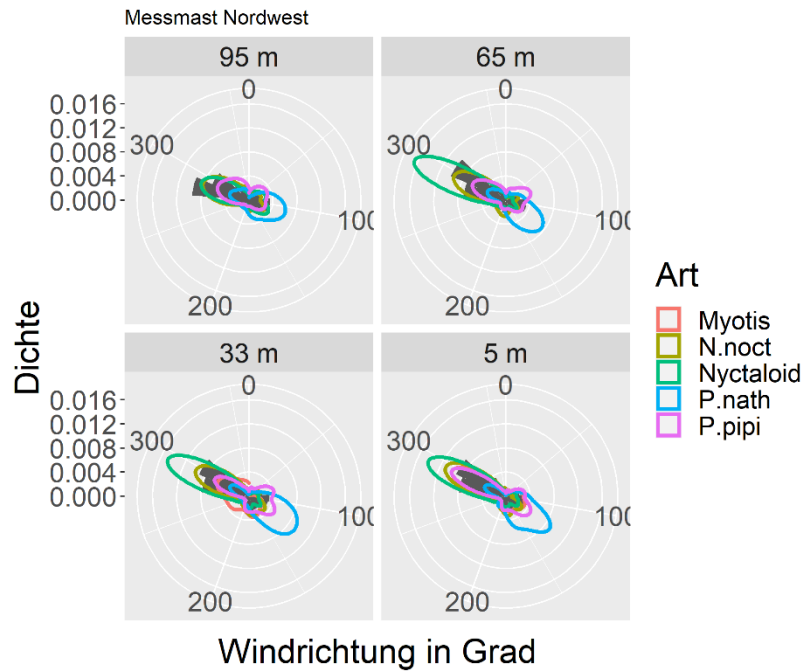


Abb. 107: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windrichtungen dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Windrichtungen. Aus Darstellungsgründen wurden die 3 *Myotis*-Rufe, die bei 65 m und 95 m aufgezeichnet wurden, weggelassen. N. noct = Abendsegler, P. nath = Rauhaufledermaus, P. pipi = Zwergfledermaus.

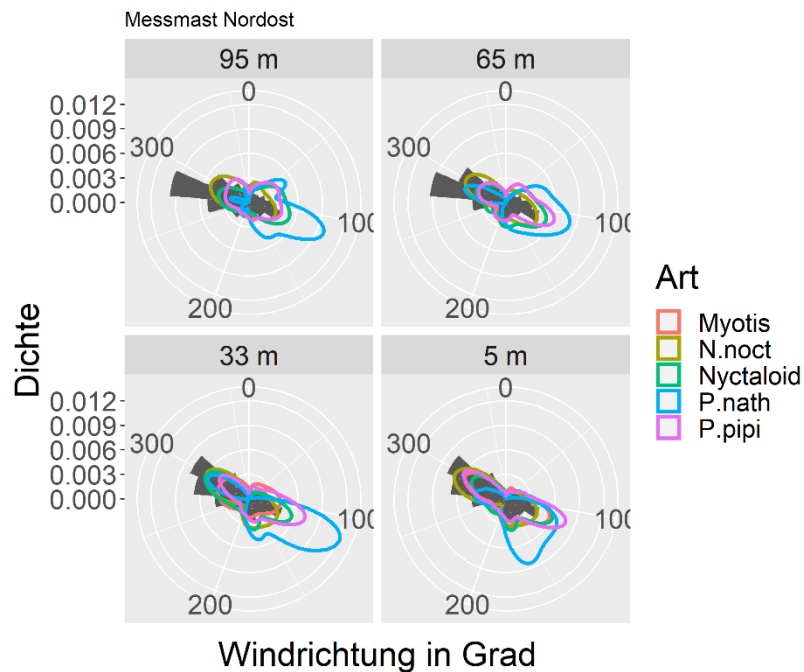


Abb. 108: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windrichtungen dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Windrichtungen. N. noct = Abendsegler, P. nath = Rauhaufledermaus, P. pipi = Zwergfledermaus

Auch bezüglich der Zusammenhänge zwischen Fledermausaktivität und Temperatur bestätigen die Messungen von 2020 die im Jahr 2019 am Testfeld vorgefundenen Muster. Wie in Abb. 109 und Abb. 110 zu sehen ist, weicht die Verteilung der Aktivität sowohl bei sehr tiefen als auch sehr hohen Temperaturen von der Gesamtverteilung ab. Die Verschiebung der Dichtekurve der Rauhautfledermaus hin zu niedrigeren Temperaturen in den Messhöhen von 65 m und 95 m ist im Jahr 2020 hauptsächlich an Messmast Nordost zu beobachten (Abb. 110). Anteilig sind die Rauhautfledermäuse an Messmast Nordost häufiger bei niedrigen Temperaturen anzutreffen als andere Arten oder Artengruppen (Abb. 112). In einer Höhe von 95 m sind sogar etwa 25 % der Rauhautfledermäuse noch bei 6°C aktiv. An Messmast Nordwest unterscheidet sich die Verteilung der Aktivität der Rauhautfledermaus auf die Temperatur kaum von den anderen Arten (Abb. 109, Abb. 111). Auffällig ist außerdem, dass die Zwergfledermaus im Jahr 2020 verstärkt in warmen Nächten auftrat. Dieses Muster ist wiederum besonders an Messmast Nordost und für die größeren Höhen ausgeprägt (Abb. 110, Abb. 112).

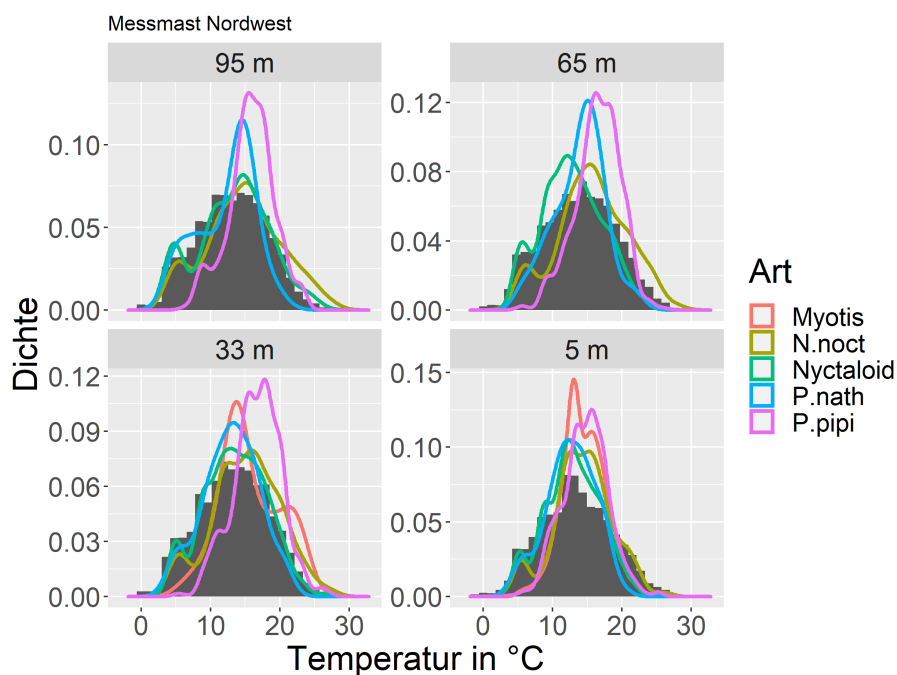


Abb. 109: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windrichtungen dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Temperaturen. Aus Darstellungsgründen wurden die 3 *Myotis*-Rufe, die bei 65 m und 95 m aufgezeichnet wurden, weggelassen. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

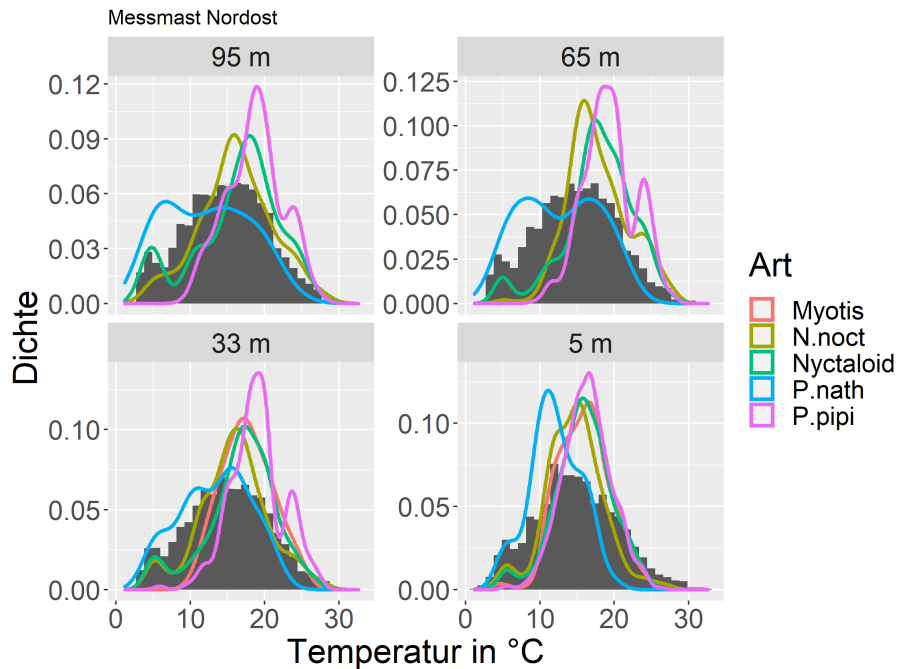


Abb. 110: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windrichtungen dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Temperaturen. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhauffledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

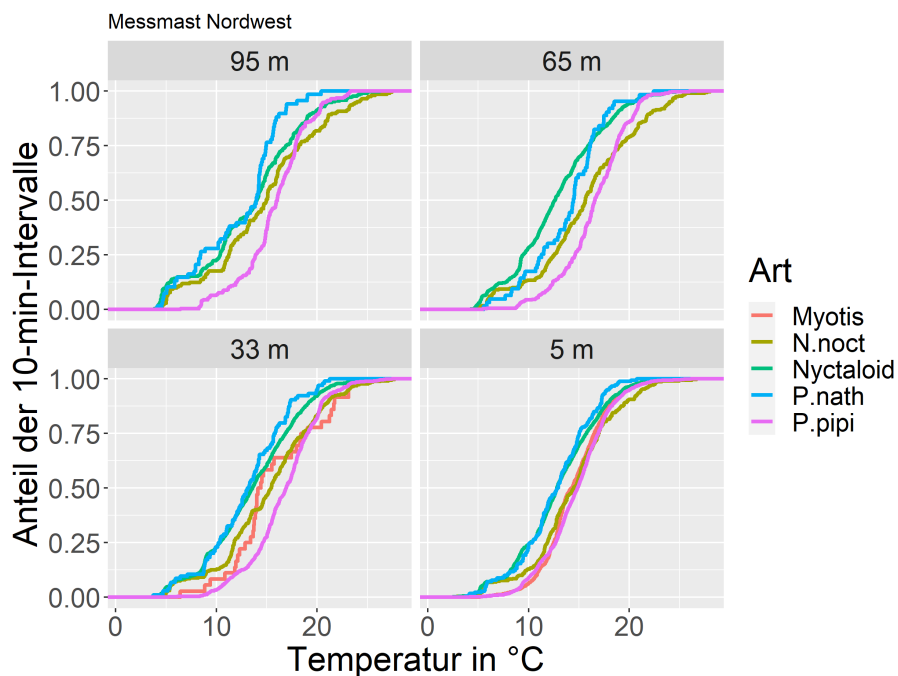


Abb. 111: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordwest im Jahr 2020.

Für die 5 häufigsten Arten(-gruppen) werden die kumulierten Anteile der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität von niedrigen zu hohen Temperaturen dargestellt. Aus Darstellungsgründen wurden die 3 *Myotis*-Rufe, die bei 65 m und 95 m aufgezeichnet wurden, weggelassen. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhauffledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

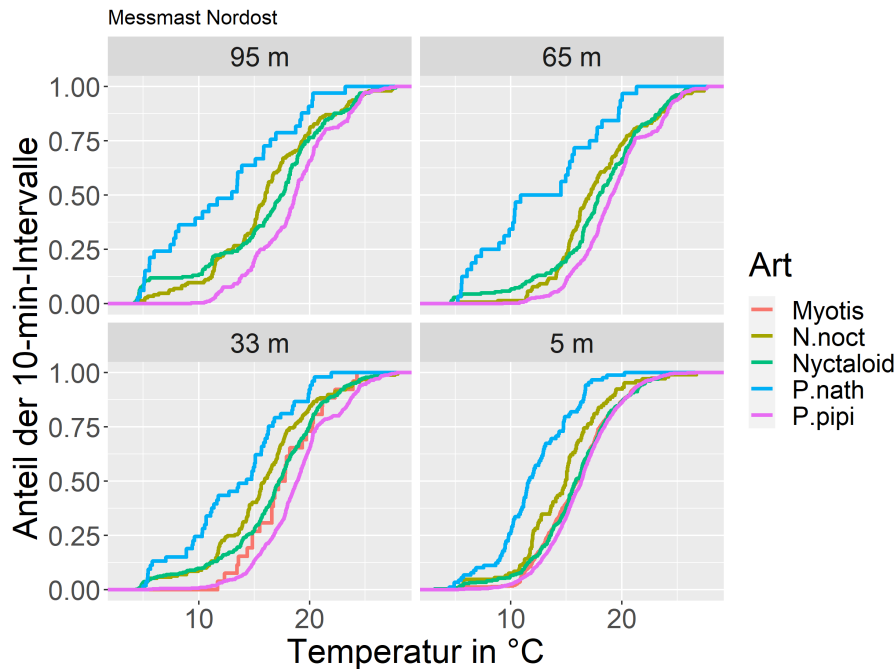


Abb. 112: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in den verschiedenen Messhöhen an Messmast Nordost im Jahr 2020.
 Für die 5 häufigsten Arten(-gruppen) werden die kumulierten Anteile der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität von niedrigen zu hohen Temperaturen dargestellt. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

Erstmalig lag für das Erfassungsjahr 2020 eine vollständige Messreihe zur atmosphärischen Stabilität, auch Turbulenz genannt, vor. Es ist uns nicht bekannt, dass diese Messgröße jemals mit der Fledermausaktivität in Verbindung gebracht wurde, sodass die hier vorgestellten Ergebnisse gänzlich neue Erkenntnisse zum Verhalten der Fledermäuse in bewegten Luftschichten liefern. Als ein Parameter zur Darstellung von Luftturbulenzen wird die TKE (Turbulente Kinetische Energie) verwendet, die hier als Stabilitätsindex herangezogen wird. Da es sich bei der atmosphärischen Stabilität um eine kleinräumig veränderliche Größe handelt und der Parameter bisher nur am Messmast Nordost ermittelt wird, ist es sinnvoll die Korrelation zwischen der atmosphärischen Stabilität und der Fledermausaktivität nur für den Messmast Nordost zu betrachten. Eine Übertragung der Daten auf die Fledermausaktivität an Messmast Nordwest könnte zu falschen Annahmen führen.

Der Abb. 113 ist zum einen zu entnehmen, dass die Turbulente kinetische Energie (TKE) generell mit steigender Windgeschwindigkeit zunimmt. Darüber hinaus ist die TKE in Bodennähe, vor allem auf 5 m Höhe, bereits bei geringeren Windgeschwindigkeiten erhöht, was für eine eher geringe atmosphärische Stabilität in bodennahen Luftschichten spricht. Allerdings werden auf 65 m und 95 m Höhe häufiger größere Werte der TKE erreicht. Die Verteilung der Fledermausaktivität auf die vorhandenen Messintervalle zeigt, dass die Fledermäuse in bodennahen Bereichen bei größeren TKE-Werten aktiv sind als in der Höhe. In 65 m und in 95 m Höhe sind die anwesenden Fledermäuse bei Witterungsbedingungen mit hoher TKE auch bei geringen Windgeschwindigkeiten nur selten aktiv. Dies gilt weitestgehend für alle dargestellten Arten(-gruppen). Dennoch wird durch einzelne Aufnahmen deutlich, dass in Höhen ab 33 m sowohl die Rauhautfledermaus als auch die Artengruppe Nyctaloid auch gelegentlich unter verhältnismäßig instabilen Bedingungen anzutreffen sind.

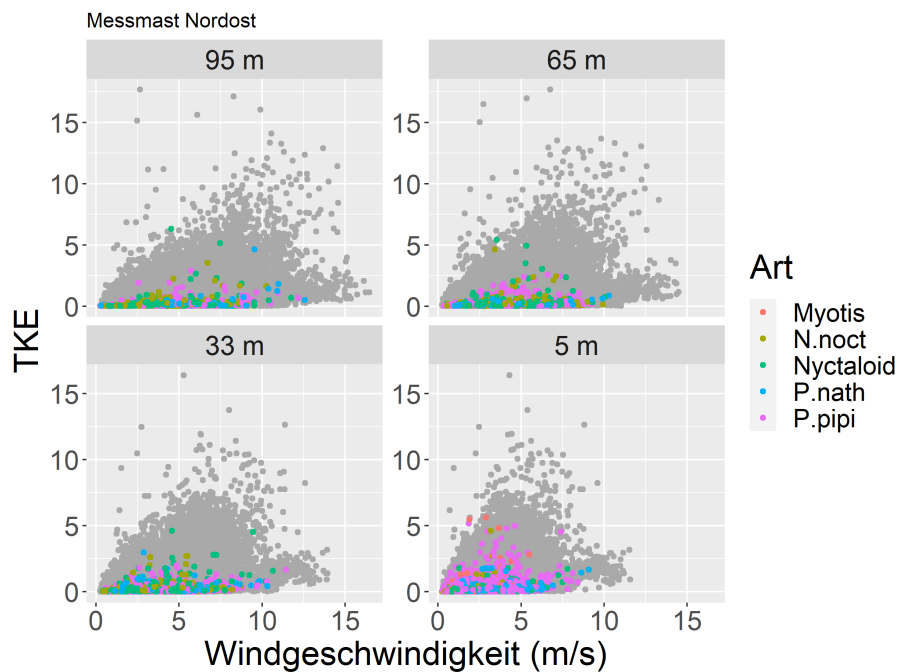


Abb. 113: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von atmosphärischer Stabilität (dargestellt als Turbulente kinetische Energie TKE) und Windgeschwindigkeit an Messmast Nordost im Sommer 2020.

In der Grafik sind die Witterungsbedingungen in 10-min-Intervallen mit artspezifischer Fledermausaktivität (bunte Punkte) im Vergleich mit allen 10-min-Intervallen im Messzeitraum (graue Punkte) dargestellt. N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

Die Korrelation zwischen der Fledermausaktivität und Niederschlagsereignissen zeigt erneut, dass die Fledermausaktivität bei Niederschlag stark abnimmt (Abb. 114, Abb. 115). Sowohl an Messmast Nordwest als auch an Messmast Nordost geht die Fledermausaktivität stark zurück, wenn es in dem betreffenden 10-min-Intervall regnet. Dieser proportionale Rückgang der Aktivität ist an Messmast Nordwest besonders in den Höhen ab 33 m zu beobachten. In Bodennähe konnten bei Regen noch häufiger Fledermäuse nachgewiesen werden. Allerdings sinkt die Fledermausaktivität auch in der Höhe nicht auf null (Abb. 114). An Messmast Nordost waren die Aktivitätswerte bei Regen geringer als an Messmast Nordwest und dies für alle Höhen.

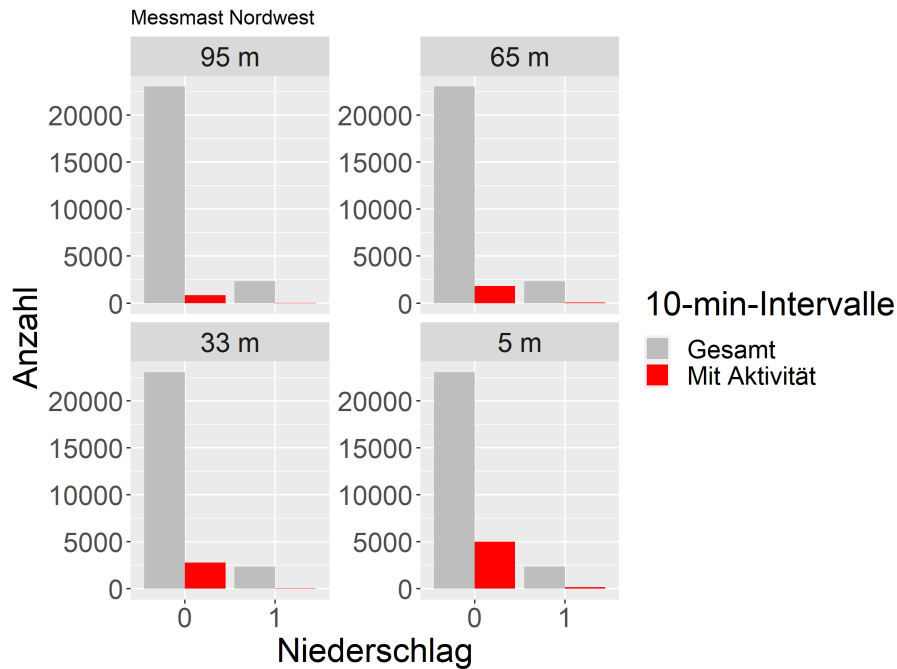


Abb. 114: Fledermausaktivität in Abhängigkeit vom Niederschlag an Messmast Nordwest im Jahr 2020.

Die roten Balken stellen die 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität auf die gemessenen Niederschlagswerte dar, wobei 0 kein Niederschlag bedeutet und 1 für Aufnahmeereignisse bei Niederschlag steht. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Gesamtheit aller 10-min-Intervalle.

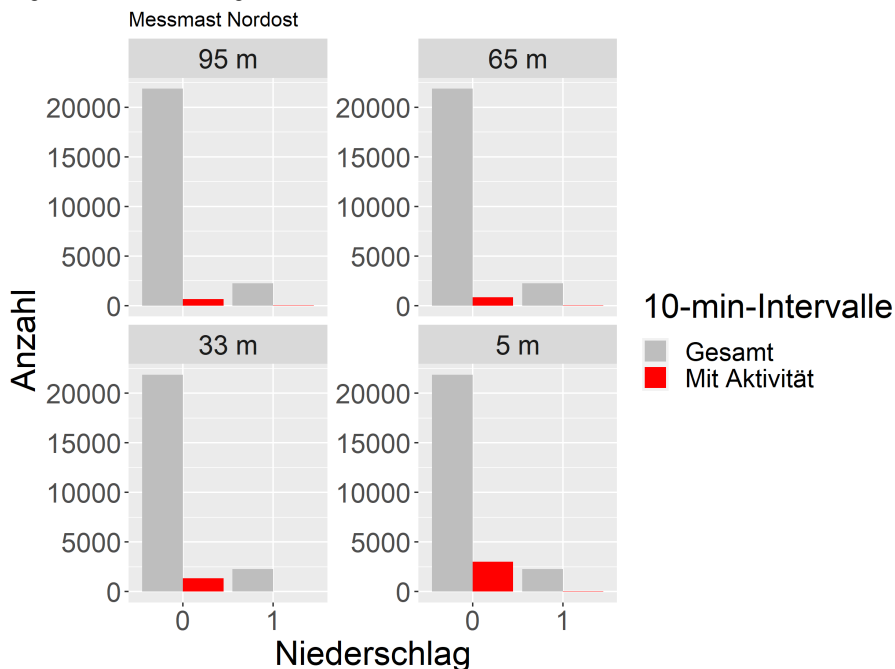


Abb. 115: Fledermausaktivität in Abhängigkeit vom Niederschlag an Messmast Nordost im Jahr 2020.

Die roten Balken stellen die 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität auf die gemessenen Niederschlagswerte dar, wobei 0 kein Niederschlag bedeutet und 1 für Aufnahmeereignisse bei Niederschlag steht. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Gesamtheit aller 10-min-Intervalle.

4.1.3.4 Modelle für die Fledermausaktivität an den Messmasten

Um die Nachweiswahrscheinlichkeit der verschiedenen Arten in den verschiedenen Höhen an den Messmasten in Abhängigkeit von verschiedenen Umweltparametern zu schätzen, wurden generalisierte lineare Modelle mit der An- bzw. Abwesenheit von Aktivität im 10-min-

Intervall als Zielvariable berechnet. Die Modellierungen wurden für die Arten(-gruppen) Zwergfledermaus und die Nyctaloid-Gruppe durchgeführt. Für die Rauhautfledermaus reichte die Datenmenge für eine robuste Modellierung nicht aus. Auch für die *Myotis/Plecotus*-Gruppe wurde auf eine Modellierung verzichtet, da diese in den Höhen so gut wie gar nicht auftrat.

Die Ergebnisse der Modellierung zeigen, dass die Fledermausaktivität in allen Messhöhen stark von den verschiedenen Umweltparametern abhängt. Teilweise ergeben sich dabei aber auch Unterschiede zwischen den Messhöhen. Zur Visualisierung der Modellergebnisse werden im Folgenden in den Grafiken die Schätzungen für die Nachweiswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von den verschiedenen Einflussvariablen und ihre Unsicherheiten (Kreditabilitätsintervalle) dargestellt (Abb. 116 bis Abb. 125). Anhand der Steigung der Kurven sowie der Breite der Kreditabilitätsintervalle kann die Effektgröße abgeschätzt werden.

Die Nachweiswahrscheinlichkeit für die Zwergfledermaus in Abhängigkeit von der Jahreszeit zeigt in allen vier Messhöhen einen ähnlichen Verlauf (Abb. 116). Sie steigt im Frühjahr deutlich an und erreicht den höchsten Wert zwischen Juli und August und sinkt dann bis November wieder ab. Dabei fällt der Peak in der Höhe deutlich geringer aus, die Nachweiswahrscheinlichkeit in 95 m ist zudem in den Monaten März und April sowie Oktober und November fast bei Null. Die Verteilung über die Nacht ist ebenfalls in allen vier Messhöhen ähnlich. Sie steigt langsam an, erreicht im zweiten Viertel der Nacht ihren Höhepunkt und lässt dann bis zum Ende der Nacht hin deutlich nach. Auch hier fällt der Peak in der Höhe deutlich kleiner aus (Abb. 117). Auch der deutliche Anstieg der Nachweiswahrscheinlichkeit mit steigender Temperatur ist in allen Messhöhen zu beobachten (Abb. 118). Der Höhepunkt ist bei knapp über 20 °C erreicht, danach sinkt die Wahrscheinlichkeit wieder ab. Die Wahrscheinlichkeit für Aktivität lässt in allen vier Messhöhen mit zunehmender Windgeschwindigkeit nach. Während aber in 95 m Höhe bei höheren Windgeschwindigkeiten ab 10 m/s die Wahrscheinlichkeit fast bei null liegt, ist in Bodennähe auch bei hohen Werten noch eine gewisse Nachweiswahrscheinlichkeit vorhanden (Abb. 119). Für den Niederschlag wurden keine Unterschiede zwischen den Messhöhen modelliert. Hier ist insgesamt eine sehr starke Abnahme der Nachweiswahrscheinlichkeit mit zunehmender Niederschlagswahrscheinlichkeit zu beobachten (Abb. 120). Schon ab 20 % liegt diese fast bei null.

Bei der Nyctaloid-Gruppe steigt die Wahrscheinlichkeit für Aktivität ebenfalls im Laufe des Frühjahrs an, erreicht den Peak im Sommer und sinkt im Herbst wieder ab (Abb. 121). Die Kreditabilitätsintervalle sind allerdings bei dieser Gruppe in allen Messhöhen relativ groß, was zeigt, dass die Vorhersage eher unsicher ist. Der Peak wird in der Höhe zudem etwas später erreicht als in Bodennähe. Während in Bodennähe bereits im Juli die höchste Wahrscheinlichkeit für Aktivität auftritt, geschieht dies in 95 m Höhe erst im August. Die Nachweiswahrscheinlichkeit ist dabei in den mittleren Höhen von 35 und 65 m etwas höher als in Bodennähe und in 95 m Höhe. Im Nachtverlauf steigt die Wahrscheinlichkeit zunächst leicht an, erreicht einen Peak schon im ersten Nachtviertel und sinkt dann wieder ab (Abb. 122). In der zweiten Nachthälfte ist vor allem in den tieferen Messhöhen noch einmal eine minimale Zunahme zu beobachten. In allen Höhen steigt die Nachweiswahrscheinlichkeit mit zunehmender Temperatur, ein Peak wird bei etwa 20 °C erreicht, danach sinkt die Wahrscheinlichkeit wieder etwas ab (Abb. 123). Auch hier sind die Konfidenzintervalle allerdings relativ breit. Auch bei Temperaturen unter 5 °C gibt es vor allem in den Höhen 10 und 35 m noch eine Wahrscheinlichkeit für Aktivität. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit nimmt die Nachweiswahrscheinlichkeit in allen Messhöhen deutlich ab (Abb. 124). Auch in Bodennähe ist, anders als bei der Zwergfledermaus, die Nachweiswahrscheinlichkeit über 10 m/s fast bei null. Bei

zunehmender Regenwahrscheinlichkeit nimmt die Wahrscheinlichkeit für Aktivität ebenfalls stark ab, bei 20 % liegt sie schon fast bei null (Abb. 125).

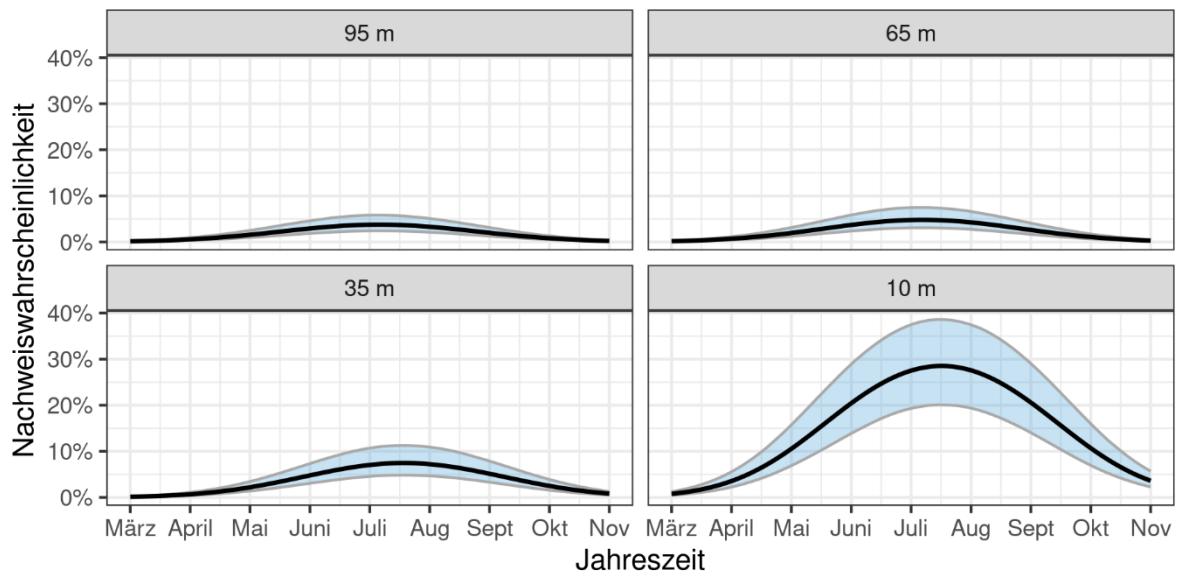


Abb. 116: Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kreditibilitätsintervalle an.

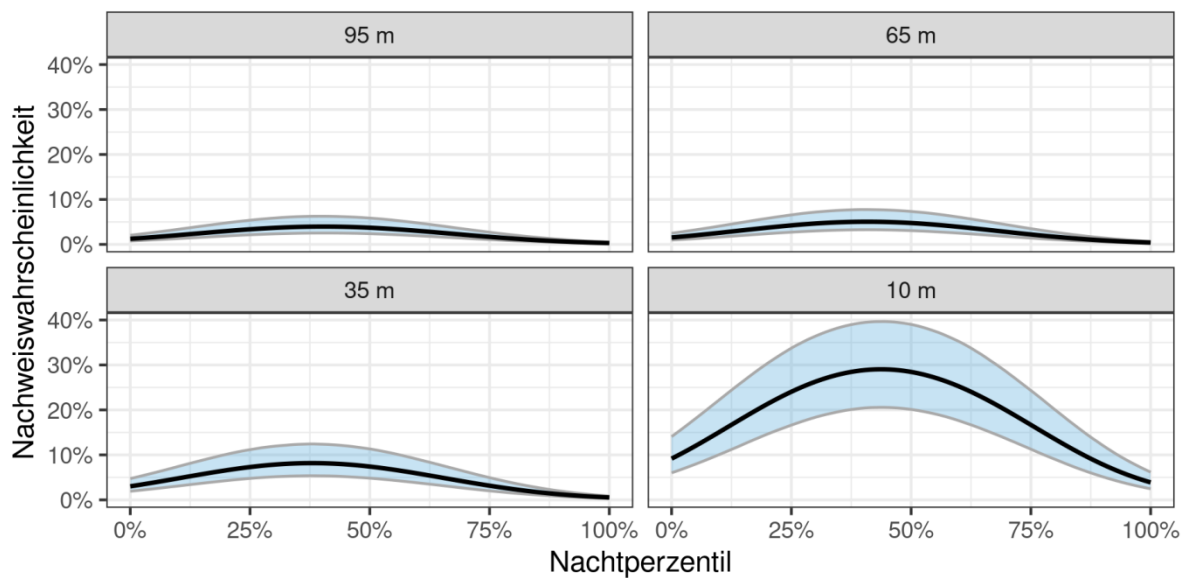


Abb. 117: Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Nachtzeit. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kreditibilitätsintervalle an.

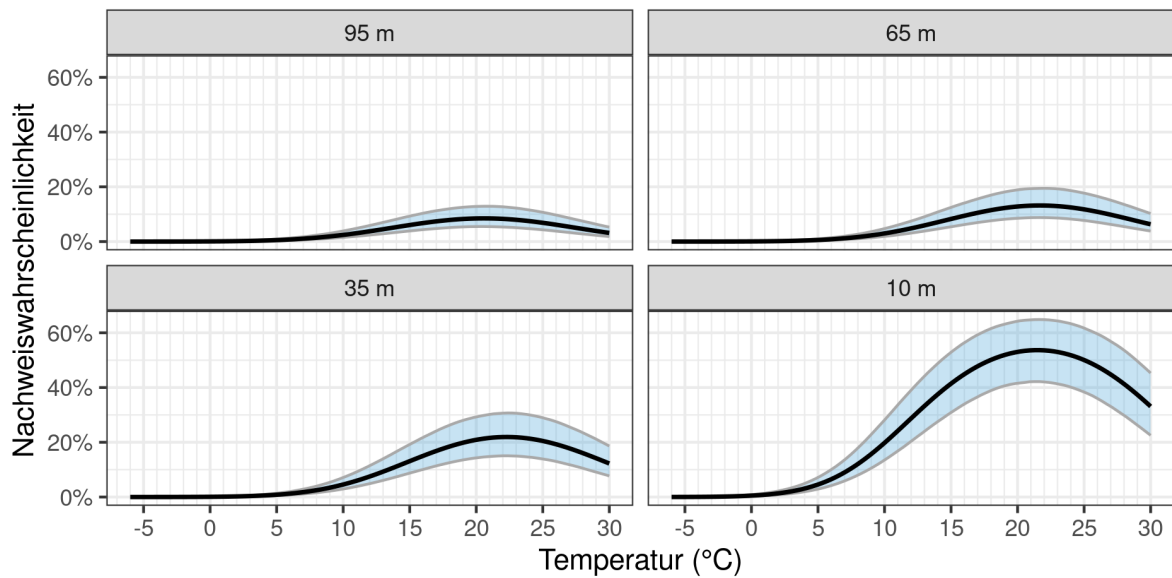


Abb. 118: Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Temperatur. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kredibilitätsintervalle an.

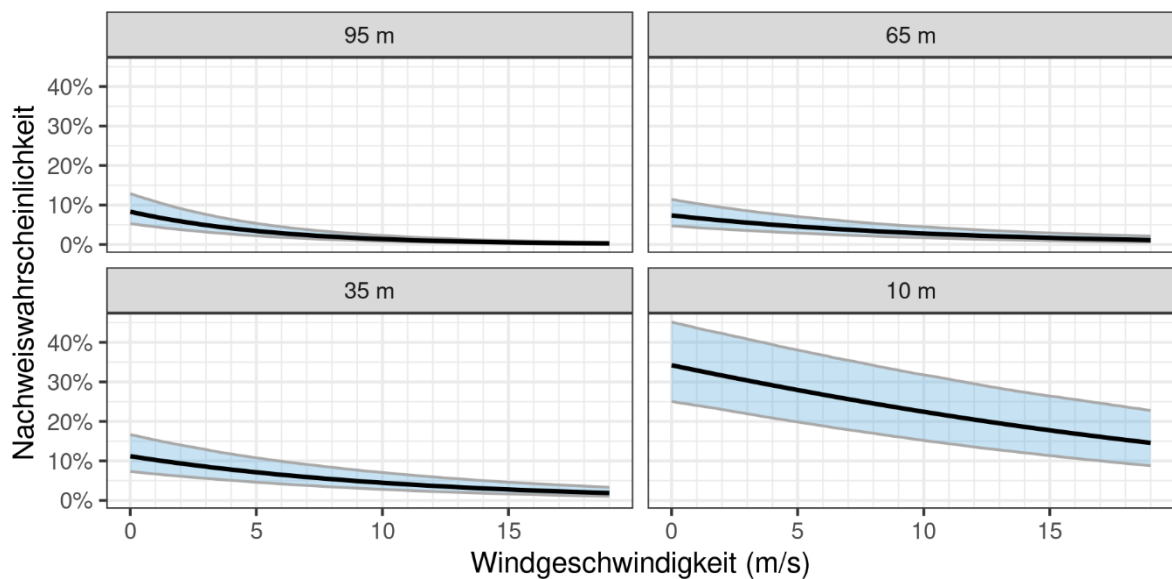


Abb. 119: Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kredibilitätsintervalle an.

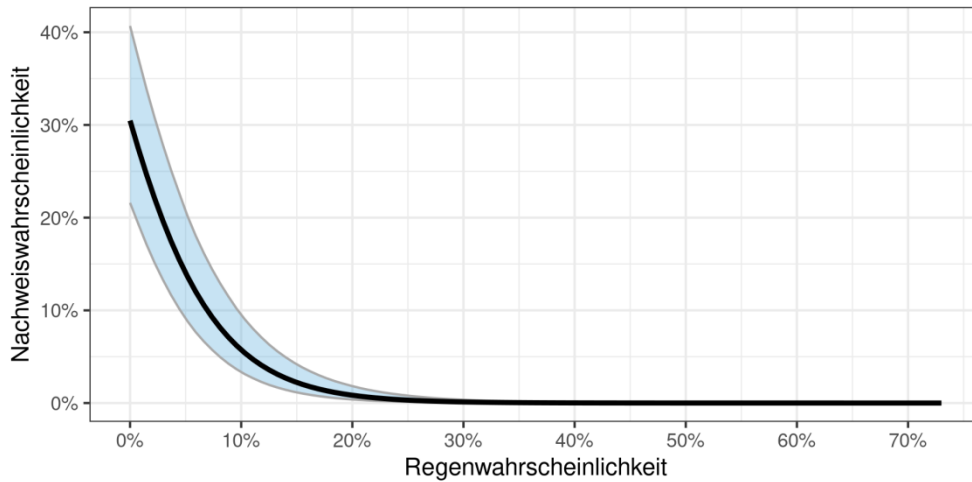


Abb. 120: Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Regenwahrscheinlichkeit. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kreditibilitätsintervalle an.

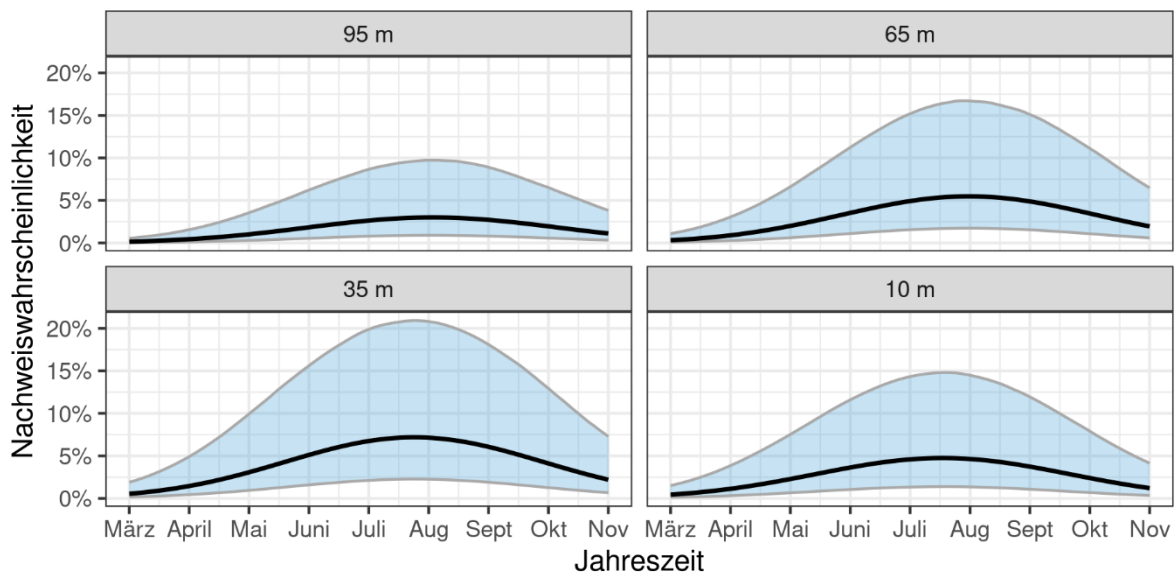


Abb. 121: Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kreditibilitätsintervalle an.

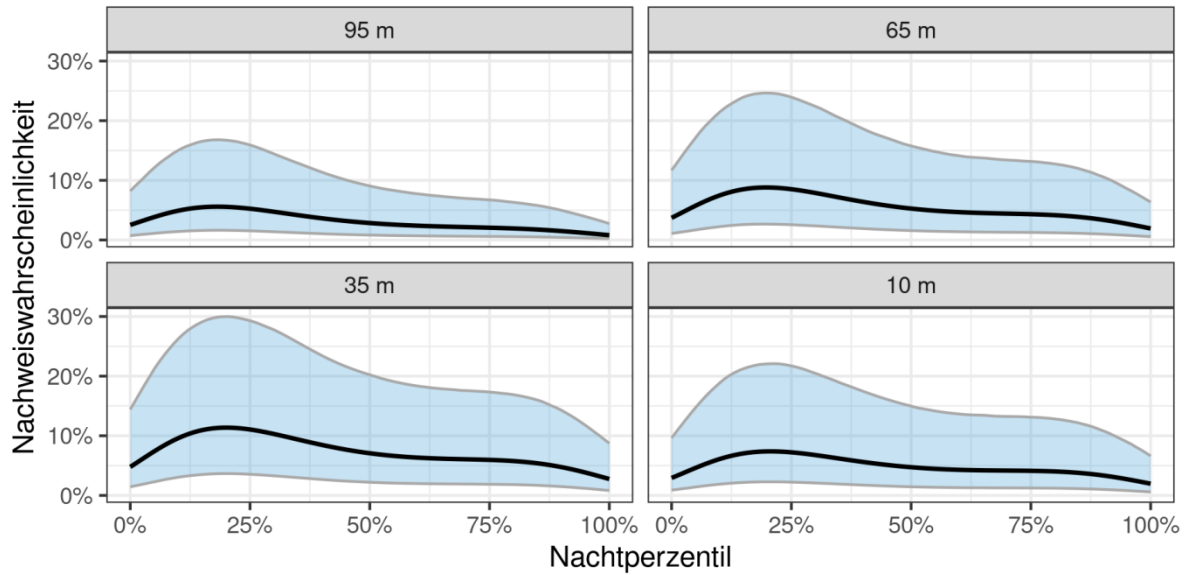


Abb. 122: Modellierter Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Nachtzeit. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kredibilitätsintervalle an.

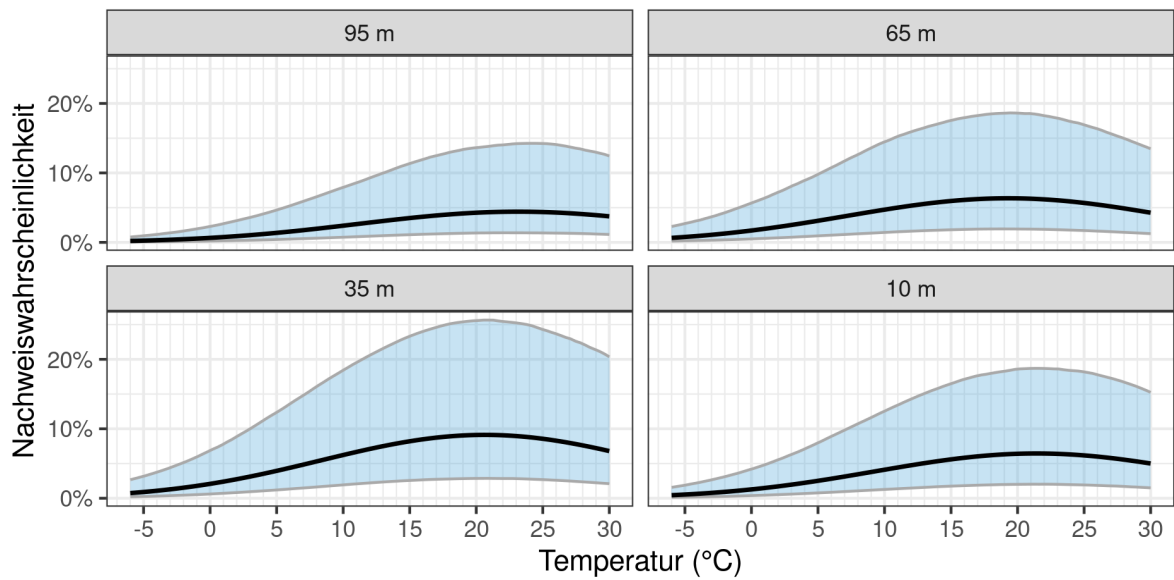


Abb. 123: Modellierter Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Temperatur. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kredibilitätsintervalle an.

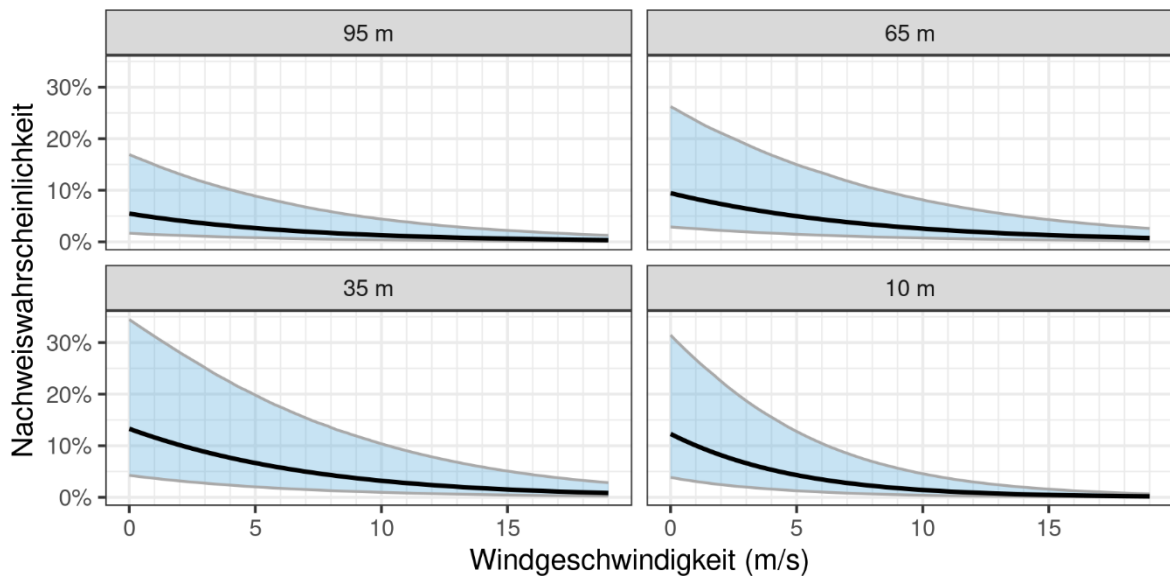


Abb. 124: Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.
Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kredibilitätsintervalle an.

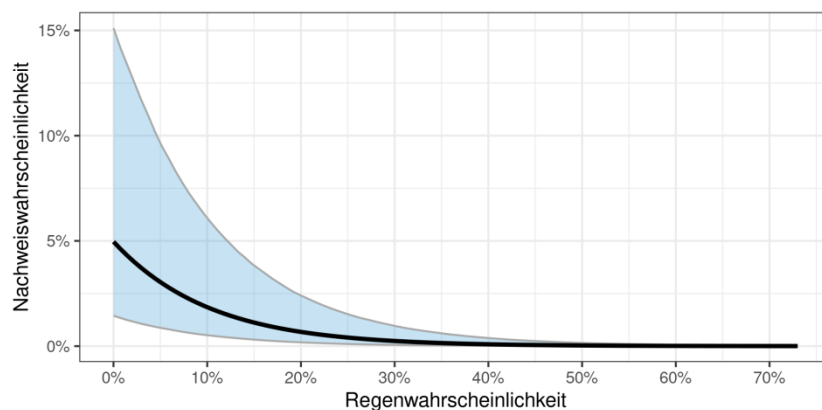


Abb. 125: Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in den unterschiedlichen Höhen an den Messmasten in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit von der Regenwahrscheinlichkeit.
Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kredibilitätsintervalle an.

4.1.3.5 Sommererfassung 2019 in der Umgebung um das Windtestfeld

Bei den Messungen in der Umgebung um das Windtestfeld wurden insgesamt 234.004 Aufnahmen mit Fledermausaktivität aufgezeichnet (Tab. 20). Hier stammte der mit Abstand größte Teil der Aufnahmen von der Zwergfledermaus (204.482 Aufnahmen, 87,38 %). Am zweithäufigsten aufgezeichnet wurde die Artengruppe *Myotis* mit 15.459 Aufnahmen (6,61 %). Es folgt die Nyctaloid-Gruppe mit 6.945 Aufnahmen (2,97 %) und der Abendsegler mit 2876 Aufnahmen (1,23 %). Die Rauhautfledermaus hat mit 1.683 Aufnahmen einen Anteil von 0,72 % an den Gesamtaufnahmen. Insgesamt 1613 Aufnahmen (0,69 %) der Pipistrelloid-Gruppe konnten nicht eindeutig bestimmt werden. Mit immerhin 775 Aufnahmen (0,33 %) wurde auch die Mopsfledermaus in der Umgebung um das Windtestfeld regelmäßig nachgewiesen. Eher sporadisch wurde die Mückenfledermaus (90 Aufnahmen, 0,04 %) und die *Plecotus*-Gruppe (81 Aufnahmen, 0,03 %) aufgezeichnet. Bei der Bewertung der Ergebnisse

ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen aufgrund unterschiedlicher Aufnahmewahrscheinlichkeiten zwischen den Artengruppen keinen direkten quantitativen Vergleich ermöglicht, qualitativ werden die Unterschiede aber in der Regel gut widergespiegelt.

Die Verteilung der Aufnahmen auf die verschiedenen Messstandorte zeigt deutlich, dass die Standorte am Waldrand eine sehr viel höhere Fledermausaktivität aufweisen als die Standorte im Offenland (Abb. 126). Besonders viel Aktivität wurde an den Standorten 2, 3 und 4 gemessen, deutlich weniger bereits am Standort 1, der sich im Bereich von Hecken in etwas Entfernung vom Waldrand befindet. Im Offenland wurde der Standort 7 im Bereich des Schweinemastbetriebs am häufigsten aufgesucht. Eine sehr geringe Aktivität wurde an den Acker-Standorten 6 und 8 festgestellt. Eine ähnliche Verteilung zeigt sich auch innerhalb der meisten Artengruppen. Lediglich der Abendsegler weicht relativ deutlich davon ab. Er wurde am Heckenstandort 1 am häufigsten aufgezeichnet und weist im Offenland teilweise ähnlich hohe Aufnahmezahlen auf wie am Waldrand. Auch die wenigen Aufnahmen der *Plecotus*-Gruppe verteilen sich relativ gleichmäßig über die verschiedenen Standorte.

Tab. 20: Überblick über die Anzahl akustischer Aufnahmen mit Fledermausrufen an den 8 Messstationen in der Umgebung um das Testfeld im Jahr 2019.

	BC1	BC2	BC3	BC4	BC5	BC6	BC7	BC8	Ge- samt	Anteil (%)
Mopsfledermaus (<i>B.barb</i>)	42	428	118	172	7	1	5	2	775	0,33
<i>Myotis</i> -Gruppe	912	5235	5467	2963	287	156	231	208	15459	6,61
Abendsegler (<i>N.noct</i>)	1042	589	196	151	239	221	347	91	2876	1,23
Nyctaloid- Gruppe	1127	2121	1162	1154	235	281	627	238	6945	2,97
Rauhautfleder- maus (<i>P.nath</i>)	204	457	294	289	125	61	155	98	1683	0,72
Zwergfleder- maus (<i>P.pipi</i>)	10683	55514	69142	55903	3117	1224	7383	1516	204482	87,38
Mückenfleder- maus (<i>P.pygm</i>)	14	23	16	30	2	1	4	0	90	0,04
Pipistrelloid- Gruppe	82	683	390	283	30	16	114	15	1613	0,69
<i>Plecotus</i> - Gruppe	11	17	4	2	14	11	16	6	81	0,03
Gesamt	14117	65067	76789	60947	4056	1972	8882	2174	234004	

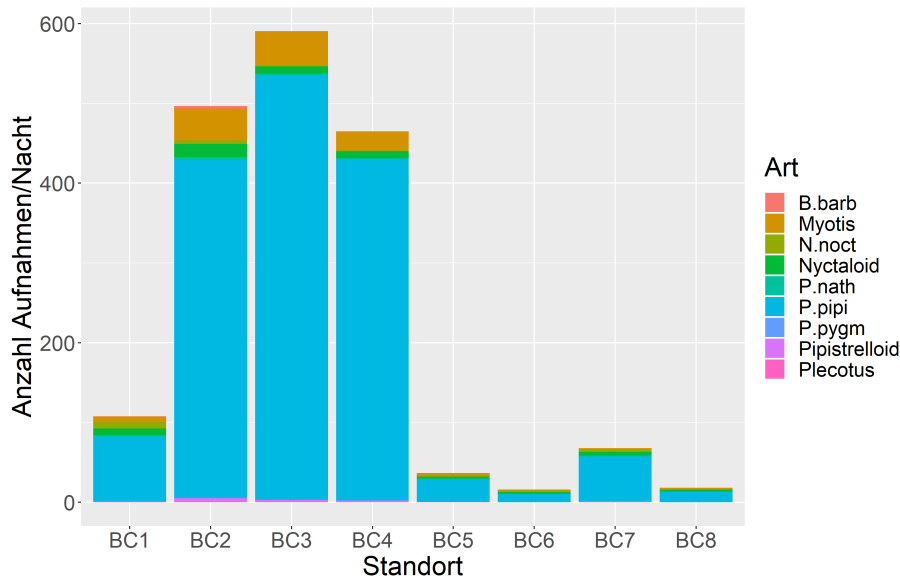


Abb. 126: Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Standorten im Jahr 2019.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. BC = Batcorder = Waldbox; B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhaufledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

Die Verteilung der Aktivität über die Monate unterscheidet sich zwischen den einzelnen Messstandorten (vgl. Abb. 127). Die höchsten Aktivitäten wurden in der Regel zwischen Juli und September gemessen, wobei die höchste Aktivität an den verschiedenen Standorten in unterschiedlichen Monaten auftrat. An den meisten Standorten ließ die Aktivität dann im Oktober und November deutlich nach. Eine Ausnahme stellt der Standort 2 dar, wo Anfang November die Aktivität noch einmal stark anstieg und sogar über dem Niveau der Sommermonate lag. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass im November nur wenige Messnächte stattfanden und dadurch auch kleinere Unterschiede deutlich stärker ins Gewicht fallen. Dies gilt auch für den Juni, der sich ebenfalls sehr stark zwischen den einzelnen Standorten unterschied. Auch die einzelnen Arten betreffend waren sehr deutliche phänologische Unterschiede, ähnlich wie auch am Messmasten, zu beobachten (Abb. 128). Die Zwergfledermaus wies zwischen Juli und September eine ähnlich hohe Aktivität auf, im Oktober und November nahm die Aktivität zwar ab, blieb aber immer noch auf recht hohem Niveau. Auch die Aktivität der *Myotis*-Gruppe blieb bis zum September relativ hoch, fiel danach aber sehr deutlich ab. Bei der Nyctaloid-Gruppe nahm die Aktivität dagegen stetig ab und war bereits im September relativ niedrig. Im Gegensatz dazu war beim Abendsegler im September ein starker Anstieg der Aktivität im Vergleich zum Juli und August zu beobachten. Die Aktivität der Rauhaufledermaus dagegen nahm in den Herbstmonaten zu und erreichte erst im Oktober ihren Höhepunkt. Auch die Mopsfledermaus war vor allem in den Herbstmonaten regelmäßig im Gebiet anwesend.

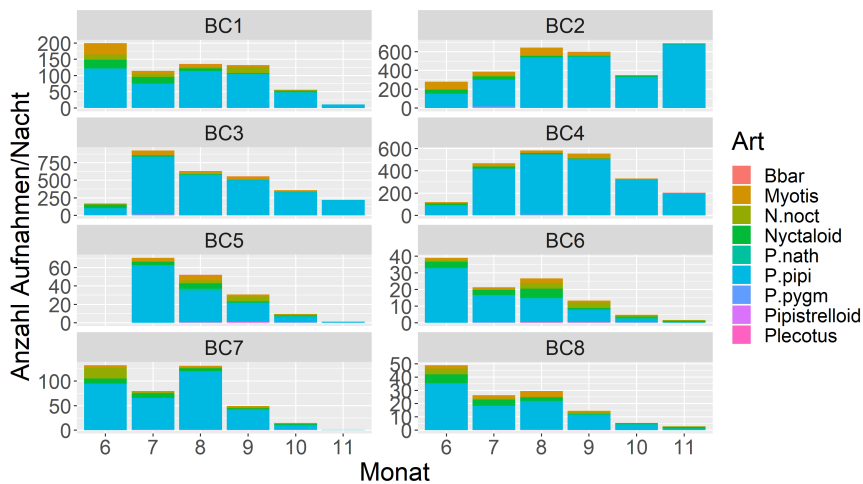


Abb. 127: Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalen der y-Achse. BC = Batcorder = Waldbox; B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhaufledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

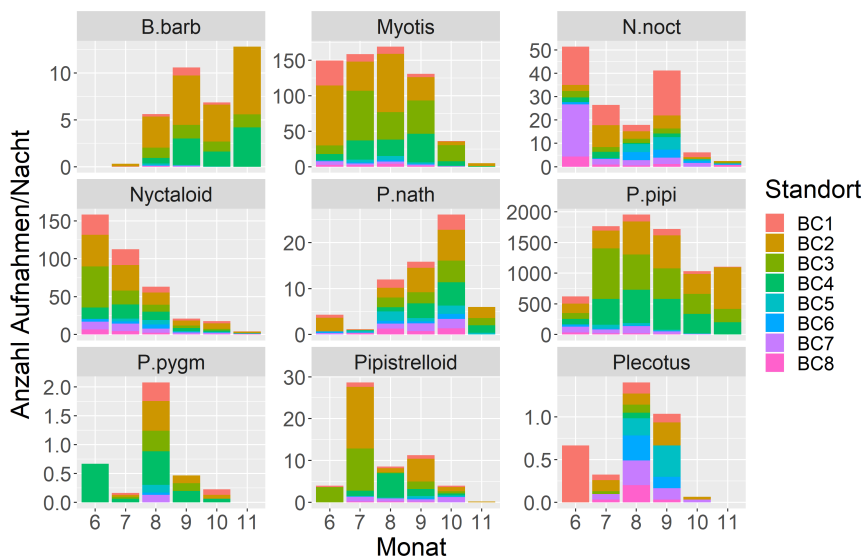


Abb. 128: Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht an den verschiedenen Standorten aufgeteilt nach den Arten(-gruppen) im Jahr 2019. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalen der y-Achse. BC = Batcorder = Waldbox; B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhaufledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

Auch die Aktivitätsverteilung über die Nacht weist Unterschiede zwischen den Standorten auf (Abb. 129). Es fällt auf, dass an den vier Ackerstandorten BC5 bis BC8 nach einem abrupten Anstieg der Aktivität zu Beginn der Nacht die Aktivität schnell wieder abnimmt und bis zum Ende der Nacht immer geringer wird. An den Waldstandorten dagegen ist die Aktivität über die Nacht kontinuierlicher verteilt und nimmt zum Ende der Nacht hin noch einmal zu. An den Standorten 1,2 und 4 ist zu Beginn der Nacht allerdings ebenfalls ein sehr starker Anstieg zu verzeichnen, dem ein deutlicher Abfall folgt.

Auch hier gibt es wieder große Unterschiede zwischen den einzelnen Arten(-gruppen) (Abb. 130). Die Zwergfledermaus zeigt Aktivitätsspitzen zu Beginn und Ende der Nacht, wird aber

auch über die ganze Nacht hinweg kontinuierlich auf mittlerem Niveau aufgezeichnet. Die Aktivität der *Myotis*-Gruppe steigt dagegen erst langsam an, bleibt dann die ganze Nacht auf ähnlichem Niveau um zum Ende der Nacht hin wieder kontinuierlich zu sinken. Die Nyctaloid-Gruppe ist verstärkt im ersten Nachtdrittel aktiv und zeigt einen kleineren Aktivitätsanstieg zum Nachtende hin. Der Abendsegler weist wie schon am Messmasten ein sehr stark zweiphasiges Aktionsmuster mit Aktivitätsspitzen zu Beginn und Ende der Nacht auf. Die Raufhautfledermaus zeigt keine deutlichen Aktivitätsspitzen, sondern bleibt über die fast gesamte Nacht hinweg ähnlich aktiv. Erst gegen Morgen ist ein deutlicher Abfall der Aktivität zu beobachten.

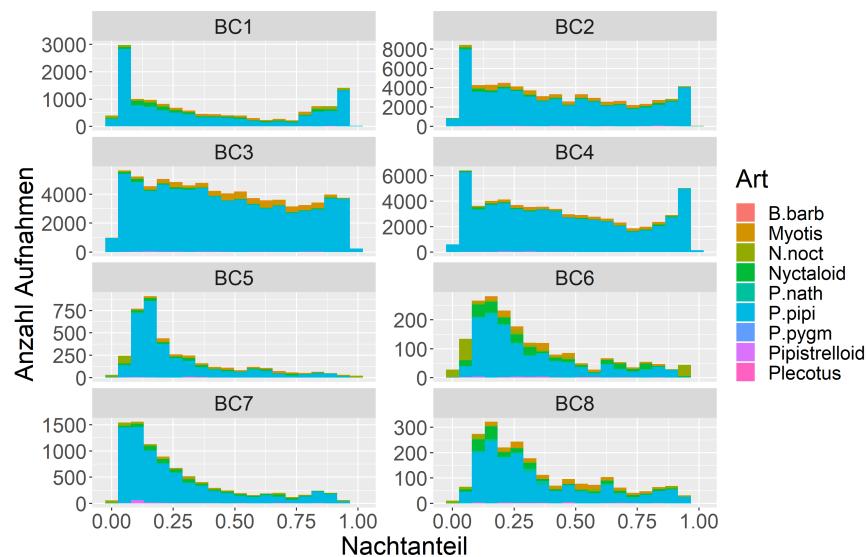


Abb. 129: Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. BC = Batcorder = Waldbox; B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Raufhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

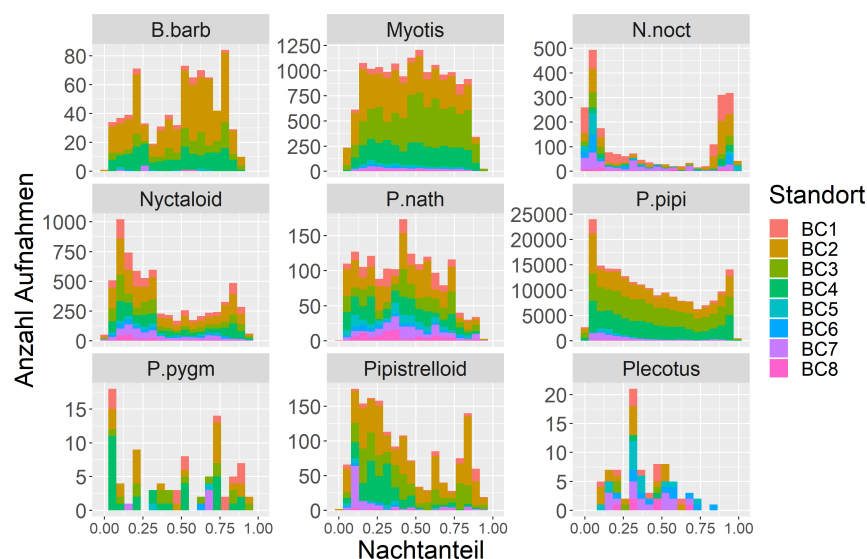


Abb. 130: Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen an den verschiedenen Messstandorten aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2019.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. BC = Batcorder = Waldbox; B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Raufhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

Die Verteilung der Aktivität auf die Windgeschwindigkeit entspricht an allen Standorten im Wesentlichen der Gesamtverteilung (Abb. 131). Das bedeutet, dass die Windgeschwindigkeit die Aktivität nicht beeinflusste. Lediglich bei der Rauhautfledermaus fällt auch bei dieser Umgebungsanalyse auf, dass sie tendenziell bei etwas höheren Windgeschwindigkeiten aktiv ist als die übrigen Arten(-gruppen). Vor allem an den Ackerstandorten ist diese Abweichung zu beobachten. Ein interessantes Muster zeigt die Verteilung der Aktivität auf die Windrichtungen (Abb. 132). So folgt an den Waldstandorten die Verteilung im Wesentlichen der Gesamtverteilung und die höchsten Aktivitäten treten bei Nordwestwind auf. An den Ackerstandorten dagegen ist eine Verschiebung der Aktivität hin zum Südostwind zu beobachten.

Die Abhängigkeit von der Temperatur war an allen Standorten ähnlich und auch vergleichbar zum Messmasten (Abb. 133). Die höchste Fledermausaktivität trat jeweils bei mittleren Temperaturen auf. Bei sehr hohen Temperaturen war die Aktivität unterdurchschnittlich, was damit zusammenhängen dürfte, dass diese direkt nach Sonnenuntergang gemessen wurden. Aber auch bei niedrigen Temperaturen bis ca. 10 °C trat weniger Aktivität auf, als die Gesamtverteilung erwarten ließe. Auch hier ist die Aktivitätskurve der Rauhautfledermaus im Vergleich zu den anderen Arten vor allem im Offenland tendenziell etwas zu niedrigeren Temperaturen verschoben.

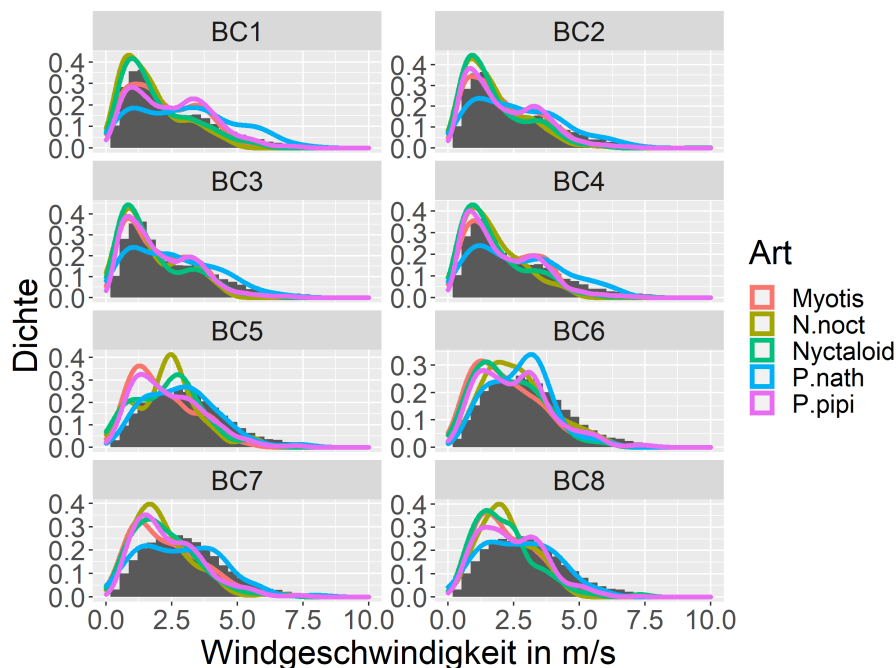


Abb. 131: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten. BC = Batcorder = Waldbox; N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

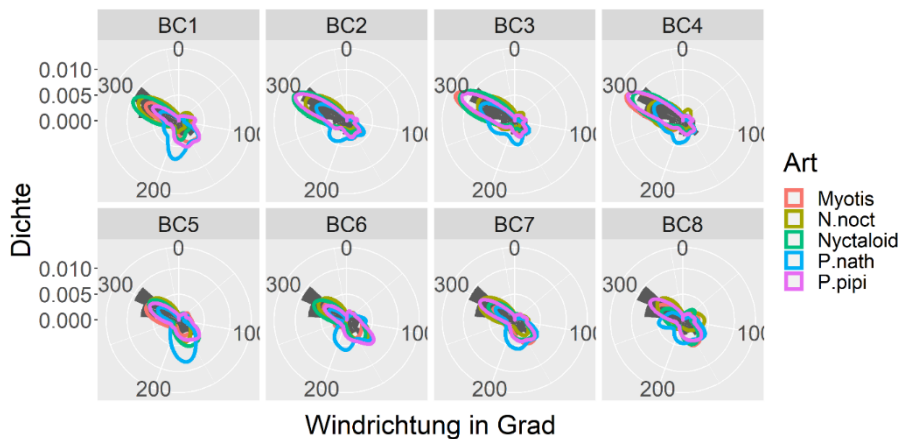


Abb. 132: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windrichtungen dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Windrichtungen. BC = Batcorder = Waldbox; N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhauffledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

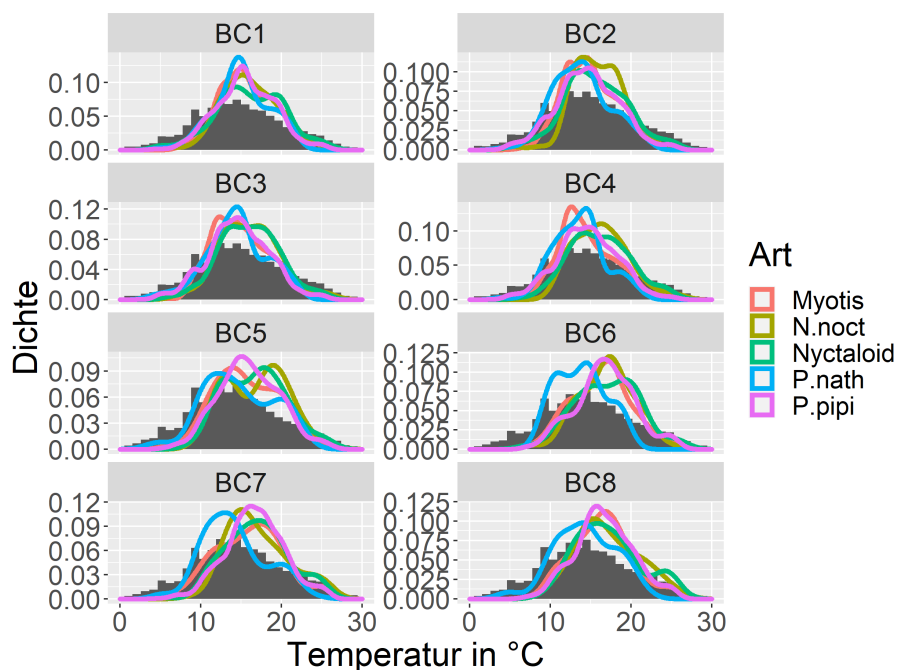


Abb. 133: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Temperaturen dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Temperaturen. BC = Batcorder = Waldbox; N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhauffledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

Wie bereits für die Messmasten festgestellt, nimmt die Fledermausaktivität auch an den Messstandorten in der Umgebung des Testfelds sehr stark ab, wenn Niederschlag für einen bestimmten Zeitpunkt verzeichnet wird (Abb. 134). Besonders deutlich wird dieser Zusammenhang für die Erfassungspunkte im Offenland (BC 5 bis BC 8), hier geht die Anzahl der 10-min-Intervalle mit registrierter Fledermausaktivität bei Niederschlag gegen Null.

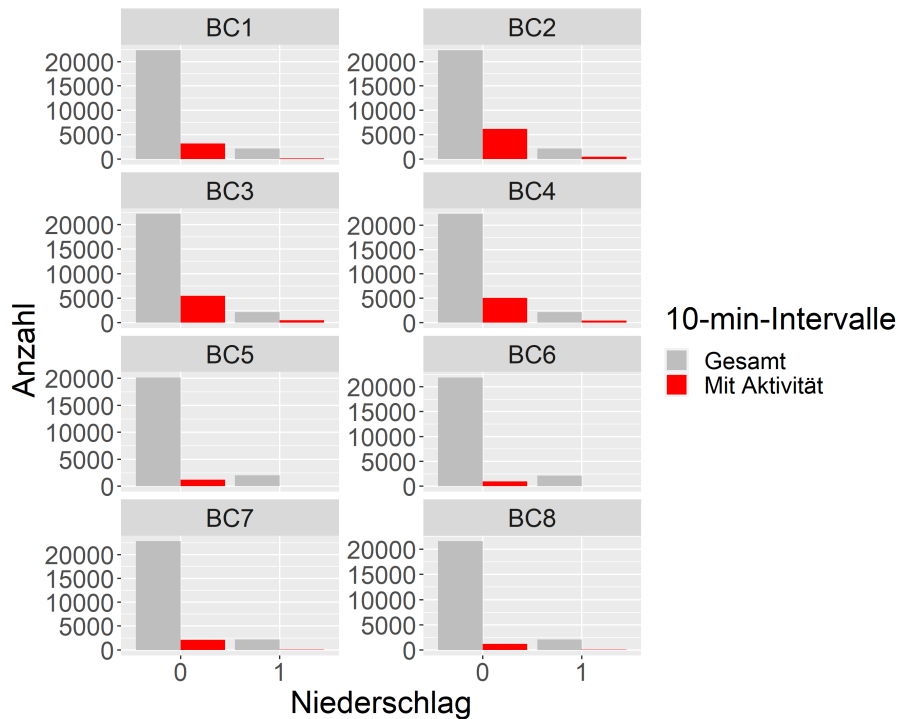


Abb. 134: Fledermausaktivität in Abhängigkeit vom Niederschlag an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2019.

Die roten Balken stellen die 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität auf die gemessenen Niederschlagswerte dar, wobei 0 kein Niederschlag bedeutet und 1 für Aufnahmeereignisse bei Niederschlag steht. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Gesamtheit aller 10-min-Intervalle.

4.1.3.6 Sommererfassung 2020 in der Umgebung um das Windtestfeld

An den acht Waldboxen im Umfeld um das Windtestfeld wurden im Jahr 2020 insgesamt 300.512 Aufnahmen von Fledermäusen aufgezeichnet (Tab. 21). Der mit Abstand größte Anteil der Aufnahmen stammte mit 85,28 % von der Zwergfledermaus. Am zweithäufigsten wurde die Nyctaloid-Gruppe mit 7,22 % aufgezeichnet. Die *Myotis*-Gruppe erreichte einen Anteil von 2,90 %. Der Abendsegler, der zur Nyctaloid-Gruppe gehört, konnte in 2,58 % aller Aufnahmen mit Sicherheit identifiziert werden. Es ist anzunehmen, dass er auch in weiteren Aufnahmen der Gruppe Nyctaloid enthalten ist. Weitere 1,29 % der Aufnahmen wurden der Pipistrelloid-Gruppe zugeordnet. Einen Anteil von unter 1 % an den Gesamtaufnahmen hatten die Rauhaufledermaus (0,44 %), die Mopsfledermaus (0,20 %), die *Plecotus*-Gruppe (0,06 %) und die Mückenfledermaus (0,03 %). Größtenteils ähneln diese Ergebnisse denen aus dem Jahr 2019 (siehe Zwischenbericht vom August 2020). Gleich geblieben sind vor allem der hohe Anteil der Zwergfledermaus und die geringen Anteile von Mops-, Rauhaut-, Mückenfledermaus und *Plecotus*-Gruppe. Allerdings stieg der Anteil der Nyctaloid-Gruppe im Jahr 2020 um das etwa 2,5-fache an, der Anteil der *Myotis*-Gruppe nahm um etwas mehr als die Hälfte ab. Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen aufgrund unterschiedlicher Aufnahmewahrscheinlichkeiten zwischen den Artengruppen keinen direkten quantitativen Vergleich ermöglicht, qualitativ werden die Unterschiede aber in der Regel gut widerspiegelt.

Tab. 21: Überblick über die Anzahl akustischer Aufnahmen mit Fledermausrufen an den 8 Messstationen in der Umgebung um das Testfeld im Jahr 2020.

Art	BC1	BC2	BC3	BC4	BC5	BC6	BC7	BC8	Gesamt	Anteil (%)
Mopsfledermaus (B.barb)	97	242	47	190	3	7	11	8	605	0,20
Myotis-Gruppe	688	2142	1316	3107	337	277	308	525	8700	2,90
Abendsegler (N.noct)	763	2686	703	1969	163	259	773	434	7750	2,58
Nyctaloid-Gruppe	1463	8243	4125	4976	330	614	1209	737	21.97	7,22
Rauhautfledermaus (P.nath)	157	344	96	280	28	98	253	71	1327	0,44
Zwergfledermaus (P.pipi)	15844	90929	52141	78998	3978	2449	8676	3268	256283	85,28
Mückenfledermaus (P.pygm)	8	34	16	17	5	4	11	6	101	0,03
Pipistrelloid-Gruppe	199	1236	1501	729	32	53	102	29	3881	1,29
Plecotus-Gruppe	24	35	4	42	4	14	19	26	168	0,06
Gesamt	19243	105891	59949	90308	4880	3775	11362	5104	300512	

Erneut wurden auch im Jahr 2020 an den Standorten in Waldnähe (Waldbox 1 bis 4) deutlich mehr Aufnahmen aufgezeichnet als an den Standorten im Offenland (Waldbox 5 bis 8; Abb. 135). Besonders an Standort 4 wurde eine hohe Aktivität aufgezeichnet. Wie im Jahr 2019 wurde an Standort 1, einem Heckenstandort in Waldrandnähe, bereits eine viel geringere Aktivität festgestellt. Im Offenland wurde die höchste Aktivität wieder an Standort 7 nahe dem Schweinemastbetrieb aufgezeichnet. Die Bevorzugung für die Waldrand- und Heckenstandorte war im Jahr 2020 bei allen aufgezeichneten Arten bzw. Artengruppen deutlich zu erkennen.

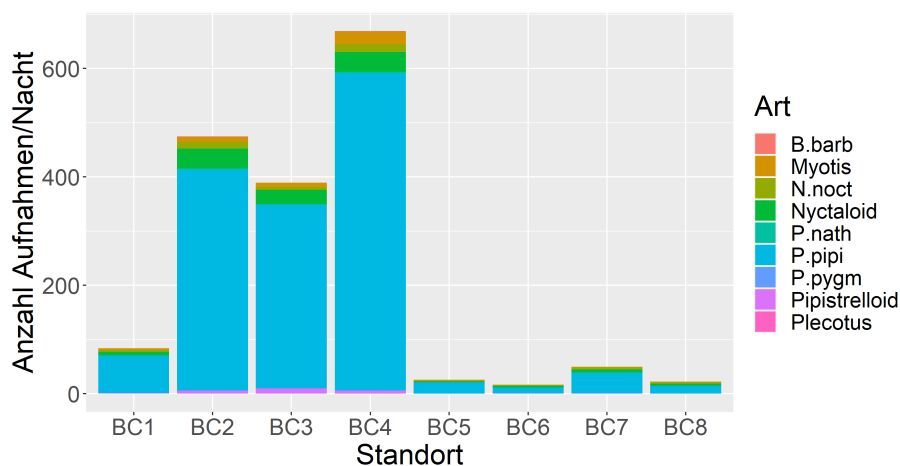


Abb. 135: Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Standorten im Jahr 2020.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. BC = Batcorder = Waldbox; B. barb = Mopsfledermaus, N. noct = Abendsegler, P. nath = Rauhautfledermaus, P. pipi = Zwergfledermaus, P. pygm = Mückenfledermaus

Die Phänologie unterschied sich an den einzelnen Standorten zum Teil deutlich (Abb. 136), wobei aber auch zu berücksichtigen ist, dass es teilweise zu längeren Geräteausfällen kam (vgl. Kapitel Methoden). An den Waldrandstandorten wurde bereits im April und Mai relativ viel Aktivität aufgezeichnet (mit Ausnahme von Waldbox 4, die in diesem Zeitraum ausfiel). Ein erster Aktivitätspeak wurde im Juni erreicht. Im Juli war die Aktivität etwas geringer, im August stieg sie an Standort 2 und 4 dann noch einmal an. Auffällig ist der Aktivitätspeak im November an den beiden aktiven Waldboxen 2 und 4 (Standort 3 hatte zwischen September und November einen Ausfall zu verzeichnen), die sogar die der Sommermonate übersteigt. Es ist anzunehmen, dass dies durch besonders milde Temperaturen zustande kam und sich bei einer Aufnahmezeit über den gesamten November relativiert hätte. Dennoch zeigt dies, dass bei guten Witterungsbedingungen auch im November noch hohe Aktivitäten auftreten können. Bereits im ersten Erfassungsjahr 2019 wurde ein solcher Aktivitätspeak Anfang November an Standort 2 verzeichnet. Der Standort 1 weicht von den Waldstandorten dahingehend ab, dass die Aktivität von Monat zu Monat zunahm und erst im September ihren Höhepunkt erreichte. Ein Peak im November trat hier nicht auf. Die Phänologie an den vier Offenlandstandorten ähnelte sich sehr. An allen Standorten nahm die Aktivität bis August stetig zu, und ließ dann wieder nach. Im Oktober und November war sie im Offenland sehr gering.

Die Phänologie der einzelnen Arten wies ebenfalls deutliche Unterschiede auf (Abb. 137). Die Zwergfledermaus war vor allem in den Sommermonaten aktiv, war dann aber auch für den Aktivitätspeak im November verantwortlich. Auch die *Myotis*-Gruppe zeigte die höchste Aktivität in den Sommermonaten Juni bis August, war aber bis in den Oktober noch häufig in den Aufnahmen vertreten. Die Nyctaloid-Gruppe wies bereits im Mai eine hohe Aktivität auf, von Juli bis September ließ die Aktivität stetig nach, um im Oktober noch einmal anzusteigen. Der Abendsegler zeigte sowohl im Mai und Juni als auch im August und September relativ hohe Aktivitäten. Sowohl Rauhaut-Fledermaus als auch Mopsfledermaus zeigten ein deutlich zweiphasiges Aktivitätsmuster mit hohen Aktivitätspeaks im Frühjahr und Herbst. Dies weist darauf hin, dass die Tiere das Gebiet auf Transfer- bzw. Weitstreckenflügen zwischen Sommer- und Winterquartieren durchquerten. Bei der Mopsfledermaus als Kurz- bis Mittelstreckenzieher weist die hohe Aktivität im Spätherbst bis in den November darauf hin, dass sie Winterquartiere in der Umgebung des Windtestfelds beziehen könnte. Das Auftreten der einzelnen Arten(-gruppen) im Jahresverlauf war in beiden Messjahren sehr ähnlich, was zeigt, dass der Standort für die Arten(-gruppen) eine festgelegte Funktion im Jahresverlauf erfüllt.

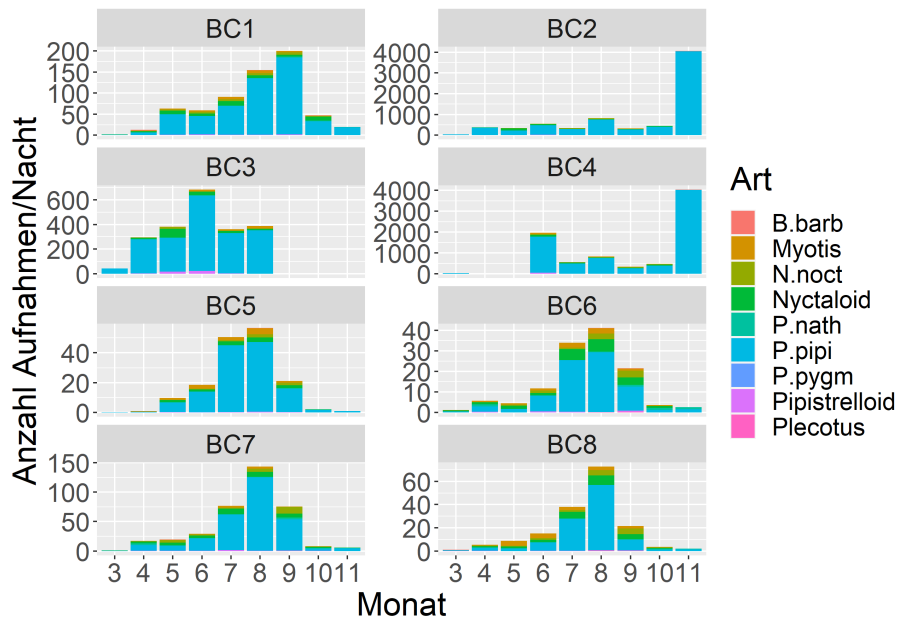


Abb. 136: Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalen der y-Achse. BC = Batcorder = Waldbox; B. barb = Mopsfledermaus, N. noct = Abendsegler, P. nath = Rauhautfledermaus, P. pipi = Zwergfledermaus, P. pygm = Mückenfledermaus

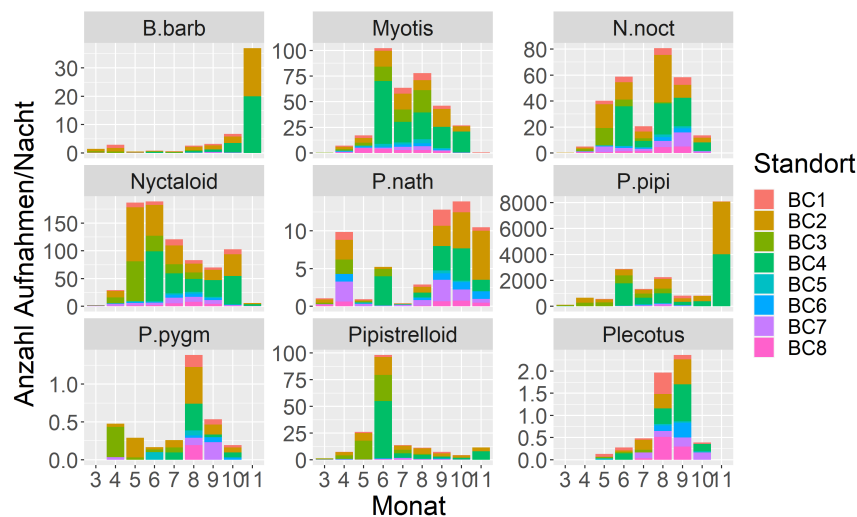


Abb. 137: Phänologische Verteilung der Anzahl der Aufnahmen pro Messnacht an den verschiedenen Standorten aufgeteilt nach den Arten(-gruppen) im Jahr 2020. Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalen der y-Achse. BC = Batcorder = Waldbox; B. barb = Mopsfledermaus, N. noct = Abendsegler, P. nath = Rauhautfledermaus, P. pipi = Zwergfledermaus, P. pygm = Mückenfledermaus

An allen acht Messstandorten trat der Höhepunkt der Fledermausaktivität bereits zu Beginn der Nacht auf (Abb. 138). Dabei fällt auf, dass an den Standorten 1, 2 und 4 die Aktivität kurze Zeit nach Sonnenuntergang stark anstieg und sofort ihren Höhepunkt erreichte und dann wieder nachließ. Bei den anderen Standorten, vor allem an Standort 6 und 8, verlief der Anstieg zu Nachtbeginn dagegen etwas langsamer und der Aktivitätspeak wurde erst einige Zeit nach Sonnenuntergang erreicht. An den Waldstandorten 2, 3 und 4 ließ die Aktivität zudem deutlich langsamer nach als am Heckenstandort 1. Auch die Standorte 6 und 8

zeigten einen nicht so deutlichen Abfall der Aktivität, die sich hier allerdings auch zu Nachtbeginn auf relativ niedrigem Niveau bewegte. An einigen Standorten, nämlich an den Standorten 1, 2, 4 und 5, war zudem noch einmal ein zweiter deutlicher Aktivitätspeak zum Ende der Nacht hin zu beobachten. Die Verläufe ähneln denen aus dem Jahr 2019. Auffällig ist der Aktivitätspeak zum Nachtende hin an Offenlandstandort 5, der so im Jahr 2019 an keinem Offenlandstandort beobachtet wurde.

Die Verteilung der Aktivität über die Nacht unterschied sich für die einzelnen Arten (Abb. 139). Die häufig aufgezeichneten Arten(-gruppen) zeigten im Jahr 2020 alle einen Aktivitätspeak zu Beginn der Nacht. Besonders auffällig war dieser beim Abendsegler, der Nyctaloid-Gruppe und der Zwergfledermaus. Beim Abendsegler ließ die Aktivität danach rapide nach und stieg erst in den Morgenstunden noch einmal an. Bei der Nyctaloid-Gruppe und der Zwergfledermaus ließ die Aktivität deutlich langsamer nach. Die Zwergfledermaus zeigte dann ebenfalls einen zweiten aber weniger deutlichen Aktivitätspeak in den Morgenstunden. Ein morgendlicher Aktivitätspeak der Nyctaloid-Gruppe, der 2019 noch beobachtet wurde, blieb im Jahr 2020 aus. Auch die *Myotis*-Gruppe und die *Rauhautfledermaus* waren vor allem in der ersten Nachthälfte aktiv, der Höhepunkt trat hier allerdings erst einige Zeit nach Sonnenuntergang auf. Auch diese beiden Artengruppen zeigten somit ein etwas anderes Muster als noch im Jahr 2019, in dem die Aktivität über die ganze Nacht hinweg auf ähnlichem Niveau blieb.

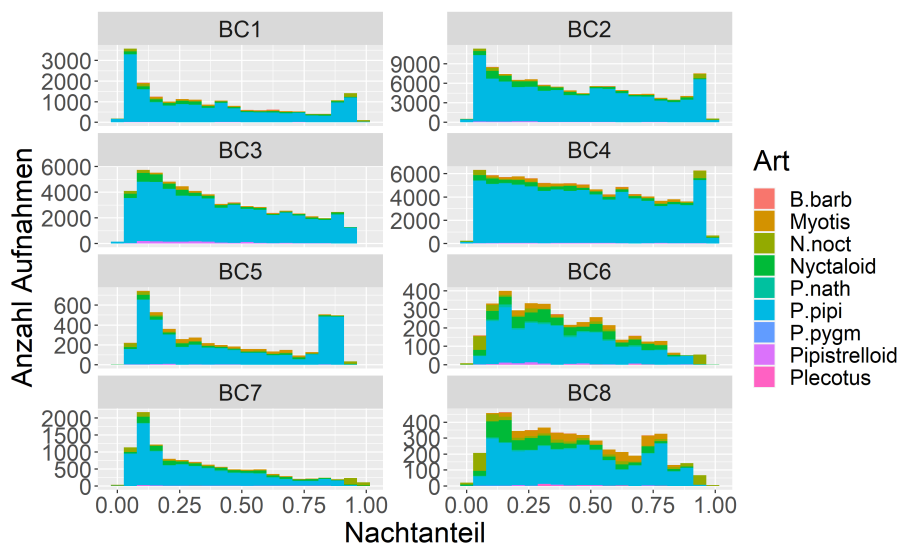


Abb. 138: Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen der verschiedenen Arten(-gruppen) an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalen der y-Achse. BC = Batcorder = Waldbox; B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

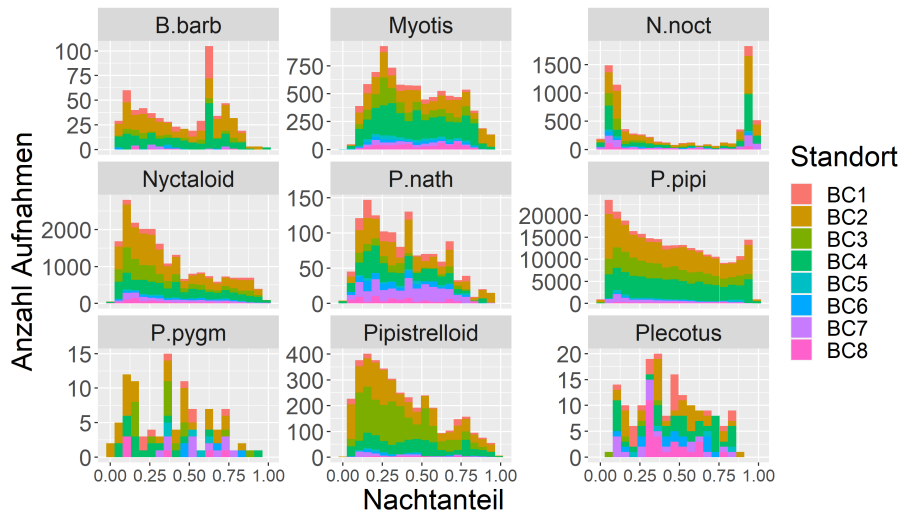


Abb. 139: Nächtliche Verteilung der Anzahl der Aufnahmen an den verschiedenen Messstandorten aufgeteilt nach den verschiedenen Arten(-gruppen) im Jahr 2020.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Aufnahmen keinen exakten quantitativen Vergleich der Aktivität zwischen den Artengruppen ermöglicht. Zu beachten sind die unterschiedlichen Skalen der y-Achse. BC = Batcorder = Waldbox; B.barb = Mopsfledermaus, N.noct = Abendsegler, P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus, P.pygm = Mückenfledermaus

An den drei Waldrandstandorten entsprach die Verteilung der Fledermausaktivität auf die Windgeschwindigkeiten im Wesentlichen der Gesamtverteilung der Windgeschwindigkeiten (Abb. 140). Das bedeutet, dass die Aktivität hier nicht durch die Windgeschwindigkeit beeinflusst wurde. Lediglich am Heckenstandort 1 wich sowohl die Rauhautfledermaus, aber auch die Zwergfledermaus und die *Myotis*-Gruppe von dieser Verteilung etwas ab. Die Aktivitätskurve verschob sich hier zugunsten von höheren Windgeschwindigkeiten. An den Offenlandstandorten war dies wie bereits im Erfassungsjahr 2019 vor allem für die Rauhautfledermaus der Fall, möglicherweise, weil diese vor allem in den Frühjahrs- und Herbstmonaten auftrat. Auch die Abhängigkeit von der Windrichtung war wieder ähnlich wie im Jahr 2019 (Abb. 141). So trat an den Waldrandstandorten überproportional häufig Aktivität bei Nordwestwind auf. Im Offenland und am Heckenstandort dagegen waren die Tiere auch bei Südostwind aktiv.

Die lokale Fledermausfauna war auch im Jahr 2020 verstärkt bei mittleren Temperaturen aktiv (Abb. 142). Vor allem bei niedrigen Temperaturen waren im Vergleich zur Gesamtverteilung der Temperatur nur wenige Fledermäuse aktiv. Bei sehr hohen Temperaturen war die Aktivität ebenfalls wieder gering, da diese unmittelbar zu Beginn der Nacht auftraten und damit zu einem Zeitpunkt, zu dem die Fledermäuse noch nicht aktiv waren. Wie schon im Jahr 2019 war die Rauhautfledermaus vor allem im Offenland, aber auch am Waldrand bei etwas niedrigeren Temperaturen aktiv als die übrigen Arten(-gruppen).

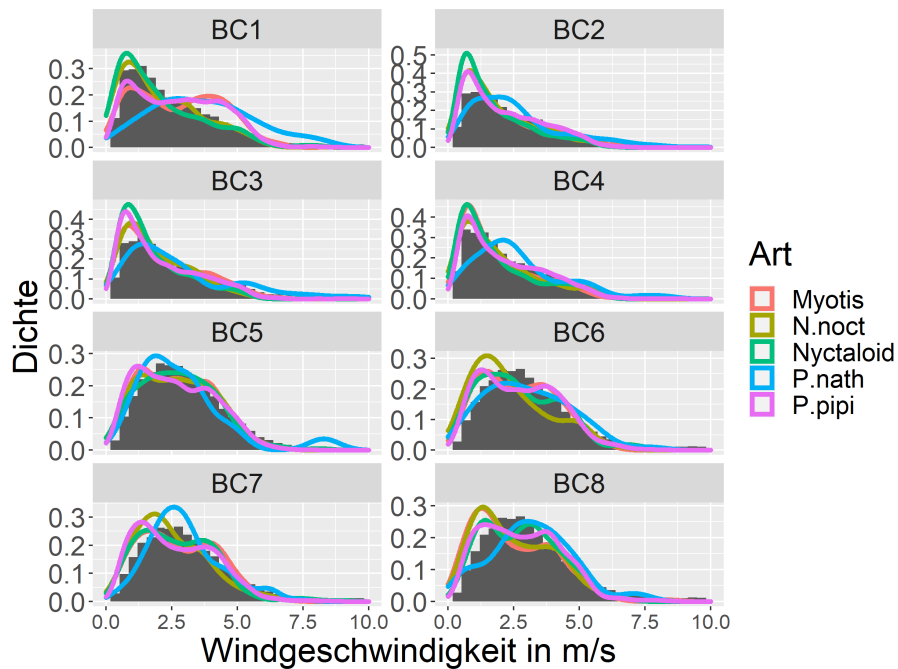


Abb. 140: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten. BC = Batcorder = Waldbox; P. nath = Rauhautfledermaus, P. pipi = Zwergfledermaus

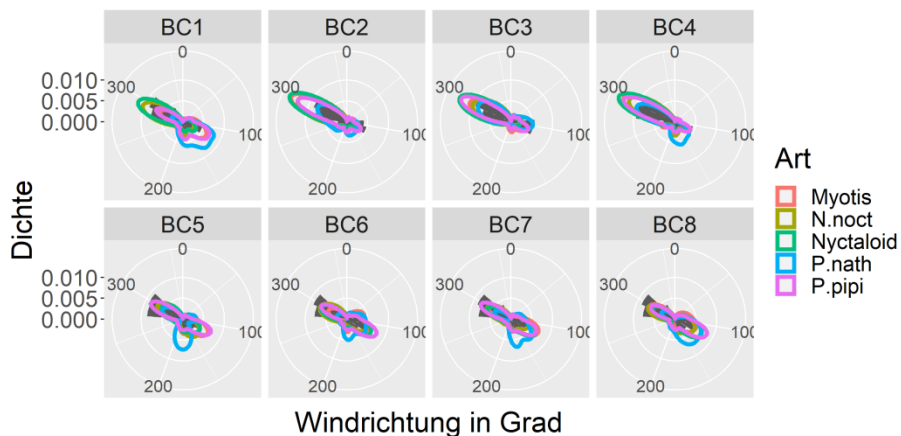


Abb. 141: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Windrichtung an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020.

Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Windrichtungen dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Windrichtungen. BC = Batcorder = Waldbox; P. nath = Rauhautfledermaus, P. pipi = Zwergfledermaus

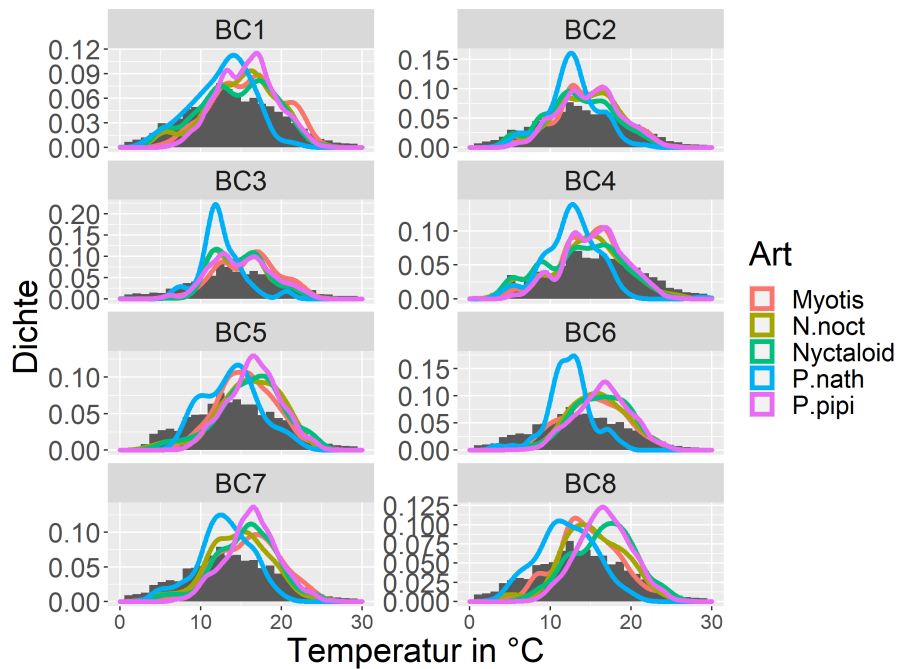


Abb. 142: Fledermausaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020. Die farbigen Linien stellen eine Dichtekurve der Verteilung der 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität der 5 häufigsten Arten(-gruppen) auf die gemessenen Temperaturen dar. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Verteilung aller 10-min-Intervalle, in denen die Detektoren aufnahmebereit waren, auf die gemessenen Temperaturen. BC = Batcorder = Waldbox; P.nath = Rauhautfledermaus, P.pipi = Zwergfledermaus

Für den Zusammenhang zwischen der Fledermausaktivität und Niederschlagsereignissen konnten 2020 die Ergebnisse aus 2019 reproduziert werden (Abb. 143). Wie zu erwarten nahm auch 2020 die Fledermausaktivität stark mit auftretendem Regen ab, wobei dies vor allem für die Standorte im Offenland deutlich wird.

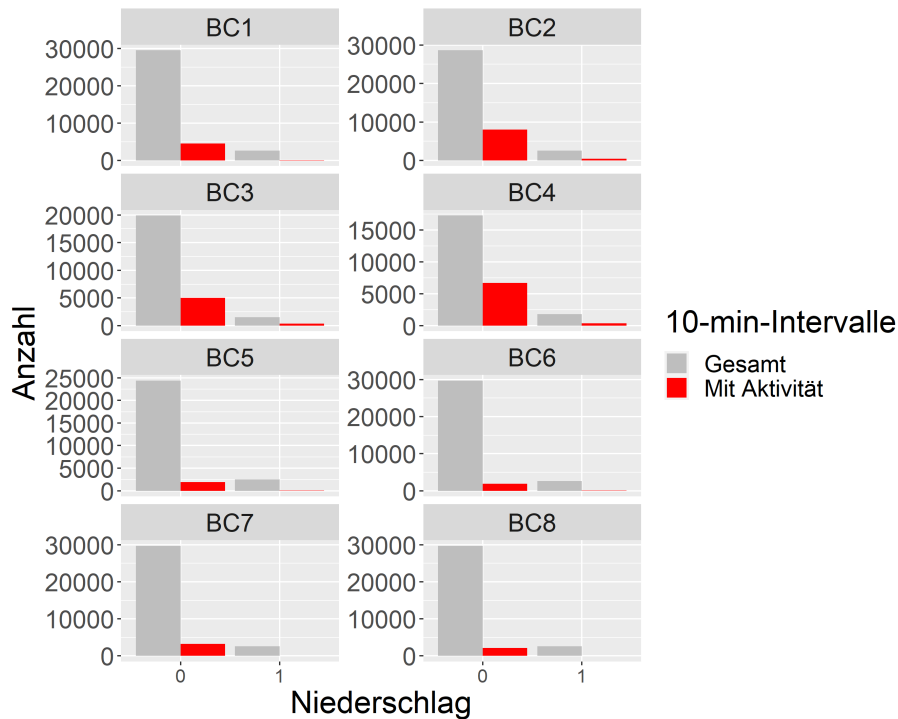


Abb. 143: Fledermausaktivität in Abhängigkeit vom Niederschlag an den verschiedenen Messstandorten im Jahr 2020.

Die roten Balken stellen die 10-min-Intervalle mit Fledermausaktivität auf die gemessenen Niederschlagswerte dar, wobei 0 kein Niederschlag bedeutet und 1 für Aufnahmeereignisse bei Niederschlag steht. Zum Vergleich zeigen die grauen Balken die Gesamtheit aller 10-min-Intervalle.

4.1.3.7 Modelle für die Fledermausaktivität in der Umgebung um das Windtestfeld

Um die Nachweiswahrscheinlichkeit der verschiedenen Arten in der Umgebung des Windtestfelds in Abhängigkeit von verschiedenen Umweltparametern zu schätzen, wurden generalisierte lineare Modelle mit der An- bzw. Abwesenheit von Aktivität im 10-min-Intervall als Zielvariable berechnet. Die Modellierungen wurden für die Arten(-gruppen) Zwergfledermaus, Flughörnchen, die Nyctaloid-Gruppe und *Myotis/Plecotus*-Gruppe durchgeführt.

Die Ergebnisse der Modellierung bestätigen die deutlichen Einflüsse der Parameter Jahres- und Nachtzeit sowie von Temperatur, Windgeschwindigkeit und Niederschlag auf die Aktivität im Umfeld, die sich bereits in der grafischen Auswertung zeigten. Zur Visualisierung der Modellergebnisse werden im Folgenden in den Grafiken die Schätzungen für die Nachweiswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit von den verschiedenen Einflussvariablen und ihre Unsicherheiten (Kredibilitätsintervalle) dargestellt (Abb. 144 bis Abb. 147). Anhand der Steigung der Kurven sowie der Breite der Kredibilitätsintervalle kann die Effektgröße abgeschätzt werden.

Das Modell für die Zwergfledermaus zeigt eine deutliche Zunahme der Wahrscheinlichkeit für Aktivität in den Frühjahrsmonaten, der Peak wird im August erreicht (Abb. 144). Im Herbst nimmt die Nachweiswahrscheinlichkeit dann wieder langsam ab. Die Wahrscheinlichkeit für Aktivität ist in der ersten Nachthälfte höher und nimmt dann zunächst langsam, zum Nachende hin deutlicher ab. Allerdings weisen die Verteilungen über das Jahr und die Nacht relativ breite Kredibilitätsintervalle auf, was zeigt, dass hier eine breite Streuung in den Daten vorhanden ist. Eindeutiger sind die Zusammenhänge zwischen den Witterungsparametern und der Nachweiswahrscheinlichkeit der Zwergfledermaus. Bei Temperaturen unter 5 °C ist die Nachweiswahrscheinlichkeit sehr gering, danach steigt sie mit steigender Temperatur

stark an. Erst ab Temperaturen über 20 °C nimmt die Wahrscheinlichkeit wieder ab. Bezüglich der Windgeschwindigkeit ist auch in den Umgebungsdaten eine deutliche Abnahme der Nachweiswahrscheinlichkeit mit zunehmenden Werten zu beobachten. Bei Windgeschwindigkeiten über 10 m/s liegt die Nachweiswahrscheinlichkeit von Zwergfledermäusen fast bei null. Auch mit zunehmender Regenwahrscheinlichkeit nimmt die Nachweiswahrscheinlichkeit von Zwergfledermäusen rapide ab, gegen Null strebt sie aber erst bei etwa 40 % und damit deutlich später als im Modell für die Messmasten.

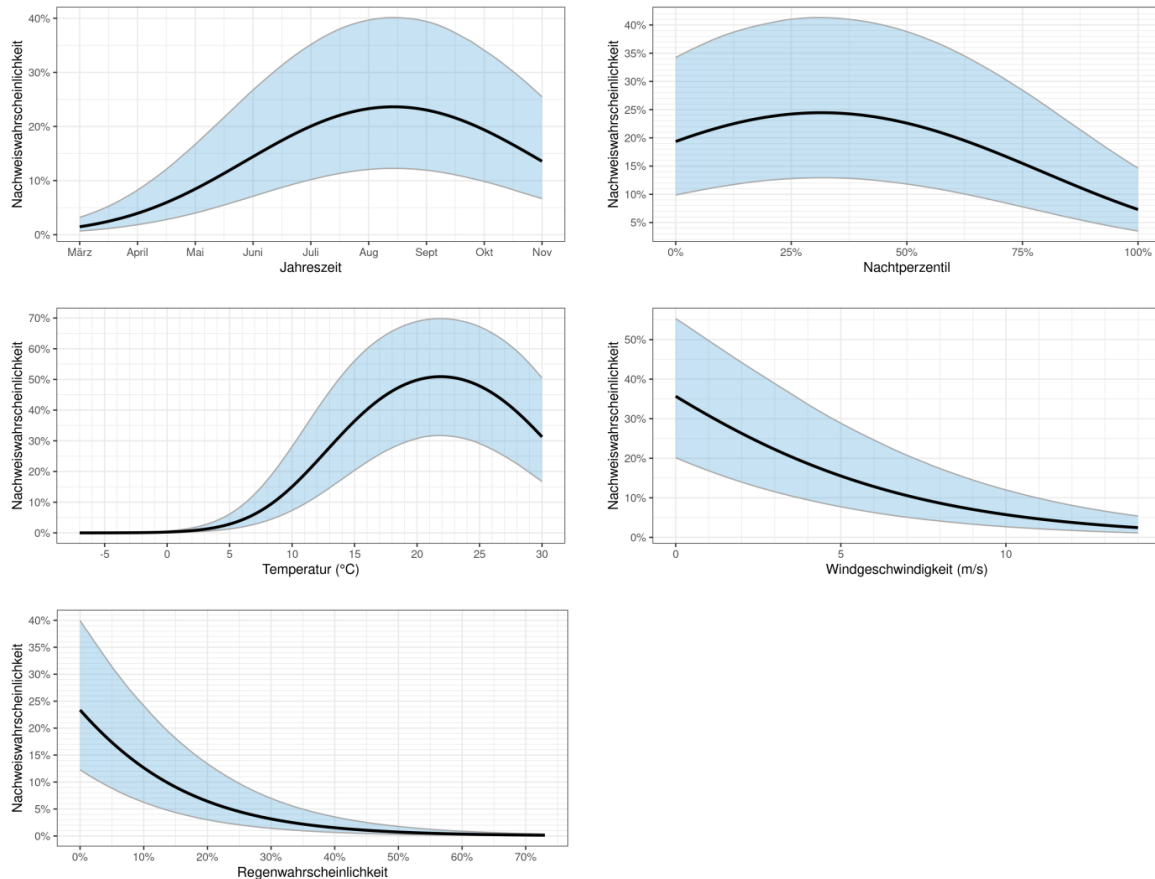


Abb. 144: Modellierter Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Zwergfledermaus in der Umgebung des Testfelds in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit der Jahreszeit, der Nachtzeit (von 0=Sonnenuntergang bis 100=Sonnenaufgang), der Temperatur, der Windgeschwindigkeit und der Niederschlagswahrscheinlichkeit. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kredibilitätsintervalle an.

Bei der Raufhautfledermaus wurde zur Modellierung des Einflusses der Jahreszeit die dritte und vierte Potenz mitberücksichtigt, um das biphasische Verhalten abzubilden. Die Nachweiswahrscheinlichkeit erreicht daher einen ersten Peak im Frühjahr, ist im Sommer auf niedrigem Niveau, um dann im Herbst wieder anzusteigen (Abb. 145). Bei der Verteilung über die Nacht tritt bei der Raufhautfledermaus ein Peak im zweiten Nachtviertel auf, die Nachweiswahrscheinlichkeit ist zu Beginn und Ende der Nacht eher gering. Wie bei der Zwergfledermaus ist auch bei der Raufhautfledermaus eine deutliche Zunahme der Nachweiswahrscheinlichkeit mit zunehmender Temperatur zu beobachten, der Peak wird allerdings schon deutlich unter 20 °C erreicht. Auch bei der Raufhautfledermaus nimmt die Nachweiswahrscheinlichkeit mit zunehmender Windgeschwindigkeit ab, allerdings weniger deutlich als bei der Zwergfledermaus. Auch bei über 10 m/s ist noch eine geringe Nachweiswahrscheinlichkeit vorhanden. Sehr deutlich ist die Abnahme der Nachweiswahrscheinlichkeit mit zunehmender Regenwahrscheinlichkeit, bereits ab 30 % liegt die Nachweiswahrscheinlichkeit quasi bei null.

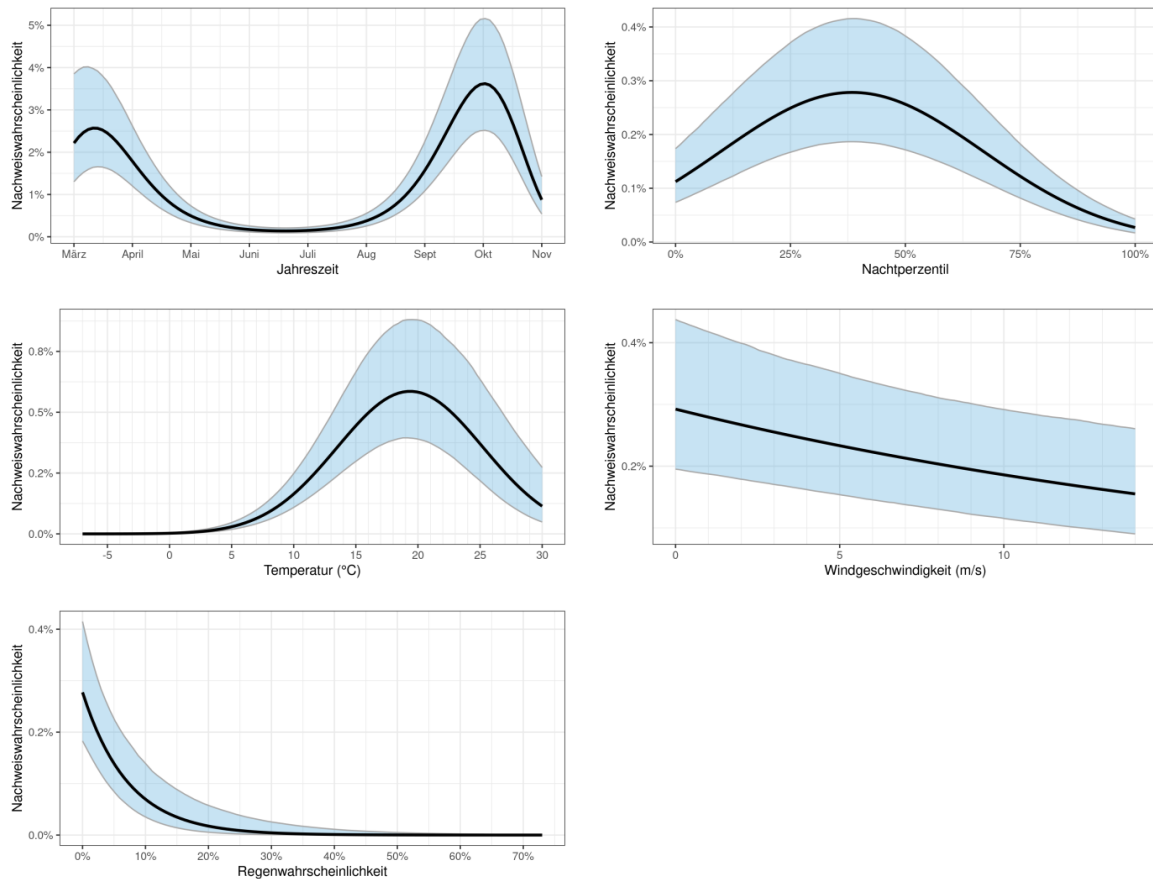


Abb. 145: Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Raufledermaus in der Umgebung des Testfelds

in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit der Jahreszeit, der Nachtzeit (von 0=Sonnenuntergang bis 100=Sonnenaufgang), der Temperatur, der Windgeschwindigkeit und der Niederschlagswahrscheinlichkeit. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kredibilitätsintervalle an.

Bei der Nyctaloid-Gruppe fällt der Effekt der Jahreszeit nur relativ schwach aus. Ein kleiner Peak ist in den Sommermonaten Juli/August zu erkennen, allerdings mit einem sehr großen Kredibilitätsintervall (Abb. 146). Um das zweiphasige Auftreten in der Nacht zu modellieren, ging die Nachtzeit bis in die vierte Potenz in das Modell mit ein. Dementsprechend tritt ein erster Höhepunkt der Nachweiswahrscheinlichkeit kurz nach Sonnenuntergang auf, ein zweiter nicht ganz so deutlicher Peak am Nachtende. Auch bei der Nyctaloid-Gruppe nimmt die Nachweiswahrscheinlichkeit mit zunehmender Temperatur deutlich bis fast 25 °C zu, danach nimmt sie im Gegensatz zu den anderen Arten nur leicht ab. Deutlich ist auch bei der Nyctaloid-Gruppe die Abnahme der Nachweiswahrscheinlichkeit mit zunehmender Windgeschwindigkeit, auch hier liegt wie bei der Zwergfledermaus die Nachweiswahrscheinlichkeit ab 10 m/s fast bei Null. Auch die Abnahme der Aktivität mit zunehmender Regenwahrscheinlichkeit fällt sehr deutlich aus, bereits ab 20 % ist der Nachweis von Nyctaloiden sehr unwahrscheinlich.

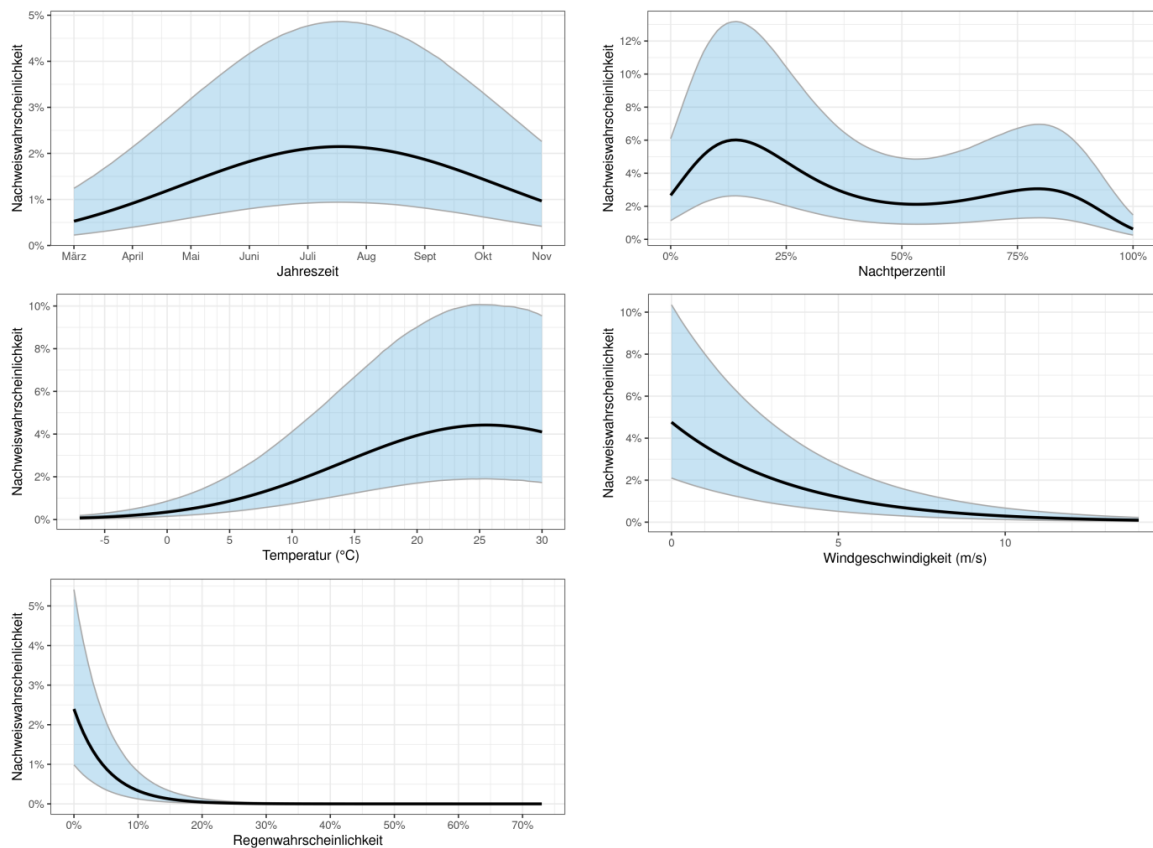


Abb. 146: Modellerte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der Nyctaloid-Gruppe in der Umgebung des Testfelds in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit der Jahreszeit, der Nachtzeit (von 0=Sonnenuntergang bis 100=Sonnenaufgang), der Temperatur, der Windgeschwindigkeit und der Niederschlagswahrscheinlichkeit. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kredibilitätsintervalle an.

Die Verteilung der Nachweiswahrscheinlichkeit über das Jahr weist bei der *Myotis/Plecotus*-Gruppe einen deutlichen Peak in den Sommermonaten Juli und August auf, im Frühjahr und Herbst ist die Nachweiswahrscheinlichkeit eher gering (Abb. 147). Bei der Verteilung über die Nacht tritt der Höhepunkt der Nachweiswahrscheinlichkeit, ähnlich wie bei der *Rauhautfledermaus*, kurz vor der Nachtmitt auf, die Nachweiswahrscheinlichkeit zu Beginn und Ende der Nacht ist deutlich geringer. Auch bei der *Myotis/Plecotus*-Gruppe steigt die Nachweiswahrscheinlichkeit mit zunehmender Temperatur bis knapp 20°C an, um dann wieder abzufallen. Allerdings sinkt die Nachweiswahrscheinlichkeit hier erst bei etwa 0°C auf beinahe Null ab. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit ist ebenfalls eine Abnahme der Nachweiswahrscheinlichkeit zu beobachten, bei 10 m/s liegt diese ähnlich wie bei der *Zwergfledermaus* fast bei null. Im Gegensatz zu den anderen Artengruppen zeigt die *Myotis/Plecotus*-Gruppe aber nur eine schwächere Abnahme der Nachweiswahrscheinlichkeit mit zunehmender Regenwahrscheinlichkeit, auch bei 70 % Regenwahrscheinlichkeit ist noch eine Nachweiswahrscheinlichkeit gegeben.

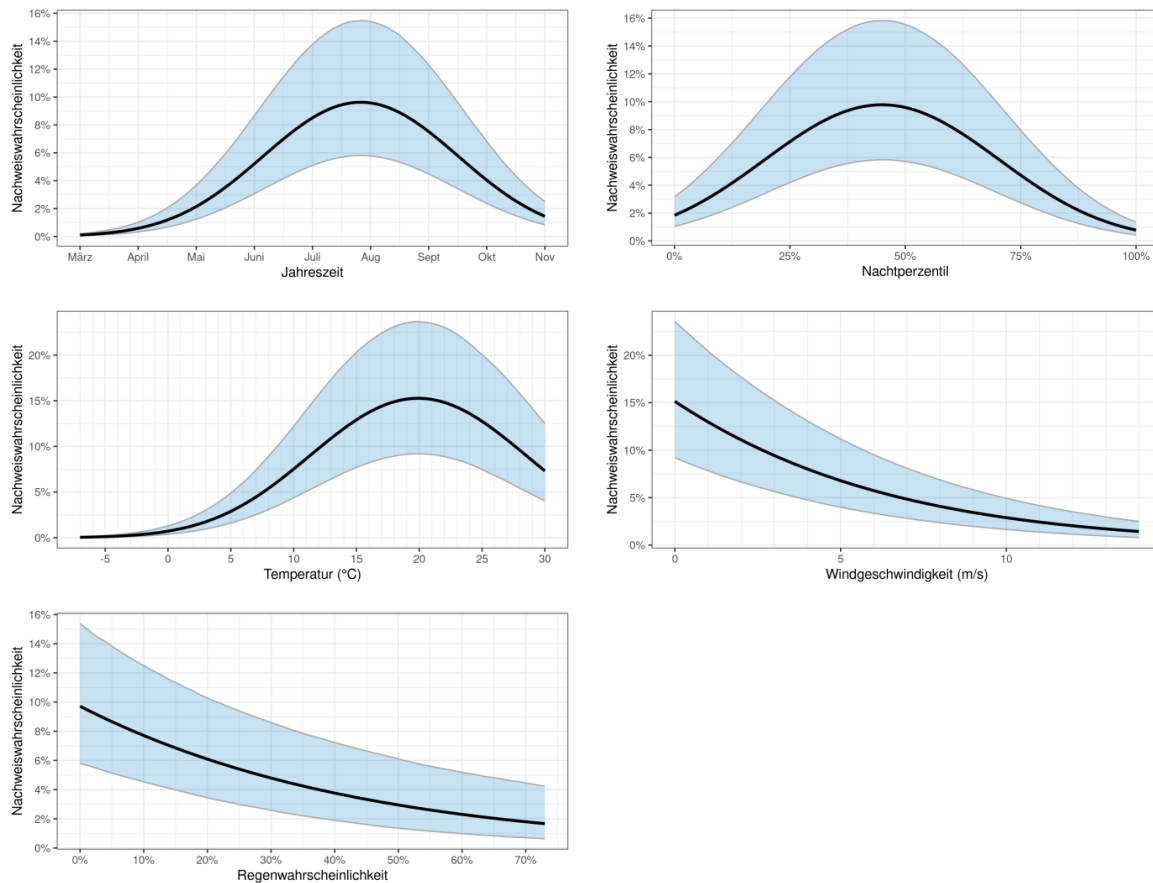


Abb. 147: Modellierte Wahrscheinlichkeit für Aktivität der *Myotis/Plecotus*-Gruppe in der Umgebung des Testfelds in einem 10-min-Intervall in Abhängigkeit der Jahreszeit, der Nachtzeit (von 0=Sonnenuntergang bis 100=Sonnenaufgang), der Temperatur, der Windgeschwindigkeit und der Niederschlagswahrscheinlichkeit. Die durchgezogenen Linien geben den Mittelwert, die blauen Felder die 2,5 % bzw. 97,5 %-Kredibilitätsintervalle an.

4.1.4 Diskussion

4.1.4.1 Wintererfassung an Messmast Nordwest

Reguläre Fledermauserfassungen finden in der Regel nur während der Aktivitätszeit der Tiere, also zwischen März und November statt. Ob Fledermäuse aber auch während der Wintermonate aktiv sind und ihre Winterquartiere zur Jagd verlassen, wurde bisher noch wenig untersucht. Daher wurde im Winterhalbjahr 2018/2019 die Fledermauserfassung am Messmasten Nordwest begonnen. Über den Zeitraum der Erfassungen von Ende November bis Mitte Februar konnten vor allem in den niedrigeren Höhen bis 33 m Höhe Zwergfledermäuse detektiert werden. Es liegt nahe, dass die Aktivität der Fledermäuse mit mildem Wetter in Verbindung steht, das von den Zwergfledermäusen zur Jagd genutzt wurde. In einer anderen, mehrjährigen akustischen Wintererfassung in Bodennähe wurde vor allem bei warmen Temperaturen Jagdaktivität von Zwergfledermäusen und wenigen weiteren Arten festgestellt (Zahn & Kriner 2014). Die Korrelation der akustischen Aufnahmen von Messmast Nordwest mit Temperatur und Windgeschwindigkeit bestätigen dieses Bild. Auch die Zwergfledermäuse am Windtestfeld nutzen während der Wintermonate milde und windarme Nächte zur Jagd, wobei sich die Aktivität beinahe völlig auf die ersten beiden Stunden nach Sonnenuntergang beschränkt. Dennoch wurden wenige Aufnahmen der Zwergfledermaus auch bei Minustemperaturen aufgezeichnet. Die Daten vom Windtestfeld im Zusammenhang mit der Studie von Zahn & Kriner (2014) verdeutlichen, dass insbesondere Zwergfledermäuse ihre

Winterquartiere durchaus zu günstigen Witterungsbedingungen verlassen um zu jagen. In diesen Situationen könnten sie unter Umständen an WEA, die im Winter keinen fledermausfreundlichen Abschaltungen unterliegen, schlaggefährdet sein. Am Windtestfeld zeigte sich allerdings, dass die Zwergfledermäuse in dieser Zeit zu 85 % in Höhen von 5 m und zu 11 % in 33 m fliegen und nur in 4 % der Fälle über diesen Höhen hinaus aktiv waren. Die Fledermäuse dringen folglich selten in den Risikobereich des Rotors ein. Aufgrund des geringen Untersuchungsumfangs und der geringen Aufnahmezahlen (an allen Mikrofonen 51 Aufnahmen, an den zur Auswertung herangezogenen Mikrofonen 27 Aufnahmen) im Winter 2018/2019 an Messmast Nordwest sollten die daraus abgeleiteten Erkenntnisse vorerst nicht auf andere räumliche Situationen übertragen oder verallgemeinert werden.

Trotz der festgestellten, aber doch recht geringen Aktivität wurde in Absprache mit dem Auftraggeber und den Fledermausexperten vereinbart, die Wintererfassung an den Messmasten nicht fortzuführen. Dies ist mit den hohen Ausfallzeiten der Mikrofone und den Schäden an den Geräten sowie der geringen verzeichneten Fledermausaktivität zu begründen. Neben den Reparaturkosten führten die Schäden auch dazu, dass sich der Wiedereinbau der Mikrofone im Frühjahr verzögerte. Daher wurde übereinstimmend entschieden, dass der geringe Erkenntnisgewinn die Kosten und negativen Folgen für die Sommererfassung nicht aufwiegt und daher auf die Wintererfassung zukünftig verzichtet wird.

4.1.4.2 Sommererfassungen an Messmast Nordwest und Messmast Nordost

In den Sommermonaten 2019 wurden am Messmast Nordwest Mikrofone in vier Messhöhen und zwei Ausrichtungen installiert. Da die Auswertung nur für eine der beiden Ausrichtungen vorgesehen war, wurden nur die Aufnahmen der nach Westen ausgerichteten Mikrofone abschließend ausgewertet. Bei den nach Osten ausgerichteten Mikrofonen gab es zum einen technische Probleme und dadurch höhere Ausfallzeiten, zum anderen wurden aber auch in Perioden, in denen alle Mikrofone aktiv waren, zumindest in den unteren beiden Messhöhen deutlich weniger Aufnahmen aufgezeichnet. Dies könnte unter anderem damit zusammenhängen, dass der Wind vorwiegend aus nordwestlicher Richtung kam und damit die Aufnahmewahrscheinlichkeit in dieser Richtung höher war. Das Erfassungsschema von 2019 wurde 2020 an Messmast Nordwest wiederholt und auf Messmast Nordost übertragen.

Insgesamt wurde 2019 am Messmast Nordwest ein breites Artenspektrum aufgezeichnet, wobei es aber deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Messhöhen gab. Damit bestätigt die Voruntersuchung am Windtestfeld die Ergebnisse anderer Studien zur Höhenverteilung der verschiedenen Fledermausarten. Während in Bodennähe das gesamte Artenspektrum mit *Pipistrellus*-Arten, Nyctaloiden, der *Myotis*- und *Plecotus*-Gruppe und sogar der seltenen Mopsfledermaus aufgezeichnet wurde, wurden mit zunehmender Höhe fast ausschließlich die Arten detektiert, die regelmäßig auch als Schlagopfer unter WEA gefunden werden: die Zwergfledermaus, die Rauhaufledermaus und die Nyctaloid-Gruppe mit dem Abendsegler (Niermann et al. 2011a; Hurst et al. 2016b; Roemer et al. 2017; Wellig et al. 2018; Dürr 2020). Diese artspezifischen Muster konnten auch 2020 an beiden Messmasten festgestellt werden, wobei die Fledermausaktivität an Messmast Nordost um mehr als die Hälfte geringer ausfiel als an Messmast Nordwest. Zwar befindet sich Messmast Nordost nur etwa 300 m östlich von Messmast Nordwest, dennoch unterscheiden sich die Standorte deutlich. Messmast Nordwest liegt nahe des bewaldeten Albraufs, der von vielen Fledermausarten als Jagdhabitat, aber auch als Quartiergebiet genutzt wird. Messmast Nordost hingegen befindet sich im deutlich landwirtschaftlich geprägten Offenland, das für viele Fledermausarten aufgrund fehlender Strukturen wenig attraktiv erscheint. Das festgestellte Artenspektrum zwischen den beiden Jahren unterscheidet sich nicht, dennoch wurden zwischen den Jahren 2019 und 2020 Unterschiede in den artspezifischen Aktivitäten beobachtet. 2019 dominierte

an Messmast Nordwest die Zwergfledermaus die Aufnahmen, im darauffolgenden Jahr wurden insgesamt mehr Aufnahmen der Artengruppe Nyctaloid erzielt. Es ist zu bedenken, dass die Anzahl der Aufnahmen aufgrund unterschiedlicher Rufcharakteristika und –lautstärken keinen genauen quantitativen Vergleich zwischen den Arten(-gruppen) erlaubt, qualitative Unterschiede aber gut widerspiegelt. Es ist denkbar, dass sich im Jahr 2020 ein Quartier von z.B. dem Abendsegler oder Kleinabendsegler, die in der Nyctaloid-Gruppe enthalten sein können, am Albrauf nah am Waldrand und damit am Messmast Nordwest befand. Im Offenland an Messmast Nordost hingegen blieb die Zwergfledermaus die am häufigsten detektierte Art. Dabei nahm die Aktivitätsdichte in beiden Jahren und an beiden Messmasten bei allen Arten vom Boden zur Höhe hin ab, wobei vor allem bei der Zwergfledermaus ein sehr starker Aktivitätsabfall zu beobachten war, der bei stratifizierten Höhenmessungen bei dieser Art regelmäßig auftritt (Behr et al. 2011a; Hurst et al. 2016b). Da die Zwergfledermaus aber insgesamt am häufigsten (2020 an Messmast Nordwest am zweithäufigsten) aufgezeichnet wurde, war sie dennoch auch in 95 m Höhe noch regelmäßig vertreten und wäre damit einem hohen Kollisionsrisiko ausgesetzt. Auch generell ist die Zwergfledermaus die in Baden-Württemberg am häufigsten als Schlagopfer auftretende Art (Dürr 2020). Die Aktivität der Arten der Nyctaloid-Gruppe und der Rauhauffledermaus nahm zwar ebenfalls mit zunehmender Höhe ab, aber längst nicht so deutlich. In den größeren Messhöhen haben diese Arten daher einen deutlich höheren Anteil an der Gesamtaktivität. Auch dies wurde bereits in anderen Studien beobachtet (Behr et al. 2011a). Bemerkenswert für einen Standort in Baden-Württemberg ist die vergleichsweise hohe Aufnahmezahl des Abendseglers in 95 m Höhe, der hier aufgrund der fehlenden Wochenstuben eigentlich eher selten ist und nur selten als Schlagopfer gemeldet wird (Dürr 2020). Die Aktivität der *Myotis*- und *Plecotus*-Gruppe nahm in beiden Jahren und an beiden Messmasten mit zunehmender Höhe stark ab. In 95 m gab es lediglich 2020 eine einzige Aufnahme der Gattung *Myotis* an Messmast Nordwest sowie eine Aufnahme der Gattung *Plecotus* an Messmast Nordost, was die geringe Schlaggefährdung dieser beiden Artengruppen unterstreicht (Niermann et al. 2011a; Dürr 2020). Auch die Mopsfledermaus wurde in dieser Untersuchung nur in Bodennähe nachgewiesen und somit bestätigt sich erneut, dass für diese Art ebenfalls nur mit einer geringen Schlaggefährdung zu rechnen ist, wenn die Rotorblätter eine ausreichend große Entfernung vom Boden aufweisen (Hurst et al. 2016a; Krannich et al. 2016; Budenz et al. 2017; Apoznański et al. 2018).

Über beide Jahre und Messmasten betrachtet wurde die höchste Aktivität jeweils in den Sommermonaten Juni bis September aufgezeichnet, wobei sich der Verlauf zwischen den Messhöhen, Jahren und Messmasten etwas unterschied. So wurde 2019 und 2020 in 95 m die höchste Aktivität jeweils im Juli gemessen, in Bodennähe dagegen im Jahr 2019 im Juni und September, im darauffolgenden Jahr 2020 im August (Messmast Nordost) bzw. September (Messmast Nordwest). Dass die Fledermausaktivität an Messmast Nordost im Jahr 2020 bereits im August ihren Höhepunkt erreichte und nicht im September wie an Messmast Nordwest, kann zum einen mit dem Standort des Messmasten Nordost im Offenland begründet werden. Denn es ist anzunehmen, dass sich die Fledermäuse mit zunehmend herbsterlicher Witterung verstärkt am geschützten Waldrand nahe Messmast Nordwest aufhalten und das Offenland meiden. Zum anderen fielen an Messmast Nordwest im Juli und August 2020 sämtliche Mikrofone für einen Zeitraum von 25 Tagen aus. Es ist möglich, dass die Fledermausaktivität somit auch an Messmast Nordwest ihren Höhepunkt bereits im August erreichte und dies durch den Geräteausfall verschleiert wird, auch wenn bei der Auswertung für solche Ausfallzeiten korrigiert wurde. Unterschiede zwischen Boden- und Höhererfassungen wurden auch in anderen Studien bereits nachgewiesen (Behr et al. 2011a; Hurst et al. 2016b) und sind ein Grund dafür, dass Abschaltalgorithmen in der Regel nicht auf Grund-

lage von Bodenuntersuchungen ermittelt werden können (Hurst et al. 2015). Der Aktivitätspeak in der Höhe tritt aber in der Regel wie auch in der vorliegenden Untersuchung in den Monaten Juli oder August auf (Behr et al. 2011a; Hurst et al. 2016b). Dies wird auch bei der Bestimmung fledermausfreundlicher Betriebsalgorithmen ausgenutzt und resultiert in höheren Abschaltungen in diesen Monaten (Behr et al. 2011b). Die einzelnen Arten(-gruppen) zeigen deutliche phänologische Unterschiede. Während die meisten Arten eher in den Sommermonaten im Gebiet anwesend waren, trat die Rauhautfledermaus in beiden Erfassungsjahren vor allem in den Herbstmonaten auf, was auf ein Durchzugsgeschehen der Art hinweist (Vierhaus 2004; Meschede et al. 2017). Im Jahr 2020 konnte für die Rauhautfledermaus an Messmast Nordwest sogar der Frühjahrszug im April abgebildet werden. An Messmast Nordost fehlt diese ausgeprägte Aktivität, da die Messungen hier erst im Mai 2020 starten konnten. Auch beim Abendsegler könnte der Aktivitätspeak im September 2019 sowie im August und September 2020 auf ziehende Tiere zurückzuführen sein (Weid 2002; Blohm & Heise 2008; Meschede et al. 2017). Da der Abendsegler aber auch im Sommer regelmäßig nachgewiesen wurde, ist davon auszugehen, dass auch Männchen in der Umgebung überwintern. Wochenstubenkolonien dieser Art befinden sich vor allem im Nordosten Deutschlands, in Brandenburg, Sachsen, Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein, vereinzelte Kolonien auch in Bayern, Hessen und Nordrhein-Westfalen in tiefen bis mittleren Lagen (ITN 2006; LANUV 2012).

Im Nachtverlauf trat die höchste Aktivität in allen vier Messhöhen in der ersten Nachthälfte ab dem zweiten Nachtzehntel auf. Dies gilt für beide Erfassungsjahre und für beide Messmasten. Auch dieses Verteilungsmuster wird bei Höhenuntersuchungen an WEA oder Windmessmasten regelmäßig vorgefunden und fließt ebenfalls in die fledermausfreundlichen Abschaltalgorithmen mit ein (Behr et al. 2011a; b). Allerdings unterscheiden sich die einzelnen Arten(-gruppen) sehr deutlich bezüglich der Aktivitätsverteilung über die Nacht. Besonders auffällig ist das zweiphasige Aktionsmuster der Nyctaloid-Gruppe, das besonders ausgeprägt beim Abendsegler auftritt. Allerdings beschränkt sich der zweite Aktivitätspeak gegen Morgen auf die unteren Messhöhen. Dies spiegelt das Ergebnis von zahlreichen Messungen in Gondelhöhe an WEA wider, an denen trotz hoher Aktivitäten der Nyctaloid-Gruppe kein zweiter Aktivitätspeak kurz vor Sonnenaufgang auftrat (Behr et al. 2011a). Die Aktivität der Rauhautfledermaus und der *Myotis*-Gruppe dagegen konzentriert sich auf die Nachtmitt. Bei der Rauhautfledermaus ist dieser Aktivitätsverlauf ebenfalls bereits aus Gondelmessungen an WEA bekannt (Behr et al. 2011a) und ist möglicherweise durch die Zugaktivität der Art bedingt. Bei der *Myotis*-Gruppe könnte die von vielen Arten bekannte Lichtempfindlichkeit (z.B. Kuyper et al. 2008; Kugelschaffer & Weishaar 2018) den Nachtverlauf erklären.

Die Modellierungen zeigten in Übereinstimmung mit der qualitativen Analyse, dass sowohl bei der Zwergfledermaus als auch der Nyctaloid-Gruppe die Aktivitätspeaks in den Sommermonaten Juli und August auftreten. Nur bei der Nyctaloid-Gruppe ist eine leichte Verschiebung des Aktivitätspeaks ins spätere Jahr in der Höhe von 95 m zu erkennen. In anderen Studien traten teils deutlichere Unterschiede zwischen Boden und Höhenaktivität zu Tage (Behr et al. 2011a; Hurst et al. 2016b). Die Aktivitätsverteilung in der Höhe an den Messmasten entspricht aber dem von Windenergieanlagen bekannten Muster (Behr et al. 2011a; Behr et al. 2016c; Reers et al. 2017), das auch bei den fledermausfreundlichen Abschaltungen Anwendung findet. So werden hier in der Regel die höchsten Abschaltzeiten für Juli und August vorgesehen (Behr et al. 2011b). Auch die Verteilung der Aktivität über die Nacht entspricht den bei anderen Höhenuntersuchungen festgestellten Mustern. So ist der Aktivitätspeak in der ersten Nachthälfte typisch.

Der Vergleich der Aktivitätsdaten mit den Witterungsdaten ergab für beide Jahre und Messmasten deutliche Zusammenhänge zwischen der Fledermausaktivität und Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur, Niederschlag und atmosphärischer Stabilität. Die Abhängigkeit der Fledermausaktivität von der Windgeschwindigkeit wurde bereits in vielen Studien an Windenergieanlagen bestätigt und ist Voraussetzung dafür, dass die windabhängigen Abschaltzeiten als Vermeidungsmaßnahme funktionieren (Arnett et al. 2009; Behr et al. 2011a; Reichenbach et al. 2015). Auch in der vorliegenden Untersuchung nimmt die Fledermausaktivität in beiden Jahren und an beiden Messmasten mit zunehmender Windgeschwindigkeit überdurchschnittlich ab. Insbesondere in den Höhenlagen von 65 m und 95 m verschiebt sich die Fledermausaktivität überproportional hin zu niedrigeren Windgeschwindigkeiten. An Messmast Nordost im Offenland sind die Fledermäuse bereits ab einer Höhe von 33 m proportional häufiger bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten aktiv als dies bei Fledermäusen an Messmast Nordwest der Fall ist. Hier verschiebt sich die Aktivität erst ab einer Höhe von 65 m hin zu niedrigeren Windgeschwindigkeiten. Dies könnte mit einer schützenden Funktion des Waldrandes zusammenhängen. An beiden Messmasten werden auch bei Windgeschwindigkeiten über 6 m/s, die üblicherweise als pauschale Cut-in-Windgeschwindigkeit eingesetzt werden (z.B. MWVLW et al. 2013; LUBW 2014), noch sehr viele Aufnahmen aufgezeichnet. Im Jahr 2020 wurden in einer Höhe von 95 m noch 10 % aller Aufnahmen bei über 7,5 m/s Windgeschwindigkeit registriert. Auch in einer anderen Studie an Messmasten war zu beobachten, dass die Aktivität nicht so deutlich absinkt, wie es an Windenergieanlagen der Fall ist (Hurst et al. 2016b). Ein Grund dafür könnte sein, dass an laufenden Windenergieanlagen die zunehmend schnellere Drehung der Rotoren zu einem Meidungseffekt durch die Fledermäuse führt. Eine andere Erklärung könnte sein, dass die Luftverwirbelungen die Wahrscheinlichkeit verringern, dass die Echoortungsrufe aufgezeichnet werden, da sowohl Windgeschwindigkeit als auch die Windrichtung einen Einfluss auf die Schallausbreitung haben. Als besonders windhart erwies sich auch in dieser Studie die Rauhauffledermaus, sowohl 2019 als auch 2020. Eine Analyse der einzelnen Monate im Jahr 2019 zeigt, dass dies nicht nur an dem verstärkten Auftreten der Art im Herbst liegt, sondern sich das Verhalten tatsächlich auch in den einzelnen Monaten von den anderen Arten unterscheidet. Auch bei Messungen in Gondelhöhe an WEA wurde die größere Windhärte der Rauhauffledermaus bereits festgestellt und ist möglicherweise im Zugverhalten der Art begründet (Behr et al. 2011a). Es wird vermutet, dass dies auch zu einer überdurchschnittlich hohen Schlaggefährdung der Art führen könnte (Niermann et al. 2011a). Bei allen Arten(-gruppen) weniger deutlich ist ein Bezug zur Windgeschwindigkeit in Bodennähe, was aber damit zusammenhängen dürfte, dass hier auch deutlich geringere Windgeschwindigkeiten auftraten. Dies unterstreicht, dass eine Vorhersage der Aktivität in der Höhe aus Messungen am Boden nicht möglich ist.

Die Windrichtung ist ein Faktor, dessen Einfluss auf die Fledermausaktivität bisher nicht bei Höhenmessungen oder an Windenergieanlagen untersucht wurde. Die ersten Analysen aus dem Jahr 2019 zeigten, dass die Fledermausaktivität sich nicht zufällig auf die Windrichtungen verteilt, sondern Höhenaktivität eher bei nicht so häufig auftretendem Südostwind auftrat. Dieses Muster konnte durch die Messungen im Jahr 2020 bestätigt werden. In Höhen von 5 m und 33 m waren die Fledermäuse insbesondere an Messmast Nordwest überproportional häufig bei Bedingungen mit Nordwestwind aktiv. In den größeren Höhen ab 65 m verschob sich die Aktivität erneut in Richtung Südostwind. An Messmast Nordost ist bereits in den unteren Messhöhen eine leichte Verschiebung der Aktivitätsverteilung hin zu Südostwind zu beobachten, die mit der Messhöhe deutlicher wird. Diese Ergebnisse bestätigen die Annahme, dass sich die Fledermäuse bei Nordwestwind gezielt in Waldrandnähe aufhalten, um dort im Windschatten des Waldrandes geschützt jagen zu können. In Höhen von 65 m und

95 m fällt diese schützende Funktion des Waldes aufgrund der niedrigeren Baumhöhen weg und die Tiere sind hier eher bei Südostwind aktiv. Das beschriebene Verhaltensmuster trifft allerdings nicht auf die Rauhaufledermaus zu. Sowohl 2019 als auch 2020 wurde diese Art überdurchschnittlich häufig bei Witterungsbedingungen mit Südostwind angetroffen, und dies über alle Höhen und Messmasten hinweg. Über die Gründe für dieses Verhalten lässt sich nur spekulieren. Da es sich bei der Rauhaufledermaus um eine ziehende Fledermaus handelt, für die am Windtestfeld ein stark biphasisches jährliches Auftreten im Frühjahr und Herbst nachgewiesen wurde, könnte dieses Verhalten für die Beobachtungen verantwortlich sein. Bei Zugvögeln wurde in hauptsächlich radarbasierten Studien festgestellt, dass die Tiere bei ungünstigen Windverhältnissen, beim Zug entspricht dies Gegenwind, auf niedrigere Flughöhen ausweichen, da hier die Windstärken in der Regel geringer sind (Bruderer & Liechti 2004; Bruderer, Peter & Korner-Niervergelt 2018; Aurbach et al. 2020; Bruderer 2020). Ein ähnliches Verhalten könnten die Rauhaufledermäuse zeigen. Überträgt man das Verhaltensmuster sollten die Rauhaufledermäuse in niedrigeren Höhen fliegen, wenn für sie zur Zugzeit ungünstigere Windverhältnisse in der Höhe herrschen. Angewendet auf die Situation am Windtestfeld bedeutet dies, dass Rauhaufledermäuse insbesondere dann an den Messmasten detektiert werden, wenn im Herbst der Wind aus südlichen Richtungen weht, da die Tiere selbst auf dem Weg nach Süden sind. Die Korrelationen zwischen der Aktivität und der Windrichtung weisen darauf hin, dass diese Interpretation zutrifft. Allerdings beruht diese Annahme derzeit noch auf einem kleinen Datensatz. Wir erhoffen uns weitere Klarheit, wenn die Daten aus dem Erfassungsjahr 2021 mit in die Auswertung aufgenommen werden können.

Über beide Erfassungsjahre hinweg zeigte sich in allen vier Messhöhen beider Messmasten eine deutliche Abhängigkeit der Fledermausaktivität von der Temperatur. So wird generell nur wenig Aktivität bei Temperaturen unter 10 °C aufgezeichnet. Die Abhängigkeit der Fledermausaktivität von der Temperatur wurde ebenfalls bereits sehr häufig sowohl bei Studien an Windkraftanlagen als auch in anderen Aktivitätsstudien nachgewiesen (Behr et al. 2011a; Hurst et al. 2016b; Hurst et al. 2016c). Auch die 10°C-Schwelle ist ein typischer Wert, der in der Regel als Schwellenwert für Abschaltungen verwendet wird (z.B. LUBW 2014). Wie schon bei der Windgeschwindigkeit ist auch die Temperaturabhängigkeit bei der Rauhaufledermaus weniger ausgeprägt. In einer Höhe von 95 m sind etwa 25 % der Rauhaufledermäuse noch bei Temperaturen von 6°C aktiv. Hier ist aber davon auszugehen, dass dies dem gehäuftem Auftreten der Art im Herbst geschuldet ist (Reichenbach et al. 2015). Für die Zwergfledermaus ist insbesondere in der Höhe von 95 m eine Verschiebung der Aktivität hin zu höheren Temperaturen zu verzeichnen. In Tendenzen ist dies aber auch auf allen anderen Messhöhen zu erkennen. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die recht wenig lichtscheue Art in der Regel schon kurz nach Sonnenuntergang aktiv ist. Zu diesen Zeiten herrschen im Allgemeinen noch höhere Temperaturen als nach Eintreten der völligen Dunkelheit.

Bis heute einmalig ist die Korrelation der Fledermausaktivität mit Daten zur atmosphärischen Stabilität. Erste grafische Auswertungen deuten darauf hin, dass Fledermäuse insbesondere in Höhen von 65 m und 95 m Witterungsbedingungen mit hoher turbulenter kinetischer Energie (TKE), die eine Variable zur Bestimmung der atmosphärischen Stabilität darstellt, meiden. Dabei scheinen, wie bereits bei anderen meteorologischen Parametern festgestellt, die Artengruppe Nyctaloid und die Rauhaufledermaus abweichend auch bei noch instabilen Luftverhältnissen aktiv zu sein. In der Literatur sind bisher keine Auseinandersetzungen mit diesem Thema bekannt. Allerdings erscheint es nur logisch, dass flugfähige Tiere turbulente Luft meiden, da diese das kontrollierte Manövrieren erschweren. Dies gilt vermutlich auch für Insekten, die von den Fledermäusen erbeutet werden. Dass sich Fledermäuse weniger in turbulenten Lufträumen aufhalten könnte auch mit der Abwesenheit von Beutetieren erklärt

werden. Die kleinen Insekten unterliegen vermutlich zu einem viel stärkeren Maße den kleinräumigen Luftbewegungen und haben nur eingeschränkt die Fähigkeit durch aktives Manövrieren auch sehr turbulente Lufträume dauerhaft zu befliegen. Dementsprechend könnte die Abwesenheit der Fledermäuse mit der Abwesenheit ihrer Beutetiere zusammenhängen. Einschränkend könnte an dieser Stelle angeführt werden, dass der Messwert TKE stark mit der Windgeschwindigkeit korreliert. Und da dieser Faktor wiederum einen starken, nachgewiesenen Einfluss auf die Fledermausaktivität hat, könnten hier gezeigte Korrelationen zwischen der TKE und der Fledermausaktivität Artefakte ohne kausalen Zusammenhang darstellen. Allerdings zeigen die Daten auch, dass Fledermäuse auch bei niedrigen Windgeschwindigkeiten bei Bedingungen mit hohen TKE-Werten nur selten aktiv waren, was wiederum dafür spricht, dass tatsächlich die atmosphärische Stabilität einen Einfluss auf die Fledermausaktivität hat. Zukünftige Auswertungen der Daten aus 2021 werden bei der Interpretation der Zusammenhänge förderlich sein. Die Betrachtung der atmosphärischen Stabilität in Zusammenhang mit der Fledermausaktivität wird insbesondere während der zukünftigen Phase II des Forschungsvorhabens relevant. Dann ist es voraussichtlich möglich über die Messwerte zur atmosphärischen Stabilität den Einfluss von Nachlaufströmungen an WEA auf die Fledermausaktivität zu untersuchen. Sollten sich die Zusammenhänge zukünftig konkretisieren, könnte die atmosphärische Stabilität (gemessen als TKE) für die fledermausfreundliche Abschaltung an WEA interessant sein, falls diese Werte standardmäßig erfasst werden könnten.

Der negative Einfluss von Niederschlag auf die Fledermausaktivität ist hinreichend bekannt und wurde etwa auch im Forschungsvorhaben RENEBA I als eine meteorologische Variable bei der Entwicklung von Abschaltalgorithmen mit betrachtet (Erickson & West 2002; Behr et al. 2011a). Auch am Windtestfeld konnten wir diesen Zusammenhang feststellen. Besonders in Höhen ab 33 m nahm die Fledermausaktivität stark ab, wenn es in einem 10-min-Intervall regnete, und es wurden nur noch einzelne Rufe detektiert. Dieses Muster konnte sowohl 2019 als auch 2020 beobachtet werden. In einigen Länderleitfäden wird deshalb auch der Niederschlag als eine Variable bei der Berechnung der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen eingesetzt (Reinhard & Brinkmann 2018). In Bodennähe hingegen wurde auch während Regenereignissen noch verhältnismäßig häufig Fledermausaktivität aufgezeichnet. Allerdings ist es wahrscheinlich, dass sich die Fledermäuse dabei nicht direkt an den Masten im ungeschützten Offenland aufhielten, sondern den westlich gelegenen Waldrand zur Jagd nutzen. Diese Vermutung liegt nahe, da 2020 an Messmast Nordost im Offenland deutlich weniger Aktivität auf einer Höhe von 5 m herrschte, als dies an Messmast Nordwest nah am Waldrand der Fall war. Dort oder zumindest in Waldrandnähe geäußerte Echoortungsrufe können auch noch an Messmast Nordwest detektiert werden. Die zukünftigen Auswertungen der Daten von 2021 können dabei helfen diese Vermutung zu klären.

Die Modellierung der Nachweiswahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Artengruppen zeigen, dass die Aktivität auf Grundlage der verschiedenen Einflussparameter Jahreszeit und Nachtzeit, Temperatur, Windgeschwindigkeit und Niederschlagswahrscheinlichkeit gut vorhergesagt werden kann. Dabei werden die Aktivitätsmuster deutlich, die sich auch in der qualitativen Auswertung bereits gezeigt haben und die auch bereits bei vergleichbaren Untersuchungen in anderen Projekten auftraten (Hurst et al. 2016b).

4.1.4.3 Sommererfassungen in der Umgebung um das Windtestfeld

Die Messungen in der Umgebung von 2019 und 2020 bestätigen und ergänzen die Messungen an den Messmasten in den jeweiligen Jahren. So wurden an den Wald-Standorten der Umgebungserfassung größtenteils das gleiche Artenspektrum und eine ähnliche Phänologie nachgewiesen wie an der bodennahen Messstation des Messmasts Nordwest. Auch hier ist

die Zwergfledermaus die mit Abstand am häufigsten nachgewiesene Art, ein für den süddeutschen Raum sehr typisches Ergebnis (Hurst et al. 2016c). Ein markanter Unterschied in der Artzusammensetzung zwischen den Jahren 2019 und 2020, der an Messmast Nordwest beobachtet werden konnte, war auch an den Batcordern 1 bis 4 (Waldrand) zu finden. So wurden im Jahr 2020 nach der Zwergfledermaus deutlich mehr Aufnahmen der Artengruppe Nyctaloid und des Abendseglers aufgezeichnet. Im Jahr 2019 wurde noch die Gattung *Myotis* auf Rang zwei geführt. Es ist zu bedenken, dass die Anzahl der Aufnahmen aufgrund unterschiedlicher Rufcharakteristika und –lautstärken keinen genauen quantitativen Vergleich zwischen den Arten(-gruppen) erlaubt, qualitative Unterschiede aber gut widerspiegelt. Wie bereits im Kapitel 4.1.4.2 angesprochen, könnte sich 2020 ein Männchen-Quartier des Abendseglers und/oder eine Wochenstube einer anderen Art der Artengruppe Nyctaloid in der Nähe der Waldrandkante zum Testfeld befunden zu haben. Sowohl die Aktivität als auch die Artzusammensetzung an den Offenland-Standorten der Umgebungserfassung ähneln hingegen den Beobachtungen der bodennahen Messstation an Messmast Nordost aus dem Jahr 2020. Allerdings ist der Anteil an aufgezeichneten Rufen der Nyctaloid-Gruppe und des Abendseglers an den Batcordern der Umgebungserfassungen geringer. Dies kann zum einen darin begründet liegen, dass sich die Erfassungshöhe der Messstationen mit 2 m (Batcorder) bzw. 5 m (Messmast) doch unterscheidet. Es ist aber auch möglich, dass Abendsegler oder andere Vertreter der Nyctaloid-Gruppe gezielt den Messmast als Landmarke anfliegen und daher dort häufiger detektiert werden. Ein solches Verhalten wurde für Abendsegler in den letzten Jahren im Norden Deutschlands untersucht und beobachtet, dass die Tiere Windenergieanlagen teilweise gezielt anfliegen und sich an diesen empor bewegten (Roeleke et al. 2016; Roeleke & Voigt 2019).

Zwischen den Standorten ist die Höhe der gemessenen Aktivität wie bereits erwähnt sehr unterschiedlich, was sich vor allem durch die Habitatausstattung erklären lässt. So ist die Aktivität an den Standorten auf den Ackerflächen deutlich geringer als am Waldrand. Vor allem die Arten, die vegetationsnah oder entlang von Randstrukturen jagen, beispielsweise die Zwergfledermaus und die *Myotis*-Gruppe, werden dort deutlich häufiger aufgezeichnet als auf den Ackerflächen. Der Zusammenhang der Fledermausaktivität mit der Nähe zu Wald oder Heckenstrukturen ist bereits aus vielen anderen Studien bekannt (Verboom & Huitema 1997; Niermann et al. 2011c; Hurst et al. 2016c). Arten, die im freien Luftraum jagen und dabei opportunistisch Insektenabundanzen ausnutzen, wie z.B. der Abendsegler (Müller et al. 2012; Roeleke et al. 2016), zeigten dagegen nicht so deutliche Aktivitätsunterschiede zwischen Waldrand und Offenland. Im Jahr 2019 wurde die höchste Fledermausaktivität an Batcorder 3 am Waldrand festgestellt, im darauffolgenden Jahr wurden am benachbarten Batcorder 4 mit Abstand die meisten Aufnahmen pro Nacht erzielt. Hierfür sind sehr wahrscheinlich kleinräumige Veränderungen der Habitatstruktur im Wald und die räumlich veränderte Quartiernutzung verantwortlich.

Phänologisch betrachtet unterscheiden sich die Waldrandstandorte von den Offenlandstandorten vor allem darin, dass in den Herbstmonaten Oktober und November im Offenland nur noch sehr wenig Aktivität verzeichnet wurde. Dieses phänologische Muster wurde sowohl 2019 als auch 2020 identifiziert. Vermutlich hängt dies mit den windgeschützten Verhältnissen am Waldrand bei der am Windtestfeld vorherrschenden Hauptwindrichtung Nordwest zusammen. Außerdem ist anzunehmen, dass die Insektenabundanz in den späten Herbstmonaten im Offenland stärker abnimmt als dies am Wald der Fall ist.

Auch bei den Daten der Umgebungserfassungen bestätigten die Modellierungen die Erkenntnisse der qualitativen Auswertung. So fällt auch hier beim jahreszeitlichen Auftreten vor allem das zweiphasige Aktivitätsmuster der Raufhautfledermaus auf, die aufgrund ihres Zugverhaltens vor allem im Frühjahr und Herbst im Gebiet anwesend war. Die Zwergfledermaus und

die *Myotis/Plecotus*-Gruppe sind vor allem in den Sommermonaten im Gebiet zu erwarten. Etwas weniger deutlich ist die Phänologie bei der Nyctaloid-Gruppe. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass hier mehrere Arten enthalten sind, die im Untersuchungsgebiet zu unterschiedlichen Zeiten auftreten. So könnte der Kleinabendsegler mit Wochenstuben vertreten sein, während der Abendsegler eher zur Zugzeit auftritt. Dadurch ist die Modellvorhersage unsicherer als bei den anderen Arten(-gruppen).

Die modellierte Nachweiswahrscheinlichkeit zu Beginn der Nacht ist bei Zwergfledermaus und Nyctaloid-Gruppe bereits relativ hoch, bei Rauhautfledermaus und *Myotis/Plecotus*-Gruppe ist sie zu Beginn relativ tief und steigt dann bis kurz vor Mitte der Nacht deutlich an. Hier spiegelt sich erneut die Lichtscheue der *Myotis/Plecotus*-Gruppe wider, die sich auch in der grafischen Analyse zeigte. Bei der Rauhautfledermaus dürfte diese Verteilung damit zusammenhängen, dass die ziehenden Tiere nicht im Gebiet stationär sind. Bei der Nyctaloid-Gruppe nimmt die Nachweiswahrscheinlichkeit zudem zum Morgen hin wieder zu. Dieses biphasische Aktivitätsmuster ist typisch für diese Artengruppe.

Bei den Messungen in der Umgebung um das Windtestfeld wurden im Wesentlichen die gleichen Zusammenhänge zwischen Fledermausaktivität und Witterungsbedingungen festgestellt wie in Bodennähe an den Windmessmasten. Auch zwischen den Jahren 2019 und 2020 wiesen die Daten starke Ähnlichkeiten auf. Auffällig ist, dass bei eher widrigen Witterungsbedingungen vermehrt die geschützten Waldrandstandorte aufgesucht werden. So waren bezüglich der Windgeschwindigkeit die Dichtekurven der Aktivität für die Offenlandstandorte jeweils in Richtung niedrigerer Windgeschwindigkeiten verschoben und die Tiere waren an den Waldrandstandorten verstärkt bei Nordwestwind aktiv, vermutlich, weil der nach Osten ausgerichtete Waldrand bei diesen Windbedingungen einen guten Schutz bietet und die Fledermäuse weiterhin im Windschatten des Waldrands jagen können. Betrachtet man die Fledermausaktivität in Verbindung mit den gemessenen Niederschlagsereignissen, zeichnen sich erneut Parallelen zu den Aktivitätsverteilungen zwischen Messmast Nordwest und Messmast Nordost ab. Für beide Erfassungsjahre wurde an den Waldrandstandorten bei Niederschlag noch jeweils Aktivität verzeichnet, wenn an den Batcordern im Offenland keine, oder nur sehr wenige Fledermäuse detektiert wurden. Wie schon an den Messmasten fällt aber auch bezüglich der Batcordererfassung in der Umgebung um das Testfeld auf, dass die Rauhautfledermaus eine gewisse Sonderrolle einnimmt. Wie an zahlreichen Stellen bereits beschrieben gilt die Rauhautfledermaus einerseits als besonders windhart und tritt als ziehende Fledermaus gehäuft während des Frühjahrs- und Herbstzugs auf. Zu diesen Zeiten herrschen jahreszeitlich bedingt kühlere Temperaturen und es werden stärkere Windgeschwindigkeiten gemessen. Umfänglich betrachtet verwundert es dann nicht, dass Rauhautfledermäuse an den Offenlandstandorten tendenziell vermehrt bei niedrigeren Temperaturen, höheren Windgeschwindigkeiten und eher südöstlichen Windrichtungen auftreten.

Die statistischen Modellierungen zur Abhängigkeit der Fledermausaktivität bezüglich verschiedener Witterungsparameter zeigten ein sehr ähnliches Bild wie die qualitativen Analysen. Bezüglich Temperatur und Windgeschwindigkeit ist der Kurvenverlauf der modellierten Nachweiswahrscheinlichkeiten bei allen Arten(-gruppen) ähnlich. Mit zunehmender Temperatur steigt die Nachweiswahrscheinlichkeit jeweils an, erst bei sehr warmen Temperaturen über 20 bis 25 °C lässt sie wieder nach. Dies lässt sich dadurch erklären, dass hohe Temperaturen vor allem zu Nachtbeginn auftraten, als die meisten Fledermäuse noch nicht aktiv waren. Auch eine Abnahme der Aktivitätswahrscheinlichkeit mit zunehmender Windgeschwindigkeit zeigen die Modelle aller Arten(-gruppen). Die Windhärte der Rauhautfledermaus ist auch im Modell daran zu erkennen, dass auch bei Windgeschwindigkeiten über 10 m/s noch eine gewisse Nachweiswahrscheinlichkeit vorhanden ist.

Auch mit zunehmender Regenwahrscheinlichkeit nimmt die Nachweiswahrscheinlichkeit bei fast allen Arten(-gruppen) rapide ab. Auffällig ist allerdings die *Myotis/Plecotus*-Gruppe, bei der die Aktivität mit zunehmender Regenwahrscheinlichkeit weniger stark nachlässt. Da diese Artengruppe vor allem nahe der Vegetation jagt, ist sie möglicherweise an den Waldrandstandorten von leichtem Regen nur geringfügig beeinträchtigt und daher länger aktiv als die übrigen Arten, die im freien Luftraum jagen.

Bei zukünftigen Auswertungen wäre es interessant, zusätzlich die genauen Standortbedingungen zu analysieren. So könnte anhand der Luftbilder beispielsweise überprüft werden, ob die Bewirtschaftung der Äcker und Wiesenflächen die Fledermausaktivität beeinflusst.

4.2 Konzeptionelle Ausarbeitung experimenteller Untersuchungsansätze

4.2.1 Ziele

Die Analyse der akustischen Daten in Zusammenhang mit meteorologischen Parametern liefert erste Erkenntnisse hinsichtlich korrelativer Zusammenhänge zwischen der Fledermausaktivität und verschiedener Witterungs- und Umweltparameter. Um mögliche Wirkzusammenhänge gezielt untersuchen zu können, bietet das Windtestfeld die einmalige Möglichkeit manipulativ in den Betrieb der WEA einzugreifen, Parameter zu verändern und Experimente durchzuführen. Dieser experimentelle Ansatz soll genutzt werden, um ökologische Zusammenhänge besser zu verstehen und effiziente Vermeidungsmaßnahmen entwickeln zu können. Hierfür wurden auf Basis der bis dato erfassten Grundlagendaten bereits in Phase 1 des Forschungsvorhabens konzeptionelle Vorarbeiten geleistet.

Experimentelle Ansätze können dabei helfen, den Einfluss verschiedenster Parameter, wie etwa Nachlaufströmungen oder Befeuerung, auf Fledermäuse zu verstehen. Zudem bietet das Windtestfeld die Chance, angepasste WEA-Abschaltungen zu entwickeln oder akustische Vergrämungsmethoden zu testen. Derartige Aspekte wurden bei der Erarbeitung eines experimentellen Untersuchungskonzepts berücksichtigt.

4.2.2 Konzeptionelle Ausarbeitung

Um die Experimente frühzeitig planen zu können, wurde eine Ideensammlung zu im Windtestfeld durchführbaren Experimenten angelegt. Für jedes denkbare Experiment wurden der technische und finanzielle Aufwand, die erhofften Erkenntnisse und die wissenschaftliche Aktualität bzw. Dringlichkeit abgewogen. In einem weiteren Schritt wurden die verschiedenen Experimente aufgrund der vorher genannten Kriterien priorisiert. Mit dem Fortschreiten des Forschungsprojekts wurde auch die konzeptionelle Ausarbeitung möglicher Experimente stetig aktualisiert und an die bisher erzielten Ergebnisse angepasst.

4.2.2.1 Aktive Veränderung des Betriebsmodus zur Untersuchung des Einflusses von Nachlaufströmungen auf die Fledermausaktivität

Das bedeutendste Gefährdungspotential für Fledermäuse durch WEA geht von deren Betrieb aus. Fledermäuse, die sich an den WEA aufhalten, können mit den sich drehenden Rotoren kollidieren (Kunz et al. 2007; Arnett et al. 2008; Rydell et al. 2017). Untersuchungen von Schlagopfern, die an WEA gefunden wurden zeigen, dass die Fledermäuse Knochenbrüche aufweisen, die sich hauptsächlich an Kopf und Flügeln befinden (Grotsky et al. 2011). Derartige Verletzungen sprechen dafür, dass Fledermäuse die sich drehenden Rotoren nicht immer rechtzeitig orten können und von diesen erschlagen werden (Long et al. 2009; Long, Flint & Lepper 2010b). Das kann auch über Videoaufnahmen mittels Wärmebildkameras bestätigt werden (Kunz et al. 2007; Adomeit et al. 2011; Alder 2017). Neben eindeutig verletzten

Fledermäuse werden aber auch immer wieder Tiere aufgefunden, die äußerlich keine Verletzungen aufweisen. Die Obduktion solcher Fledermäuse ergab, dass innere Verletzungen den Tod der Tiere verursachten. Die Art der Verletzungen spricht dafür, dass Druckunterschiede oder rapide Beschleunigung der Fledermäuse durch Nachlaufströmungen, die im Bereich der sich drehenden Rotoren auftreten, für diese verantwortlich sind (Brinkmann, Schauer-Weisshahn & Bontadina 2006; Baerwald et al. 2008; Rollins et al. 2012).

Hinter dem hier konzipierten Forschungsansatz steht somit insbesondere die Frage, wie sich Fledermäuse und auch deren Beutetiere (Insekten) konkret an WEA bzw. in deren Umgebung verhalten, wenn diese im Betrieb ist oder stillsteht. Wie verteilen sich Fledermäuse (und Insekten) bei verschiedenen Betriebsmodi im Rotorbereich (an vs. aus)? Meiden Fledermäuse (und Insekten) Bereiche, die von Nachlaufströmungen betroffen sind? Wie hoch könnte der Anteil Schlagopfer sein, die an inneren Verletzungen erst nach einiger Zeit sterben und nicht als Schlagopfer gefunden werden können? Um diesen Fragen auf den Grund zu gehen, werden die WEA bei geeigneten Witterungsbedingungen normal betrieben bzw. aktiv im Stillstand belassen. Die aufgezeichneten akustischen und optischen Daten des Fledermausverhaltens sowie die Daten zur Insektenabundanz werden in der anschließenden Auswertung miteinander korreliert. Für diesen Untersuchungsansatz wäre es sinnvoll, die regulär implementierte fledermausfreundliche Abschaltung der WEA für den Zeitraum des Experiments auszusetzen.

4.2.2.2 Untersuchung des Einflusses des Trudelbetriebs auf die Fledermausaktivität und das Verhalten der Tiere

Die Gefährdungssituation der Fledermäuse an WEA ist seit einigen Jahrzehnten bekannt und ist ein wichtiger Teil der Naturschutzforschung geworden. Projekte und wissenschaftliche Untersuchungen befassen sich zunehmend mit Möglichkeiten, die negativen Auswirkungen von WEA auf Fledermäuse zu verringern (z.B. Brinkmann et al. (2011); Behr et al. (2016b); Behr et al. (2018)). Besonders eine gezielte Abschaltung von WEA kann Kollisionen von Fledermäusen an WEA verhindern. Ein System einer angepassten Abschaltung anhand spezifischer Algorithmen wurde in Studien von Brinkmann et al. (2011) und Behr et al. (2016a) entwickelt. Müssen WEA aufgrund der berechneten Abschaltalgorithmen abschalten, gehen diese häufig in den sogenannten Trudelbetrieb über. Das OVG Lüneburg definierte den Trudelbetrieb als „mit aus dem Wind gedrehten Rotorblättern und aktivierter Windnachführung der Rotorgondel“ (Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE) 2020). Je nach Länge der Rotorblätter können im Trudelbetrieb bei verschiedenen Windenergieanlagen an der Rotorspitze zwischen 15 und 31 km/h erreicht werden (Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE) 2020). Ob diese Geschwindigkeiten noch dazu ausreichen, Fledermäuse zu gefährden, ist derzeit nicht belegt.

Die hier untersuchte Fragestellung widmet sich daher der potenziellen Gefahr, die von trudelnden Rotorblättern für Fledermäuse ausgeht. Können Fledermäuse den sich langsam drehenden Rotorblättern ausweichen? Ab welcher Rotorspitzen geschwindigkeit entsteht ein Schlagrisiko für die Fledermäuse? Diese Fragestellungen können ebenfalls mit den dann bereits laufenden akustischen und optischen Verfahren bearbeitet werden, wobei der Trudelbetrieb an den WEA aktiv herbeigeführt wird. Wie bereits oben erwähnt ist es auch für dieses Experiment sinnvoll, zeitweise auf die fledermausfreundliche Abschaltung zu verzichten, um geeignete Daten sammeln zu können.

4.2.2.3 Überprüfung von Systemen zur Schlagopferdetektion: Test verschiedener in der Entwicklung befindlicher Systeme und Vergleich mit konventionellen Nachsuchen

Um die Anzahl von Schlagopfern an WEA zu quantifizieren, werden systematische Schlagopfernachsuchen durchgeführt. Standards dieser zeitintensiven Methode werden in Rodrigues et al. (2015) beschrieben, wobei auch darauf hingewiesen wird, dass lokale Standortfaktoren wie Bewuchs und Gelände den Umfang der Untersuchungen beeinflussen. Auch die Ergebnisse der Suchen sind von einigen Einflussfaktoren abhängig. Dies sind die Sucherfahrung der beteiligten Person, die Geländebeschaffenheit um die WEA und die Abtragsrate. Daher muss für jeden Standort und jede Person die jeweilige Sucheffizienz experimentell bestimmt werden und ein standortspezifischer Korrekturfaktor für verlässliche Hochrechnung der Schlagopferzahlen berücksichtigt werden (Niermann, Behr & Brinkmann 2007; Niermann et al. 2011a; b; Niermann et al. 2016). Als Grundlage für Berechnungen hat sich die Methode nach Korner-Nievergelt et al. (2013) etabliert, die auch als Web-Tool standardisiert durchgeführt werden kann (Reich 2018). Allerdings steigt die Unsicherheit in den Hochrechnungen stark an, je weniger Schlagopfer gefunden werden (Korner-Nievergelt et al. 2011). Eine Steigerung der Sucheffizienz kann über den Einsatz von speziell ausgebildeten Suchhunden erreicht werden. Der Einsatz von Hunden zum Auffinden verschiedener Tierarten oder deren Spuren wird in diversen Forschungsbereichen angewandt (Duggan et al. 2011; Paula et al. 2011; Davidson et al. 2014). Einige Studien nutzten bereits Suchhunde, um Fledermaus-Schlagopfer an WEA aufzuspüren und erzielten dabei gute Resultate (Arnett 2006; Moyle 2016). Eine vergleichende Studie untersuchte die Sucheffizienz der trainierten Hunde (Mathews et al. 2013). Es zeigte sich, dass Hunde 75 % mehr der ausgelegten Fledermäuse in nur einem Viertel der Zeit fanden, die von Menschen benötigt wurde. Damit kann die Bestimmung der Schlagopferzahlen an WEA mit der Hilfe von Suchhunden effizienter und verlässlicher durchgeführt werden. Allerdings muss auch hier an jedem Standort die Suchgenauigkeit von Hund und Hundehalter ermittelt werden. Außerdem ermüden Hunde aufgrund der intensiven Suche leicht, daher ist es bei der Arbeit mit speziell trainierten Suchhunden nötig, ausreichend lange Pausen einzuplanen.

Seit geraumer Zeit werden Detektionssysteme entwickelt, die eine automatisierte Schlagopferdetektion versprechen (z.B. B-Finder aus Polen). Dabei werden bei den bisher bekannten Systemen fallende Objekte, hier also tote oder verletzte Fledermäuse, durch an der WEA angebrachte Sensoren detektiert. Werden mehrere der installierten Sensor-Schranken von oben nach unten unterbrochen wird ein Schlagereignis angenommen und eine manuelle Suche gestartet (B-Finder 2020).

Innerhalb des Forschungstestfelds können solche Systeme überprüft und mit konventionellen Methoden wie der Schlagopfernachsuche durch Menschen verglichen werden. Wichtige Fragen sind hier, wie genau und wie schnell eine automatisierte Detektion erfolgt. In einem nachfolgenden Schritt können dann die Vor- und Nachteile einer automatisierten Schlagopferdetektion mit den konventionellen Methoden ausgearbeitet werden. Da aufgrund der rechtlichen Bestimmungen Fledermausschlagopfer zu vermeiden sind und auch ohne fledermausfreundliche Abschaltungen mit geringen Schlagopferzahlen zu rechnen ist, muss dieses Experiment mit Fledermaus-Dummies durchgeführt werden. Die Überprüfung der Systeme erfolgt hier hauptsächlich über die im Projekt entwickelten optischen Methoden (Infrarot-Stereokamera und Wärmebildkamera, UMIT).

4.2.2.4 Entwicklung einer Abschaltung nach Echtzeitdaten und Vergleich mit konventionellen Methoden

Zum Schutz der Fledermäuse und zur Einhaltung gesetzlicher Bestimmungen müssen die

meisten in den letzten Jahren installierten WEA unter fledermausfreundlichen Abschaltungen laufen, um Kollisionen der Tiere mit den sich drehenden Rotoren zu verhindern. Die in Deutschland verbreitetste Maßnahme zur Vermeidung von Kollisionen beinhaltet zurzeit das gezielte Abschalten der WEA. Bisher geläufige Abschaltalgorithmen beruhen auf einer Kombination von Witterungsparametern und zeitlichen Variablen wie Jahreszeit und Nachtzeit (Behr et al. 2011b; Behr 2018), da für diese Zeiten eine erhöhte Fledermausaktivität prognostiziert wird (Redell et al. 2006; Behr et al. 2007; Horn, Arnett & Kunz 2008b; Rydell et al. 2010; Baerwald & Barclay 2011; Brinkmann et al. 2011; Amorim, Rebelo & Rodrigues 2012; Cryan et al. 2014). Stand der Technik ist derzeit das Tool ProBat, das aufgrund von Witterungsbedingungen und Daten aus einem akustischen Fledermaus-Monitoring Zeiten mit hoher Fledermausaktivität und damit Abschaltzeiten für die WEA berechnet. Datengrundlage ist, wie bereits erwähnt, ein akustisches Fledermaus-Monitoring, das allerdings nur in den ersten zwei Betriebsjahren der Anlagen und auch meist nur an ausgewählten WEA stattfindet. Auch eine Abschaltung von WEA durch die Einbindung von Echtzeitdaten in den Abschaltalgorithmus ist möglich (Sutter 2017). Allerdings gibt es hierzu zurzeit lediglich experimentelle Studien. Eine praxisorientierte Überprüfung der Funktionsfähigkeit eines derartigen Systems fehlt bisher.

Um die Abschaltzeiten optimal an die tatsächliche Fledermausaktivität anpassen zu können und somit die Abschaltzeiten so hoch wie nötig, aber so gering wie möglich zu halten, soll eine Abschaltung nach Echtzeitdaten für Fledermäuse entwickelt werden. Auch die Entwickler hinter dem ProBat-Tool verfolgen solche Bestrebungen, sodass eine Kooperation bei der Entwicklung einer Echtzeitabschaltung denkbar ist. In einem anschließenden Schritt muss überprüft werden, ob zum einen die Echtzeit-Abschaltung zeitlich so schnell erfolgen kann, dass Fledermäuse nicht gefährdet werden und zum anderen, ob eine solche Abschaltung den gleichen oder besseren Schutz der Fledermäuse bei gleichzeitigen Vorteilen für WEA-Betreiber bietet. Die Überprüfung der Funktionalität der Echtzeit-Abschaltung und des Verhaltens der Fledermäuse wird über die bereits etablierten akustischen und optischen Methoden erreicht. Zudem wird angestrebt, in diesem Zusammenhang auch die technischen Daten der WEA (Leistungsverluste, Verschleiß, etc.) zu analysieren.

4.2.2.5 Überprüfung von Vergrämungsmethoden: Test verschiedener in der Entwicklung befindlicher Systeme und Überprüfung deren Wirkung

In Deutschland und Europa setzt man aus guten Gründen bisher zu Einhaltung der artenschutzrechtlichen Bestimmungen in Zusammenhang mit dem WEA-Betrieb auf Standortangepasste Abschaltalgorithmen. Insbesondere in den USA wurden in den vergangenen Jahren aber auch alternative Ansätze entwickelt, die die Fledermauskollisionen nicht über Abschaltungen sondern über Vergrämung verhindern sollen (Szewczak & Arnett 2007; Arnett et al. 2013; Kinzie & Miller 2018; NRG Systems 2020). Diese Vergrämungssysteme wurden in den USA teilweise intensiv getestet und werden bereits in Windparks eingesetzt (Horn et al. 2008a; Romano et al. 2019). Die bekanntesten Systeme arbeiten über Ultraschall, der von einem bzw. mehreren Lautsprechern oder durch Luftdruck-Düsen ausgesendet wird. Der emittierte Ultraschall soll die normale Echoortung der Fledermäuse stören, sodass sich diese im beschallten Bereich nicht mehr richtig orientieren können und den Schallkegel und damit den Risikobereich des Rotors meiden. Die bisher veröffentlichten Tests und Studien zeigen allerdings ein teilweise uneinheitliches Bild: in verschiedenen treatment-control tests (sowohl an WEA als auch an Orten mit hohem Fledermausaufkommen) sank die Fledermausaktivität in beschallten Bereichen, in anderen wiederum nicht oder nur für manche Arten. Ein Gewöhnungseffekt wurde in den Studien nicht festgestellt. Die Reichweite der meisten Systeme liegt für die Frequenzen von 20 – 100 kHz und einem Schalldruck von 65 dB bei maximal 30

Metern, was bei modernen WEA mit Rotordurchmessern von bis zu 170 Metern nur einer geringen Abdeckung entspricht. Zudem ist die Schallausbreitung stark von meteorologischen Parametern, v.a. von der Luftfeuchtigkeit abhängig.

Systeme zur Vergrämung von Fledermäusen aus dem Gefahrenbereich des Rotors werden in den USA bereits eingesetzt und sollen nach Wunsch der Hersteller auch in Europa und Deutschland Anwendung finden. Allerdings ist ein tatsächlicher Einsatz solcher Systeme in Deutschland sehr umstritten. Die gängigen Systeme erzeugen ein Störgeräusch im Ultraschallbereich, das die Fledermäuse daran hindern soll, in den beschallten Bereich einzufliegen. Dadurch sollen Kollisionen verhindert werden, wobei weder die potenziell negative Wirkung des großen Schalldrucks auf die Fledermäuse noch der einhergehende Habitatverlust durch die Vergrämung ausreichend untersucht wurde. Die derzeitige Wissenslage sowie der rechtliche Hintergrund zum Einsatz von Vergrämungssystemen in Deutschland ist also noch dürftig. Gemeinsam mit dem Auftraggeber und weiteren Experten wurde diskutiert, inwieweit solche Systeme perspektivisch geeignet sein könnten und wie die Aussichten von gezielten Tests solcher Systeme sein könnten. Aus den genannten Gründen wird der Tests dieser Systeme zunächst als nicht prioritär gegenüber den anderen Forschungsansätzen angesehen. Denn neben der bisher nicht ausreichend bekannten Wirkung solcher Systeme werden durch deren Funktionsweise möglicherweise Verbotstatbestände nach § 44 Bundesnaturschutzgesetz ausgelöst. Dennoch überwiegen aus Sicht der Autoren bzw. der Forschung und des erzielbaren Erkenntnisgewinns die Argumente für ein Testen von Vergrämungssystemen im Windtestfeld auf der Schwäbischen Alb, denn es bietet geeignete Bedingungen für eine kontrollierbare und unabhängige Überprüfung solcher Vergrämungssysteme. Wir versprechen uns von solchen Tests eine klare, reproduzierbare und mit Daten hinterlegte Aussage zu dem Einsatz von Vergrämungssystemen in Deutschland, sei diese negativ oder positiv. Ziel wäre es, die folgenden Fragen zu beantworten: Halten die Systeme die Fledermäuse aus dem Gefahrenbereich des Rotors fern? Gibt es einen Gewöhnungseffekt, der die Vergrämung verhindert? Mittels der bereits etablierten optischen Überwachung der WEA könnte das Fledermausverhalten bezüglich der emittierten Störgeräusche detailliert aufgezeichnet werden. Um die Wirksamkeit solcher Vergrämungssysteme uneingeschränkt testen zu können, wäre es erforderlich, die WEA während des Experimentierzeitraums ohne die vorgeschriebene fledermausfreundliche Abschaltung zu betreiben. Die Bereitstellung und Installation der Geräte erfolgt in diesem Fall über die Hersteller.

4.2.2.6 Untersuchung des Einflusses herkömmlicher und IR-basierter Befeuerung auf die Fledermausaktivität und das Verhalten der Tiere

Zur Flugsicherung werden WEA mit roten Leuchtsignalen befeuert, zukünftig könnte auf eine bedarfsgerechte Befeuerung mittels Infrarot umgestellt werden. Die Befeuerung an WEA könnte eine Lockwirkung auf Fledermäuse ausüben (Kunz et al. 2007; Ballasus, Hill & Hüppop 2009; Cryan & Barclay 2009). Zu diesem Thema wurden bereits einige Studien durchgeführt. Auffallend ist, dass die Ergebnisse trotz gezielter Untersuchungen sehr variabel ausfielen. So fanden Jain (2005) und Horn et al. (2008b) keinen Effekt der Befeuerung auf die Fledermausaktivität oder die Schlagopferzahl. Dagegen zeigen weitere Untersuchungsergebnisse, dass die Schlagopferzahlen an WEA mit Befeuerung sogar geringer ausfallen (Johnson et al. 2003; Kerns & Kerlinger 2004; Fiedler et al. 2007; Arnett et al. 2008; Bennett & Hale 2014), teilweise trotz erhöhter Fledermausaktivität (Johnson et al. 2004). Da all die genannten Studien in den USA durchgeführt wurden, ist eine Übertragbarkeit der ohnehin konträren Ergebnisse auf WEA in Europa oder Deutschland nicht uneingeschränkt möglich. Plausibel erscheint zudem eine weiterführende Erklärung. Denn möglicherweise

sind Insekten, die z.B. von der Befeuerung angelockt werden, für das Auftreten von Fledermäusen an WEA verantwortlich (Kunz et al. 2007; Cryan & Barclay 2009; Schuster, Bulling & Köppel 2015; Perrow 2017).

Bei diesem experimentellen Untersuchungsansatz geht es darum herauszufinden, wie sich Fledermäuse und Insekten konkret an WEA mit und ohne Befeuerung (sichtbares Licht und IR) verhalten. Wie ist die räumliche Verteilung der Tiere? Meiden sie Bereiche mit Befeuerung? Zur Klärung dieser Fragen werden die bereits etablierten Erfassungsmethoden (akustisch, optisch, Insekten) angewendet, wobei die Befeuerung der WEA aktiv gesteuert wird (an vs. aus).

4.2.2.7 Untersuchung des Einflusses der Farbgebung der WEA auf die Fledermausaktivität und das Verhalten der Tiere

Die Hypothese, dass die Farbe der WEA eine Rolle bei der Aktivität und dem Verhalten der Fledermäuse an WEA spielt, besteht bereits länger und wurde auch in einer kleinen Studie bereits untersucht (Long, Flint & Lepper 2010a). Wie in der besagten Studie beschrieben ist davon auszugehen, dass ein Einfluss auf das Fledermausverhalten indirekt über die Insekten entsteht, die durch verschiedene Farben verschieden stark angelockt werden. Allerdings wurde nicht der Anstrich der WEA selbst variiert, sondern Beobachtungen und Zählungen an ausgelegten Farbkarten durchgeführt. Die Wirkung verschieden gefärbter WEA auf Insekten und damit Fledermäuse bleibt weiterhin unklar. Mit dem hier vorgestellten Untersuchungsansatz kann die Frage beantwortet werden, ob Insekten bestimmte Farben bevorzugen oder meiden und ob dadurch eine Lockwirkung auf Fledermäuse entsteht. Für die recht aufwendige Umsetzung werden die WEA oder Teile der WEA farblich verändert. Mithilfe der bereits etablierten akustischen und optischen Methoden sowie der Messung der Insektenabundanz können die erhobenen Parameter mit der Farbgebung korreliert werden.

4.3 Fazit und Ausblick

Die Messergebnisse der Fledermausaktivität aus den ersten zweieinhalb Jahren an den bestehenden Messmasten und in der Umgebung stellen eine ideale Datengrundlage für die kommenden fledermausbezogenen Untersuchungen und vergleichenden Analysen nach Errichtung der WEA dar. Im Untersuchungsgebiet sind alle in Baden-Württemberg vorkommenden Arten bzw. Artengruppen vertreten. Sogar die seltene Mopsfledermaus konnte regelmäßig im Gebiet nachgewiesen werden und die Daten wiesen erneut auf eine geringe Schlaggefährdung dieser Art hin. Zudem liefern die an den Messmasten permanent erhobenen Witterungsdaten eine sehr gute Basis für Auswertungen der Zusammenhänge zwischen Witterung und Fledermausaktivität. Bisher konnten wir bereits bekannte Zusammenhänge bestätigen (positive Korrelation der Aktivität mit der Temperatur, negative Korrelation der Aktivität mit Windgeschwindigkeit und Niederschlag), aber auch neue Verbindungen aufdecken. So beeinflusst auch die Windrichtung am Testfeld die lokale Aktivität der Fledermäuse und instabile Luftschichten werden von den Tieren augenscheinlich gemieden. Dabei dürfte insbesondere die Rolle der Rauhaufledermäuse für Windkraftprojekte interessant bleiben, da sich diese Art in allen untersuchten Variablen hervorhebt. Die intensiven akustischen Erfassungen sowie die lückenlose Aufzeichnung verschiedenster meteorologischer und physikalischer Parameter wurden und werden auch im Jahr 2021 am Windtestfeld fortgeführt. Die Auswertungen diesbezüglich stehen noch aus, sodass ein noch deutlicheres Bild sämtlicher Zusammenhänge in den kommenden Monaten entstehen wird.

5 Wärmebild

5.1 Stereo-Wärmebilderfassung

Im Rahmen dieses Projekts wurde ein Stereo-Wärmebildsystem für die Verfolgung von Fledermausflugbahnen an WEA weiterentwickelt und auf die spezifischen Verhältnisse und Forschungsfragen am Windtestfeld angepasst. Dieses System erlaubt die Erfassung der kleinräumlichen Variabilität sowie qualitative Untersuchungen zum Verhalten der Tiere an WEA. Durch den automatisierten Dauerbetrieb und die Fernwartung können erstmals große Datensätze erfasst werden. Dieses Kapitel erläutert die Entstehung dieses Systems von der Konzeptionierung bis hin zum Aufbau im Windtestfeld.

5.1.1 Konzeptionierung

In diesem Arbeitspaket wurde ein Stereo-Wärmebildkamera-System konzeptioniert, um das kleinräumige Verhalten von Fledermäusen im Windtestfeld zu untersuchen. Der erste Schritt der Entwicklung war die Wahl der zu verbauenden Komponenten. Es wurde eine Auswahl an Komponenten erstellt und die jeweiligen Hersteller für weitere Informationen kontaktiert.

Bei der Entwicklung eines derartigen Systems entstehen neue Herausforderungen, die bereits im Vorfeld beachtet werden müssen. Die Montagefähigkeit sowie die Ausrichtung der Langwellen Infrarot (LWIR) Kameras am Mast sind essenziell für die spätere Funktion des Systems. Die Ausrichtung ist von besonderer Bedeutung, da unnötige Objekte im Bildbereich tatsächliche Flugbahnen von Fledermäusen verdecken können (siehe Abb. 148). Da die ausgewählten Kameras eine hohe thermische Sensitivität aufweisen, gilt dies auch für weit entfernte Objekte.

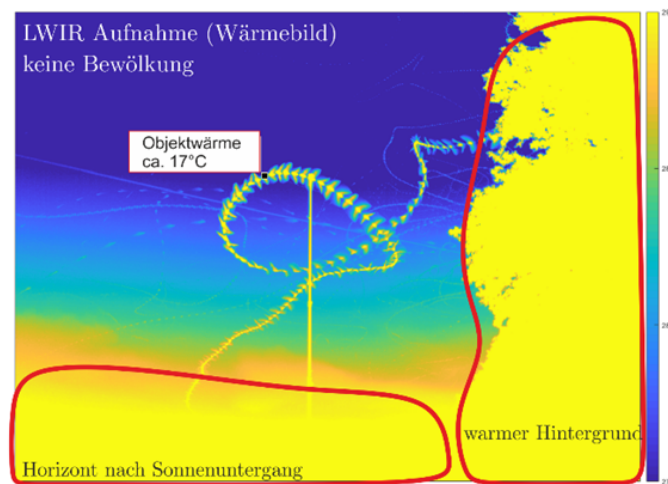


Abb. 148: LWIR Aufnahme bei klarem Himmel während Abenddämmerung. Hintergrundstrahlung Horizont und Bewuchs begrenzen das Sichtfeld der Kamera

Aus diesem Grund werden beide Kameras mit leichter nach oben gerichteter Blickrichtung installiert. Möglich sind beide Ausrichtungen: Blickrichtung in (siehe Abb. 149) oder entgegen der Hauptwindrichtung.

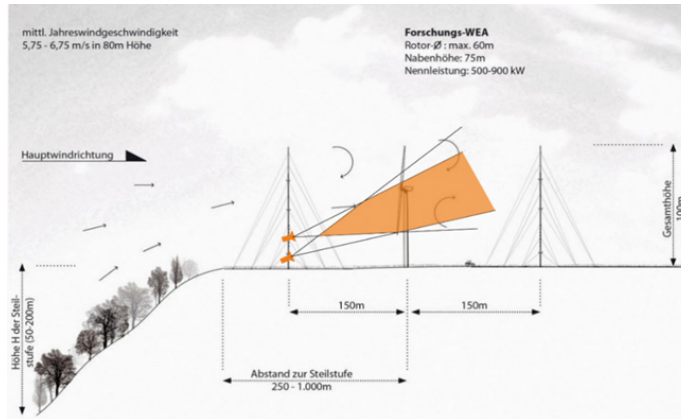


Abb. 149: Konzept Stereo-Wärmebilderfassung.

Dabei wird mit leicht nach oben gerichteten Kameras im Abstand von etwa 15 Metern die Anlage so erfasst, dass der interessante Bereich bei beiden Kameras möglichst in der Mitte liegt.

Der vertikale Abstand der Kameras liegt zwischen 15 m und 20 m je nach Montagemöglichkeit am Mast, um eine ausreichende Tiefenaufslung zu erhalten. Eine vorläufige Abschätzung der Auflslung lässt sich durch Betrachtung eines planaren Stereokamerasystems realisieren. Bei bekannter Brennweite f der Kameras und einem Abstand zwischen den Kameras b , ergibt sich die Position der Fledermaus zu

$$z_F = b \frac{f}{x_l - x_r} \quad (1)$$

$$x_F = b \frac{(x_l - x_r)}{2(x_l - x_r)} \quad (2)$$

$$y_F = b \frac{(y_l - y_r)}{2(x_l - x_r)} \quad (3).$$

Aus Gleichung (1) lässt sich die Tiefenaufslung des Stereosystems abschätzen. Bei einer Brennweite von $f = 20$ mm, einer Pixelgröße von $17 \mu\text{m}$ und einem Abstand beider Kameras von $b = 15$ m ergibt sich in einem Abstand von 130 m eine Tiefenaufslung von etwa 94 cm. Bei einem angenommenen Abstand von 20 m ergibt sich bei gleichen Randbedingungen eine Tiefenaufslung von ca. 71 cm im Abstand von 130 m.

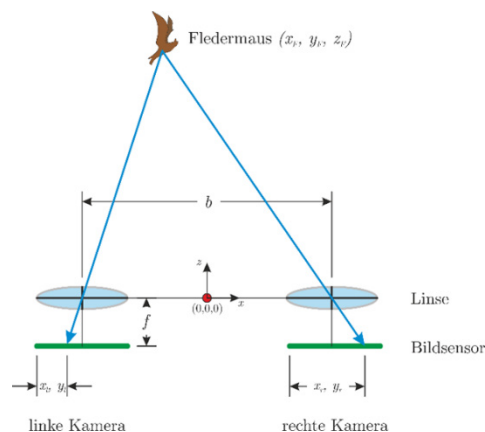


Abb. 150: Stereotriangulation bei planar angeordneten Kameras

Wetterschutz für ein derartiges autonomes System im Dauerbetrieb ist ein weiterer zentraler Aspekt, der im Vorfeld betrachtet und konzipiert wurde. Hierzu haben wir Hersteller kontaktiert und Möglichkeiten zum Wetterschutz diskutiert. Flir bietet bei der A65-Serie ein Gehäuse

mit IP66 Klassifizierung wohingegen Infratec auf personalisierte Einzellösungen setzt und eine Kamera mit IP67 Schutz anbietet.

Geometrische Parameter, wie z.B. Blickfeld und Befestigungspunkte des Systems wurden zusammen mit den Projektpartnern unter Berücksichtigung der Hinweise aus dem Expertenkreis Fledermäuse festgelegt.

5.1.1.1 Auswahl LWIR Kamera

Zentraler Bestandteil des konzeptionierten Stereo-Systems sind die beiden Wärmebildkameras. Diese werden speziell für den vorgesehenen Einsatzort ausgewählt. Parameter, die es hierbei zu beachten gilt, sind die Auflösung und Synchronisationsfähigkeit und ebenso geometrische Überlegungen zur Brennweite und zum Blickfeld. Eine Vorauswahl geeigneter Modelle findet sich in Tab. 22. Beide Hersteller unterscheiden sich geringfügig in der Brennweitenauswahl, was sich direkt auf das Sichtfeld und den Öffnungswinkel auswirkt. Die thermische Auflösung beider Systeme ist in ihrer Grundversion identisch. Infratec bietet höhere thermische Auflösung gegen einen Aufpreis an, wohingegen Flirs A65 nur in einer Version verfügbar ist. Alle Kameras aus Tab. 22 bieten das weitverbreitete Protokoll GigE-Vision als Schnittstelle. Videosignale können mit Hilfe eines „Framegrabbers“ erfasst und weiterverarbeitet werden. Ein weiterer Vorteil der Kameras ist deren Spannungsversorgung mittels Power-over-Ethernet (PoE). Dadurch werden, abgesehen von den nötigen Netzkabeln, keine zusätzlichen Kabel benötigt.

Tab. 22: Mögliche Wärmebildkameras mit ihren wichtigsten Eigenschaften

LWIR Kamera	Brennweite	Auflösung	Sichtfeld in 150m	Pixelgröße	therm. Auflösung	Preis	Ge-häuse
FLIR A65 25° x 20°	25	640x512	66m x 53m	17um	50mK	9000	800
FLIR A65 12.4° x 10°	50	640x512	33m x 26m	17um	50mK	9000	800
Infratec Head 600 30	30	640x480	80m x 60m	17um	30mK-50mK	15000	nb
Infratec Head 600 60	60	640x480	40m x 30m	17um	30mK-50mK	15000	nb

Aufgrund der großen Entfernung zwischen der Anlage und dem Kamerasystem, muss ein Kompromiss zwischen Sichtfeld und dem thermischen Detektionsvermögen gefunden werden. So erhält man zum Beispiel bei der Variante 3 aus Tab. 23 (Infratec Head 600 30) eine äquivalente Pixelfläche im Abstand von 150 m von 12,5 cm × 12,5 cm. Dies bedeutet, dass die zu detektierende Fledermaus in diesem Abstand nur durch einen oder wenige Pixel repräsentiert wird.

Tab. 23: Wärmebildkameras mit den verschiedenen Brennweiten und den äquivalenten Pixelflächen in einem Abstand von 150 m

LWIR Kamera	äquivalente Pixelfläche in 150 m in cm2
FLIR A65 25° x 20°	10 x 10
FLIR A65 12.4° x 10°	5 x 5
Infratec Head 600 30mm	12,5 x 12,5
Infratec Head 600 60mm	6,3 x 6,3

Die zeitliche Wiederholrate der Kamera sollte für diese Messaufgabe zwischen 10 und 15 Hz liegen. Bei 10 Hz wird eine Fledermaus, die im Abstand von 150 m mit 10 m/s parallel zur Kamera fliegt, alle 8 Pixel abgebildet (bei Verwendung der Infratec Head 600 30). Fällt die Wahl auf die FLIR A65 12.4° x 10°, liefert eine Fledermaus alle 20 Pixel eine Abbildung.

5.1.1.2 Weitere Systemkomponenten

Vervollständigt wird das System mit einem zentralen PC und Framegrabber als Verbindungsknoten und Datenspeicher beider LWIR Kameras. Der PC auf Basis eines kompakten Mini-ITX Mainboards und dem Framegrabber „PCIe-8237R“ von National Instruments bietet die Möglichkeit der Fernüberwachung und -steuerung mittels Ethernet. In einem wetterfesten Schaltschrank werden alle Systemkomponenten abseits der Kameras bodennah am Mast montiert. Das System muss nach Aufbau und Integration in das wetterfeste Gehäuse ebenso wie die Wärmebildkameras auf Temperaturstabilität geprüft werden. Industrie-PC Komponenten liefern einen erweiterten Temperaturbereich bis 60°C, die Framegrabber-Karte aber lediglich bis 55°C. Aus diesem Grund muss das System auf Hitzeentwicklung während Vollast geprüft werden. Gegebenenfalls muss eine zusätzliche Peltier-Kühlung ins Gehäuse integriert werden, um die Systemkomponenten vor Überhitzung zu schützen. Die Erfassung der Bilddaten wird entweder zeitgesteuert oder durch eine Echtzeiterkennung ausgelöst. Die gespeicherten Bilddaten werden lokal auf Festplatten (SSD) gespeichert. Die Daten müssen in regelmäßigen Abständen vom System heruntergeladen werden. Die Zeitintervalle, in denen die Daten gesichert werden müssen, hängt von der Triggerung der Aufnahmen und der damit verbundenen Datenmenge ab. Die Triggermethoden (zeit- oder eventgesteuert) müssen vorab im Labor und anschließend auch unter Realbedingungen evaluiert werden.

5.1.2 Umsetzung der Konzeptionierung

In Abb. 151 ist das grobe Konzept zur Detektion der 3D Flugbahnen dargestellt. Die Messdaten stammen von den zwei LWIR Kameras, darin werden die Flugbahnen in beiden Kameras segmentiert, einander in beiden Kameras zugeordnet und dann auf Basis einer Kalibrierung trianguliert. In den folgenden Abschnitten wird näher auf die einzelnen Teilschritte eingegangen.

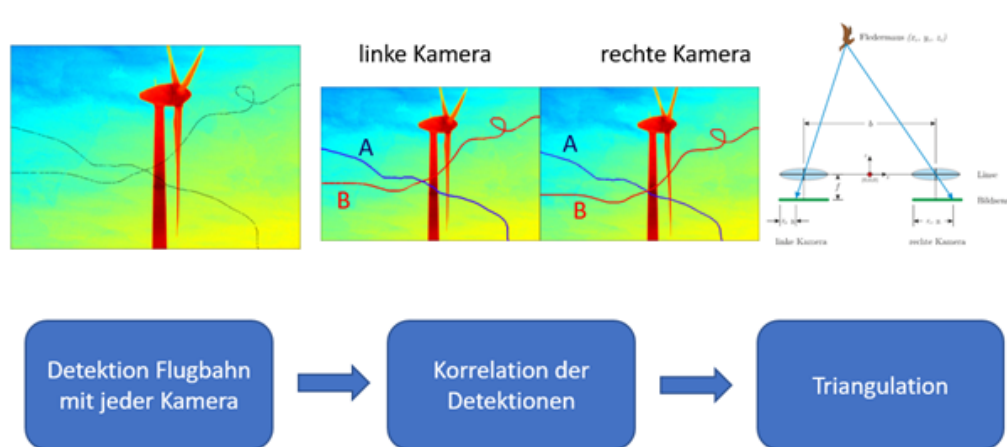


Abb. 151: Konzept zur Detektion der 3D-Flugbahnen

5.1.2.1 Hardware

Mit Hilfe der Hersteller wurden die verschiedenen Wärmebildkameras getestet. Aufgrund der hohen thermischen Auflösung mit 30 mK fiel die Entscheidung auf die VarioCam HDx head von Infratec mit einer Brennweite von 20 mm. Zusammen mit der Framegrabber Karte PCIe-8237R und einem PC wurde das System vollständig aufgebaut und in Betrieb genommen. Die Montage sowie der elektrische Anschluss am Mast wurden geplant. Um die sensiblen Wärmebildkameras doppelt vor der Umwelt zu schützen, wurde ein zweiter Wetterschutz konzipiert, der im Windtestfeld zum Einsatz kommen soll.

5.1.2.2 Software

Synchronisation der Kameras

Die beiden Kameras sind nicht synchronisiert und messen mit 30 Frames/s auf Basis eigener Taktung. Außerdem verfügen Mikrobolometer-Kameras über einen Kalibrierungsvorgang, der wiederholt ausgeführt wird und den Aufnahmevorgang wiederholend für den Bruchteil einer Sekunde unterbricht. Dadurch war es notwendig, das Zusammenpassen der internen Taktungen und das Verhalten während der Kalibrierung genauer zu untersuchen und dadurch die Synchronisation vor und nach einer Kalibrierung sicherzustellen. Des Weiteren werden manchmal Frames verworfen, wenn die Daten nicht schnell genug über den Ethernet-Anschluss auf den Computer übertragen werden können.

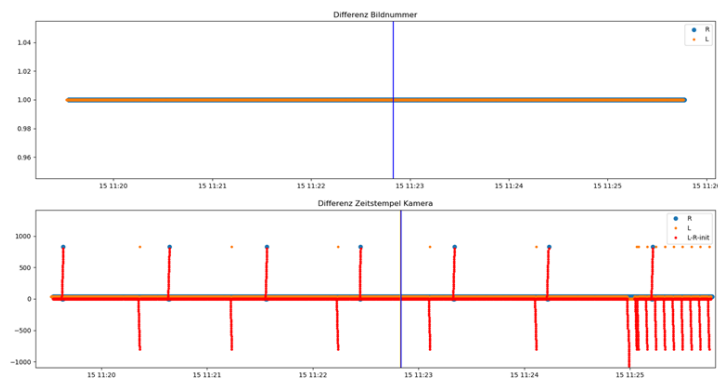


Abb. 152: Auf Basis der Auswertung der Bildnummern (oben) und der internen Zeitstempel (unten) werden Listen einander entsprechender Bilder beider Kameras erzeugt. Die Differenz der Zeitstempel beider Kameras (rot) zeigt die Kalibrierungsvorgänge. Das Ergebnis sind zwei gleich lange Listen einander entsprechender Bilder aus beiden Kameras und eine Überwachung, die bei anhaltenden Fehlern den Messvorgang neu starten kann.

Auch das muss softwareseitig detektiert und gelöst werden. Dafür werden in einem Skript die Daten analysiert und Abweichungen angezeigt, sodass fehlerhafte Zuordnungen detektiert und behoben werden können.

Segmentierung

Für die Triangulation wesentlich sind korrekt segmentierte Schwerpunkte der Tiere in beiden Kameras. Um dies besser einschätzen zu können, wurden bereits Algorithmen an bestehenden Wärmebildaufnahmen von Fledermäusen aus vorangegangenen Projekten getestet. Die Herausforderung liegt dabei in der Erkennung sehr kleiner Objekte, die nur einen bis wenige Pixel ausmachen. Die Form dieser Objekte gibt daher auch nur wenig Auskunft darüber, ob es sich dabei um z.B. um eine Fledermaus handelt. Des Weiteren weisen die Tiere auch keine fixierten Temperaturwerte auf (verschiedene Fledermausarten, Orientierung des Tieres, Variation der tatsächlichen Oberflächentemperatur des Tieres), wodurch bei der Segmentierung dynamische Schwellenwerte verwendet werden müssen. Verschiedene Rauschquellen im Bild (Sensorrauschen, Wolken, usw.) weisen ähnliche Wärmesignaturen auf, weshalb auch eine statische Segmentierung nahezu unmöglich wird. Deshalb war es notwendig, die Detektion nicht nur auf Einzelbilder zu beschränken, sondern den zeitlichen Verlauf zu betrachten, um Bewegung zu detektieren. Auf diese Weise können Flugbahnen von diversen Rauschquellen unterschieden werden.

Kalibrierung und Triangulation

Für eine genaue Triangulation muss die Orientierung der Kameras zueinander exakt bekannt sein (Abb. 153). Der Abstand der beiden Kameras am Messmast beträgt etwa 15 Meter. In dieser Entfernung ist es schwierig, die genaue Rotation der beiden Kameras zueinander exakt zu bestimmen. Vor allem die Drehung um die lotrechte Achse kann durch Störeinflüsse des Erdmagnetfeldes nicht genau bestimmt werden. Aber auch die anderen beiden Winkel lassen sich mit üblichen Messgeräten nur auf etwa 1° genau festlegen. Letztlich muss die Lage der beiden Kameras zueinander so genau bekannt sein, dass ein Fehler etwa nur ein Pixel auf dem Sensor beträgt. Deshalb muss auf eine Kalibrierung mit Hilfe von Bildverarbeitungsmethoden zurückgegriffen werden. Dabei werden die Kameras so zueinander montiert, dass sie in etwa denselben Punkt zentrieren. Das wird ungefähr die Gondel der Anlage sein.

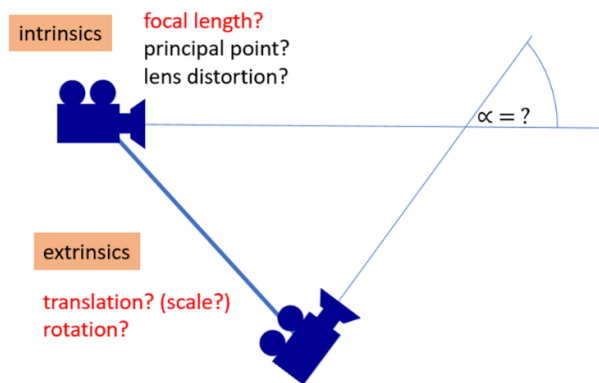


Abb. 153: Für die Triangulation ist eine genaue Bestimmung der Lage der beiden Kameras zueinander erforderlich (Intrinsische Parameter). Außerdem müssen auch die intrinsischen Parameter der Kameras bekannt sein.

Durch die Aufnahme eines Referenzobjektes bekannter Geometrie in verschiedenen Lagen (idealerweise mehrere 1000), können dann korrespondierende Punkte bzw. Längen in beiden Messbildern bestimmt werden, aus denen die Orientierung der beiden Kameras zueinander rekonstruiert werden kann. Die Punktkorrespondenzen führen über die Epipolargeometrie (Abb. 154) zur Fundamentalmatrix (Abb. 155 und Abb. 156). Diese ist jedoch noch bezüglich einer Skalierung in ein metrisches Koordinatensystem und eine perspektivische Verzerrung uneindeutig. Diese Uneindeutigkeiten können mit Hilfe des Referenzobjektes bekannter Geometrie beseitigt werden.

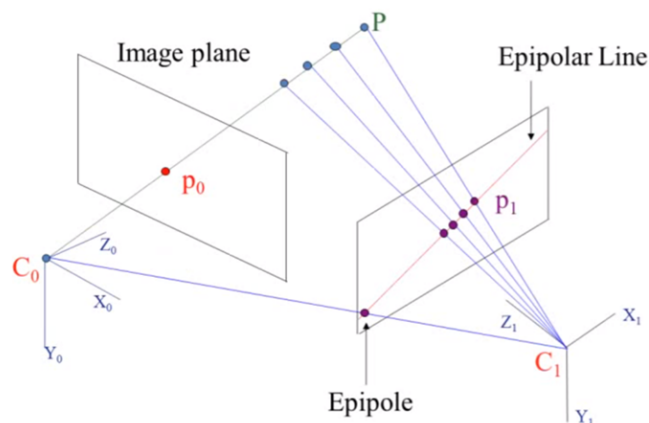
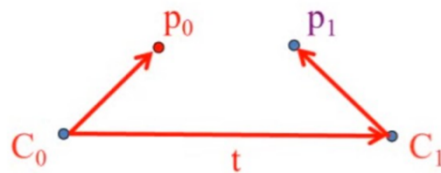


Abb. 154: Die Epipolargeometrie bildet die Grundlage für die Kalibrierung mit Hilfe von Punktkorrespondenzen.

Bei Kameras im sichtbaren Wellenlängenbereich kann dies zum Beispiel durch ein Schachbrettmuster geschehen. Bei Wärmebildkameras ist das nicht möglich, deshalb wurden als Referenz zwei Wärmepads verwendet, die durch ein Seil verbunden sind. Damit ist ein konstanter Abstand gewährleistet. Da die Kalibrierung idealerweise in dem Volumen erfolgen sollte, in dem später auch die Tiere detektiert werden, ist es notwendig, die Wärmepads möglichst im gesamten betroffenen Volumen zu verorten. Sie werden dafür an einer Drohne montiert, die durch das Volumen bewegt wird (siehe Abb. 157). In einem weiteren Schritt werden dann die zwei Punkte in jeder Kamera und in jedem Frame segmentiert.



$$p_0 \cdot (t \times R p_1) = 0$$

$$p_0^T \cdot [t]_x R \cdot p_1 = 0$$

F if $p_0 p_1$ in pixel coordinates
E if $p_0 p_1$ in normalized coordinates

Abb. 155: Definition Essential Matrix

Die koplanare Ebene lässt die Definition einer der sogenannten Essential Matrix zu, die Rotation und Translation der beiden Kameras zueinander beinhaltet.

Dazu wurde von uns eine Software in Python entwickelt, welche eine semi-automatische Verfolgung der beiden warmen Punkte ermöglicht und deren Schwerpunkte in Bildkoordinaten speichert. Die Liste mit den beiden Stabpunkten in jeweils zwei einander zugeordneten Frames beider Kameras stellt den Eingangsdatensatz für den oben beschriebenen Berechnungsvorgang zur Kalibrierung dar.

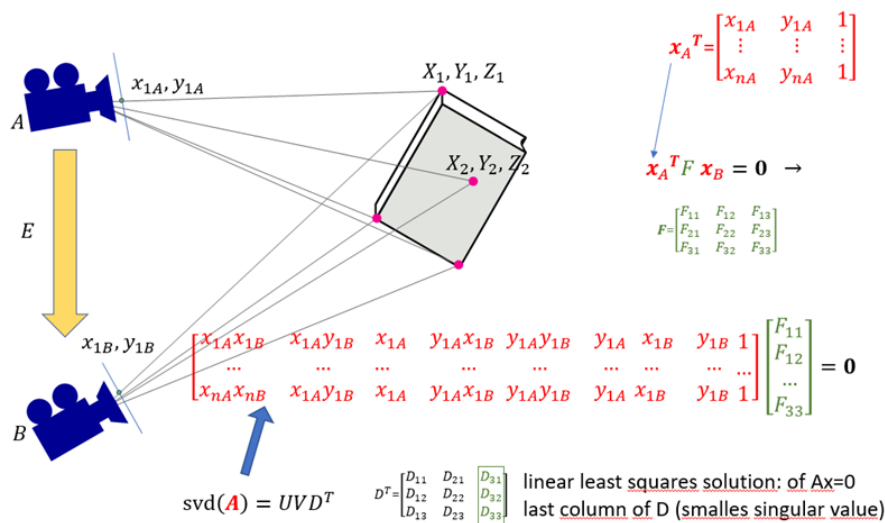


Abb. 156: Die Fundamentalmatrix ordnet die Punkte aus Bild A den Punkten aus Bild B zu.

Dies ist der erste Schritt zur Bestimmung der Orientierung beider Kameras. Sie kann aus vielen Punktkorrespondenzen mit Hilfe einfacher linearer Algebra bestimmt werden.

5.1.3 Ergebnisse

5.1.3.1 Segmentierung

Die jeweilige Objekttemperatur hängt von der Größe (Erwärmung des jeweiligen Pixels), Fluggeschwindigkeit (zeitliche Mittelwertbildung über Frames) und natürlich von der wahren Objekttemperatur ab. Ein Beispiel für eine Wärmebildaufnahme von zwei Wärmepads aus dem vorherigen Kapitel ist in Abb. 157 dargestellt. Die Hintergrundtemperatur hängt stark von Wetterparametern wie zum Beispiel Bewölkungsgrad ab. Deshalb hat sich zur Segmentierung eine adaptive Threshold-Methode etabliert, bei der in einem Suchbereich die lokale Temperaturverteilung herangezogen und der lokale Threshold-Wert dynamisch angepasst wird. Dabei wird für jeden Pixel ein Threshold-Wert auf Basis der Nachbarpixel berechnet. Parameter sind dabei die Größe der Nachbarschaft, die Methode zur Berechnung (Gaussian oder Mittelwert) und eine Konstante, die dazu addiert wird. So wird erreicht, dass der Threshold-Wert in jeder Umgebung relative Unterschiede berücksichtigt und so kleine Objekte mit unterschiedlicher Temperatur erkennen kann.



Abb. 157: Wärmepads zur Kalibrierung der Wärmebildkameras
Wärmepads sichtbar in Testaufnahmen zur Kalibrierung am Testgeländer der UMIT in Hall in Tirol (links). Die wurden für Testkalibrierungen im Abstand von mehreren Metern aufgestellt (rechts).

Zusätzlich wird der zeitliche Verlauf der Fortbewegung potentieller Kandidaten betrachtet und evaluiert. Dadurch soll geklärt werden, ob es sich dabei um eine Flugbahn handeln könnte. Rauschen im Bereich von Bewölkung zum Beispiel erzeugt kurze scheinbare Flugbahnen, die aber keine eindeutige Fortbewegung aufweisen und damit ausgeschlossen werden. In Abb. 158 ist das Ergebnis einer solchen Analyse mit Mathworks Matlab anhand einer Wärmebildaufnahme dargestellt. Die roten Punkte stellen potentielle Kandidaten für Flugbahnen dar, die allerdings aufgrund von Wolkenrauschen zustande gekommen sind. Die blauen Linien sind tatsächlich detektierte Flugbahnen von Fledermäusen, die mit freiem Auge in diesem Wärmebildvideo nicht sichtbar sind.

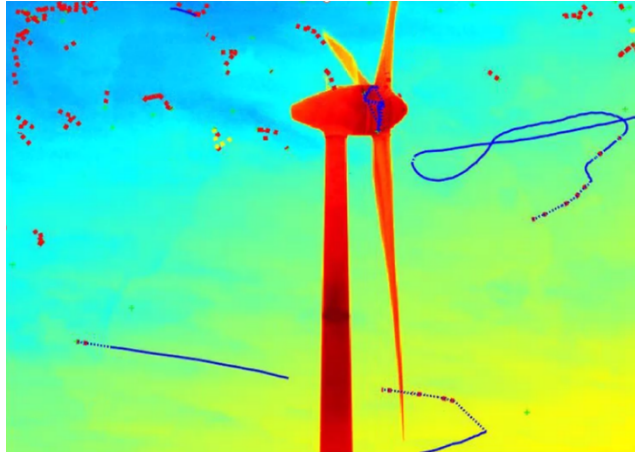


Abb. 158: Evaluierung eines Algorithmus zur Flugbahndetektion
 Um verschiedene algorithmische Ansätze zu testen, werden Wärmebildaufnahmen von Fledermäusen aus vorangegangenen Projekten verwendet.

5.1.3.2 Kalibrierung und Triangulation

Vorraussetzung zur Stereo-Triangulation ist eine erfolgreiche Kalibrierung. Dann können z.B. Fledermäuse, die von beiden Kameras erfasst werden, trianguliert werden. In Abb. 159 ist eine erste Kalibrierung mit Hilfe der Drohne zu sehen. C1 und C2 stellen dabei die Lage und Orientierung der beiden Kameras an. Solange die Lage der beiden Kameras nicht verändert wird, ist keine erneute Kalibrierung notwendig. Wir erwarten deshalb, dass wir die Kalibrierung im Feld bis auf etwaige Veränderungen des Messvolumens nur einmal sorgfältig durchführen müssen.

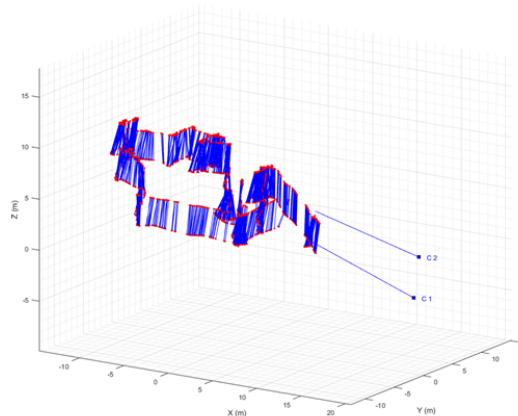


Abb. 159: Kalibrierung mit Hilfe einiger hundert Aufnahmen der beiden Wärmepads (rot).
 Die maximale Entfernung beträgt 30 m. C1 und C2 markieren die berechneten Standorte der beiden Kameras.

Um sicherzustellen, dass auch Objekte in größeren Volumina rekonstruiert werden können (im Vergleich zu der Kalibrierung aus Abb. 159), wurden weitere Testkalibrierungen durchgeführt.

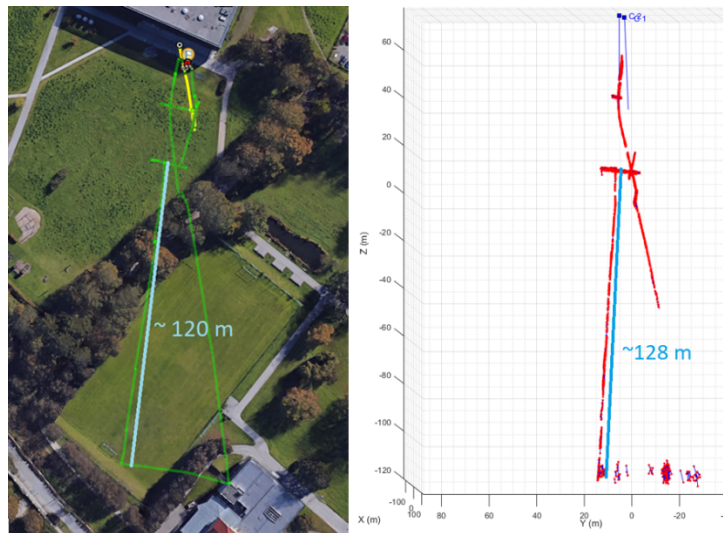


Abb. 160: GPS Flugbahn der Drohne (links) und berechnete 3D Punkte aus den Daten der beiden Wärmebild-Kameras (rechts).

Dabei flog die Drohne so wie im vorherigen Kapitel beschrieben mit zwei Wärmepads ausgerüstet bis zu einer Entfernung von etwa 200m. Danach wurden die Stabpunkte in mehreren tausend Frames segmentiert und eine Kalibrierung durchgeführt. Links in Abb. 160 ist der GPS-Track der Drohne in Google Earth dargestellt, rechts ist die Draufsicht auf die 3D rekonstruierten Wärmepads zu sehen. Die Kameras wurden hier in einem Abstand von etwa 5 Metern aufgestellt. Im Testfeld werden die Kameras einen Mindestabstand von etwa 15 Metern aufweisen, wodurch die Tiefenauflösung jedenfalls besser wird. In dieser Kalibrierung sind die Punkte bis zu etwa 150 Metern Abstand sehr genau ($< 20\%$ Standardabweichung der Stablänge) und erst die am weitesten entfernten Stabpunkte sind so ungenau, dass sie zu einer Variation der Stablänge führen ($> 20\%$ Standardabweichung). Die gemessenen Referenzlängen in Abb. 160 (120 m und 128 m) unterscheiden sich um etwa 6.6%. Das kann durch mehrere Drohnenflüge (und fixierten Kameras) im Testfeld vermutlich noch verbessert werden.

GPS basierte Kalibrierung

Aufgrund der Abweichung der oben beschriebenen Kalibrierungsmethode, entstand die Idee der großräumigen Kalibrierung mittels GPS-Koordinaten. Bei der zuvor beschriebenen Methode dienen die GPS-Positionen lediglich zur Nachkontrolle und Plausibilitätsprüfung. Die eigentliche Referenz auf ein reales Koordinatensystem in Meter geschieht durch den bekannten Abstand der beiden Wärmequellen. Da dieser Abstand aufgrund des Flugverhaltens limitiert ist, beeinflusst er maßgeblich die Genauigkeit der Kalibrierung.

Für die großräumige Kalibrierung wird eine Wärmequelle direkt an der Drohne platziert und mit ihr ein spezielles Muster abgeflogen. Anschließend müssen die Aufnahmen beider Wärmebildkameras mit dem Drohnenflug zeitlich synchronisiert werden. Die zeitlich synchronisierten Daten wurden anschließend auf eine identische Abtastfrequenz interpoliert, um somit äquivalente Positionen zwischen Wärmebildkameras und GPS-Koordinaten zu erhalten. Daraufhin ergibt der Drohnenflug ein großräumiges Muster mit absoluten Koordinaten und äquivalenten Detektionen auf beiden Wärmebildkameras. Dieses Muster überspannt idealerweise den gesamten Messereich, um eine möglichst große Genauigkeit in allen Bereichen zu gewährleisten. Abb. 161 zeigt einen Ausschnitt eines Kalibrierungsflugs mit den aufgezeichneten GPS-Koordinaten und der Rekonstruktion anhand der Stereo-Wärmebildkame-

ras. Diese Methode bietet eine hohe Genauigkeit im gesamten Messbereich sowie den Vorteil einer einfachen Durchführbarkeit.

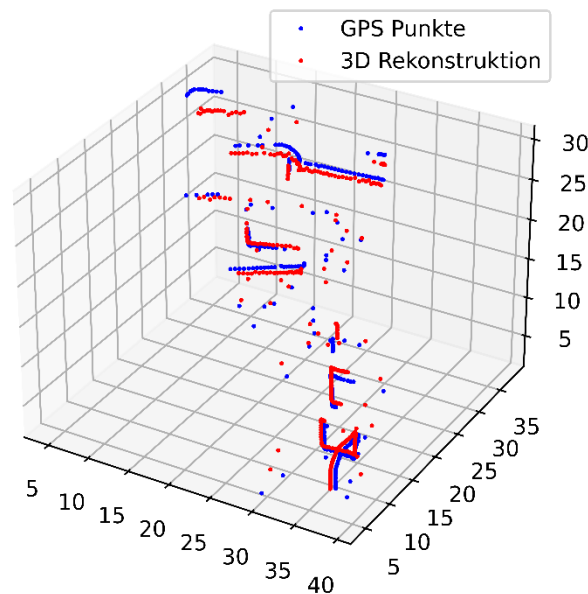


Abb. 161: Auszug eines Kalibrierungsfluges der Drohne an der UMIT in Hall in Tirol
blau: GPS-Koordinaten aufgezeichnet durch die Drohne; rot: Rekonstruktion der Flugbahn durch die beiden Wärmebildkameras

5.1.3.3 Aufnahmen im Windtestfeld

Vom 10.08.2021 bis 12.08.2021 wurde das System am NW Mast auf dem Windtestfeld installiert. Während dieser Zeit wurden mehrere Kalibrierungsflüge sowie Dauermessungen durchgeführt.



Abb. 162: Obere Wärmebildkamera montiert am NW-Mast in einer Höhe von 20 m

Das System lieferte in zwei aufeinanderfolgenden Nächten insgesamt 7h Aufnahmen und es wurden 460 GB an Daten aufgenommen für die Evaluierung des Systems. Abb. 163 zeigt beispielhaft eine Wärmebildaufnahme, in der der NE Mast und die im Hintergrund existierenden Windenergieanlagen zu sehen sind. Weiterhin zeigt Abb. 164 die GPS-Flugbahnen der durchgeführten Kalibrierungsflüge. Die Flüge wurden im gesamten Flugraum zwischen NW- und NE-Mast durchgeführt, um eine möglichst große Abdeckung der Kalibrierung im späteren WEA-Raum zu erzielen. Die Rekonstruktion und Evaluierung der Kalibrierungsflüge ist

in Bearbeitung und wird bis zum Ende der Phase 1 fertiggestellt. Ebenso befinden sich die nächtlichen Monitoringzeiten in der Auswertung.

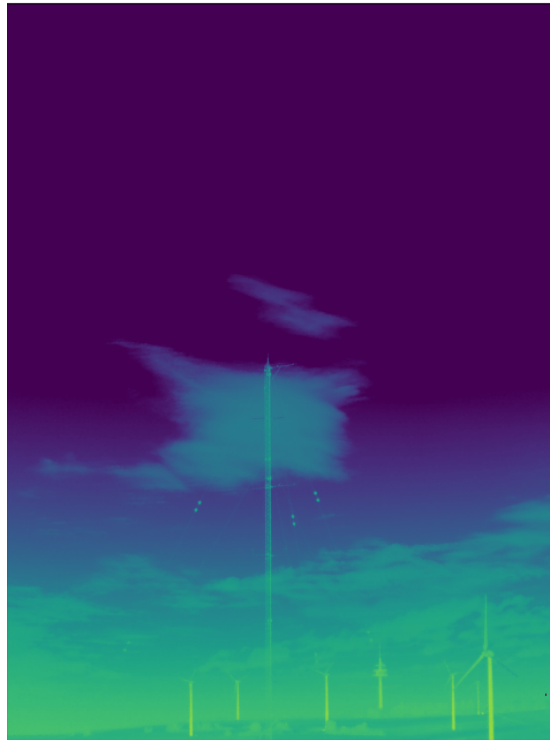


Abb. 163: Wärmebildaufnahme im Windtestfeld; Blick vom NW-Mast Richtung NE-Mast
blau: kältere Bereiche; gelb: warme Bereiche

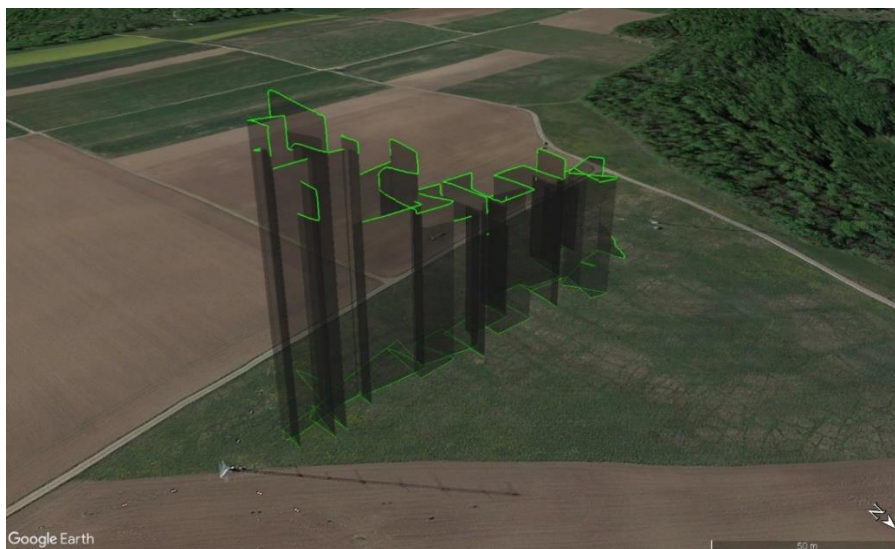


Abb. 164: Kalibrierungsflug im Windtestfeld zwischen den Messmasten bis zu einer Höhe von 100 m

5.2 Wärmebild-Schlagopfererfassung

Im Rahmen dieses Projekts wurde ein automatisches Schlagopferdetektionssystem für Vögel und Fledermäuse entwickelt. Dieses System erlaubt die zeitliche Erfassung von Schlagopfern am Tag mittels Tageslichtkameras (VIS) sowie die nächtliche Detektion mittels Wärmebildkameras (LWIR). Durch den automatisierten Dauerbetrieb und die Fernwartung kön-

5.2.1.1 Kameras

Aufgrund der geringeren Abstände und anderer Anforderung als beim Stereosystem soll hier als LWIR Kamera das kostengünstigere Modell Boson 640 von Flir zum Einsatz kommen. Je nach Brennweite und thermischer Auflösung liegen die Preise der Wärmebildkamera bei ca. 3000-4000 EUR. An warmen Tagen bieten Bodenaufnahmen einer LWIR Kamera zu wenig Kontrast zwischen Schlagopfern und dem Untergrund. Aus diesem Grund wurde das System zusätzlich mit einer UV-VIS-NIR-Kamera ausgerüstet, um mit Hilfe unterschiedlicher Filter Aufnahmen verschiedener Spektralbereiche speichern zu können. Im Laborversuch wurde geprüft, welche Spektralbereiche den höchsten Kontrast zwischen Schlagopfern und Untergrund im Tageslicht aufweisen. Aus der Infrarotfotographie sind Besonderheiten der Reflexionseigenschaften von Licht mit Wellenlängen im nahen Infrarotbereich phototropher Pflanzen bekannt (siehe Abb. 167). Erste Versuche im nahen Infrarotbereich lieferten deutliche Kontraststeigerung zu herkömmlichen VIS Aufnahmen zwischen phototropher Vegetation und Vögeln (siehe Abb. 168).

5.2.1.2 Systemkomponenten

Die Software und Hardware zur automatisierten Datenaufzeichnung und Systemüberwachung bieten eine große Schnittmenge mit der des Stereosystem zur kleinräumlichen Verortung. Aus diesem Grund wurde zur Steuerung der Kameras und Speicherung der Daten analog zum Stereosystem ein PC als Verbindungsknoten aufgebaut. In diesem zentralen Punkt werden alle aufgenommenen Daten gespeichert. Weiterhin haben wir auf dem PC eine Echtzeitevaluierung implementiert, die allen erkannten Objekten eine Wahrscheinlichkeit zuordnet. Erkennungen hoher Wahrscheinlichkeit werden durch Fernabfrage manuell nachkontrolliert. Hierzu erstellt der PC Übersichtsgrafiken und stellt diese sowie die Rohdaten (Bilder) der detektierten Objekte per Fernabfrage (Ethernet) zur Verfügung.

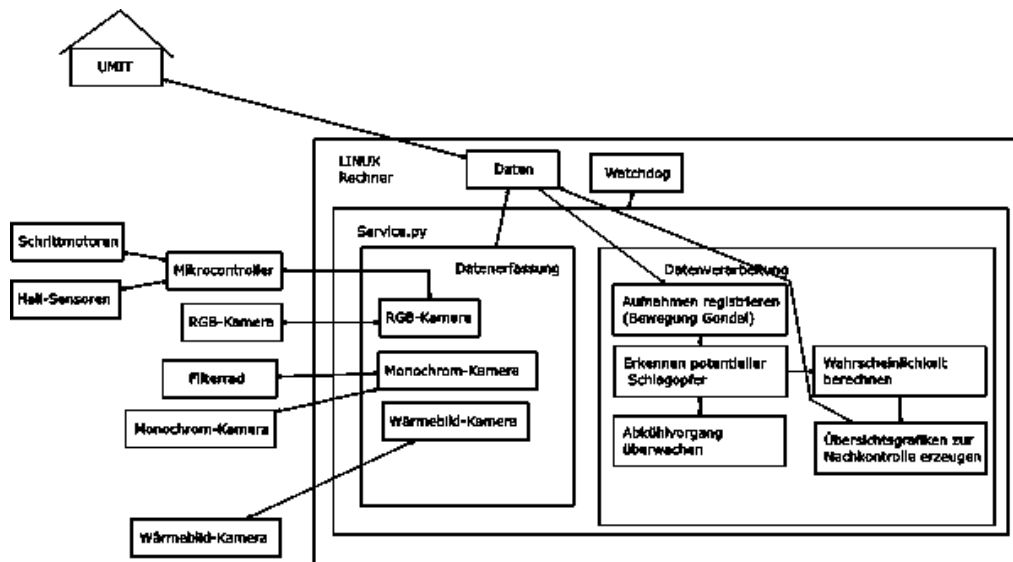


Abb. 166: Schema des Systems mit Hardware- und Softwarekomponenten.

Das Konzept wurde in Abb. 166 skizziert. Ein Linux-Rechner wird zur Steuerung der Hardware-Komponenten, zum Sammeln und Auswerten der Daten verwendet. Der Rechner wurde zusammengestellt, um einerseits dem geringen Platzbedarf in der Gondel und andererseits der Leistung zur Bildverarbeitung gerecht werden zu können. Das System wurde aufgebaut und alle Teilkomponenten in Betrieb genommen.

5.2.1.3 Tageslichtaufnahmen – automatische Detektion

Dazu kommt unter anderem eine Tageslichtkamera zum Einsatz, die das reflektierte Sonnenlicht aufnimmt. Dafür wurde eine Monochrom-Kamera der Firma Flir ausgewählt, die in den Bereichen UV, des sichtbaren Lichtspektrums und im nahen Infrarot sensibel ist. Auch das Objektiv wurde passend dazu ausgewählt, um ebenfalls im UV und Infrarot eine ausreichende Transmission aufzuweisen. Ein elektronisch steuerbares Filterrad und passende optische Filter wurden angeschafft, um Aufnahmen derselben Szene in verschiedenen Spektralbereichen aufnehmen zu können. Dadurch soll ein möglichst großer Kontrast zwischen Objekt und Hintergrund erzielt werden. Nachdem der Hintergrund im Fall der Anlage auf dem Testfeld hauptsächlich aus Vegetation (insbesondere Wiese) besteht, wurde dies als Grundlage zur Auswahl der Filter verwendet. Dazu wurden im Vorhinein Aufnahmen mit einem Spektrometer angefertigt (siehe Abb. 167).

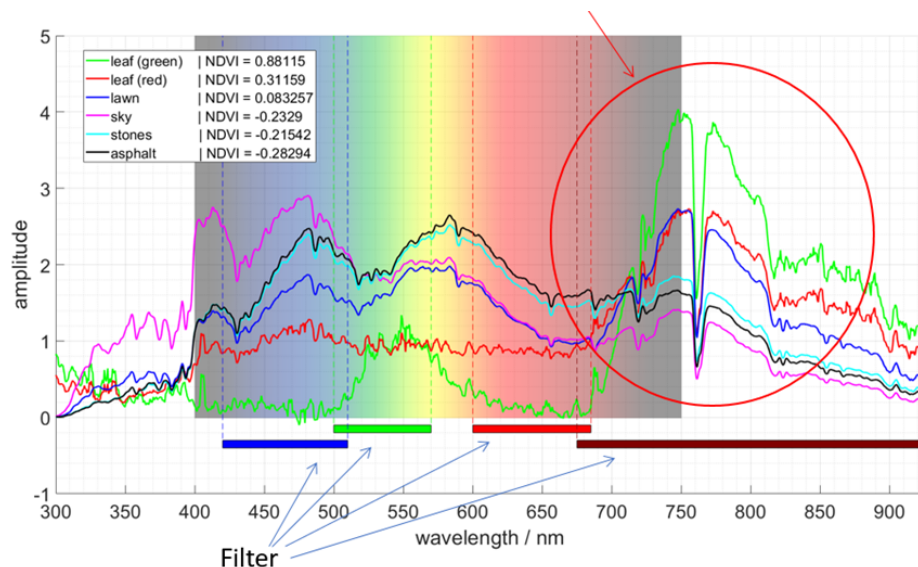


Abb. 167: Mit einem Spektrometer aufgenommene normalisierte Kurven, welche die Reflektivität verschiedener Oberflächen charakterisieren.

Unten sind als Balken die Bereiche der Filtergläser dargestellt, die auf Basis dieser Kurven angeschafft wurden. Der rote Kreis kennzeichnet den Bereich, in dem Vegetation (grün bzw. rote und blaue Kurve) wesentlich stärker reflektieren als andere Oberflächen.

Die Aufnahmen mit dem Spektrometer zeigen, dass Vegetation eine verhältnismäßig starke Reflektivität von Licht im Bereich zwischen etwa 700nm und 800nm aufweist. Weiterhin wird Licht zwischen etwa 600 nm und 675 nm vergleichsweise stark absorbiert. Diese Wellenlängenbereiche verwendet beispielsweise die NASA, um die Vegetation auf der Erde durch Satellitenbilder zu beurteilen. Der NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) stellt ein Maß für die Menge und Gesundheit der Vegetation dar und kann durch

$$NDVI = \frac{NIR - Rot}{NIR + Rot}$$

berechnet werden. Er nutzt die Eigenschaften der Reflektion von Vegetation durch Differenzenbildung maximal aus. Dies beruht auf der Tatsache, dass Pflanzen vor allem im nahen Infrarot viel reflektieren und Rotanteile beinahe vollständig absorbieren. In diesem Versuch kann eine menschliche Hand am besten mit dem NDVI detektiert werden.



Abb. 168: Dieselbe Szene mit verschiedenen Filtern aufgenommen.

Daher sind optische Bandpass- und Tiefpassfilter notwendig, die diese Bereiche gut abbilden. Praktischerweise werden geeignete Filter für die Astrofotografie eingesetzt und sind deshalb auch für ein elektronisch steuerbares Filterrad erhältlich, welches ebenfalls vorwiegend für die Astrofotografie entwickelt wurde. Die Kamera und das Objektiv wurden so ausgewählt, dass der Objektivdurchmesser optimal zur Größe der verwendeten 2 Zoll Filter passt. In der Abb. 168 sind Testaufnahmen mit verschiedenen Filtern zu sehen. Die Bilder repräsentieren die Intensität der Strahlung in den Wellenlängen-Bereichen als Grauwertrepräsentation, wobei helle Bereiche hohe Werte darstellen. Abb. 168 zeigt dabei ebenfalls die hohe Reflektivität von Vegetation im nahen Infrarot und die hohe Absorption bei Rot.

Spektrale Reflexion von Vögeln

Im Archiv der Tiroler Landesmuseen hatten wir die Möglichkeit, die spektrale Reflexion an verschiedenen Vögeln direkt zu überprüfen und diese mit den Reflexionen der Vegetation zu vergleichen. Abb. 169 zeigt einen Rotmilan mit den eingezeichneten Messpunkten für die Reflexion.



Abb. 169: Messpositionen für spektrale Reflexion an einem Rotmilan der Tiroler Landesmuseen.

Abb. 170 zeigt die spektrale Reflexion des Rotmilans. Alle drei Messpunkte liefern einen deutlichen Unterschied zur Vegetation (grüne Kurve) im nahen Infrarotbereich. Daraus folgt ein hoher Kontrast zwischen Tier und Hintergrund in den späteren Kameraaufnahmen. Alle

betrachteten Vogelarten lieferten ähnliche Ergebnisse. Lediglich Teile des sehr hellen Federkleids von Turmfalken und Sperbern ergeben einen geringen Unterschied der Reflexionseigenschaften zum Hintergrund.

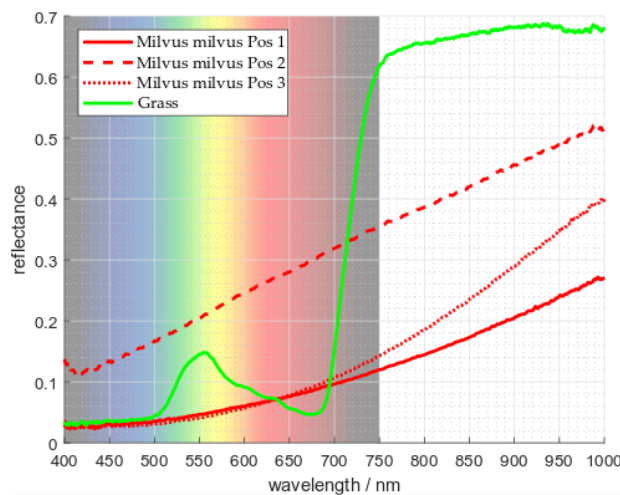


Abb. 170: Spektrale Reflexion der Vegetation sowie der drei Messpunkte des Rotmilans

5.2.1.4 Tageslichtaufnahmen - manuelle Nachkontrolle

Nachdem einerseits nur wenige Schlagopfer erwartet werden und andererseits aber insgesamt viele Bewegungen in den Aufnahmen vorhanden sein können (bewegtes Gras, Tiere am Boden, vom Wind verwehte Blätter, usw.), wird vor allem in der Testphase die Detektionsschwelle niedrig eingestellt. Dadurch werden viele falsch positive Detektionen erwartet. Deshalb ist eine manuelle Nachkontrolle sinnvoll.

Deshalb wurde eine Kamera mit einem RGB (Rot-Grün-Blau) Sensor ausgewählt, da dies im Gegensatz zu den Aufnahmen mit der Monochrom-Kamera der menschlichen Interpretation zuträglicher ist. Die Kamera soll einen wesentlich kleineren Bildausschnitt aufnehmen, weshalb ein Objektiv mit größerer Brennweite zum Einsatz kommen wird. Wir haben uns dabei für die etwa 4-fache Brennweite der Monochrom-Kamera entschieden. Damit trotzdem der gesamte Bereich unter der Anlage aufgenommen werden kann, wurde dafür eine um zwei Achsen schwenkbare Plattform verwendet, die mit Schrittmotoren bewegt wird. Zur Steuerung kommt ein Mikrocontroller (Arduino Uno) mit Motortreibern zum Einsatz (Abb. 171). Außerdem sind in der Plattform zwei Hall-Sensoren so verbaut, dass in eine baulich definierte Null-Position mit dem Mikrocontroller detektiert werden kann. Der Mikrocontroller wurde so programmiert, dass die schwenkbare Einheit komfortabel per serieller USB-Schnittstelle initialisiert und gesteuert werden kann. Die Kamera wurde mit gefrästen Metallteilen auf der Plattform installiert.

5.2.1.5 Aufnahmen in der Nacht / Dämmerung

Fledermäuse sind hauptsächlich in den Dämmerungs- und Nachtzeiten aktiv. Deshalb verwenden wir zusätzlich eine passende Wärmebildkamera (Flir Boson 640 40mK). Die Tiere werden mit der Kamera am Boden unter der Anlage detektiert und der Abkühlvorgang über die Zeit betrachtet. Das plötzliche Auftreten, die Bewegung und der Abkühlvorgang sollen ausreichend Hinweise auf ein Schlagopfer liefern. Um die Parameter richtig einstellen zu können, wurden Fledermaus-Phantome entwickelt, die auf eine bestimmte Temperatur erwärmt werden können und einem ähnlichen Abkühlverhalten unterliegen. Die Phantome werden in einem temperaturregulierten Wasserbad auf die gewünschte Temperatur gebracht.

Das System ist mobil und benötigt nur einen normalen Stromanschluss und kann so auch auf der Anlage problemlos eingesetzt werden.

5.2.2 Umsetzung der Schlagopferkamera

5.2.2.1 Hardware

Alle Komponenten des Systems wurden auf Funktionalität geprüft und im Labor getestet. Dazu wurde bereits der aufgebaute PC verwendet, der auch im Windtestfeld zum Einsatz kommen soll. Dieser wird mit einem Linux Betriebssystem verwendet und das gesamte System wird mit Ausnahme der Treiber über ein Python-Skript gesteuert. Dazu wurde ein Dienst implementiert, der bei Ausfall automatisch neu gestartet wird und Ausfälle sowie andere Ereignisse zur späteren Nachvollziehbarkeit dokumentiert. Der Rechner startet nach einem Stromausfall ebenfalls selbstständig neu. Es ist möglich einen gemeinsamen Zeitserver einzustellen, damit eine einfache Synchronisierung mit anderen Messdaten am Windtestfeld möglich ist. Der Computer steuert sowohl das automatische Filterrad, alle drei Kameras als auch den Mikrocontroller der schwenkbaren Einheit. Die Komponenten der Schwenkeinheit wurden in einem Aufbau mit Aluprofilen zu einem ersten Prototyp verschraubt, sodass auch die restlichen Kameras den nötigen Platz finden (siehe Abb. 171).

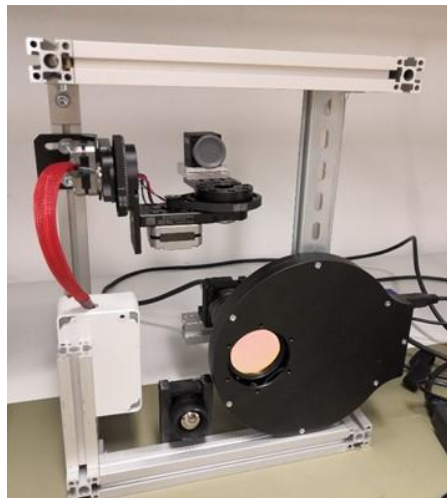


Abb. 171: Anordnung der Schlagopferkameras.

Das System besteht aus einer Wärmebildkamera (unten links), einer Kamera mit Filterrad (unten rechts) und einer schwenkbaren RGB-Kamera zur manuellen Nachkontrolle mit Steuereinheit.

Bei der Auswahl der Komponenten musste darauf geachtet werden, dass alle beteiligten Systemkomponenten für die Detektion bei Tageslicht für eine Anwendung zusammen mit dem Filterrad geeignet sind. Besonders das Objektiv (Abb. 172) und der Sensor (Abb. 174) mussten durchlässig bzw. sensitiv für nahes Infrarot sein, da dieser Bereich für die Detektion von besonderem Interesse ist. In Abb. 173 sind die Transmissionskurven der verwendeten Filter zu sehen. Alle Kurven zusammen geben Auskunft über die resultierende Sensitivität für die ausgewählten Wellenlängenbereiche.

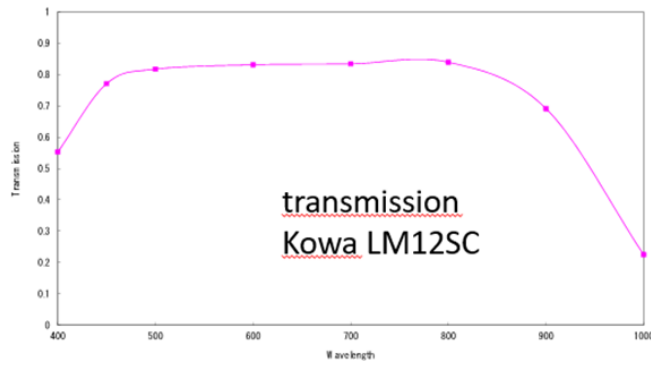


Abb. 172: Transmissionskurve des Objektivs.
Um einen möglichst guten Kontrast zwischen Vegetation und Tieren zu erhalten, ist es wichtig, dass auch das Objektiv für Wellenlängen ab 700 nm durchlässig ist.

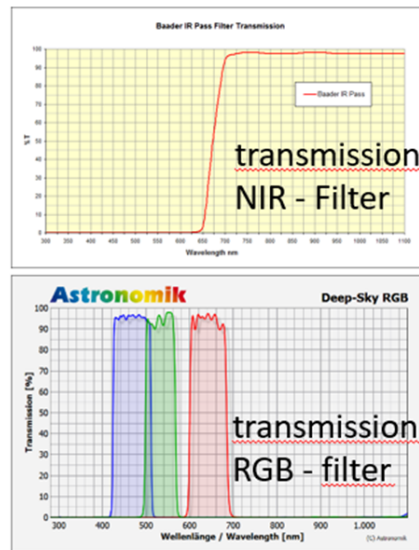


Abb. 173: Transmissionskurven der verwendeten Filter.
Der NIR - Filter ist ein Lowpass-Filter und wird ab etwa 675nm durchlässig.

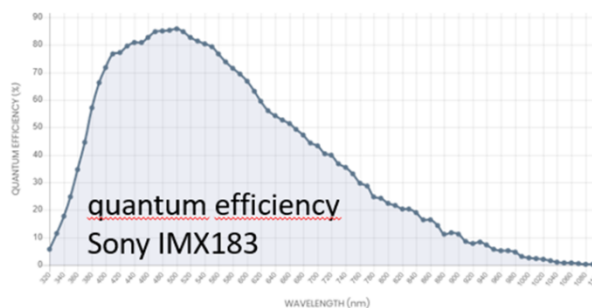


Abb. 174: Nachdem die meisten Kamera-Sensoren für Anwendungen im visuellen Spektrum ausgelegt sind, ist es notwendig, dessen Sensitivität bei längeren Wellenlängen zu betrachten.
Zwischen 700 und 800 nm ist diese noch ausreichend für die beabsichtigte Verwendung.

Für die Montage des Aufbaus in der Gondel wurde zusammen mit dem ZSW ein Konzept ausgewählt, das die Integration in eine entfernbare Bodenplatte im hinteren Teil der Gondel vorsieht. Dies ist in Abb. 175 zu sehen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Montage möglichst exzentrisch zum Turm realisiert werden kann, um dessen Abschattungsbereich gering zu halten.

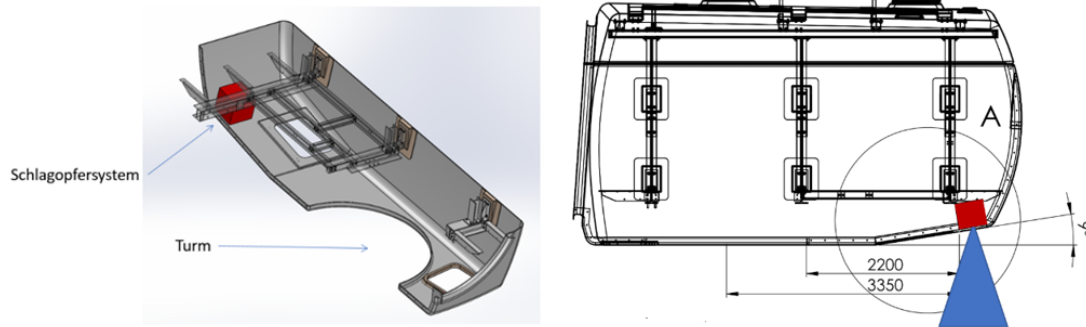


Abb. 175: Montage des Schlagopfersystems (rot) in der Gondel der WEA mit Blickrichtung (blau) nach unten.

5.2.2.2 Konzeptionelle Ergebnisse

Tageslichtaufnahmen

Testaufnahmen mit einem dunklen Testobjekt (Rabe) zeigten, dass ein guter Kontrast zwischen dunklen Tieren und einem Wiesenhintergrund mit dem NIR-Filter erzeugt werden kann (Abb. 176 und Abb. 177). Durch zeitlich versetzte Aufnahmen mit verschiedenen Filtern erzeugt die Berechnung des NDVI hier einen schlechteren Kontrast, weshalb sich gezeigt hat, dass kleine dunkle Tiere am besten nur mit NIR-gefilterten Bildern detektiert werden (siehe Abb. 177). Dies bringt auch den Vorteil mit sich, dass während der Detektion die Filter nicht gewechselt werden müssen.

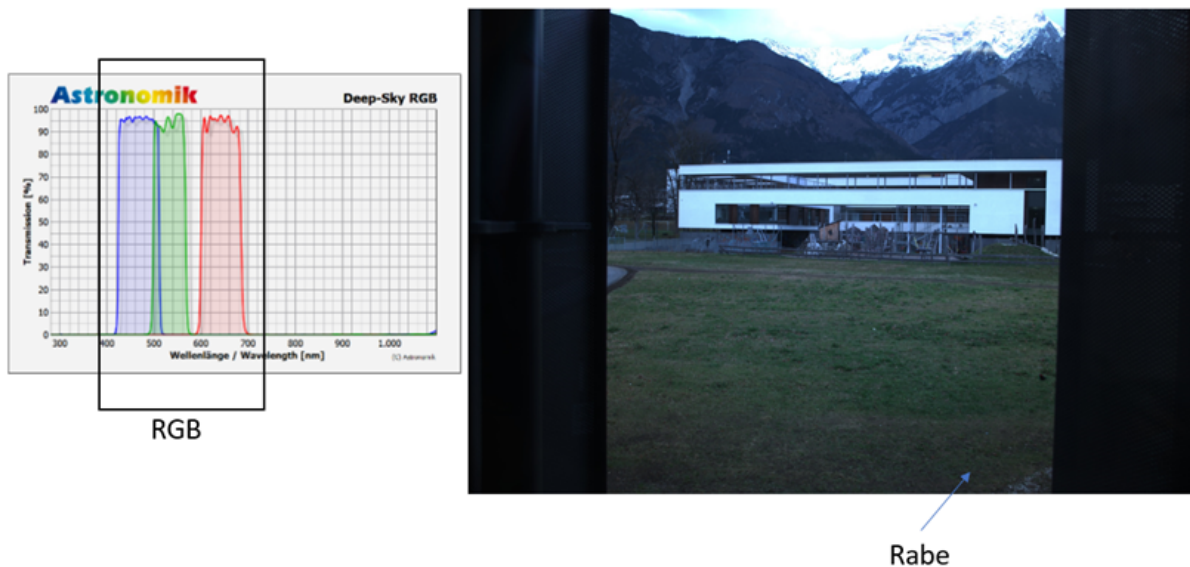


Abb. 176: Testaufnahme von einem Raben, der in der Wiese sitzt. In dieser Abbildung wurde eine RGB-Aufnahme aus den RGB-Filtern zusammengestellt.

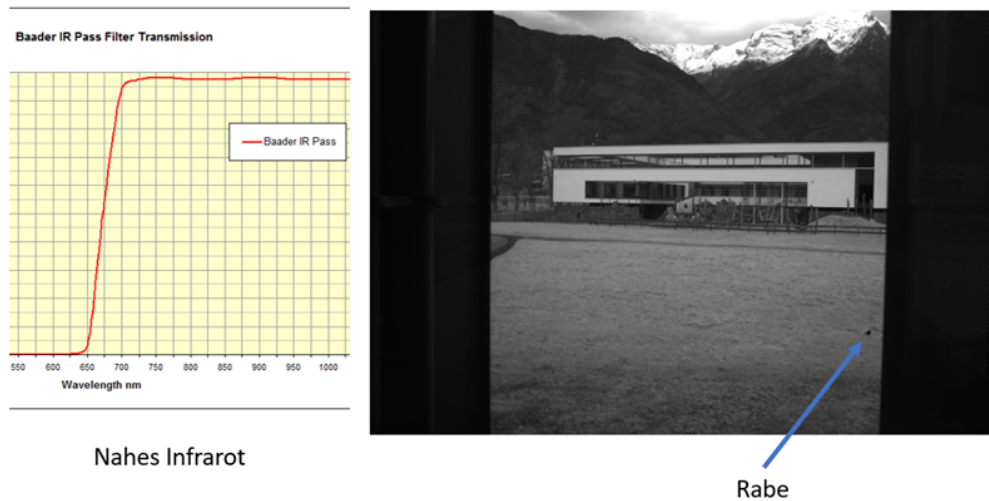


Abb. 177: Testaufnahme zeigt denselben Raben aus Abb. 176, der mit dem NIR-Filter aufgenommen und als Grauwert-Bild dargestellt wurde.

Da aber besonders die Detektion von kleinen Flugtieren im erwarteten Abstand von etwa 70 Metern interessant ist, wurden Testaufnahmen mit einer toten Zwergfledermaus im Abstand von etwa 70 Metern durchgeführt (Abb. 179). Das Tier ist etwa 5 Zentimeter groß. Dafür wurde das unten beschriebene Verfahren zur Detektion mit Hilfe zeitlich versetzter Mittelwertbilder angewandt.

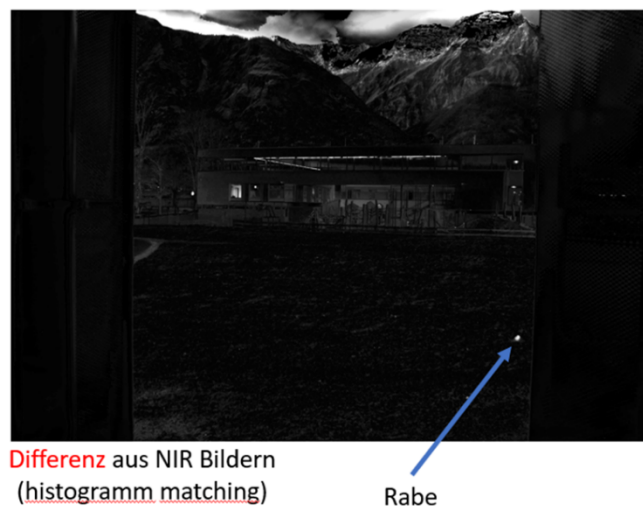


Abb. 178: Differenzbildung zeigt, dass der Rabe auf Basis von NIR-Bildern einfach detektierbar wird.

Die Auswertung zeigt, dass die Fledermaus eindeutig detektiert werden konnte (Abb. 180). Die Differenz wird hier wie später beschrieben nicht aus Einzelbildern gebildet, sondern aus zeitlich versetzten gleitenden Mittelwerten. Dadurch sieht man zum Beispiel die Person an der Stelle im Bild, an der sie gewartet hat, aber nicht, wie sie die Fledermaus an die detektierte Stelle gelegt hat.



Abb. 179: Originale NIR Testaufnahme der Zwergfledermaus in 70 Metern Abstand.

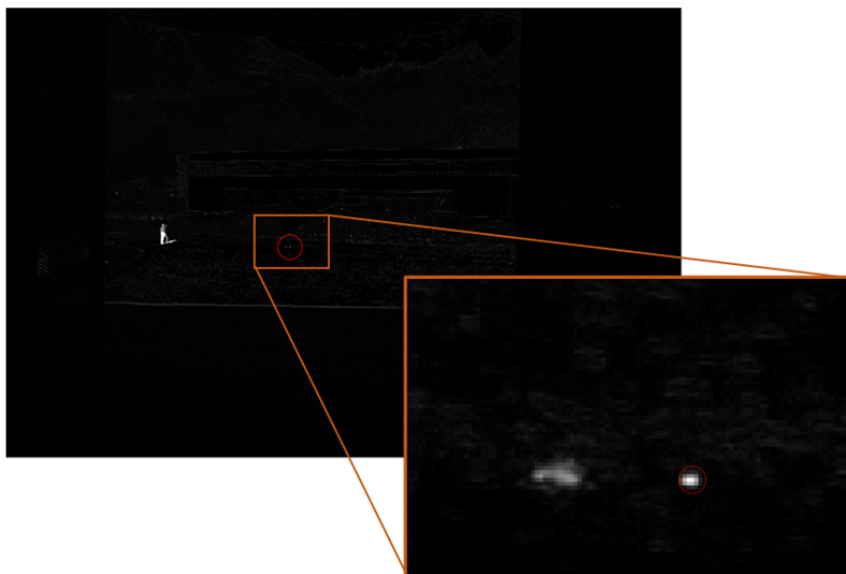


Abb. 180: Mit Mittelwert-Differenzbild-Verfahren erzeugte Bilder der toten Zwergfledermaus im Abstand von etwa 70 Metern einige Sekunden nachdem sie dort in der Wiese platziert wurde.
 Im Detailbild ebenfalls erkennbar sind die Fußspuren, die bei der Platzierung des Tieres entstanden sind.

Aufnahmen bei Nacht

Für die Aufnahmen in der Nacht wird eine Wärmebildkamera verwendet. Eine entsprechende Aufnahme eines Testszenarios ist in Abb. 181 zu sehen, in der ein Testobjekt mit einer Temperatur von 42°C in einer Entfernung von etwa 80 Metern abgebildet wurde. Die Pixelanzahl des warmen Objekts ist gering, aber dennoch ist das Objekt deutlich erkennbar und ein plötzliches Fehlen/Erscheinen ist gut detektierbar. Die Aufnahme wurde bei Tageslicht gemacht, in der Dämmerungszeit sind Detektionen mit durchaus höherer Entfernung bzw. geringeren Temperaturunterschieden möglich.



Abb. 181: Testaufnahme bei Tageslicht.
 Das Testobjekt hat etwa 42°C, befindet sich im Abstand von etwa 80 Metern und hat etwa die Größe einer Handfläche.

Um die Erkennung und insbesondere den Abkühlvorgang mit der Wärmebildkamera testen zu können, wurden Phantome in der Größe von Fledermäusen entwickelt, die auf eine bestimmte Temperatur erwärmt werden können und anschließend abkühlen. Der Abkühlvorgang soll den Tod einer Fledermaus simulieren. Deshalb wurden beispielhafte Kurven der unterschiedlichen Phantome aufgenommen.

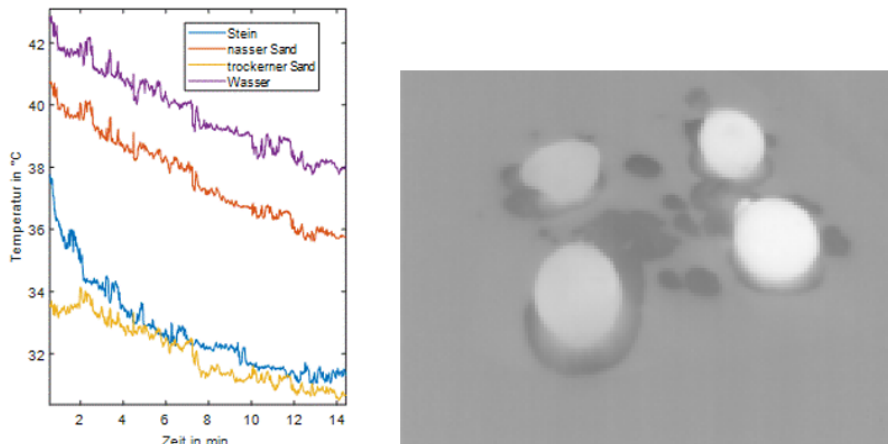


Abb. 182: Abkühlkurven der Phantome mit Temperaturverlauf (links). Wärmebildaufnahme der Phantome (rechts).

Die Kurven in Abb. 182 (links) zeigen den Temperaturverlauf verschiedener Test-Phantome. Dabei hat sich gezeigt, dass auf Wasser basierende Phantome auf Grund der höheren Wärmekapazität als beispielsweise „trockener Sand“, langsamer auskühlen. Da auch die Tiere zu einem großen Teil aus Wasser bestehen, ist die Verwendung eines Phantoms, das aus Wasser und Sand besteht, zweckmäßig und hält auch einen Fall aus größerer Höhe aus, was für wiederholte Versuche im Testfeld notwendig ist. Rechts im Bild ist eine Wärmebildaufnahme der vier verwendeten Phantome zu sehen.

5.2.2.3 Software

Überwachung und Alarmierung

Die Software zur Registrierung und Detektion ist in Python auf einem Linux-Rechner realisiert. Mit Hilfe von Linux Diensten, die automatisch mit dem Rechner gestartet werden, wird das Skript überwacht und bei Bedarf (Absturz) neu gestartet. Außerdem wurde zur Nachvollziehbarkeit von Fehlfunktionen ein Logging implementiert.

Bei Detektionen wird die schwenkbare Kamera auf die Position der Detektion gerichtet und ein Bild davon erstellt. Außerdem wird eine Alarm-Aktion ausgelöst. Dies kann zum Beispiel eine E-Mail sein, die an definierte Adressen versendet wird. Die Bilder, die durch Detektionen erzeugt wurden, sind von uns online abrufbar und sollen etwa einmal pro Tag von uns evaluiert werden. Auch die Python-Skripte sind unsererseits online editierbar, um die Software auf Basis des Betriebs im Testfeld anpassen zu können. Speziell die Sensitivität der Detektion hat einen großen Einfluss auf die ausgelösten Alarme bzw. Datenmengen, deshalb ist es notwendig, diese aus der Ferne anpassen zu können.

Registrierung

Nachdem die Gondel einer Rotation unterworfen ist, müssen aufeinanderfolgende Bilder einer Kamera registriert werden, um Objekte detektieren und in einem globalen Koordinatensystem richtig zuzuordnen zu können. Dazu wurden die in Abb. 183 dargestellten Testaufnahmen mit einer Drohne verwendet. Die zweite Aufnahme wurde nach Entfernung von Gegenständen angefertigt und unterliegt einer Translation und einer Rotation zur ersten Aufnahme.



Abb. 183: Testaufnahmen mit einer Drohne

Zu sehen sind links zwei Personen und zwei abgelegte Testgegenstände, ein Rucksack und eine Geldtasche; rechts: Testaufnahme nach geringer Translation und Rotation der Drohne, die beiden Gegenstände wurden eingesammelt

Helligkeitsanpassungen der VIS und Wärmebildkamera

Da die Bilder in einer zeitlichen Abfolge aufgenommen werden, kann sich die Szene durch Belichtung (VIS) oder Wärme (LWIR) stark verändern. Wolken können schnellen Wechsel zwischen hellen Aufnahmen mit hohem Kontrast und dunklen Aufnahmen mit geringerem Kontrast hervorrufen. Abb. 184 (a) zeigt eine Aufnahme im Sonnenlicht, (b) dieselbe Szene unter bewölkten Bedingungen. Um die Belichtungsunterschiede auszugleichen, wurde der Median der Helligkeit verwendet (Abb. 184 (c)). Bild (a) und (c) zeigen nun eine ähnliche Helligkeit, jedoch fehlt dem angepassten Bild (c) der Kontrast, der in Abbildung (a) durch das direkte Sonnenlicht verursacht wurde. Der Kontrastunterschied zwischen den Aufnahmen wird mit Hilfe einer Histogramm-Anpassung erreicht (d).

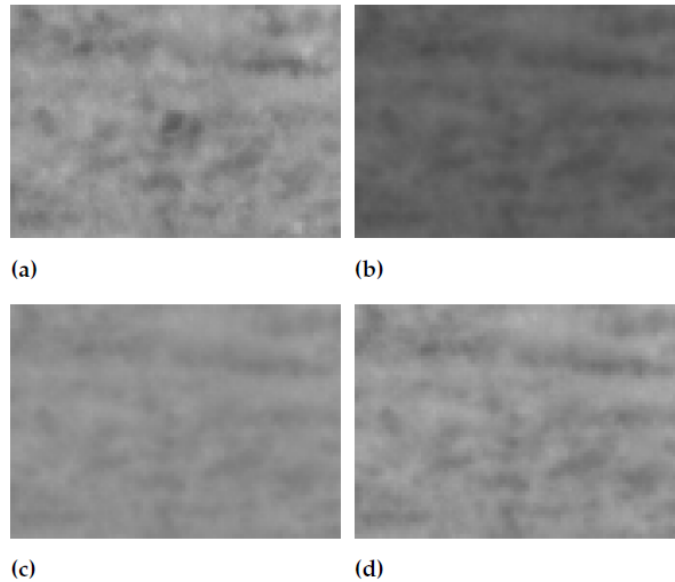


Abb. 184: Alle Aufnahmen zeigen denselben Ausschnitt der VIS Kamera. Mittig im Bild (a) befindet sich das Fledermausphantom. Eine Minute zuvor (b) war das Objekt noch nicht anwesend, aber durch verändertes Sonnenlicht ist das Bild sehr unterschiedlich; Bild (c) ist identisch zu (b) jedoch mit angepasster Helligkeit mit Hilfe des Medians zu (a). (d) zeigt Bild (b) mit Histogramm-Anpassung.

Pixelweise Detektion und Regionsanalyse

Um eine automatische Detektion zu implementieren, muss verstanden werden, wie ein Schlagopfer in der Bildverarbeitung aussieht. Es wurden Phantome passender Größe (Abb. 190) für Fledermäuse und Vögel verwendet, um einen Testdatensatz zu generieren. Die Bilder wurden mit einer hierfür entwickelten Segmentierungssoftware analysiert. Dieses ermöglicht, die Bildänderungen über einen größeren Zeitraum von 80 Sekunden zu verfolgen.

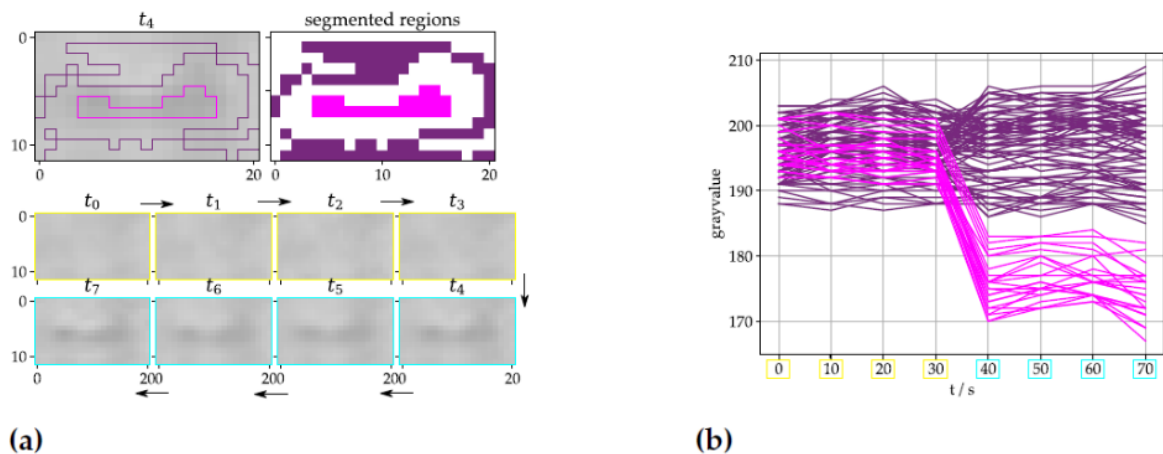


Abb. 185: Ausgabe einer entwickelten Software für die manuelle Überprüfung von Schlagopferdetektionen. links: Übersicht der analysierten Bildfolge mit den erkannten inneren und äußeren Regionen; rechts: Veränderung des Grauwerts der jeweiligen Regionen

Abb. 185 zeigt einen Ausschnitt dieses Softwaretools. Man erkennt, dass zu den Zeitpunkten t_0 bis t_3 kein Schlagopfer im Ausschnitt zu sehen ist. Vom Zeitpunkt t_4 bis t_7 ist das Schlagopfer zu erkennen. Im oberen Bild in (a) wird die innere und die äußere Region dargestellt,

über die die automatische Detektion ein Schlagopfer erkennt. In Abb. 185 (b) sind die Pixelwerte der äußeren und inneren Region dargestellt. Man erkennt, dass die äußere Region kaum Pixeländerungen erfährt, die innere jedoch zum Zeitpunkt des Schlagopfers einen Sprung der Pixelwerte erfährt. Idealerweise unterscheidet sich die Erkennung eines Schlagopfers deutlich von anderen Pixeländerungen. Abb. 186 zeigt einen Bilderstapel (gelb vor, cyan nach Erkennung) mit verschiedenen Änderungen. So zeigt (b) eine plötzliche Änderung des Pixelwerts, was dem Auftreten eines Schlagopfers entspricht. Ändern sich die Pixelwerte schleichend (c), handelt es sich eventuell um langsame Helligkeitsänderungen. Fluktuierende Schwankungen der Werte (d) können durch Bewegungen der Vegetation hervorgerufen werden.

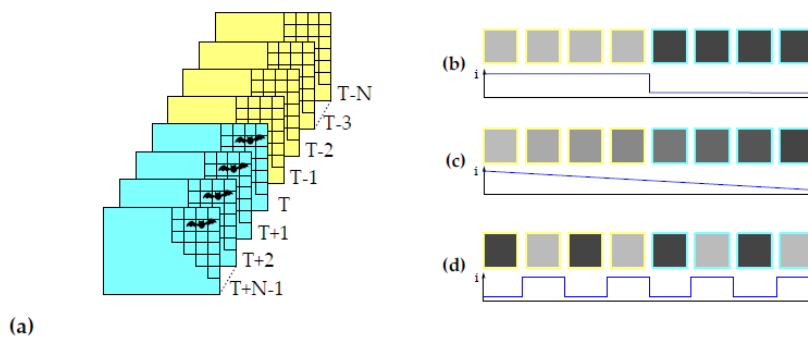


Abb. 186: Analyzierte Bildfolge aus acht Bildern.

(a) gelb: Bilder vor dem Auftreten eines Schlagopfers; cyan: Bildfolge nach dem Auftreten; (b) Grauwertänderung bei einem potentiellen Schlagopfer; (c) langsame kontinuierliche Änderung des Grauwerts deutet auf Belichtungsänderung hin; (d) fluktuierende Änderung entsteht z.B. durch Bewegung der Vegetation im Wind

Diese Änderung des Grauwerts wird im Folgenden durch die Berechnung einer Gewichtungsmatrix (Score, S_{VIS} für die Tageslichterkennung und S_{LWIR} für das Nachtsystem) ausgedrückt. Der Score gibt eine Wahrscheinlichkeit an, ob es sich bei einer Änderung um ein Schlagopfer handelt und berechnet sich zu

$$S_{VIS} = -LUTshift(I_T - I_{T-1}) - \frac{\alpha}{N-1} \sum_{t=0}^{N-2} |I_{T+t} - I_{T+t+1}| - \frac{\alpha}{N-1} \sum_{t=-2}^{-N} |I_{T+t} - I_{T+t}| \quad (1)$$

Wobei S eine Gewichtungsmatrix darstellt. In Gleichung 1 steht I für die Bildmatrix, N für die Größe des Bildstapels (Abb. 186), α für einen situationsabhängigen Gewichtungsfaktor und LUTshift für eine Lookup-Table Operation zur Messbereichsanpassung. Dem gegenüber basiert die nächtliche Schlagopferdetektion auf dem Median mit der Gewichtungsmatrix (Score)

$$S_{LWIR} = \text{median}(I_T, \dots, I_{T+N-1}) - \text{medi} \quad (2)$$

Analyse der Regionen mit hoher Gewichtung

Um Regionen mit erhöhter Gewichtung zu separieren, werden die Gewichtungsmatrizen mittels adaptivem Schwellenwert zu einem Binärbild gewandelt. Diese binären Regionen werden mit morphologischen Operationen gefiltert, um anschließend eine Selektion der äußeren und inneren Regionen zu erreichen. Die innere Region markiert das Schlagopfer und die äußere Region stellt dessen unveränderte Umgebung dar.

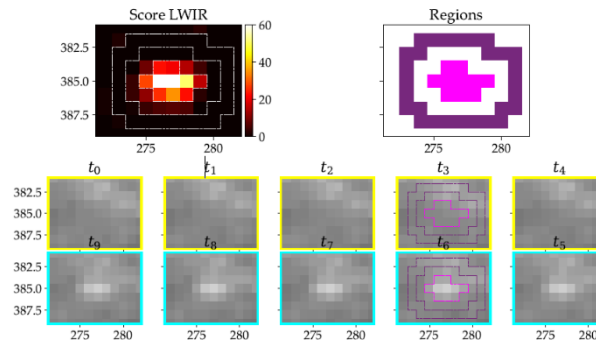


Abb. 187: Körperwarmes Testobjekt mit etwa 5 cm Größe in Gras.
links oben: Ausschnitt der berechneten Score-Matrix; oben rechts: durch adaptiven Schwellenwert extrahierte innere und äußere Region; unten: zeitliche Bildfolge mit skizzierter Region

Abb. 187 zeigt links oben einen Ausschnitt der berechneten Score-Matrix eines nächtlichen Schlagopferphantoms. Rechts davon sind die extrahierten inneren und äußeren Regionen dargestellt. Diese Regionen sind in einer späteren Selektion bedeutsam, da über deren Struktur und Form eine Wahrscheinlichkeit bestimmt wird.

Vorselektion

Oben beschriebene Methodik liefert Regionen, in welchen sich in einem gewissen Zeitraum eine Änderung ergeben hat. Um weiter zu filtern, kommen weitere Methoden zum Einsatz. Einfache Möglichkeiten der Filterung basieren auf der Größe des Objekts sowie der zeitlichen und örtlichen Sichtbarkeit. Als weitere entscheidende Filterebene steht die Analyse der strukturellen Ähnlichkeit

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}$$

mit den Mittelwerten μ_x und μ_y sowie deren Varianzen σ_x, σ_y und Kovarianzen σ_{xy} . Die Stabilisierungsvariablen $C_{1,2}$ dienen zur Verbesserung der Ergebnisse bei kleinen Nennern und Zählern. Die strukturelle Ähnlichkeit SSIM nimmt Werte zwischen 0 (sehr verschieden) und 1 (identisch) an. Zur leichteren Analyse verwenden wir im Folgenden nicht die strukturelle Ähnlichkeit, sondern die strukturelle Differenz

$$SDIFF = 1 - SSIM,$$

da wir in allen Bildern hohe Ähnlichkeit erwarten, lediglich im Moment des Auftretens eines Schlagopfers eine hohe Differenz. Abb. 188 zeigt die strukturelle Differenz für das Schlagopferphantom aus Abb. 187. Man erkennt, dass zu allen Zeitschritten die strukturelle Differenz sehr niedrig ist, jedoch beim Erscheinen des Phantoms zwischen Zeitpunkt t_4 und t_5 ein großer struktureller Unterschied entsteht.

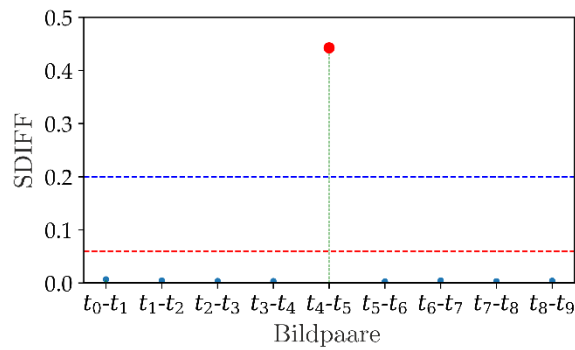


Abb. 188: Strukturelle Differenz der Detektion aus Abb. 187.
 alle Bildpaare zeigen einen geringen strukturellen Unterschied; nur beim Auftreten des Objekts (zwischen t_4 und t_5) entsteht eine hohe strukturelle Differenz

5.2.3 Ergebnisse

Das Schlagopfersystem wurde vom 10. bis 12. August 2021 im Windtestfeld installiert. Am NW Mast wurde es in einer Höhe von 75 m mit Blickrichtung nach unten an einer Plattform montiert (Abb. 189). Die Ausrichtung und Höhe der Installation ist vergleichbar mit der späteren Installation in der Gondel der WEA. Weiterhin konnte bei dieser Installation ein Testdatensatz erzeugt werden, indem Phantome an diskreten Orten ausgelegt wurden.



(a)



(b)

Abb. 189: Installation des Schlagopfersystems am NW Mast.

Es wurden 7 Positionen mit unterschiedlichen Beschaffenheiten gewählt, um Schlagopferphantome zu Tages- und Nachtzeiten auszulegen. Abb. 191 zeigt die Positionen aus Ansicht des Schlagopfersystems. Die Positionen wurden in der Nähe der Schotterfläche gewählt, um keine Beeinflussung der Vegetation durch das Auslegen zu verursachen. Abb. 190 zeigt das

oben beschriebene Fledermausphantom sowie das Rotmilanphantom an den jeweiligen Positionen. Das Rotmilanphantom bestehend aus Rotmilanfedern und einem zentralen Gewicht war deutlich kleiner als ein Rotmilan, um auch eine Aussage zu kleineren Vogelarten treffen zu können. Die Spannweite des Phantoms betrug 35 cm.



Abb. 190: Phantome für die Detektion bei Tage und nachts mit den dazugehörigen Positionen aus Abb. 191.



Abb. 191: Bildbereich des Systems auf 75 m Höhe mit den eingezeichneten Positionen. Positionen um die Schotterfläche wurden gewählt, um unnötige Detektion durch Fußspuren zu vermeiden

LWIR Ergebnisse

Am 11. August wurden zwischen 21:20 und 22:00 sowie am 12. August zwischen 6:30 und 7:00 Phantome ausgelegt. Insgesamt wurden 41 Abwürfe an den Positionen 1, 2 und 6 durchgeführt. An den Positionen 3,4 und 5 mit Grashöhen zwischen 30 und 80 cm wurden keine Abwurftests durchgeführt, da das nächtliche Wiederfinden des Phantoms nicht möglich war. Die Erkennungen wurden aufgeteilt in wahr-positiv (TP), falsch-negativ (FN) und falsch-positiv (FP). Tab. 24 zeigt die Ergebnisse der automatisierten Detektion zu den jeweiligen Positionen.

Tab. 24: Empfindlichkeit des LWIR-Systems bei nächtlichen Abwurftests

Position	Dauer	TP	FN	FP	Sensitivität
1&2		15	6	0	71,4%
6		16	4	0	80 %
Gesamt	1 h 4 min	31	10	0	75,6%

Während des Versuchs gab es keine falsch-positiven Detektionen. Weiterhin lief das System in den Nächten vom 10. bis 12. August im Dauerbetrieb. Da am Messmast nicht mit Schlagopfern zu rechnen war, diente dieser Versuch der Ermittlung einer falsch-positiv Rate abhängig von der Einsatzdauer.

Tab. 25: Falsch-positive Detektionen des LWIR-Systems

Nacht	Dauer	FP	Grund
10.08. 21:04 – 11.08. 7:30	10 h 26 min	28	Kleine, verweilende Tiere in der Größe 1-3 Pixel
		4	Vögel auf Abspannseil
11.08. 20:30 – 12.08. 7:30	11 h	20	Kleine, verweilende Tiere in der Größe 1-3 Pixel
		1	Windrichtung veränderte Abstrahlcharakteristik

Im Mittel produzierte das System 2,47 falsch-positiv Detektionen pro Stunde. Die Vögel auf den Abspannseilen sind ein Problem, welches nur am Messmast auftritt und im späteren Einsatz an der WEA nicht existiert. Die meisten Fehldetektionen lieferten Kleintiere, die längere Zeit an einem Standort verweilten, bevor sie sich weiterbewegten. Diese Tiere lassen sich aber weiterhin filtern, indem man die Abkühlkurve der Objekte verfolgt. In einem Zeitraum von 5 min wurde das Abkühlen der Fledermausphantome gemessen. Abb. 192 zeigt die Abkühlkurve des Phantoms nach dem Auslegen.

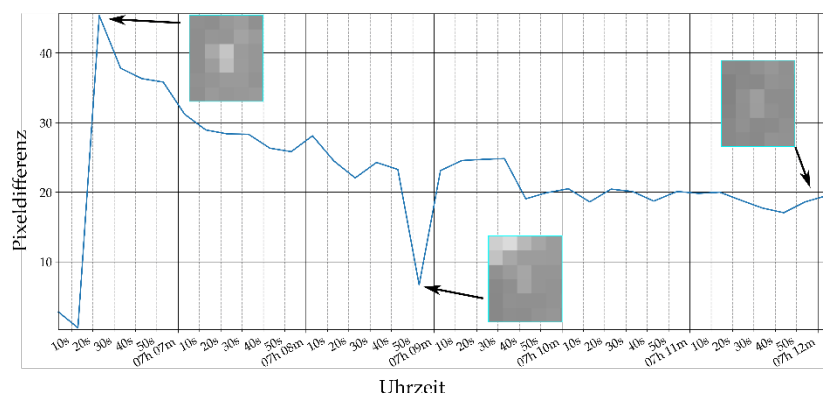


Abb. 192: Abkühlkurve des Fledermausphantoms über einen Zeitraum von 5 min

VIS Ergebnisse

Abwurfexperimente am Tag wurden am 11.08. von 10:40 bis 12:00, von 17:50 bis 18:15 und von 19:15 bis 19:55 durchgeführt. Insgesamt 108 Abwürfe an den Positionen 1,2,3,4,5,6 und 7 lieferte gute Ergebnisse der automatisierten Erkennung.

Tab. 26: Ermittelte Empfindlichkeit des VIS-Systems auf Basis der Abwurftests

Position	Dauer	FP	FN	FP	Sensitivität
1		14	1		93,3 %
2		16	0		100 %
3		10	0		100 %
4		14	6		70 %
5		8	2		80%
6		14	3		82,3 %
7		15	5		75 %
gesamt	2 h 21 min	91	17	6	84,3 %

Einige Ereignisse in den Positionen 4 und 5 wurden aufgrund des hohen Grases nicht erkannt. Auf den Positionen 6 und 7 waren die Gründe für falsch-negative Ereignisse meist durch schnelle Änderungen der Beleuchtungssituation zu erklären. Die falsch-positiven Detektionen sind alle durch menschliches Eingreifen verursacht worden (Bewegung oder durch Fußspuren Veränderung der Vegetation). Um auch für das Tagsystem eine zeitabhängige falsch-positiv Rate definieren zu können, wurde das System über einen Zeitraum von 10h 5min im Dauerbetrieb getestet. Tab. 27 zeigt die Ergebnisse des Dauereinsatzes. Die falsch-positiv Rate ergab sich zu 0,20 FP pro Stunde.

Tab. 27: VIS-System und seine falsch-positiven Detektionen

Zeit	Dauer	FP	Grund
09:41 – 13:41	4 h	2	Fußspuren
		9	Repositionierung von Geräten
		1	Wind
14:39 – 17:50	3 h 11 min	2	Repositionierung von Geräten
17:53 – 20:47	2 h 54 min	6	Fußspuren
		10	Repositionierung von Geräten
		1	Schatten des Messmasts

Diskussion

Das beschriebene Schlagopferdetektionssystem für Vögel und Fledermäuse wurde erstmals zu Evaluierungszwecken erfolgreich eingesetzt. Gewisse Unsicherheiten konnten bei diesem Einsatz noch nicht berücksichtigt werden. Zum einen war es nicht möglich, eine Detektionswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Vegetationshöhe final zu bestimmen. Zudem wird der aktuelle Algorithmus weiter angepasst und für die Gegebenheiten an der WEA optimiert. Ausständig ist die Anpassung für den Fall, dass sich Schlagopfer nach Auftreten weiterbewegen und nicht regungslos am Boden verweilen. Technisch wird auch die Bildregistrierung auf die WEA optimiert werden müssen, da sich Vibrationen und Bewegungen deutlich zwischen WEA und Messmast unterscheiden werden.

Während des Einsatzes lagen Windgeschwindigkeiten zwischen 0 und 16 m/s bei wechselnden Belichtungssituationen vor. Trotz der variablen Verhältnisse müssen weiterhin andere

Wetterverhältnisse getestet werden, um das System weiter zu optimieren. So gibt es z.B. noch keine Daten zu regnerischen, nassen Tagen.

Die Empfindlichkeit für die nächtliche Erkennung von Fledermausschlagopfern ergab in unserem ersten Experiment 71,4 % für Grasuntergrund und 80 % für Schotter. Im Vergleich hierzu ermittelten Brinkmann et. al (2011) eine menschliche Sucheeffizienz von 66 % im hohen Gras und 75 % bei niedrigem Bewuchs und Schotteruntergrund. Smallwood et. al (2020) beschreiben die Sucheeffizienz von Menschen mit nur 6 % und die von trainierten Hunden mit 96 %. Eine andere Studie (Mathews et. al 2013) ermittelte Werte zwischen 20 % bei Menschen und 73 % bei Hunden. Die Effizienz bei manuellen Nachsuchen ist natürlich von vielen Faktoren abhängig. Da manuelle Nachsuchen nur punktuell durchgeführt werden können, muss die natürliche Abtrage rate ermittelt werden. Brinkmann et al (2011) beschreiben eine mittlere Verbleibrate von 79 % innerhalb von 24 h. Dies bedeutet, dass nach 24h noch 7,9 Kadaver von 10 ausgelegten verweilen. Zudem zeigte diese Studie aber auch eine hohe Varianz der Verbleibrate zwischen 47 % und 90 %. Diese Einschränkung umgeht das hier beschriebene System, da die hohe zeitliche Auflösung im Dauerbetrieb die natürliche Abtragung vor Erfassung nahezu komplett verhindert. Im Gegensatz hierzu weist jedoch das automatische System falsch-positive Detektionen auf. Diese Rate muss durch weitere Testaufnahmen unter unterschiedlichen Bedingungen ständig minimiert werden, um die Anzahl an manuell zu kontrollierenden Fehldetektionen auf ein Minimum zu reduzieren.

6 Insektenabundanz

6.1 Einleitung

Eine Hypothese für das Auftreten von Fledermäusen an WEA (Windenergieanlagen) ist, dass Fledermäuse dort Insekten jagen, die sich im Bereich der WEA aufhalten (Cryan & Barclay 2009). Gestützt wird diese Theorie in mehrfacher Hinsicht. Akustische (z. B. Foo et al. 2017; Jansson et al. 2020; McAlexander 2013) und Thermografische Untersuchungen (z. B. Cryan et al. 2014; Horn et al. 2008) legen den Schluss nahe, dass Fledermäuse aktiv an WEA jagen. Auch Untersuchungen des Mageninhalts von Schlagopfern wiesen darauf hin, dass die Fledermäuse kurz vor ihrem Tod eine erfolgreiche Jagd hatten (Rydell et al. 2016; Valdez & Cryan 2013). Dass die gefundenen Schlagopfer tatsächlich an den WEA jagten, wird durch weitere Studien gestützt. Diese konnten für Offenland-Fledermäuse zeigen, dass die Tiere nach der erfolgreichen Jagd, meist in direkter Nähe ihres Jagdreviers rasten (Knight & Jones 2009; Montero & Gillam 2015).

Parallel zu den Verhaltens-Untersuchungen von Fledermäusen an WEA fanden zumeist auch Erhebungen zum vorherrschenden Insektenangebot statt. Dabei konnten die Studien aufzeigen, dass sich Insekten aus dem Beuteschema der jeweils untersuchten Fledermäuse nachweislich in der Nähe der WEA aufhielten (Foo et al. 2017; Rydell et al. 2016). Long et al. (2011) fand zudem heraus, dass das Signallicht von WEA eine Anlockwirkung auf Insekten hat, weshalb es auf diese Weise zu einer erhöhten Ansammlung von Insekten im Bereich von WEA kommen kann. Eine andere Studie, die Erfassungen an WEA mit einem Scheimpflug-Lidar durchführte, konnte ebenfalls Ansammlungen von Insekten sowohl an der Spitze einer WEA, als auch entlang des WEA-Mastes feststellen (Jansson et al. 2020). Den Autoren fielen aber auch Schwankungen der Insektendichte im Laufe der Nacht und zwischen den Tagen auf. Eine abschließende Klärung für die Ursache dieser Dichteschwankungen konnte nicht erbracht werden (Jansson et al. 2020). Neben sich verändernden Umweltparametern unterliegen Insektenvorkommen u.a. auch Schwankungen, die auf das Migrationsverhalten dieser Tiere zurückzuführen sind (Rydell et al. 2010). Die Ergebnisse dieser und anderer Studien legen eine Komplexität der Zusammenhänge nahe, die weitere Forschung nötig macht, um das Wissen zu Auftretensmustern von Insekten auszuweiten und damit ggf. die Vorhersage von Fledermausaktivität an WEA verbessern zu können. Zwei Studien, die mit dem Design der hier vorliegenden Studie vergleichbar sind, liefern dazu interessante Hinweise: De Jong et al. (2019) untersuchten die Fledermaus- und Insektenaktivität an einer Windkraftanlage (WEA) in Schweden und konnten im Besonderen für einzelne Fledermaustaxa einen positiven Zusammenhang zur Insektenabundanz feststellen. Insgesamt war die Insektenabundanz in Gondelhöhe jedoch sehr gering. Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. (2020) widmeten sich ganz der Erfassung der Insektenabundanz, ebenfalls in Gondelhöhe sowie auch am Turmfuß der WEA und in deren Umgebung. Auch in ihren Daten machten die erfassten Insekten in Gondelhöhe lediglich einen Anteil von 8 % der insgesamt erfassten Insekten aus. Beide Forscherteams wiesen darauf hin, dass Vergleichsdaten rar sind und unterstrichen den Forschungsbedarf in diesem Bereich.

Auch im Hinblick auf den weltweiten Insektenschwund können Untersuchungen zur Insektenabundanz einen wertvollen Erkenntnisgewinn liefern, der zum besseren Verständnis der Ursachen und zur Spezifikation von Schutzmaßnahmen für Insekten beitragen kann. Die Ursachen des Insektenrückgangs scheinen dabei multikausal bedingt (Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019). Die These, dass der Insektenrückgang durch den Ausbau der Windenergie verstärkt wird (Trieb 2018), konnte jedoch nicht bestätigt werden (Bundesamt für Naturschutz 2019) Studien zur Insektenabundanz – wie die vorliegende – können aber helfen diesen Themenkomplex besser empirisch zu erfassen und einzuordnen.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist daher, zu klären: (1) wo und wann sich wie viele Insekten an den WEA bzw. an den Messmasten aufhalten, (2) wie die Insektenabundanz von meteorologischen Parametern beeinflusst wird und (3) wie sich die Insektenabundanz auf die Fledermausaktivität auswirkt.

Da das Auftreten von Fledermäusen an WEA stark zwischen einzelnen Nächten und auch innerhalb einer Nacht selbst schwankt (eigene Daten; Behr et al. 2015), ist eine hohe zeitliche Auflösung der Insektenerfassung wichtig, um die Abhängigkeit der Fledermausaktivität von der Insektenabundanz erkennen zu können. Klassische Lichtfallen oder auch zeitlich gesteuerte Saugfallen mit Sammelgefäßen, sind für eine Dauererfassung von Insekten mit einer hohen zeitlichen Auflösung ungeeignet, da sie durch die Anzahl an Sammelgefäßen in ihrer zeitlichen Auflösung limitiert sind und der Betreuungsaufwand hoch ist.

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wurde eine geeignete Methode zur Erfassung von Insektenabundanzmustern entwickelt, bei der die Insekten über ein automatisiertes, optisches System – die Insektenfotofalle – fotografisch erfasst werden. Soweit bekannt, ist eine solche Erfassungsmethode bisher nicht am Markt verfügbar. In zukünftigen Projektphasen der Naturschutzforschung am Windtestfeld ist ergänzend vorgesehen, weitergehende Erfassungen zur taxonomischen Bestimmung der Insekten durch zusätzliche Methoden umzusetzen.

6.2 Methode

6.2.1 Erfassungskonzept

Ziel ist es, einen Grunddatensatz der Insektenabundanz zu generieren, der im Anschluss mit den herrschenden Umweltparametern und der gemessenen Fledermausaktivität verschnitten werden kann (Beschreibung der erhobenen meteorologischen Parameter siehe Kapitel 3.2.5). Auf diese Weise soll geklärt werden, ob ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Fledermäusen und der vorherrschenden Insektenabundanz besteht.

Um die Fledermausaktivität mit der Insektenabundanz in Relation setzen zu können, werden beide Erfassungen (siehe AP 3 Fledermäuse) in direkter räumlicher Nähe und parallel zueinander durchgeführt. Die Insektenfotofalle soll dabei einerseits gezielt Insekten im direkten Umfeld des Standorts über eine Leuchtfläche anlocken, gleichzeitig aber auch Insekten im freien Luftraum in einem Abstand von ca. 5 m erfassen.

Neben der Erfassung der Insektenabundanz mit der Insektenfotofalle, werden auch Radar-Daten erhoben. Die Auswertung dieser Daten ist jedoch erst in einem nächsten Schritt geplant und wird hier nicht dargestellt.

6.2.2 Insektenfotofalle

6.2.2.1 Beleuchtungsmittel

Ein Großteil der nachtaktiven Insekten weist eine Phototaxis auf, welche sie veranlasst von Lichtquellen angezogen zu werden. Dabei sind insbesondere Wellenlängen im nahen UV-Bereich attraktiv für Insekten, da Insekten in diesem Spektralbereich die größte visuelle Sensitivität besitzen (Abb. 193). Für die Fotofalle wird daher zum Anlocken der Insekten, UV-Licht im Wellenlängenbereich von 400 nm verwendet. Um die Insekten im nächsten Schritt fotografisch zu erfassen, wird Infrarotlicht (IR, etwa 850 nm) eingesetzt das die Anlockfläche kurz beleuchtet und passende Lichtverhältnisse für eine Infrarotkamera schafft. Die Kamera kann dann im Anschluss ein Foto, von den sich auf der Anlockfläche befinden Insekten, erstellen. Auch für die Erfassung der Insekten im freien Luftraum wird die Kombination aus

Infrarotlicht im 850 nm-Bereich und einer Infrarotkamera verwendet. Durch die Wahl der beschriebenen Lichtquellen (Infrarotlicht 850 nm sowie UV-Licht 400 nm) für die Insektenfotofalle, wird die Lichtverschmutzung durch – für Menschen oder Fledermäuse – sichtbares Licht minimiert. Somit kann einerseits sichergestellt werden, dass möglichst keine Beeinflussung des Fledermausverhaltens durch die Insektenfotofalle stattfindet und andererseits auch die technischen Vorgaben zur Flugsicherung erfüllt sind.

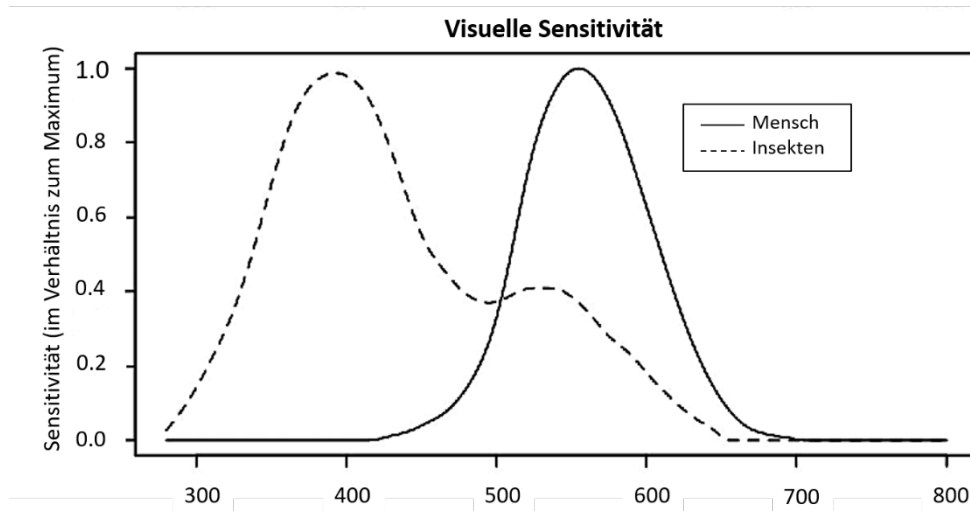


Abb. 193: Visuelle Sensitivität von Menschen und Insekten.

Auf der X-Achse ist die Wellenlänge in Nanometern (nm) angegeben. Gut zu erkennen ist das Maximum der visuellen Sensitivität von Insekten im UV Bereich um 400 nm. Veränderte Abbildung nach Barghini und Souza de Medeiros (2012).

6.2.2.2 Konstruktion

Die Konstruktion der Insektenfotofalle setzte für den Einsatz an den Messmasten besondere Ansprüche an die Wetterfestigkeit voraus. Zunächst musste eine galvanisch getrennte Befestigung an der Struktur gewährleistet sein und ein Überspannungsschutz im Inneren der Box integriert werden, um die Konstruktion vor Blitzeinschlägen zu schützen. Des Weiteren mussten die zu erwartenden hohen Windgeschwindigkeiten (von weit über 100 km/h) in Form einer stabilen Konstruktion berücksichtigt werden. Darüber hinaus galt es, ein Eindringen von Feuchtigkeit in die Nässe-empfindlichen Teile der Konstruktion zu verhindern. Für die Insektenfotofallen im Umfeld der Messmasten musste zudem eine autarke Stromversorgung sichergestellt werden. Alle genannten Anforderungen konnten erfolgreich in der entwickelten Insektenfotofalle umgesetzt werden.

Die Insektenfotofalle besteht aus einem wasserdichten, rechteckigen Kunststoffgehäuse (Polycarbonat), das über einen stabilen Edelstahl-Rahmen (Spezialanfertigung durch Herrn Timo Wagenblast) an der jeweiligen Struktur (Messmasten/ Strommasten bzw. Dreibeinkonstruktion im Umfeld der Messmasten) befestigt wird (Abb. 194). Um eine galvanisch getrennte Befestigung an den Messmasten zu gewährleisten, sind am Rahmen vier Isolierstützer montiert. Im Deckel der Kunststoffbox sind die UV-Lockfläche sowie ein Sichtfenster für eine IR-Kamera, die sich im Inneren der Box befindet, integriert (Abb. 197). Das Sichtfenster und die Lockfläche bestehen aus Acrylglas und wurden jeweils CNC-gefräst. Eine Verklebung der Acrylglas-Fenster mit einem UV beständigen 1-Komponenten-Kleber (1K-Kleber) sollte die Wasserdichtheit der Box gewährleisten. Das Acrylglas der Lockfläche wurde zudem mit feiner Körnung geschliffen, um einerseits die Streuung des UV-Lichts zu maximieren und andererseits auch das Landen von Insekten auf der Oberfläche der Lockfläche zu erleichtern. Hinter dem Acrylglas der Lockfläche befindet sich eine Kunststoffplatte, die jeweils im 3D

Druckverfahren angefertigt wurde und auf der sich einzeln geklebt und verlötete UV-LED Streifen befinden. Ein großer IR-Strahler zur Beleuchtung des freien Luftraums ist oberhalb der Box auf dem Edelstahl-Rahmen montiert.

An der unteren Seite der Kunststoffbox ist am Edelstahl-Rahmen ein rechtwinkliger Trägerarm aus stabilen Aluminiumprofilen angebracht, der etwa bis zur Mitte der Box reicht. Am Trägerarm ist eine kleine, ebenfalls wasserdichte, Kunststoffbox montiert (Abb. 194). Der Deckel der Mini-Box enthält zwei Sichtfenster, je für eine IR-Kamera sowie einen IR-Strahler im Inneren der Box. Die Sichtfenster bestehen ebenfalls aus Acrylglas. Auch hier wurden die Fenster CNC-gefräst und mit einem 1K-Kleber verklebt (Abb. 198). Die Komponenten im Inneren der Mini-Box (IR-Kamera und IR-Strahler) sind mit der Hauptbox über ein Strom- und Kamerakabel verbunden, wobei beide Kabel möglichst dicht am Trägerarm mit Aluminiumband verklebt wurden, um auch hier eine hohe Witterungsfestigkeit zu erreichen. Da die flache Form des Kamerakabels nicht mit einer gängigen Kabeldurchführung kompatibel ist, wurde das Kabel ebenfalls an der Stelle der Durchführung mit einem 1K-Kleber verklebt.

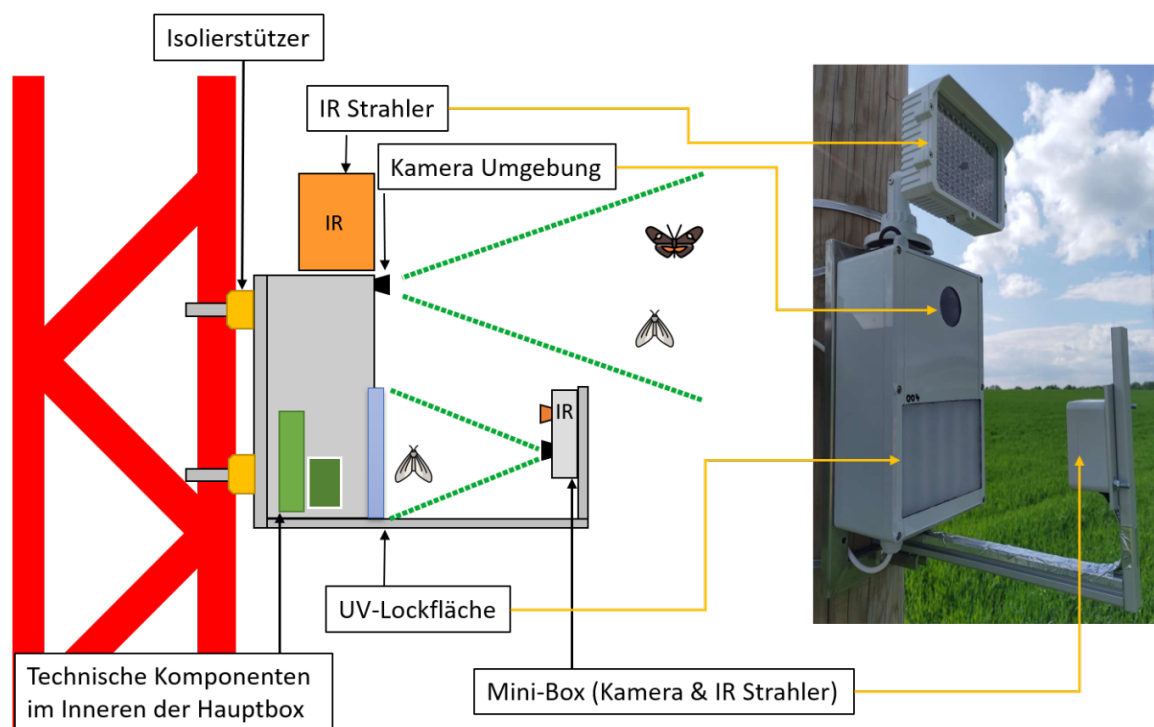


Abb. 194: Konstruktion der Insektenfotofalle.
Schematischer Aufbau (links) und installierte Insektenfotofalle (rechts).

Die Stromversorgung der Insektenfotofalle wird über eine wasserdichte Kabeldurchführung sichergestellt. Wobei die Insektenfotofalle direkt mit der 24 V Spannung (Messmasten) betrieben wird. Verbaute Spannungsregler regeln den Strom auf die entsprechend benötigte Spannung einzelner Komponenten herunter.

Für die Installation der Insektenfotofalle abseits der Messmasten wurde eine autarke Stromversorgung umgesetzt. Diese wurde über eine zweite Kunststoffbox realisiert, an der sich ein Solarpanel (20 Wp) befindet und die im Inneren einen Solarladeregler sowie eine 12 V Blei-Gel-Batterie beinhaltet. Die beiden Einheiten (Insektenfotofalle und Stromversorgungsbox) sind über ein Kabel mit wasserdichter Durchführung verbunden und die Stromversorgung der Insektenfotofalle auf diese Weise sichergestellt (Abb. 195). Auch hier gewährleisteten, entsprechend verbaute Spannungsregler die benötigte Stromzufuhr der einzelnen, technischen Komponenten der Insektenfotofalle.



Abb. 195: Installierte Insektenfotofalle im Umfeld der Messmasten.
Hier ist die zusätzliche Stromversorgungsbox mit dem Solarpanel gut erkennbar.

6.2.2.3 Technischer Aufbau

Herzstück der Insektenfotofalle ist ein kostengünstiger Raspberry Pi Einplatinencomputer Compute Modul Lite 3+ (kurz: RPi; Raspberry Pi Foundation), der an ein StereoPi-Modul gesteckt wird, sodass beide Komponenten eine Einheit bilden. Das Modul ermöglicht es, die zwei verbauten IR-Kameras über nur einen RPi zu steuern. Neben den IR-Kameras ist auch ein Relais zur Lichtsteuerung an der RPi-Einheit angeschlossen. Dadurch können das UV-Licht im Gehäusedeckel sowie jeweils der IR-Strahler am Trägerarm bzw. am Edelstahl-Rahmen oberhalb der Box angesteuert werden. Die Stromversorgung der Komponenten, mit der jeweils benötigten Spannung, wird durch Spannungsregler sichergestellt.

Auf der RPi-Einheit (StereoPi und RaspberryPi) steckt ein Erweiterungsmodul (genannt Sleepy Pi), das drei wichtige Aufgaben erfüllt: Erstens fungiert das Erweiterungsmodul als Einschalter für die RPi-Einheit, da sich diese nicht selbst einschalten kann. Diese Funktion ist für einen autarken Betrieb der RPi Einheit – wie sie für die Insektenfotofallen im Umfeld umgesetzt wurde – unabdingbar, da sich andernfalls bei Dauerbetrieb der RPi-Einheit der Stromverbrauch um ein Zehnfaches erhöhen und keinen autarken Betrieb mehr zulassen würde. Zweitens besitzt das Erweiterungsmodul eine Echtzeituhr, über die die RPi-Einheit Informationen zur aktuellen Uhrzeit bezieht und somit eine zeitliche Steuerung der RPi-Einheit möglich ist. Drittens fungiert das Erweiterungsmodul als Spannungswandler und gewährleistet so die Stromversorgung der RPi-Einheit (5 V), da das Modul direkt mit der 24 V Spannung am Messmasten bzw. mit der 12 V Spannung der verwendeten Blei-Gel-Batterie (Insektenfotofallen im Umfeld) betrieben werden kann.

Die Abb. 196, Abb. 197 und Abb. 198 geben einen Überblick über die verbauten, technischen Komponenten in der Hauptbox sowie in der Mini-Box am Trägerarm der Insektenfotofalle.

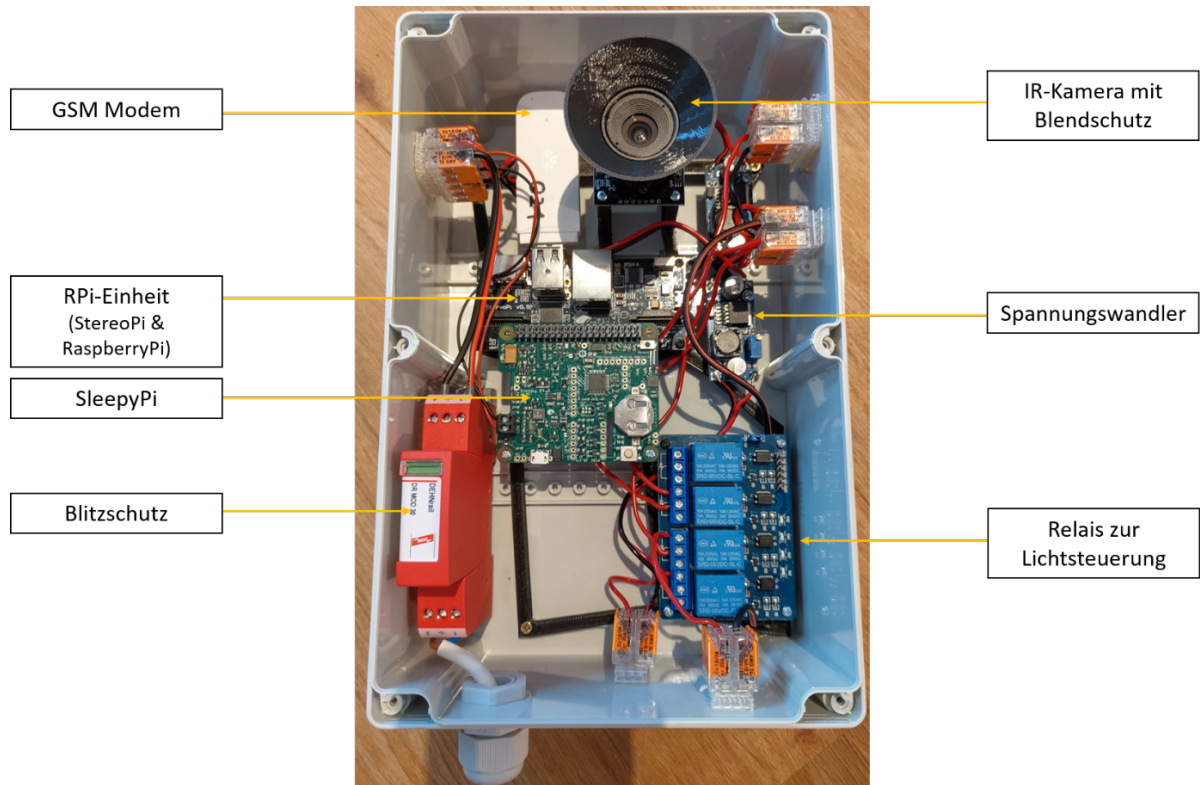


Abb. 196: Innenansicht der Hauptbox der Insektenfotofalle mit ihren Komponenten.

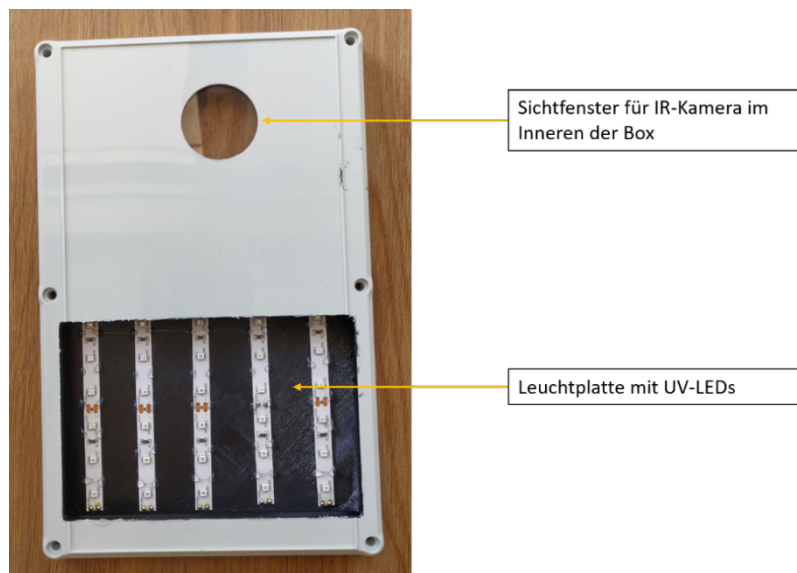


Abb. 197: Gehäusedeckel der Hauptbox der Insektenfotofalle mit integrierter Leuchtplatte sowie ausgesparten Sichtfenster für die IR-Kamera im Inneren der Box. Die matte Abdeckung der Leuchtplatte fehlt hier aus Gründen der besseren Darstellung.

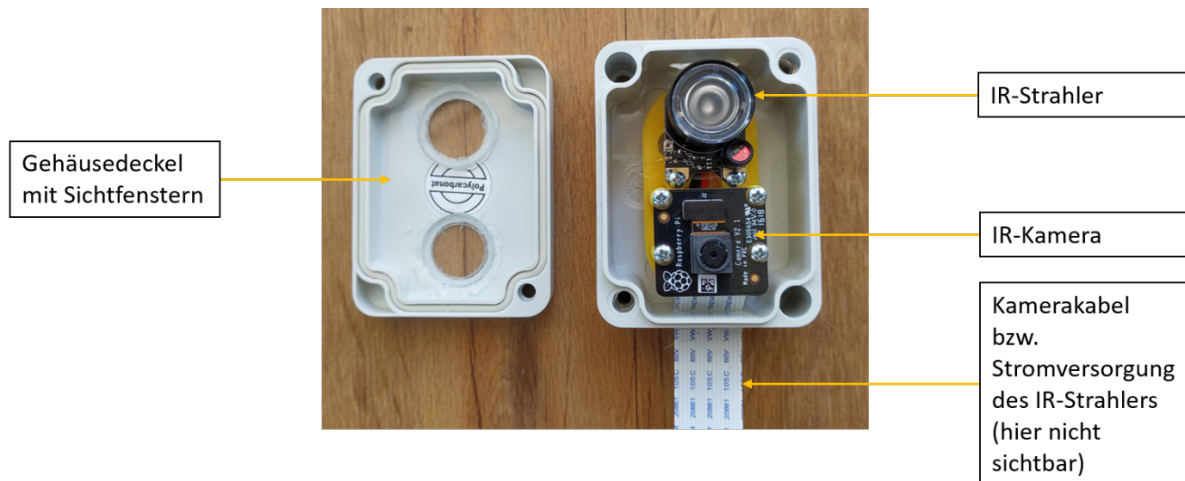


Abb. 198: Innenansicht der Mini-Box am Trägerarm der Insektenfotofalle mit IR-Strahler und IR-Kamera.
Diese Einheit erstellt ein Bild von der Anlockplatte.

6.2.2.4 Funktionsweise

Um Insekten aus dem direkten Umfeld der Insektenfotofalle anzulocken, wird mittels der RPi-Einheit, in Verbindung mit dem Relais zur Lichtsteuerung, das UV-Locklicht am Gehäusedeckel für eine variabel bestimmbare Zeitlänge (aktuell für 5 Min) angeschaltet. Danach wird das UV-Locklicht wieder abgeschaltet, gleichzeitig der IR-Strahler am Trägerarm für wenige Sekunden zur Beleuchtung der UV-Lockfläche angestellt und ein Foto der Lockfläche mithilfe der IR-Kamera am Trägerarm erstellen. Zur gleichen Zeit – und für die gleiche Zeitlänge von wenigen Sekunden – wird der IR-Strahler am Edelstahl-Rahmen oberhalb der Box eingeschaltet, wodurch der freie Luftraum auf der gegenüberliegenden Seite beleuchtet wird und ein Bild mit der IR-Kamera im Gehäusedeckel von diesem Bereich aufgenommen werden kann. Auf diese Weise können sowohl die sich auf der Lockfläche befindenden Insekten als auch die Insekten im freien Luftraum (etwa in einem Abstand von 3 m bis 5 m) fotografisch erfasst werden (Abb. 199).

Die Bilder werden im Anschluss lokal in voller Datengröße (1920 x 1440 Pixel) auf der Micro-SD Karte der RPi-Einheit gespeichert und zusätzlich, stark komprimiert, in einer Cloud für den Fernzugriff hinterlegt. Das Komprimieren der Bilder stellt sicher, dass sie auch bei schlechter Netzabdeckung gesendet werden können. Die Bilder haben dabei lediglich eine Auflösung von 320 x 240 Pixeln, was einer Datengröße von etwa 5 bis 8 kB entspricht.

Über den Fernzugriff kann somit die Funktionsweise der Insektenfotofalle überwacht und auch ggf. angepasst werden (z. B. eine Veränderung der Anlock-Zeit durch das UV-Licht). Der Fernzugriff wird über eine Internetverbindung an der RPi-Einheit ermöglicht. Diese wurde so konzipiert, dass sie unabhängig von den technischen Gegebenheiten vor Ort ist.

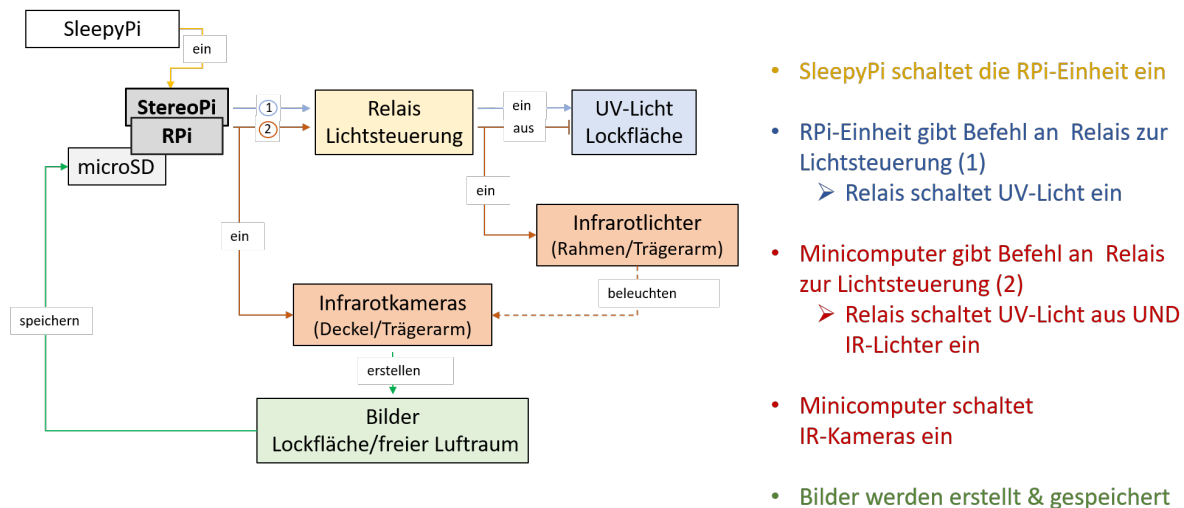


Abb. 199: Schematische Funktionsweise der Insektenfotofalle.

6.2.3 Erfassungspunkte im Untersuchungsgebiet und Geräteinstallation

Wie vorgesehen wurden in dieser ersten Untersuchungsphase (vor dem Bau der WEA) insgesamt 16 Insektenfotofallen installiert. Dabei wurden die gleichen Erfassungspunkte genutzt wie für die Untersuchung der Fledermausaktivität (siehe AP 3 Fledermäuse).

Für die bodennahe Erfassung wurde am 25.05.2020 an acht Standorten in der Umgebung des Testfelds jeweils eine Insektenfotofalle in direkter Nähe zum dortigen Fledermausdetektor auf ca. 3 m Höhe installiert (Abb. 200), wobei bereits vorhandene Strukturen (Strommasten) sowie zusätzliche, speziell angefertigte, Dreibeinkonstruktionen für die Installation genutzt wurden (Abb. 201). Die Insektenfotofallen mit der Seriennummer (SN) 002, 003 und 005 befinden sich direkt am Waldrand, dem eine Wiese vorgelagert ist. SN 006 umgibt eine Heckenstruktur und ist dadurch vergleichsweise windgeschützt, außerdem ist eine blütenreiche Wiese unmittelbar angrenzend, die teilweise auch mit Schafen beweidet wurde. Die Standorte der beiden Insektenfotofallen SN 001 und SN 004 sind jeweils komplett von Agrarflächen, der Standort von SN 008 ist neben Agrarflächen südlich auch von Grünland umgeben. Die Insektenfotofalle SN 007 wurde an einer kleinen Heckenstruktur in unmittelbarer Nähe eines Schweinestalls installiert. Die Standorte sind damit durch unterschiedliche Bedingungen charakterisiert, diese können einen Einfluss auf die vorherrschende Insektenanzahl und -artzusammensetzung haben. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss dieser Umstand entsprechend berücksichtigt werden.

Für die Erfassung in unterschiedlichen Höhen (10 m, 33 m, 65 m und 95 m), wurden je vier Insektenfotofallen an den zwei Messmasten (NW und NE) – wiederum in der Nähe der Fledermausdetektoren – angebracht. Am 28.05.2020 wurden die Geräte am Messmast NW (SN 009, SN 010, SN 011, SN 012; Abb. 200) sowie am 25.06.2020 am Messmast NE (SN 013, SN 014, SN 015, SN 016; Abb. 200) installiert. Der angestrebte Beginn der Erfassung im Frühjahr 2020 konnte damit nur bedingt eingehalten werden, lässt sich aber auf die besonderen Umstände aufgrund der Beschränkungen hinsichtlich der Corona-Pandemie im Frühjahr 2020 zurückführen.



Abb. 200: Übersicht über die Standorte der Insektenfotofallen.
 Die Insektenfotofallen SN 001, SN 004 und SN 008 (Offenland) wurden an den vorhandenen Strommasten installiert, die Insektenfotofallen SN 006, SN 002, SN 003, SN 005 (an der Waldkante) sowie SN 007 (Offenland) an einer speziell angefertigten Dreibeinkonstruktion angebracht. Die Insektenfotofallen SN 009 bis SN 012 wurden an Messmast NW, die Insektenfotofallen SN 013 bis SN 016 an Messmast NE installiert (Quelle Hintergrundkarte: OpenStreetMap).

Die Dauer der Erfassung richtete sich nach den Monaten mit Fledermausaktivität. Wintermonate wurden demnach ausgespart, hier ist auch aus entomologischer und meteorologischer Sicht eine Erfassung wenig sinnvoll. Daher erfolgte der Geräte-Abbau Anfang November 2020. Lediglich die Insektenfotofallen SN 001 und SN 007 wurden bereits am 18.09.20 im Zuge von Wartungsarbeiten abgebaut und aufgrund technischer Störungen nicht wieder installiert. Eine Gerätewartung fand auch bei den Insektenfotofallen SN 002, SN 003, SN 005 und SN 006 statt. Dazu wurden die Geräte am 18.09.20 abgebaut und am 26.09.20 wieder im Untersuchungsgebiet installiert. Tab. 28 gibt einen Überblick über die Geräteinstallation und die Wartungszeiträume.

Tab. 28: Überblick über Installation, Abbau und Standort aller Insektenfotofallen nach ihren Seriennummern (SN).

Gelistet sind der Standort mit folgenden Kürzeln: B-O = Bodennah-Offenland, B-W = Bodennah-Waldrand, NW = Messmast Nordwest, NE = Messmast Nordost, H10 = 10 m, H33 = 33 m, H65 = 65 m, H95 = 95 m.

SN	Standort	Installation	Wartung	Abbau
001	B-O	25.05.20		18.09.20
002	B-W	25.05.20	18.09.-26.09.20	05.11.20
003	B-W	25.05.20	18.09.-26.09.20	05.11.20
004	B-O	25.05.20		05.11.20
005	B-W	25.05.20	18.09.-26.09.20	05.11.20
006	B-O	25.05.20	18.09.-26.09.20	05.11.20
007	B-O	25.05.20		18.09.20
008	B-O	25.05.20		05.11.20
009	NW-H10	28.05.20		05.11.20
010	NW-H33	28.05.20		05.11.20
011	NW-H65	28.05.20		05.11.20
012	NW-H95	28.05.20		05.11.20
013	NE-H10	25.06.20		05.11.20
014	NE-H33	25.06.20		05.11.20
015	NE-H65	25.06.20		05.11.20
016	NE-H95	25.06.20		05.11.20



Abb. 201: Installierte Insektenfotofallen am Dreibein – unterhalb des Fledermausdetektors – (linkes Bild) und am Messmasten (rechtes Bild).

6.2.4 Erfassungen im Jahr 2021

Auch im Jahr 2021 fanden über die gesamte Saison Erfassungen statt. Damit kann die Datenlage für die Untersuchungen vor dem Bau der WEA ausgebaut werden. Das methodische Vorgehen für die Erfassungen 2021 war identisch mit dem des vorliegenden Berichts (Jahr

2020), wobei die genannten Verbesserungen hinsichtlich der Gerätekonstruktion (siehe Kapitel 6.4.1) umgesetzt wurden.

Die 16 Insektenfotofallen wurden im April 2021 im Testfeld installiert, dabei wurden die gleichen Installationspunkte genutzt wie auch für die Untersuchungen 2020 (acht im Umfeld und acht an den Messmasten, Abb. 200). Der Abbau der Geräte fand Ende Oktober 2021 statt.

6.2.5 Auswertungsprinzip – Insektenabundanz

Das vorrangige Ziel der Untersuchung ist die Erfassung der Insektenabundanz, weshalb bei der Auswertung die Quantität der auf den Fotos erfassten Insekten im Vordergrund stand.

Um die Sichtung der Fotos der Insektenfotofallen vereinfachen und optimieren zu können, wurde eine Shiny-basierte Web-Applikation von uns programmiert („EcoFindBug“- App) (Abb. 202). Diese App ermöglichte es, die Vorher-/Nachher-Bilder der Insektenfotofallen, d.h. die erstellten Bilder vor und nach der Anlockzeit sowie das Differenzbild aus beiden Bildern, gleichzeitig darzustellen. Für die Erstellung des Differenzbildes werden die Helligkeitswerte (zwischen 0 = schwarz bis 1 = hell) jedes Pixels der Vorher-/Nachher-Bilder voneinander subtrahiert. Dieses Vorgehen verstärkt Kontraste auf den Bildern und hilft, Veränderungen zwischen den Vorher-/Nachher-Bildern – beispielsweise ein Insekt auf der Anlockfläche nach der Lockphase - leichter zu identifizieren. In der App konnten die Bildpaare zudem direkt kategorisiert (Insekt ja/nein) und Besonderheiten (z. B. Wetterbedingungen wie Regen oder Nebel) notiert werden (Abb. 202).

Mithilfe der Differenzbilder wird in Zukunft eine automatisierte Auswertung angestrebt, wobei aus der Anzahl und Stärke der veränderten Pixel pro Differenzbild derjenige Anteil berechnet werden soll, der sich von der fest definierten Anlockfläche unterscheidet. Auf diese Weise kann indirekt auf die Insektenabundanz geschlossen werden.

Für die vorliegende Auswertung wurde aufgrund der vergleichsweise geringen Anzahl an generierten Bildpaaren (Vorher-/Nachher-Bilder) auf die Entwicklung einer automatisierten Auswertung verzichtet und stattdessen eine manuelle Sichtung der Bildpaare durchgeführt. Dieses Vorgehen erlaubte einerseits zusätzlich eine qualitative Analyse der Bilder (Bestimmung der Insekten auf Ordnungsniveau) und hilft andererseits Daten zu generieren, auf deren Grundlage eine automatisierte Auswertung gezielter entwickelt werden kann.

Die hier durchgeführte Auswertung bestand somit im ersten Schritt aus der Sichtung der Bildpaare mithilfe der „EcoFindBug“-App und im zweiten Schritt aus der Detail-Analyse der Bildpaare, d.h. dem Bestimmen und Vermessen der erfassten Insekten. Gemessen wurde die Körperlänge der erfassten Insekten in Pixel. Anschließend wurde der ermittelte Pixel-Wert über einen entsprechenden Kalibrierungswert in mm umgerechnet. Die Körperlänge diente als Maß für die vorhandene Biomasse und wurde nur bei erfassten Insekten auf der Leuchtplatte bestimmt. Insekten, die von der Umgebungskamera erfasst wurden, konnten nicht vermessen werden, da der Abstand zwischen Kamera und Insekt nicht aus den Bildern ersichtlich ist und somit ein Vergleichsmaß fehlt (d. h. kleine Insekten erscheinen nah an der Kamera größer als weiter weg). Waren die angelockten Insekten nur teilweise auf den Bildpaaren der Leuchtplattenkamera sichtbar, wurde nur der sichtbare Teil der erfassten Insekten vermessen. Dies trat aber nur in sechs Fällen auf. Für die Beurteilung der Insektenabundanz können daher die Anzahl, die Körpergröße sowie die Bestimmung der erfassten Insekten auf Ordnungsniveau herangezogen werden.

Das Vermessen der Körperlängen der erfassten Insekten erfolgte mithilfe der Bildbearbeitungssoftware „Image J“ (Schneider et al. 2012).

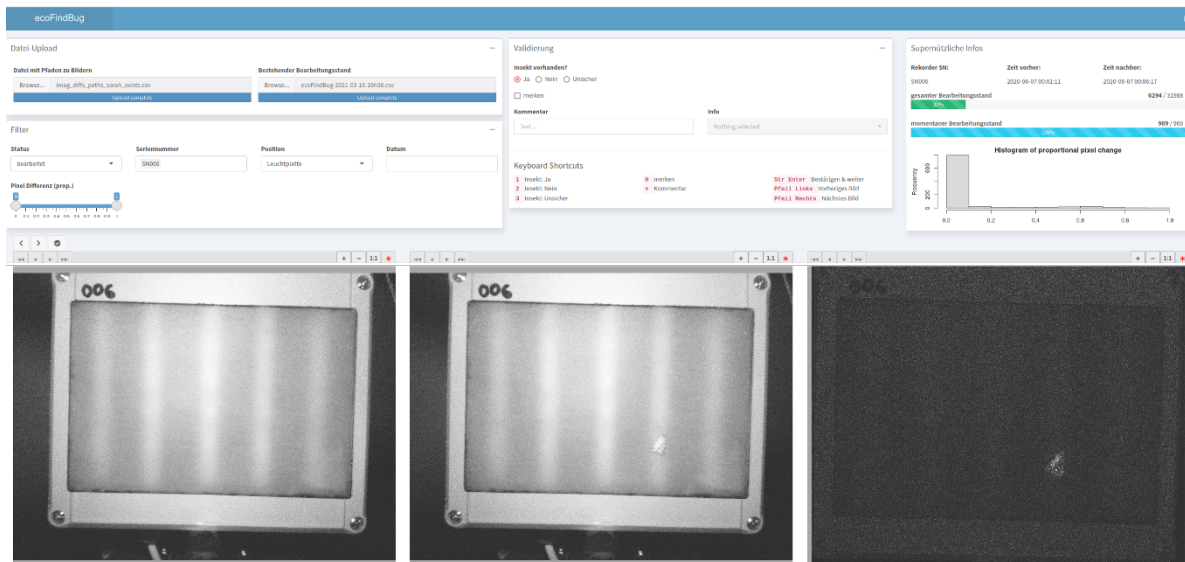


Abb. 202: Sichtung der Bildpaare mithilfe der App „EcoFindBug“. Das Differenzbild ist ganz rechts dargestellt, es wurde aus den beiden Bildern VOR der Anlockphase (links) und NACH der Anlockphase (Mitte) erstellt. Im Differenzbild können Veränderungen zwischen den Vorher-/Nachher-Bildern identifiziert werden. Die Box oben links enthält den Datei-Upload und einen Dateifilter, die mittlere Box ermöglicht Angaben zur Validierung, in der rechten Box sind verschiedene Informationen zur Datei zusammengefasst (u.a. ein Histogramm, dass die Pixeldifferenz anzeigt).

6.2.6 Deskriptive Analyse

In einem ersten Schritt wurden die Daten zunächst deskriptiv analysiert und in einem zweiten Schritt statistisch modelliert (siehe Kapitel 6.2.7), dabei ist das Vorgehen für die deskriptive Analyse analog zur statistischen: zunächst wurde die Insektenabundanz im Hinblick auf verschiedene Einflussparameter analysiert, dann die Fledermausaktivität in Abhängigkeit zur Insektenabundanz untersucht.

Für die deskriptive Analyse der Insektenabundanz wurden die Daten zunächst im Hinblick auf die quantitativen und qualitativen Nachweise analysiert. Des Weiteren wurden die meteorologischen Parameter Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Regenwahrscheinlichkeit (siehe Kapitel 3.2.5) herangezogen. Die Daten wurden dabei getrennt für die Umfeld- sowie Messmaststandorte betrachtet, außerdem wurde die Erfassungshöhe berücksichtigt.

Die Grundlage für die Analyse der Fledermausaktivität im Hinblick auf die Insektenabundanz bilden die Daten aus dem AP°3 Fledermäuse sowie, für die Insektenabundanz, die hier beschriebenen Daten. Für eine bessere Vergleichbarkeit der Datensätze wurde lediglich die Fledermausaktivität innerhalb von 10 Minuten zum Zeitpunkt der Insektenerfassung (einmal pro Stunde) berücksichtigt wurde. Es erfolgte eine getrennte Betrachtung der Erfassungsstandorte (Umfeld bzw. Messmast) sowie für alle Standorte zusammen. Für beide Datensätze wurden ausschließlich Daten aus dem Erfassungsjahr 2020 berücksichtigt.

Die Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistik-Programm R (R Core Team 2021), Grafiken wurden mit dem Package ggplot2 erstellt (Wickham 2016).

6.2.7 Statistische Modellierung der Einflussparameter

Für alle Modellierungen wurde ein verallgemeinertes lineares gemischtes Modell („generalised linear mixed models“, kurz GLMM) verwendet. Dieses Modell berücksichtigt neben den verschiedenen festen Effekten („fixed effects“, d.h. den erklärenden Variablen) auch Zufalls-

effekte („random effects“). Die Berücksichtigung von zufälligen Effekten erlaubt eine Verallgemeinerung der Schätzung durch die erklärenden Variablen, da die zufälligen Effekte im Modell quasi „ausgeblendet“ werden.

Die Modelle wurden mit dem R-Paket *lme4* (Bates et al. 2014) berechnet, Modellannahmen wurden mit dem R-Paket *DHARMA* (Hartig 2021) überprüft. Zudem wurde auf Korrelation (Pearson) zwischen den erklärenden Variablen geprüft, um zu starke gegenseitige Abhängigkeiten auszuschließen. Diese Berechnungen erfolgten mit dem R-Paket *Corrgram* (Wright & Wright 2021).

An dieser Stelle möchten wir uns für die Hilfe und Beratung bei der statistischen Analyse durch die Oikostat GmbH (Schweiz), im Besondern bei Fränzi Korner-Nievergelt, bedanken.

Insektenabundanz

Hinsichtlich der Insektenabundanz war es Ziel der statistischen Auswertung, einen möglichen Effekt bestimmter Wetterparameter (Temperatur, Windgeschwindigkeit und Regenwahrscheinlichkeit) sowie der Erfassungshöhe (= erklärende Variablen) auf die Anwesenheitswahrscheinlichkeit von Insekten (= abhängige Variable) zu quantifizieren. Dafür wurde eine binomiales Maß gewählt, d. h. die Präsenz (1) / Absenz (0) von Insekten auf einem Bild.

Als zufälliger Effekt („random effect“) wurde der Standort der Insektenfotofallen im Modell berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass die Erfassungen der Insekten nicht unabhängig vom Standort der Insektenfotofallen waren. Das bedeutet, mithilfe des Modells wird geprüft, ob beispielsweise die Temperatur einen Einfluss auf die Insektenabundanz hat und welchen Einfluss sie hat (positiv oder negativ). Dabei wird allerdings nicht berücksichtigt, ob die Temperatur den Nachweis von Insekten an einem hier untersuchten Standort mehr oder weniger beeinflusst.

Die vereinfachte Formel für die statistische Modellierung lautet entsprechend:

Insektennachweis (Präsenz/Absenz) ~ Temperatur + Windgeschwindigkeit + Regenwahrscheinlichkeit + Erfassungshöhe + (1 | Standort)

Fledermausaktivität

In einem nächsten Schritt wurde der Einfluss der Insektenabundanz zusammen mit den Wetterparametern (Temperatur, Windgeschwindigkeit und Regenwahrscheinlichkeit) sowie der Erfassungshöhe und die Nachtzeit (= erklärende Variablen) auf die Fledermausaktivität (= abhängige Variable) statistisch modelliert. Sowohl für die Fledermausaktivität als auch für die Insektenabundanz wurden binomiale Werte verwendet (Präsenz (1) / Absenz (0)). Für eine bessere Vergleichbarkeit der Datensätze, wurde – wie bei der deskriptiven Analyse – auch hier die Fledermausaktivität lediglich innerhalb von 10 Minuten zum Zeitpunkt der Insektenerfassung (einmal pro Stunde) berücksichtigt.

Analog zum Modell für die Insektenabundanz, ging auch in diesem Modell der Standort als zufälliger Effekt mit ein.

Dementsprechend lässt sich die Formel für die statistische Modellierung vereinfacht wie folgt zusammenstellen:

Fledermausaktivität (Präsenz/Absenz) ~ Insektenabundanz (Präsenz/Absenz) + Temperatur + Windgeschwindigkeit + Regenwahrscheinlichkeit + Erfassungshöhe + Nachtzeit + (1 | Standort)

6.3 Ergebnisse

6.3.1 Datenlagen Insektenabundanz

6.3.1.1 Laufzeiten und Bildpaare

Da die Insektenfotofallen an unterschiedlichen Tagen installiert wurden (Tab. 28) und sich damit zwangsläufig unterschiedliche Laufzeiten ergeben, die jedoch nicht eine Einschätzung hinsichtlich des Funktionierens der Geräte zulassen, wurden die Gerätelaufzeiten zusätzlich prozentual ermittelt (Tab. 29). Dabei wurden diejenigen Tage ausgeschlossen, an denen durch einen Ausfall der Strahler der Leuchtplatten-Kamera keine Auswertung der Bilder stattfinden konnte (d. h. die Leuchtplatte war funktionstüchtig, aber die Aufnahmen der Kamera wurden nicht belichtet und waren dadurch nicht auswertbar). Dieses Problem trat vergleichsweise häufig auf und konnte auch durch den Fernzugriff nicht behoben werden, da es sich hierbei um ein Hardware-Problem handelt und die defekten Strahler ausgetauscht werden mussten. Da ein Austausch der Strahler aus organisatorischen und logistischen Gründen nicht immer zeitnah erfolgen konnte, erstrecken sich die Ausfallzeiten an einzelnen Insektenfotofallen aufgrund eines Strahler-Defektes zum Teil über einen längeren Zeitraum. Für die laufenden Erfassungen 2021 konnten die Insektenfotofallen aber bereits entsprechend umgerüstet werden, sodass Ausfälle der Strahler bislang nicht auftraten.

Unter Berücksichtigung der Strahler-Defekte konnte eine durchschnittliche Erfassungsdauer von rund 57 % erzielt werden. Sieben der installierten Insektenfotofallen liefen komplett (100 %) oder zumindest zu 80 %. Sowohl bei den bodennahen Insektenfotofallen (Umfeld) als auch bei den Insektenfotofallen am Messmasten kam es zu totalen Geräteausfällen (0 %) bzw. liefen die Geräte insgesamt nur für eine kurze Zeit (2 % bis 10 %) (Tab. 29).

Die Gründe dafür sind unterschiedlich. So wurde eine mangelnde Stromversorgung bei den Umfeld-Insektenfotofallen identifiziert. Dieses Problem konnte für die laufenden Erfassungen 2021 jedoch ebenfalls bereits behoben werden. Daneben traten auch technische Funktionsstörungen auf, deren Ursache erst noch geklärt werden müssen (dadurch kam es u.a. zum vorzeitigen Abbau von SN 001 und SN 007). Zu Ausfällen aufgrund von Problemen bei der Stromversorgung kam es auch bei den Messmast-Insektenfotofallen. Hier sind allerdings technische Störungen oder Blitzschlag an den Messmasten als Ursache zu nennen.

Tab. 29: Überblick über die Gerätelaufzeit alle installierten Insektenfotofallen nach ihren Seriennummern (SN).

Die Gerätelaufzeit ist jeweils abzüglich der Tage mit Strahler-Ausfall an der Leuchtplatten-Kamera angegeben. Gelistet sind der Standort mit folgenden Kürzeln: B-O = Bodennah-Offenland, B-W = Bodennah-Waldrand, NW = Messmast Nordwest, NE = Messmast Nordost, H10 = 10 m, H33 = 33 m, H65 = 65 m, H95 = 95 m.

SN	Standort	Insgesamt [Tage]	Gerätelaufzeit [Tage]	Gerätelaufzeit [%]
001	B-O	117	53	45
002	B-W	157	81	52
003	B-W	157	3	2
004	B-O	165	162	98
005	B-W	157	67	43
006	B-O	157	130	83
007	B-O	117	29	25
008	B-O	165	162	98
009	NW-H10	162	71	44
010	NW-H33	162	6	4
011	NW-H65	162	153	94
012	NW-H95	162	161	99
013	NE-H10	134	14	10
014	NE-H33	134	134	100
015	NE-H65	134	107	80
016	NE-H95	134	0	0

In Abb. 203 sind die Laufzeiten der Insektenfotofallen in Tagen über den gesamten Erfassungszeitraum dargestellt. Dabei wird deutlich, dass es über das Jahr verteilt Ausfallzeiten in verschiedenen Monaten gab. Da bekanntermaßen die Jahreszeiten einen Einfluss auf die Insektenabundanz haben, muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden, dass die Anzahl an aktiven Insektenfotofallen über den Erfassungszeitraum unterschiedlich war.

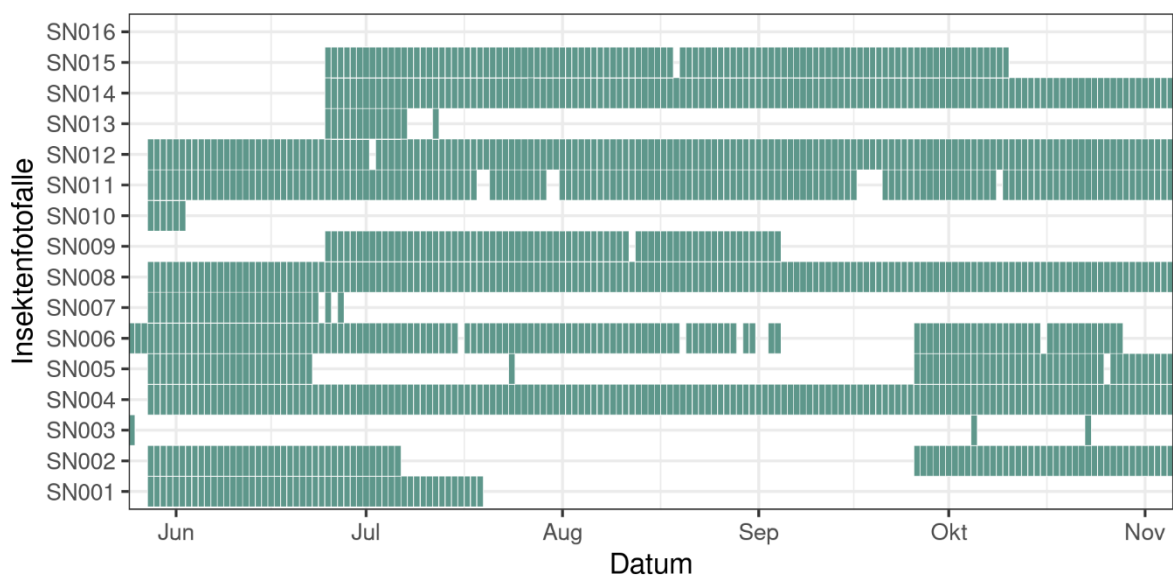


Abb. 203: Laufzeiten der Insektenfotofallen in Tagen während des Erfassungszeitraums (Mitte Mai 2020 bis Anfang November 2020).

Über den gesamten Erfassungszeitraum sind insgesamt 65.287 hochauflösenden Aufnahmen und davon 32.236 Bildpaare (Vorher-/Nachher-Bilder) entstanden. Hiervon stammen 15.972 Bildpaare von der Leuchtplatten-Kamera und 16.264 Bildpaare von der Umgebungskamera der jeweiligen Insektenfotofallen. Aufgrund von unterschiedlichen technischen Problemen (Ausfälle der Strahler oder der Kamera, Überbelichtung der Bilder sowie Doppelung der Aufnahmezyklen) mussten Bildpaare verworfen werden. Ausgewertet werden konnten in der Summe jedoch 22.753 Bildpaare.

6.3.1.2 Gespeicherte und gesendete Aufnahmen

Gesendete Aufnahmen via Cloud

Es konnten 64.786 Aufnahmen – und damit etwa 99 % der hochauflösenden Originalaufnahmen - via Cloud mit einer geringeren Auflösung (320 x 240 Pixel) bereits vor dem Abbau der Geräte übertragen werden. Auf diese Weise wurde eine Funktionskontrolle der Geräte bereits während der laufenden Erfassung ermöglicht.

Der Bildausschnitt der Aufnahmen wurde beispielsweise so gewählt, dass auf jedem Bild der Umgebungskamera der Aluminiumausleger mit der Mini-Box (für die fotografische Erfassung der Anlockfläche) als rechtwinklige, hell leuchtende, reflektierende Struktur erkennbar ist (Abb. 204). Dadurch konnte eine einfache Funktionsprüfung der Umgebungskamera bzw. des oberen IR-Strahlers stattfinden, da das Reflektieren des Auslegers das Funktionieren der beiden Gerätekomponenten beweist.

Die Umgebungsbilder geben zudem Auskunft über die vorherrschende Wettersituation, wobei beispielsweise Regen oder Nebel (Abb. 204t) bei der Auswertung berücksichtigt werden mussten.



Abb. 204: Aufnahmen der Umgebungskamera installierter Insektenfotofallen. Die Witterungsverhältnisse sind gut zu erkennen: Regen (links), Nebel (Mitte) und mondhele Nächte (rechts). Als rechtwinklige, reflektierende Struktur ist auf jedem Bild zudem der Ausleger der Insektenfotofalle mit der Mini-Box (für die Erfassung der Lockfläche) erkennbar. Dieser Bildausschnitt dient der schnellen Funktionsprüfung der Umgebungskamera und des oberen IR-Strahlers.

Ein bemerkenswertes Bild ist an SN 005 (bodennah-Waldrand) entstanden. Hier nutzte eine Eule den Trägerarm für die Mini-Box der Insektenfotofalle als Sitzwarte (Abb. 205). Dabei verhinderte die robuste Konstruktion der Insektenfotofalle eine Beschädigung.



Abb. 205: Aufnahme einer Eule durch die Umgebungskamera an der Insektenfotofalle SN 005.

Gespeicherte Originalaufnahmen

Die hochauflösenden Aufnahmen (1920 x 1440 Pixel) wurden auf der SD-Karte der Geräte gespeichert und konnten aufgrund ihrer Datengröße nicht via Cloud gesendet und demnach erst nach dem Abbau der Geräte gesichtet werden.

Die hochauflösenden Aufnahmen erlauben eine Vergrößerung selbst kleiner Insekten, so dass sie zum Teil auf Ordnungs- bzw. Familien-Niveau bestimmt werden konnten. Die Aufnahmen mit geringer Auflösung erlauben eine solche Zuordnung, wenn überhaupt, nur sehr eingeschränkt. In Abb. 206 sind beispielhaft hochauflösende Aufnahmen, inklusive einer Detailansicht, dargestellt.

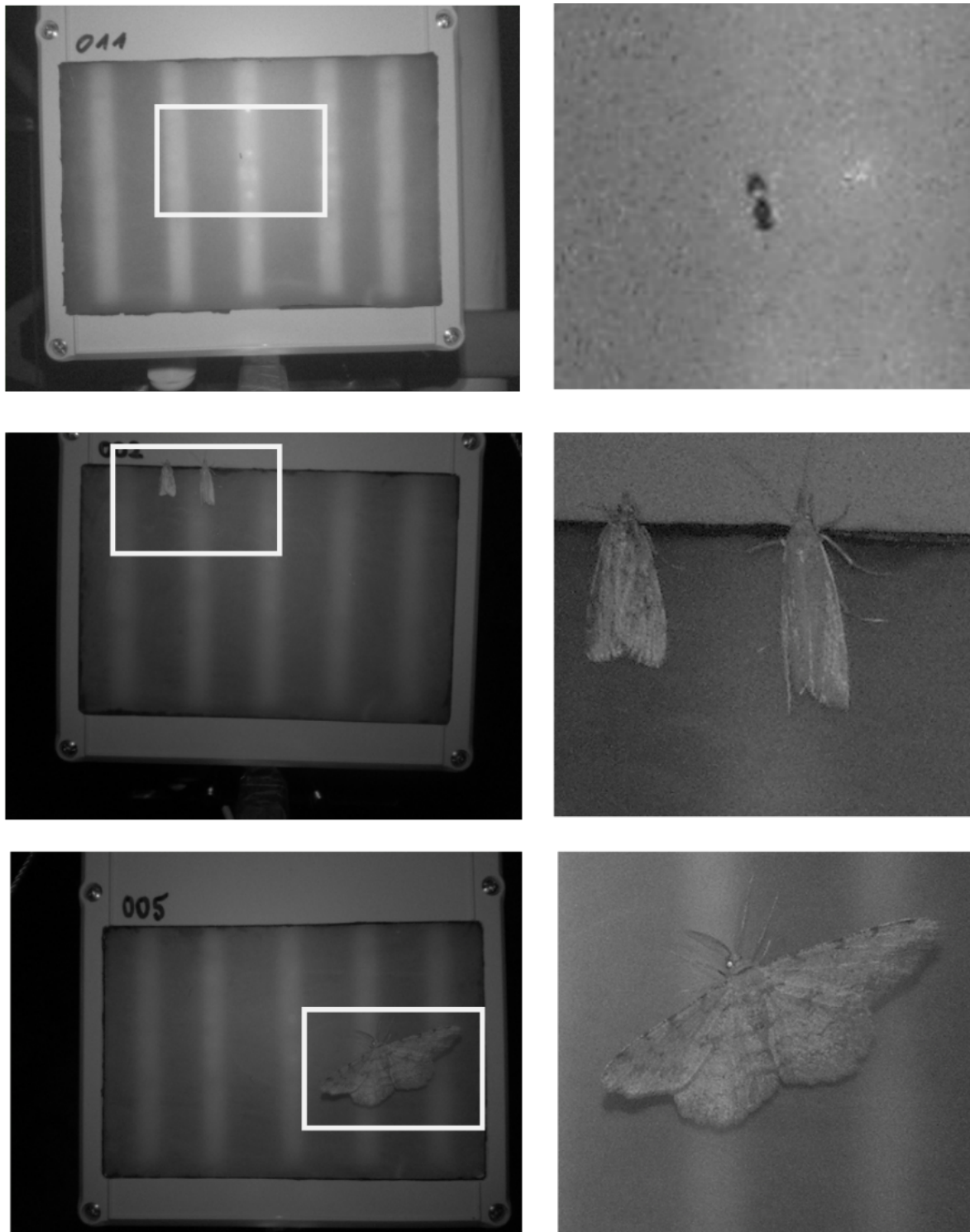


Abb. 206: Hochauflösende Aufnahmen der Anlockfläche verschiedener Insektenfotofallen. Links sind die Originalaufnahmen der Leuchtplatten-Kamera, rechts Vergrößerungen dieser Aufnahmen dargestellt. Die hohe Qualität der Aufnahmen erlauben Vergrößerungen - selbst von kleinen Insekten - und erleichtern eine Bestimmung bzw. machen sie überhaupt erst möglich.

6.3.2 Deskriptive Analyse

6.3.2.1 Insektenabundanz

Insgesamt wurden 628 Insekten (Umfeld und Messmast) erfasst, wobei davon die meisten Insekten auf der Leuchtplatte (N = 556) nachgewiesen werden konnten. Lediglich 72 Insekten wurden von der Umgebungskamera erfasst.

Aufgrund der geringen Anzahl erfasster Insekten durch die Umgebungskamera sowie der Schwierigkeit bei der Auswertung dieser Daten – ein Bestimmen und Vermessen der Insekten war nicht möglich – wurden bei der weiteren Auswertung allein die auf der Leuchtplatte erfassten Insekten berücksichtigt.

Die folgenden Auswertungen beziehen sich daher ausschließlich auf Insekten, die auf der Leuchtplatte erfasst wurden.

Anzahl und Ordnung

Pro Aufnahme mit Insektennachweis (N = 556) wurden zumeist ein bis zwei Insekten gleichzeitig erfasst, es entstanden jedoch auch Aufnahmen mit bis zu 6 Insekten. Einige Insekten wurden auch über mehrere Stunden hinweg auf der Leuchtplatte beobachtet, wobei solche Beobachtungen überwiegend bei Schlecht-Wetter-Perioden auftraten.

Knapp die Hälfte der erfassten Insekten konnten auf Ordnungsniveau bestimmt werden, in 54,5 % war eine Bestimmung, zumeist aufgrund einer geringen Körpergröße der Insekten, nicht möglich (Tab. 30). In Abb. 207 sind beispielhaft Detail-Aufnahmen von erfassten Insekten verschiedenster Ordnungen zusammengestellt.

Tab. 30: Übersicht der auf der Leuchtplatte erfassten Insekten.
Aufgeführt sind die Ordnung, die Anzahl sowie der prozentuale Anteil der jeweiligen erfassten Insekten aus einer Ordnung (bezogen auf die insgesamt nachgewiesenen Insekten).

Ordnung	Deutscher Name	Individuen Anzahl	Anteil der insgesamt erfassten Insekten [%]
<i>Aranea</i>	Webspinnen	23	4,2
<i>Coleoptera</i>	Käfer	2	0,4
<i>Dermaptera</i>	Ohrwürmer	39	7
<i>Diptera</i>	Fliegen	75	13,6
<i>Hemiptera</i>	Schnabelkerfe	1	0,2
<i>Hymenoptera</i>	Hautflügler	4	0,7
<i>Lepidoptera</i>	Schmetterlinge	98	17,8
<i>Neroptera</i>	Netzflügler	9	1,6
	unbestimmt	301	54,5

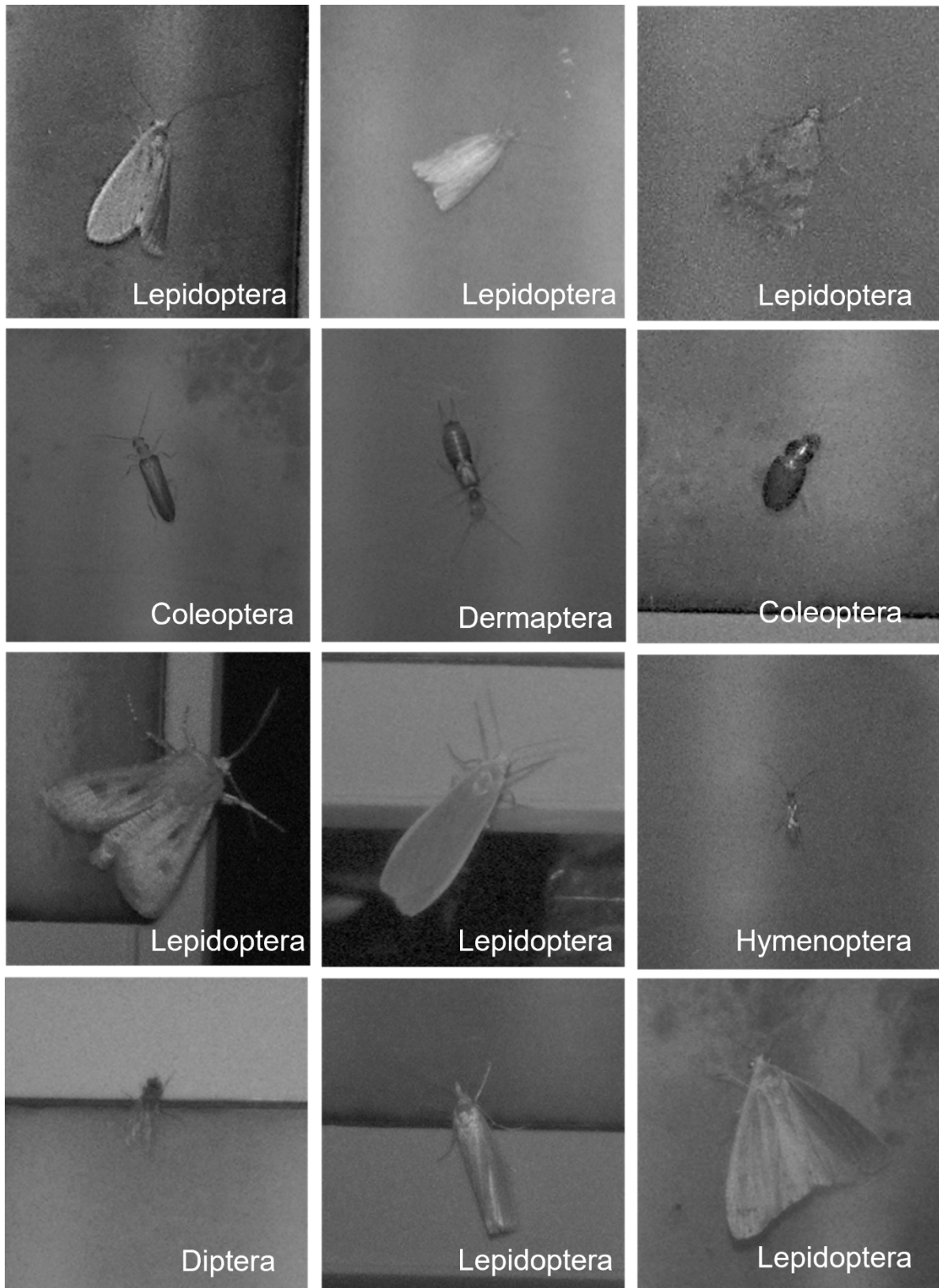


Abb. 207: Aufnahmen von Insekten auf der Leuchtplatte der Insektenfotofallen. Es sind Vertreter aus unterschiedlichen Ordnungen zu sehen.

Körperlänge

Die Körperlänge erfasster Insekten konnte in vier Fällen (Insekt sitzt seitlich an der Insektenfotofalle) nicht vermessen werden. In Summe konnten 552 Insekten vermessen werden.

Die Körperlängen variierten von 1,0 mm bis 29,8 mm, wobei die größten Insekten innerhalb der Ordnung der *Lepidoptera* (Schmetterlinge) nachgewiesen werden konnten (Abb. 208). Insekten, die nicht bestimmt werden konnten, waren meist verhältnismäßig klein, hier wurde auch die geringste Körperlänge von 1,0 mm gemessen.

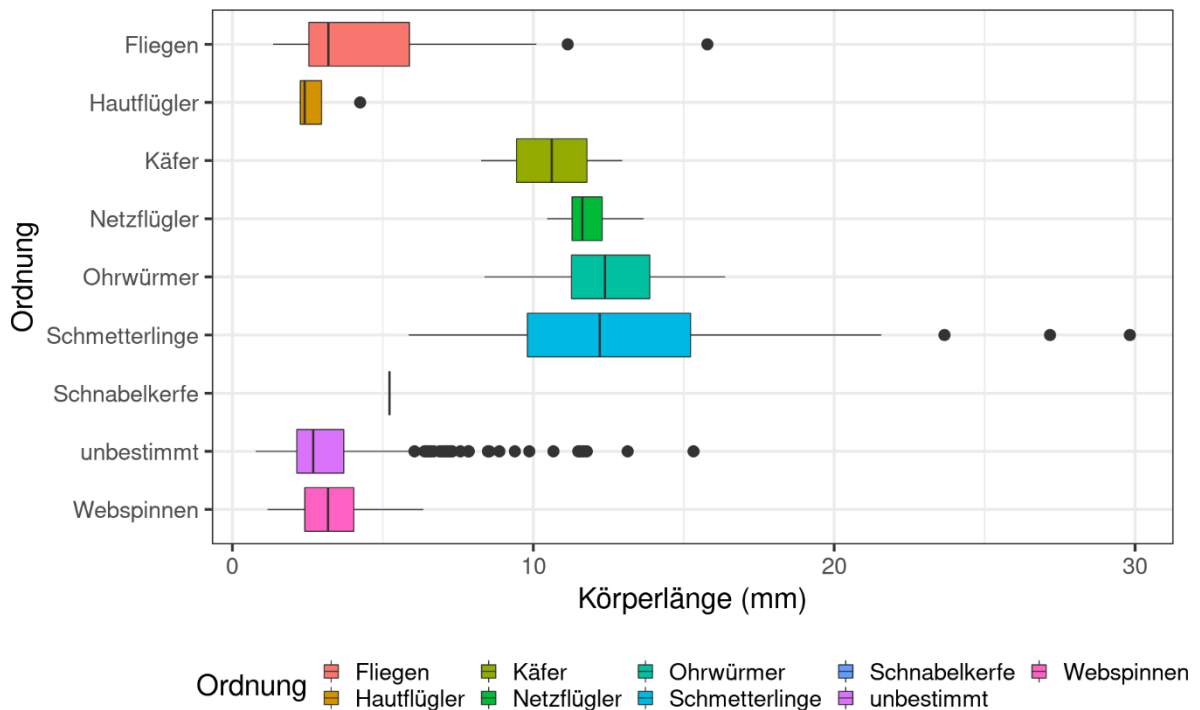


Abb. 208: Überblick über die gemessenen Körperlängen der auf der Leuchtplatte erfassten Insekten, farblich codiert nach ihrer Ordnung (sofern eine Bestimmung möglich war). Die Daten sind hier in Form eines Boxplot-Diagramms dargestellt, das heißt innerhalb der Box liegen 50 % der Daten (25 % bis 75 %), der Median ist durch einen senkrechten Strich gekennzeichnet. 95 % der Daten liegen im Bereich der Ausdehnung der „Whiskers“ (horizontale Linien), Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt.

6.3.2.2 Insektenabundanz in Abhängigkeit vom Standort

Umfeld-Insektenfotofallen

Die Anzahl an erfassten Insekten an den Umfeld-Insektenfotofallen variierte leicht je nach Standort, prägnante Unterschiede konnten nicht festgestellt werden, mit Ausnahme der Insektenfotofalle SN 006 (Abb. 209A). Hier konnten die meisten Insekten erfasst werden, dies gilt auch dann noch, wenn die Anzahl an Erfassungstagen mit berücksichtigt werden. Der Standort dieser Insektenfotofalle sticht durch seine besonders windgeschützte Lage inmitten einer Heckenreihe heraus (siehe Kapitel 6.2.3). Vergleicht man die Anzahl erfasster Insekten am Waldrand (SN 002, SN 003 und SN 005) mit denen in der Agrarfläche (SN 001, SN 004 und SN 008) so werden keine offensichtlichen Unterschiede deutlich (unter Berücksichtigung der Erfassungstage) (Abb. 209A). Die Insektenfotofalle SN 007 fiel nach einem knappen Monat Erfassungszeit (Juni) bedingt durch technische Defekte aus, weshalb hier nur wenige Erfassungstage vorliegen. Trotzdem kann vermutet werden, dass an diesem Standort weniger bis gleich viele Insekten auftreten, wie an den anderen Standorten, vergleicht man die Anzahl an erfassten Insekten vor dem Hintergrund der Erfassungstage (Abb. 209A).

Hinsichtlich der nachgewiesenen Ordnungen an Insekten, konnten keine auffallenden Unterschiede an den verschiedenen Standorten nachgewiesen werden (Abb. 209B). Insgesamt

wurden häufig Vertreter aus der Ordnung der Fliegen (*Diptera*), der Schmetterlinge (*Lepidoptera*) sowie der Ohrwürmer (*Dermaptera*) erfasst. Selten waren Webspinnen (*Araneae*), Hautflügler (*Hymenoptera*) und Netzflügler (*Neuroptera*). Mit jeweils nur 1 % wurden Käfer (*Coleoptera*) und Schnabelkerfen (*Hemiptera*) nachgewiesen. Insgesamt muss allerdings berücksichtigt werden, dass im Mittel pro Umfeld-Insektenfotofalle ca. 45 % an erfassten Insekten nicht bestimmt werden konnten. Aus diesem Grund sind unterschiedliche Verteilungen möglich.

Betrachtet man die Körperlängen erfasster Insekten (unabhängig von ihrer Ordnung) finden sich geringfügige Unterschiede hinsichtlich der verschiedenen Erfassungsstandorte (Abb. 209C). Erfasste Insekten am Waldrand waren mit ca. 4 mm im Median eher kleiner (SN 002, SN 003, SN 005, SN 006), wobei SN 003 hervorsticht. Hier wurde ein etwa doppelt so hoher Medianwert ermittelt, dabei muss allerdings die geringe Anzahl erfasster Insekten berücksichtigt werden. Insekten an den Fotofallen in der Agrarfläche (SN 001, SN 004 und SN 008) scheinen leicht größer zu sein (Median zwischen 6 mm und 8 mm), wobei der davon abweichende, niedrigere Körperlängen-Medianwert an SN 004 auffällt (Abb. 209C). Insgesamt kann aber festgestellt werden, dass die Variationen der Körperlängen-Mediane an den verschiedenen Standorten (SN 001 bis SN 008) gering sind, da sie jeweils in der „50 % - Box“ der Standorte vertreten sind (Abb. 209C). Das bedeutet, in 50 % der Daten an jedem Standort sind alle auftretenden Mediane inkludiert. Auffällige Unterschiede ließen sich daran erkennen, dass ein Median außerhalb der „Box“ eines anderen Medians liegt.

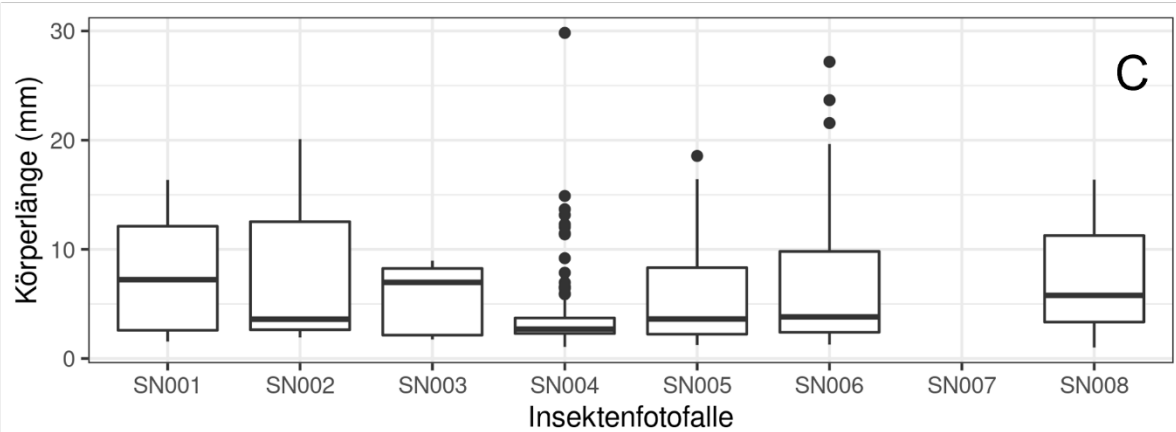
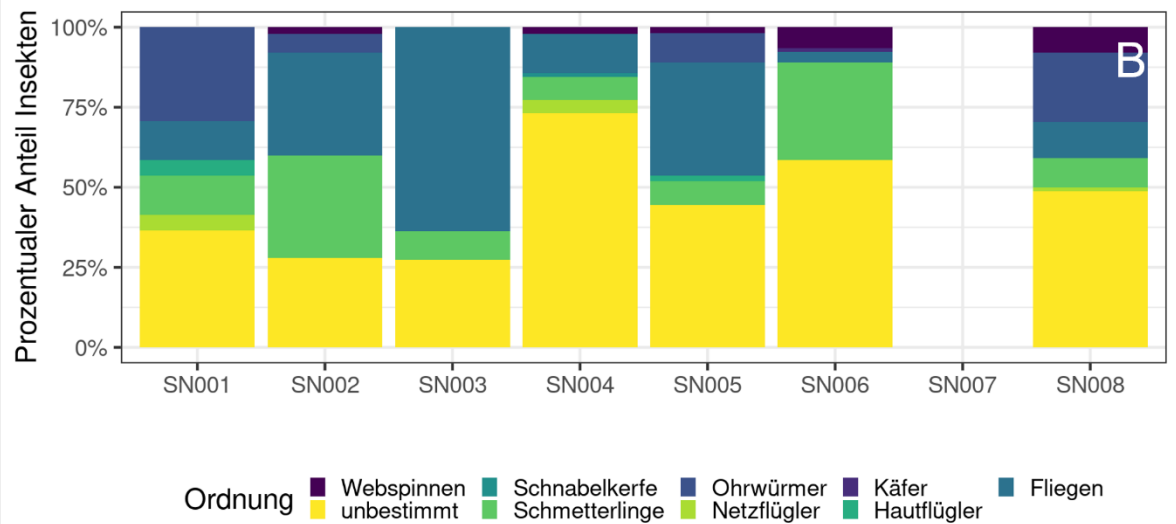
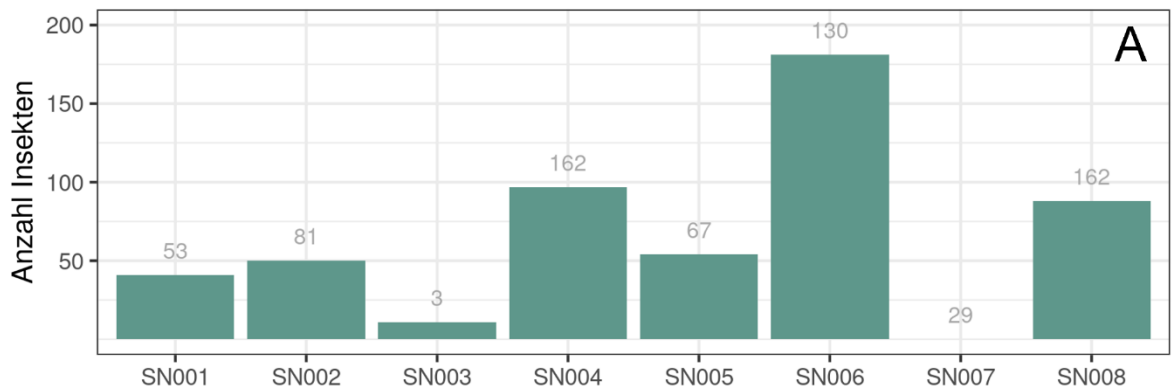


Abb. 209: Absolute (A) und relative Anzahl (B) sowie die gemessenen Körperlängen (C) erfasster Insekten an den Umfeld-Insektenfotofallen.

Die hellgrauen Zahlen oberhalb der Balken für die absolute Anzahl (A) geben die Anzahl an Erfassungstagen an. Die Daten der Körperlänge (C) sind in Form eines Boxplot-Diagramms dargestellt, das heißt innerhalb der Box liegen 50 % der Daten (25 % bis 75 %), der Median ist durch einen senkrechten Strich gekennzeichnet. 95 % der Daten liegen im Bereich der Ausdehnung der „Whiskers“ (horizontale Linien), Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt.

Messmast-Insektenfotofallen

Die Anzahl an erfassten Insekten an den Messmast-Insektenfotofallen (N = 30) war insgesamt deutlich geringer als an den Umfeld-Insektenfotofallen (N = 526). Zudem liegen, bedingt durch Ausfälle, für die Insektenfotofallen SN 013, SN 010 sowie SN 016 nur wenige bis gar keine Daten vor. Bei der Einordnung der folgenden Ergebnisse muss dieser Umstand mit berücksichtigt werden.

In Abhängigkeit zur Erfassungshöhe konnten auffällige Unterschiede hinsichtlich der Insektenabundanz festgestellt werden, sie nahm mit zunehmender Erfassungshöhe ab. So wurden die meisten Insekten in 10 m Höhe (SN 009) und damit in der niedrigsten Erfassungshöhe nachgewiesen (Abb. 210A). Deutlich weniger Insekten wurden bereits in 35 m Höhe erfasst, dieser Effekt wird umso auffälliger, wenn man die Erfassungstage mitberücksichtigt; im Vergleich zur SN 009 war die Insektenfotofalle SN 014 nahezu doppelt so lang aktiv. In 65 m Höhe konnte – trotz einer Gerätelaufzeit von 94 % - nur 1 Individuum, in 95 m Höhe bei einer Gerätelaufzeit von 99 % gar kein Insekt erfasst werden.

Betrachtet man die Insektenordnungen, die in den unterschiedlichen Erfassungshöhen nachgewiesen werden konnten, so fällt auf, dass sich die Zusammensetzung mit zunehmender Höhe verändert (Abb. 210B). So konnten auf 65 m ausschließlich Hautflügler (*Hymenoptera*) nachgewiesen werden wohingegen in 10 m Höhe neben Schmetterlingen (*Lepidoptera*) auch Netzflügler (*Neuroptera*) erfasst wurden, Hautflügler (*Hymenoptera*) hingegen traten hier gar nicht auf. Generell muss allerdings auch der Anteil an nicht bestimmten Insekten berücksichtigt werden, an SN 014 konnte von den 6 erfassten Insekten bspw. keines bestimmt werden.

Hinsichtlich der Körperlängen erfasster Insekten fällt der Trend auf, dass mit zunehmender Höhe immer kleinere Insekten erfasst wurden und der Median der Körperlänge der Insekten abnahm (Abb. 210C). Eine Ausnahme bildet der Median an SN 013, allerdings wurde hier nur 1 Insekt vermessen.

Noch deutlicher wird die Abnahme der Körperlänge an erfassten Insekten mit zunehmender Höhe, wenn zusätzlich die Insekten, die von den Umfeld-Insektenfotofallen erfasst wurden, dargestellt werden (Abb. 211). Dabei zeigt sich, dass der Median der Körperlänge von ca. 4 mm in 3 m Höhe auf etwa 2,5 mm in 65 m Höhe abnimmt. Außerdem fällt auf, dass die Variation an Körperlängen mit zunehmender Höhe geringer wird. Das spiegelt einerseits die unterschiedliche Anzahl an erfassten Insekten wider (Abb. 209A und Abb. 210A), aber auch die unterschiedliche Diversität hinsichtlich der nachgewiesenen Ordnungen (Abb. 209B und Abb. 210B); die Umfeld-Insektenfotofallen erfassten deutlich mehr Insekten aus verschiedenen Ordnungen als die Insektenfotofallen an den Messmasten.

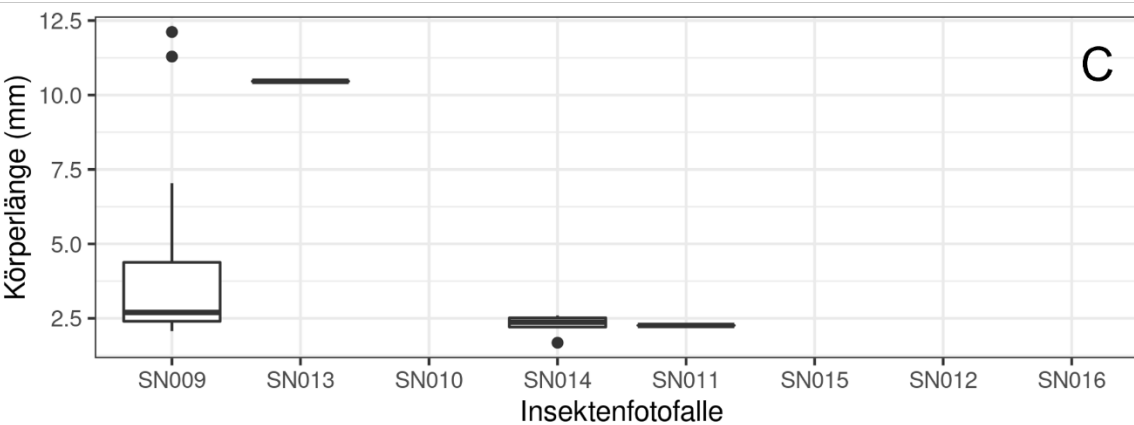
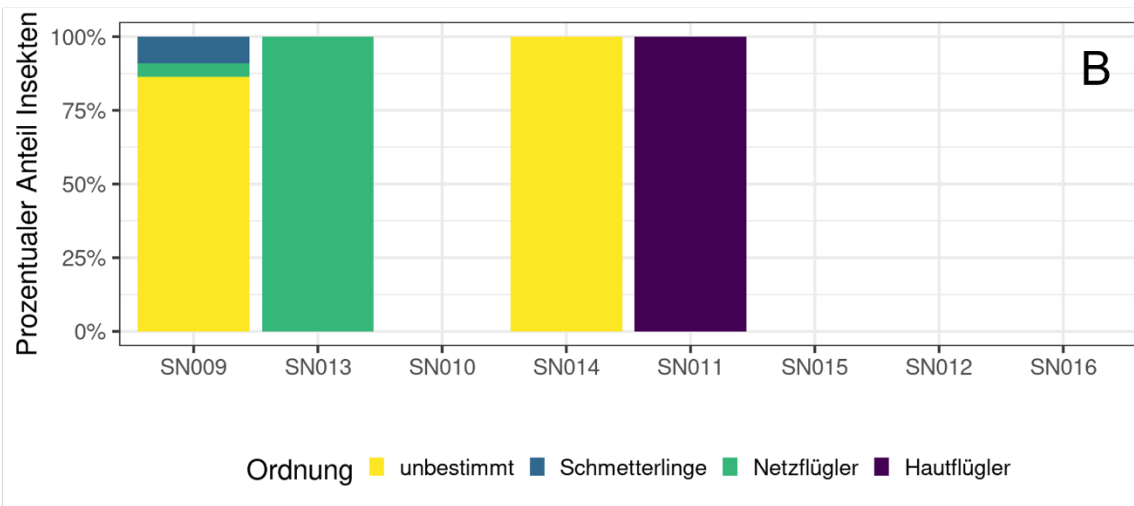
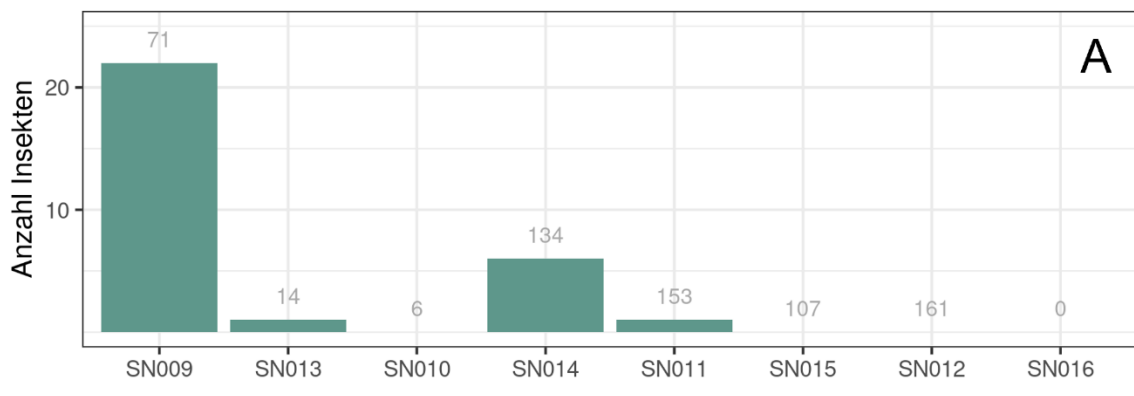


Abb. 210: Absolute (A) und relative Anzahl (B) sowie die gemessenen Körperlängen (C) erfasster Insekten an den Messmast-Insektenfotofallen in den unterschiedlichen Erfassungshöhen SN 009 und SN 013 = 10 m, SN 010 und SN 014 = 35 m, SN 011 und SN 015 = 65 m, SN 012 und SN 016 = 95 m. Die hellgrauen Zahlen oberhalb der Balken für die absolute Anzahl (A) geben die Anzahl an Erfassungstagen an. Die Daten der Körperlänge (C) sind in Form eines Boxplot-Diagramms dargestellt, das heißt innerhalb der Box liegen 50 % der Daten (25 % bis 75 %), der Median ist durch einen senkrechten Strich gekennzeichnet. 95 % der Daten liegen im Bereich der Ausdehnung der „Whiskers“ (horizontale Linien), Ausreißer sind als einzelne Punkte dargestellt.

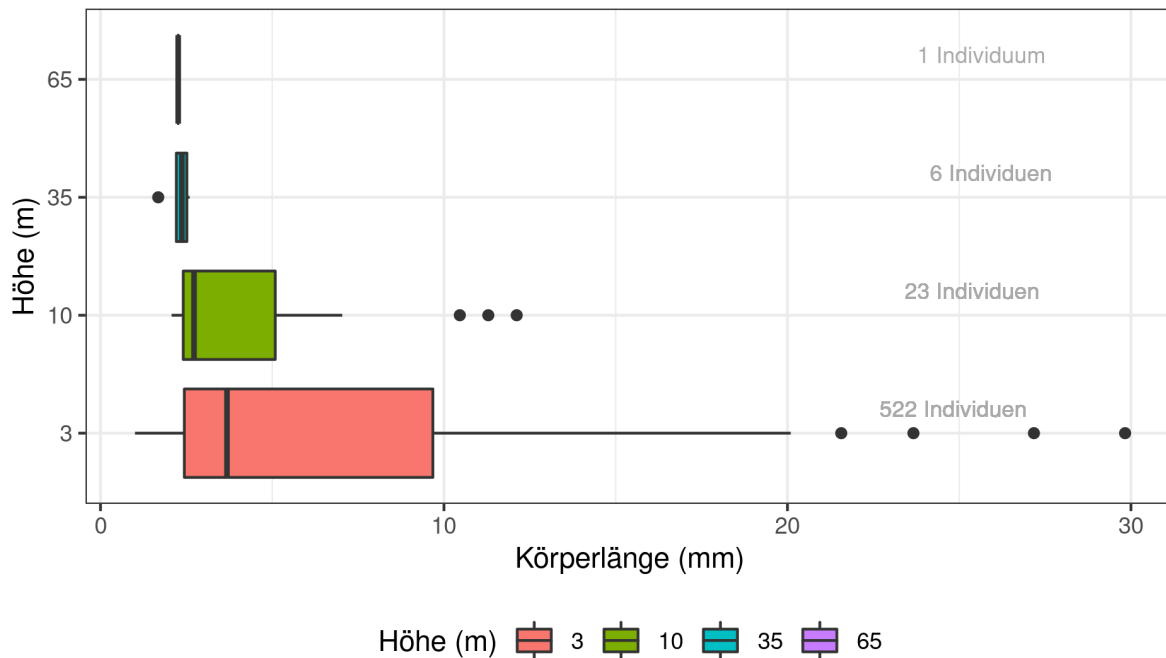


Abb. 211: Überblick über die Körperlänge aller gemessenen Insekten über die verschiedenen Erfassungshöhen.
 Die bestimmten Insektenordnungen wurden hier nicht unterschieden. 3 m = Insektenfotofallen im Umfeld; 10 m bis 65 m = Insektenfotofallen am Messmasten. In 95 m konnten keine Insekten erfasst werden, weshalb hier auch keine Darstellung erfolgte.

6.3.2.3 Insektenabundanz in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern

Für die im Folgenden gezeigten Ergebnisse, wurden die Insektendaten mit Daten, der an den Messmasten installierten, Wettermessstationen verschnitten. Aufgrund von technischen Ausfällen der Wettermessstationen liegen für vier Insektennachweise keine Wetter-Daten vor. Entsprechend fanden diese Nachweise keine Berücksichtigung bei den folgenden Ergebnissen.

Umfeld-Insektenfotofallen

Betrachtet man die relative Insektenabundanz an den Umfeld-Insektenfotofallen in Abhängigkeit von der Temperatur, so wird deutlich, dass der prozentuale Anteil an Nachweisen mit sinkenden Temperaturen abnahm bzw. umgekehrt, prozentual mehr Insekten bei steigenden Temperaturen nachgewiesen werden konnten (Abb. 212). Zwischen 12 °C und 21 °C wurden anteilig die meisten Insekten erfasst, wobei hier berücksichtigt werden muss, dass bei höheren Temperaturen auch weniger Daten insgesamt erhoben wurden (vgl. graue Balken Abb. 212).

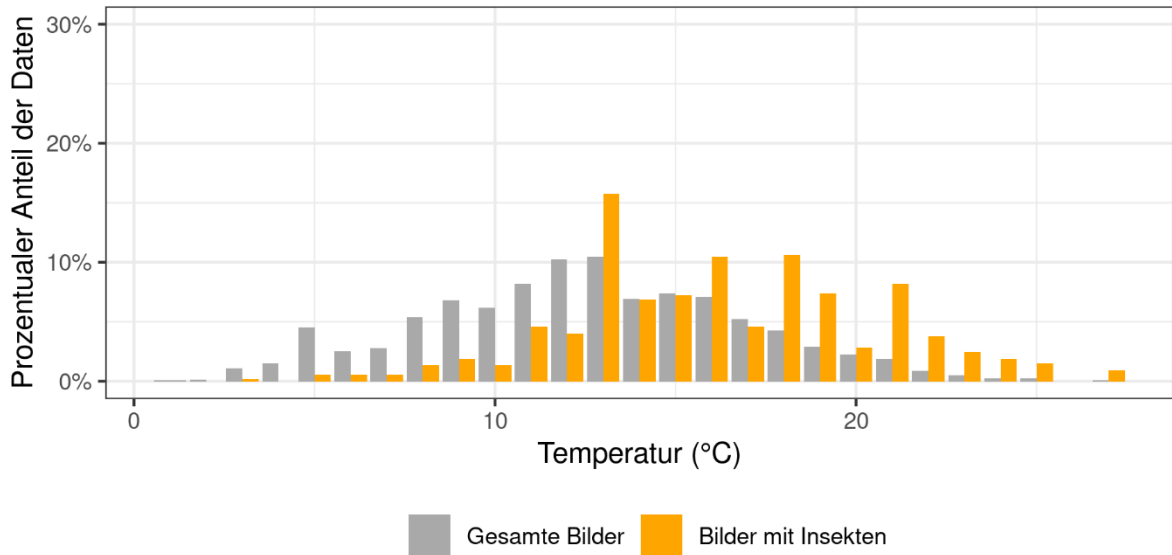


Abb. 212: Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Umfeld-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Temperatur.

Neben der vorherrschenden Temperatur zeigte sich auch bei der Windgeschwindigkeit ein Effekt auf die relative Insektenabundanz der Umfeld-Insektenfotofallen. Bei Windgeschwindigkeiten zwischen 0 m/s und 3 m/s wurden prozentual die meisten Insekten nachgewiesen (Abb. 213). Mit zunehmender Windgeschwindigkeit, war auch der prozentuale Anteil an Insektennachweisen geringer. Bei einer Windgeschwindigkeit ab 6 m/s konnten nahezu keine Insekten mehr nachgewiesen werden.

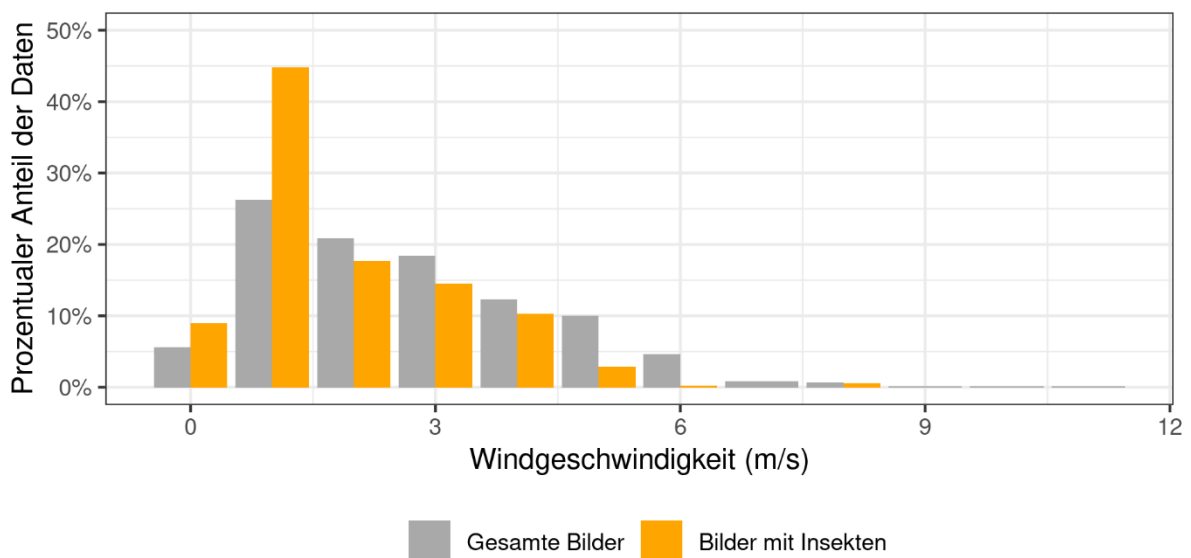


Abb. 213: Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Umfeld-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit.

Betrachtet man die absolute Insektenabundanz unter Berücksichtigung der vorherrschenden Temperatur und Windgeschwindigkeit, so wird deutlich, dass die meisten Insektennachweise in einem Temperaturbereich von ca. 12 °C bis ca. 20 °C und Windgeschwindigkeiten von 0 m/s bis ca. 1 m/s erbracht werden konnten (Abb. 214). Über diesen Bereich hinaus nimmt

die Streuung der Insektennachweise zu und die Nachweise generell ab. Oberhalb einer Windgeschwindigkeit von 5 m/s und unterhalb einer Temperatur von ca. 8 °C werden kaum noch Insekten nachgewiesen. Die generelle Datenlage, d. h. Bilder mit und ohne Nachweis (graue Punkte vgl. Abb. 214), deckt den Bereich von ca. 5 °C bis 20 °C und ca. 0 m/s bis 6 m/s verhältnismäßig gut ab und unterstreicht damit das Ergebnis.

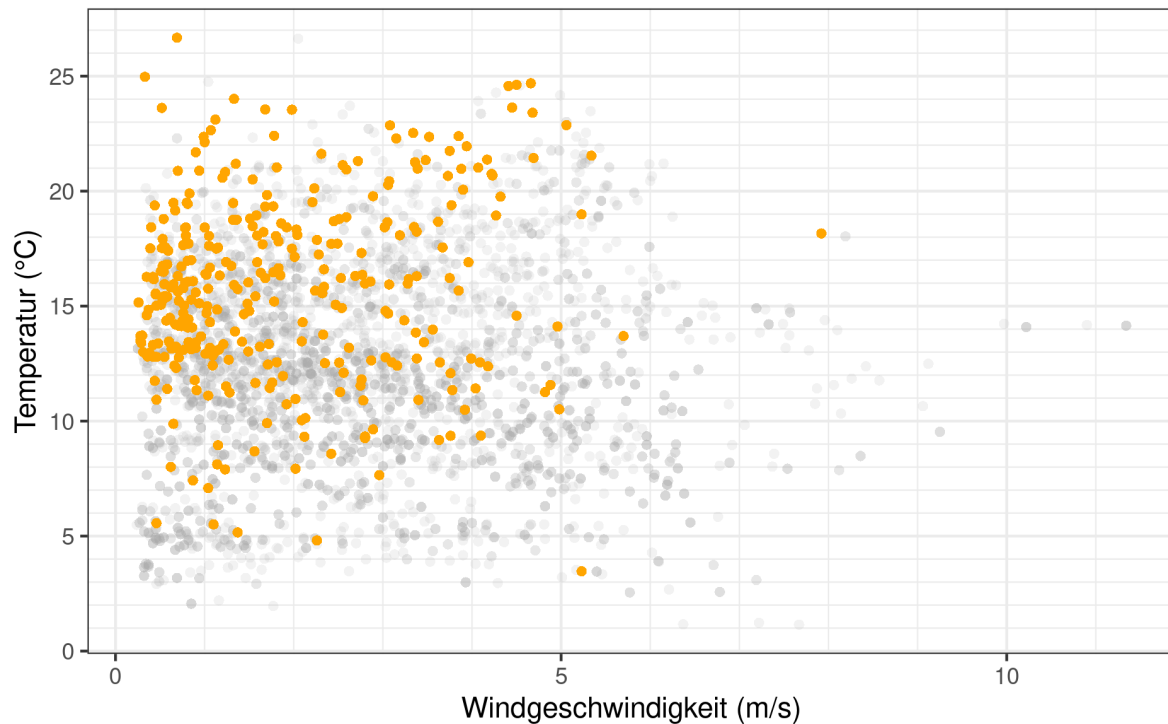


Abb. 214: Absolute Anzahl an Bildern mit Insektennachweisen (orangene Punkte) an den Umfeld-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur vorherrschenden Temperatur und Windgeschwindigkeit.
Für eine bessere Einordnung der Nachweise wurde hier zusätzlich die Anzahl an auswertbaren Bildern als graue Punkte dargestellt. Die Datenlage ist umso größer, je dunkler die grauen Punkte sind.

Neben der Windgeschwindigkeit wurde auch die Windrichtung im Zusammenhang mit der relativen Insektenabundanz betrachtet. Dabei zeigte sich, dass es prozentual die meisten Insektennachweise gab, wenn der Wind aus (nord-)westlicher Richtung wehte. Für diese Windrichtung liegen auch die meisten Daten insgesamt vor (Bilder mit und ohne Nachweis, graue Balken vgl. Abb. 215).

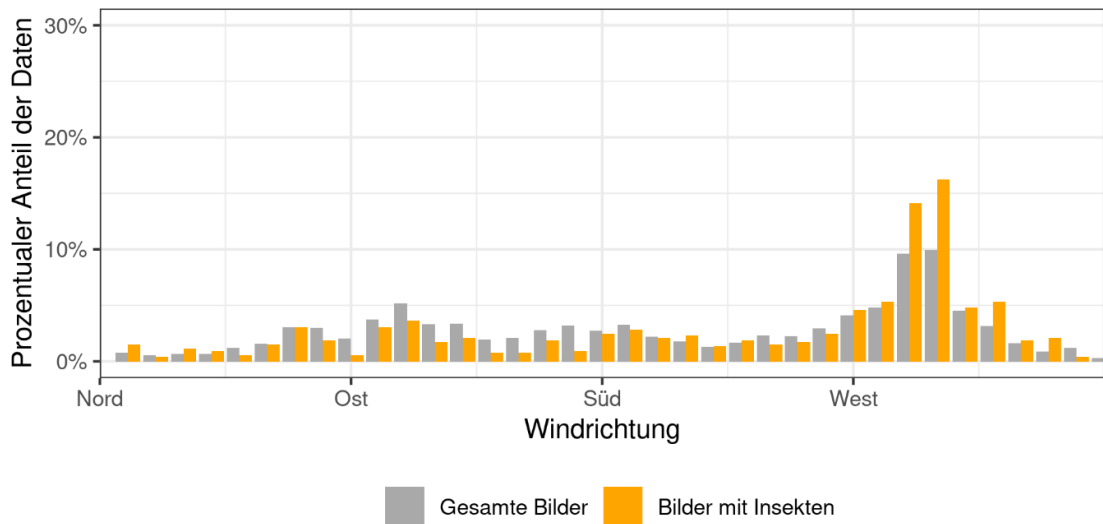


Abb. 215: Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Umfeld-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Windrichtung.

Untersucht wurde auch der Zusammenhang zwischen der Regenwahrscheinlichkeit und der relativen Insektenabundanz. Dabei konnte gezeigt werden, dass mit zunehmender Regenwahrscheinlichkeit der Anteil an erfassten Insekten drastisch abnahm. So konnten prozentual die meisten Insekten bei einer Regenwahrscheinlichkeit von 0,0 erfasst werden. In diesem Bereich wurden auch generell die meisten Daten erhoben (Bilder mit und ohne Nachweis, graue Balken vgl. Abb. 216).

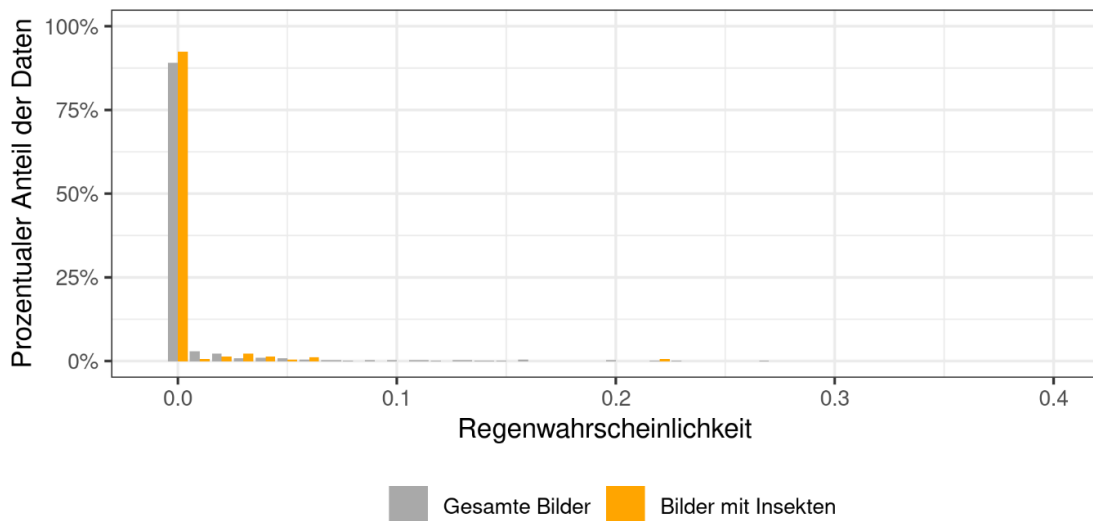


Abb. 216: Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Umfeld-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Regenwahrscheinlichkeit.

Messmast-Insektenfotofallen

Die folgenden Abbildungen berücksichtigen alle Messmast-Insektenfotofallen zusammen, die unterschiedlichen Erfassungshöhen werden nicht getrennt betrachtet.

Die relative Insektenabundanz an den Messmast-Insektenfotofallen in Abhängigkeit von der Temperatur zeigt, dass prozentual die meisten Insekten zwischen 12 °C und 18 °C erfasst

werden konnten, einige Insekten (ca. 3 %) wurden auch bei Temperaturen um 25 °C nachgewiesen (Abb. 217). Dieses Ergebnis deckt sich mit den Daten, die bereits für die Umfeld-Insektenfotofallen dargestellt wurden (vgl. Abb. 212). Im Bereich von 8 °C bis 20 °C wurden prozentual insgesamt auch die meisten Daten erhoben (Bilder mit und ohne Nachweise, graue Balken vgl. Abb. 217).

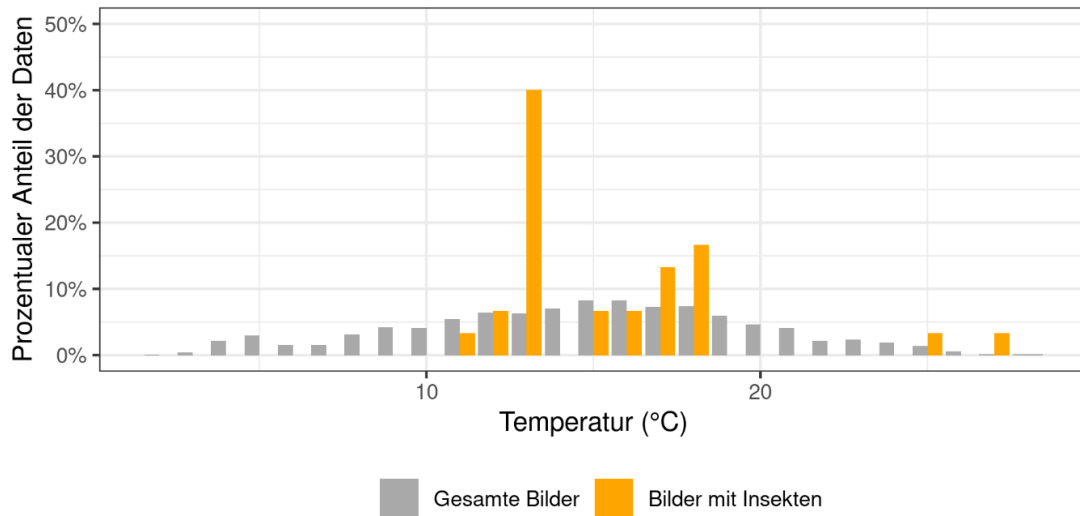


Abb. 217: Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Messmast-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Temperatur.

Bei der Betrachtung der relativen Insektenabundanz in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit zeigte sich für die Insektenfotofallen am Messmasten, dass bei Windgeschwindigkeiten zwischen 0 m/s und ca. 2 m/s prozentual die meisten Insekten nachgewiesen werden konnten (Abb. 218). Insbesondere für Windgeschwindigkeiten von 2 m/s bis 6 m/s sind die Daten gut vergleichbar, da hier der prozentuale Anteil der insgesamt erhobenen Daten (Bilder mit und ohne Nachweis, graue Balken vgl. Abb. 218) sehr ähnlich ist, die relative Insektenabundanz aber stetig abnimmt. Insgesamt deckt sich auch dieses Ergebnis mit den Daten der Umfeld-Insektenfotofallen (vgl. Abb. 213).

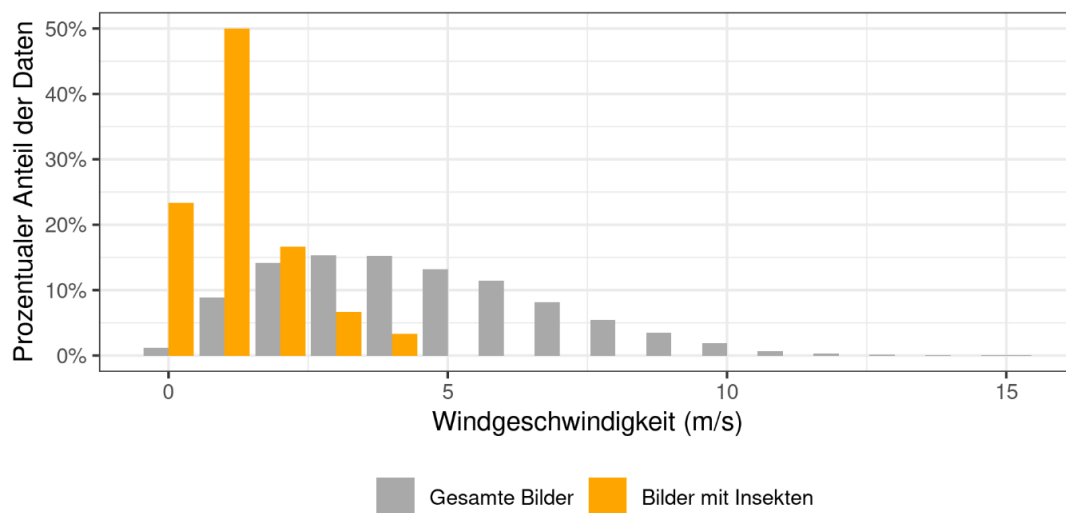


Abb. 218: Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Messmast-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit.

Die absolute Insektenabundanz wies in Bezug auf die vorherrschenden Temperatur- und Windgeschwindigkeitsbedingungen ebenfalls ein ähnliches Ergebnis auf, wie schon für die Umfeld-Insektenfotofallen erbracht werden konnte. So konnten an den Messmasten die meisten Insekten im Temperaturbereich von ca. 12 °C bis etwa 18 °C und bei Windgeschwindigkeiten von 0 m/s bis 1 m/s erfasst werden (Abb. 219). Oberhalb von 5 m/s und unterhalb von 12 °C konnten keine Insekten mehr nachgewiesen werden.

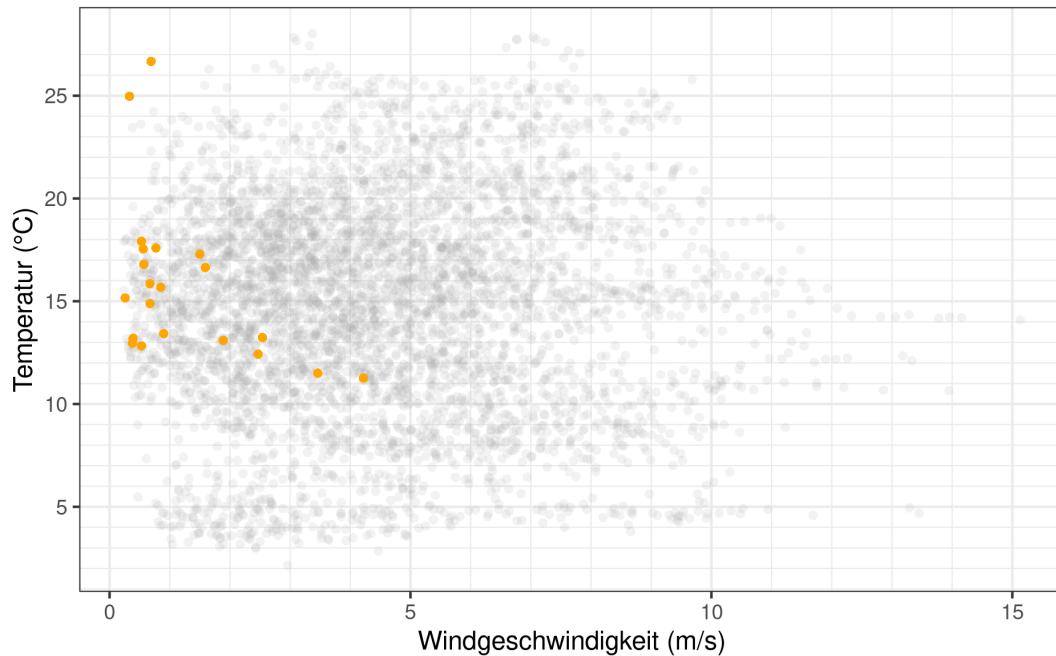


Abb. 219: Absolute Anzahl an Bildern mit Insektennachweisen (orangene Punkte) an den Messmast-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur vorherrschenden Temperatur und Windgeschwindigkeit.

Die unterschiedlichen Erfassungshöhen wurden hier nicht berücksichtigt. Für eine bessere Einordnung der Nachweise wurde hier zusätzlich die Anzahl an auswertbaren Bildern als graue Punkte dargestellt. Die Datenlage ist umso größer, je dunkler die grauen Punkte sind.

In Bezug auf die Windrichtung zeigte sich für die relative Insektenabundanz, dass bei einem Wind aus nordwestlicher Richtung prozentual die meisten Insekten (30 %) nachgewiesen werden konnten (Abb. 220). Auch wurden in diesem Bereich prozentual die meisten Daten gesammelt (Bilder mit und ohne Nachweise, graue Balken vgl. Abb. 220. Damit decken sich diese Ergebnisse mit denen, die an den Umfeld-Insektenfotofallen festgestellt wurden (vgl. Abb. 215).

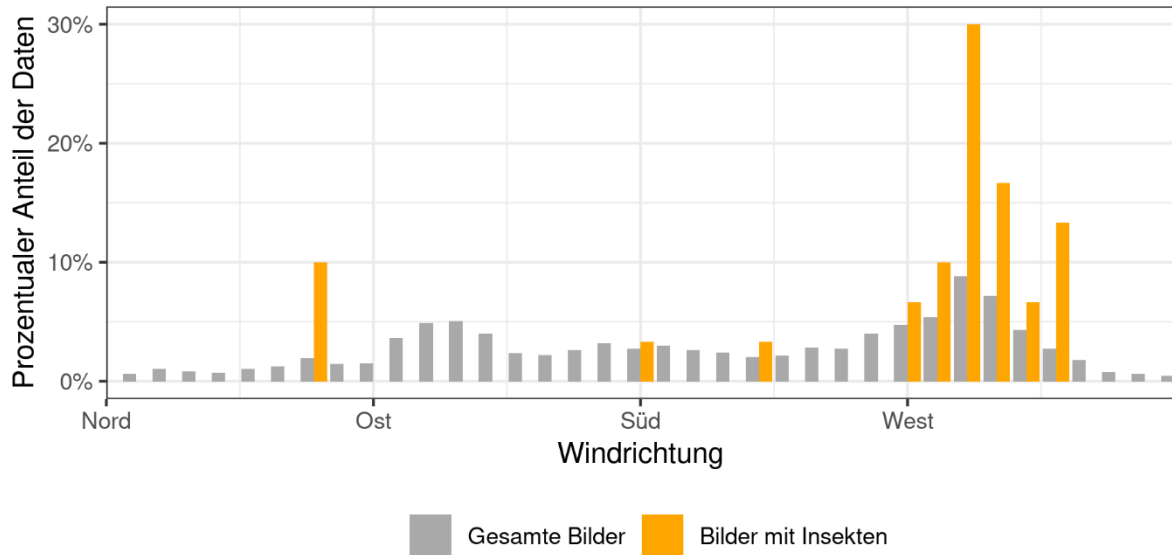


Abb. 220: Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Messmast-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Windrichtung.

Hinsichtlich der Regenwahrscheinlichkeit und dem Zusammenhang zur relativen Insektenabundanz konnte festgestellt werden, dass die meisten prozentualen Nachweise bei einer Regenwahrscheinlichkeit von 0,0 vorlagen (Abb. 221). Hier wurden auch anteilig die meisten Daten insgesamt erhoben (Bilder mit und ohne Nachweis, graue Balken vgl. Abb. 221). Bei einer größeren Regenwahrscheinlichkeit nimmt die relative Insektenabundanz drastisch ab und auch die Gesamtzahl an Bildern sinkt anteilig sehr deutlich. Ein vergleichbares Bild zeigten die Ergebnisse der Umfeld-Insektenfotofallen (vgl. Abb. 216).

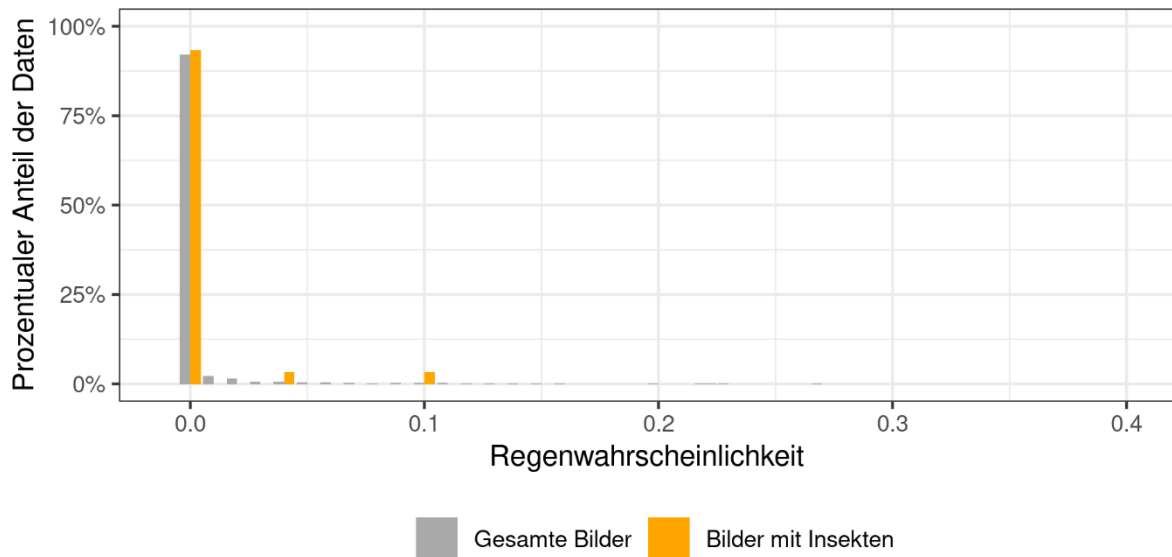


Abb. 221: Prozentualer Anteil an Bildern mit Insektennachweisen sowie jeweils die relative Gesamtzahl an generierten Bildern der Messmast-Insektenfotofallen in Abhängigkeit zur Regenwahrscheinlichkeit.

Die Daten hinsichtlich der untersuchten meteorologischen Parameter Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Regenwahrscheinlichkeit zeigten für die Umfeld-Insektenfotofallen (vgl. Abb. 212 bis Abb. 216) und die Messmast-Insektenfotofallen (vgl. Abb. 217 bis Abb. 221) ähnliche Ergebnisse, weshalb die wesentlichen Punkte hier kurz stichpunktartig zusammengefasst werden sollen:

- Die relative Insektenabundanz war zwischen Temperaturen von ca. 12 °C und 20 °C am größten. Bei Temperaturen unterhalb von 12 °C nahmen die prozentualen Insektennachweise deutlich ab.
- Die relative Insektenabundanz war bei Windgeschwindigkeiten von 0 m/s bis ca. 2 m/s am größten. Bei Windgeschwindigkeiten oberhalb von 2 m/s wurden prozentual deutlich weniger Insekten nachgewiesen.
- Die absolute Insektenabundanz war in einem Temperaturbereich von ca. 12 °C bis 20 °C und bei Windgeschwindigkeiten von 0 m/s bis 1 m/s am größten. Oberhalb von 5 m/s und unterhalb von 12 °C konnten nur noch wenige bzw. gar keine Insekten mehr nachgewiesen werden.
- Die relative Insektenabundanz war bei (nord-)westlicher Windrichtung am größten, hier konnten prozentual die meisten Insekten erfasst werden und auch insgesamt liegen für diese Windrichtung die meisten Daten (Bilder mit und ohne Nachweis) vor.
- Die relative Insektenabundanz war bei einer Regenwahrscheinlichkeit von 0,0 am größten, für diesen Bereich liegen auch generell die meisten Daten vor (Bilder mit und ohne Nachweis). Bei einer Regenwahrscheinlichkeit größer als 0,0 nahm der prozentuale Anteil an Insektennachweisen drastisch ab.

6.3.2.4 Insektenabundanz und Fledermausaktivität

Betrachtet man die Fledermausaktivität und die nachgewiesene Insektenabundanz getrennt für jeden Standort, so fallen generelle Unterschiede in den Auftretensmustern von Fledermäusen und Insekten an den jeweiligen Standorten auf. Dabei wird deutlich, dass die Fledermausaktivität an den Erfassungsstandorten am Waldrand (Abb. 223, Abb. 224 und Abb. 226) deutlich höher war als an den anderen Standorten. Außerdem nimmt die Fledermausaktivität mit zunehmender Erfassungshöhe ab. Ausführlich werden diese Ergebnisse im Kapitel 4 (Fledermäuse) beschrieben und diskutiert.

Die standortabhängige Insektenabundanz wurde bereits im Kapitel 6.3.2.2 deskriptiv analysiert, ein zu den Fledermäusen ähnliches Muster lässt sich dabei im Hinblick auf die Erfassungshöhe ableiten. Auch die Insektenabundanz war mit zunehmender Erfassungshöhe geringer (Abb. 211). Die Waldrand-Standorte stachen bzgl. der Insektenabundanz jedoch nicht im ähnlichen Maß hervor, wie es für die Fledermausaktivität der Fall war (Abb. 209A).

Legt man die Muster der Fledermaus- und Insektennachweise an den einzelnen Standorten übereinander, so lässt sich anhand dieser Aktivitätsplots augenscheinlich ein Zusammenhang nur schwer ableiten und es treten lediglich punktuell Ereignisse auf, in denen bei steigender Fledermausaktivität auch vermehrt Insekten nachgewiesen werden konnten.

Die folgenden Abbildungen (Aktivitätsplots) zeigen die Insektenabundanz und die Fledermausaktivität jeweils zusammen in einer Grafik für jeden Standort (SN 001 bis SN 016). Jeder Aktivitätsplot (Abb. 222 bis Abb. 237) ist grundsätzlich gleich aufgebaut: Der hellgelb eingefärbte Bereich umfasst die Nächte im Jahresverlauf, d. h. die untere Kante markiert die Sonnenuntergangszeiten und die obere Kante die Sonnenaufgangszeiten. Lila gefärbt sind Ausfallzeiten der Insektenfotofalle, hellgrau die Ausfallzeiten der Fledermausdetektoren. Durch

senkrecht gestrichelte Linien ist jeweils der Erfassungszeitraum der Fledermausaktivität (grau gestrichelt) und der Insektenabundanz (hellblau gestrichelt) gekennzeichnet.

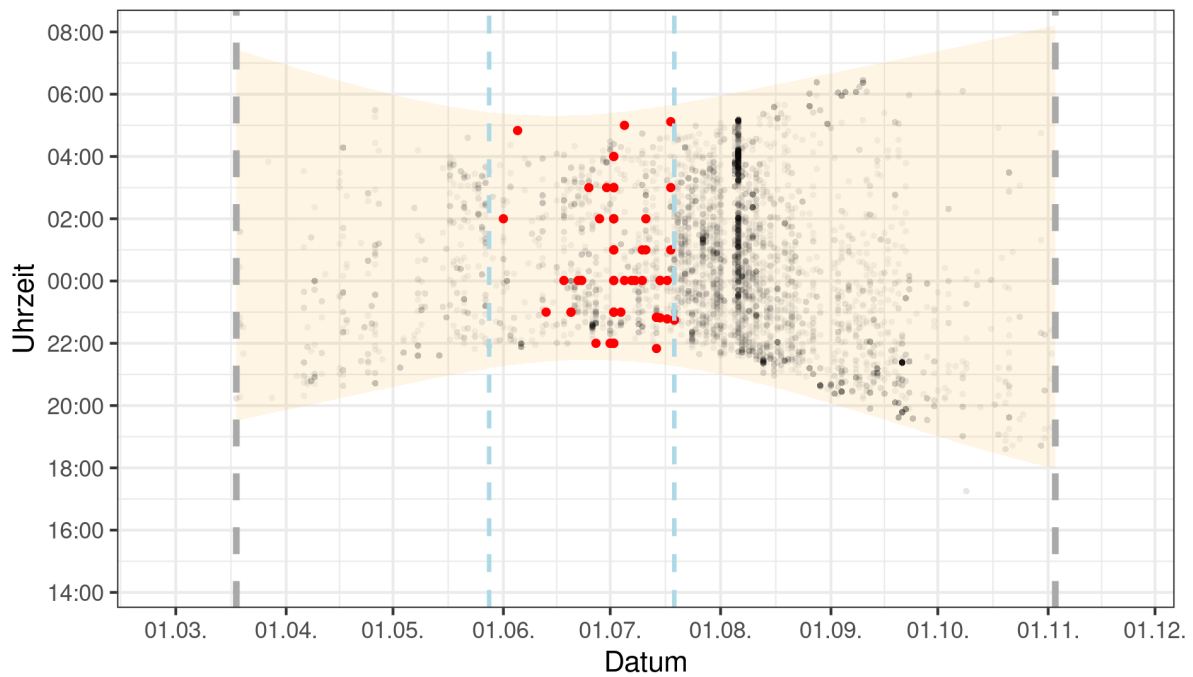


Abb. 222: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 001 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

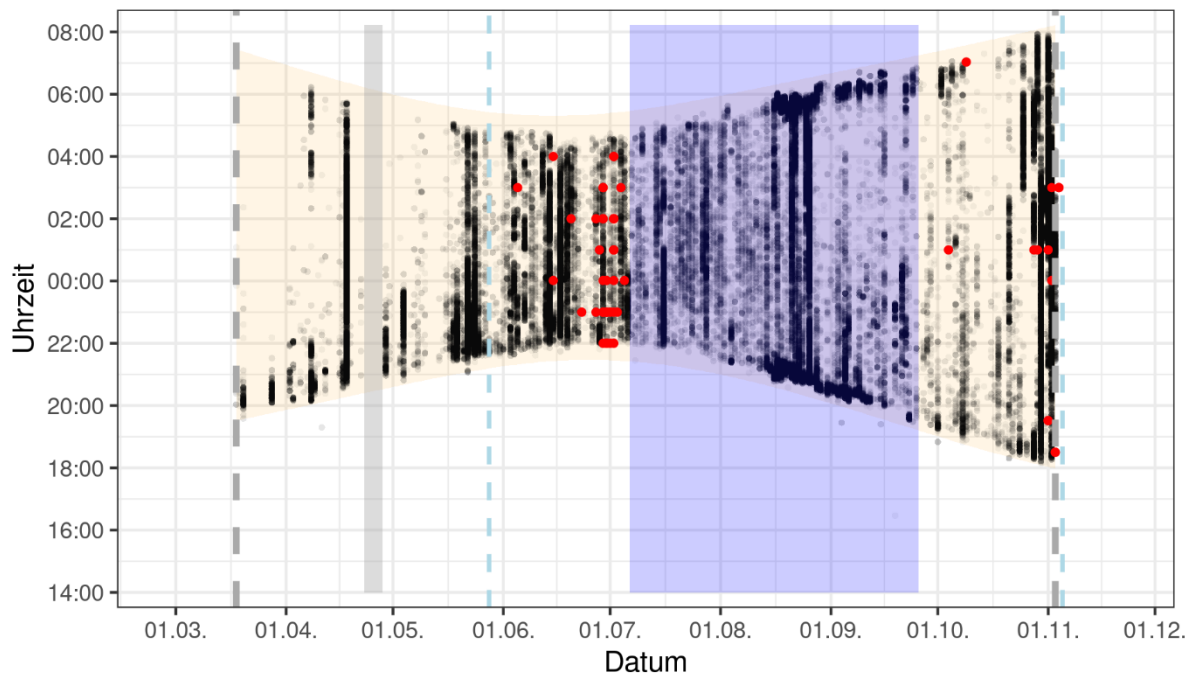


Abb. 223: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 002 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

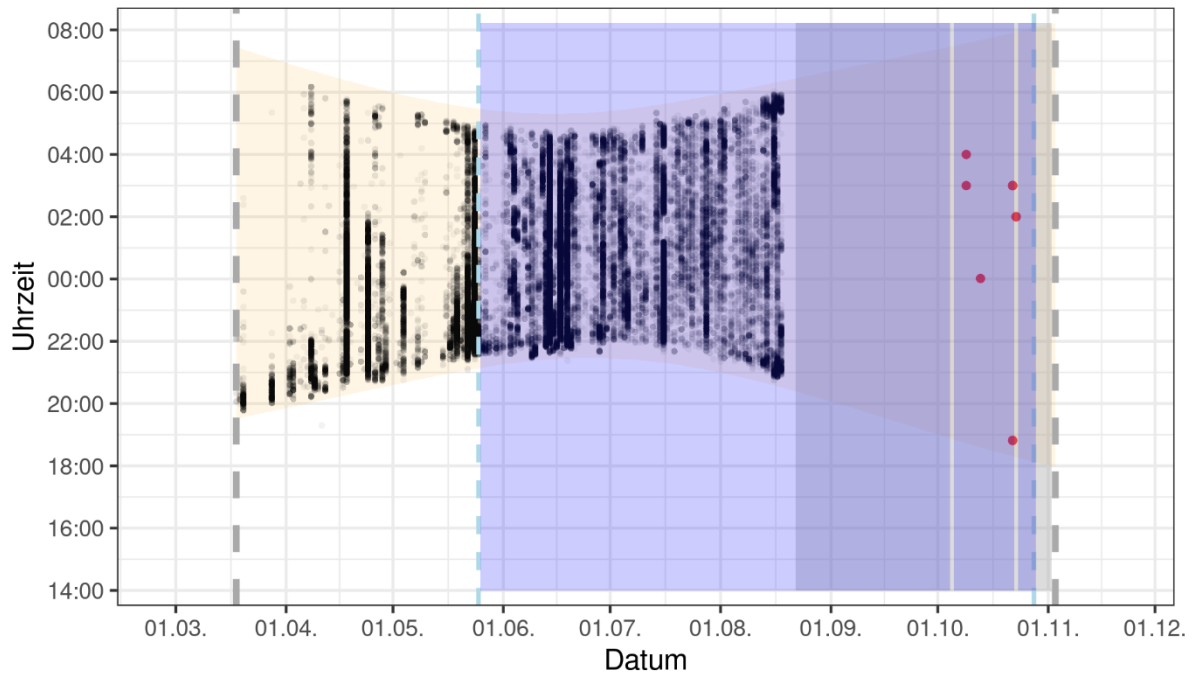


Abb. 224: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 003 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

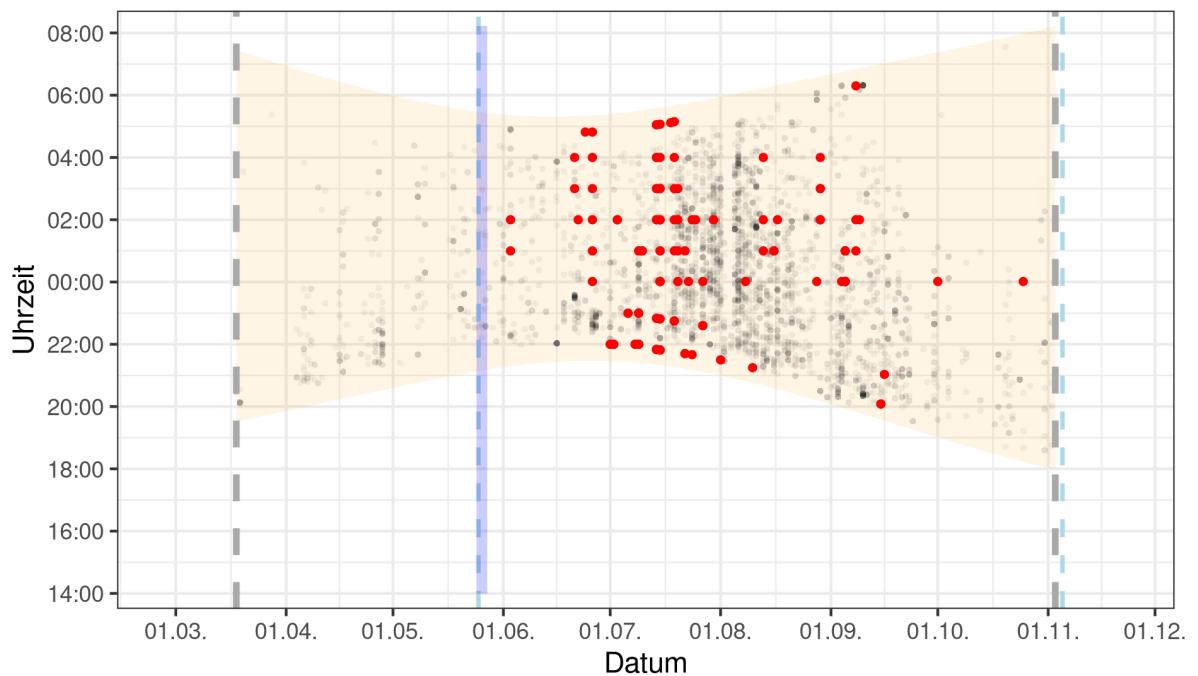


Abb. 225: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 004 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

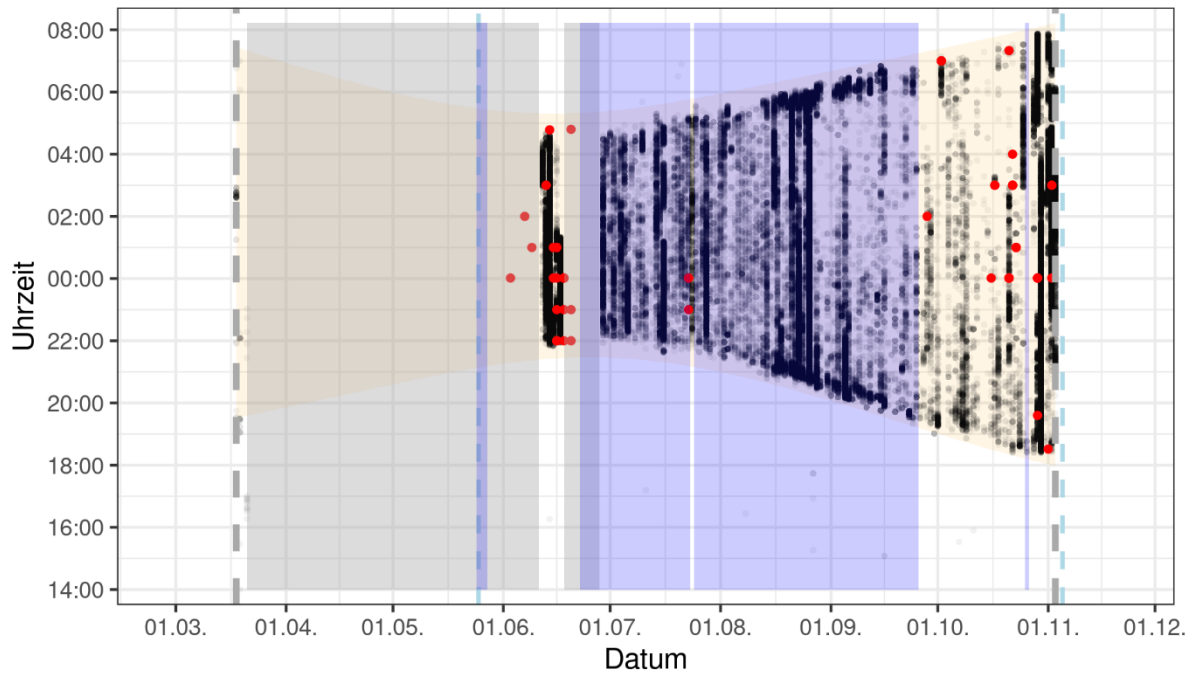


Abb. 226: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 005 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

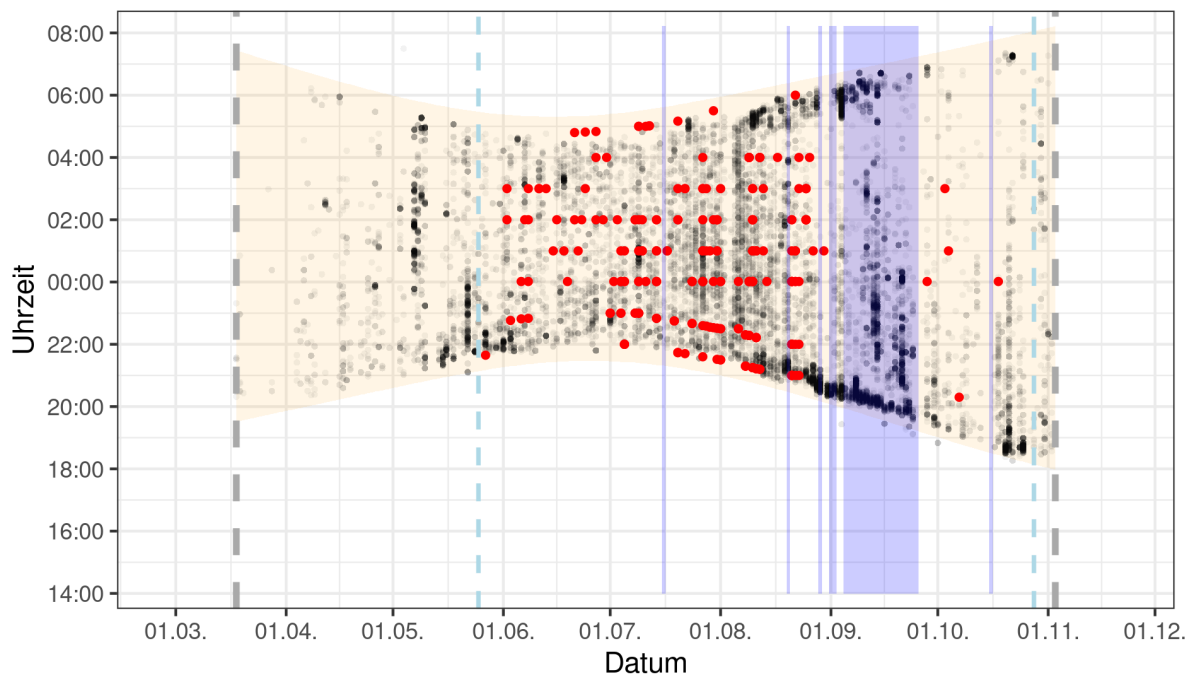


Abb. 227: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 006 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

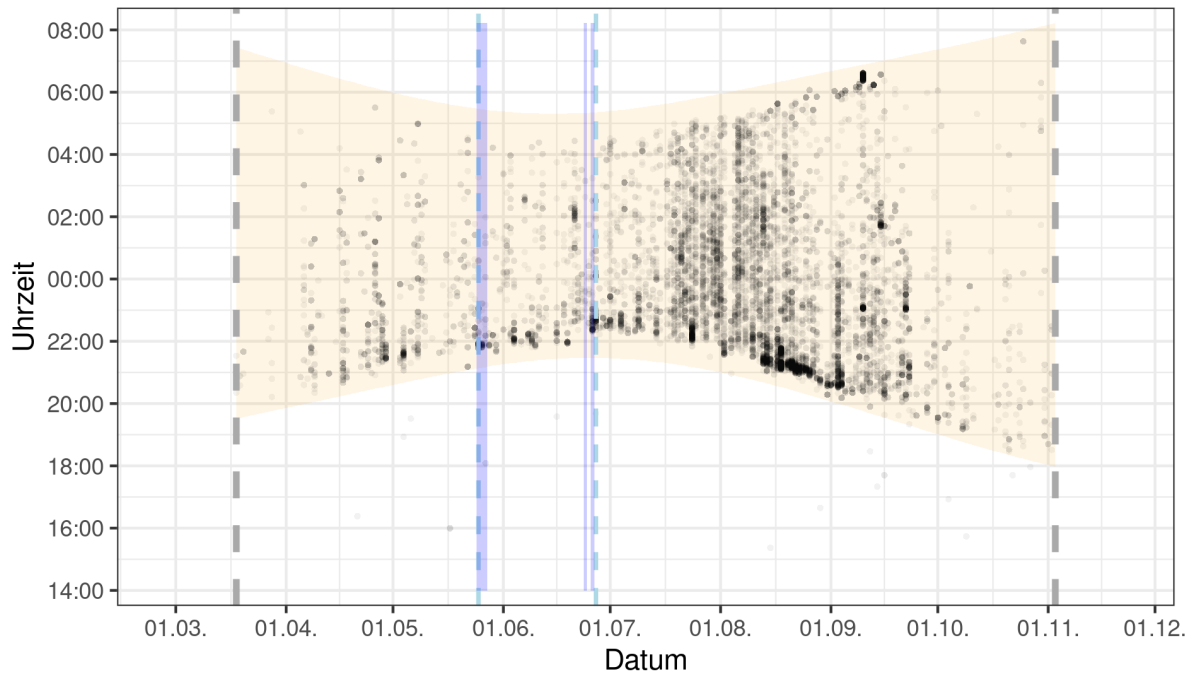


Abb. 228: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 007 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Hier konnten keine Insektennachweise erbracht werden. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

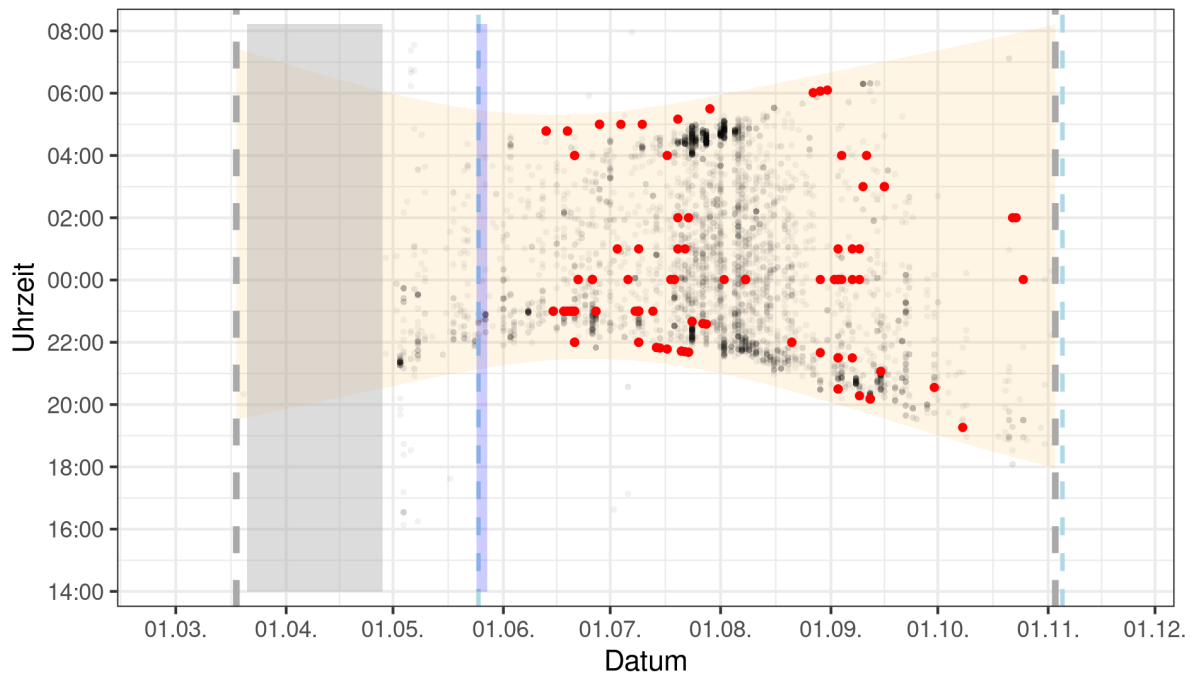


Abb. 229: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 008 (Umfeld) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

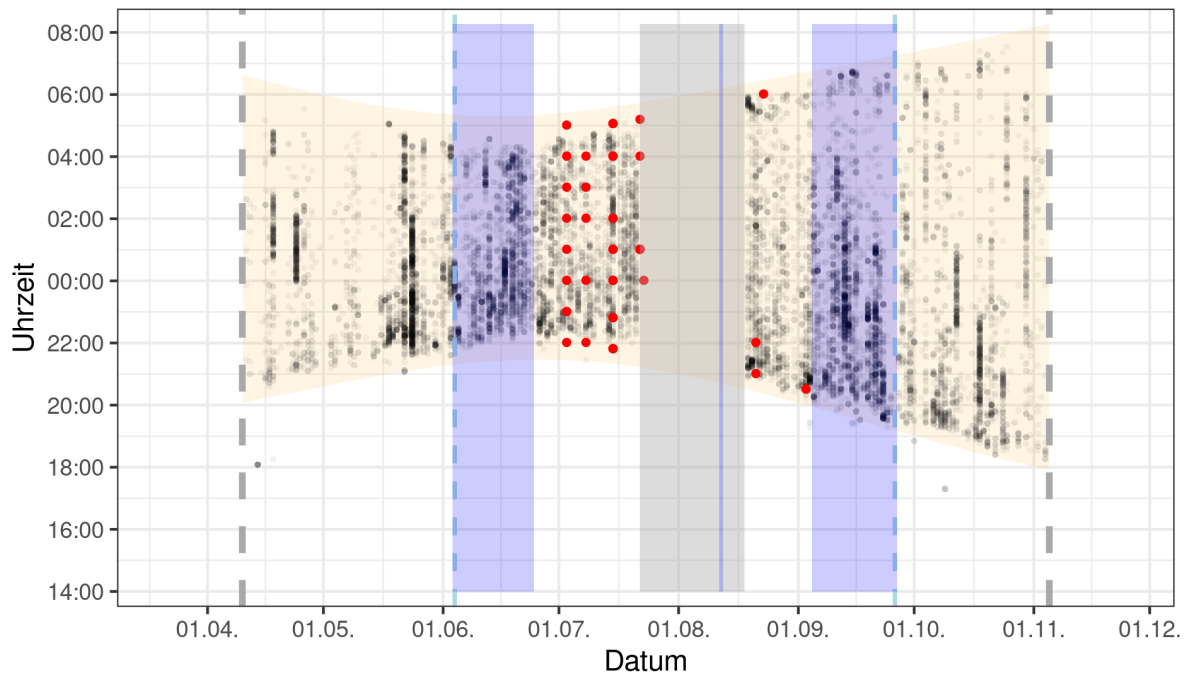


Abb. 230: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 009 (Messmast NW in 10 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

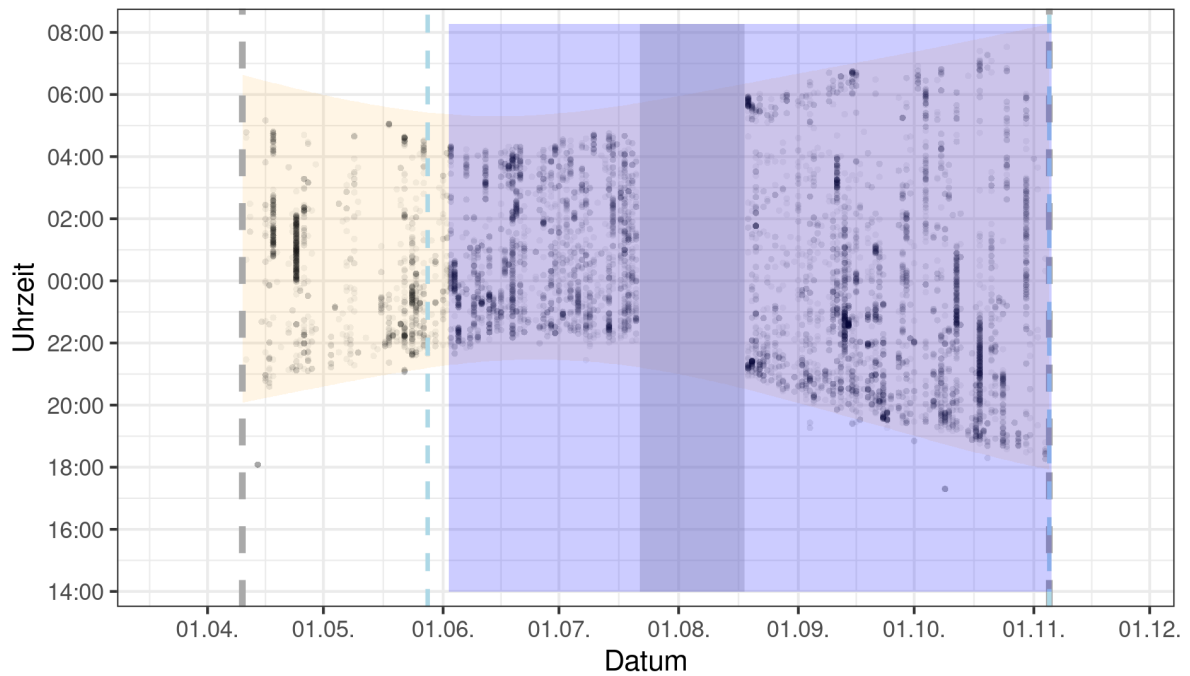


Abb. 231: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 010 (Messmast in 35 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

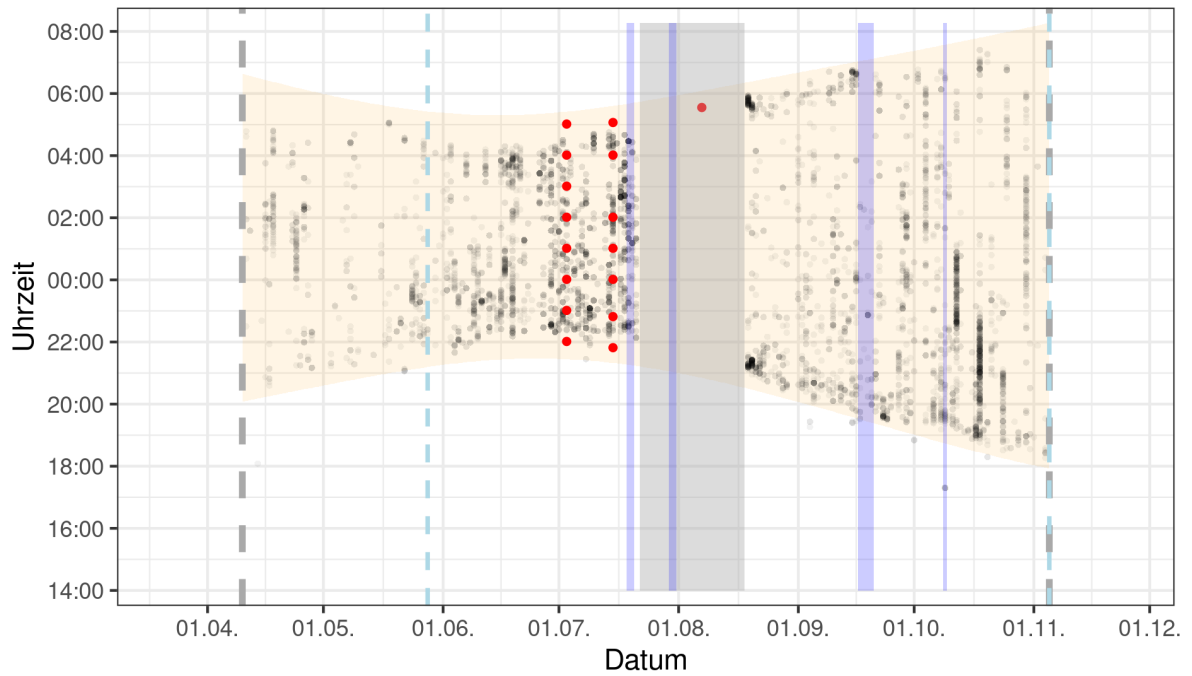


Abb. 232: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 011 (Messmast in 65 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

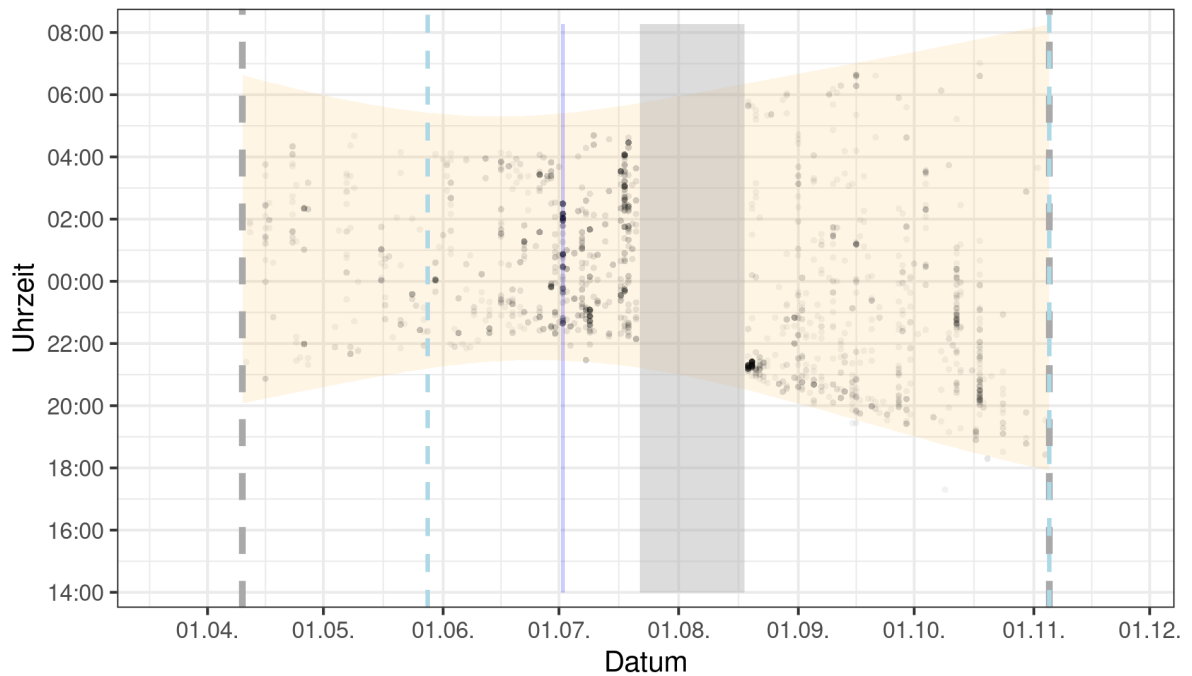


Abb. 233: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 012 (Messmast in 95 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Hier konnten keine Insektennachweise erbracht werden. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

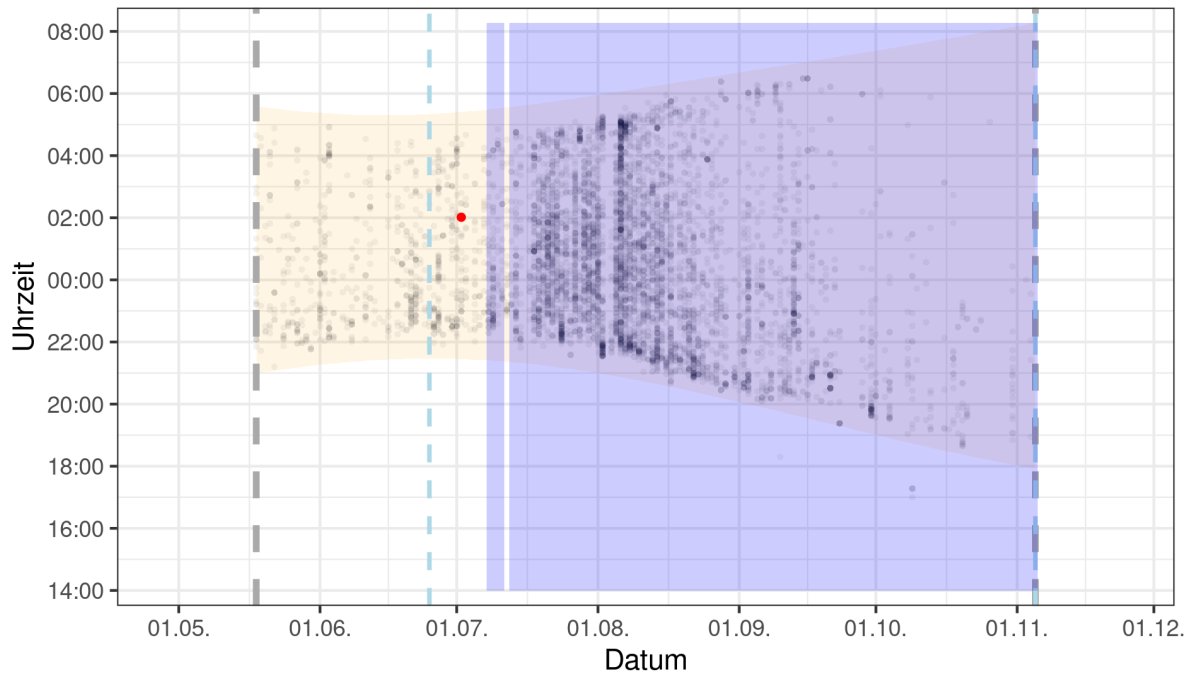


Abb. 234: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 013 (Messmast in 10 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

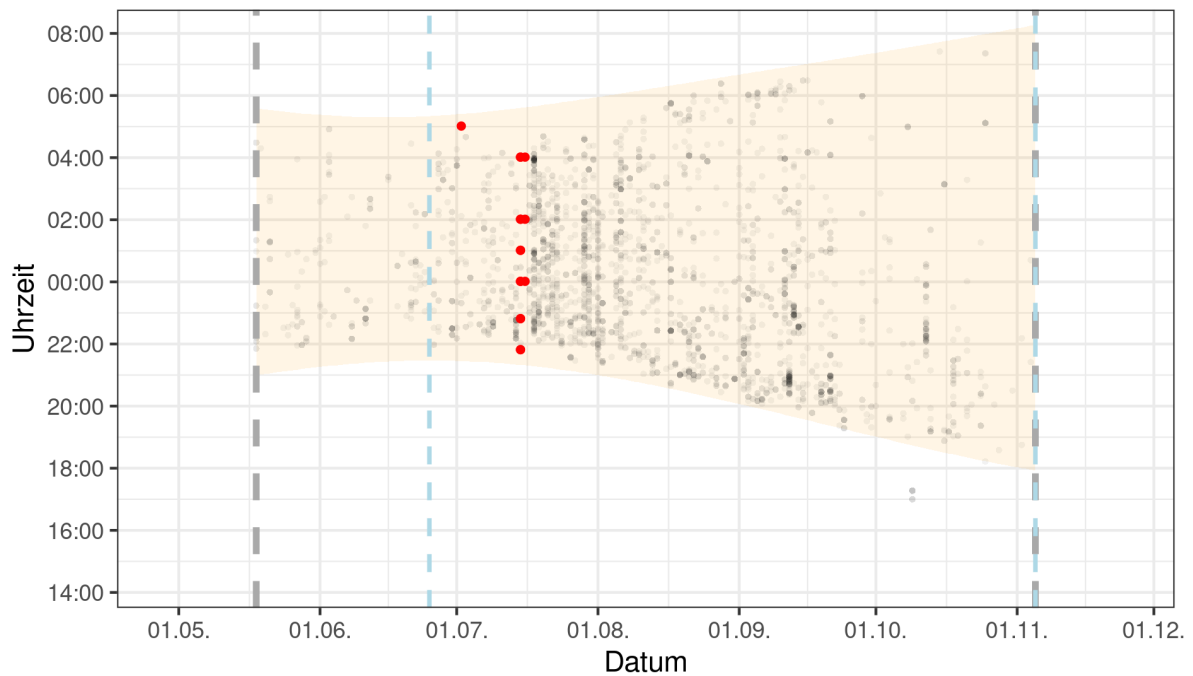


Abb. 235: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 014 (Messmast in 35 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

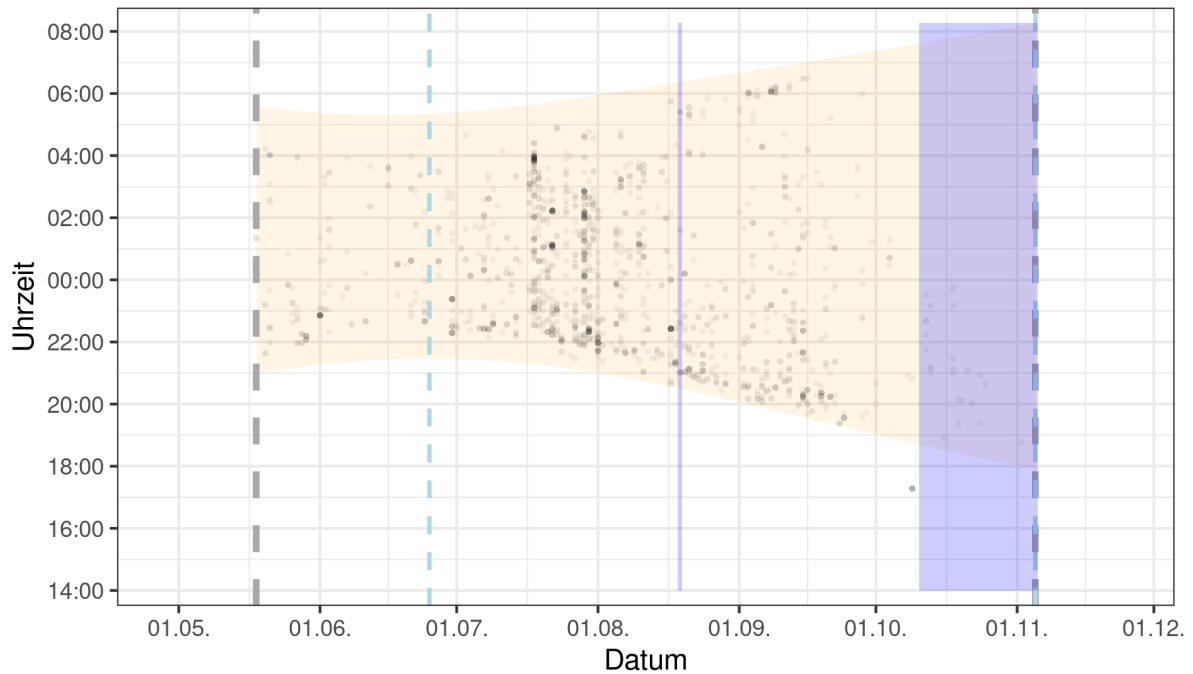


Abb. 236: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 015 (Messmast in 65 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Hier konnten keine Insektennachweise erbracht werden. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

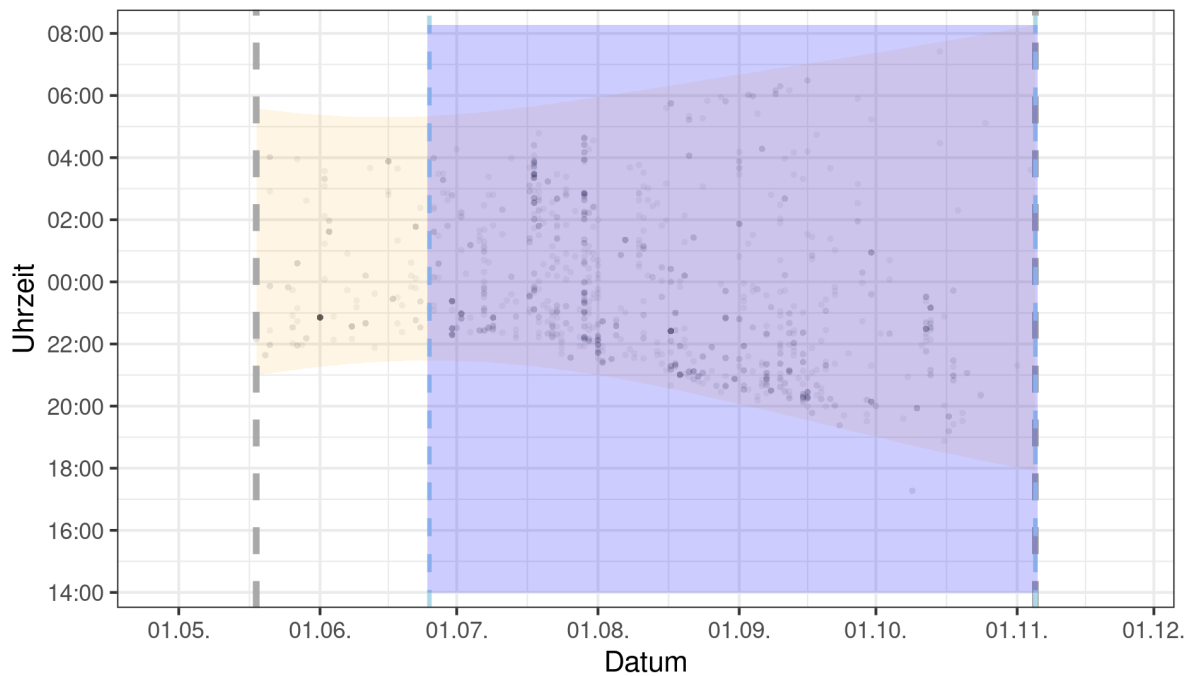


Abb. 237: Fledermausaktivität (schwarze Punkte) und Insektenabundanz (rote Punkte) am Standort SN 016 (Messmast in 95 m Höhe) im Laufe einer Nacht und über das Jahr 2020. Hier konnten keine Insektennachweise erbracht werden. Abbildungsdetails siehe Text Seite 243.

Betrachtet man die anteiligen Nachweise von Fledermäusen bzw. Insekten über die Nacht und über das Jahr (Abb. 238), so lässt sich für alle Monate eine ähnliche Tendenz ablesen: Je mehr Insektennachweise erbracht werden konnten, desto höher war tendenziell auch die anteilig nachgewiesene Fledermausaktivität. Außerdem lassen sich in Abb. 238 die Aktivi-

tätismuster im Jahresverlauf grob erkennen. Erwartungsgemäß nehmen die Nachweise sowohl für die Insekten als auch für die Fledermäuse in den Sommermonaten zu und werden im Herbst wieder weniger.

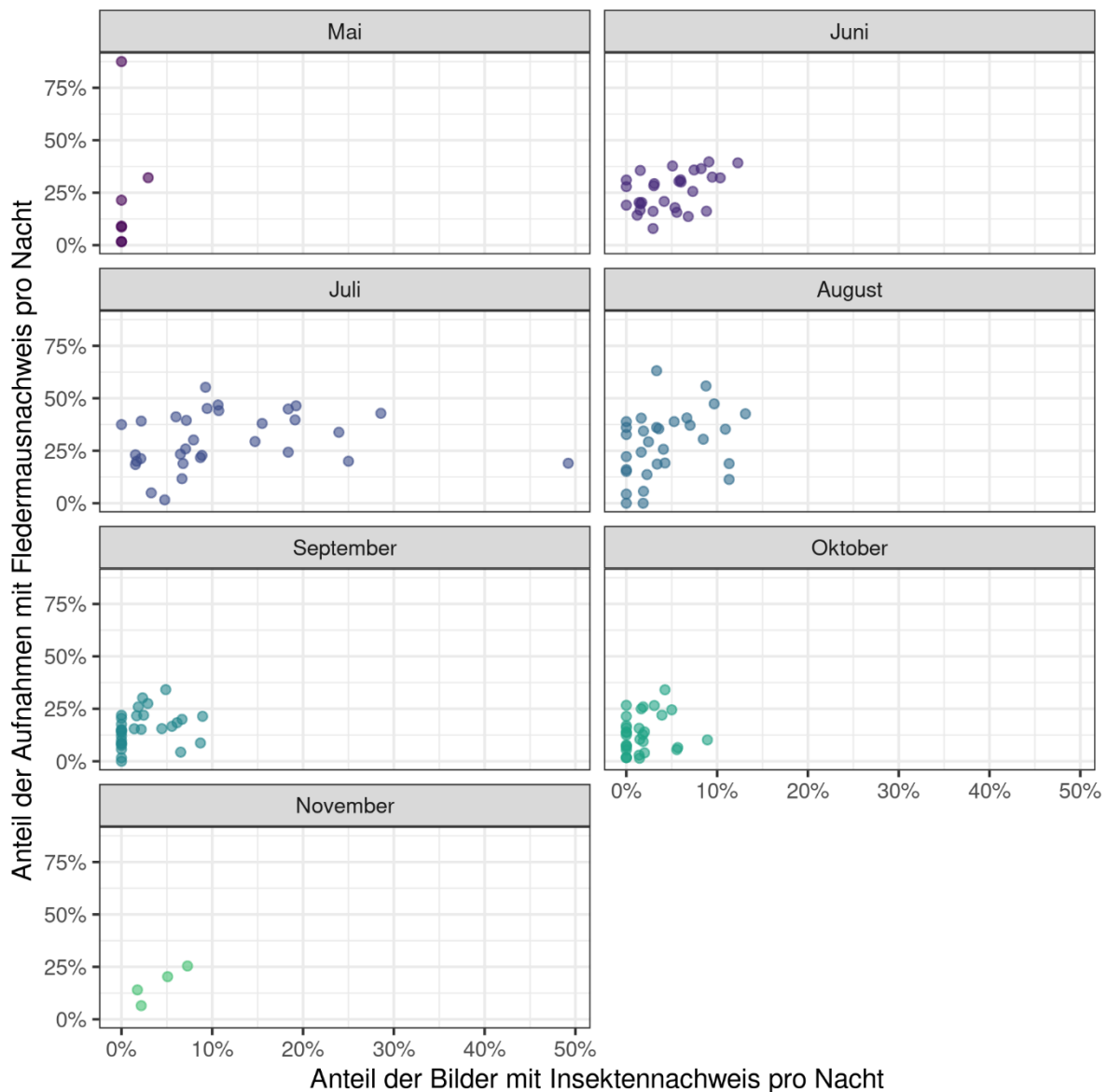


Abb. 238: Insektennachweise in Abhängigkeit zum akustischen Nachweis von Fledermäusen über die Nacht und das Jahr 2020.
 Dargestellt sind hier jeweils die prozentualen Anteile der Bilder bzw. Aufnahmen mit Nachweis (Insekt/Fledermaus), wobei für eine Vergleichbarkeit der Daten lediglich die Fledermausaktivität innerhalb von 10 Minuten zum Zeitpunkt der Insekterfassung (einmal pro Stunde) berücksichtigt wurde.

6.3.3 Statistische Modellierung der Einflussparameter

Für die Interpretation der folgenden Abbildungen muss beachtet werden, dass es sich bei der Modellierung um eine Form der Regressionsanalyse handelt. Das bedeutet, mit Hilfe der statistischen Modellierung soll analysiert werden, wie gut die Insektenabundanz bzw. die Fledermausaktivität durch die untersuchten Parameter vorhergesagt werden können. Folglich werden in den Grafiken Schätzungen und ihre Unsicherheiten (Konfidenzintervalle) dargestellt. Der Zusammenhang zwischen der abhängigen Variablen (Insektenabundanz/ Fleder-

mausaktivität) und den untersuchten Parametern ist dabei meist für jeden Parameter unterschiedlich stark. Einen Hinweis bzgl. der Stärke der Zusammenhänge gibt die Signifikanz. Eine weitere Einschätzung der Zusammenhänge ermöglichen die gezeigten modellierten Graphen (Abb. 239 bis Abb. 246 sowie Abb. 248), wobei hier die Steigung der Kurve zu berücksichtigen ist. Weist der Graph eine steilere Steigung auf, sind Änderungen der x-Werte (erklärende Variable) mit größeren Änderungen der y-Werte (abhängige Variable) verbunden.

Beachtet werden sollte zudem, dass im Modell jeweils die Präsenz-/ Absenz-Werte sowohl für die Insektenabundanz als auch für die Fledermausaktivität berücksichtigt wurden. Daraus ergibt sich, dass die Wahrscheinlichkeiten für einen Nachweis (Insekt bzw. Fledermaus) dargestellt sind, wobei sich die Werte zwischen 0 (= kein Insekt- /Fledermausnachweis) und 1 (= Insekt- /Fledermausnachweis) bewegen bzw. zwischen 0 % und 100 %.

6.3.3.1 Insektenabundanz

Die Wahrscheinlichkeit ein Insekt nachzuweisen war signifikant von den untersuchten meteorologischen Parametern Temperatur und Windgeschwindigkeit abhängig, nicht jedoch von der Regenwahrscheinlichkeit. Ebenfalls signifikant war der Einfluss der Erfassungshöhe.

Dabei konnte ein positiver Zusammenhang für die Temperatur (Abb. 239) und ein negativer Zusammenhang für die Windgeschwindigkeit (Abb. 240) sowie die Erfassungshöhe (Abb. 241) nachgewiesen werden. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit ein Insekt nachzuweisen mit zunehmender Temperatur steigt, jedoch mit zunehmender Windgeschwindigkeit und zunehmender Erfassungshöhe die Wahrscheinlichkeit für einen Insektennachweis geringer wird.

Betrachtet man die Grafiken im Detail, so lässt sich hinsichtlich der Temperatur (Abb. 239) feststellen, dass die geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt in einer Art sigmoidalen Kurve verläuft, wobei diese zunächst flach ist bis ca. 10 °C, dann steil ansteigt bis ca. 25 °C und schließlich abflacht oberhalb von 25 °C. Dabei nimmt die Wahrscheinlichkeit ein Insekt nachzuweisen von etwa 0,5 % bei 10 °C auf etwa 3,0 % bei 25 °C zu. Allerdings wird die Unsicherheit für die Schätzung der Nachweiswahrscheinlichkeit mit zunehmender Temperatur größer (Abb. 239).

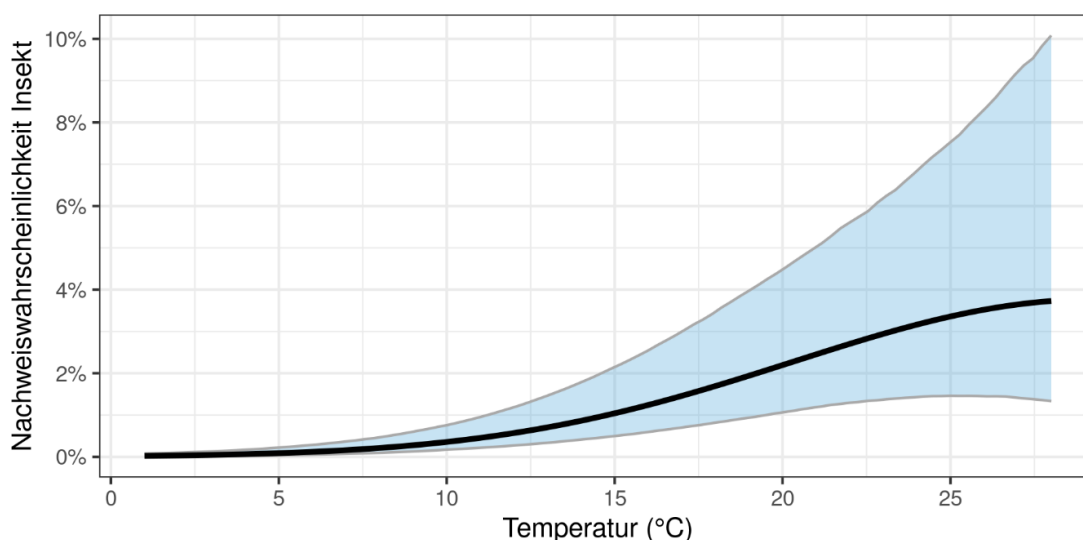


Abb. 239: Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Temperatur.
Die Konfidenzintervalle sind hellblau eingefärbt, 95 % der geschätzten Werte liegen in diesem Bereich.

In Bezug auf die Windgeschwindigkeit zeigte sich ein abfallender Kurvenverlauf der Schätzwerte (Abb. 240). Deutlich wird, dass die geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt steil bis zu Windgeschwindigkeiten von ca. 5 m/s abfällt, sich bei Windgeschwindigkeiten darüber hinaus immer mehr abflacht und oberhalb von 10 m/s nahezu 0 ist. Die Unsicherheit für die Schätzung wird mit zunehmenden Windgeschwindigkeiten geringer; der Anstieg der Konfidenzintervalle bei Windgeschwindigkeiten um 15 m/s liegt im gewählten Modell begründet, wodurch Varianzen bei insgesamt wenigen Daten stärker gewichtet werden als bei einer größeren Datenmenge.

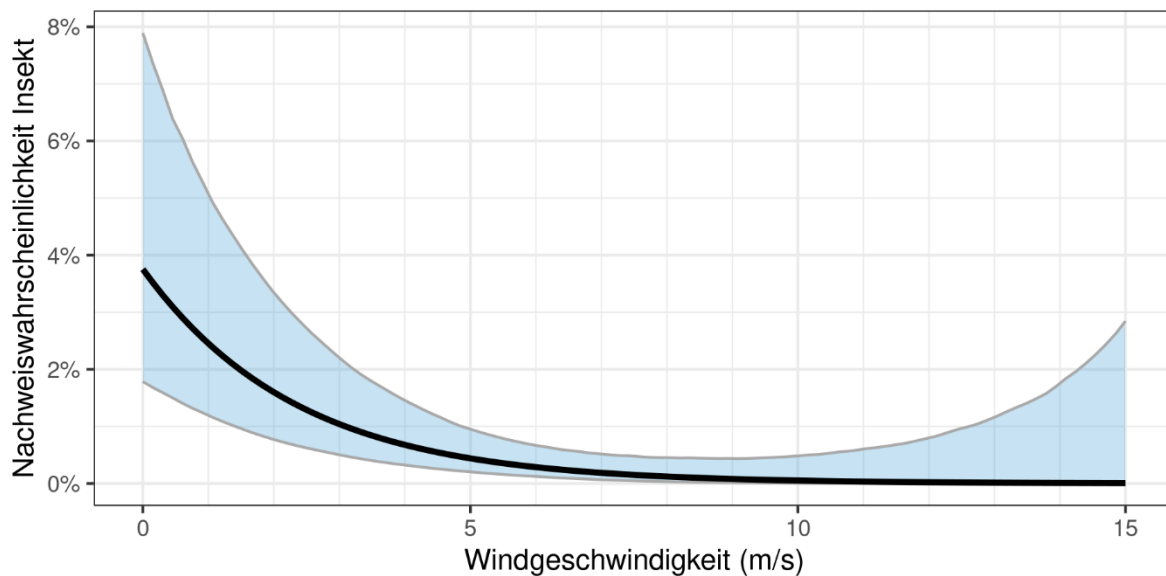


Abb. 240: Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit.
Die Konfidenzintervalle sind hellblau eingefärbt, 95 % der geschätzten Werte liegen in diesem Bereich.

Hinsichtlich der Erfassungshöhe (Abb. 241) zeigte sich ebenfalls ein abfallender Kurvenverlauf, wobei die geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt vergleichsweise schnell absinkt bis in ca. 30 m Erfassungshöhe. Oberhalb von etwa 30 m wird die Kurve immer flacher und die geschätzte Wahrscheinlichkeit ein Insekt nachzuweisen tendiert gen 0. Die Unsicherheit für die Schätzung ist bei bodennahen Erfassungen größer bzw. nimmt mit zunehmender Erfassungshöhe ab.

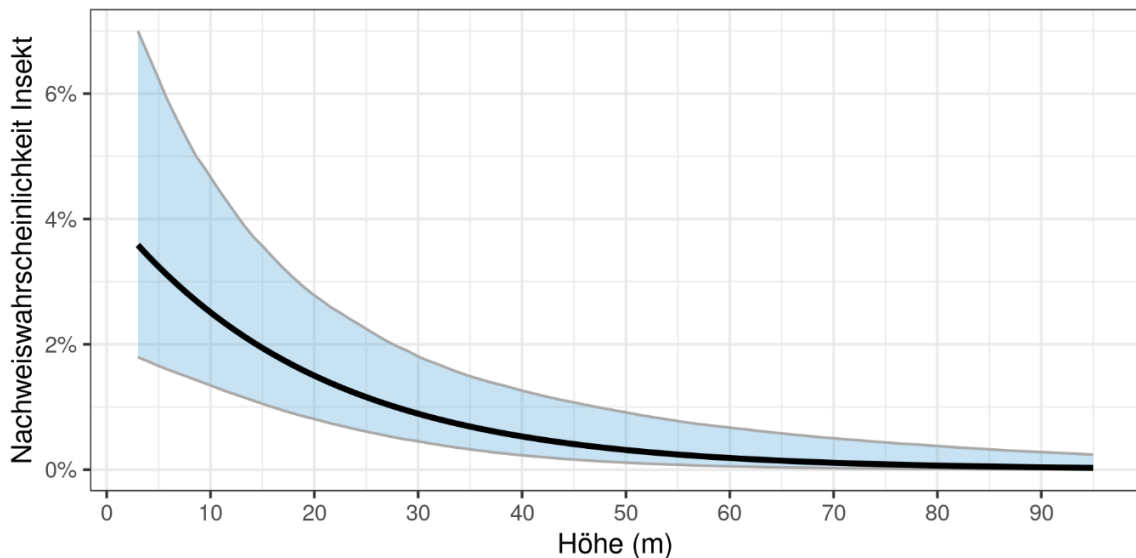


Abb. 241: Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Erfassungshöhe.
Die Konfidenzintervalle sind hellblau eingefärbt, 95 % der geschätzten Werte liegen in diesem Bereich.

6.3.3.2 Fledermausaktivität

Die Wahrscheinlichkeit eine Fledermaus akustisch nachzuweisen war signifikant von den untersuchten Wetterparametern Temperatur, Windgeschwindigkeit und Regenwahrscheinlichkeit abhängig. Ebenfalls signifikant war der Einfluss der Erfassungshöhe. Außerdem hatte auch die Insektenabundanz (hier die Wahrscheinlichkeit für den Nachweis eines Insekts) einen signifikanten Einfluss auf die Nachweiswahrscheinlichkeit einer Fledermaus, dieser war allerdings weniger stark signifikant als für die anderen untersuchten Parameter.

Analog zu den bereits beschriebenen Ergebnissen im AP³ Fledermäuse, konnte ein positiver Zusammenhang für die Temperatur (Abb. 242) und ein negativer Zusammenhang für die Windgeschwindigkeit (Abb. 243), die Regenwahrscheinlichkeit (Abb. 244) sowie die Erfassungshöhe (Abb. 245) und die Nachtzeit (Abb. 246) nachgewiesen werden. Außerdem zeigte sich ein positiver Zusammenhang für die Insektenabundanz (Abb. 248). Das bedeutet insgesamt, dass die Wahrscheinlichkeit, eine Fledermaus nachzuweisen, mit zunehmender Temperatur und mit zunehmender Insekten-Nachweiswahrscheinlichkeit steigt, jedoch mit zunehmender Windgeschwindigkeit, zunehmender Regenwahrscheinlichkeit und zunehmender Erfassungshöhe die Wahrscheinlichkeit für einen Fledermausnachweis geringer wird.

Bei einer detaillierten Betrachtung für den Parameter Temperatur (Abb. 242) zeigte sich ein zunächst flacher Verlauf der Kurve bis 5 °C. Oberhalb von 5 °C steigt die Kurve dann steil an bis auf ca. 20 °C, flacht dann ab und fällt bei Temperaturen oberhalb von 25 °C wieder leicht ab. Die Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus steigt dabei von etwa 2,5 % bei 5 °C auf über 30 % bei 20 °C, der Einfluss der Temperatur auf die Fledermausaktivität scheint damit vergleichsweise groß. Die Unsicherheit für die Schätzung nimmt mit zunehmenden Temperaturen allerdings zu. Das bedeutet, dass auch der Verlauf der Kurve – insbesondere bei höheren Temperaturen – flacher sein könnte als abgebildet.

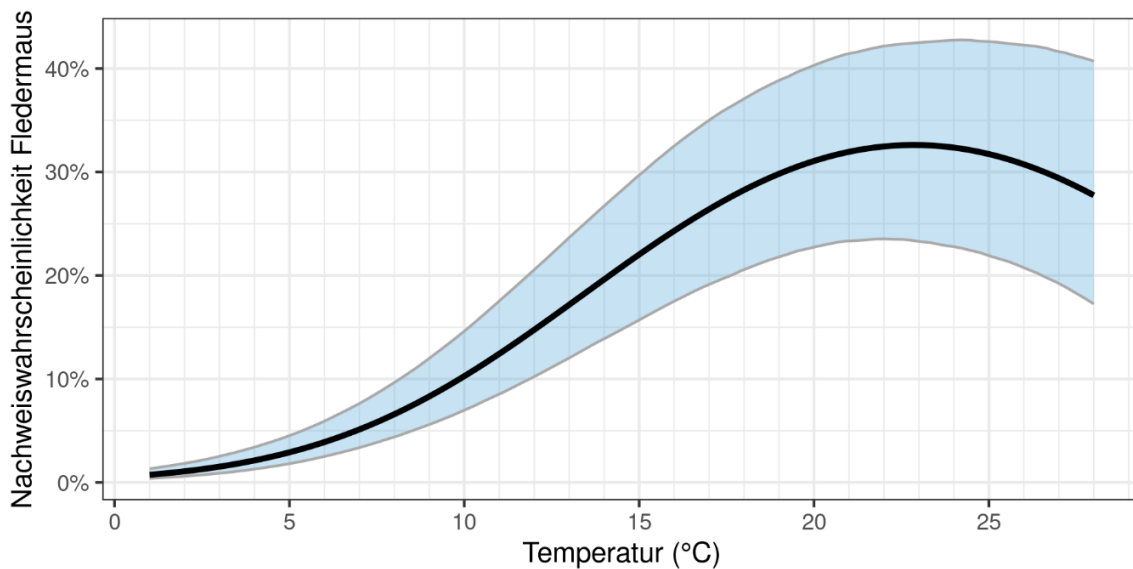


Abb. 242: Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Temperatur.
Die Konfidenzintervalle sind farblich gekennzeichnet, 95 % der geschätzten Werte liegen in diesem Bereich.

Hinsichtlich der Windgeschwindigkeit (Abb. 243) nimmt die Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus bei über 5 m/s rapide ab und fällt von 15 % auf unter 5 % bei 10 m/s, bei Windgeschwindigkeiten darüber hinaus tendiert sie gen 0 %. Im Bereich von 0 m/s bis 5 m/s nimmt die Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus weniger stark ab und die Kurve ist hier flacher, allerdings ist hier die Unsicherheit für die Schätzung auch größer.

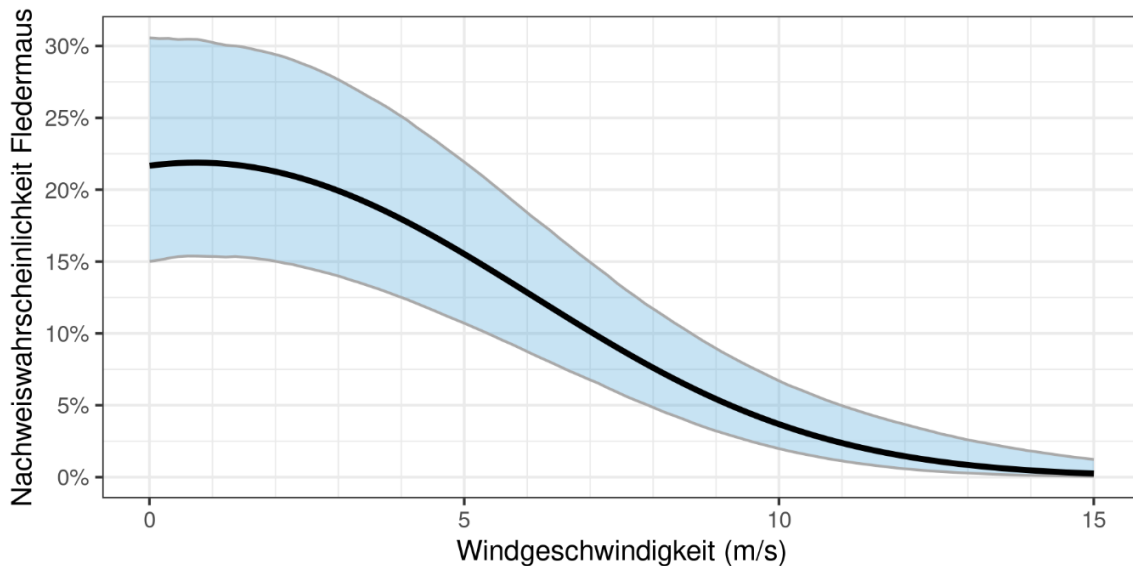


Abb. 243: Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Windgeschwindigkeit.
Die Konfidenzintervalle sind farblich gekennzeichnet, 95 % der geschätzten Werte liegen in diesem Bereich.

In Bezug zur Regenwahrscheinlichkeit (Abb. 244) zeigte sich ein abfallender Kurvenverlauf, der sich bei Regenwahrscheinlichkeiten über 20 % stark abflacht, wobei die Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus hier gen 0 tendiert. Bei einer Regenwahrscheinlichkeit von 0 % sind die meisten Fledermausnachweise wahrscheinlich (20 %). Die Unsicherheit für die

Schätzung ist über den gesamten Kurvenverlauf aber eher größer, vergleicht man die Verläufe für die Temperatur (Abb. 242) und auch die Windgeschwindigkeit (Abb. 243).

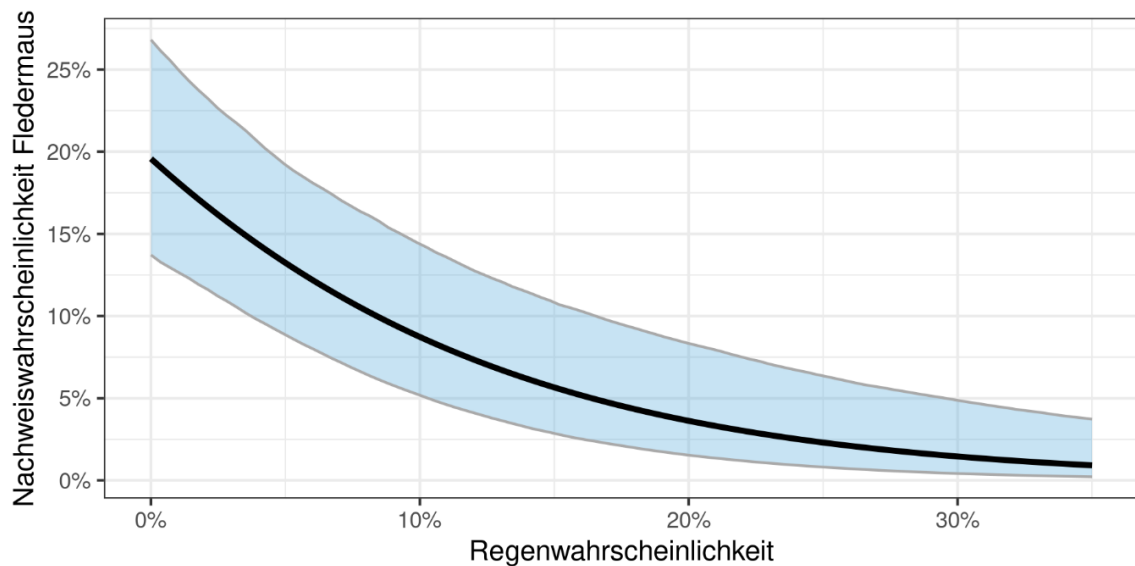


Abb. 244: Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Regenwahrscheinlichkeit. Die Konfidenzintervalle sind farblich gekennzeichnet, 95 % der geschätzten Werte liegen in diesem Bereich.

Im Hinblick auf die Erfassungshöhe (Abb. 245) konnte ein vergleichsweise linearer Zusammenhang bzgl. der Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus festgestellt werden. Dabei sinkt die Wahrscheinlichkeit für einen Fledermausnachweis von 30 % bei bodennahen Erfassungen auf 5 % bei einer Erfassungshöhe von 90 m. Die Unsicherheit für die Schätzung ist über den gesamten Verlauf etwa gleich groß.

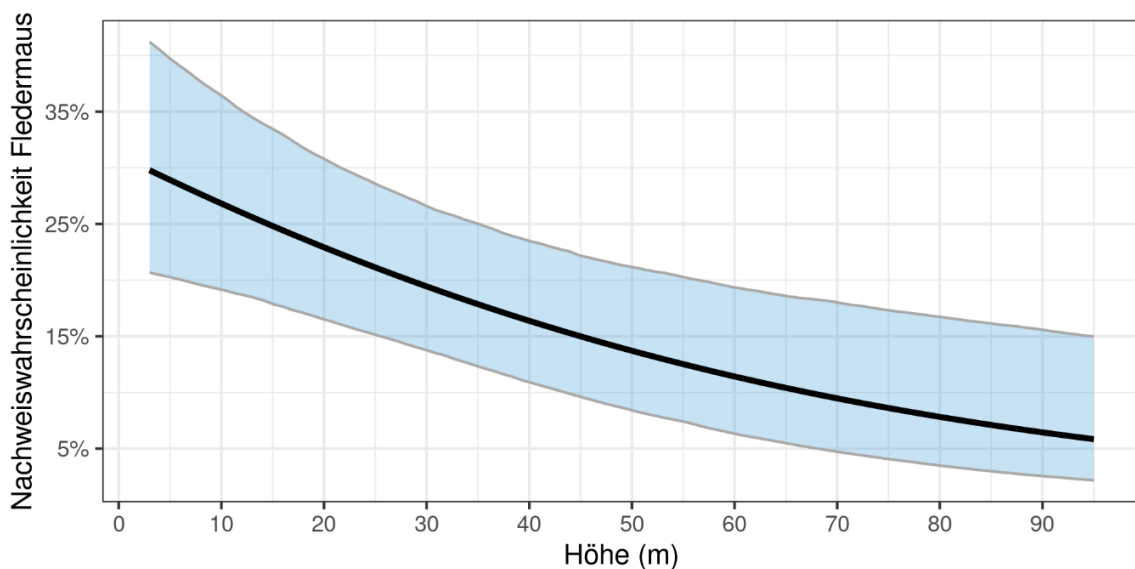


Abb. 245: Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Erfassungshöhe. Die Konfidenzintervalle sind farblich gekennzeichnet, 95 % der geschätzten Werte liegen in diesem Bereich.

Eher linear scheint auch der Zusammenhang zwischen der Nachweiswahrscheinlichkeit einer Fledermaus und der Nachtzeit zu sein (Abb. 246), dabei nimmt die Wahrscheinlichkeit

für einen Fledermausnachweis mit dem Fortschreiten der Nacht ab. Liegt die Nachweiswahrscheinlichkeit zu Beginn der Nacht noch bei etwa 35 %, fällt sie am Ende der Nacht auf knapp 15 %. Betrachtet man die Aktivitätsplots (Abb. 222 bis Abb. 237), wird ein entsprechendes Muster ersichtlich. Die Aktivität der Tiere ist insbesondere zu Sonnenuntergang erhöht. Allerdings wird in einigen Aktivitätsplots (bspw. Abb. 223, Abb. 226 und Abb. 227) auch ein zweiter Aktivitätspeak am Ende der Nacht sichtbar. Betrachtet man allerdings die relative Häufigkeit der Fledermausaktivität über die Nacht und berücksichtigt die Erfassungshöhe (Abb. 247), wird deutlich, dass der zweite Peak im Nachtverlauf zu Sonnenaufgang nur in geringem Maße und auch nur bei den Umfeld-Erfassungen auftrat. Die Modellierung in Abb. 246 bildet die Vorhersage für das Auftreten einer Fledermaus hinsichtlich der Nachtzeit entsprechend gut ab, im Besonderen unter Berücksichtigung der Konfidenzintervalle.

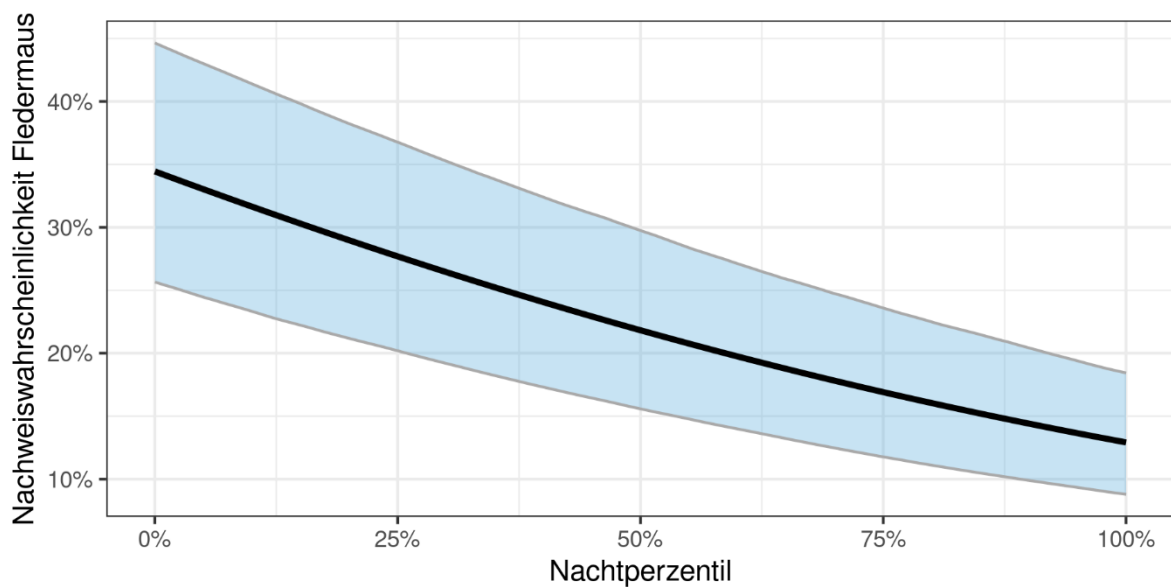


Abb. 246: Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Nachtzeit (hier als Perzentil angegeben). Die Konfidenzintervalle sind farblich gekennzeichnet, 95 % der geschätzten Werte liegen in diesem Bereich.

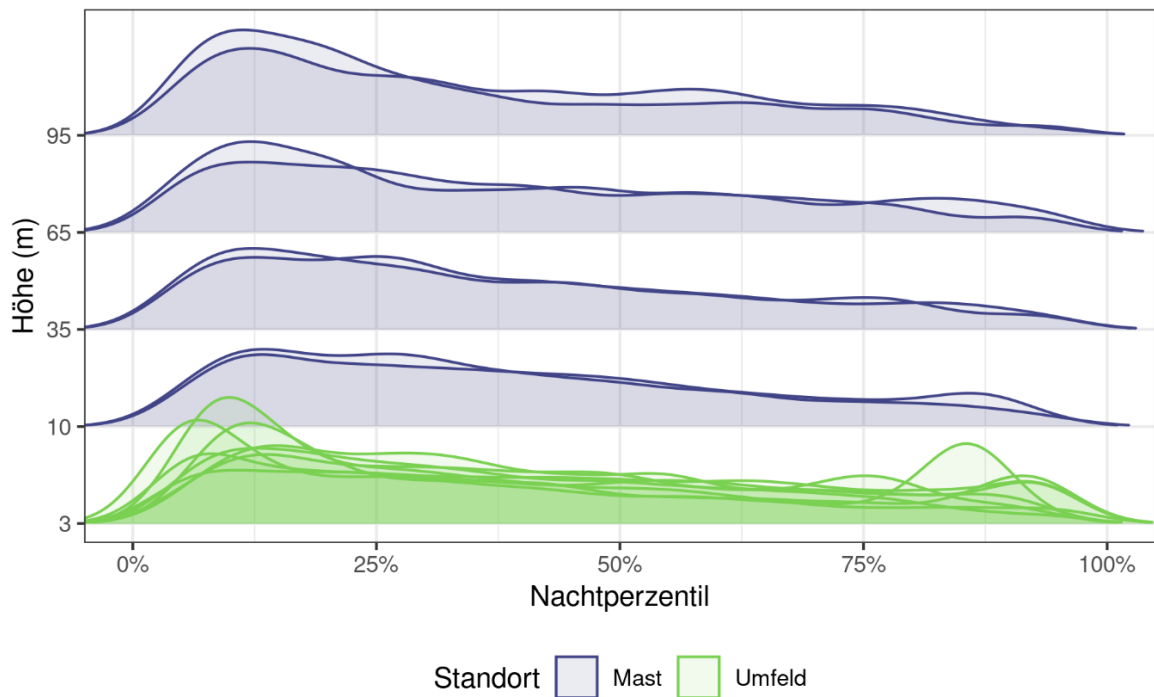


Abb. 247: Geglättete relative Häufigkeit der Fledermausaktivität über die Nacht in Abhängigkeit zur Erfassungshöhe. Hier wurden die gesamten erhobenen Daten der Fledermausaktivität für das Jahr 2020 berücksichtigt.

In Bezug auf die Insektenabundanz (Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt) zeigte sich ein schwach linearer Zusammenhang (Abb. 248), wobei die Wahrscheinlichkeit eine Fledermaus nachzuweisen um etwa 4 % steigt, wenn die Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt bei etwa 100 % liegt. Die vergleichsweise geringfügige Steigerung der Wahrscheinlichkeit für einen Fledermausnachweis sowie die breiten Konfidenzintervalle lassen aber einen eher schwachen Zusammenhang vermuten.

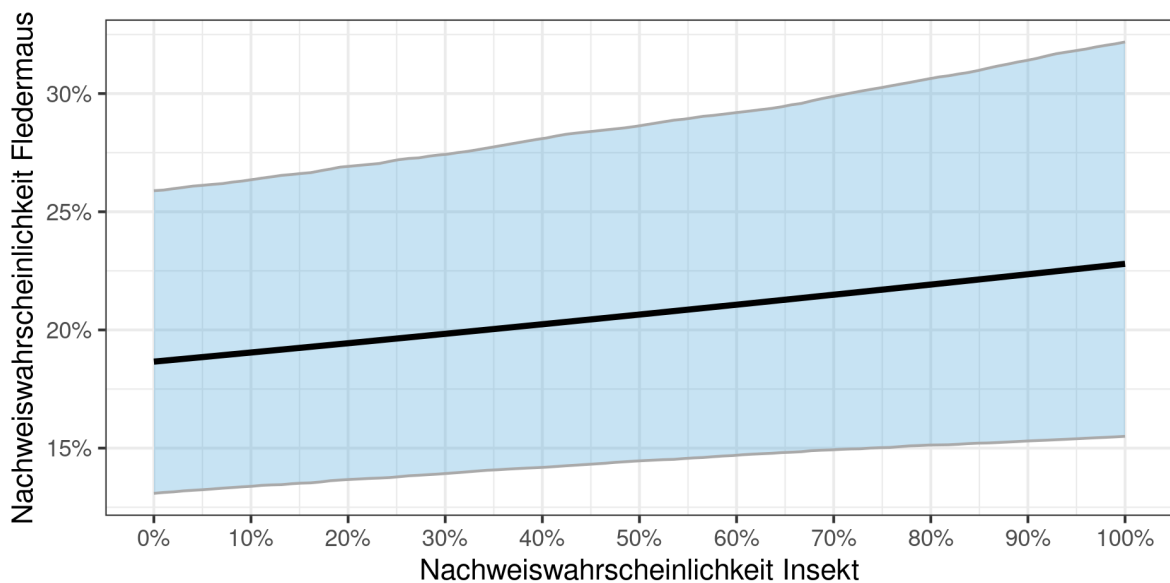


Abb. 248: Geschätzte Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus (0 = Absenz, 1 = Präsenz) in Abhängigkeit zur Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt. Die Konfidenzintervalle sind farblich gekennzeichnet, 95 % der geschätzten Werte liegen in diesem Bereich.

6.4 Diskussion

6.4.1 Konstruktion und Technische Umsetzung

Die im Zuge des Projekts entwickelte Insektenfotofalle wird den gestellten Anforderungen gerecht: Es konnte ein wetterfestes, robustes sowie kompaktes Gerät entwickelt werden, das einfach zu installieren ist und auch autark über Solarzellen betrieben werden kann. Ebenfalls gut umgesetzt werden konnten die Steuerung der Insektenfotofalle. Die Insektenfotofalle läuft mit der installierten Software stabil und ein Fernzugriff ist möglich. Außerdem kann über die Cloud nicht nur auf das Gerät zugegriffen werden, sondern die Insektenfotofalle kann auch Bilder der Anlockfläche und Umgebung via Cloud senden. Dadurch ist unter anderem eine Funktionskontrolle der Insektenfotofalle möglich.

Die durchgeführten Erfassungen im Jahr 2020 haben – trotz insgesamt guter Datenlage – einige Schwachstellen aufgezeigt, diese wurden für die laufenden Erfassungen im Jahr 2021 weitestgehend minimiert und behoben. So wurden in Bezug auf die Konstruktion Dichtungen nachgebessert, da in eine Insektenfotofalle Wasser eingedrungen ist. Außerdem wurde die Beleuchtung für die Aufnahmen der Leuchtplatte nachjustiert und es wurde das Problem, das zu Ausfällen der Strahler der Leuchtplatten-Kamera geführt hat, behoben. Daneben wurden auch die Laufzeiten für die Insektenfotofallen optimiert und dadurch der Stromverbrauch reduziert. Ausfälle aufgrund mangelnder Stromversorgung konnten damit größtenteils vermieden werden. Für zukünftige Erfassungen bzw. Auswertungen soll auch die Umgebungskamera mit eingebunden werden. Hier sind ggf. noch Anpassungen in der Konstruktion und im Erfassungsdesign nötig. Eine Orientierungshilfe könnten hierzu die kürzlich veröffentlichte Studie von Ruczyński et al. (2020) bieten.

Insgesamt wurde bzw. wird die Insektenfotofalle weiter optimiert und bietet eine innovative Erfassungsmöglichkeit, die den Ansprüchen dieses Projekts gerecht wird. Dies gilt im Besonderen, vergleicht man den methodischen Ansatz mit anderen Studien: Zum bisherigen Stand existieren zwei uns bekannte Studien, die eine ähnliche Fragestellung untersucht haben. So wurde in einer kürzlich veröffentlichten Studie die Anlockwirkung von Windenergieanlagen auf Insekten erforscht (Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. 2020), wobei hier neben Klebfallen v. a. traditionelle Lichtfallen mit Trichter Anwendung gefunden haben. In einer anderen Studie aus Schweden, wurde mittels Saugfallen die Insektenabundanz an Windenergieanlagen erfasst (De Jong et al. 2019). Beide Methoden erzielte Ergebnisse – sie werden weiter unten näher diskutiert –, die mit der hier angewendeten Methode vergleichbar sind, wobei die Insektenfotofalle im Besonderen durch vier wesentliche Aspekte positiv hervorsteht: 1) Sie ist nicht invasiv – die Insekten werden bei dieser Erfassungsmethode nicht getötet, 2) sie ermöglicht eine äußerst genaue zeitliche Auflösung der Erfassung – eine ähnliche Auflösung ist mit den herkömmlichen Methoden nur mit einem enormen personellen Aufwand machbar, 3) sie ist wartungsarm – anfängliche technische Problem in der Entwicklungsphase waren und sind anzunehmen, darüber hinaus ist der Wartungsaufwand aber äußerst gering und 4) sie verfügt über einen Fernzugriff – dadurch können Daten direkt aus dem Feld übertragen werden, außerdem sind Nachjustierungen in der Programmierung und eine Funktionskontrolle möglich.

6.4.2 Auswertung

Die Auswertung der Bildpaare erfolgte für den vorliegenden Bericht manuell. Auf diese Weise konnte auch eine qualitative Analyse der erfassten Insekten stattfinden und knapp die Hälfte aller erfassten Insekten auf Ordnungsniveau bestimmt werden.

Zukünftig wird eine automatisierte Auswertung angestrebt, die auf Basis der Differenzbilder (Differenzbild aus dem Bild vor und nach der Anlockphase, siehe Kapitel 6.2.5) umgesetzt werden soll (vgl. Miranda et al. 2014). Mit Hilfe der hier durchgeführten, manuellen Auswertung konnte ein wertvoller Datensatz generiert werden, auf dessen Grundlage die automatisierte Auswertung gezielter entwickelt werden kann.

6.4.3 Insektenabundanz

6.4.3.1 Insektenabundanz – Gesamt

Insgesamt konnten vergleichsweise wenig Insekten erfasst werden (N = 556, exklusive der erfassten Insekten durch die Umgebungskamera). Die Gründe hierfür können unterschiedlich sein, wobei im Wesentlichen standortabhängige oder methodische Faktoren bzw. eine Kombination aus beiden vermutet werden.

So sind großräumig-standortabhängige Faktoren möglich (Ruczyński et al. 2020), wobei hier das gegebene Landschaftsbild sowie die Lage des Testfelds einen Einfluss haben könnten. Der Standort ist sehr windexponiert; Agrarflächen und intensiv genutztes Grünland dominieren das Landschaftsbild, kleinstrukturierte Lebensräume sind nur im geringen Ausmaß vorhanden (z. B. einzelne Heckenstrukturen). Folglich könnten Strukturarmut und ein Fehlen an geeigneter Vegetation einen negativen Einfluss auf die Insektenabundanz haben (z. B. Dennis et al. 1998; Knuff et al. 2020; Milberg et al. 2016).

Daneben muss die angewendete Methode einbezogen werden. Ziel der vorliegenden Untersuchung war, Insekten aus einem möglichst nahen Umfeld rund um die Insektenfotofallen anzulocken, weshalb die Anlockphasen auch entsprechend kurz gewählt wurden. Darüber hinaus gilt es – für das Erfassungsjahr 2020 – zu berücksichtigen, dass es aus unterschiedlichen Gründen (siehe Kapitel 6.3.1 sowie Kapitel 6.4.1) zu Geräteausfällen gekommen ist und so die angestrebte Erfassungsdauer im Schnitt um rund 40 % reduziert war, wodurch wiederum möglicherweise der Erfassungserfolg minimiert wurde.

Insgesamt muss allerdings beachtet werden, dass das hier erbrachte Ergebnis der absoluten Insektenabundanz lediglich ein relatives Maß zur Einschätzung der tatsächlich vorhandenen Insektenabundanz darstellt. Vor diesem Hintergrund sollten auch die im Folgenden diskutierten Ergebnisse betrachtet werden.

6.4.3.2 Insektenabundanz – Standortabhängig

Umfeld-Insektenfotofallen

Die Insektenabundanz zwischen den Umfeld-Insektenfotofallen unterschied sich nur wenig, mit Ausnahme der Insektenabundanz am Standort SN 006, hier war die Insektenabundanz deutlich höher. Es wird vermutet, dass kleinräumig-standortspezifische Faktoren an diesem Standort besonders zum Tragen kommen. SN 006 liegt sehr windgeschützt in einer Heckenstruktur, eine extensiv bewirtschaftete Wiese ist direkt angrenzend. Diese Kombination beeinflusst möglicherweise die Insektenabundanz und hebt diesen Standort von den übrigen Standorten hervor. Im Besonderen hinsichtlich der Windexposition konnte bereits in anderen Studien gezeigt werden, dass hier ein negativer Zusammenhang zur Insektenabundanz besteht (z. B. De Jong et al. 2019; Horn et al. 2008; Ruczyński et al. 2020; Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. 2020). Der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Insektenabundanz wurde in der vorliegenden Studie ebenfalls untersucht und wird weiter unten (siehe Kapitel 6.4.3.3) näher diskutiert. Aber auch bzgl. der vorherrschenden Vegetation und landschaftlichen Strukturgegebenheiten konnte beispielsweise von Milberg et al. (2016) gezeigt werden,

dass Anzahl und Diversität von Hummeln, Schmetterlingen und tagaktiven Motten zunehmen, wenn der Anteil an Blühpflanzen in einer Wiese größer und die Vegetationshöhe möglichst unterschiedlich ist. Eine extensiv bewirtschaftete Wiese, wie am Standort SN 006, erfüllt diese Parameter vermutlich mehr als die Gegebenheiten an den anderen Standorten (Agrarfläche, Waldrand, intensiv bewirtschaftete Wiese), und trägt so eventuell auch zu einer höheren Abundanz nachtaktiver Insekten bei. Erwartet wurde eine höhere Insektenabundanz am Waldrand versus Agrarfläche. Hier lassen sich auf Basis der vorliegenden Studie aber keine Unterschiede ableiten. Jedoch müssen die Ausfallzeiten und unterschiedlichen Erfassungszeiten beachtet werden, weshalb eine fundierte Aussage hier nicht getroffen werden kann.

Hinsichtlich der nachgewiesenen Ordnungen an Insekten konnten keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Umfeld-Standorten aufgezeigt werden, auch waren keine erkennbaren Größenunterschiede nachgewiesener Insekten an den verschiedenen Standorten feststellbar. Die Ergebnisse müssen jedoch vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass bei einer generellen geringen Datenlage nur etwa die Hälfte aller erfassten Insekten bestimmt werden konnten; tatsächliche Unterschiede hinsichtlich der qualitativen Insektenabundanz sind daher möglicherweise maskiert. Andernfalls kann vermutet werden, dass die kleinräumig-standortspezifischen Unterschiede auf die qualitative Insektenabundanz nur wenig Einfluss haben bzw. die Unterschiede zwischen den Standorten zu gering sind, als dass sie das Vorkommen bestimmter Insektenordnungen maßgeblich beeinflussen.

Messmast-Insektenfotofallen

Die Insektenabundanz an den Messmast-Insektenfotofallen unterschied sich in Abhängigkeit von der Erfassungshöhe. So nahm die Insektenabundanz mit zunehmender Höhe deutlich ab. Dieses Ergebnis konnte auch statistisch in der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden. Zu einem ähnlichen Ergebnis sind sowohl De Jong et al. (2019) als auch Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. (2020) gekommen. De Jong et al. (2019) untersuchten die Fledermaus- und Insektenaktivität an einer Windenergieanlage (WEA) in Schweden. Für die Erfassung der Insektenabundanz wurde eine Saugfalle in Gondelhöhe auf 130 m installiert; erfasst wurde von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang nahezu durchgehend in den Monaten Juni bis November, wobei pro Nacht je ein Sammelbehälter der Saugfalle verwendet wurde („Revolvermagazin“, alle 21 Tage geleert). Der Fangerfolg der Saugfalle war mit durchschnittlich 2,7 Insekten pro Nacht gering und lag deutlich unter den Erwartungen der Forschenden. Ebenfalls weniger Fangerfolg als erwartet hatten Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. (2020) in der von ihnen durchgeführten Untersuchung an einer WEA. Sie verwendeten u. a. eine Lichtfalle mit Trichter, die oberhalb der Gondel (100°m Höhe) installiert wurde und erfassten in den Monaten Mai bis Oktober an 9 ausgewählten Terminen. Mit Ausnahme einer Nacht, in der mehr als zwei Drittel aller Insektennachweise insgesamt erbracht werden konnten, war auch hier der Fangerfolg in Gondelhöhe mit etwa 39 Insekten pro Nacht gering; schließt man die Extrem-Nacht aus, wurden im Schnitt sogar nur 11 Insekten pro Nacht erfasst. Außerdem konnte durch die parallel durchgeführten Erfassungen am Boden gezeigt werden, dass die Insektenabundanz an der Gondel signifikant geringer war als bei den bodennahen Erfassungen (Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. 2020). Gründe für eine Abnahme der Insektenabundanz in Gondelhöhe können nur vermutet werden. Beide Forscherteams führen den Faktor Windgeschwindigkeit an, wobei ein negativer Zusammenhang der Windgeschwindigkeit auf die Insektenabundanz in beiden Studien (De Jong et al. 2019; Horn et al. 2008; Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. 2020) und auch in der vorliegenden Studie nachgewiesen werden konnte. Da in Gondelhöhe mehr Windexposition als bspw. am Boden erwartet wird, wurde hier ein maßgeblicher negativer Einfluss auf die Insektenabundanz ge-

folgt. Eine ausführlichere Diskussion des Parameters Windgeschwindigkeit und sein Einfluss auf die Insektenabundanz erfolgt im Kapitel 6.4.3.3.

Neben der signifikanten Abnahme der Insektenabundanz mit zunehmender Höhe konnte auf Basis der hier durchgeführten Studie auch festgestellt werden, dass die Körpergröße der Insekten tendenziell mit zunehmender Höhe kleiner wurde. Das gleiche Phänomen konnte auch in den beiden Vergleichsstudien dokumentiert werden: De Jong et al. (2019) wiesen hauptsächlich kleine *Diptera* (Mücken und Blattläuse) nach. Auch Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. (2020) konnten in Gondelhöhe hauptsächlich kleine Insekten von 2 mm bis 5 mm Größe erfassen. Die Gründe hierfür sind nicht bekannt. Generell scheint die Lufthöhe aber kein limitierender Faktor für größere Insekten zu sein. Dies zeigt sich besonders am Migrationsverhalten verschiedener, verhältnismäßig großer, Insekten, wie bspw. bei Schmetterlingen (Chowdhury et al. 2021; Hu et al. 2016; Rennie et al. 2010).

Umso interessanter ist das Ergebnis der beiden Vergleichsstudien hinsichtlich der qualitativen Insektenabundanz. Wie bereits erwähnt, konnten De Jong et al. (2019) hauptsächlich *Diptera* in Gondelhöhe nachweisen. Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. (2020) fingen überwiegend *Hymenoptera*, gefolgt von *Coleoptera* und an dritter Stelle *Diptera*, wohingegen bei den bodennahen Erfassungen mit Abstand am häufigsten Vertreter aus der Ordnung der *Lepidoptera* nachgewiesen wurden. Diese Ergebnisse decken sich mit denen der vorliegenden Studie, auch wenn die geringe Anzahl nachgewiesener Insekten insgesamt sowie der Anteil unbestimmter Insekten berücksichtigt werden muss. Trotzdem ließ sich auch hier ein qualitativer Unterschied in der Insektenabundanz erkennen, wobei bei den bodennahen Umfeld-Erfassungen sowie in 10 m Höhe ebenfalls vor allem die Ordnung der *Lepidoptera* dominierte und in 65 m Höhe lediglich *Hymenoptera* nachgewiesen werden konnten. Die Gründe für die unterschiedliche Zusammensetzung der qualitativen Insektenabundanz sind unklar. Methodische Faktoren sind denkbar, allerdings lieferten alle verwendeten Methoden – Saugfalle (De Jong et al. 2019), Lichtfalle mit Trichter sowie Klebfalle (Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. 2020) und die hier eingesetzte Insektenfotofalle – vergleichbare Ergebnisse.

6.4.3.3 Insektenabundanz in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern

Die Ergebnisse konnten zeigen, dass die Insektenabundanz signifikant von den meteorologischen Parametern Temperatur und Windgeschwindigkeit beeinflusst wird. Für die Temperatur konnte ein positiver, für die Windgeschwindigkeit ein negativer Zusammenhang festgestellt werden. Entsprechend nahm die Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt bei steigenden Temperaturen zu und bei steigenden Windgeschwindigkeiten ab. Die meisten Insektennachweise wurden bei Temperaturen oberhalb von 10 °C und bei Windgeschwindigkeiten bis 1 m/s erbracht. Deskriptiv konnten dabei keine Unterschiede zwischen den Insektenfotofallen im Umfeld und denen am Messmasten festgestellt werden. Statistisch wurde aufgrund der geringen Datenlage keine getrennte Betrachtung der Standorte durchgeführt.

In Bezug auf die Windgeschwindigkeit konnte ein negativer Zusammenhang auf die Insektenabundanz auch in den beiden oben genannten Vergleichsstudien gezeigt werden (De Jong et al. 2019; Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. 2020). Beide Forscherteams erzielten die meisten Insektennachweise in windstillen Nächten, wobei De Jong et al. (2019) einen signifikant negativen Einfluss steigender Windgeschwindigkeiten auf die Insektenabundanz belegen konnte. Auch Horn et al. (2008) konnte zeigen, dass der Fangerfolg von Lichtfanganlagen zur Kartierung von Nachtfaltern an windgeschützten Standorten größer war, als an windexponierten. Allerdings wurde in der Studie von De Jong et al. (2019) auch diskutiert, dass die Insektenabundanz möglicherweise aufgrund methodischer Faktoren bei größeren

Windgeschwindigkeiten abnahm. So wiesen De Jong et al. (2019) hauptsächlich schwarmbildende Insekten aus der Ordnung der *Diptera* nach und folgerten, dass das Bilden von Schwärmen in windstillen Nächten für kleine Insekten einfacher ist als in Nächten mit höheren Windgeschwindigkeiten. Die von De Jong et al. (2019) verwendete Saugfalle war hinter den Rotorblättern oben auf der Gondel positioniert. In windigen Nächten könnte der Fangenerfolg demnach deshalb geringer gewesen sein, weil die Insekten mit größeren Geschwindigkeiten die Saugfalle passierten und der Ansaugdruck folglich höher hätte sein müssen, um diese Geschwindigkeit zu überwinden. Insgesamt bleibt dieser Ansatz jedoch betont spekulativ (De Jong et al. 2019). Größere Verwirbelungen von Insekten in Nächten mit höheren Windgeschwindigkeiten erscheinen aber plausibel. Offen bleibt damit die Frage, ob die Insektenabundanz bei größeren Windgeschwindigkeiten in der Summe tatsächlich abnimmt und sich weniger Insekten im freien Luftraum – insbesondere in größeren Höhen (ca. 100 m) – aufhalten, oder ob die Insekten mit den hier verwendeten Methoden dann schlechter erfasst werden können. Interessant ist hier das Ergebnis einer Studie, die Insekten mit Hilfe von Kamera-Fallen erfasst hat, wobei Bilder des Luftraums bis in 10 m oberhalb der Kamera erstellt wurden (Ruczyński et al. 2020). Damit konnten auch Insekten erfasst werden, ohne dass diese landen mussten oder angesaugt wurden. Das Ergebnis der Studie zeigt aber ebenfalls einen negativen Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Insektenabundanz, wobei der Einfluss in unterschiedlichen Habitaten (Feuchtgebiet, Offenland, Wald und See) unterschiedlich stark war (Ruczyński et al. 2020). Hilfreich bei der Einordnung der Ergebnisse könnten auch die parallel zu der vorliegenden Studie durchgeführten Radar-Erfassungen sein, welche im weiteren Forschungsvorhaben ausgewertet werden sollen. Allerdings haben Radar-Systeme neben dem hohen Kostenfaktor auch verschiedene Limitierungen, im Besonderen beim Nachweis kleinerer Insekten (< 1 mg) in geringeren Höhen (unterhalb von 200 m) (J. Chapman et al. 2004).

Der Einfluss der Temperatur auf die Insektenabundanz wurde auch von Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. (2020) sowie De Jong et al. (2019) untersucht, jedoch kamen beide Forscherteams zu dem Schluss, dass der Einfluss der Temperatur auf die Insektenabundanz weniger maßgeblich ist als die Windgeschwindigkeit. Aus den hier generierten Daten lässt sich diese Folgerung so nicht ableiten. Sowohl die Temperatur als auch die Windgeschwindigkeit waren gleich signifikant. Auch wird aus den modellierten Kurvenverläufen für beide Parameter kein unterschiedlich starker Effekt auf die Nachweiswahrscheinlichkeit eines Insekts offensichtlich. Als poikilotherme Tiergruppe werden Insekten bezüglich ihres Lebenszyklus (Entwicklung, Reproduktion und Überleben) maßgeblich von der Umgebungstemperatur beeinflusst, wobei die Effekte jeweils unterschiedlich stark sein können. Diese Zusammenhänge wurden und werden vielfach untersucht (z. B. Gilbert & Raworth 1996; Logan et al. 2006; Régnière et al. 2012). Jonason et al. (2014) führte Lichtfänge in Ostdeutschland durch und konnte für nachtaktive Motten zeigen, dass sowohl die Abundanz als auch die Diversität maßgeblich von der vorherrschenden Temperatur beeinflusst war, hier gab es – wie in der vorliegenden Untersuchung – einen positiv-korrelierten Zusammenhang. Auch Ruczyński et al. 2020 konnten, basierend auf Erfassungen mittels Kamera-Falle zeigen, dass die Temperatur einen positiven Effekt auf die Insektenabundanz hatte. Möglicherweise gewinnt mit zunehmender Erfassungshöhe aber der Parameter Wind an Bedeutung und die Limitierung bzgl. der Auftretenswahrscheinlichkeit eines Insekts wird von der vorherrschenden Windgeschwindigkeit gesetzt (z. B. Rennie et al. 2010).

Statistisch analysiert wurde in der vorliegenden Studie auch der Effekt der Regenwahrscheinlichkeit, ein signifikanter Zusammenhang bestand hier jedoch nicht. Auch De Jong et al. (2019) konnten keinen signifikanten Zusammenhang zur Insektenabundanz feststellen.

Andere vergleichbare Untersuchungen fehlen, da Insekterfassungen zumeist bei „günstigen“ Wetterbedingungen durchgeführt werden und entsprechend Erfassungen bei Regen unterrepräsentiert sind. Betrachtet man die deskriptive Analyse der hier erbrachten Daten, zeigt sich jedoch auch, dass anteilig die meisten Insekten bei einer Regenwahrscheinlichkeit von Null erfasst werden konnten. Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass für andere Regenwahrscheinlichkeiten auch insgesamt nur wenige Daten vorlagen, womit sich entsprechend die Wahrscheinlichkeit reduziert, hier ein Insekt nachzuweisen.

Zusätzlich zu den beschriebenen meteorologischen Parametern wurde deskriptiv auch der Parameter Windrichtung analysiert. Dabei zeigte sich, dass bei (nord-) westlicher Windrichtung mehr Insektennachweise erbracht werden konnten. Möglich ist hier ein in sich kausaler Zusammenhang: da die Hauptwindrichtung im Untersuchungsgebiet Westen ist, kann die Wahrscheinlichkeit, Insekten bei dieser Windrichtung zu erfassen, größer sein, als wenn der Wind aus einer anderen Richtung kommt. Aufgrund der geringen Datenmenge wurde hierfür keine statistische Analyse durchgeführt. Die Windrichtung könnte bei zukünftigen Auswertungen aber Eingang in das statistische Modell finden. Im Besonderen, da Untersuchungen mit einem Radar-System in Großbritannien für migrierende Insekten zeigen konnten, dass diese ab Ende Juli bis Anfang September hauptsächlich Wind aus nordwestlicher Richtung präferierten (Rennie et al. 2010). Auch in anderen Studien konnte nachgewiesen werden, dass die Windrichtung für u. a. das Migrationsverhalten (J. W. Chapman et al. 2010; Mikkola 1986; Taylor & Relling 1986) einiger Insekten von entscheidender Rolle ist. Die Forschung lässt hier jedoch noch viele Fragen unbeantwortet, z. B. auch, inwieweit die Windrichtung für nicht-migrierende Insekten Bedeutung hat. Auch vor diesem Hintergrund wäre es interessant, die Windrichtung in zukünftigen Auswertungen zu berücksichtigen.

6.4.4 Insektenabundanz und Fledermausaktivität

Es konnte ein geringer Einfluss der Insektenabundanz auf die Fledermausaktivität nachgewiesen werden, wobei die Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus leicht anstieg, wenn auch die Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt größer wurde. Anhand der deskriptiven Analyse ließ sich hierfür bereits eine Tendenz ableiten, die durch die statistische Modellierung bestätigt wurde. Allerdings zeigte das Modell, dass die Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus maßgeblich von den anderen untersuchten Parametern – Temperatur, Windgeschwindigkeit, Regenwahrscheinlichkeit, Erfassungshöhe und Nachtzeit – beeinflusst wurde.

Im Arbeitspaket Fledermäuse wird der Einfluss dieser Parameter auf die Fledermausaktivität umfassend diskutiert, weshalb hier lediglich auf dieses Kapitel verwiesen wird. Wichtig ist aber zu unterstreichen, dass die Ergebnisse der Modellierung der Fledermausaktivität für alle Daten und beide Erfassungsjahre (2019 und 2020) analog zu den hier erbrachten Ergebnissen der Fledermausaktivität sind, obwohl – für die Vergleichbarkeit der Datensätze (Insektenabundanz/ Fledermausaktivität) – lediglich ein Teil der Fledermausaktivitätsdaten verwendet wurde. Die Zusammenhänge der untersuchten Parameter auf die Fledermausaktivität sind für den gesamten und den reduzierten Datensatz gleich. Es kann demnach davon ausgegangen werden, dass die Fledermausaktivität trotz reduziertem Datensatz im hier verwendeten Modell in aussagekräftiger Weise repräsentiert wird.

Betrachtet man nun die einzelnen Zusammenhänge der untersuchten Parameter auf die Fledermausaktivität, so lässt sich hier eine Analogie zu den Ergebnissen für die Insektenabundanz feststellen. Höhere Temperaturen haben einen positiven Effekt sowohl auf die Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus als auch auf die Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt. Negativ hingegen wirken sich die anderen Parameter aus, sodass mit steigender

Windgeschwindigkeit, zunehmender Erfassungshöhe und zunehmender Regenwahrscheinlichkeit die Nachweiswahrscheinlichkeit für Fledermäuse und Insekten sinkt.

Vor diesem Hintergrund muss auch der Einfluss der Insektenabundanz auf die Fledermausaktivität betrachtet werden. Bestimmte Wetterbedingungen scheinen sowohl für Insekten (Gilbert & Raworth 1996; Jonason et al. 2014; Logan et al. 2006; Ruczyński et al. 2020) als auch für Fledermäuse (Behr & Brinkmann 2011; Erickson & West 2002; Parsons et al. 2003) in ähnlicher Weise relevant zu sein und ein Auftreten jeweils zu begünstigen (z.B. Behr & Brinkmann 2011; Gilbert & Raworth 1996; Logan et al. 2006; Ruczyński et al. 2020). Die statistische Analyse bekräftigt diesen Zusammenhang, zeigte aber auch, dass ein Anstieg der Nachweiswahrscheinlichkeit für ein Insekt nicht zufällig mit einem Anstieg der Nachweiswahrscheinlichkeit für eine Fledermaus einhergeht, auch wenn der Effekt hier gering ist. Eine Erklärung könnte sein, dass Fledermäuse punktuell aktiver sind, wenn sie dort erfolgreich jagen können. Oder anders ausgedrückt: sie verweilen länger an einem Ort, wenn sie dort ein Insekt erbeutet haben bzw. bleiben noch länger an diesem Ort, wenn sie dort weitere Insekten erbeuten. Weniger wahrscheinlich ist es, dass Fledermäuse in der Lage sind, die Insektenabundanz vorherzusehen – im Besonderen da die Insektenabundanz häufig im Laufe der Nacht kurzzeitig stark schwanken kann (Ruczyński et al. 2020). Vielmehr scheint es eher zufällig, dass die Tiere innerhalb ihres Jagdgebiets Beute machen.

Diesen Schluss legen auch De Jong et al. (2019) nahe. Das Forscherteam konnte in seiner Studie lediglich bedingt einen signifikanten Zusammenhang der Fledermausaktivität auf die Insektenabundanz feststellen. Nur unter Berücksichtigung einer einzelnen Nacht mit besonders hoher Fledermausaktivität war der Zusammenhang zur nachgewiesenen Insektenabundanz signifikant. Wurde diese Nacht hingegen nicht berücksichtigt, bestand kein signifikanter Zusammenhang mehr. Allerdings betrachteten De Jong et al. (2019) die Fledermausaktivität auch getrennt für unterschiedliche Fledermaustaxa und konnten für den Großen Abendsegler (*Nyctalus noctula*) und die Zweifarbflodermäus (*Vespertilio murinus*) einen signifikanten Effekt der Insektenabundanz auf die Aktivität dieser Fledermausarten nachweisen. Eine andere Untersuchung, die im Zuge einer Masterarbeit durchgeführt wurde, erfasste die Fledermausaktivität und die Insektenabundanz (mittels Lichtfallen) an Gewässerstandorten in der Nähe von Wien. Hier konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Fledermausaktivität und der Insektenabundanz festgestellt werden, auch nicht für einzelne Fledermausarten (Santer 2012). Bei beiden Studien war die zeitliche Auflösung der Insektenerfassungen nur sehr grob möglich. Die Untersuchungen von Ruczyński et al. (2020) zeigen aber, dass die Insektenabundanz über die Nacht großen, kurzzeitigen Schwankungen unterlegen ist. Entsprechend könnte eine geringe zeitliche Auflösung der Insektenabundanz bspw. über eine gesamte Nacht (De Jong et al. 2019; Santer 2012) oder über mehrere Nächte (Trusch, R.; Falkenberg, M.; Mörtter, R. 2020) einen Effekt auf die Fledermausaktivität maskieren. Die zeitliche Auflösung war in der vorliegenden Studie jedoch deutlich höher (stündlich) und bildet kurzzeitige Schwankungen der Insektenabundanz damit besser ab. Ruczyński et al. (2020) erzielten eine noch feinere Auflösung und erstellten alle 5 min ein Bild des Luftraums oberhalb der Kamera. Erfassungen, die auf Anlockung basieren – so wie in der vorliegenden Studie – sind hier jedoch bestimmten Limitierungen unterlegen. Um zu verhindern, dass sich die Insekten dauerhaft auf der Leuchtplatte aufhalten und damit das Erfassungsergebnis verfälschen, sind Pausen zwischen den Lockzeiten unabdingbar. Damit werden die Erfassungen mittels Umgebungskamera der hier entwickelten Insektenfotofalle einmal mehr in den Fokus gerückt, wobei das Erfassungsdesign durch die Umgebungskamera neben den geplanten Verbesserungen (siehe Kapitel 6.4.1) weiter, basierend auf den Untersuchungen von Ruczyński et al. (2020), adaptiert werden könnte.

Neben einer Erhöhung der zeitlichen Auflösung bietet die Erfassung mittels Umgebungs-kamera außerdem den Vorteil, dass auch Insekten, die nicht phototaktisch oder sogar negativ phototaktisch sind, erfasst werden können. Dieser Aspekt muss bei den hier präsentierten Ergebnissen mitberücksichtigt werden, da diese auf den Erfassungen durch die Leuchtplatte basieren. Hinlänglich bekannt ist, dass unterschiedliche Fledermausarten auch ein unterschiedliches Nahrungsspektrum aufweisen und entsprechende Adaptionen dafür besitzen (z.B. Bogdanowicz et al. 1999; Norberg & Rayner 1987). Zu welchem Anteil phototaktische Insekten jedoch das Nahrungsspektrum von verschiedenen Fledermausarten im Detail aus-machen, ist, wahrscheinlich auch aufgrund der methodischen Herausforderung, in dieser Form noch nicht untersucht.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die Untersuchungen zur Insektenabundanz und ihrer Rolle im ökologischen Kontext – hier im speziellen auf die Fledermausaktivität – erst am Anfang stehen und ein dringender Forschungsbedarf gegeben ist. Im Besonderen, da methodisch eine Weiterentwicklung nötig ist, um Erfassungen hinsichtlich verschiedener As-pekte (z. B. zeitlich, räumlich, phototaktisch/nicht phototaktisch, Körpergrößen-unabhängig etc.) genauer durchführen zu können. Auf diese Weise, gegebenenfalls ergänzt durch zu-sätzliche taxonomische Methoden wie DNA-Barcoding (z.B. Wilson 2012), ließe sich auch die qualitative und quantitative Aussagekraft der Erfassungen verbessern.

Die hier entwickelte Insektenfotofalle stellt ein vielversprechendes Beispiel für eine methodi-sche Weiterentwicklung dar. Ziel ist es, die Insektenfotofalle im weiteren Projekt noch mehr zu optimieren und so einen weiteren Beitrag zum bislang wenig untersuchten Zusammen-hang der Fledermausaktivität und der Insektenabundanz leisten zu können.

7 Fazit und Ausblick

Auch wenn bereits Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen der Windenergienutzung und der Gefährdung von Vögeln und Fledermäusen bestehen, verbleiben dennoch spezielle Kenntnislücken, die für den Planungsprozess und die Genehmigungspraxis wichtig sind. Absehbar ist, dass zukünftig deutlich mehr Flächen für die Windenergienutzung benötigt werden, um die nationalen Klimaschutzziele erreichen zu können. Dem effektiven Einsatz wirksamer (technischer) Vermeidungsmaßnahmen kommt somit eine immer größere Bedeutung zu. Ziel des Forschungsvorhabens NatForWINSENT-II ist es deshalb, auf Grundlage von Erfassungsdaten Kenntnisddefizite zu minimieren und daraus zielführende Maßnahmen zu entwickeln und zu testen.

Die in diesem Bericht vorgestellten, ersten Ergebnisse der Vorher-Untersuchungen (ohne Forschungs-Windenergieanlagen) zeigen die Möglichkeiten für die Naturschutzforschung am Windenergie-testfeld und die damit verbundenen Potenziale für die Entwicklung und den Test von Vermeidungsmaßnahmen auf. Die umfassende technische Ausstattung des Testfelds bietet einzigartige Voraussetzungen für die detaillierte Untersuchung zahlreicher Forschungsfragen. Dies bezieht sich nicht nur auf die Generierung von großen Datenmengen, die mit Hilfe der verschiedenen Erfassungstechniken für Vögel, Fledermäuse und Insekten erreicht wird, sondern auch auf die vielfältigen meteorologischen Daten, die am Testfeld erfasst werden. Viele Korrelationen zwischen Wetterbedingungen und den Aktivitäts- und Bewegungsdaten von Vögeln und Fledermäusen konnten bisher in Deutschland in dieser Konstellation noch nicht untersucht werden.

So zeigen auch bereits die Ergebnisse der im Rahmen von Phase 1 durchgeführten Untersuchungen Perspektiven für einen umfassenden Erkenntnisgewinn (Vögel, Fledermäuse, Insekten) und Entwicklungen wie Schlagopferdetektion oder Insektenabundanz-erfassung im weiteren Projektverlauf auf:

- Durch das regelmäßige Vorkommen mehrerer Rotmilanbrutpaare im 2-km-Radius um den Standort der zukünftigen Forschungswindenergieanlagen und eine insgesamt sehr hohe Flugdichte von Rotmilanen im Testfeldgebiet besteht die Möglichkeit zur Erhebung und Analyse großer Flugdatenmengen.
- Die in Phase 1 mittels Telemetrie sowie Laser-Range-Finder-Untersuchungen aufgenommenen Daten und Flugwege von Rotmilanen haben bereits zu wichtigen Erkenntnissen insbesondere hinsichtlich ihrer Flughöhen und Fluggeschwindigkeiten geführt. Dies erleichtert zukünftig die Analyse der potenziellen Kollisionsgefährdung sowie die Ableitung von Anforderungen an Antikollisionssysteme etwa bezüglich der notwendigen Erfassungsgüte.
- Die ganzjährigen Radaruntersuchungen des am Standort vorkommenden Vogelspektrums zeigen eine erwartungsgemäße Charakteristik des Zuggeschehens in einem Mittelgebirgsraum.
- Am Testfeld können bestimmte Korrelationen des Zuggeschehens mit Wetterdaten z. T. erstmals analysiert werden (z.B. Höhenverteilung in Abhängigkeit von der Sichtweite).
- Die Untersuchungen zur Fledermausaktivität haben ergeben, dass am Standort das gesamte in diesem Naturraum zu erwartende Artenspektrum vorkommt und somit Rückschlüsse nicht nur auf ausgewählte Arten getroffen werden können.

- Die Verschneidung der Aktivitätsdaten mit meteorologischen Daten bestätigt bereits bekannte Zusammenhänge, zeigt aber auch Zusammenhänge der Aktivität von Vögeln, Fledermäusen und Insekten mit bisher nicht analysierten Witterungsparametern wie z. B. der Windrichtung, Regenwahrscheinlichkeit oder Turbulenz.
- Eine neue Methode zur automatisierten Bestimmung der Insektenaktivität wurde entwickelt und erfolgreich eingesetzt.
- Durch eine Verschneidung von Fledermaus- und Insektenaktivitätsdaten konnten erstmals Zusammenhänge zwischen diesen beiden nachgewiesen werden.
- Das für die Bedingungen am Testfeld angepasste Stereo-Wärmebildkamerasystem wird Detailanalysen zur Aktivität von Fledermäusen an den Windenergieanlagen ermöglichen.
- Die Entwicklung und ersten Tests eines neuartigen Schlagopferkamarasystems lassen erwarten, dass am Testfeld, und perspektivisch darüber hinaus, eine hinreichend zuverlässige Schlagopfererfassung gegeben sein wird.

Auf der Grundlage der Forschungsergebnisse der Vorher-Untersuchungen in Phase 1 vor Inbetriebnahme der Windenergieanlagen wurden für die Phase 2 nach Inbetriebnahme der Forschungs-Windenergieanlagen experimentelle Untersuchungen konzipiert, welche die Fortentwicklung und Überprüfung von Vermeidungsmaßnahmen im besonderen Fokus haben. Der hier skizzierte Mix aus Forschungsansätzen und Untersuchungsmethoden ist in dieser Weise bislang an keinem anderen Standort möglich. Dies betrifft vor allem die in Phase 2 geplanten, gezielten Eingriffe in das Betriebsregime der Anlagen, um das Verhalten von Vögeln, Fledermäusen und Insekten bei unterschiedlichen Betriebszuständen – zwischen maximaler Drehzahl und Trudelbetrieb - analysieren zu können.

Die Forschungsmöglichkeiten für den Naturschutz am Windenergie-testfeld WINSENT gelten als einzigartige Chance für den Erkenntnisgewinn und die Erarbeitung von tragfähigen, insbesondere technischen Lösungen für die bessere Vermeidung von Konflikten zwischen der Windenergienutzung an Land und dem Artenschutz. Die Untersuchungsergebnisse in Phase 1 bestätigen zusätzlich, dass auch in Bezug auf das Artenvorkommen vor Ort optimale Untersuchungsbedingungen gegeben sind. Die Digitalisierung und rasante technische Entwicklungen insbesondere im Bereich der künstlichen Intelligenz werden in den kommenden Jahren noch ungeahnte Möglichkeiten bieten. Vor diesem Hintergrund können die zwei Jahre, auf die Phase 2 des Vorhabens ausgelegt ist, ein vielversprechender Anfang für Beiträge auf dem Weg zur naturverträglichen Windenergienutzung sein.

Literaturverzeichnis

- Adomeit, U. I., Niermann, I., Behr, O. & Brinkmann, R. (2011): Charakterisierung der Fledermausaktivität im Umfeld von Windenergieanlagen mittels IR-Stereoaufnahmen. – In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 145-176.
- Alder, H. (2017). Langzeit-Monitoring an einer Kleinwindanlage mittels Wärmebild-Kameras und Chancen für die Risiko-Einschätzung. Nationale Tagung Fledermausschutz und Fledermausforschung 2017, Bern, Schweiz, Schweizer Koordinationsstelle für Fledermausschutz, 10.
- Alerstam, T., Rosen, M., Bäckman, J., Ericson, P.G.P. & Hellgren, O. (2007): Flight Speeds among Bird Species: Allometric and Phylogenetic Effects. *PLOS Biol* 5: e197.
- Amorim, F., Rebelo, H. & Rodrigues, L. (2012): Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. – *Acta Chiropterologica* 14: 439-457.
- Apoznański, G., Sánchez-Navarro, S., Kokurewicz, T., Pettersson, S. & Rydell, J. (2018): Barbastelle bats in a wind farm: are they at risk? – *European Journal of Wildlife Research* 64: 43.
- Arnett, E. B. (2006): A Preliminary Evaluation on the Use of Dogs to Recover Bat Fatalities at Wind Energy Facilities. – *Wildlife Society Bulletin* 34: 1440-1445.
- Arnett, E. B., Brown, W. K., Erickson, W. P., Fiedler, J. K., Hamilton, B. L., Henry, T. H., Jain, A., Johnson, G. D., Kerns, J., Koford, R. R., Nicholson, C. P., O'Connell, T. J., Piorkowski, M. D. & Tankersley, R. D. (2008): Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. – *Journal of Wildlife Management* 72: 61-78.
- Arnett, E. B., Hein, C. D., Schirmacher, M. R., Huso, M. M. P. & Szewczak, J. M. (2013): Evaluating the effectiveness of an ultrasonic acoustic deterrent for reducing bat fatalities at wind turbines. – *PLoS One* 8: e65794.
- Arnett, E. B., Schirmacher, M., Huso, M. M. P. & Hayes, J. P. (2009): Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. – Austin, Texas (Bats and Wind Energy Cooperative and the Pennsylvania Game Commission): 45 S.
- Aschwanden, J. & Liechti, F. (2020a): Erprobung des automatischen Vogeldetektionssystems *IdentiFlight®* auf dem Testfeld des *WindForS* im Rahmen der Naturschutzbegleitforschung (*NatForWINSSENT*): Projekt AP 2. E1 Test Detektionssysteme, Auftrag 149707/00111. Schweizerische Vogelwarte Sempach.
- Aschwanden, J. & Liechti, F. (2020b): Test of the automatic bird detection system *BPS* on the test field of *WindForS* in the context of nature conservation research (*NatForWINSSENT*): Projekt AP 2. E1 Test of detection systems, Order 149707/00111. Schweizerische Vogelwarte Sempach.
- Aschwanden, J., Stark, H., Peter, D., Steuri, T., Schmid, B. & Liechti, F. (2018): Bird collisions at wind turbines in a mountainous area related to bird movement intensities measured by radar. *Biol Conserv* 220: 228–236.
- Aurbach, A., Schmid, B., Liechti, F., Chokani, N. & Abhari, R. (2020): Simulation of broad front bird migration across Western Europe. – *Ecological Modelling* 415:
- Baerwald, E. F. & Barclay, R. M. R. (2011): Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. – *The Journal of Wildlife Management* 75: 1103-1114.
- Baerwald, E. F., D'Amours, G. H., Klug, B. J. & Barclay, R. M. R. (2008): Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. – *Current Biology* 18: R695-R696.

- Ballasus, H., Hill, K. & Hüppop, O. (2009): Gefahren künstlicher Beleuchtung für ziehende Vögel und Fledermäuse. – *Ber. Vogelschutz* 46: 127-157.
- Barghini, A. & B.A. Souza de Medeiros (2012): UV radiation as an attractor for insects. *Leukos* 9: 47–56.
- Bates, D. M., Mächler, M., Bolker, B. & Walker, S. (2015): Fitting linear mixed-effects models using lme4. – *Journal of Statistical Software* 67: 1-48.
- Bauer, H.G. & P. Berthold (1996): *Die Brutvögel Mitteleuropas: Bestand und Gefährdung.* – Aula Verlag Wiesbaden.
- Bauer, S., Shamoun-Baranes, J., Nilsson, C., Farnsworth, A., Kelly, J.F., Reynolds, D.R., Dokter, A.M., Krauel, J.F., Petterson, L.B., Horton, K.G. & Chapman, J.W. (2019): The grand challenges of migration ecology that radar aeroecology can help answer. *Eco-geography* 42: 861–875.
- Behr, O. (2018): ProBat Tool. – URL: <http://www.windbat.techfak.fau.de/tools/> (gesehen am 15.05.2019).
- Behr, O., Brinkmann, R., Hochradel, K., Hurst, J., Mages, J., Korner-Nievergelt, F., Reers, H., Simon, R., Stiller, F., Weber, N. & Nagy, M. (2018): Bestimmung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen in der Planungspraxis - Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. –: 416 S.
- Behr, O., Brinkmann, R., Hochradel, K., Hurst, J., Mages, J., Naucke, A., Nagy, M., Niermann, I., Reers, H., Simon, R., Weber, N. & Korner-Nievergelt, F. (2016a): Experimenteller Test der fledermausfreundlichen Betriebsalgorithmen. – In: Behr, O., Brinkmann, R., Korner-Nievergelt, F., Nagy, M., Niermann, I., Reich, M. & Simon, R. (Hrsg.): *Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore Windenergieanlagen (RENEBAT II): Ergebnisse eines Forschungsvorhabens.* – Hannover (Repositorium der Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum; 7)): 205-269.
- Behr, O., Brinkmann, R., Korner-Nievergelt, F., Nagy, M., Niermann, I., Reich, M. & Simon, R. (2016b): *Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore Windenergieanlagen (RENEBAT II): Ergebnisse eines Forschungsvorhabens.* – Hannover (Repositorium der Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum; 7)): 374 S.
- Behr, O., Brinkmann, R., Hochradel, K., Korner-Nievergelt, F., Mages, J., Naucke, A., Nagy, M., Niermann, I., Simon, R. & Weber, N. (2016c): Akustische Erfassung der Fledermausaktivität. – In: BEHR, O., BRINKMANN, R., KORNER-NIEVERGELT, F., NAGY, M., NIERMANN, I., REICH, M. & SIMON, R. (Hrsg.): *Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore Windenergieanlagen (RENEBAT II): Ergebnisse eines Forschungsvorhabens.* – Hannover (Repositorium der Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum; 7)): 165-204.
- Behr, O., Brinkmann, R., Niermann, I. & Korner-Nievergelt, F. (2011a): Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. – In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (Hrsg.): *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen.* – Göttingen (Cuvillier Verlag): 177-286.
- Behr, O., Brinkmann, R., Niermann, I. & Korner-Nievergelt, F. (2011b): Fledermausfreundliche Betriebsalgorithmen für Windenergieanlagen. – In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (Hrsg.): *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen.* – Göttingen (Cuvillier Verlag): 354-383.

- Behr, O., Eder, D., Marckmann, U., Mette-Christ, H., Reisinger, N., Runkel, V. & von Helversen, O. (2007): Akustisches Monitoring im Rotorbereich von Windenergieanlagen und methodische Probleme beim Nachweis von Fledermaus-Schlagopfern- Ergebnisse aus Untersuchungen im mittleren und südlichen Schwarzwald. – *Nyctalus* 12: 115-117.
- Behr, O., R. Brinkmann, F. Korner-Nievergelt, M. Nagy, I. Niermann, M. Reich & R. Simon, (2015): Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen (RENEBAT II). (Institut für Umweltplanung, Hannover, Hrsg.) *Umwelt und Raum* ; 7.
- Bennett, V. J. & Hale, A. M. (2014): Red aviation lights on wind turbines do not increase bat-turbine collisions. – *Animal Conservation* 17: 354-358.
- Berger, G. & Pfeffer, H. (2011): Naturschutzbrachen im Ackerbau. Anlage und optimierte Bewirtschaftung kleinflächiger Lebensräume für die biologische Vielfalt – Praxishandbuch. *Natur & Text*, Rangsdorf.
- Berthinussen, A., Richardson, O.C. & Altringham, J.D. (2021): *Bat Conservation: Global Evidence for the Effects of Interventions: Conservation Evidence Series Synopses*. University of Cambridge, Cambridge, UK.
- B-Finder (2020): Automatic bat and bird mortality monitoring for wind power. – URL: <https://b-finder.eu/> (gesehen am 10.11.2020)
- Blohm, T. & Heise, G. (2008): Großer Abendsegler *Nyctalus noctula* (Schreber, 1774). – In: Teubner, J., Teubner, J., Dolch, D. & Heise, G. (Hrsg.): *Säugetierfauna des Landes Brandenburg - Teil 1: Fledermäuse*. – Velten (Landesumweltamt Brandenburg): 153-160.
- Bogdanowicz, W., M.B. Fenton & K. Daleszczyk (1999): The relationships between echolocation calls, morphology and diet in insectivorous bats. *Journal of Zoology* 247: 381–393.
- Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 457 S.
- Brinkmann, R., Schauer-Weisshahn, H. & Bontadina, F. (2006): Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. – Gundelfingen (Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Freiburg - Referat 56 Naturschutz und Landschaftspflege): 66 S.
- Brinkmann, R.; Behr, O.; Korner-Nievergelt, F. Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. *Umwelt und Raum* 2011, 4.
- Bruderer, B. & Boldt, A. (2001): Flight characteristics of birds: I. radar measurements of speeds. *Ibis* 143: 178-204.
- Bruderer, B. & Liechti, F. (2004): Welcher Anteil ziehender Vögel fliegt im Höhenbereich von Windturbinen? – *Der Ornithologische Beobachter* 101: 327-335.
- Bruderer, B. (2020): Ein halbes Jahrhundert Zugforschung mit der "Superfledermaus". – *Vogelwarte - Zeitschrift für Vogelkunde* 58: 255-272.
- Bruderer, B., Peter, D. & Korner-Nievergelt, F. (2018): Vertical distribution of bird migration between the Baltic Sea and the Sahara. – *Journal of Ornithology* 159: 315-336.
- Bruderer, B., Peter, D., Boldt, A. & Liechti, F. (2010): Wing-beat characteristics of birds recorded with tracking radar and cine camera. *Ibis* 152: 272-291.
- Bruns, E., Schuster, E. & Streiffeler, J. (2021): Anforderungen an technische Überwachungs- und Abschaltssysteme an Windenergieanlagen. Abschlussbericht der Workshopreihe „Technische Systeme“. BfN-Skripten 610.

- Budenz, T., Gessner, B., Lüttmann, J., Molitor, F., Servatius, K. & Veith, M. (2017): Up and down: *B. barbastellus* explore lattice towers. – *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy* 28: 272-276.
- Bundesamt für Naturschutz (2019): Faktenpapier: Insektenrückgang - potenzieller Einfluss der Windenergienutzung in Deutschland? (Pressemitteilung).
- Bürkner, P.-C. (2017): brms: An R Package for Bayesian Multilevel Models Using Stan. *J. Stat. Soft.* 80.
- Bürkner, P.-C. (2018): Advanced Bayesian Multilevel Modeling with the R Package brms. *The R Journal* 10: 395.
- Busche, G. (1989): Drastische Bestandseinbußen der Feldlerche *Alauda arvensis* auf Grünlandflächen in Schleswig-Holstein.- *Vogelwelt*, 2: 51-59.
- Calabrese, J.M., Fleming, C.H., Gurarie, E. & Freckleton, R. (2016): ctmm: An r package for analyzing animal relocation data as a continuous-time stochastic process. *Methods Ecol Evol* 7: 1124–1132.
- Chapman, J., D. Reynolds & A. Smith (2004): Migratory and foraging movements in beneficial insects: a review of radar monitoring and tracking methods. *International Journal of Pest Management* 50: 225-232.
- Chapman, J.W., R.L. Nesbit, L.E. Burgin, D.R. Reynolds, A.D. Smith, D.R. Middleton & J.K. Hill (2010): Flight orientation behaviors promote optimal migration trajectories in high-flying insects. *Science* 327: 682-685.
- Chowdhury, S., R.A. Fuller, H. Dingle, J.W. Chapman & M.P. Zalucki (2021): Migration in butterflies: a global overview. *Biological Reviews*.
- Cryan, P. M. & Barclay, R. M. R. (2009): Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. – *Journal of Mammalogy* 90: 1330-1340.
- Cryan, P. M., Gorresen, P. M., Hein, C. D., Schirmacher, M. R., Diehl, R. H., Huso, M. M. P., Hayman, D. T. S., Fricker, P. D., Bonaccorso, F. J. & Johnson, D. H. (2014): Behavior of bats at wind turbines. – *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111: 15126-15131.
- Davidson, G. A., Clark, D. A., Johnson, B. K., Waits, L. P. & Adams, J. R. (2014): Estimating cougar densities in northeast Oregon using conservation detection dogs. – *The Journal of Wildlife Management* 78: 1104-1114.
- De Jong, J., O. Håstad, J. Victorsson & A. Ödeen (2019): Aktivitet av fladdermöss och insekter vid ett vindkraftverk (No. 6902). *Naturvårdsverket*.
- Dennis, P., M.R. Young & I.J. Gordon (1998): Distribution and abundance of small insects and arachnids in relation to structural heterogeneity of grazed, indigenous grass-lands. *Ecological Entomology* 23: 253-264.
- Duggan, J. M., Heske, E. J., Schooley, R. L., Hurt, A. & Whitelaw, A. (2011): Comparing detection dog and livetrapping surveys for a cryptic rodent. – *The Journal of Wildlife Management* 75: 1209-1217.
- Dürr, T. (2019): Vogelverluste an Windenergieanlagen in Deutschland – Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte Brandenburg. Stand: 07.01.2019.
- Dürr, T. (2020): Fledermausverluste an Windenergieanlagen. Daten aus der zentralen Fundkartei der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg. – Stand vom 7. Januar 2020 (LUGV Brandenburg): 1 S.
- Erickson, J. L. & West, S. D. (2002): The influence of regional climate and nightly weather conditions on activity patterns of insectivorous bats. – *Acta Chiropterologica* 4: 17-24.

- Fiedler, J. K., Henry, T. H., Tankersley, R. D. & Nicholson, C. P. (2007): Results of Bat and Bird Mortality Monitoring at the Expanded Buffalo Mountain Windfarm, 2005. – (Tennessee Valley Authority): 42 S.
- Fiedler, W., Scharf, A. & Scacco, M. (2021): Raumnutzungs- und Flugverhalten von Rotmilanen und Wespenbussarden in Baden-Württemberg unter verschiedenen Witterungs- und Landschaftsbedingungen: Abschlussbericht Phase II. Max-Planck-Institut für Verhaltensbiologie. Karlsruhe: LUBW
- Fischer, M., Parkins, K., Maizels, K., Sutherland, D.R., Allan, B.M., Coulson, G. & Di Stefano, J. (2018): Biotelemetry marches on: A cost-effective GPS device for monitoring terrestrial wildlife. *PLoS one* 13: e0199617.
- Foo, C.F., V.J. Bennett, A.M. Hale, J.M. Korstian, A.J. Schildt & D.A. Williams (2017): Increasing evidence that bats actively forage at wind turbines. *PeerJ* 5: e3985.
- Gelman, A. & J. Hill (2007): Data Analysis Using Regression and Multilevel/Hierarchical Models. Analytical Methods for Social Research. Cambridge University Press, Leiden. Seitenzahl
- Gilbert, N. & D.A. Raworth (1996): Insects and temperature—a general theory. *The Canadian Entomologist* 128: 1–13.
- Grodsky, S. M., Behr, M. J., Gendler, A., Drake, D., Dieterle, B. D., Rudd, R. J. & Walrath, N. L. (2011): Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. – *Journal of Mammalogy* 92: 917-925.
- Haffer J. (1993): *Lanius excubitor* Linnaeus 1758 - Raubwürger, Grauwürger. — In: U. N. Glutz von Blotzheim (Hg), *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*, Bd. 13 Passeriformes, Aula-Verlag, Wiesbaden, 1262-1328.
- Hallmann, C.A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörrn, T., Goulson, D. & Kroon, H. de (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS one* 12: e0185809.
- Hartig, F. (2021). DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. – URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/DHARMA/vignettes/DHARMA.html> (gesehen am 30.11.2021).
- Heuck, C., Sommerhage, M., Stelbrink, P., Höfs, C., Geisler, K., Gelpke, C. & Koschkar, S. (2019): Untersuchung des Flugverhaltens von Rotmilan in Abhängigkeit von Wetter und Landnutzung unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Windenergieanlagen im Vogelschutzgebiet Vogelsberg.: Abschlussbericht. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen. 116 S.
- Holzmüller, J. (2020): Wirtschaftliche Aspekte ereignisbezogener Abschaltung zum Vogelschutz an Windenergieanlagen. Vortrag im Rahmen der Digitalen Abschlussveranstaltung der Workshopreihe „Technische Systeme“: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Anforderungen an technische Überwachungs und Abschaltssysteme an WEA“ (FKZ 3519861200) des KNE. – URL: https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/20201014_KNE_Vortrag_Holzmuller.pdf (gesehen am 18.12.2020)
- Horn, J. W., Arnett, E. B., Jensen, M. & Kunz, T. H. (2008a): Testing the effectiveness of an experimental acoustic bat deterrent at the Maple Ridge wind farm. – (The Bats and Wind Energy Cooperative and Bat Conservation International, Austin, TX): 30 S.
- Horn, J. W., Arnett, E. B. & Kunz, T. H. (2008b): Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. – *Journal of Wildlife Management* 72: 123-132.
- Horn, J.W., E.B. Arnett & T.H. Kunz (2008): Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *The Journal of wildlife management* 72: 123-132.

- Hölzinger, J. (1999): Die Vögel Baden-Württembergs, Bd. 3.1 Singvögel, Eugen Ulmer Verlag Stuttgart. 861 S.
- Hötter, H. (2004): Vögel der Agrarlandschaft. Bestand, Gefährdung, Schutz. Michael-Otto-Institut im NABU. Bergenhusen. 47 S.
- Hötter, H., Krone, O. & Nehls, G. (2013): Greifvögel und Windkraftanlagen: Problemanalyse und Lösungsvorschläge, Bergenhusen, Berlin, Husum. 322 S.
- Hötter, H., Dierschke, V., Flade, M. & C. Leuschner (2014): Diversitätsverluste in der Brutvogelwelt des Acker- und Grünlandes. *Natur und Landschaft* 89: 410-416.
- Hu, G., K.S. Lim, N. Horvitz, S.J. Clark, D.R. Reynolds, N. Sapir & J.W. Chapman (2016): Mass seasonal bioflows of high-flying insect migrants. *Science* 354: 1584-1587.
- Hurst, J., Balzer, S., Biedermann, M., Dietz, C., Dietz, M., Höhne, E., Karst, I., Petermann, R., Schorcht, W., Steck, C. & Brinkmann, R. (2015): Erfassungsstandards für Fledermäuse bei Windkraftprojekten in Wäldern - Diskussion aktueller Empfehlungen der Bundesländer. – *Natur und Landschaft* 90: 157-169.
- Hurst, J., Biedermann, M., Dietz, M., Karst, I., Krannich, E., Schauer-Weissshahn, H., Schorcht, W. & Brinkmann, R. (2016a): Aktivität und Lebensraumnutzung der Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) in Wochenstubegebieten. – In: Hurst, J., Biedermann, M., Dietz, C., Dietz, M., Karst, I., Krannich, E., Petermann, R., Schorcht, W. & Brinkmann, R. (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, Bd 153. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 198-233.
- Hurst, J., Biedermann, M., Dietz, M., Krannich, E., Karst, I., Korner-Nievergelt, F., Schauer-Weissshahn, H., Schorcht, W. & Brinkmann, R. (2016b): Fledermausaktivität in verschiedenen Höhen über dem Wald. – In: Hurst, J., Biedermann, M., Dietz, C., Dietz, M., Karst, I., Krannich, E., Petermann, R., Schorcht, W. & Brinkmann, R. (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, Bd 153. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 157-197.
- Hurst, J., Korner-Nievergelt, P., Schauer-Weissshahn, H. & Brinkmann, R. (2016c): Identifikation von Raum-Zeit-Mustern der Fledermausaktivität. – In: Hurst, J., Biedermann, M., Dietz, C., Dietz, M., Karst, I., Krannich, E., Petermann, R., Schorcht, W. & Brinkmann, R. (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, Bd. 153. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 121-156.
- ITN (2006): Frankfurter Nachtleben – Fledermäuse in Frankfurt am Main. – Frankfurt am Main (Umweltamt der Stadt Frankfurt): 94 S.
- Jain, A. A. (2005): Bird and bat behavior and mortality at a northern Iowa windfarm. – Ames, Iowa (Iowa State University –), S.
- Jansson, S., E. Malmqvist, M. Brydegaard, S. Åkesson & J. Rydell (2020): A Scheimpflug lidar used to observe insect swarming at a wind turbine. *Ecological Indicators* 117: 106578.
- Joest, R. (2018): Wie wirksam sind Vertragsnaturschutzmaßnahmen für Feldvögel? - *Vogelwelt* 138: 109-121.
- Johnson, G. D., Erickson, W. P., Strickland, M. D., Shepherd, M. F., Shepherd, D. A. & Sarrappo, S. A. (2003): Mortality of Bats at a Large-scale Wind Power Development at Buffalo Ridge, Minnesota. – *American Midland Naturalist* 150: 332-342.
- Johnson, G. D., Perlik, M. K., Erickson, W. P. & Strickland, M. D. (2004): Bat activity, composition, and collision mortality at a large wind plant in Minnesota. – *Wildlife Soc Bull* 32: 1278-1288.
- Jonason, D., M. Franzén & T. Ranius (2014): Surveying Moths Using Light Traps: Effects of Weather and Time of Year. (R. M. Brigham, Hrsg.) *PLoS ONE* 9: e92453.

- Kerns, J. & Kerlinger, P. (2004): A study of bird and bat collision mortalities at the Mountaineer Wind Energy Center, Tucker County, West Virginia: Annual Report for 2003. – (FPL Energy and Mountaineer Wind Energy Center Technical Review Committee)
- Kinzie, K. & Miller, M. (2018): Ultrasonic Bat Deterrent Technology - Final Technical Report. – U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (General Electric Company): 162 S.
- KNE (2020): Definition "Trudelbetrieb". – URL: <https://www.naturschutz-energie-wende.de/fragenundantworten/233-2/> (gesehen am 09.11.2020).
- KNE (2021): Dokumentation Fachgespräch „Schwarze Rotorblätter“ – Eine wirksame Vermeidungsmaßnahme zur Verminderung von Vogelkollisionen an Windenergieanlagen?: 19 S.
- Knight, T. & G. Jones (2009): Importance of night roosts for bat conservation: roosting behaviour of the lesser horseshoe bat *Rhinolophus hipposideros*. *Endangered Species Research* 8: 79-86.
- Knuff, A.K., M. Staab, J. Frey, C.F. Dormann, T. Asbeck & A.-M. Klein (2020): Insect abundance in managed forests benefits from multi-layered vegetation. *Basic and Applied Ecology* 48: 124-135.
- Korner-Nievergelt, F., Brinkmann, R., Niermann, I. & Behr, O. (2013): Estimating bat and bird mortality occurring at wind energy turbines from covariates and carcass searches using mixture models. – *PLoS One* 8: e67997.
- Korner-Nievergelt, F., Korner-Nievergelt, P., Behr, O., Niermann, I., Brinkmann, R. & Hellriegel, B. (2011): A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. – *Wildlife Biology* 17: 350-363.
- Korner-Nievergelt, F., T. Roth, S. a. von Felten, J. Guélat, B. Almasi & P. Korner-Nievergelt (2015): Bayesian data analysis in ecology using linear models with R, bugs, and Stan: Including comparisons to frequentist statistics. Academic Press, Amsterdam: 316 S.
- Krannich, E., Biedermann, M., Dietz, M., Karst, I., Krannich, A., Schauer-Weissshahn, H. & Schorcht, W. (2016): Aktivität der Mopsfledermaus (*Barbastella barbastellus*) zur Schwärmzeit an einem Winterquartier nahe der Thüringer Pforte. – In: Hurst, J., Biedermann, M., Dietz, C., Dietz, M., Karst, I., Krannich, E., Petermann, R., Schorcht, W. & Brinkmann, R. (Hrsg.): Fledermäuse und Windkraft im Wald. – Bonn-Bad Godesberg (Bundesamt für Naturschutz): 234-257.
- Kugelschafter, K. & Weishaar, M. (2018). Auswirkungen von "Kunstlicht" auf das Ausflughverhalten vom Mausohrwochenstubenkolonien. *Evidenzbasierter Fledermausschutz*, Berlin, 91.
- Kuijper, D. P., Schut, J., van Dullemen, D., Toorman, H., Goossens, N., Ouwehand, J. & Limpens, H. (2008): Experimental evidence of light disturbance along the commuting routes of pond bats (*Myotis dasycneme*). – *Lutra* 51: 37-49.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W. & Tuttle, M. D. (2007): Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. – *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 315-324.
- LANUV (2012): Geschützte Arten in NRW. – URL: <http://artenschutz.naturschutzinformationen.nrw.de> (gesehen am 04.11.2016).
- Laux, D., Bernshausen, F. & Hormann, M. (2014): Artenhilfskonzept Raubwürger (*Lanius excubitor*) in Hessen. Gutachten im Auftrag der Staatlichen Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland. Stand: 04.08.2014.– Hungen. 142 S. + Anhang.

- Lissak, W. (1990): Insekten als Winternahrung des Raubwürgers (*Lanius excubitor*). - Orn. Jh. Bad. -Württ. 6: 97-99.
- Liu, D., Chen, L., Wang, Y., Lu, J. & Huang, S. (2018): How much can we trust GPS wildlife tracking? An assessment in semi-free-ranging Crested Ibis *Nipponia nippon*. PeerJ 6: e5320.
- Logan, J.D., W. Wolesensky & A. Joern (2006): Temperature-dependent phenology and predation in arthropod systems. *Ecological modelling* 196: 471–482.
- Long, C. V., Flint, J. A. & Lepper, P. A. (2010a): Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? – *European Journal of Wildlife Research* 57: 323-331.
- Long, C. V., Flint, J. A. & Lepper, P. A. (2010b): Wind turbines and bat mortality: Doppler shift profiles and ultrasonic bat-like reflection from moving turbine blades. – *Journal of the Acoustical Society of America* 128: 2238-2245.
- Long, C. V., Flint, J. A., Lepper, P. A. & Dible, S. A. (2009): Wind turbines and bat mortality: interactions of bat echolocation pulses with moving turbine rotor blades. – *Proceedings of the Institute of Acoustics* 31: 183-190.
- Long, C.V., J.A. Flint & P.A. Lepper (2011): Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? *European Journal of Wildlife Research* 57: 323-331.
- LUBW (2014): Hinweise zur Untersuchung von Fledermausarten bei Bauleitplanung und Genehmigung für Winkraftanlagen. – Karlsruhe (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg): 42 S.
- Mathews, F., Swindells, M., Goodhead, R., August, T. A., Hardman, P., Linton, D. M. & Hosken, D. J. (2013): Effectiveness of search dogs compared with human observers in locating bat carcasses at wind-turbine sites: A blinded randomized trial. – *Wildlife Society Bulletin* 37: 34-40.
- May, R., Nygård, T., Falkdalen, U., Åström, J., Hamre, Ø. & Stokke, B.G. (2020): Paint it black: Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecol Evol* 281: 20132209.
- McAlexander, A. (2013): Evidence that bats perceive wind turbine surfaces to be water. Texas Christian University.
- McClure, C.J.W., Rolek, B.W., Dunn, L., McCabe, J.D., Martinson, L., Katzner, T. & Suryawanshi, K. (2021): Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. *J Appl Ecol* 13: 1.
- Meschede, A., Schorcht, W., Karst, I., Biedermann, M., Fuchs, D. & Bontadina, F. (2017): Wanderrouden der Fledermäuse. *BfN-Skripten*, Bd 453. – Bonn-Bad Godesberg 227 S.
- Mikkola, K. (1986): Direction of insect migrations in relation to the wind. S. 152-171 in: *Insect flight*. Springer.
- Milberg, P., K.-O. Bergman, E. Cronvall, Å.I. Eriksson, A. Glimskär, A. Islamovic, D. Jonasson, Z. Löfqvist & L. Westerberg (2016): Flower abundance and vegetation height as predictors for nectar-feeding insect occurrence in Swedish semi-natural grass-lands. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 230: 47-54.
- Miranda, J.L., B.D. Gerardo & B.T. Tanguilig III (2014): Pest detection and extraction using image processing techniques. *International Journal of Computer and Communication Engineering* 3: 189 S.
- Montero, B.K. & E.H. Gillam (2015): Behavioural strategies associated with using an ephemeral roosting resource in Spix's disc-winged bat. *Animal Behaviour* 108: 81-89.
- Moyle, A. (2016): The Impacts of Small and Medium Wind Turbines on Bats. – University of Exeter –): 341 S.

- Mühlemann, T. (2016): Catch me if you can! Test verschiedener Fangmethoden für den Rotmilan. Bachelorarbeit, Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften: 41 S.
- Müller, J., Mehr, M., Bässler, C., Fenton, M. B., Hothorn, T., Pretzsch, H., Klemmt, H.-J. & Brandl, R. (2012): Aggregative response in bats: prey abundance versus habitat. – *Oecologia* 169: 673-684.
- MWVLW, FM, MUEEF & MDI (2013): Hinweise für die Beurteilung der Zulässigkeit der Errichtung von Windenergieanlagen in Rheinland-Pfalz (Rundschreiben Windenergie). – (Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Rheinland-Pfalz, Ministeriums der Finanzen Rheinland-Pfalz, Ministeriums für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten Rheinland-Pfalz und Ministeriums des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz): 51 S.
- Neumann, H. & U. Dierking (2013): Vogelbesiedlung von Ackerbrachen in Schleswig-Holstein.- *Vogelwelt* 134: 99-114.
- Niermann, I., Behr, O. & Brinkmann, R. (2007): Methodische Hinweise und Empfehlungen zur Bestimmung von Fledermaus-Schlagopferzahlen an Windenergieanlagen. – *Nyctalus* 12: 152-162.
- Niermann, I., Behr, O., Brinkmann, R., Korner-Nievergelt, F., Simon, R. & Reich, M. (2016): Kollisionsopfersuchen als Grundlage zur Überprüfung der Wirksamkeit von Abschaltalgorithmen. – In: Behr, O., Brinkmann, R., Korner-Nievergelt, F., Nagy, M., Niermann, I., Reich, M. & Simon, R. (Hrsg.): Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore Windenergieanlagen (RENEBAT II) : Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. – Hannover (Repositorium der Leibniz Universität Hannover (Umwelt und Raum; 7)): 165-204.
- Niermann, I., Brinkmann, R., Korner-Nievergelt, F. & Behr, O. (2011a): Systematische Schlagopfersuche - Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. – In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 40-115.
- Niermann, I., Brinkmann, R., Korner-Nievergelt, F. & Behr, O. (2011b): Windbedingte Verdriftung von Fledermausschlagopfern an Windenergieanlagen - ein Diskussionsbeitrag zur Methodik der Schlagopfersuche. – In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 116-129.
- Niermann, I., Von Felten, S., Korner-Nievergelt, F., Brinkmann, R. & Behr, O. (2011c): Einfluss von Anlagen- und Landschaftsvariablen auf die Aktivität von Fledermäusen an Windenergieanlagen. – In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. – Göttingen (Cuvillier Verlag): 384-405.
- Nilsson, C., Bäckman, J. & Alerstam, T. (2014): Seasonal modulation of flight speed among nocturnal passerine migrants: Differences between short- and long-distance migrants. *Behav Ecol Sociobiol* 68: 1799-1807.
- Nilsson, C., Dokter, A.M., Verlinden, L., Shamoun-Baranes, J., Schmid, B., Desmet, P., Bauer, S., Chapman, J., Alves, J.A., Stepanian, P.M., Sapir, N., Wainwright, C., Boos, M., Górska, A., Menz, M.H.M., Rodrigues, P., Leijnse, H., Zehndindjiev, P., Brabant, R., Haase, G., Weisshaupt, N., Ciach, M., Liechti, F. & Shamoun-Baranes, J. (2019): Revealing patterns of nocturnal migration using the European weather radar network. *Ecography* 42: 876-886.

- Noonan, M.J., Fleming, C.H., Akre, T.S., Drescher-Lehman, J., Gurarie, E., Harrison, A.-L., Kays, R. & Calabrese, J.M. (2019): Scale-insensitive estimation of speed and distance traveled from animal tracking data. *Mov Ecol* 7: 571 S.
- Norberg, U.M. & J.M. Rayner (1987): Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences* 316: 335-427.
- Noskov, A., Bendix, J. & Friess, N. (2021): A Review of Insect Monitoring Approaches with Special Reference to Radar Techniques. *Sensors (Basel, Switzerland)* 21.
- NRG Systems (2020). Developing an Ultrasonic Acoustic Bat Deterrent System for the Wind Industry - NRG White Paper, NRG Systems. 10 S.
- Nussbaumer, R., Bauer, S., Benoit, L., Mariethoz, G., Liechti, F. & Schmid, B. (2021a): Quantifying year-round nocturnal bird migration with a fluid dynamics model. *Journal of the Royal Society Interface*. Volume 18, Issue 179.
- Nussbaumer, R., Schmid, B., Bauer, S. & Liechti, F. (2021b): A Gaussian Mixture Model to Separate Birds and Insects in Single-Polarization Weather Radar Data. *Remote Sensing* 13 (10), 1989.
- Paula, J., Leal, M. C., Silva, M. J., Mascarenhas, R., Costa, H. & Mascarenhas, M. (2011): Dogs as a tool to improve bird-strike mortality estimates at wind farms. – *Journal for Nature Conservation* 19: 202-208.
- Parsons, K.N., G. Jones & F. Greenaway (2003): Swarming activity of temperate zone microchiropteran bats: effects of season, time of night and weather conditions. *Journal of Zoology* 261: 257-264.
- Péron, G., Calabrese, J.M., Duriez, O., Fleming, C.H., García-Jiménez, R., Johnston, A., Lambertucci, S.A., Safi, K. & Shepard, E.L.C. (2020): The challenges of estimating the distribution of flight heights from telemetry or altimetry data. *Anim Biotelemetry* 8, 5.
- Perrow, M. R. e. (2017): *Wildlife and Wind Farms, Conflicts and Solutions*. Volume 1 Onshore: Potential Effects. – Exeter, UK (Pelagic Publishing). 298 S.
- Pfeiffer, T. & Meyburg, B.-U. (2009): Satellitentelemetrische Untersuchungen zum Zug- und Überwinterungsverhalten thüringischer Rotmilane *Milvus milvus*. *Vogelwarte* 47: 171-187.
- Poessel, S.A., Duerr, A.E., Hall, J.C., Braham, M.A., Katzner, T.E. & Minderman, J. (2018): Improving estimation of flight altitude in wildlife telemetry studies. *J Appl Ecol* 55: 2064-2070.
- Pühringer, N. (1994): Verhalten und Ernährung zweier überwinternder Raubwürger bei Pettenbach/OÖ. *Öko-L* 16/2: 25 -38.
- Pühringer, N. (2001): Wintermonitoring beim Raubwürger (*Lanius excubitor*) in Oberösterreich: Dichte, Habitatwahl und erste Nachweise von Winterreviertreue. – *Vogelkd. Nachr. OÖ., Naturschutz aktuell* 2001 9/1. S. 47 - 62
- R Core Team (2021): *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>. Rebke, M., Dierschke, V., Weiner, C.N., Aumüller, R., Hill, K. & Hill, R. (2019): Attraction of nocturnally migrating birds to artificial light: The influence of colour, intensity and blinking mode under different cloud cover conditions. *Biol. Conserv.* 233: 220-227.
- Redell, D., Arnett, E. B., Hayes, J. P. & Huso, M. M. P. (2006): Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in south-central Pennsylvania. – Austin, Texas (Bat Conservation International): 46 S.

- Reers, H., Hartmann, S., Hurst, J. & Brinkmann, R. (2017): Bat activity at nacelle height over forest. – In: KÖPPEL, J. (Hrsg.): Wind Energy and Wildlife Interactions - Presentations from the CWW 2015. – Cham (Springer): 79-98.
- Régnière, J., J. Powell, B. Bentz & V. Nealis, 2012: Effects of temperature on development, survival and reproduction of insects: experimental design, data analysis and modeling. *Journal of Insect Physiology* 58: 634-647.
- Reichenbach, M. & Aussieker, T. (2020): Wirtschaftliche Aspekte ereignisbezogener Abschaltungen zum Vogelschutz an Windenergieanlagen: Flugaktivität – Abschaltungen – Brutplatzszenarien. Vortrag im Rahmen der Digitalen Abschlussveranstaltung der Workshopreihe „Technische Systeme“: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Anforderungen an technische Überwachungs und Abschaltssysteme an WEA“ (FKZ 3519861200) des KNE. – URL: https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/20201014_KNE_Vortrag_Reichenbach_Aussieker.pdf (gesehen am 18.12.2020)
- Reichenbach, M., Brinkmann, R., Kohnen, A., Köppel, J., Menke, K., Ohlenburg, H., Reers, H., Steinborn, H. & Warnke, M. (2015): Bau- und Betriebsmonitoring von Windenergieanlagen im Wald. Abschlussbericht 30.11.2015. – Oldenburg (Erstellt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie): 351 S.
- Reinhard, H. & Brinkmann, R. (2018): Zeitliche Einschränkungen des Betriebs von Windenergieanlagen als Maßnahme des Fledermausschutzes. – In: Behr, O., Brinkmann, R., Hochradel, K., Hurst, J., Mages, J., Korner-Niervergelt, F., Reers, H., Simon, R., Stiller, F., Weber, N. & Nagy, M. (Hrsg.): Bestimmung des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen in der Planungspraxis - Endbericht des Forschungsvorhabens gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. – Erlangen/Freiburg/Ettiswil 375-416.
- Rennie, S.J., A.J. Illingworth, S.L. Dance & S.P. Ballard (2010): The accuracy of Doppler radar wind retrievals using insects as targets. *Meteorological Applications* 17: 419-432.
- Rodrigues, L., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Karapandza, B., Kovac, D., Kervyn, T., Dekker, J., Kepel, A., Bach, P., Collins, J., Harbusch, C., Park, K., Micevski, J. & Minderman, J. (2015): Guidelines for consideration of bats in wind farm projects - Revision 2014. – Bonn (Eurobats Publication Series Nr. 6): 133 S.
- Roeleke, M. & Voigt, C. C. (2019). Flughöhen des großen Abendseglers – Eine Rundschau durch fünf Jahre GPS Studien. *Evidenzbasierter Fledermausschutz bei Windkraftvorhaben*, Berlin, Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung, 48 S.
- Roeleke, M., Blohm, T., Kramer-Schadt, S., Yovel, Y. & Voigt, C. C. (2016): Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. – *Scientific Reports* 6: ?
- Roemer, C., Disca, T., Coulon, A. & Bas, Y. (2017): Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. – *Biological Conservation* 215: 116-122.
- Rollins, K. E., Meyerholz, D. K., Johnson, G. D., Capparella, A. P. & Loew, S. S. (2012): A forensic investigation into the etiology of bat mortality at a wind farm: barotrauma or traumatic injury? – *Veterinary Pathology* 49: 362-371.
- Romano, W. B., Skalski, J. R., Townsend, R. L., Kinzie, K. W., Coppinger, K. D. & Miller, M. F. (2019): Evaluation of an Acoustic Deterrent to Reduce Bat Mortalities at an Illinois Wind Farm. – *Wildlife Society Bulletin* 1-11.
- Ruczyński, I., Z. Hałat, M. Zegarek, T. Borowik & D.K. Dechmann (2020): Camera transects as a method to monitor high temporal and spatial ephemerality of flying nocturnal insects. *Methods in Ecology and Evolution* 11: 294-302.

- Russ, J. (2012): *British Bat Calls: A Guide to Species Identification*. – Exeter, UK (Pelagic Publishing): 192 S.
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L. & Hedenström, A. (2010): Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. – *Acta Chiropterologica* 12: 261-274.
- Rydell, J., L. Bach, M.-J. Dubourg-Savage, M. Green, L. Rodrigues & A. Hedenström (2010): Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *European Journal of Wildlife Research* 56: 823-827.
- Rydell, J., Ottvall, R., Pettersson, S. & Green, M. (2017): The effects of wind power on birds and bats - an updated synthesis report 2017. – Stockholm, Schweden (Swedish Environmental Protection Agency): 128 S.
- Rydell, J., W. Bogdanowicz, A. Boonman, S. Pettersson, E. Suchecka & J.J. Pomorski, (2016): Bats may eat diurnal flies that rest on wind turbines. *Mammalian Biology* 81: 331-339.
- Sánchez-Bayo, F. & K.A. Wyckhuys (2019): Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological conservation* 232: 8–27.
- Santer, N. (2012): Zusammenhang zwischen Insektenabundanz und Fledermausaktivität. Uni Wien. 64 S.
- Schmidt, J.-U.; Dämmig, M.; Eilers, A.; Nachtigall, W. (2015): Das Bodenbrüterprojekt im Freistaat Sachsen 2009-2013. Schriftenreihe des LfULG (Hrsg.), Heft 4/2015. – URL: <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23882>. (gesehen am 18.12.2020)
- Schmidtke, K. & r. Brandl (1982/83): Winterrevier und Ansitzstrategie des Raubwürgers *Lanius excubitor*.- *verh. Orn. Ges. Bayern* 23, Heft 5/6: 443-458.
- Schneider, C.A., W.S. Rasband & K.W. Eliceiri, 2012: NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature methods* 9: 671-675.
- Schön, M. (1994): Kennzeichen des Raubwürger-Lebensraumes (*Lanius excubitor*) im Gebiet des südwestlichen Schwäbischen Alb: Jahreszeitliche Nutzung und Revier-Größe, Struktur-Merkmale und -Veränderungen, Kleinstrukturen und Bewirtschaftung. *Ökol. Vögel* 16: 253-497.
- Schön, M. (1997): *Lanius excubitor* Linnaeus, 1758, Raubwürger. In: Hölzinger, J. (1997): *Die Vögel Baden-Württembergs* Band 3.2: Singvögel 2. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 289-319.
- Schön, M. (2004): Bevorzugung von Kleinstrukturen mit Kümmerwuchs im Ackerland durch die Feldlerche *Alauda arvensis* in den beiden letzten Dritteln der Brutzeit während vier Brutperioden. *Ornithol. Beob.* 101: 29-40.
- Schuster, E., Bulling, L. & Köppel, J. (2015): Consolidating the state of knowledge: A synoptical review of wind energy's wildlife effects. – *Environmental Management* 56: 1-32.
- Shi, X., Schmid, B., Tschanz, P., Segelbacher, G. & Liechti, F. (2021): Seasonal Trends in Movement Patterns of Birds and Insects Aloft Simultaneously Recorded by Radar. *Remote Sensing* 13(9): 1839.
- Sikora, L. (2009): Wintervorkommen des Raubwürgers *Lanius excubitor* auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz Münsingen im Winterhalbjahr 2007/2008.- *Ornithol. Jh. Bad.-Württ.* 25: 29-40.
- Smallwood, K.S.; Bell, D.A.; Standish, S. Dogs Detect Larger Wind Energy Effects on Bats and Birds. *Journal of Wildlife Management* 2020, 84, 852-864. doi:10.1002/jwmg.21863.

- Südbeck, P., Andretzke, H., Fischer, S., Gedeon, K., Schikore, T., Schröder, K. & Sudfeldt, C. (Hrsg. 2005): Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands. Radolfzell. DDA im Auftrag der Ländergemeinschaft der Vogelschutzwarten, 792 S.
- Sutter, C. (2017): Bat Detection and Shutdown System for Utility-Scale Wind Turbines. – Palo Alto, Californien, USA (Electric Power Research Institute (EPRI)): 98 S.
- Szewczak, J. M. & Arnett, E. B. (2007): Field Test Results of a Potential Acoustic Deterrent to Reduce Bat Mortality from Wind Turbines - An investigative report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. – Austin, Texas, USA (Bat Conservation International): 14 S.
- Taylor, R.A.J. & D. Relling (1986): Preferred wind direction of long-distance leafhopper (*Empoasca fabae*) migrants and its relevance to the return migration of small insects. *The Journal of Animal Ecology*, Heft 55, Nr 3:1103-1114.
- Tercel, M.P.T.G., Veronesi, F. & Pope, T.W. (2018): Phylogenetic clustering of wingbeat frequency and flight-associated morphometrics across insect orders. *Physiol. Entomol* 43: 149-157.
- Trieb, F. (2018): Interference of Flying Insects and Wind Parks: Study Report. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Stuttgart. 30 S.
- Trusch, R., Falkenberg, M. & Mörtter, R. (2020): Anlockwirkung von Windenergieanlagen auf nachtaktive Insekten. *Carolinea* 78: 73-128.
- Valdez, E.W. & P.M. Cryan (2013): Insect prey eaten by hoary bats (*Lasiurus cinereus*) prior to fatal collisions with wind turbines. *Western North American Naturalist* 73: 516-524.
- van Doren, B.M., Horton, K.G., Dokter, A.M., Klinck, H., Elbin, S.B. & Farnsworth, A. (2017): High-intensity urban light installation dramatically alters nocturnal bird migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114: 11175-11180.
- Verboom, B. & Huitema, H. (1997): The importance of linear landscape elements for the pipistrelle *Pipistrellus pipistrellus* and the serotine bat *Eptesicus serotinus*. – *Landscape Ecology* 12: 117-125.
- Vierhaus, H. (2004): *Pipistrellus nathusii* (Keyserling und Blasius, 1839) - *Rauhautfledermaus*. – In: Krapp, F. & Niethammer, J. (Hrsg.): *Handbuch der Säugetiere Europas - Band 4 - Teil 2*. – Kempten (Aula-Verlag): 825-873.
- Weid, R. (2002): Untersuchungen zum Wanderverhalten des Abendseglers (*Nyctalus noctula*) in Deutschland. – *Landschaftspflege und Naturschutz* 71: 233-257.
- Wellig, S. D., Nusslé, S., Miltner, D., Kohle, O., Glaizot, O., Braunisch, V., Obrist, M. K. & Arlettaz, R. (2018): Mitigating the negative impacts of tall wind turbines on bats: Vertical activity profiles and relationships to wind speed. – *PloS one* 13: e0192493.
- Wickham, H. (2016): *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. – New York (Springer): 213 S.
- Wilson, J.J. (2012): DNA barcodes for insects. S. 17–46 in: *DNA Barcodes*. Springer.
- Wright, K. & M.K. Wright (2021): Plot a Correlogram (Package 'corrgram'). – URL: <https://CRAN.R-project.org/package=corrgram> (gesehen am 30.11.2021)
- Zahn, A. & Kriner, E. (2014): Winter foraging activity of Central European Vespertilionid bats. – *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde* 81: 40-45.

Gesetze und Richtlinien

Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz, BNatSchG) vom 29.07.2009 (BGBl. I, S. 2542), zuletzt geändert durch Art. 1 des Gesetzes vom 15. September 2017 (BGBl. I, S. 3434)

LfULG (2007): Vogelschutz und Landwirtschaft. Leitfaden für die landwirtschaftliche Nutzung in Europäischen Vogelschutzgebieten in Sachsen.

LfULG (2015): Fachliche Hinweise und Empfehlungen zu den Maßnahmen der Richtlinie Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (RL AUK/2015)

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2013): Hinweise für den Untersuchungsumfang zur Erfassung von Vogelarten bei Bauleitplanung und Genehmigung für Windenergieanlagen. Karlsruhe

LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2015): Hinweise zur Bewertung und Vermeidung von Beeinträchtigungen von Vogelarten bei Bauleitplanung und Genehmigung für Windenergieanlagen. Karlsruhe

MLR Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz (2015): Hinweise zu artenschutzrechtlichen Ausnahmen vom Tötungsverbot bei windenergieempfindlichen Vogelarten bei der Bauleitplanung und Genehmigung von Windenergieanlagen. Stand 01. Juli 2015, Stuttgart.

Naturschutzgesetz für Baden-Württemberg (NatSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. Dezember 2005 (GBl. S. 745).

Richtlinie des Rates 79/409/EWG vom 2. April 1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (ABl. EG Nr. L 103, S. 1); zuletzt geändert durch Richtlinie 91/244/EWG des Rates v. 6. März 1991 (ABl. EG Nr. L 115, S. 41).

Richtlinie des Rates 92/43/EWG vom 21.05.1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wild lebenden Tiere und Pflanzen (FFH-Richtlinie), Fassung vom 08.11.1997 (Richtlinie 97/62/EWG), Abl. Nr. 305.

Sonstige Dokumente (Genehmigungsverfahren und Zwischenberichte)

Antrag auf Ausnahmegenehmigung gem. § 45 BNatSchG Abs. 7 – Rotmilan, Zentrum für Wasserstoff-Forschung, Stuttgart

Fachbeitrag mit spezieller artenschutzrechtlicher Prüfung nach § 44 und 45 BNatSchG im Rahmen des immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens. Teil A – Vögel, ARGE Fauna WindForS, Heiningen und Tübingen, 29. Mai 2019

Fachbeitrag mit spezieller artenschutzrechtlicher Prüfung nach § 44 und 45 BNatSchG im Rahmen des immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens. Teil A – Vögel. Addenda. revidierte Fassung, ARGE Fauna WindForS, Heiningen und Tübingen, 4. Februar 2020

Landschaftspflegerischer Begleitplan, ARGE FaunaWindForS, Tübingen, 24.05.2019

Monitoring der Maßnahmen für Feldlerche, Raubwürger und Rotmilan. Untersuchungsjahr 2020, ARGE Fauna WindForS, Heiningen und Tübingen, 4. August 2020

Voruntersuchungen zur Bestimmung des Ist-Zustandes bezüglich windkraftempfindlicher Vogelarten. Untersuchungsjahr 2018, ARGE Fauna WindForS, Heiningen und Tübingen, 16. Januar 2019

Voruntersuchungen zur Bestimmung des Ist-Zustandes bezüglich windkraftempfindlicher Vogelarten. Untersuchungsjahr 2019, ARGE Fauna WindForS, Heiningen und Tübingen, 21. November 2019