



Arbeitsgruppe für
regionale Struktur- und
Umweltforschung GmbH

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Fachgutachten zur Ermittlung des Flugverhaltens des Rotmilans im Windparkbereich unter Einsatz von Detektionssystemen in Hessen

Endfassung 03.07.2023

In Kooperation mit:



Erstellt im Auftrag von:

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen

Auftraggeber:

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen
Kaiser-Friedrich-Ring 75
65185 Wiesbaden

Vorhaben:

Fachgutachten zur Vertiefung des Wissens über das Flugverhalten des Rotmilans im Bereich von Windenergieanlagen (WEA) unter Einsatz des für die Vogelerkennung geeigneten Detektionssystems „IdentiFlight“

Entwurf Dezember 2022

Stand:

03.07.2023

Auftragnehmer:**ARSU GmbH**

Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH
Escherweg 1, 26121 Oldenburg
Postfach 11 42, 26001 Oldenburg

Tel. +49 441 971 74 97
Fax +49 441 971 74 73

www.arsu.de
info@arsu.de

Bearbeiter:

Dr. Marc Reichenbach, ARSU GmbH, Sören Greule, OekoFor GbR,
Tim Steinkamp, ARSU GmbH, Dr. Hendrik Reers, OekoFor GbR,
Julian Akili, e3 GmbH, Lennart Roselius, e3 GmbH

Externe Qualitätssicherung

Dr. Elke Bruns, Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende KNE gGmbH
Dr. Moritz Mercker, Bionum GmbH

INHALTSVERZEICHNIS

0	Zusammenfassung	1
1	Einleitung und Aufgabenstellung	5
2	Einsatz des Kamerasystems IdentiFlight	7
2.1	Funktionsweise	7
2.2	Untersuchungsgebiet und Installation	9
3	Teilprojekt A: Wissensaufbau zum Flugverhalten des Rotmilans in WEA-Nähe	20
3.1	Fragestellung und Untersuchungskonzept.....	20
3.1.1	Dokumentation der Leistungsfähigkeit von IDF	20
3.1.2	Flugverhalten von Rotmilanen in WEA-Nähe	21
3.2	Methodik	21
3.2.1	Leistung des IDF.....	21
3.2.1.1	Messgenauigkeit – Nachträgliche Rekalibrierung der IDF-Messpunkte.....	22
3.2.1.2	Erfassungsreichweite	29
3.2.1.3	Erfassungsrate	29
3.2.1.4	Abgrenzung des repräsentativ untersuchten Raumes	33
3.2.2	Flugverhalten von Rotmilanen in WEA-Nähe	34
3.2.2.1	Verifizierung der Rotmilanidentifikation	34
3.2.2.2	Wetter- und Zeitparameter / Modelle.....	36
3.2.2.3	Flughöhe	38
3.2.2.4	Meideverhalten – Aktivitätsdichte	39
3.2.2.5	Rotordurchflüge - Simulation.....	40
3.2.2.6	Rotordurchflüge – Band Modell	42
3.2.2.7	Fluggeschwindigkeit.....	44
3.3	Ergebnisse.....	46
3.3.1	Datengrundlage sowie zeitliche und räumliche Abdeckung.....	46
3.3.1.1	IdentiFlight	46
3.3.1.2	Laser Rangefinder	52

3.3.1.3	Telemetrie	55
3.3.1.4	WEA-Betriebsdaten	57
3.3.2	Leistungsfähigkeit des IDF.....	58
3.3.2.1	Erfassungsreichweite	58
3.3.2.2	Erfassungsrate	61
3.3.3	Flugverhalten von Rotmilanen in WEA-Nähe	61
3.3.3.1	Flughöhenverteilung	61
3.3.3.2	Fluggeschwindigkeit.....	64
3.3.3.3	Flugaktivität in Rotorhöhe.....	66
3.3.3.3.1	Tageszeit.....	66
3.3.3.3.2	Windgeschwindigkeit	69
3.3.3.3.3	Brutphase	72
3.3.3.3.4	Modellergebnisse.....	75
3.3.3.4	Meideverhalten – Änderung der Aktivitätsdichte	79
3.3.3.5	Ausweichreaktionen	90
3.3.3.6	Rotordurchflüge – Simulation.....	97
3.3.3.7	Rotordurchflüge – Band Modell	106
3.4	Diskussion	108
3.4.1	Leistungsfähigkeit des IDF.....	108
3.4.2	Flugverhalten von Rotmilanen in WEA-Nähe	109
3.4.2.1	Flugaktivität im Windpark.....	109
3.4.2.2	Einflüsse auf die Flugaktivität.....	111
3.4.2.3	Meideverhalten (avoidance).....	113
3.4.2.4	Flughöhe und Fluggeschwindigkeit	115
3.4.2.5	Konsequenzen für Schutzmaßnahmen.....	117
4	Teilprojekt B: Objektivierung der Sachverhaltsermittlung, speziell bei der Ermittlung der Häufigkeit und Höhe der Fluganteile des Rotmilans im Rotorbereich.	118
4.1	Generelle methodische Aspekte.....	119
4.2	Eigenschaften von Radarsystemen	123
4.3	Methodische Vorschläge	125

5	Teilprojekt C: Betriebszeitenregelung und Probabilistik.....	129
5.1	Schlussfolgerungen aus den gewonnenen Erkenntnissen zum Flugverhalten der Art für die Optimierung der in Hessen geltenden Betriebszeitenregelungen im Windparkbereich.....	129
5.1.1	Bestehende Betriebszeitenregelung.....	129
5.1.2	Ergebnisse des vorliegenden Projekts.....	132
5.1.3	Schlussfolgerungen.....	136
5.1.4	Einfluss der Distanz zum nächsten Brutplatz	137
5.2	Schlussfolgerungen aus den gewonnenen Erkenntnissen zum Flugverhalten der Art im Hinblick auf probabilistische Bewertungsverfahren zur Bewertung des signifikant erhöhten Tötungsrisikos an WEA.....	140
5.2.1	Das Modell und seine Parameter.....	140
5.2.1.1	Bisherige Berechnungsmethodik	140
5.2.1.2	Eingangsparameter.....	144
5.2.1.3	Bewertung der aktuellen Datengrundlage.....	145
5.2.2	Beispielhafte Anwendung probabilistischer Kollisionsrisikoabschätzungen	157
5.2.2.1	Einzelfallbetrachtung	158
5.2.2.2	Einfluss von Repowering auf das Kollisionsrisiko.....	167
5.2.3	Schlussfolgerungen zur Probabilistik.....	173
6	Fazit	174
7	Literatur.....	175

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Kamerakopf eines IDF (links) und Aufbau auf einem 10 m hohen Mast mit Container (rechts).....	8
Abbildung 2: Lage des Windparks „Auf der Platte“ nordwestlich von Ulrichstein und Lage der aus den Vorjahren bekannten Rotmilanhorste	10
Abbildung 3: Ergebnisse der Horstsuche 2022 im 1.500 m Radius.....	11
Abbildung 4: IDF-Positionen im Windpark „Auf der Platte“ inkl. der jeweiligen 750 m Erfassungsreichweite für den Rotmilan	12
Abbildung 5: Skizze der benötigten Flächen und Kabelverlegung für IDF (jeweils ca. 154 m ²)	13
Abbildung 6: Sendeinrichtung am Weg westlich vom Standort des IDF 2	13
Abbildung 7: Verlauf des Kabelgrabens zwischen IDF 1 und 2; die Ruderalstrukturen wurden nicht in Anspruch genommen.....	14
Abbildung 8: Anlieferung des IDF-1 über bestehende Straßen/Wege	15
Abbildung 9: Anlieferung und Aufbau der Stromversorgung am Standort IDF-1, im Vordergrund die temporär geschotterte Standfläche (154 m ²)	15
Abbildung 10: Aufgebautes IDF-2.....	16
Abbildung 11: Schließen des Kabelgrabens zwischen beiden IDF Standorten.....	16
Abbildung 12: Abgespannter IDF Turm	17
Abbildung 13: Installiertes System IDF 1 im März 2022.....	18
Abbildung 14: Kalibrierungsziele.....	18
Abbildung 15: Azimut- und Steigungswinkelmessungen der WEA-Befeuerungen	23
Abbildung 16: Azimut-Versatz pro IDF-System und Kalibrierungsphase	24
Abbildung 17: Steigungswinkelversatz pro IDF-System und Kalibrierungsphase	25
Abbildung 18: Beispielflughbahn vor der Rekalibrierung	27
Abbildung 19: Dieselbe Beispielflughbahn nach der Rekalibrierung	28
Abbildung 20: Datenermittlung des Laser Rangefinders Vector 21 Aero.....	30
Abbildung 21: Blick von der LRF Beobachterposition Richtung Nordwest vom 29.04.2022.	30
Abbildung 22: Beispiel für einen gültigen LRF-Track, der auch vom IDF erfasst wurde	32
Abbildung 23: Beispiel für korrekte Klassifizierung eines Tracks als Red-or-Black Kite	35
Abbildung 24: Beispiele simulierter Flugbahnen.....	42

Abbildung 25: Schematische Skizze einer Flugbahn zur Veranschaulichung der Berechnung der Fluggeschwindigkeit.	44
Abbildung 26: Zeitliche Verteilung sowie tägliche Aufzeichnungsdauer von (nachbestimmten) Rotmilan-Flugbahnen am Untersuchungsstandort	47
Abbildung 27: Räumliche Verteilung der von IDF erhobenen und nachbestimmten Rotmilanpositionen.....	48
Abbildung 28: Verteilung der von dem jeweiligen IDF-System erhobenen Messpunkte am Untersuchungsstandort nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel.....	49
Abbildung 29: Kartendarstellung des Raumes, in dem die IDF-Systeme sowohl zur Erstdetektion als auch zum Tracking von Rotmilanen fähig waren.....	50
Abbildung 30: Beispielhafte Darstellung verschiedener Rotmilane am 17.08.2022.	51
Abbildung 31: Summarische Darstellung aller mittels LRF aufgezeichneter Rotmilan-Flugwege.....	53
Abbildung 32: Räumliche Verteilung der mittels LRF erhobenen Rotmilane.	54
Abbildung 33: Telemetrie- und IDF-Messpunkte des Rotmilans Hausneindorf_40 am 6.7.2022.....	56
Abbildung 34 Streudiagramm der Rotordrehzahl in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.....	57
Abbildung 35: IDF-Detektionsdistanz von Rotmilanen (erster Punkt des Tracks).....	59
Abbildung 36: Horizontale Verteilung und Distanz des jeweils ersten Detektionspunktes eines nachbestimmten Milan-Tracks zu den IDF-Systemen.	60
Abbildung 37: Höhenverteilung der Flugaktivität gemessen vom IDF-System.....	62
Abbildung 38: Höhenverteilung der Flugaktivität, basierend auf GNSS-Höhenmessungen von besenderten Rotmilanen.....	64
Abbildung 39: Geglättete Verteilung der horizontalen Fluggeschwindigkeit im gesamten Untersuchungsgebiet.	65
Abbildung 40: Geglättete Verteilung der horizontalen Fluggeschwindigkeit in Rotorhöhe (± 10 m).	65
Abbildung 41: Verteilung der aufgezeichneten Flugaktivität in Rotorhöhe im Tagesverlauf.....	67
Abbildung 42: Häufigkeit von 10-Minuten Intervallen mit bzw. ohne Aktivität.....	68
Abbildung 43: Messpunkteanzahl in 10-Minuten Intervallen mit Rotmilanaktivität, in Abhängigkeit vom Tagesverlauf.	69
Abbildung 44: Verteilung der aufgezeichneten Flugaktivität in Rotorhöhe in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.	70

Abbildung 45: Häufigkeit von 10-Minuten Intervallen mit bzw. ohne Aktivität.....	71
Abbildung 46: Messpunkteanzahl in 10-Minuten Intervallen mit Rotmilanaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.....	72
Abbildung 47: Verteilung der aufgezeichneten Flugaktivität in Rotorhöhe während drei verschiedenen Brutphasen.	73
Abbildung 48: Häufigkeit von 10-Minuten Intervallen mit bzw. ohne Aktivität.....	74
Abbildung 49: Messpunkteanzahl in 10-Minuten Intervallen mit Rotmilanaktivität pro Brutphase.....	75
Abbildung 50: Ergebnisse des Zero-Inflation Modells.....	76
Abbildung 51: Ergebnisse des Zählwerte Modells mit negativer Binomialverteilung.....	76
Abbildung 52: Modellvorhersage für den Effekt der Tageszeit auf die Menge von Rotmilanaktivität in Rotorhöhe.	77
Abbildung 53: Modellvorhersage für den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Menge von Rotmilanaktivität in Rotorhöhe.....	78
Abbildung 54: Modellvorhersage für den Effekt der Brutphase auf die Menge der Rotmilanaktivität in Rotorhöhe.	79
Abbildung 55: Kartendarstellung des Luftraumes, in dem die IDF-Systeme sowohl zur Erstdetektion als auch zum Tracking von Rotmilanen fähig waren und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Vogel aufgezeichnet wurde, gleichmäßig verteilt ist.....	80
Abbildung 56 Verteilung des Erfassungsvolumen des IDF-Systems über verschiedene Distanzen zu WEA-Rotoren.....	81
Abbildung 57: Verteilung der Rotmilanaktivitätsdichte in Abhängigkeit von der Distanz zum nächstgelegenen WEA-Rotor, gemessen von den IDF-Systemen.....	83
Abbildung 58: Kartendarstellung des Luftraumes im Windpark, aus dem Telemetrie- Messpunkte zur Berechnung der Aktivitätsdichte verwendet wurden.....	84
Abbildung 59: Verteilung des per Telemetrie untersuchten Erfassungsvolumen über verschiedene Distanzen zu WEA-Rotoren.....	85
Abbildung 60: Verteilung der Rotmilanaktivitätsdichte in Abhängigkeit von der Distanz zum nächstgelegenen WEA-Rotor, gemessen per Telemetrie.	86
Abbildung 61: Modellvorhersage der Aktivitätsdichte in Abhängigkeit von der Distanz zu WEA-Rotoren, pro Höhenklasse von 20 Metern, in Relation zur Nabenhöhe.....	88
Abbildung 62 : Meso-Avoidance-Rate pro Höhenklasse.....	89
Abbildung 63: Rotmilan-Flugbahn in Rotorhöhe, umfliegt die WEA in der Horizontalen.	91

Abbildung 64: Rotmilan-Flugbahn oberhalb der WEA ohne Ausweichreaktion.....	92
Abbildung 65: Rotmilan-Flugbahn weicht kurz vor dem Rotor nach oben aus.	93
Abbildung 66: Rotmilanflugbahnen im Nahbereich der WEA-Rotoren.....	94
Abbildung 67: Ausweichreaktion eines Rotmilans.	95
Abbildung 68: Rotmilan-Flugbahn mit Abdrehen vor dem Rotor in Rotorhöhe (rechts unten in der Karte).....	96
Abbildung 69 Erster dokumentierter Rotordurchflug in Draufsicht und Frontalansicht (vgl. Abbildung 70).....	98
Abbildung 70 Erster Rotordurchflug eines Rotmilans in Kartensansicht und Fotos.....	99
Abbildung 71 Zweiter dokumentierter Rotordurchflug in Draufsicht und Frontalansicht (vgl. Abbildung 72).	100
Abbildung 72 Zweiter Rotordurchflug eines Rotmilans in Kartensansicht und Fotos.....	101
Abbildung 73: Falsifizierter Rotordurchflug eines Rotmilans in Draufsicht und Frontalansicht (vgl. Abbildung 74)	102
Abbildung 74 Falsifizierter Rotordurchflug eines Rotmilans.	103
Abbildung 75: Häufigkeitsverteilung von pro IDF-Flugbahn berechneten minimalen Annäherungsdistanzen von Rotmilanen an den WEA-Rotor.	104
Abbildung 76: Häufigkeitsverteilung von pro Telemetrie-Flugbahn berechneten minimalen Annäherungsdistanzen von Rotmilanen an den WEA-Rotor.	105
Abbildung 77: Räumliche Verteilung der mittleren Windgeschwindigkeit in Hessen (links) und im Vogelsbergkreis (rechts).....	113
Abbildung 78: Beispiel für mittels Laser Rangfinder erhobene Raumnutzungsdaten von Schwarzmilanen, differenziert nach Flughöhe (links: unterhalb Rotorhöhe örtlicher WEA, rechts: in Rotorhöhe örtlicher WEA)	119
Abbildung 79: Beispielhafte Flughöhenverteilung pro Tag, erhoben mit dem Kamerasystem IdentiFlight	120
Abbildung 80: Beispielhafte Flugwegedaten von neun identischen Tagen mit IDF (oben), LRF (Mitte) und GPS (unten).	121
Abbildung 81: Geglättete relative Häufigkeit von Steigungswinkeln, in denen Rotmilane entdeckt wurden, abhängig von der Flughöhe über dem Boden sowie dem Aufnahmetyp.....	122
Abbildung 82: Räumliche Abdeckung einer einzelnen Radarantenne	124
Abbildung 83: Mit dem Radar-System BirdScan aufgezeichnete Flugwege von Großvögeln eines Tages (links) und eines Monats (rechts).....	125

Abbildung 84: Histogramm der Flughöhen 6 besenderter Rotmilane aus dem hessischen Vogelsberg in 25 m-Klassen mit Angabe des jeweiligen prozentualen Anteils der Häufigkeit	130
Abbildung 85: Verteilung der Ortungspunkte 6 besenderter Rotmilane aus dem hessischen Vogelsberg hinsichtlich Flughöhen und Windgeschwindigkeit.....	131
Abbildung 86: Flughöhen 29 besenderter Rotmilane (19 Männchen, 10 Weibchen) aus der Umgebung von Weimar (Thüringen) mit tabellarischen Angaben des jeweiligen prozentualen Anteils der Häufigkeit in 10 m-Klassen, N = 8.798.033.....	132
Abbildung 87: Anteil der Rotmilanaktivität, der entweder nicht in Rotorhöhe einer E-82 oder bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten aufgezeichnet wurde.	134
Abbildung 88: Anteil der Rotmilanaktivität, der entweder nicht in Rotorhöhe einer E-160 oder bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten aufgezeichnet wurde.	135
Abbildung 89: Mittlere Flughöhenverteilung in Abhängigkeit vom Abstand zum Horst.	138
Abbildung 90: Verteilung der Flughöhen über dem Grund in Abhängigkeit von der Distanz zu einem Rotmilanhorst	139
Abbildung 91: Schematischer Ablauf des Band-Modells	141
Abbildung 92: Formel zur Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit innerhalb eines Jahres	142
Abbildung 93: Aufsummierter Anteil der Ortungen in Abhängigkeit zur Distanz zum Horst.....	148
Abbildung 94: Verteilung der Flughöhe von sechs hessischen Rotmilanen auf 25 m-Klassen	150
Abbildung 95: Verteilung der Flughöhe von 29 thüringischen Rotmilanen auf 10 m-Klassen	151
Abbildung 96: Wahrscheinlichkeit für den Aufenthalt im Bereich des Rotors der WEA.....	159
Abbildung 97: Durchschnittliche Kollisionswahrscheinlichkeit des Rotmilans pro Durchflug ohne Ausweichverhalten.....	162
Abbildung 98: Kumulativer Anteil der Rotmilanaktivität in Rotorhöhe in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit und Schutzeffekte verschiedener Anlaufwindgeschwindigkeiten.....	165
Abbildung 99: Anlagenstandorte der ersten Ausbaustufe des WP Auf der Platte (Stand April 2011)	169

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Modellparameter der Messwinkelkorrektur	26
Tabelle 2:	Bewertungskategorien der Referenzdaten von LRF-Tracks.....	32
Tabelle 3:	Stichprobengröße Telemetrie.....	55
Tabelle 4:	Höhenverteilung der Flugaktivität gemessen vom IDF-System.....	63
Tabelle 5:	Meso- und Mikro-Avoidance Rate berechnet durch Vergleich der per Band- Modell erwarteten Anzahl von Rotordurchflügen mit der beobachteten Anzahl von Rotordurchflügen.	107
Tabelle 6:	Vergleich der Schutzniveaus bei Kombination verschiedener Rotorunterkantenhöhen und Anlauf-Windgeschwindigkeiten zwischen HMUKLV & HMWEVW (2020) und den Projektergebnissen	136
Tabelle 7:	Bisherige Eingangsparameter für die Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit	145
Tabelle 8:	Bewertung der Qualität der Eingangsparameter für die Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit	157
Tabelle 9:	Anlagenspezifikationen des Typs Enercon E-82 E2	158
Tabelle 10:	Anteil Rotmilan-Flugbewegungen in Rotorhöhe bei verschiedenen E-82 E2 Rotorunterkantenhöhen	160
Tabelle 11:	Jährliches Kollisionsrisiko des nordwestlich des Windparks brütenden Rotmilans	166
Tabelle 12:	Für die Berechnung verwendete Anlagenspezifikationen unterschiedlicher Ausbauszenarien.....	170
Tabelle 13:	Durchschnittliches jährliches Kollisionsrisiko der WEA im Ausbauszenario 1 für einen brütenden Rotmilan.....	171
Tabelle 14:	Durchschnittliches jährliches Kollisionsrisiko der WEA im Ausbauszenario 2 für einen brütenden Rotmilan.....	172
Tabelle 15:	Durchschnittliches jährliches Kollisionsrisiko der WEA im Ausbauszenario 3 für einen brütenden Rotmilan.....	172

GLOSSAR

Abkürzungsverzeichnis:

BNatSchG: Bundesnaturschutzgesetz

CRM: Collision Risk Model; Modelle zur Berechnung des Kollisionsrisikos z.B. von Vögeln an WEA

DGM: Digitales Geländemodell

FFH-Richtlinie: Flora-Fauna-Habitat Richtlinie

FMCW-Radar: Frequency-Modulated Continuous Wave radar; Frequenzmoduliertes Dauerstrichradar

HMU KL V: Hessischen Ministerium für Umwelt Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

HMWEVW: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen

IDF: IdentiFlight

KNE: Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende

LRF: Laser Rangefinder; Laser-Entfernungsmesser

LWL: Lichtwellenleiter; auch Glasfaserkabel genannt

UMK: Umweltministerkonferenz

ü.N.N.: über Normalnull

VwV: Verwaltungsvorschrift

WEA: Windenergieanlage/n

Fachwortverzeichnis:

Avoidance rate: Meide- und Ausweichverhalten von z.B. Vögeln an WEA (= Meiderate)

Azimut: Ein nach einer Himmelsrichtung orientierter Horizontalwinkel

Band-Modell (Collision Risk Modell): Modell zur Vorhersage des Kollisionsrisikos von Vögeln an WEA in einem Windpark, basierend auf der erfassten Flugaktivität in diesem Windpark

Beta-Wert: Gibt die Stärke eines getesteten Effekts an (z.B.: pro m/s Windgeschwindigkeit ändert sich die Aktivität des Rotmilans um X)

Bootstrapping: statistisches Verfahren des Resamplings, d.h. dass aus einer Stichprobe erneut viele Stichproben gezogen werden und die Datenanalyse jeweils darauf angewendet wird; hier verwendet zur Bestimmung von Konfidenzintervallen

Horizontale Distanz: Horizontale Entfernung ohne Berücksichtigung der Höhe

Konfidenzintervall: Bereich, in dem ein Parameter (z.B. der Median) zu einer gewissen, vorher festgelegten, Wahrscheinlichkeit liegt

lineares Regressionsmodell: statistisches Verfahren, bei dem die Werte einer Variablen (abhängige) durch ein oder mehrere andere Variablen (unabhängige) vorhergesagt/erklärt werden sollen

Makro-Avoidance: Meideverhalten von Vögeln außerhalb der Windparks, d.h. der gesamte Bereich des Windparks wird gemieden

Maskierung: Programmierte ausgeschwärmte Sichtbereiche von IDF, die selektiv in niedrigen Höhen hinterlegt werden, um keine Personen und Fahrzeuge aufzunehmen oder Ablenkung durch windbewegte Vegetation zu vermeiden.

Median: auch Zentralwert genannt; ist ein Messwert, der genau in der Mitte steht, wenn man die Messwerte der Größe nach sortiert.

Meso-Avoidance: Meideverhalten von Vögeln innerhalb eines Windparks, aber außerhalb der Rotorreichweite

Mikro-Avoidance: Meideverhalten von Vögeln in Rotorreichweite, d.h. meiden der Rotorscheibe

p-Wert: Wahrscheinlichkeit zwischen 0 und 1, dass ein bestimmter Zusammenhang (i.d.R.) nicht besteht (d.h. bei $p = 0,05$ ist die Wahrscheinlichkeit, dass der getestete Zusammenhang auf einem Zufall beruht bei 5%)

Probabilistik: Schätzung, beruhend auf Wahrscheinlichkeiten

Radiale Distanz: direkte Entfernung zwischen zwei Objekten

Repowering (Windenergie): „Kraftwerkserneuerung“, d.h. alte WEA oder Teile davon werden durch neue ersetzt

Sichtverschattung: Strukturen, wie Hügel oder Baumreihen, die dahinter gelegene Bereiche verdecken.

Steigungswinkel: Vertikale Abweichung von der Horizontalen

Telemetrie: Fernmessung; in der Zoologie gängige Praxis, um das Verhalten eines Tieres durch satelliten-gestützte Sender, die an dem Tier angebracht werden, zu erfassen

Tilde-Symbol (~): Symbol, dass für die Darstellung von statistischen Modellen verwendet wird, wobei die abhängige Variable vor der Tilde und alle unabhängigen Variablen nach der Tilde aufgeführt werden

Track: von IDF zu einer Flugbahn zusammengefasste Datenpunkte bzw. Bilder eines Flugobjekts, die zeitlich und räumlich nah aneinander liegen und eine ähnliche Flugrichtung aufweisen

Zero-Inflated-Negative Binomial Modell: zweiteiliger Modelltyp; Zero-Inflation-Modell: schätzt den Einfluss der Modellvariablen auf die Wahrscheinlichkeit keine Aktivität aufzuzeichnen (Auftretenswahrscheinlichkeit), Zählwertemodell (mit negativer Binomialverteilung): schätzt den Effekt der Modellvariablen auf die Höhe der Zählwerte (z.B. Aufenthaltsdauer).

0 Zusammenfassung

Gegenstand des Projektes ist die Untersuchung des Flugverhaltens von Rotmilanen im Nahbereich von Windenergieanlagen (WEA) mit Hilfe von Vogeldetektionssystemen. Zum Einsatz kam hierfür das für die Rotmilan-Erkennung besonders geeignete Kamerasystem IdentiFlight (IDF). Mit Hilfe der hierüber ermöglichten detaillierten und lagegenauen Aufnahme der Windpark-Flüge wurden in drei Teilprojekten folgende Aufgabenstellungen bearbeitet:

- A. Wissensaufbau zum Flugverhalten des Rotmilans in WEA-Nähe (z.B. Ausweichrate, Annäherungsdistanzen, Einfluss der Witterung, Einfluss der WEA-Dimensionen),
- B. Objektivierung der Sachverhaltsermittlung in Bezug auf Rotmilanflugaktivitäten bei Windparkplanungen (Vorschläge zur Datenerhebung und -auswertung mittels Detektionssysteme im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren),
- C. Schlussfolgerungen für die Optimierung der in Hessen geltenden Betriebszeitenregelungen für WEA sowie im Hinblick auf probabilistische Verfahren zur Bewertung des Tötungsrisikos an WEA.

Ergänzend zu den Kameradaten wurden auch Telemetriedaten von Rotmilanen, die im Rahmen eines ebenfalls vom HMWEVW beauftragten Parallelvorhabens 2021 und 2022 besendert wurden, verwendet, insoweit sie aus dem gewählten Untersuchungsgebiet stammen.

Das Untersuchungsgebiet umfasst den bestehenden Windpark „Auf der Platte“ nordwestlich von Ulrichstein im mittelhessischen Vogelsbergkreis. Der Windpark besteht aus sieben Anlagen des Typs Enercon E-82 E2, die seit 2012 in Betrieb sind. Diese verfügen bei einer Nabenhöhe von 138 m über eine Nennleistung von je 2,3 MW (Gesamthöhe 179 m, Höhe der Rotorunterkante 97 m über Grund). Aus den Vorjahren waren drei Rotmilanbrutplätze nördlich und nordwestlich des Windparks bekannt. Überprüfungen der Rotmilanvorkommen ergaben einen Brutnachweis und einen Brutverdacht in diesem Bereich.

Innerhalb des Windparks wurden zwei IDF-Systeme so positioniert, dass mit den Erfassungsradien von ca. 750 m alle sieben WEA abgedeckt werden konnten. Der Zeitraum der Datenaufnahme erstreckte sich vom 21.04. bis zum 15.09.2022. Unter Berücksichtigung von Ausfallzeiten u.a. infolge von Blitzeinschlägen in der Nähe ergaben sich 107 Tage, an denen beide Kameras gleichzeitig Daten aufnahmen und weitere 30 Tage, an denen nur eine Kamera einsatzbereit war. Die Verwendung von zwei Kameras ermöglichte ein längeres Verfolgen von Flugwegen durch den Windpark und eine höhere Detektionswahrscheinlichkeit im Nahbereich der Windenergieanlagen (WEA). Das IDF-System besteht aus einem Ring von Weitwinkelkameras, die relevante Flugobjekte detektieren, sowie einer beweglichen Stereokamera, die den einzelnen Vogel verfolgt und sekundlich Daten zur dreidimensionalen Verortung und zur Klassifizierung sowie ein Foto in eine Datenbank speichert.

Im Untersuchungszeitraum konnte eine sehr umfangreiche Datengrundlage generiert werden. Die Systeme zeichneten von der Zielart Rotmilan rd. 11.400 Flugwege (im Mittel 83/Tag) mit rd. 365.100 Datenpunkten auf. Dabei wurde deutlich, dass die örtliche Rotmilanflugaktivität offenbar nicht nur von dem in einer Entfernung von ca. 800 m brütenden Rotmilanpaar hervorgerufen wurde, sondern auch von zahlreichen weiteren Individuen (Nichtbrüter, weiter entfernte Brutpaare sowie Jungvögel). Zusätzlich konnten für den Zeitraum 2020-2022 Daten von telemetrierten Rotmilanen einbezogen werden (rd. 9.550 sekundliche Messpunkte), die zu 95 % von einem weiter entfernten Brutvogel stammten. Als Referenz zur Überprüfung der Leistungsdaten von IDF (Erfassungsreichweite und -rate) wurden weiterhin mittels Laser Rangefinder 229 dreidimensional verortete Flugwege mit rd. 7.300 Messpunkten erhoben. Von den örtlichen WEA standen Daten zur Windgeschwindigkeit und Temperatur in Gondelhöhe sowie zur Rotordrehzahl und -ausrichtung zur Verfügung.

In der Analyse der Daten konnte eingangs die bereits aus anderen Untersuchungen bekannte Leistungsfähigkeit des IDF-Systems bestätigt werden (Erfassungsreichweite rd. 750 m, Erfassungsrate rd. 93 %). Für die weiteren Auswertungen zum Flugverhalten der Rotmilane wurden diejenigen Flugwege herangezogen, welche anhand der Fotos sicher als Rotmilan nachbestimmt werden konnten.

Hinsichtlich der Flughöhenverteilung bestätigte sich das aus anderen Studien bekannte Bild. Die IDF-Messungen zeigen ab ca. 40 m über dem Boden eine kontinuierliche Abnahme der Aktivitätsdichte mit zunehmender Höhe. Der Mittelwert der gemessenen horizontalen Fluggeschwindigkeit liegt bei 9,2 m/s. Das Auftreten von Rotmilanaktivität in Rotorhöhe ist teilweise deutlich von der Tageszeit abhängig. In den ersten 20 % des Tagesverlaufes sowie in den letzten 10 % wurde kaum Rotmilan-Aktivität in Rotorhöhe aufgezeichnet. In der Mitte des Tages verläuft die Aktivität etwa gleich hoch auf einem Plateau. Auch bezüglich der Windgeschwindigkeit lässt sich eine Beeinflussung der Rotmilanaktivität in Rotorhöhe erkennen. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit nimmt die mittlere aufgezeichnete Anzahl von Messpunkten in Rotorhöhe ab. Die Brutzeitphasen weisen insofern einen Einfluss auf die Höhe der Rotmilanaktivität in Rotorhöhe auf, indem während der Aufzuchtphase, im Vergleich mit der Bebrütungs- und Nachbrutzeit, eine deutliche Steigerung vorliegt.

Für die Untersuchung des Meide- und Ausweichverhaltens gegenüber den WEA wurden drei methodische Ansätze gewählt:

- Änderung der Aktivitätsdichte: Ohne einen Einfluss der WEA wäre von einer annähernd gleichmäßigen horizontalen Verteilung der Aktivitätsdichte über den Windpark auszugehen, sofern nicht andere Einflüsse wie z.B. die Hangneigung oder das lokale Habitat eine Rolle spielten. Eine Abnahme der Aktivitätsdichte bei Annäherung an die WEA würde somit einen Meide-Effekt indizieren.
- Simulation anderer Flugbahnenverteilungen durch vielfaches Verschieben realer Flugbahnen in unterschiedliche Richtungen: Entlang des Verlaufs der simulierten Flugbahnen wird die Anzahl an Rotordurchflügen ausgezählt, die bei derartig zufällig

verteilten Flugbahnen zu erwarten wäre, und mit der Anzahl der tatsächlich durch IDF aufgezeichneten Rotordurchflüge verglichen.

- Ausgehend von der ermittelten Aufenthaltsdauer von Rotmilanen im Windpark wird unter Annahme einer gleichmäßigen horizontalen Verteilung der Aktivität die erwartete Gesamt-Aufenthaltsdauer in den Rotorscheiben ermittelt. Unter Verwendung der Dauer eines einzelnen Rotordurchfluges kann hieraus ein Erwartungswert an Rotordurchflügen ermittelt werden, der wiederum mit den beobachteten Werten verglichen werden kann.

Bei der Betrachtung der Aktivitätsdichte wurde in allen Höenschichten eine deutliche Abnahme im Nahbereich der WEA-Rotoren ermittelt. Diese Abnahme ist unterhalb der Rotorhöhe bis ca. 150 m Distanz von den Rotoren erkennbar, in Rotorhöhe bis ca. 80 m und darüber bis ca. 40 m. Das Ausmaß dieser höhenabhängigen Dichteabnahme beläuft sich in Rotorhöhe auf 72-94 %. Die qualitative Betrachtung von Flugbahnen in Rotornähe zeigt in vielen Fällen eine kleinräumige Ausweichreaktion zur offenkundigen Vermeidung eines Rotordurchfluges. Als Folge davon konnten lediglich zwei sichere Rotordurchflüge aufgezeichnet werden, bei denen der Vogel den Flug allerdings unbeschadet fortsetzte. Die beiden Methoden zum Vergleich zwischen erwarteten und beobachteten Rotordurchflügen führen zu Ausweichraten von 98,3 % bis 99,1 %. Diese Werte zeigen eine hohe Übereinstimmung mit den bisherigen Angaben in der Literatur, wonach die Meiderate gegenüber WEA beim Rotmilan in einer Größenordnung von 99 % liegt, sowie auch mit der aktuellen Studie von MERCKER *et al.* (2023), die auf der Grundlage umfangreicher Telemetriedaten eine Gesamt-Meiderate von ca. 98 % angeben.

Aus den Ergebnissen lässt sich ableiten, dass Rotmilane den Bereich des Gesamt-Windparks nicht meiden, den einzelnen WEA kleinräumig jedoch sehr effektiv ausweichen können. Dies korrespondiert mit dem etablierten Kenntnisstand zur Kollisionsgefährdung von Greifvögeln an WEA. Der untersuchte Windpark ist durch eine sehr hohe Rotmilanflugaktivität gekennzeichnet, was in erster Linie in der hohen Habitatqualität (kleinstrukturiertes Grünland) und der topografisch günstigen Lage (Hangaufwinde) begründet ist. Zudem weist der Windpark eine im landesweiten Vergleich hohe mittlere Windgeschwindigkeit auf. Hinsichtlich der Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse ist somit davon auszugehen, dass diese für Standorte mit gleicher oder niedrigerer Windgeschwindigkeit sowie gleicher oder niedrigerer Rotmilanaktivität gegeben ist. Damit sind mehr als 80 % der hessischen Windenergie-Vorranggebiete abgedeckt.

Weiterhin bestätigen die Ergebnisse die in Hessen etablierte Praxis, durch gezielte Betriebsbeschränkungen von WEA bei Niedrigwindgeschwindigkeiten das Kollisionsrisiko für Rotmilane – in Kombination mit der hohen Ausweichrate – sehr weitgehend zu senken, ohne dass es dabei zu starken Einschränkungen bei der Stromproduktion der Anlagen kommt.

Das Teilprojekt B (Objektivierung der Sachverhaltsermittlung in Bezug auf Rotmilanflugaktivitäten bei Windparkplanungen) kommt zu dem Ergebnis, dass der Einsatz von kamera- oder radargestützten Detektionssystemen zur Erhebung von Flugaktivitätsdaten vor Errichtung von WEA nur in wenigen Fällen sinnvoll ist, z.B. bei der Ermittlung räumlicher Wechselbeziehungen bei Arten mit geringer Flugaktivität oder in rechtlich strittig Fällen zur Ermittlung einer objektiven, weil personenunabhängigen Beurteilungsgrundlage.

Im Teilprojekt C (Betriebszeitenregelung und Probabilistik) wird zunächst anhand zweier verschiedener WEA-Typen quantitativ für den untersuchten Standort abgeleitet, welche Schutzwirkung durch eine Anhebung der Rotorunterkante und durch eine Heraufsetzung der Anlauf-Windgeschwindigkeit erzielt werden kann. Alleine aufgrund der artspezifischen Flughöhenverteilung und des Einflusses der Windgeschwindigkeit auf die Flugaktivität in Rotorhöhe lassen sich hierdurch bei modernen großen WEA Schutzniveaus von 85-95 % erreichen. Hinsichtlich des Kollisionsrisikos der dann noch verbleibenden Flugaktivität in Rotorhöhe bei drehenden Anlagen ist darüber hinaus das ermittelte artspezifische Ausweichverhalten in einer Größenordnung von 98-99 % in Anrechnung zu bringen.

Auf dieser Grundlage erfolgt eine Darlegung der probabilistischen Methode zur quantitativen Abschätzung des Kollisionsrisikos unter Einbeziehung der im Projekt gewonnenen Erkenntnisse. Beispielfhaft wird anhand verschiedener Repowering-Szenarien die Veränderung des Kollisionsrisikos durch unterschiedliche WEA-Anzahlen und -Typen berechnet. Zusätzlich erfolgt eine quantitative Einbeziehung der Schutzwirkung von hoher Rotorunterkante und erhöhter Anlauf-Windgeschwindigkeit in die Berechnungen. Die neuen Erkenntnisse zum Flugverhalten des Rotmilans in WEA-Nähe tragen somit dazu bei, die Aussagekraft probabilistischer Berechnungen zu stärken.

Das vorliegende Projekt dokumentiert erstmalig mit Hilfe von Kameras das kleinräumige Flugverhalten von Rotmilanen innerhalb eines stark frequentierten Windparks. Der große Stichprobenumfang in Kombination mit der hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung der Daten ermöglicht eine Quantifizierung des Meide- und Ausweichverhaltens und damit einen deutlichen Fortschritt im Verständnis des Kollisionsrisikos von Rotmilanen an WEA. Die Analyse relevanter Einflussfaktoren ermöglicht einen zielgerichteteren Einsatz bestimmter Schutzmaßnahmen und lässt eine fundiertere Quantifizierung ihres Wirkungsgrades zu. Das untersuchte Fallbeispiel repräsentiert aufgrund seiner hohen Habitatqualität, seiner hohen mittleren Windgeschwindigkeit, einer infolge von Hangaufwinden nach oben verschobenen Flughöhenverteilung und einer insgesamt sehr hohen Flugaktivität von Rotmilanen ein besonders hohes Konfliktpotenzial. Daher können die erzielten Ergebnisse auf eine Vielzahl hessischer Windenergiestandorte mit niedrigerer oder gleicher Windgeschwindigkeit und Rotmilanaktivität übertragen werden.

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Das Risiko bestimmter Greif- und Großvogelarten an Windenergieanlagen (WEA) zu kollidieren, hängt weitgehend von ihrem Flugverhalten und ihrer Meidungsreaktion gegenüber WEA ab. Einige Arten, wie Weihen und Uhu, weisen überwiegend so niedrige Flughöhen auf, dass sie nicht oder nur in Nestnähe als kollisionsgefährdet eingestuft werden, sobald die Rotoren der WEA eine gewisse Mindesthöhe aufweisen (Abschnitt 1 der Anlage 1 zu § 45b Abs. 1-5 BNatSchG). Der Schwarzstorch gilt nicht mehr als kollisionsgefährdet, seitdem Untersuchungen zum Flug- und Raumnutzungsverhalten zeigen konnten, dass Windparks von dieser Art in der Regel in ausreichendem Abstand passiert werden (HAGER & THIELEN 2018).

Der Rotmilan weist eine Flughöhenverteilung auf, wonach ein Großteil der Flugaktivität unterhalb der Rotorhöhe moderner (binnenländischer) WEA verläuft (HEUCK *et al.* 2019b; PFEIFFER & MEYBURG 2022). Allerdings gilt der Rotmilan nach den Adlern als die in Relation zur Bestandsgröße am stärksten von Kollisionen an Windenergieanlagen betroffene Vogelart (SPRÖTGE *et al.* 2018; REICHENBACH & AUSSIEKER 2021). Aufgrund seiner Häufigkeit und Verbreitung in Deutschland spielt er in Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen oftmals eine wesentliche Rolle.

Die artenschutzrechtlichen Anforderungen bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen sind in den vergangenen Jahren stetig angewachsen und nach Ansicht der AGORA ENERGIEWENDE (2021) wegen ihrer Komplexität und Fehleranfälligkeit zu einem der größten Hindernisse in den Genehmigungsverfahren geworden. Im Mittelpunkt steht dabei das artenschutzrechtliche Tötungsverbot. Gemäß § 44 Abs. 5 Nr. 1 BNatSchG liegt ein Verstoß gegen das Tötungsverbot des § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG vor, wenn es sich um eine signifikante Erhöhung des Tötungsrisikos handelt und diese durch Anwendung von gebotenen, fachlich anerkannten Schutzmaßnahmen nicht vermieden werden kann.

Der Rotmilan tritt in Hessen mit ca. 1.100 Brutpaaren flächenhaft und häufig auf (GELPKE & HORMANN 2010; HUKLV & HMWEVW 2020). Daher kommt bei dieser Art der Schaffung eines belastbaren Kenntnisstandes für die Beurteilung des Kollisionsrisikos sowie für die Konzeption notwendiger Maßnahmen zum Schutz vor Kollisionen eine besondere Bedeutung zu. Vor diesem Hintergrund wurde das vorliegende Fachgutachten zur Vertiefung des Wissens über das Flugverhalten des Rotmilans im Bereich von Windenergieanlagen (WEA) vom Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen (HMWEVW) in Abstimmung mit dem Hessischen Ministerium für Umwelt Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HUKLV) im September 2021 beauftragt.

Gegenstand des Projektes ist die Untersuchung des Flugverhaltens von Rotmilanen im Nahbereich von Windenergieanlagen (WEA) mit Hilfe von Vogeldetektionssystemen. Zum Einsatz kam das für die Rotmilan-Erkennung besonders geeignete Kamerasystem Identiflight (IDF) (REICHENBACH *et al.* 2021). Mit Hilfe der hierüber ermöglichten Aufnahme der Windpark-Flüge sollen folgende Aufgabenstellungen bearbeitet werden:

- A. Wissensaufbau zum Flugverhalten des Rotmilans in WEA-Nähe (z.B. Ausweichrate, Annäherungsdistanzen, Einfluss der Witterung, Einfluss der WEA-Dimensionen),
- B. Objektivierung der Sachverhaltsermittlung in Bezug auf Rotmilanflugaktivitäten bei Windparkplanungen (Vorschläge zur Datenerhebung und -auswertung mittels Detektionssysteme im Rahmen immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren),
- C. Schlussfolgerungen für die Optimierung der in Hessen geltenden Betriebszeitenregelungen für WEA sowie im Hinblick auf probabilistische Verfahren zur Bewertung des Tötungsrisikos an WEA

Kamerabasierte Detektionssysteme, wie zum Beispiel Identiflight (IDF), eignen sich zur kontinuierlichen Dokumentation von Flugbewegungen bestimmter Vogelarten innerhalb des überwachten Luftraumausschnitts. Dies ermöglicht die Bearbeitung von Fragestellungen, die bislang nur mit menschlichen Beobachtern (sehr geringe Stichprobe mit hoher Fehleranfälligkeit) oder mit besenderten Vögeln zugänglich waren. Letztere weisen jedoch den Nachteil auf, dass stets nur Daten einiger weniger Individuen erlangt werden und zudem die Datendichte von der Akku-Kapazität abhängt. Im Gegensatz dazu können kamerabasierte Detektionssysteme einen bestimmten Luftraum kontinuierlich überwachen, Flugbewegungen einer Vielzahl von Individuen aufnehmen, die diesen Luftraum nutzen, und eine wesentlich höhere Datendichte generieren. Voraussetzung ist allerdings, dass zu jedem Zeitpunkt eine genaue dreidimensionale Verortung des Vogels erfolgt und dass die Daten in einer Weise in einer Datenbank gespeichert werden, dass sie einer späteren Auswertung zugänglich sind. Diese Anforderung wird von Identiflight erfüllt (REICHENBACH *et al.* 2021). Demgegenüber ist allerdings auch zu berücksichtigen, dass Kamera-Systeme im Vergleich zu Telemetrie-Daten nur einen sehr kleinen spezifischen Raumausschnitt überwachen.

Ergänzend zu den Kameradaten werden auch Telemetriedaten von Rotmilanen, die im Rahmen eines ebenfalls vom HMWEVW beauftragten Parallelvorhabens 2021 und 2022 besendert wurden, verwendet, insoweit sie aus dem gewählten Untersuchungsgebiet stammen. Sie dienen im Wesentlichen der Plausibilisierung der Analysen der IDF-Daten.

Generelle Grundlagen zum Flugverhalten von Rotmilanen, insbesondere auch zur Abhängigkeit von der Witterung, liefern bereits die Studien von HEUCK *et al.* (2019b), SPATZ *et al.* (2019) sowie PFEIFFER & MEYBURG (2022). Mittels hochaufgelöster Kameradaten soll vertiefend die Frage bearbeitet werden, inwieweit die Anwesenheit von WEA das kleinräumige Flugverhalten von Rotmilanen beeinflusst und welche Konsequenzen sich daraus im Hinblick auf die Prognose des Kollisionsrisikos sowie auf die Konzeption von Schutzmaßnahmen ergeben.

2 Einsatz des Kamerasystems IdentiFlight

Für die Analyse des Flugverhaltens des Rotmilans in WEA-Nähe wurde das Kamerasystem IdentiFlight eingesetzt. Dieses wird nachfolgend hinsichtlich seiner Funktionsweise und der erfolgten Installation vor Ort beschrieben.

2.1 Funktionsweise

Das Kamerasystem IdentiFlight (IDF) wurde entwickelt, um Vogelkollisionen an Windenergieanlagen (WEA) durch automatische bedarfsgerechte Abschaltung bei Annäherung einer bestimmten Zielart zu verhindern.¹ In den USA wurde es bereits in Bezug auf seine Detektionsleistungen und seine Wirksamkeit hinsichtlich der Reduzierung von Kollisionsopfern von Adlern untersucht (MCCLURE *et al.* 2018; MCCLURE *et al.* 2021). In Deutschland wurde IDF hinsichtlich seiner Schutzwirkung für den Rotmilan von der Schweizerischen Vogelwarte (ASCHWANDEN & LIECHTI 2020) sowie von der ARSU GmbH in Kooperation mit der OekoFor GbR getestet (REICHENBACH *et al.* 2021). Basierend auf den von den Herstellern dokumentierten Ergebnissen der Erprobungen sowie der Erkenntnisse aus den oben genannten Studien wurde IDF am 08.07.2021 in einer Pressemitteilung vom Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE) als „reif für die Praxis“ erklärt².

Ein IDF-System besteht aus der Kombination zweier Kameraeinheiten – acht fixe Weitwinkelkameras sowie eine bewegliche Stereokamera – und wird auf einem Mast mit einer Höhe von 10 m montiert (Abbildung 1).

Die untere Einheit aus acht kreisförmig angeordneten Weitwinkelkameras überwacht permanent im horizontalen 360 ° Umkreis den gesamten Luftraum. Die Reichweite ist abhängig von der Größe der zu detektierenden Zielarten und reicht von ca. 750 m für den Rotmilan (REICHENBACH *et al.* 2021) bis ca. 1.000 m für Adler (MCCLURE *et al.* 2018). Falls aus technischen oder datenschutzrechtlichen Gründen erforderlich, können bestimmte Bereiche maskiert werden. Die Weitwinkelkamera-Einheit dient vorrangig dazu, Bewegungen im Luftraum zu detektieren (Objekte, die sich für mehr als 30 s nicht fortbewegen, werden ignoriert) und relevante Flugobjekte herauszufiltern. Wird aufgrund dieser Objekt-Parameter auf die Detektion eines relevanten Flugobjekts geschlossen (z. B. Exemplar einer Zielart), so erfolgt eine Meldung an die zweite Kameraeinheit – die Stereokamera. Diese richtet sich daraufhin auf das entsprechende Objekt aus und erfasst mit einer Frequenz von 10 Hz Daten des Flugobjektes. Aus diesen 10 Hz Daten wird im Anschluss das Bild mit der höchsten Konfidenz der Objektklassifizierung ausgewählt und als 1 Hz Datenpunkt abgelegt, für den dann detailliert die Position, die Größe sowie die Flugroute und -geschwindigkeit des Objekts im dreidimensionalen Raum vorliegen.

¹ <https://www.identiflight.com/how-it-works>, abgerufen am 23.09.2021

² <https://www.naturschutz-energiewende.de/kompetenzzentrum/presse/pressemitteilungen/erstes-kamerasystem-zur-vermeidung-von-vogelkollisionen-an-wind-energieanlagen-reif-fuer-die-praxis/>, abgerufen am 20.09.2021



Abbildung 1: Kamerakopf eines IDF (links) und Aufbau auf einem 10 m hohen Mast mit Container (rechts)

Die hohe Auflösung der Stereokamera ermöglicht eine genauere Farb-, Form- und Bewegungsmustererkennung und damit eine Klassifizierung des detektierten Objekts hinsichtlich der programmierten Objektklassen (Zielart versus Nicht-Zielart). Wird das detektierte Objekt einer Zielart zugeordnet, erfasst die Stereokamera das Objekt weiterhin, bestimmt die Flugroute und dokumentiert diese. Wird das Objekt jedoch einer Nicht-Zielart zugeordnet (z. B. Vögel mit anderer Größe oder Farbe als die Zielart), ignoriert die Stereokamera dieses Objekt in weiterer Folge. Alle von der Stereokamera aufgenommenen Daten werden gespeichert (Dokumentation).

IDF speichert zu jedem Datenpunkt u.a. folgende Informationen und legt diese gesammelt in einer Datei für den jeweiligen Tag ab:

- Track-ID
- Zeitstempel
- radiale Distanz und horizontale Distanz
- Steigungswinkel und Azimut
- Höhe über Grund und über Meeresspiegel
- x- und y-Koordinaten (in UTM) sowie geografischer Längen- und Breitengrad
- Objektklassifizierung (Vogelart bzw. Artengruppe) mit Konfidenzwert der Klassifizierung
- ein Foto des Objektes
- ID der Weitwinkelkamera (in deren Sichtfeld das Objekt fliegt)
- Bezeichnung und Entfernung der dem Flugobjekt nächstgelegenen WEA

Im Regelbetrieb ermöglicht das IDF eine Abschaltung der WEA bei kollisionskritischen Flügen der Zielart. Diese Funktion kam im vorliegenden Einsatz des Systems nicht zum Tragen. Stattdessen erfolgte eine möglichst genaue Dokumentation des Flugverhaltens in Anlagennähe im Hinblick auf die Fragestellungen des Projektes. Die Programmierung wurde dahingehend angepasst, dass erfasste Rotmilanflüge möglichst lange von der Kamera verfolgt wurden, ohne dass zwischendurch auf andere Vögel umgeschwenkt wurde. Dies gilt insbesondere für Flüge in unmittelbarer WEA-Nähe, bei denen IDF ansonsten im Regelbetrieb nach erfolgter Abschaltung der WEA die Verfolgung dieses spezifischen Flugweges nicht mehr priorisieren würde.

2.2 Untersuchungsgebiet und Installation

Das Untersuchungsgebiet für das Forschungsprojekt umfasst den bestehenden Windpark „Auf der Platte“ nordwestlich von Ulrichstein im mittelhessischen Vogelsbergkreis (Abbildung 2). Der Windpark besteht aus sieben Anlagen des Typs Enercon E-82 E2, die seit 2012 in Betrieb sind. Diese verfügen bei einer Nabenhöhe von 138 m über eine Nennleistung von je 2,3 MW (Gesamthöhe 179 m, Höhe der Rotorunterkante 97 m über Grund). Aus den Vorjahren waren drei Rotmilanbrutplätze nördlich und nordwestlich des Windparks bekannt (Abbildung 2).

Im April und Juni 2022 erfolgte im Radius von 1.500 m um die vorhandenen Windenergieanlagen eine Suche nach besetzten Rotmilanbrutplätzen. Dabei ergab sich ein Brutnachweis ca. 770 m nördlich des Windparks (brütender Altvogel), die Jungvögel waren bei der Kontrolle im Juni aber wohl schon ausgeflogen. Ein zusätzlicher Brutverdacht westlich davon konnte im Juni nicht eindeutig bestätigt werden, es befanden sich aber viel Kot und viele Fliegen am Horst und es war offensichtlich Müll und Plastik verbaut. Jungvögel waren nicht zu sehen, aber es kreisten Altvögel flach über dem Horst. Zwei weitere Horste waren unbesetzt, dort war aber jeweils Kunststoff o.ä. eingebaut und die Kartierer haben darin Anzeichen für eine Rotmilanbrut gesehen (Abbildung 3).

Innerhalb des Windparks wurden zwei IDF-Systeme entlang des zentralen Weges so positioniert, dass mit den 750 m Erfassungsradien alle sieben WEA abgedeckt werden konnten und gleichzeitig die Erfassungsradien der beiden Systeme sich in weiten Teilen überlappten (Abbildung 4), wodurch eine möglichst lange Verfolgung einzelner Flugwege innerhalb des Windparks ermöglicht werden sollte. Es erfolgte eine Priorisierung der zum IDF nächstgelegenen Windenergieanlagen, so dass bei Auftreten mehrerer Rotmilane diejenigen in geringerer Entfernung gezielt verfolgt wurden.

Für jedes System wurde eine geschotterte Fläche von 11x14 m hergerichtet, eine eigene Zufahrt war nicht erforderlich (Abbildung 5). Für den Fernzugang wurde das LTE-Netz genutzt, wobei die beiden Systeme mittels eines LWL-Kabels miteinander verbunden werden. Der Kabelgraben wurde im Grünland in einem Abstand von ca. einem Meter zum Wegesrand angelegt, da die Vegetation den Wegeschotter bereits randlich überwachsen hat (Abbildung 5 und Abbildung 7). Dementsprechend entstand eine Flächeninanspruchnahme für den Kabelgraben von ca. 240 m². Am Wegesrand vorhandene Ruderalstrukturen wurden zur Minimierung von Beeinträchtigungen

nicht in Anspruch genommen, in diesem Bereich rückte der Kabelgraben etwas weiter ins Grünland hinein.

Insgesamt belief sich die temporäre Flächeninanspruchnahme auf knapp 550 m². Nach dem Rückbau der Systeme wurden die Flächen wieder der ursprünglichen Grünlandnutzung zugeführt.

Vor Installation der Systeme wurde aufgrund der Lage des Untersuchungsgebietes im EU-Vogelschutzgebiet 5421-401 Vogelsberg eine FFH-Verträglichkeitsvorprüfung erarbeitet und der zuständigen Naturschutzbehörde vorgelegt. Diese Prüfung kam zu dem Ergebnis, dass das Vorhaben nicht geeignet ist, das Vogelschutzgebiet Vogelsberg in seinen für die Erhaltungsziele oder den Schutzzweck maßgeblichen Bestandteilen erheblich zu beeinträchtigen. Auswirkungen auf den Erhaltungszustand der wertgebenden Vogelarten wurden ausgeschlossen.

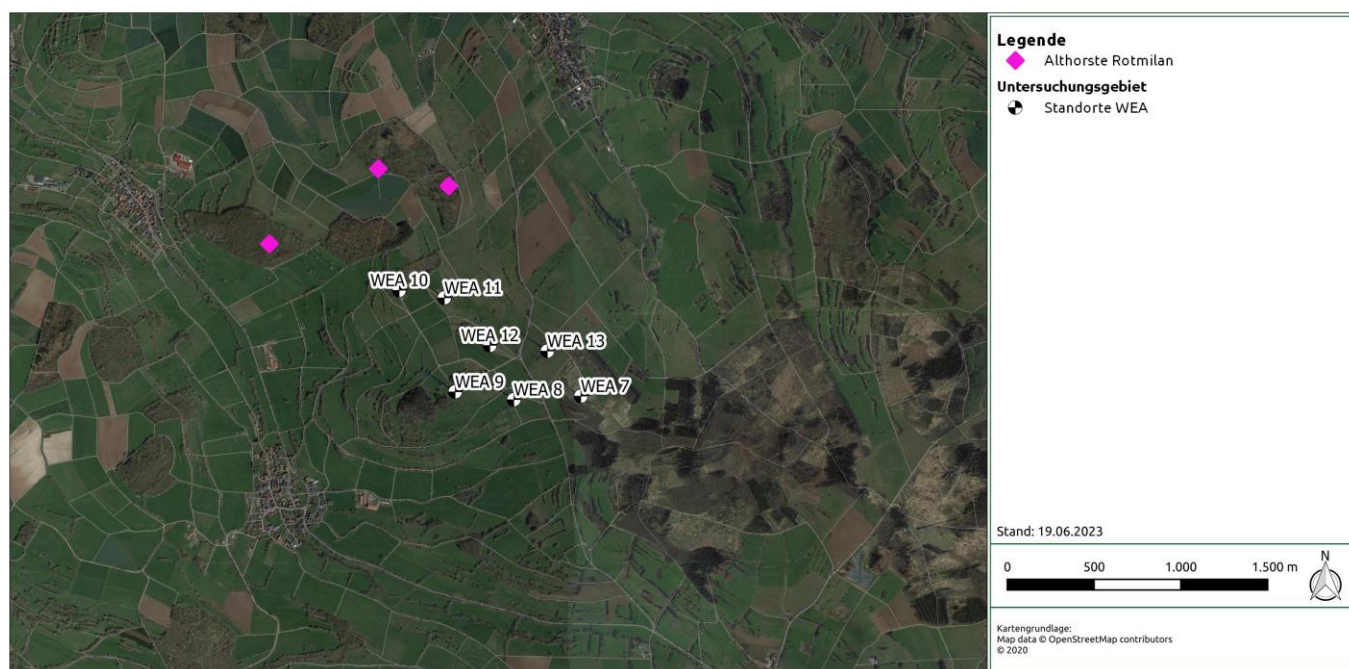


Abbildung 2: Lage des Windparks „Auf der Platte“ nordwestlich von Ulrichstein und Lage der aus den Vorjahren bekannten Rotmilanhorste



Abbildung 3: Ergebnisse der Horstsuche 2022 im 1.500 m Radius mit einem bestätigten Rotmilanbrutplatz (Brutnachweis), einem Brutverdacht (Horst mit Besatzspuren) und zwei nicht besetzten Horsten

Die Landschaftsausstattung im Untersuchungsgebiet (750 m Radius um die beiden IDF-Standorte) ist durch weitgehende Grünlandnutzung geprägt, die durch kleinere Waldflächen sowie lineare Gehölze gegliedert ist (siehe Abbildung 4 und Abbildung 7). Im Norden befinden sich einzelne Ackerflächen in flacherem Gelände. Insbesondere die talabwärts geneigten Hanglagen im Westen und Südwesten weisen kleinteilige Grünlandflächen mit einer starken Strukturierung durch Gehölze auf. Durch die offenen Grünlandflächen, welche größtenteils zur Futtermittelproduktion bewirtschaftet werden und nur teilweise beweidet werden (siehe auch Abbildung 21), bietet sich dem Rotmilan ein attraktives Nahrungshabitat.



Abbildung 4: IDF-Positionen im Windpark „Auf der Platte“ inkl. der jeweiligen 750 m Erfassungsreichweite für den Rotmilan

Westlich vom Standort des IDF 2 befindet sich am Wegesrand bereits eine technische Anlage mit Sendevorrichtungen (Abbildung 6).

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group



Abbildung 5: Skizze der benötigten Flächen und Kabelverlegung für IDF (jeweils ca. 154 m²)



Abbildung 6: Sendeinrichtung am Weg westlich vom Standort des IDF 2



Abbildung 7: Verlauf des Kabelgrabens zwischen IDF 1 und 2; die Ruderalstrukturen wurden nicht in Anspruch genommen

Der Aufbau beider IDF-Systeme (IDF-1 und IDF-2) erfolgte durch die e3 GmbH in KW 1 2022 vom 3.1. bis 7.1. (Abbildung 8 bis Abbildung 13). Beide IDF-Systeme sowie beide Stromerzeugersysteme wurden angeliefert und aufgestellt. Anschließend wurde die Kommunikation zwischen IDF-1 und IDF-2 mittels LWL-Erdkabel ermöglicht. Dafür wurde in den Tagen vor dem Aufbau der IDF-Systeme ein Kabelgraben ausgehoben und dieser in der KW 1 nach Ablage des Kommunikationskabels wiederverfüllt. Zum Ende der Aufbauarbeiten wurden beide IDF-Systeme durch die Stromerzeuger unter Spannung gesetzt und hochgefahren, um die volle

Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems bestehend aus zwei IDF-Systemen, zwei Stromerzeugern und der Kommunikation zwischen den IDF-Systemen zu überprüfen.



Abbildung 8: Anlieferung des IDF-1 über bestehende Straßen/Wege



Abbildung 9: Anlieferung und Aufbau der Stromversorgung am Standort IDF-1, im Vordergrund die temporär geschotterte Standfläche (154 m²)



Abbildung 10: Aufgebautes IDF-2



Abbildung 11: Schließen des Kabelgrabens zwischen beiden IDF Standorten

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Aufgrund der starken Winde sowie einiger Sturmwinde am Projektstandort wurden beide IDF-Türme abgespannt. Dies verhindert Schwankungen des Kamerasystems. Dabei wurde dem Turm ein sogenanntes Halsband angelegt, welches über Seile an drei Punkten Kräfte, welche Turmbewegungen auslösen, in den Erdboden leiten. Die Maßnahme sorgte für eine Abnahme der Turmschwankungen.



Abbildung 12: Abgespannter IDF Turm

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Für die beiden IDF-Systeme sind zwei Kalibrierungsziele nötig, damit sich die Stereokamera des IDF automatisch rekalisieren kann. Dies gewährleistet eine konstante Genauigkeit der von IDF erfassten 3D-Koordinaten über die gesamte Projektlaufzeit. Die beiden Ziele befinden sich ca. 300 m bis 500 m entfernt an einem Freileistungsmast und in der Nähe einer WEA (Abbildung 14).



Abbildung 13: Installiertes System IDF 1 im März 2022

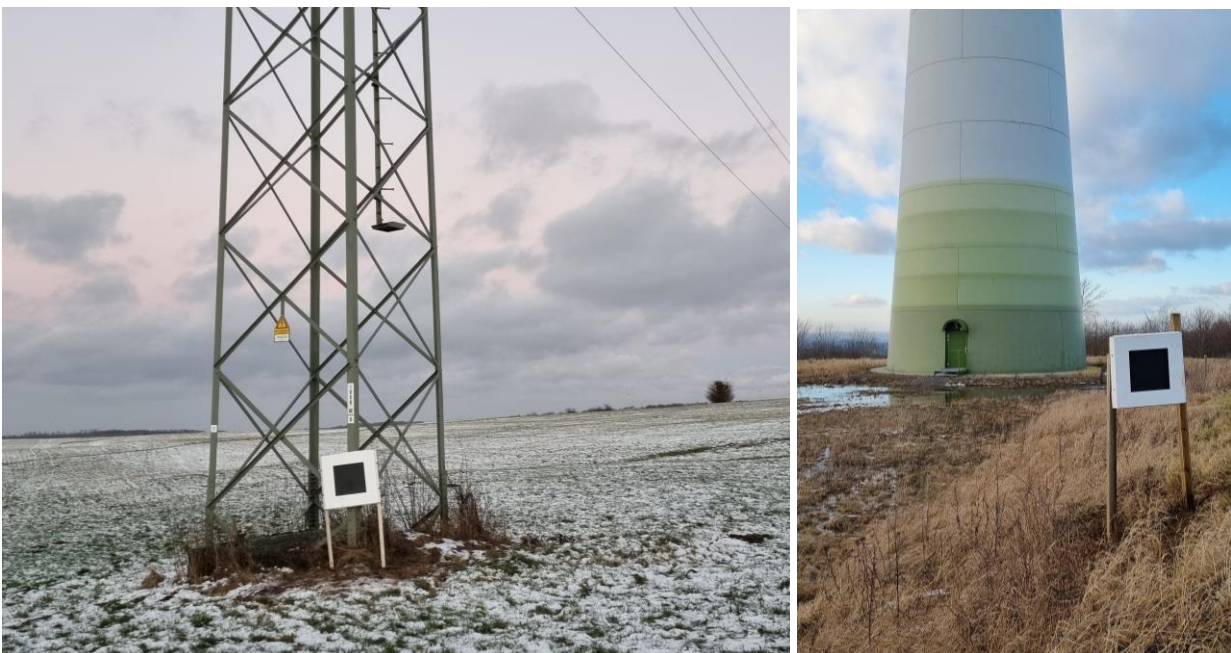


Abbildung 14: Kalibrierungsziele

Nach Beendigung der Datenaufnahme erfolgte am 21.09. der Abbau beider Systeme und ein entsprechender Rückbau der temporär beanspruchten Flächen.

Der Zeitraum der Datenaufnahme erstreckte sich vom 21.04. bis zum 15.09.2022.

Die technische Überwachung des Systems erfolgt regelmäßig per Fernzugang durch den Hersteller. Dabei wurden folgende temporäre Systemausfälle festgestellt:

IDF 1: 20.05. – 30.06.; Ursache: Blitzeinschläge in unmittelbarer Nähe der IDF-Systeme

IDF 2: 20.05. – 10.06.; Ursache: Blitzeinschläge in unmittelbarer Nähe der IDF-Systeme

IDF 1: 21.07. – 26.07.; Ursache: Schaden auf der Steuerboardplatine infolge von Überhitzung

Die Schäden wurden jeweils durch umfangreicheren Austausch von Hardware-Komponenten behoben.

Nach Abzug der Ausfallzeiten ergeben sich 107 Tage, an denen beide Kameras gleichzeitig Daten aufnahmen und weitere 30 Tage, an denen nur eine Kamera einsatzbereit war. Aufgrund der aufgetretenen temporären Ausfälle war das ursprünglich geplante Ende des Beobachtungszeitraums von Ende Juli auf Mitte September verschoben worden.

3 Teilprojekt A: Wissensaufbau zum Flugverhalten des Rotmilans in WEA-Nähe

3.1 Fragestellung und Untersuchungskonzept

3.1.1 Dokumentation der Leistungsfähigkeit von IDF

Die grundsätzliche Leistungsfähigkeit von IDF in Bezug auf den Rotmilan wurde bereits an sechs Standorten in Deutschland umfassend gemäß den Empfehlungen des Kompetenzzentrums Naturschutz und Energiewende (KNE 2019) erprobt (REICHENBACH *et al.* 2021). Für das vorliegende Projekt wurde die am konkreten Standort erzielte Leistung des Systems nochmals dokumentiert, um die Belastbarkeit der erzielten Ergebnisse hinsichtlich des Flugverhaltens von Rotmilanen in WEA-Nähe sicherzustellen. Dementsprechend sind im Rahmen dieser Systemüberprüfung eine Reihe von Fragen zu beantworten, um eine differenzierte Darstellung der Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von den konkret vorherrschenden Bedingungen zu erreichen:

1. Welche räumliche und zeitliche Abdeckung wird grundsätzlich erreicht und was sind die begrenzenden system- und standortspezifischen Faktoren?
2. Auf welche Entfernung zur WEA werden Rotmilane sicher erfasst (Erfassungsreichweite)?
3. Wie viele von den tatsächlich vorkommenden Rotmilanen werden erfasst (Detektionsrate)?

Die Systemreaktion, d.h. die Generierung von Abschaltsignalen für die WEA, wird in dem vorliegenden Projekt nicht eingesetzt, da die zugrundeliegende Software dergestalt umprogrammiert wurde, dass nicht eine Abschaltung, sondern eine möglichst lange Verfolgung von Flugwegen durch die Kameras erreicht wurde.

Daraus ergeben sich die vom KNE (2019) vorgegebenen Erprobungskriterien, anhand derer in der vorliegenden Untersuchung die Leistungsfähigkeit von IDF bezüglich der Detektion von Rotmilanen überprüft wurde:

- Räumliche und zeitliche Abdeckung,
- Erfassungsreichweite,
- Erfassungsrate.

Hinsichtlich der von KNE (2019) ebenfalls vorgesehenen Klassifizierungsrate wird auf vorliegende Erkenntnisse aus REICHENBACH *et al.* (2021) zurückgegriffen.

3.1.2 Flugverhalten von Rotmilanen in WEA-Nähe

Schwerpunkt der Studie ist die Detail-Analyse des Flugverhaltens des Rotmilans im Windparkbereich (Flughöhe, Flugrichtung, Distanz zu WEA-Masten und Rotoren) mittels Detektionssystem(en). Vertiefend zu klären ist hierüber, ob die den Windpark anfliegenden Tiere sowie innerhalb des Windparkbereichs (zwischen den WEA) fliegende Tiere ein „angepasstes Flugverhalten“ zur Meidung einer Kollision mit den Rotoren zeigen. Zudem soll der Einfluss von Witterungs- und Brutzeitparametern auf das Flugverhalten, insbesondere die Flughöhe, untersucht werden.

Aussagen zum Einfluss der Landnutzung auf das Flugverhalten von Rotmilanen können im vorliegenden Projekt aufgrund des kleinen von den Kameras abgedeckten Raumausschnittes nicht getroffen werden.

3.2 Methodik

3.2.1 Leistung des IDF

Die großen Datenmengen wurden skriptbasiert mit der Statistik-Programmiersprache R unter Zuhilfenahme der integrierten Entwicklungsumgebung (IDE) RStudio bearbeitet, ausgewertet und visualisiert.

Zusätzlich wurden durch die OekoFor GbR eigene interaktive Softwarelösungen (Web-Apps) auf Basis der Programmiersprachen R und JavaScript sowie HTML entwickelt. Es kamen Web-Apps zum Einsatz, um manuell

- Referenzdaten von Laser Rangefindern (LRF) einzulesen, zu visualisieren und Fehlmessungen zu eliminieren,
- LRF-Tracks der Zielart mit den IDF-Daten abzugleichen und damit die Detektion durch IDF zu prüfen,
- anhand der aufgenommenen Bilder die automatische Klassifikation von IDF für eine Flugbahn zu überprüfen und ggfs. zu korrigieren.

Weiterhin dienten die interaktiven Softwarelösungen dem Zweck, sich explorativ einen Eindruck der Datenqualität und Funktionsweise des IDF-Systems zu verschaffen und überprüfbare Fragestellungen zu generieren.

3.2.1.1 Messgenauigkeit – Nachträgliche Rekalibrierung der IDF-Messpunkte

Zentrale Voraussetzung für die Bearbeitung der Fragestellungen des Teilprojekts A ist eine möglichst genaue dreidimensionale Lageverortung der einzelnen IDF-Messpunkte bzw. die Kenntnis der dabei erzielten Genauigkeit. Daher erfolgte im Nachhinein eine Überprüfung der IDF-Messgenauigkeit anhand von IDF-Aufzeichnungen von verschiedenen fixen WEA-Befeuerungen im Windpark, deren räumliche Verortung bekannt war. Dabei zeigte sich ein systematischer Versatz, sowohl bei der Messung des Azimuts als auch bei der Messung der Steigungswinkel. Deshalb wurde etwa die Hälfte des IDF-Datensatzes gezielt nach Bildern der WEA-Befeuerungen durchsucht, damit diese als Kalibrierungsmessungen verwendet werden konnten, um den systematischen Versatz zu quantifizieren und nachträglich zu korrigieren. Dabei wurden 213 Tracks mit jeweils mehreren Bildern von insgesamt 15 verschiedenen Befeuerungen verteilt über alle 7 WEA gefunden. Die tatsächliche Position der WEA-Befeuerungen konnte anhand einer technischen Zeichnung auf Höhenbereiche mit einer Genauigkeit von ± 1 m bzw. $\pm 1,9$ m nachvollzogen werden. Die genaue Position der Befeuerung am Turmumfang war nicht bekannt, weshalb von einer Unsicherheit bzgl. der tatsächlichen horizontalen Position in der Größe des Turmdurchmessers auszugehen ist (3,7 m – 7,7 m). Da sich infolge der Reparatur des IDF-System 1 dessen Kalibrierung veränderte, weil zwischenzeitlich die Panel-Tilt-Unit (PTU) ausgetauscht worden war (siehe Kapitel 2.2), wurden die Messwerte in drei Phasen unterteilt, in denen die Kalibrierung jeweils einheitlich war. Abbildung 15 zeigt pro Kalibrierungsphase einen Vergleich der Soll-Winkel (Azimut und Steigungswinkel der pot. Installationsflächen für WEA-Befeuerungen) mit den von IDF gemessenen Winkeln (Median des Azimuts und der Steigungswinkel pro Track).

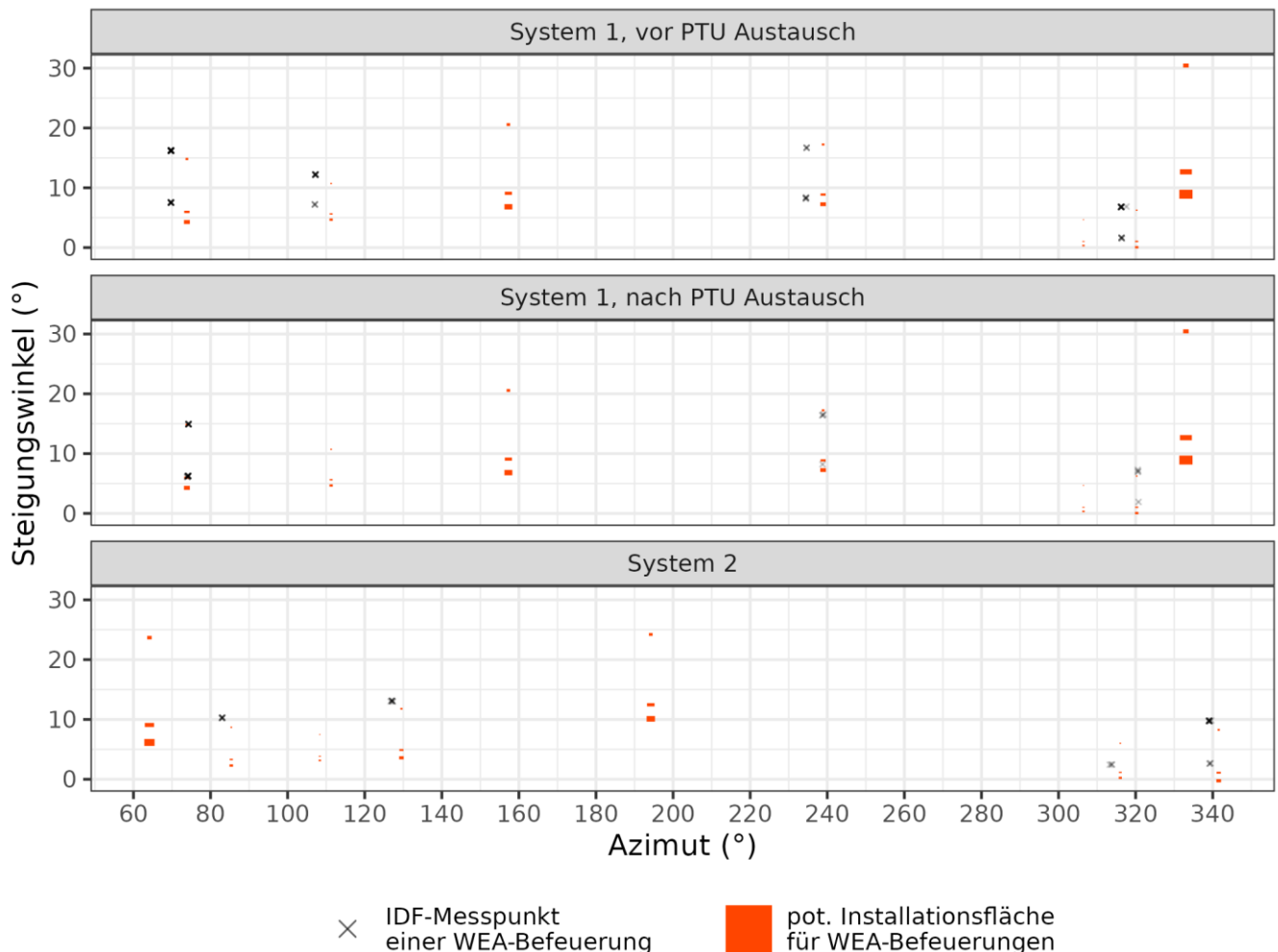


Abbildung 15: Azimut- und Steigungswinkelmessungen der WEA-Befuerungen Pro IDF-System und Kalibrierungsphase ist rot der Bereich dargestellt, in dem die WEA-Befuerungen installiert sind. Diese Bereiche sind unterschiedlich groß, in Abhängigkeit davon, wie weit die WEA vom IDF-System entfernt ist. Auf der x-Achse ist die Himmelsrichtung (Azimut) aufgetragen. Die y-Achse bildet den Steigungswinkel ab. Bei perfekter Kalibration lägen die als schwarze Kreuze abgebildeten IDF-Messpunkte der Befuerungen in diesem Bereich. Die IDF-Messpunkte sind mit einem Deckungsgrad von 20% aufgetragen, daher wird ihre Färbung umso dunkler, je mehr Messpunkte sich überlagern. Datengrundlage: Median-Messwinkel von 213 IDF-Tracks, die WEA-Befuerungen abbilden.

In der gesammelten Betrachtung der Azimutabweichungen zeigte sich eine zeitlich konstante, systematische Unter- bzw. Überschätzung pro Kalibrierungsphase (Abbildung 16). Der Korrekturwert pro Kalibrierungsphase wurde per least-squares Methode (lineares Modell, R-Package stats, Formel s.u., Modellparameter in Tabelle 1) geschätzt, unter der Annahme, dass sich die WEA-Befuerung im Zentrum des potenziellen Installationsbereiches befand.

$$\text{Azimutversatz} \sim \text{Kalibrierungsphase}$$

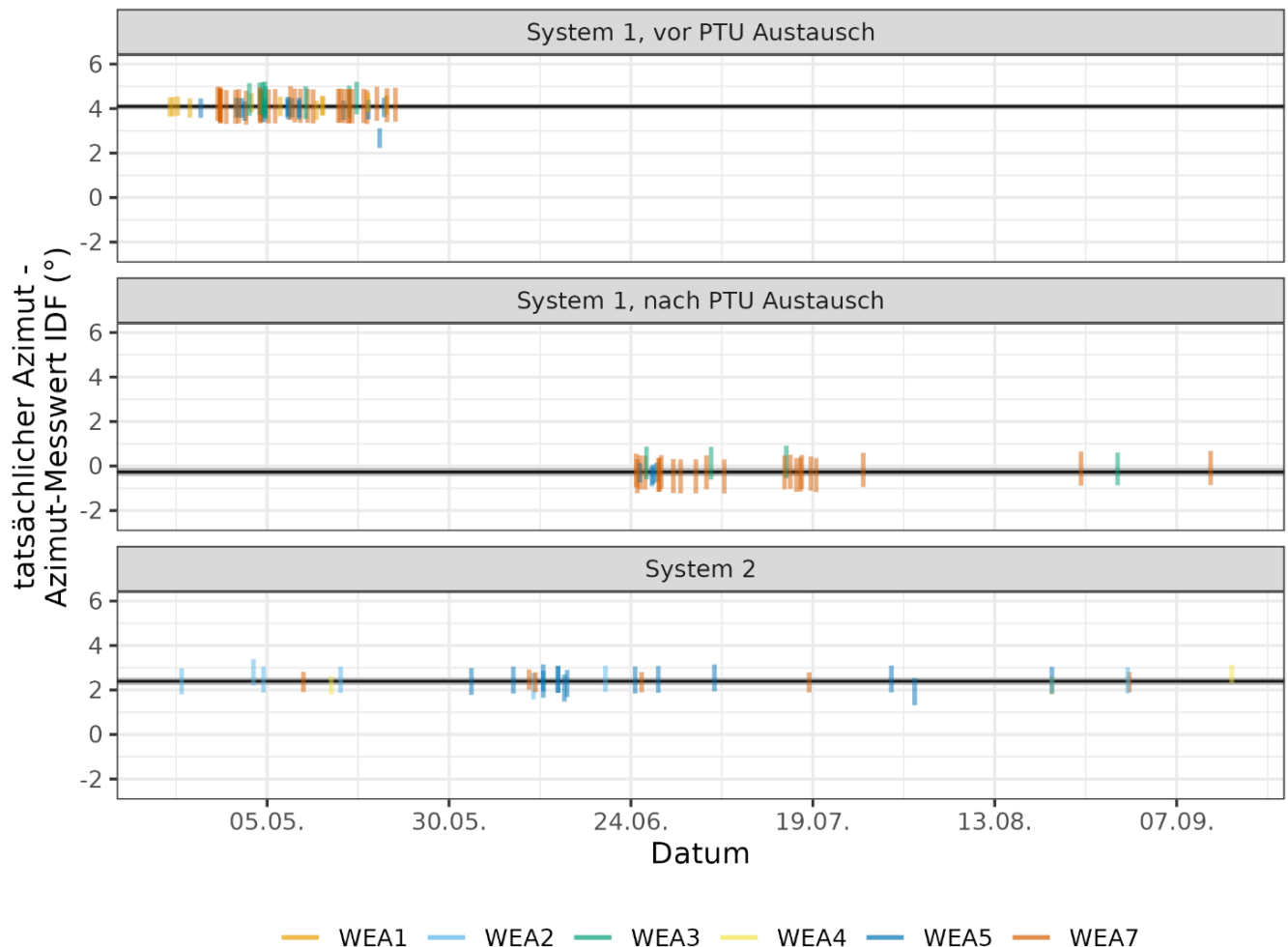


Abbildung 16: Azimut-Versatz pro IDF-System und Kalibrierungsphase Pro IDF-System und Kalibrierungsphase ist im Zeitverlauf (x-Achse) dargestellt, wie stark der von IDF gemessene Azimut der WEA-Befeuernungen vom Azimut des linken bzw. rechten Endes des Bereiches, wo WEA-Befeuernungen installiert sein können, abweicht. Die vertikalen Linien bilden somit die Spanne von der minimalen bis zur maximalen Abweichung ab. Als schwarze horizontale Linie ist der per Modell berechnete Azimut-Korrekturwert eingezeichnet. Das 95%-Konfidenzintervall des Korrekturwertes ist grau hinterlegt. Datengrundlage: Median-Messwinkel von 213 IDF-Tracks, die WEA-Befeuernungen abbilden.

Die Abweichung der von IDF gemessenen Steigungswinkel von den tatsächlichen Steigungswinkeln zeigte eine deutliche Abhängigkeit von der Himmelsrichtung (Abbildung 17). Ein plausibler Grund für diese Abhängigkeit ist eine leicht schräge Ausrichtung des Kameraturmes oder der Kamera selbst. Dies führt dazu, dass der Steigungswinkel in eine Himmelsrichtung überschätzt wird, während er in der gegenüberliegenden Himmelsrichtung im gleichen Ausmaß unterschätzt wird. Der Steigungswinkelversatz lässt sich somit durch eine Sinuskurve in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung beschreiben. Zur Berechnung des Korrekturwertes wurde daher mittels least-squares Methode ein nicht-lineares Modell (R-Package stats, Formel s.u. Modellparameter in Tabelle 1) an den Kalibrierungsdatensatz jeweils einer Kalibrierungsphase

angepasst. Dabei wurde auch hier davon ausgegangen, dass die WEA-Befuerung auf zentraler Höhe im potenziellen Installationsbereich angebracht wurde.

$$\text{Steigungswinkelversatz} \sim \text{Amplitude} * \sin(\text{Azimut} + \text{Phase}) + \text{Verschiebung y-Achse}$$

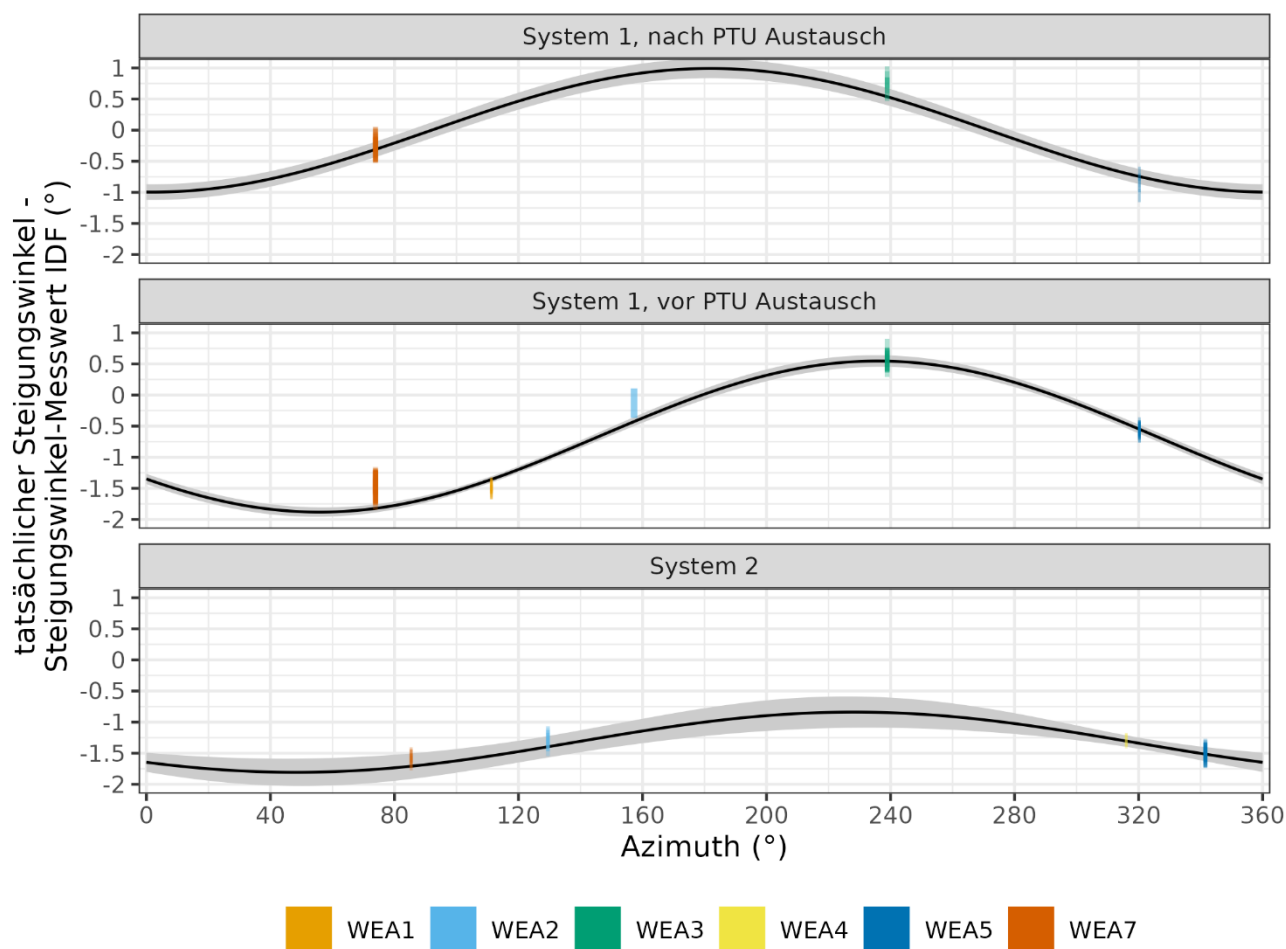


Abbildung 17: Steigungswinkelversatz pro IDF-System und Kalibrierungsphase Pro IDF-System und Kalibrierungsphase ist dargestellt, wie stark der von IDF gemessene Steigungswinkel der WEA-Befuerungen vom Steigungswinkel des unteren bzw. oberen Endes des Bereiches, wo WEA-Befuerungen installiert sein können, abweicht. Die farbigen Flächen bilden somit die Spanne von der minimalen bis zur maximalen Abweichung ab. Die Abweichungen sind in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung (Azimut) dargestellt. Als schwarze Linie ist der per Modell berechnete Steigungswinkel-Korrekturwert eingezeichnet. Das 95%-Konfidenzintervall des Korrekturwertes ist grau hinterlegt. Datengrundlage: Median-Messwinkel von 213 IDF-Tracks, die WEA-Befuerungen abbilden.

Tabelle 1: Modellparameter der Messwinkelkorrektur

Kalibrierungsphase	Azimuth-Korrektur	Steigungswinkel-Korrektur Modellparameter		
		Amplitude	Phase	Verschiebung y-Achse
System 1, vor PTU Austausch	4.10°	1.21°	214.17°	-0.67°
System 1, nach PTU Austausch	-0.27°	-0.99°	88.12°	0.00°
System 2	2.39°	-0.48°	41.81°	-1.32°

Die berechneten Korrekturwerte wurden verwendet, um im kompletten IDF-Datensatz die 3D-Position der Messpunkte neu zu berechnen, was auch zu einer deutlich besseren Übereinstimmung synchron von beiden Systemen aufgezeichneter Flugbahnen führte (vgl. Abbildung 18 und Abbildung 19). Bestand vor der Rekalibrierung teilweise ein deutlicher Versatz zwischen den beiden Aufzeichnungen, war dieser nach der Rekalibrierung weitgehend verschwunden.

Für alle folgenden Analysen wurde ausschließlich der nachkalibrierte IDF-Datensatz verwendet.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

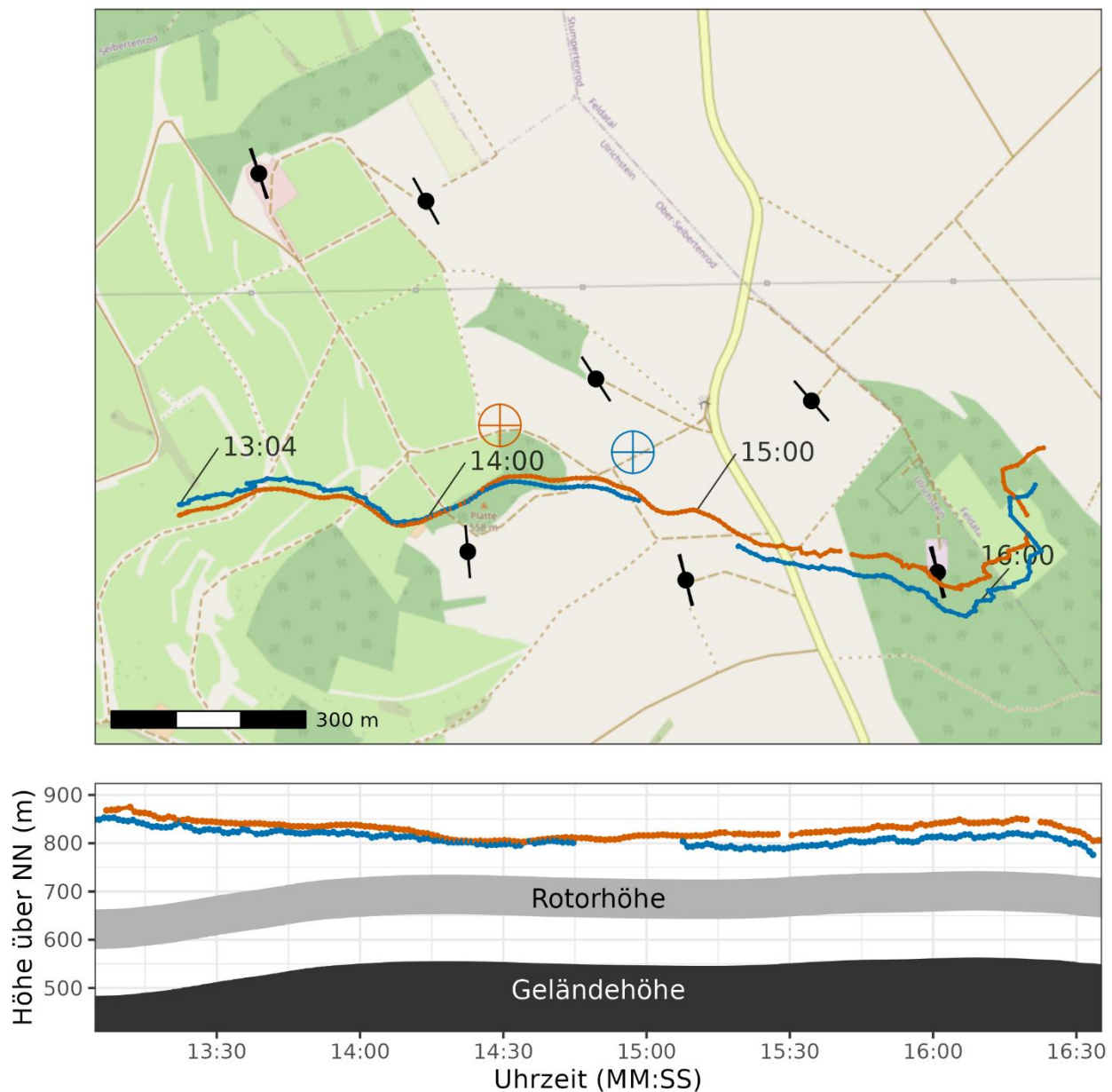


Abbildung 18: Beispielflughbahn vor der Rekalibrierung In der Kartendarstellung sind farblich kodiert die Messpunkte der zwei IDF-Systeme als Punkte eingetragen. Die Fadenkreuze stellen die jeweiligen Standorte der IDF-Systeme dar. Die WEA sind als schwarze Punkte eingezeichnet. Die zeitgleiche Rotorstellung(en) ist als schwarze Linien dargestellt. Die untere Grafik zeigt den Flughöhenverlauf der Rotmilanflughbahn. Die IDF-Messpunkte sind, gleich wie in der Karte, farblich unterschieden. Zusätzlich wird die Geländehöhe unter den jeweiligen Messpunkten als dunkelgrau unterlegte Fläche dargestellt. Aus der Geländehöhe abgeleitet wird darüber, hellgrau unterlegt, das Höhenband dargestellt, welches vom Rotor der WEA durchstreift wird.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

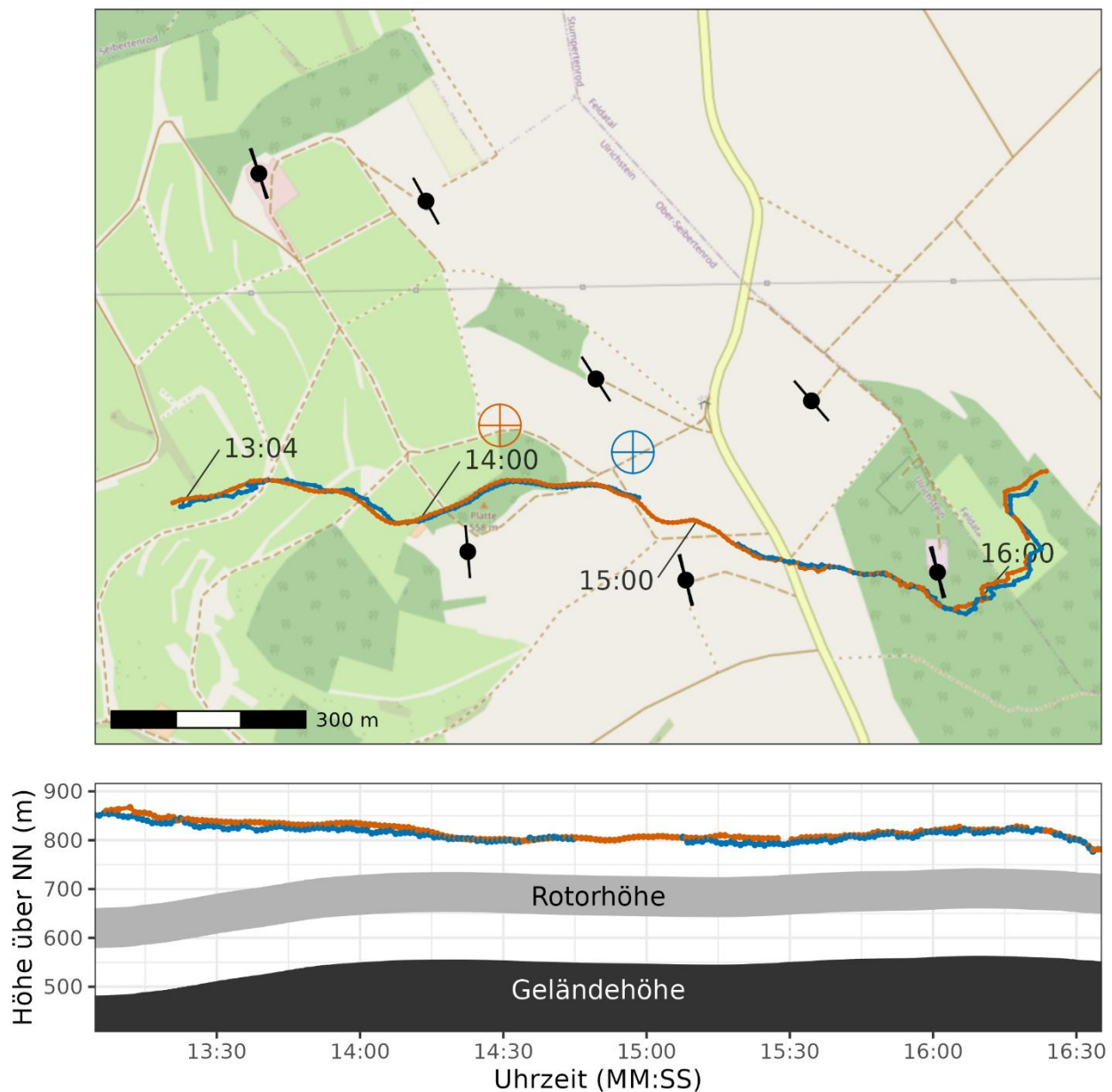


Abbildung 19: Dieselbe Beispielflughbahn nach der Rekalibrierung In der Kartendarstellung sind farblich kodiert die Messpunkte der 2 IDF-Systeme als Punkte eingetragen. Die Fadenkreuze stellen die jeweiligen Standorte der IDF-Systeme dar. Die WEA sind als schwarze Punkte eingezeichnet. Die zeitgleiche Rotorstellung(en) ist als schwarze Linien dargestellt. Die untere Grafik zeigt den Flughöhenverlauf der Rotmilanflughbahn. Die IDF-Messpunkte sind, gleich wie in der Karte, farblich unterschieden. Zusätzlich wird die Geländehöhe unter den jeweiligen Messpunkten als dunkelgrau unterlegte Fläche dargestellt. Aus der Geländehöhe abgeleitet wird darüber, hellgrau unterlegt, das Höhenband dargestellt, welches vom Rotor der WEA durchstreift wird.

3.2.1.2 Erfassungsreichweite

Die Erfassungsreichweite des IDF in Bezug auf den Rotmilan ist bereits bekannt (REICHENBACH *et al.* 2021) und daher nicht Untersuchungsgegenstand des Projekts. Sie wurde trotzdem dokumentiert. Dazu wurde für jeden nachbestimmten Zielart-Track die Entfernung des ersten Detektionspunktes bestimmt.

Dabei ist zu beachten, dass für den gleichen Vogel einer Zielart häufig mehrere Tracks angelegt werden, da beispielsweise der Vogel zwischenzeitlich landet und neu in das Sichtfeld von IDF fliegt oder IDF kurzzeitig auf einen anderen Vogel schwenkt. Auf diese Weise entstehen für das gleiche Individuum immer wieder neue Tracks, insbesondere, wenn sich der Vogel länger im Erfassungsbereich aufhält. Dadurch kommt es zu „Erst“-Erfassungen, die deutlich in geringerer radialer Distanz als 750 m (= maximale Erfassungsdistanz für den Rotmilan laut Hersteller) liegen können.

Aus diesem Grund liegt der Fokus bei der Beurteilung der Erfassungsreichweite darauf, wie weit die ersten Detektionspunkte maximal vom IDF entfernt sind.

3.2.1.3 Erfassungsrate

Auch die Erprobung der Erfassungsrate des IDF ist nicht Kernziel des vorliegenden Projekts. Trotzdem wurde vorsorglich zwecks optimaler Absicherung der Belastbarkeit der gewonnenen Daten die Erhebung von Referenzdaten durch ein sog. Zweitsystem entsprechend den Empfehlungen von KNE durchgeführt (KNE 2019). Dazu wurden Referenzdaten durch den Einsatz eines Laser Rangefinders (LRF, Laser-Entfernungsmesser) generiert.

Mit Hilfe der LRF-Erfassungen konnte – parallel zu der Datenaufzeichnung durch IDF – eine unabhängige Stichprobe an Zielart-Flugbahnen innerhalb des Sichtbereiches von IDF generiert und im Anschluss mit dem IDF-Datensatz abgeglichen werden.

Der LRF wird von einem Beobachter bedient und misst auf Knopfdruck die radiale Distanz, den Azimut sowie den Steigungswinkel eines, mit dem Laser-Strahl anvisierten, Zielobjekts (Abbildung 20). Aus diesen Parametern errechnet das Gerät die Höhe des Zielobjekts über Grund relativ zur Beobachterposition. Die Position des Beobachters kann dabei entweder durch das Smartphone per GPS ermittelt oder vom Beobachter als fixe Position auf einer Karte im Computer angegeben werden. Durch mehrfache Generierung von Datenpunkten eines fliegenden Vogels (systembedingt maximal ca. 12 pro Minute) entsteht eine entsprechende Abfolge von dreidimensionalen Flugpunkten. Diese Daten sowie ein referenzierter Zeitstempel werden entweder mittels Bluetooth-Übertragung auf einem Android Smartphone oder direkt in einem angeschlossenen Computer gespeichert. Aus diesen Messpunkten kann anschließend ein Flugweg (Track) rekonstruiert werden.

Für die vorliegende Untersuchung wurde ein LRF der Firma Safran Vectronix AG (Modell Vector 21 Aero, 7-fache Vergrößerung) verwendet. Der Hersteller gibt die Genauigkeit der Distanzmessung mit +/- 5 m und die der Winkelmessung mit +/- 0,2 ° bis 0,6 ° an.

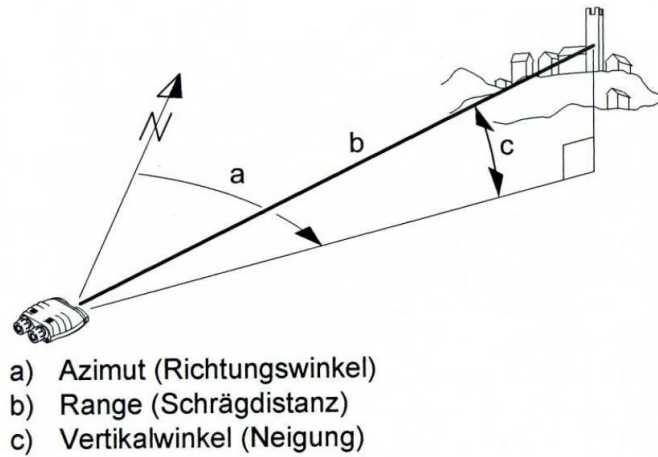


Abbildung 20: Datenermittlung des Laser Rangefinders Vector 21 Aero
Auszug aus der Gebrauchsanweisung



Abbildung 21: Blick von der LRF Beobachterposition Richtung Nordwest vom 29.04.2022.

Für den Vergleich mit den IDF-Daten wurden ausschließlich LRF-Tracks bewertet, die in radialer Distanz von 750 m zu IDF aufgenommen wurden und sich in einem für IDF einsehbaren Bereich befanden. Jeder LRF-Track wurde diesbezüglich einzeln betrachtet und als gültig oder ungültig für die Auswertung eingeschätzt (Tabelle 2). Als „gültig“ bewertete Tracks wurden anschließend als vom IDF „Erfasst“ oder „Nicht-erfasst“ eingestuft.

In Tabelle 2 sind die Bewertungskategorien für die LRF-Referenzdaten gelistet: Die Kategorie „Erfasst“ galt als erfüllt, wenn zu einem LRF-Track zeitgleich eine räumlich ähnliche Flugbahn (Position und Höhe) von IDF aufgezeichnet wurde.

Ein LRF-Track wurde in der Kategorie „Nicht erfasst“ gewertet, wenn zu dem Track kein zeitlich und räumlich passender IDF-Track ermittelt werden konnte. Die Schwierigkeit bei der Bewertung als „Nicht erfasst“ bestand darin, diese Kategorie von denjenigen Fällen zu trennen, bei denen der Vogel für IDF nicht sichtbar war oder bei denen IDF zeitgleich einen anderen als geschützt bewerteten Vogel verfolgte. Da das IDF-System, laut Hersteller, bis zu 30 s Zeit benötigt, um zwischen zwei verschiedenen Vögeln zu wechseln, wurde diese Zeitspanne als Grenzwert bei der Beurteilung, ob IDF ggf. mit der Verfolgung eines anderen Vogels befasst war, festgelegt. Tatsächlich erfolgen die meisten Wechsel zwischen zwei Vögeln innerhalb von 4-13 s, können teilweise jedoch auch länger dauern.

Als „Ungültig“ bewertet wurden LRF-Tracks, wenn der vom LRF vermessene Vogel für das IDF nicht sichtbar war, da sich der vermessene Vogel deutlich in einem sichtverschatteten Bereich (vor oder hinter einem Objekt bzw. unterhalb der Horizontlinie, siehe Abbildung 28) oder in einem maskierten Bereich von IDF befand. Die Kamera war somit optisch gar nicht in der Lage, diesen Vogel zu detektieren. Diese Abschätzung wurde generell sehr konservativ durchgeführt und nur in klaren Fällen als nicht sichtbar für das IDF bewertet. Die Erfassung von Rotmilanen in diesen Bereichen wird als nicht erforderlich eingeschätzt, weil sich bei der Standortwahl von IDF-Systemen im Windpark ausschließen lässt, bzw. ausgeschlossen werden sollte, dass derartige Sichteinschränkungen kollisionsrelevante Bereiche betreffen. Dies ist insbesondere deshalb möglich, weil in der Regel ausschließlich bodennahe Höenschichten, deutlich unterhalb der Rotorunterkante, von Sichteinschränkungen betroffen sind.

Ebenfalls als „Ungültig“ bewertet wurden LRF-Tracks, wenn IDF zeitgleich einen anderen Zielart-Vogel verfolgte und aus diesem Grund den mit dem LRF vermessenen Vogel nicht erfasste bzw. nicht erfassen konnte.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 2: Bewertungskategorien der Referenzdaten von LRF-Tracks

Gültige Tracks	Erfasst	Vogel wurde von IDF auch erfasst
	Nicht erfasst	Vogel wurde von IDF nicht erfasst - ohne erkennbaren Grund
Ungültige Tracks	Ungültig	Vogel wurde von IDF nicht erfasst – Vogel war für IDF nicht sichtbar
	Ungültig	Vogel wurde von IDF nicht erfasst – ein anderer Vogel wurde zeitgleich von IDF erfasst

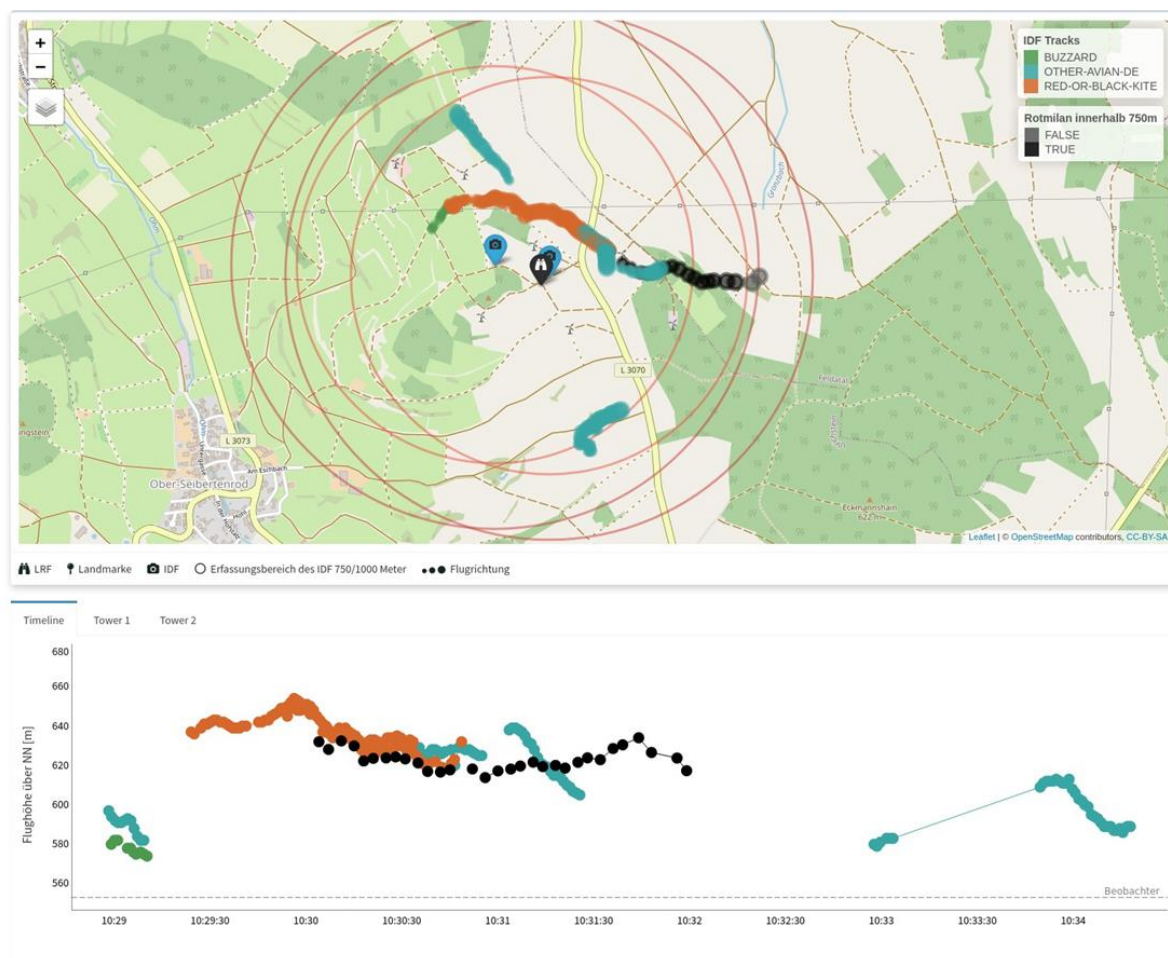


Abbildung 22: Beispiel für einen gültigen LRF-Track, der auch vom IDF erfasst wurde
Schwarze Punkte: Ortungen des LRF
Rote und blaue Punkte: Ortungen des IDF

3.2.1.4 Abgrenzung des repräsentativ untersuchten Raumes

Für einige Fragestellungen ist es relevant, dass im gesamten Erfassungsraum die gleiche Detektionswahrscheinlichkeit für fliegende Rotmilane vorliegt. Beispielsweise sollte bei der Ermittlung der Flughöhenverteilung die Detektionswahrscheinlichkeit homogen über alle Höhenklassen verteilt sein. Es erscheint plausibel, dass die Detektionswahrscheinlichkeit nicht bis zum äußersten Limit, bis zu dem das IDF-System zur Detektion von Rotmilanen fähig ist, gleichmäßig verläuft. Die Abnahme der Detektionswahrscheinlichkeit wird erkennbar an der Abnahme der Häufigkeit erfolgter Erstdetektionen in Abhängigkeit von der Distanz zur IDF-Kamera. Deshalb wurde unter Betrachtung der räumlichen Verteilung der Erstdetektionen (Abbildung 35) für bestimmte Fragestellungen der Beobachtungsraum auf eine radiale Distanz von 500 m zum IDF-System eingegrenzt. Diese Eingrenzung liegt vorsorglich ca. 100 m vor dem Bereich, in dem sich eine Dichteabnahme der erfolgten Erstdetektionen abzeichnet (vgl. Abbildung 35).

Eine weitere Einschränkung stellt das Sichtfeld der Weitwinkelkameras dar. Dieses wird im Wesentlichen durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

- Maskierungen: Softwareseitig ausgeschwärmte Sichtbereiche, die selektiv in niedrigen Höhen hinterlegt werden, um keine Personen und Fahrzeuge aufzunehmen oder Ablenkung durch wehende Vegetation zu vermeiden;
- Sichtverschattungen: Strukturen, wie Hügel oder Baumreihen, die dahinter gelegene Bereiche verdecken;
- Detektionshindernisse: Sämtliche heterogene Oberflächen wie beispielsweise Wiesen oder Äcker erschweren die automatische Detektion von fliegenden Rotmilanen.

Da das IDF-System über die komplette Erfassungszeit in fast allen Himmelsrichtungen und Höhen Messpunkte aufzeichnet, lässt sich anhand der Betrachtung von Lücken in der Verteilung dieser Messpunkte gut abschätzen, in welchen Himmelsrichtungen und Steigungswinkeln die Detektionsfähigkeit des Systems eingeschränkt ist (Abbildung 28). Da diese Einschränkungen überwiegend in niederen Bereichen vorliegen, sind Messpunkte dort bis zu einem bestimmten Steigungswinkel dünn gestreut. Deshalb wurde pro 1 ° Azimut berechnet, unterhalb welchem Steigungswinkel 2,5% der Messpunkte liegen, um diese Bereiche, in denen die Detektion vermutlich erschwert oder unmöglich ist, vom gut sichtbaren Rest abzugrenzen.

Wo nicht schon durch die Festlegung der Steigungswinkeluntergrenze erfolgt, wurde abschließend anhand eines Digitalen Oberflächenmodells (DGM1 Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation 2012) die Untergrenze des Erfassungsraumes auf die Oberflächenhöhe angehoben.

3.2.2 Flugverhalten von Rotmilanen in WEA-Nähe

Neben der Ermittlung der Flughöhenverteilung, der Fluggeschwindigkeit und des Einflusses bestimmter Wetter- und Zeitparameter auf das Flugverhalten von Rotmilanen im Windparkbereich steht insbesondere die Quantifizierung des Meide- und Ausweichverhaltens gegenüber den WEA im Fokus dieses Vorhabens. Hierfür bedarf es bestimmter Vergleichswerte, um die Veränderung des Flugverhaltens als Folge der Anwesenheit der WEA bemessen zu können. Diese Vergleichswerte speisen sich aus der Frage, wie sich die mittels der IDF-Systeme erhobene Flugaktivität verteilen würde, wenn die WEA für die Vögel unsichtbar bzw. nicht vorhanden wären. Hierbei handelt es sich jedoch um eine abstrakte Betrachtung, die sich in der Realität nicht überprüfen lässt. Insofern erfolgt eine Annäherung an diese Frage über drei verschiedene methodische Ansätze:

- Änderung der Aktivitätsdichte: Ohne einen Einfluss der WEA wäre von einer annähernd gleichmäßigen horizontalen Verteilung der Aktivitätsdichte über den Windpark auszugehen, sofern nicht andere Einflüsse wie z.B. die Hangneigung oder lokale Habitatstrukturen eine Rolle spielten. Eine Abnahme der Aktivitätsdichte bei Annäherung an die WEA würde somit einen Meide-Effekt indizieren.
- Simulation anderer Flugbahnenverteilungen durch vielfaches Verschieben realer Flugbahnen um unterschiedliche Distanzen in orthogonaler Richtung: Entlang des Verlaufs der simulierten Flugbahnen wird die Anzahl an Rotordurchflügen ausgezählt, die bei derartig zufällig verteilten Flugbahnen zu erwarten wären und mit der Anzahl der tatsächlich durch IDF aufgezeichneten Rotordurchflüge verglichen. Dieser Ansatz erfolgt in Anlehnung an die Methode von SCHAUB *et al.* (2020).
- Ausgehend von der mittels IDF ermittelten Aufenthaltsdauer von Rotmilanen im Windpark wird unter Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Aktivität in Rotorhöhe die erwartete Aufenthaltsdauer in den Rotorscheiben ermittelt. Unter Verwendung der Dauer eines einzelnen Rotordurchfluges kann hieraus ein Erwartungswert an Rotordurchflügen ermittelt werden, der wiederum mit den beobachteten Werten verglichen werden kann. Dieser Ansatz folgt Schritt 1 des sog. Band Modells zur Quantifizierung des Kollisionsrisikos (siehe Kapitel 5.2.1).

3.2.2.1 Verifizierung der Rotmilanidentifikation

Die Sicherstellung der korrekten Klassifizierung durch die beiden IDF-Systeme ist für das vorliegende Projekt von zentraler Bedeutung, da das Projekt die vertiefende Untersuchung speziell der Art Rotmilan im Windpark-Bereich zum Betrachtungsgegenstand hat. Grundlage sind die von IDF gespeicherten Fotos, die für die sekundlich erfassten Datenpunkte vorliegen. Es erfolgte ein manuelles Nachbestimmen derjenigen Fotos, die von IDF als Red-or-Black Kite³

³ IDF sortiert Rot- und Schwarzmilan aufgrund ihrer morphologischen Ähnlichkeit und ihres ähnlichen Flugverhaltens in dieselbe Zielkategorie.

klassifiziert wurden, um zu gewährleisten, dass die nachfolgenden Analysen nur mit tatsächlichen Rotmilanflügen durchgeführt wurden (Beispiel in Abbildung 23).

Die manuellen Nachbestimmungen der Fotos wurden mit Hilfe eines selbstständig entwickelten Software-Tools entwickelt. Dieses Software-Tool ermöglichte es, jeweils die von IDF als Track zusammengefassten Datenpunkte bzw. Bilder gesammelt zu bewerten und entweder die Klassifikation als Rotmilan zu bestätigen oder dem Track eine neue Klassifikation zuzuordnen.

Da Datenpunkte als Track zusammengefasst werden, die zeitlich sowie räumlich nah aneinander liegen und eine ähnliche Flugrichtung aufweisen, kann es vorkommen, dass IDF Flugbahnen verschiedener Vögel zu einem Track zusammengefasst hat, wenn die Individuen dicht beieinander geflogen sind. Diese vermischten Tracks wurden bei der Bewertung der Klassifizierung den detektierten Vögeln entsprechend aufgeteilt.

Für die Auswertung zum Flugverhalten der Rotmilane wurden lediglich diejenigen Tracks herangezogen, welche anhand der Fotos sicher als Rotmilan-Track nachbestimmt werden konnten.



Abbildung 23: Beispiel für korrekte Klassifizierung eines Tracks als Red-or-Black Kite
Zusammengesetzter Track mit Bildern beider IDF-Systeme

3.2.2.2 Wetter- und Zeitparameter / Modelle

Die Variablen für die Modellierung des Einflusses von Wetter- und Zeitparameter auf das Flugverhalten wurden nach den folgenden Kriterien ausgewählt:

- Ein biologischer Zusammenhang zwischen dem Flugverhalten der Rotmilane und der Variable erscheint sinnvoll:
 - Tageszeit: Ein Einfluss der Tageszeit allgemein aufs Aktivitätsniveau ist in Telemetriestudien belegt (HEUCK *et al.* 2019b; PFEIFFER & MEYBURG 2022) und plausibel. Der Tagesverlauf könnte darüber hinaus mit dem Auftreten von Thermik durch Sonneneinstrahlung verbunden sein, was höhere Flughöhen zur Folge haben könnte.
 - Windgeschwindigkeit: Ein Einfluss der Windgeschwindigkeit auf Flughöhen ist in Telemetriestudien belegt (HEUCK *et al.* 2019b; PFEIFFER & MEYBURG 2022) und plausibel. Darüber hinaus könnten im Gebiet Hangaufwinde für Steigflüge genutzt werden. Die Windrichtung ist hingegen für die hier verfolgten Fragestellungen nicht von Belang.
 - Brutphase: Die Brutphase sollte Einfluss auf das Aktivitätsniveau der Brutvögel haben, z.B. aus Gründen der Nahrungsbeschaffung für die Jungtiere. Zusätzlich könnten ausfliegende Jungvögel das Aktivitätsniveau insgesamt anheben.
- Die Variablen korrelieren wenig bis gar nicht untereinander. Zwischen relativer Tageszeit und Brutphase lässt sich eine Korrelation bereits a priori ausschließen. Die Variable Windgeschwindigkeit wurde auf eine Korrelation mit den Faktoren Tageszeit und Brutphase getestet. Der stärkste Zusammenhang wurde zwischen der Brutphase Brutzeit und der Windgeschwindigkeit festgestellt. Hier beträgt der Pearson-Korrelationskoeffizient 0,14, was am unteren Limit einer schwachen Korrelation (0,1 – 0,3) liegt (COHEN 1988). Für alle weiteren liegen Korrelationskoeffizienten kleiner $|\pm 0,09|$ vor. Ein Vorliegen von Kollinearität zwischen den Variablen kann daher mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden (gemäß Daumenregel von $< |\pm 0,9|^4$). Insgesamt liegen daher gute Vorraussetzungen vor, per multipler Regression die Effekte der Variablen voneinander trennen zu können. Dies gilt z.B. nicht oder nur eingeschränkt für die Sonnenscheindauer und die Temperatur, die beide von der Brutphase beeinflusst werden können.
- Vorgaben für temporäre Betriebseinschränkungen von WEA als Schutzmaßnahme sind anhand der Variablen technisch (einfach) möglich. Dies gilt nicht für Niederschlag und Sichtweite, da deren Einfluss auf die Flugaktivität mittels Kamerasystemen nicht beurteilt werden kann (fehlende Detektionen bei Niederschlag und geringer Sichtweite können sowohl auf mangelnder Flugaktivität als auch auf mangelnder Kameraleistung beruhen).

⁴ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>; abgerufen am 20.12.2022

Datenvorbereitung:

- Als Aktivitätsmesswert wurde pro 10 Minuten-Intervall die Anzahl von Messpunkten in Rotorhöhe (± 10 m) berechnet. Diese Berechnung wurde separat pro IDF-System vorgenommen, da die Systeme unterschiedliche Räume beobachteten, zwischen denen sich das Aktivitätsniveau unterscheiden kann. Da sich aber die Erfassungsräume der beiden IDF-Systeme teilweise überlappen, sind gleichzeitige Doppelerfassungen im Datensatz möglich, was zu einer Überschätzung der Sicherheit der Modellergebnisse führen kann.
- Die Tageszeit wurde berechnet als Prozent der Tageslänge, die seit Sonnenaufgang verstrichen ist (Auflösung 10 %-Schritte).
- Die Windgeschwindigkeit wurde pro 10 Minuten-Intervall als Median der minütlichen Messungen (in Rotorhöhe) aller WEA im Windpark berechnet.
- Die Brutphaseneinteilung wurde entsprechend HEUCK *et al.* (2019b) vorgenommen:
 - Brutzeit 15. April – 19. Mai
 - Aufzuchtzeit 20. Mai – 30. Juni
 - Nachbrutzeit 01. Juli – 30. September

In das Modell flossen somit Mess- und Zählwerte aus 21.805 10 Minuten-Intervalle ein (IDF-System 1: 9.740, IDF-System 2: 12.065).

Da in 91,3 % der 10 Minuten-Intervalle keine Rotmilanaktivität in Rotorhöhe detektiert wurde, lag ein sehr hoher Anteil von Null-Zählwerten vor. Aus diesem Grund wurde ein Zero-Inflated-Negative Binomial Modell (R-Package glmmTMB) verwendet. Dieser Modelltyp arbeitet zweiteilig. Das Zero-Inflation-Modell schätzt den Einfluss der Modellvariablen auf die Wahrscheinlichkeit keine Aktivität aufzuzeichnen (Auftretenswahrscheinlichkeit). Das Zählwertemodell (mit negativer Binomialverteilung) schätzt den Effekt der Modellvariablen auf die Höhe der Zählwerte (Aufenthaltsdauer).

Modellformel Zählwertemodell:

Anzahl Rotmilanmesspunkte $\sim$ Tageszeit + Windgeschwindigkeit + Brutphase + IDF System

Modellformel Zero-Inflation:

Wahrscheinlichkeit keine Rotmilanmesspunkte aufzuzeichnen $\sim$ Tageszeit + Windgeschwindigkeit
+ Brutphase + IDF System

Da die Modellresiduen nur in geringem Ausmaß zeitlich autokorreliert waren (Pearson Korrelationskoeffizient = 0,108; Konfidenzintervall = 0,095 – 0,122) wurde die daraus resultierende Überschätzung der Sicherheit der Modellvorhersagen als vernachlässigbar betrachtet und nicht gesondert adressiert.

3.2.2.3 Flughöhe

Für die Berechnung der Flughöhenverteilung wurden nur Messpunkte aus dem repräsentativ untersuchten Raum verwendet, damit die Wahrscheinlichkeit, Rotmilanflugaktivität aufzuzeichnen, in allen Höhenschichten gleich ist (vgl. Kapitel 3.2.1.4). Pro Rotmilanmesspunkt wurde anhand eines Geländemodells (DGM1 Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation 2012) die Flughöhe über Grund ermittelt. Insgesamt 330.636 Rotmilanmesspunkte aus 8.021 Flugbahnen standen für die Berechnung zur Verfügung, was bei der durchschnittlichen sekundlichen Messpunkt-Taktung einer kontinuierlichen Erfassungsdauer von ca. 91 h 51 min entspricht.

Da der repräsentativ untersuchte Raum eine Halbkugel um das IDF-System bildet, verteilt sich das betrachtete Erfassungsvolumen nicht gleichmäßig über die verschiedenen Höhenschichten, sondern nimmt mit zunehmender Höhe kontinuierlich ab. Deshalb wurde pro Höhenschicht die Anzahl der Rotmilanmesspunkte durch das Erfassungsvolumen in der jeweiligen Höhe dividiert, um einen Dichtewert zu erhalten.

Um ggfs. Hinweise auf systematische Erfassungsfehler, wie beispielsweise eine sichtbedingte Unterrepräsentation sehr niedrig oder sehr hoch fliegender Rotmilane, zu erhalten, wurde die gleiche Auswertung anhand der für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Telemetriedaten repliziert. Der betrachtete Raum wurde zu Vergleichszwecken gleichgesetzt, indem nur Telemetriedaten verwendet wurden, die horizontal maximal 500 m von einem der IDF-Standorte entfernt waren. Für die Berechnung der Verteilung standen insgesamt 9.843 Telemetrie-Messpunkte aus 57 Flugbahnen zur Verfügung. Messpunkte sitzender Vögel wurden zuvor ausgeschlossen. Bei 934 Messpunkten wurden negative Höhen über Grund gemessen (242 davon < 5 m ü.N.N.). Zu Darstellungszwecken wurden diese auf 0 gesetzt. Eine Korrektur nach Erfassungsvolumen musste für die Telemetriedaten nicht vorgenommen werden, da die Aufzeichnungswahrscheinlichkeit per Telemetrie-Sender höhenunabhängig ist.

3.2.2.4 Meideverhalten – Aktivitätsdichte

Das Meideverhalten von Vögeln gegenüber WEA (englisch: avoidance rate) wird üblicherweise in drei Betrachtungsebenen unterteilt (COOK *et al.* 2014; MERCKER *et al.* 2023):

- Makro-Avoidance: großräumige Meidung des gesamten Windparks (bei Greifvögeln nicht oder nur in geringem Maße gegeben),
- Meso-Avoidance: Vermeidung der Annäherung an die WEA innerhalb des Windparks,
- Mikro-Avoidance: kleinräumiges Ausweichen gegenüber der Rotorscheibe.

Mit der nachfolgend beschriebenen Methode wird vorrangig die sog. Meso-Avoidance, d.h. die Vermeidung der Annäherung an die WEA innerhalb des Windparks, untersucht. Die tatsächliche Verhaltensreaktion des Vogels gegenüber dem Rotor kann jedoch, je nach Annäherungsdistanz, auch Elemente der Mikro-Avoidance beinhalten. Nicht abgebildet wird hingegen die Makro-Avoidance, d.h. derjenige Anteil an Vögeln, die aus Meidungsgründen gar nicht erst in den Windpark hineingeflogen sind.

Als Maß für die Meso-Avoidance gegenüber den WEA-Rotoren wird die Aktivitätsdichte in Abhängigkeit von der radialen Distanz zum WEA-Rotor betrachtet. Zu diesem Zwecke wurde pro IDF-Rotmilanmesspunkt im repräsentativ beobachteten Erfassungsvolumen (vgl. Kapitel 3.2.1.4) die minimale radiale Distanz zu einem WEA-Rotor berechnet. Die jeweilige Ausrichtung der WEA-Rotoren wurde aus der minutlichen Dokumentation (10-minütig bei den Telemetrie-Daten aus 2020-21) der WEA-Betriebsdaten ausgelesen. Infolge dieser Berechnung wurde der Datensatz auf Messpunkte in ≤ 250 m radialer Distanz zu einer WEA zugeschnitten (183.291 Messpunkte, 7.375 Flugbahnen, entspricht 50 h 55 min kontinuierlicher, sekundlicher Aufzeichnungsdauer).

Anschließend wurde pro 10 m Distanzklasse zum WEA-Rotor die Anzahl der Rotmilanmesspunkte gezählt. Die Zählwerte wurden weiter differenziert nach dem Betriebsstatus der WEA, eingeteilt in Rotorstillstand (0 U/min), eine langsame (< 4 U/min) und eine schnelle Rotordrehgeschwindigkeit (≥ 4 U/min, vgl. Abbildung 34), um eine dadurch entstehende Beeinflussung der Meidung darstellen zu können. Zusätzlich wurden die Zählwerte in Höhenschichten unterteilt, da es plausibel erscheint, dass die Meidereaktion sich höhenabhängig unterscheidet. Für die grafische Darstellung im Histogramm wurde eine Einteilung in drei Höhenschichten gewählt (unterhalb der Rotorhöhe, auf Rotorhöhe, oberhalb der Rotorhöhe).

Abschließend wurden durch Dividieren der Zählwerte durch das Volumen der jeweiligen Distanzklasse im Erfassungsraum (Abbildung 55 und Abbildung 56) Dichtewerte berechnet, die ein zwischen den Distanzklassen vergleichbares Aktivitätsmaß darstellen.

Die gleiche Berechnung und grafische Darstellung wurde mit den Telemetriedaten wiederholt (4.922 Messpunkte, 33 Flugbahnen, entspricht 1 h 22 min kontinuierlicher, sekundlicher Aufzeichnungsdauer). Der Vergleich der beiden Messmethoden soll helfen, die Ergebnisse der deutlich umfangreicheren IDF-Erfassung zu plausibilisieren bzw. Hinweise auf potenzielle systematisch Erfassungsfehler liefern.

Zusätzlich zur grafischen Darstellung der Aktivitätsdichte pro Distanz-, Höhenklasse und Betriebsstatus wurde mittels einem linearen Regressionsmodells (R-Package stats) pro Höhenklasse (in Relation zur Nabenhöhe, unterteilt in 20 m-Schritten) der Effekt der Distanz zum Rotor auf die Aktivitätsdichte vorhergesagt. Dies bietet die Möglichkeit einer feiner differenzierten Betrachtung des etwaigen Meideffektes. Zu diesem Zweck wurde das repräsentativ untersuchte Erfassungsvolumen in Zellen jeweils 8.000 m³ großer Würfel (20 m Kantenlänge) eingeteilt. Pro Würfelvolumen wurde die Anzahl der Rotmilanmesspunkte ermittelt sowie die Zugehörigkeit zur Höhen- bzw. Rotordistanzklasse. Diese Werte flossen in ein lineares Modell mit folgender Formel ein:

$$\text{Anzahl Rotmilanmesspunkte} \sim \text{Höhenklasse in Relation zur Nabenhöhe} + \text{Distanzklasse zum Rotor} \\ + \text{Höhenklasse in Relation zur Nabenhöhe: Distanzklasse zum Rotor}$$

Das Modell berechnet somit pro Kombination von Höhenklasse und Distanzklasse einen separaten Schätzwert. Da das Modell pro Distanzklasse einen Wert vorhersagt, wurde der Verlauf der Werte anschließend zu Darstellungszwecken geglättet, um die Sprünge zwischen den Klassen zu überbrücken und so die Betrachtung zu erleichtern. Die Glättung wurde mittels penalised spline regression in einem Generalised Additive Model berechnet (R-Package mcgv).

Abschließend wurde anhand der Modellvorhersagen pro Höhenklasse die Meiderate berechnet. Die basierte auf der Annahme, dass die Distanzklasse, die am weitesten von den WEA-Rotoren entfernt ist, einen nicht durch Meidung beeinflussten Dichteschätzwert abbildet (Erwartungswert), während die Distanzklasse, welcher dem WEA-Rotor am nächsten ist, ein Ergebnis der Meidung der WEA-Nähe darstellt (Beobachtungswert). Die Formel für die Berechnung lautet:

$$\frac{\text{Erwartungswert} - \text{Beobachtungswert}}{\text{Erwartungswert}}$$

3.2.2.5 Rotordurchflüge - Simulation

Als Rotordurchflug wurde gewertet, wenn zwei aufeinanderfolgende Messpunkte auf unterschiedlichen Seiten des Rotors lagen, während sich ihre Orthogonalprojektionen auf die Rotorscheibe beide in Rotorreichweite (≤ 41 m Distanz zur Nabe) befanden. Eine zusätzliche Berücksichtigung einer gewissen Messungenauigkeit ist nicht erforderlich, da diese zu einer Streuung der Messwerte in alle Richtungen führt. Einen größeren Radius anzusetzen wäre nur dann sinnvoll, wenn die Messungenauigkeit systematisch Messpunkte weiter entfernt vom Rotor platzieren würde.

Das Ziel der nachfolgend beschriebenen Methode mittels Simulation von Rotordurchflügen ist die integrierte Quantifizierung der Meiderate, die auf spontanem Ausweichverhalten und kleinräumiger Meidung der Rotorscheibe (Mikro-Avoidance) sowie der Meidung der Anlagennähe (Meso-Avoidance) beruht.

Die Umsetzung erfolgt angepasst nach SCHAUB *et al.* (2020) durch einen Vergleich tatsächlicher Flugbahnen mit Rotordurchflügen (Beobachtungswert) mit simulierten Flugbahnen mit Rotordurchflügen, die ein WEA-unabhängiges Flugverhalten abbilden sollen (Erwartungswert):

1. Auswahl geeigneter Tracks, die folgende Mindestkriterien erfüllen (IDF: 2.034 Flugbahnen, Telemetrie: 81 Flugbahnen):
 - a. Mindestens ein Messpunkt muss in < 150 m radialer Distanz zu einer WEA liegen (um sicherzustellen, dass eine Beeinflussung der Flugbahn durch die WEA bestehen könnte)
 - b. Mindestlänge 30 s (die weitere Länge ist variabel)
 - c. Kontinuierliche Aufzeichnung: keine Unterbrechungen > 3 s (damit evtl. stattgefunden Rotordurchflüge nicht übersehen werden)
2. Berechnung der durchschnittlichen Anzahl beobachteter Rotordurchflüge pro aufgezeichneter Flugbahn (**Beobachtungswert**)
3. Simulation (Beispieldarstellungen in Abbildung 24):
 - a. Jede der rd. 2.000 verwendeten realen Flugbahnen wird in 1 m-Schritten orthogonal zur ihrer Flugrichtung (gemessen von Trackanfang bis -ende) um 0 m-200 m nach rechts bzw. nach links verschoben. So entstehen 401 parallel verlaufende simulierte Flugbahnen, deren Verlauf und Lage weiterhin im räumlichen Zusammenhang mit dem darunter liegenden Gelände steht (Abbildung 24).
 - b. Aufgrund der Hanglage wird der Höhenunterschied (über Grund) zwischen realer und simulierter Flugbahn ausgeglichen, indem die simulierte Flugbahn um die Differenz der durchschnittlichen Höhen angehoben bzw. abgesenkt wird (so liegen die simulierten Flugbahnen in einer realistischen Höhe).
4. Berechnung der durchschnittlichen Anzahl von Rotordurchflügen in den simulierten Flugbahnen (Anzahl Rotordurchflüge / Anzahl simulierter Flugbahnen = **Erwartungswert**)
5. Berechnung der Meiderate:

$$\frac{(\text{Erwartungswert} - \text{Beobachtungswert})}{\text{Erwartungswert}}$$

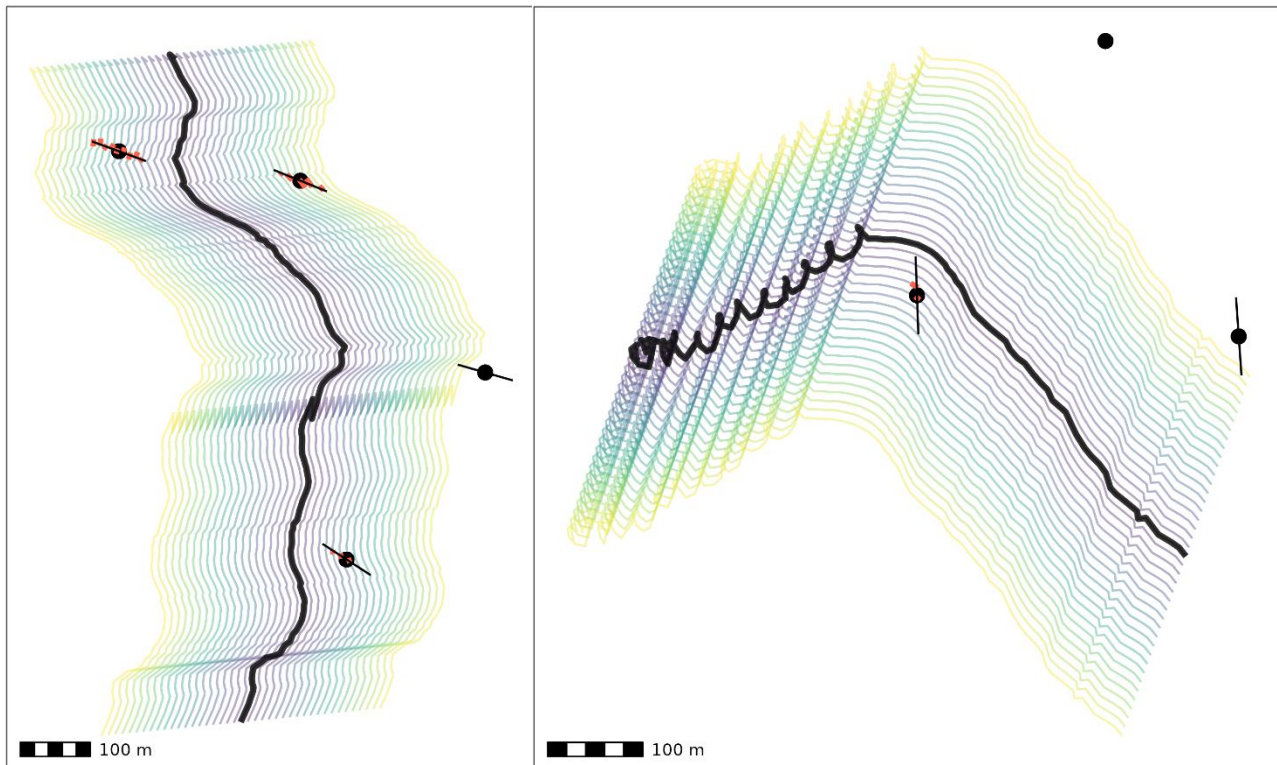


Abbildung 24: Beispiele simulierter Flugbahnen. Dargestellt sind, farblich unterschieden, 25 simulierte Flugbahnen. Diese wurden generiert, indem die schwarz abgebildete reale Flugbahn jeweils um eine zufällig gewählte Distanz zwischen 1 m und 200 m in eine zufällige Richtung verschoben wurde. Die WEA sind als schwarze Punkte dargestellt, die Rotorstellung zum Aufzeichnungszeitpunkt als schwarzer Strich. Alle Flugbahnsegmente, die durch den Rotor verlaufen, sind rot eingezeichnet.

3.2.2.6 Rotordurchflüge – Band Modell

Um einen weiteren Vergleich zur per Simulation der Rotordurchflüge ermittelten Meiderate zu erhalten, wurde mit der Methodik des Schrittes 1 im Band-Modell (BAND *et al.* 2007) berechnet, mit wie vielen Rotordurchflügen bei einer gleichmäßigen Verteilung der Aktivität in Rotorhöhe zu rechnen wäre (zur generellen Erläuterung der Schritte des Band-Modells siehe Kapitel 5.2.1.1). Der Vergleich dieses Erwartungswertes mit der beobachteten Anzahl von Rotordurchflügen liefert eine weitere Näherung der Meiderate, die ebenso Meso- und Mikro-Avoidance berücksichtigt.

Die Schätzung der erwarteten Anzahl von Rotordurchflügen erfolgt in Stufe I des Band-Modells. Dabei wird die Aktivität, welche in einem Risikovolumen (hier Rotorhöhe ± 10 m, 200 m horizontale Distanz zur WEA) gemessen wurde, anteilmäßig auf den Raum verteilt, in dem ein Kollisionsrisiko für den Rotmilan besteht. Basierend auf diesem Aktivitätsmaß wird, unter Annahme einer durchschnittlichen Aufenthaltsdauer im Kollisionsrisikobereich, die erwartete Anzahl von Rotordurchflügen geschätzt. Hier ist zu berücksichtigen, dass keines der Risikovolumina der WEA im Park vollständig von den IDF-Systemen beobachtet werden konnte.

Die Aktivitätsmessung stellt somit nur eine Stichprobe der Aktivität in diesem Raum dar. Da die Beobachtungen der Rotordurchflüge auf der gleichen Stichprobe basieren, ist die auf diesem Wege geschätzte Anzahl erwarteter Rotordurchflüge mit der beobachteten Anzahl direkt vergleichbar.

Die Berechnung wurde in den folgenden Schritten, pro WEA, durchgeführt:

1. Berechnung des Risikovolumens: (Rotorhöhe $\pm$ 10 m, max. horizontale Distanz zur WEA-Nabe 200 m):

$$V_w = \text{Pufferradius}^2 * \pi * \text{Pufferhöhe} = (200 \text{ m})^2 * \pi * 102 \text{ m} \\ = 12.817.698 \text{ m}^3$$

2. Berechnung des Volumens, das vom Rotor durchstreift wird, bzw. das Volumen, in dem ein Rotmilan von einem Rotor getroffen werden könnte:

$$V_f = \pi * \text{Rotorradius}^2 * (\text{max. Rotorbreite} + \text{Rotmilanlänge}) \\ = \pi * (41 \text{ m})^2 * (3,6 \text{ m} + 0,65 \text{ m}) \\ = 22.444,32 \text{ m}^3$$

3. Berechnung der aufgezeichneten Aktivität pro Risikovolumen:

$$n = \text{Anzahl Rotmilanmesspunkte im Risikovolumen}$$

4. Berechnung des Anteils der Aktivität, der bei gleichmäßiger Verteilung in der Rotorzone läge:

$$n_{\text{rotor}} = n / (V_f / V_w)$$

5. Berechnung der Zeit, die ein Rotmilan bräuchte, um vollständig durch den Rotor zu fliegen (Aufenthaltsdauer im Rotorbereich):

$$t = (\text{Rotorbreite} + \text{Rotmilanlänge}) / \text{durchschnittliche horizontale Fluggeschwindigkeit} \\ = (3,6 \text{ m} + 0,65 \text{ m}) / 9,2 \text{ m/s} = 0,46 \text{ s}$$

6. Berechnung der Anzahl erwarteter Rotordurchflüge:

$$n_{\text{rotor}} / t$$

Die in Schritt 5 berechnete Aufenthaltsdauer im Rotorbereich stellt eine Minimalschätzung dar, da ihr die kürzest mögliche Strecke durch den Rotor zugrunde liegt. Deshalb wurde anhand der Beobachtungen der Rotorflüge (Kapitel 3.3.3.6) eine maximale Aufenthaltsdauer von 2 s ermittelt. Die Berechnungen, basierend auf den unterschiedlichen angenommenen Aufenthaltsdauern, werden in der Ergebnisdarstellung einander gegenübergestellt.

3.2.2.7 Fluggeschwindigkeit

Durch die Fluggeschwindigkeit kann die Zeitdauer bestimmt werden, die der Vogel in einer bestimmten Entfernung zur WEA benötigt, um von der Seite bzw. von unten oder oben in den Rotorradius zu fliegen bzw. wie lange es dauert, bis der Vogel den Rotorbereich durchflogen hat.

Für die Berechnung der Fluggeschwindigkeit des Rotmilans wurden pro IDF-Track – d.h. der Gesamtheit aller Datenpunkte, die IDF einem einzelnen Flugobjekt zuordnet – nur Datenpunkte mit max. 1,5 s und min. 0,5 s zeitlichem Abstand verwendet. Hierdurch sollte sichergestellt werden, dass für die Geschwindigkeitsberechnung nur ausreichend präzise und zusammenhängende Flugbahnen verwendet wurden. Die Bewegung des Vogels zwischen den einzelnen Datenpunkten konnte somit als geradlinig angenommen werden, auch wenn die Flugbahn des Vogels in der Summe (alle Datenpunkte des Tracks werden verbunden) bspw. eine Kreisform beschreibt (Abbildung 25).

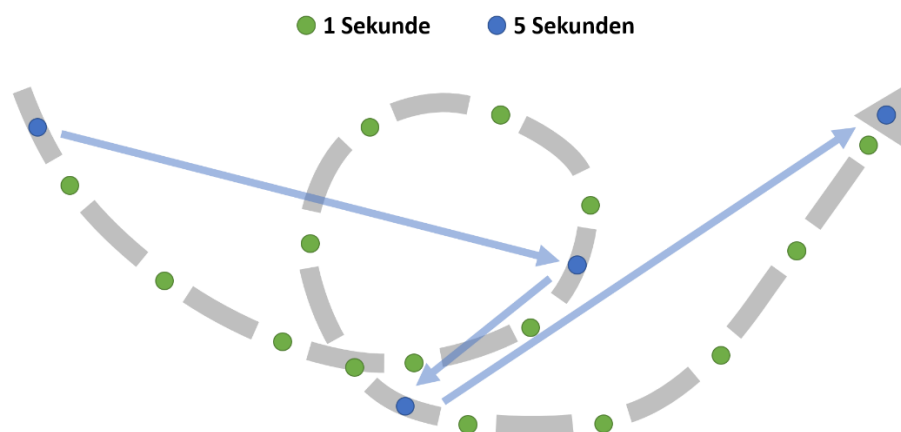


Abbildung 25: Schematische Skizze einer Flugbahn zur Veranschaulichung der Berechnung der Fluggeschwindigkeit.

Die graugestrichelte Flugbahn wird sekundlich (grüne Punkte) oder alle 5 Sekunden (blaue Punkte) erfasst. Die blauen Pfeile zeigen die direkte Strecke zwischen den blauen Messpunkten; diese bildet jedoch nicht den tatsächlich zurückgelegten Weg des Vogels ab, weshalb nur Datenpunkte mit max. 1,5 Sekunden Abstand für die Berechnung der Fluggeschwindigkeit verwendet wurden.

Des Weiteren wurden nur Tracks für die Berechnungen verwendet, in denen für die einzelnen Datenpunkte Geschwindigkeiten von $< 40 \text{ m/s}$ (144 km/h) ausgegeben wurden. Bei Geschwindigkeiten $\geq 40 \text{ m/s}$ wurde angenommen, dass es sich hierbei um Sprünge zwischen unterschiedlichen Individuen handelt, die fälschlicherweise von IDF einem einzigen Track zugeordnet wurden oder um sonstige Fehlmessungen. Außerdem wurde versucht, nur möglichst genaue Messungen der Datenpunkte durch IDF zu verwenden, weshalb Punkte in einer radialen Entfernung von mehr als 500 m zu den IDF-Standorten als Berechnungsgrundlage ausgeschlossen wurden.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Da die berechnete Fluggeschwindigkeit aus technischen Gründen zwischen den einzelnen Punkten stark schwanken kann, wurde ein „gleitendes Mittel“ berechnet, welches die Fluggeschwindigkeit jeden Punktes mit den zwei Punkten davor und den zwei Punkten danach mittelt. Diese Methode kommt der tatsächlichen Fluggeschwindigkeit des Vogels durch Herausmitteln der Messfehler von IDF näher.

Auf diese Weise wurden insgesamt 116.332 gemittelte Fluggeschwindigkeiten (32.794 davon in Rotorhöhe) berechnet. Das entspricht mehr als 32,3 h kontinuierlicher, sekundlicher Aufzeichnung (9,1 h in Rotorhöhe), verteilt über 5.446 verschiedene Flugbahnen (1.766 in Rotorhöhe).

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Datengrundlage sowie zeitliche und räumliche Abdeckung

3.3.1.1 IdentiFlight

Insgesamt wurden am Untersuchungsstandort im Zeitraum vom 21.04.2022 bis zum 15.09.2022 von den beiden IDF-Systemen 1.297.048 Datenpunkte detektierter Flugobjekte aufgezeichnet (mit und ohne Foto). Davon wurden 497.433 Datenpunkte von IDF als „Red-or-Black Kite“ und 2.276 Datenpunkte als „Protected“ klassifiziert.

Zu beachten ist, dass IDF nicht zu jedem Datenpunkt ein Foto hinterlegt bzw. abspeichert. Bei Datenpunkten ohne Bild handelt es sich um die Erfassungen des Flugobjekts durch die Weitwinkelkameras (ohne Distanzmessung). Je nach zu prüfender Fragestellung wurde daher auf die Datengrundlage aller Datenpunkte oder nur eingeschränkt auf die Datengrundlage von Datenpunkten mit Fotos zurückgegriffen. Auf die jeweils verwendete Datengrundlage wird entsprechend hingewiesen.

Von den 1.082.383 Datenpunkten mit Foto wurden für die Verifizierung der Rotmilanklassifizierung 504.367 nachbestimmt. Für die Auswertung des Flugverhaltens von Rotmilanen standen infolge der manuellen Durchsicht der aufgenommenen Bilder insgesamt 11.427 Flugbahnen von Rotmilanen zur Verfügung, die sich aus 396.206 Messpunkten (365.175 davon mit Bild) zusammensetzen. Dies entspricht etwa einer kontinuierlichen, sekundlichen Aufzeichnung von 101,4 Stunden.

Abgesehen von den Ausfallzeiten (siehe Kapitel 2.2) erfolgte eine weitgehend kontinuierliche Zielartendetektion. Rotmilane wurden am Untersuchungsstandort über den gesamten Erfassungszeitraum detektiert. Die meisten Daten stammen aus den Monaten Juni und Juli, auch die tägliche Aufzeichnungsdauer an Rotmilan-Flügen lag während dieser Monate meist über dem Durchschnitt (Abbildung 26).

Hinsichtlich der räumlichen Abdeckung sind Sichtverschattungen durch teilweise ansteigendes Gelände sowie durch Gehölzstrukturen und die aus Datenschutzgründen vorgenommenen Maskierungen der Wegebereiche zu berücksichtigen. Dies führt dazu, dass sehr niedrige Flüge nur zu einem geringeren Anteil erfasst werden konnten. Auch die vorhandenen WEA führten zu geringfügigen Sichtverschattungen (Abbildung 28).

Hinsichtlich der horizontalen Verteilung der von IDF detektierten Rotmilane zeigt sich eine grundsätzlich gleichmäßige Erfassung in alle Himmelsrichtung und unplausible Erfassungslücken sind nicht erkennbar. Erkennbar sind Aktivitätsschwerpunkte nördlich, östlich und westlich um die IDF-Systeme (Abbildung 27).

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

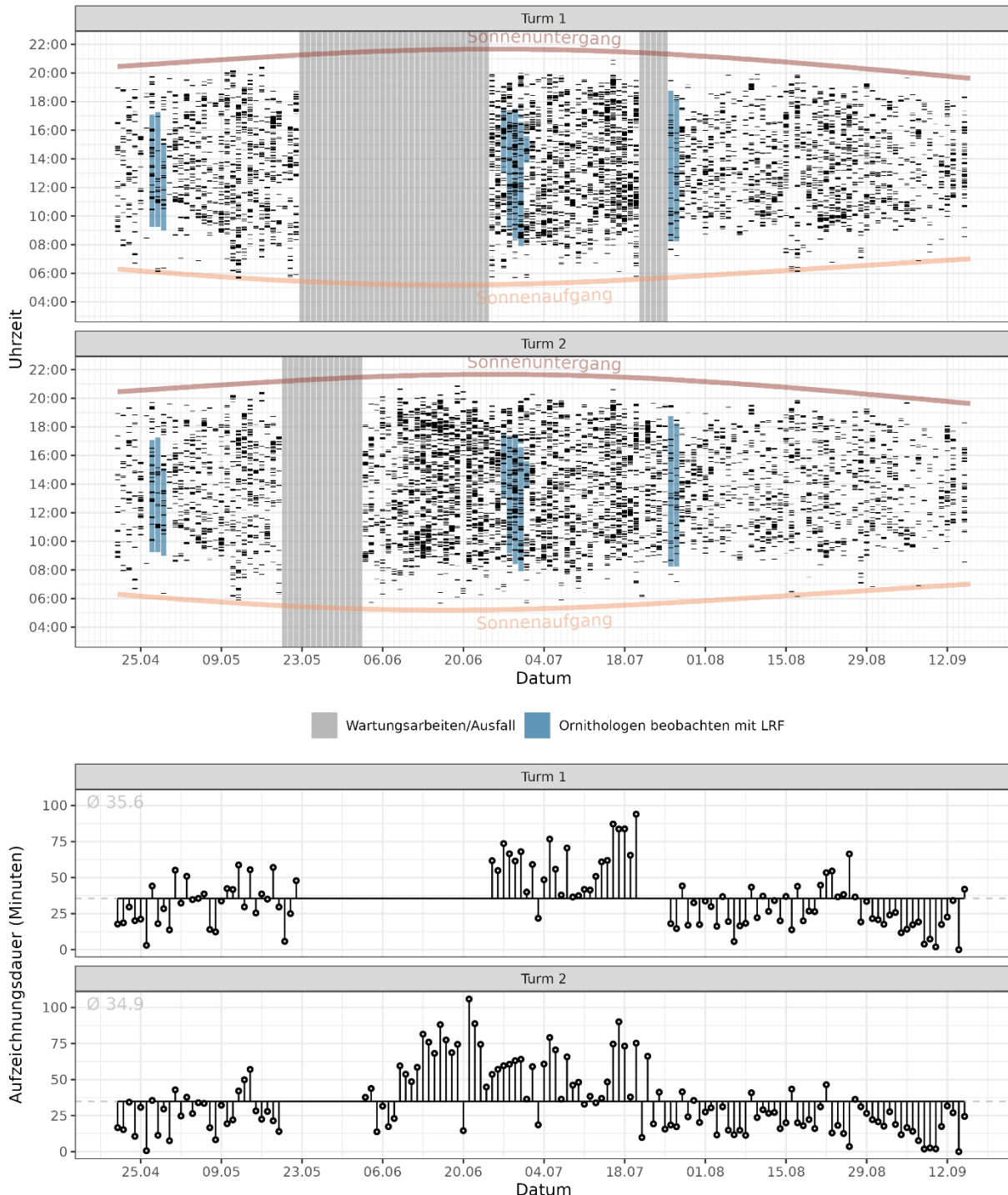


Abbildung 26: Zeitliche Verteilung sowie tägliche Aufzeichnungsdauer von (nachbestimmten) Rotmilan-Flugbahnen am Untersuchungsstandort

Oben: Gespeicherte Dateneinträge von IDF sind für jeden Tag als schwarze Linien gekennzeichnet. Blau markiert sind die Zeiten für die LRF-Erfassungen; Systemausfälle sind grau gekennzeichnet. Unten: Die mittlere Aufzeichnungsdauer der Zielart-Flugbahn pro Tag ist als grau gestrichelte Linie gekennzeichnet bzw. auf der Y-Achse angegeben. Die jeweiligen Tageswerte sind als Abweichung vom Mittelwert dargestellt. Datengrundlage: 396.206 Datenpunkte mit und ohne Foto

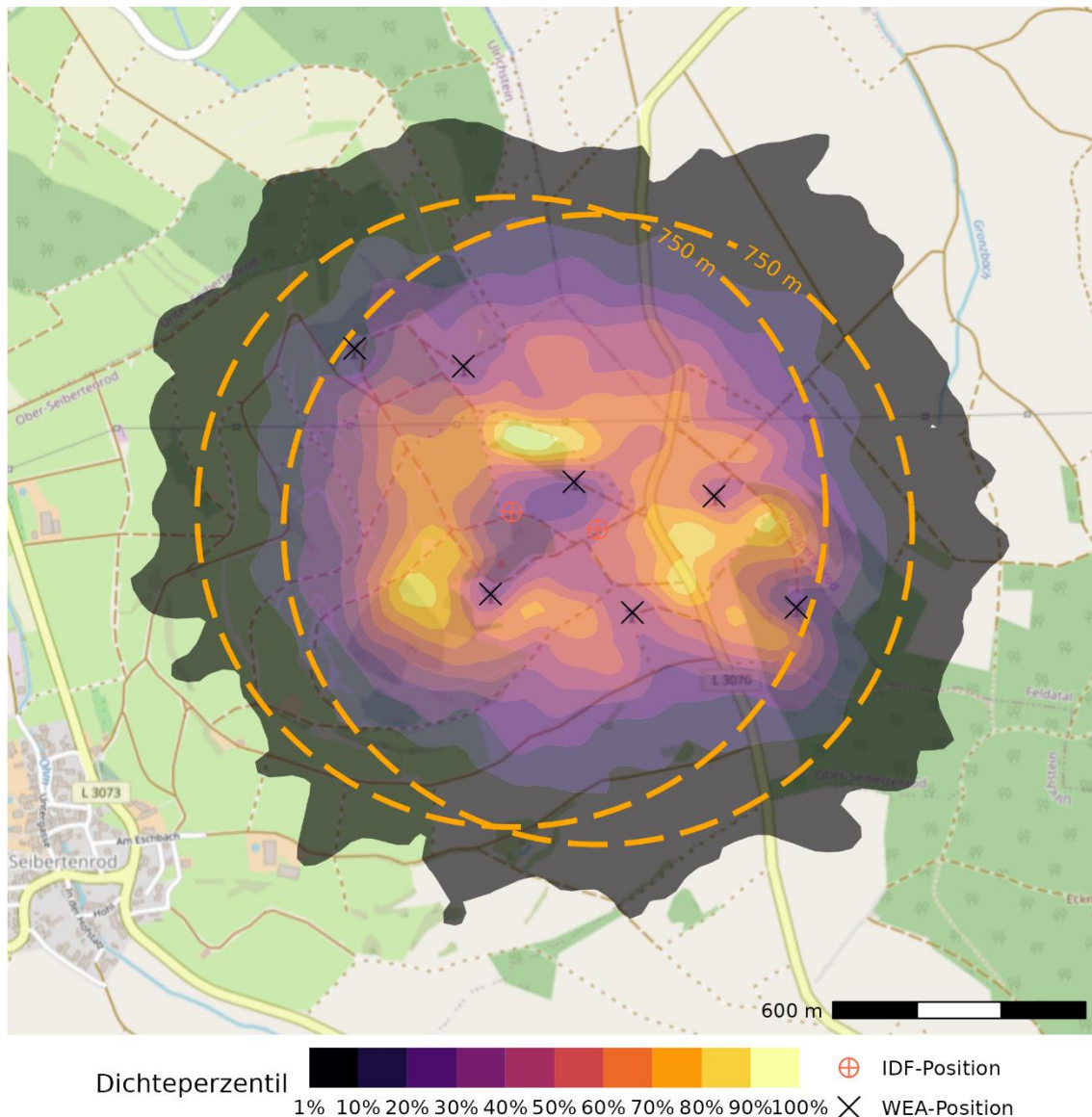


Abbildung 27: Räumliche Verteilung der von IDF erhobenen und nachbestimmten Rotmilanpositionen.
Dargestellt ist die Kerndichteschätzung verorteter Rotmilane. Je heller die Farbe desto mehr Rotmilan-Datenpunkte wurden von IDF erfasst. Der Farbverlauf ist kumulativ zu lesen, so dass 50 % der Datenpunkte in den Bereichen erfasst wurden, die die Farben von 1 % bis 50 % aufweisen.

Die Aktivitätsverteilung in dieser Karte erweckt den Eindruck einer Konzentration der Verortungen zwischen den WEA. Sie ist jedoch u.a. beeinflusst von dem Sichtbereich der Weitwinkelkameras (max. 64° Steigungswinkel), der Detektionswahrscheinlichkeit von Rotmilanen (nimmt ab 550 m geringfügig ab), den Maskierungen in niedrigen Sichtbereichen und der Überlagerung der Beobachtungsräume der IDF-Systeme (manche Bereiche werden nur von einem System beobachtet, manche von beiden Systemen). In der späteren Analyse zur Aktivitätsdichte in Abhängigkeit von der Distanz zum WEA-Rotor werden diese unterschiedlichen Flächenabdeckungen berücksichtigt.

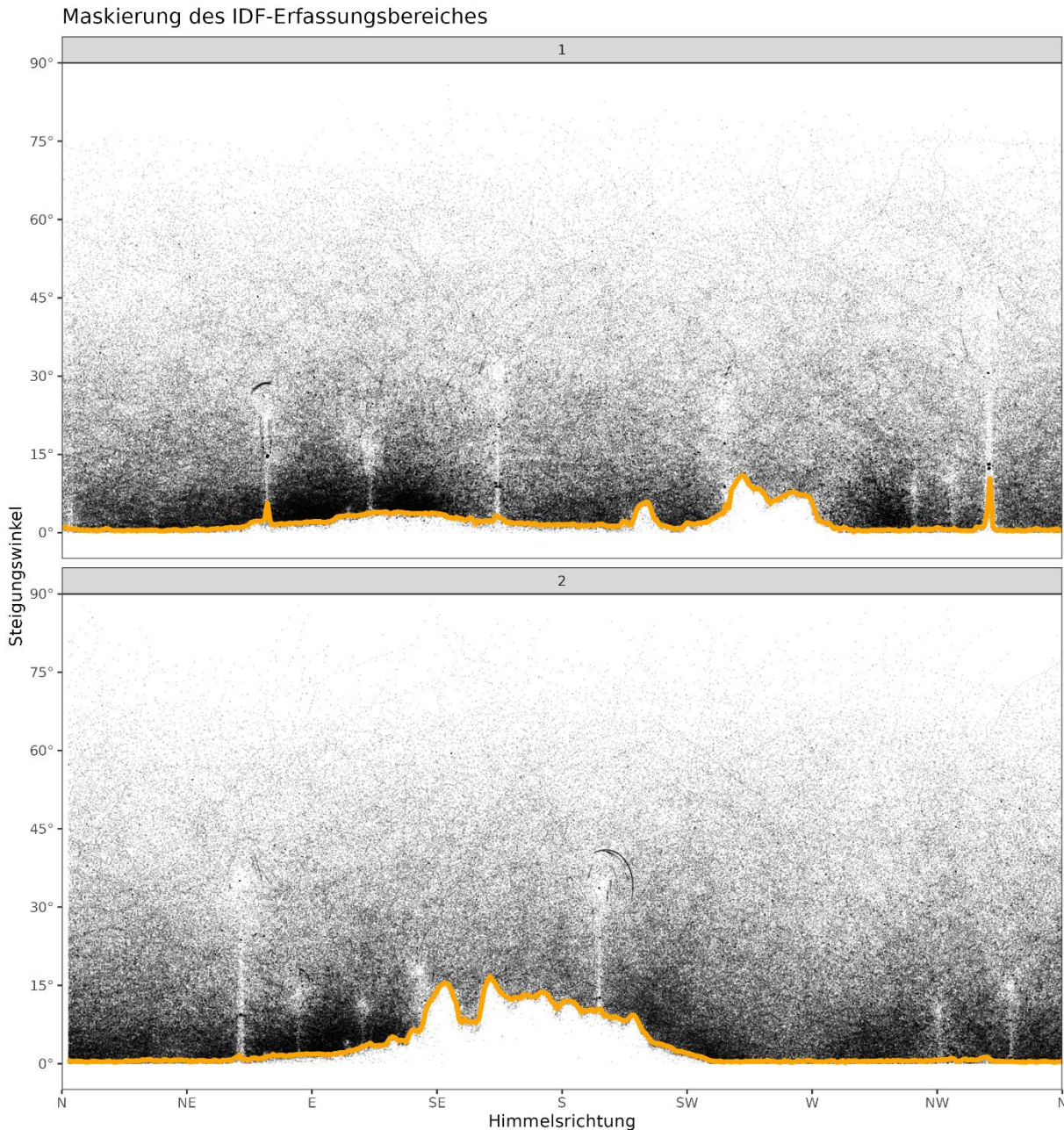


Abbildung 28: Verteilung der von dem jeweiligen IDF-System erhobenen Messpunkte am Untersuchungsstandort nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel.

Dargestellt sind sämtliche von IDF aufgezeichnete Messpunkte ($n = 1.03.864$) bzgl. Himmelsrichtung und Steigungswinkel, unterteilt nach IDF-System. Messpunkte, die per Nachbestimmung der Bilder keinen Vögeln zugeordnet wurden (z.B. Bilder von Vegetation, WEA-Befeuerungen oder Rotorblättern) sind nicht dargestellt. Da nur ein Teil der Bilder nachbestimmt wurde, verbleiben trotzdem Messpunkte in der Darstellung, die nicht von Vögeln stammen. Unterhalb der der gelben Linie liegen 2,5% der Messpunkte (pro 1° Himmelsrichtung berechnet).

Die IDF-Systeme sind grundsätzlich zur Detektion und zum Tracking von Rotmilanen fähig im Luftraum, der sich in maximal 750 m radialer Distanz zur Kamera, unterhalb 64 ° Steigungswinkel (Kapitel 3.3.2.1) sowie oberhalb der maskierten niedrigen Bereiche (Abbildung 28) liegt. In Abbildung 29 ist dieser Raum pro IDF-System in unterschiedlichen Höhenschichten visualisiert.

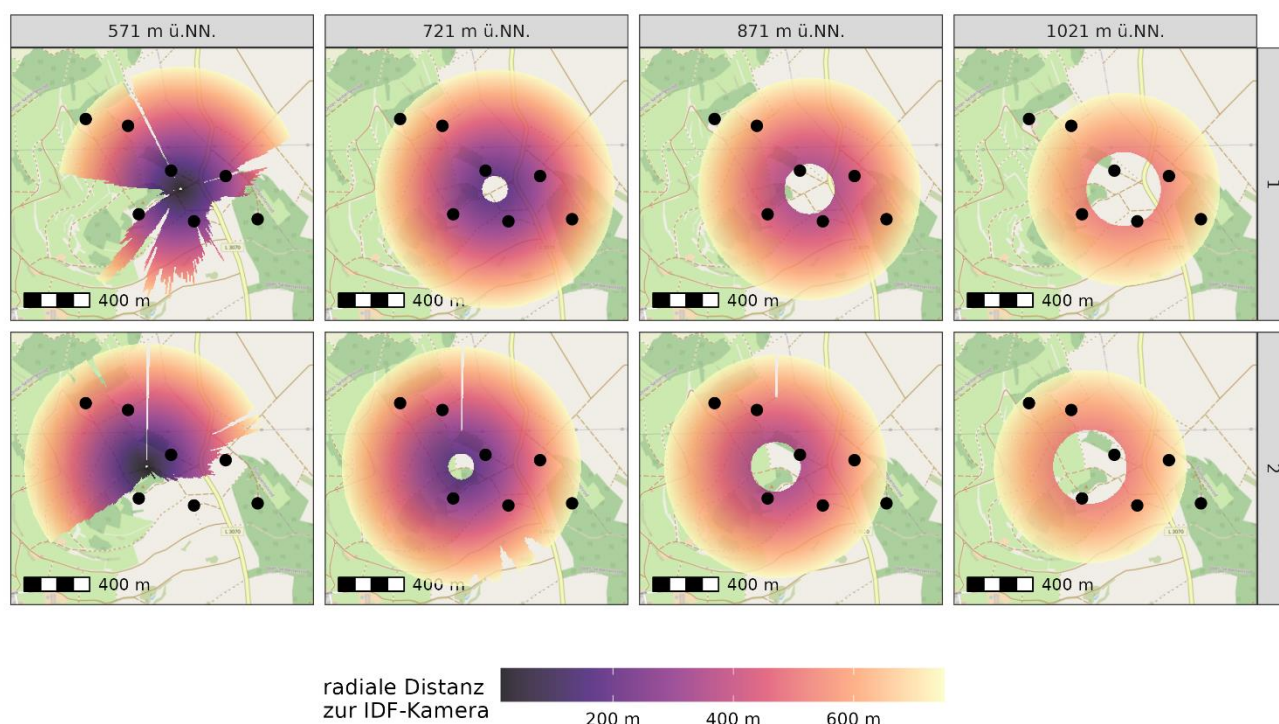


Abbildung 29: Kartendarstellung des Raumes, in dem die IDF-Systeme sowohl zur Erstdetektion als auch zum Tracking von Rotmilanen fähig waren. Die Distanz des Raumes zur IDF-Kamera ist farblich kodiert. Die Darstellung ist unterteilt nach Höhenschichten (Spalten) und IDF-System (Zeilen). Der IDF-Standort befindet sich jeweils im Zentrum der Karte. Die WEA-Standorte sind als schwarze Punkte abgebildet. Berücksichtigt wurden für diese Darstellung die maximale radiale Detektionsdistanz von 750 m, der maximale Steigungswinkel, in dem Detektionen erfolgen können (64 °) sowie die Maskierungen in niedrigen Bereichen.

Für einige der Fragestellungen ist es jedoch relevant, Messungen zu verwenden, deren Verteilung im Raum repräsentativ für die Verteilung der Gesamtaktivität ist. Daraus ergibt sich die Bedingung, dass im beobachteten Raum die Detektions- und Aufzeichnungswahrscheinlich gleichmäßig verteilt sein muss. Da die Detektionswahrscheinlichkeit ab radialen Distanzen von 550-600 m abzunehmen scheint (vgl. Abbildung 27), wurde, wenn nötig, der oben beschriebene beobachtete Raum weiter auf 500 m radiale Distanz zur IDF-Kamera eingegrenzt.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Die Auswertung des von IDF gespeicherten Fotomaterials lässt eine grobe Abschätzung der Anzahl an Individuen zu, die zu der ermittelten Flugaktivität beigetragen haben. Eine Unterscheidung der Individuen ist i.d.R. nur anhand temporärer Mauserlücken möglich und daher entsprechend eingeschränkt. In einer beispielhaften Auswertung der Aufnahmen vom 17.08.2022 lassen sich auf diese Weise mind. acht an diesem Tag anwesende Individuen anhand der Mauserzustände von Schwanz und Flügeln unterscheiden. Auf der Grundlage der Sichtung des Gesamtmaterials sowie der Eindrücke aus der Vor-Ort-Erfassung mittels LRF wird jedoch die Anzahl an verschiedenen Individuen über den Untersuchungszeitraum insgesamt mind. doppelt so hoch geschätzt. Die aufgezeichneten Daten stammen somit wahrscheinlich nur zu einem kleineren Teil von dem örtlichen Brutpaar, dessen Horst sich ca. 800 m nördlich des Windparks befand (siehe Abbildung 3).



Abbildung 30: Beispielhafte Darstellung verschiedener Rotmilane am 17.08.2022.
Die beiden nicht mausernden Tiere (3. oben, 4. unten) konnten nur anhand der gesamten aufgezeichneten Flugbahn unterschieden werden.

3.3.1.2 Laser Rangefinder

Die Aufnahme von Referenzdaten für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der IDF-Systeme mittels LRF erfolgte am Untersuchungsstandort an insgesamt 10 Tagen für in Summe 108 h Stunden im Zeitraum vom 27.04.2022 bis 27.07.2022, wobei teilweise zwei Teams – ein Team pro IDF-System – parallel im Einsatz waren. Die tägliche Beobachtungsdauer variierte aufgrund von Schlechtwetter-Ereignissen; sie betrug durchschnittlich je Team 10,8 h pro Tag. Die Erhebungsphasen bewegten sich schwerpunktmäßig in der Zeit der typischerweise höchsten Flugaktivität des Rotmilans zwischen 09.00 Uhr und 18.00 Uhr. Es wurden in Summe 263 Rotmilan-Tracks mit dem LRF erfasst.

Zu jedem LRF-Track wurden zusätzlich die Artzugehörigkeit sowie weitere Besonderheiten, wie gleichzeitig anwesende Vögel oder das Verhalten des Zielvogels, protokolliert. Die Erfassung erfolgte pro IDF-System stets mit zwei Personen, wovon eine den LRF bediente und die andere Person den Luftraum beobachtete sowie die Daten protokollierte. Außerdem erfolgte stündlich eine Verifizierung der Kalibrierung des LRF anhand von Referenzpunkten.

In Abbildung 31 sind alle Rotmilan-Flugwege, die mittels Laser Rangefinder während des Erfassungszeitraums aufgezeichneten werden konnten, dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die meisten Flugbahnen in einem quer verlaufenden Bereich von Südost nach Nordwest erfasst wurden. Ebenfalls deutlich wird dieser Erfassungsschwerpunkt in Abbildung 32, wie bereits auch bei der Betrachtung der IDF-Kameradaten (Abbildung 27).

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

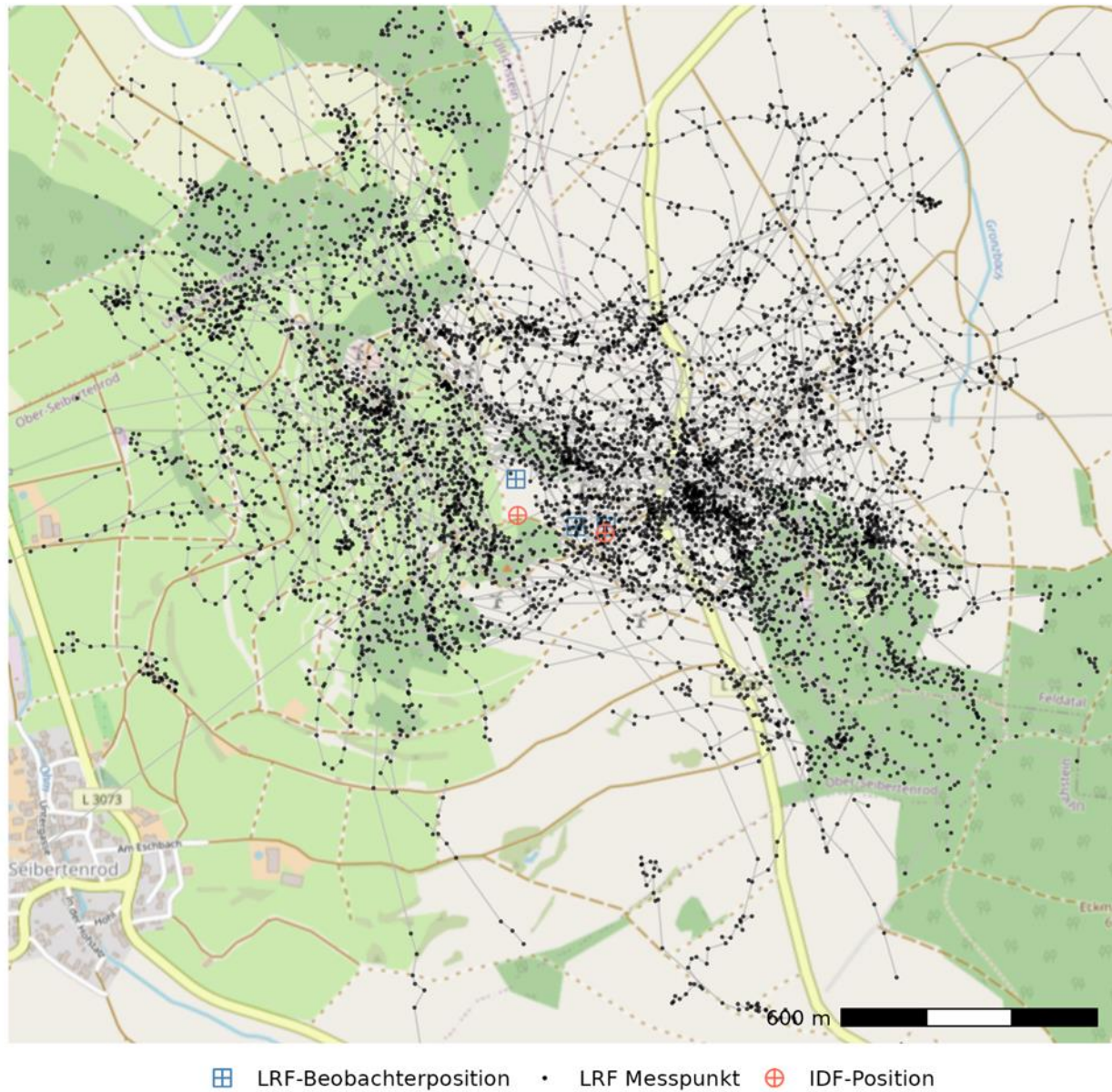


Abbildung 31: Summarische Darstellung aller mittels LRF aufgezeichneter Rotmilan-Flugwege.
Dargestellt sind die erfassten Rotmilan-Flugwege von allen Beobachtungstagen zusammen.

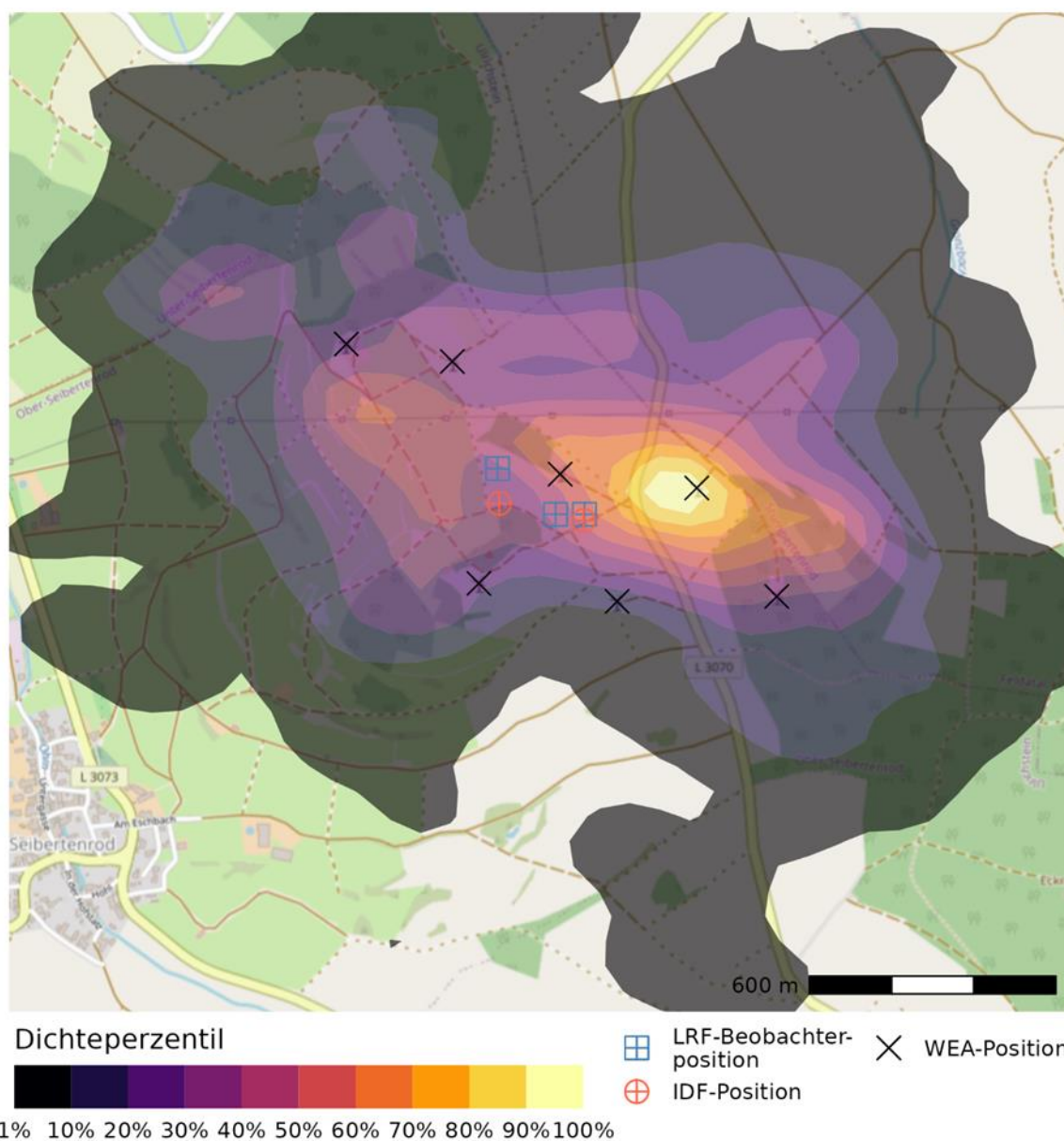


Abbildung 32: Räumliche Verteilung der mittels LRF erhobenen Rotmilane.

Dargestellt ist die Kerndichteschätzung verorteter Rotmilane. Je heller die Farbe desto mehr Rotmilan-Datenpunkte wurden von den Beobachtern dort mit dem LRF erfasst. Der Farbverlauf ist kumulativ zu lesen, so dass 50 % der Datenpunkte in den Bereichen erfasst wurden, die die Farben von 1 % bis 50 % aufweisen.

3.3.1.3 Telemetrie

Aus dem ebenfalls vom HMWEVW beauftragten Parallelvorhaben zur Besenderung weiterer Rotmilane in Hessen wurden vom Auftragnehmer, dem Technischen Büro Raab, Telemetriedaten im Umkreis von 500 m um den Windpark „Auf der Platte“ für ergänzende Auswertungen zur Verfügung gestellt. Zusätzlich zu Daten aus 2022 konnten für den Sendervogel Noah, der bereits für die Studie von HEUCK *et al.* (2019b) besendert worden war, auch Daten aus 2019-2021 einbezogen werden. Hieraus ergab sich eine Datengrundlage von 57 Flugbahnen mit knapp 10.000 Messpunkten (Tabelle 3).

Tabelle 3: Stichprobengröße Telemetrie.

Aufgelistet ist, wie viel Flugbahnen und Messpunkte von welchem besenderten Rotmilan in welchem Jahr zur Verfügung stand. Unterteilt nach den Referenzräumen < 500 m horizontale Distanz zu einem IDF-Standort, der für die Berechnung der Flughöhen verwendet wurde, und < 250 m Distanz zu einer WEA, der für die Meidungsanalyse ausgewertet wurde.

Jahr	Individuum	< 500 m horizontale Distanz zu IDF			< 250 horizontale Distanz zu einer WEA		
		Anzahl Tage	Anzahl Flugbahnen	Anzahl Messpunkte	Anzahl Tage	Anzahl Flugbahnen	Anzahl Messpunkte
2019	Noah	1	1	256	1	1	216
2020	Noah	23	47	8694	14	27	4517
2021	Noah	4	4	387	2	2	203
2022	Hausneindorf_39	1	1	182	1	1	108
2022	Hausneindorf_40	1	1	30	1	1	8
2022	Hofgeismar_03	2	2	165	1	1	96
2022	Lützendorf_02	1	1	129	1	1	96
Gesamt		33	57	9843	21	34	5244

Nach Eliminierung aller Messpunkte von sitzenden Rotmilanen standen noch 9.843 Messpunkte für die Auswertung der Flughöhe in IDF-Reichweite und 5.244 Messpunkte für die Analyse des Meideverhaltens zur Verfügung. Ungefähr 95 % der Messpunkte stammen von einem Individuum, das vor allem im Jahr 2020 an 47 Tagen den Windpark aufsuchte. Erst im Jahr 2022 flogen 4 weitere Individuen durch den Windpark, dies allerdings nur an jeweils ein oder zwei Tagen. Die gesammelte Anzahl von Messpunkten entspricht einem kontinuierlichen sekundlichen Tracking von 2 Stunden und 44 Minuten bzw. 1 Stunde und 27 Minuten.

Am 06.07.2022 erfolgte ein Durchflug eines besenderten Rotmilans, der auch von IDF erfasst wurde. Hierbei zeigt sich eine sehr hohe Übereinstimmung der Lokalisierungen sowie auch der Flughöhen (Abbildung 33). Auf dieser Grundlage wird davon ausgegangen, dass die Telemetriedaten in belastbarer Weise für die Analysen herangezogen werden können. Aufgrund der geringen Stichprobengröße dienen sie im Wesentlichen der Plausibilisierung der Ergebnisse aus den wesentlich umfangreicheren IDF-Daten.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

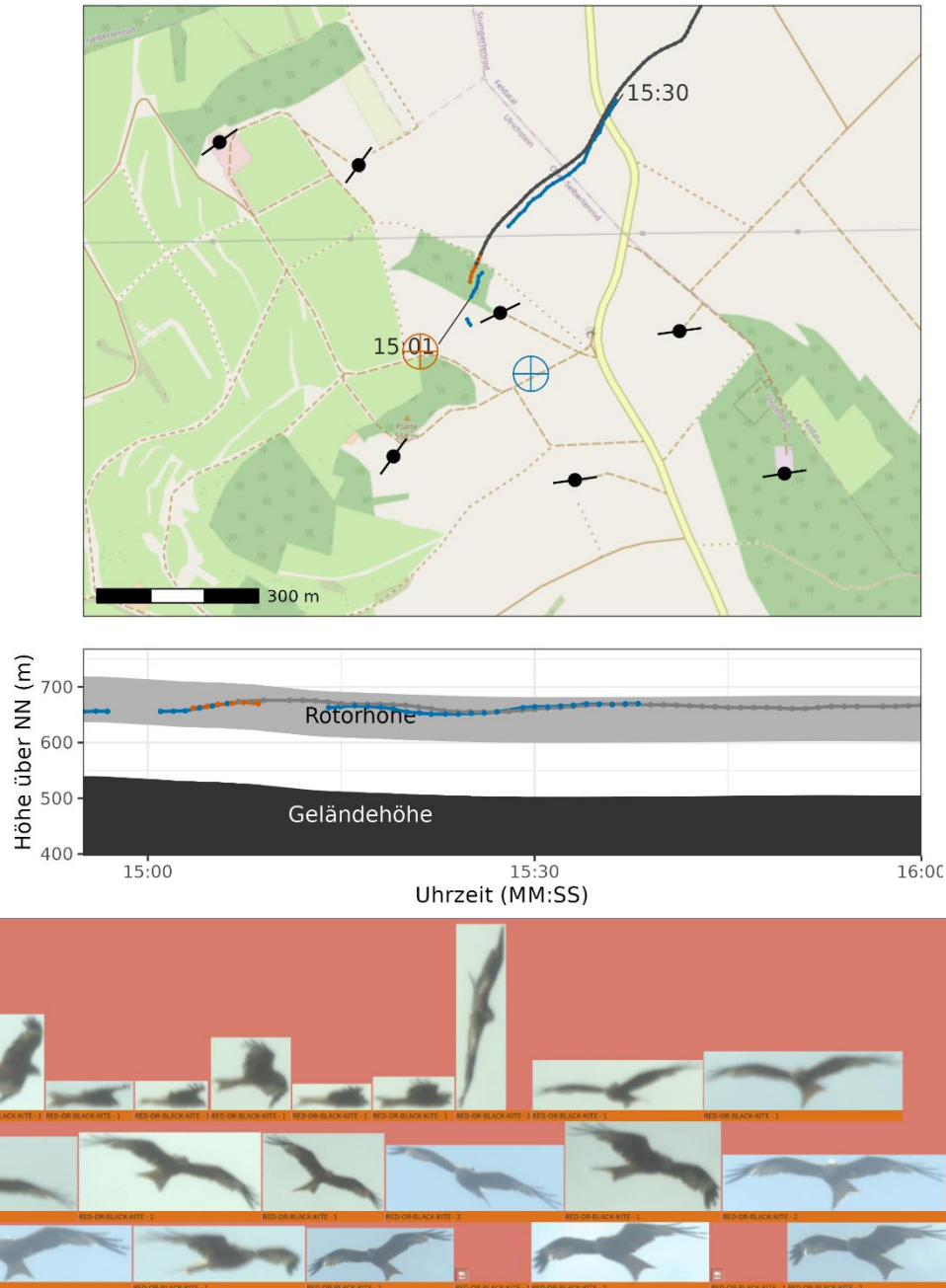
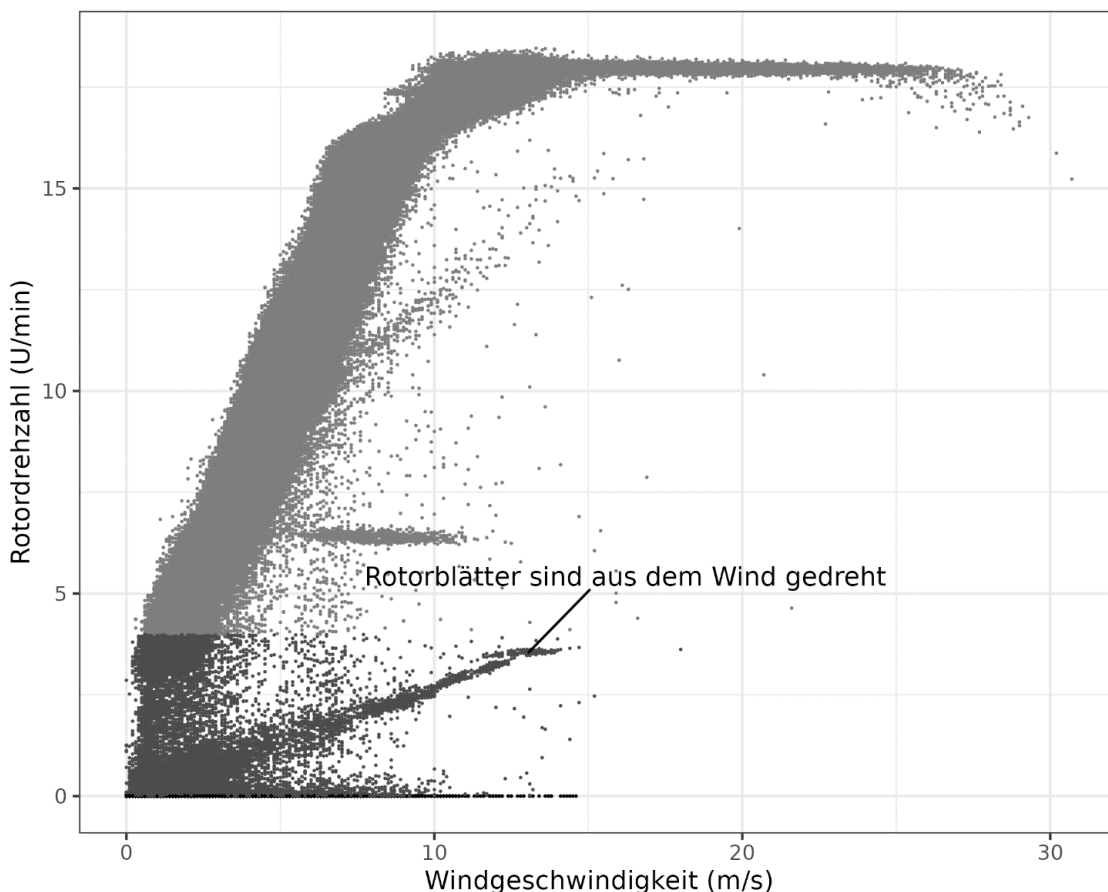


Abbildung 33: Telemetrie- und IDF-Messpunkte des Rotmilans Hausneindorf_40 am 6.7.2022. In der Kartendarstellung sind farblich kodiert die Messpunkte der 2 IDF-Systeme (rot und blau) sowie die eines telemetrierten Rotmilans (dunkelgrau) als Punkte eingetragen. Die Fadenkreuze stellen die jeweiligen Standorte der IDF-Systeme dar. Die WEA sind als schwarze Punkte eingezeichnet. Die zeitgleiche Rotorstellung(en) ist als schwarze Linien dargestellt. Die untere Grafik zeigt den Flughöhenverlauf der Rotmilanflugbahn. Die IDF-Messpunkte sind, gleich wie in der Karte, farblich unterschieden. Zusätzlich wird die Geländehöhe unter den jeweiligen Messpunkten als dunkelgrau unterlegte Fläche dargestellt. Aus der Geländehöhe abgeleitet wird darüber, hellgrau unterlegt, das Höhenband dargestellt, welches vom Rotor der WEA durchstreift wird. Die per Telemetrie erstellten Messpunkte weisen einen Zeitversatz von ungefähr 3 Sekunden zu den Messpunkten der IDF-Systeme auf.

3.3.1.4 WEA-Betriebsdaten

Die Betriebsdatenaufzeichnung für die sieben WEA im Windpark lag für die Jahre 2020 und 2021 in 10-minütlicher Taktung und für das Jahr 2022 zusätzlich in 1-minütlicher Taktung vor. Enthalten waren in der Aufzeichnung Mittelwerte der Windgeschwindigkeit und Temperatur in Nabenhöhe (nur in 10-minütlicher Taktung), die Rotordrehzahl sowie die Nabenausrichtung. Anhand eines Streudiagramms der Rotordrehzahl in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit (Abbildung 34) wurde eine Einteilung des Betriebsstatus der WEA in die 3 Kategorien „Rotor steht still“, „Rotor dreht < 4 U/min“, „Rotor dreht > 4 U/min“ vorgenommen. 4 U/min ist die maximale dokumentierte Rotordrehzahl bei aus dem Wind gedrehten Rotorblättern (Trudelbetrieb).



Betriebsstatus WEA • Rotor steht still • Rotor dreht < 4 U/min • Rotor dreht $\geq$ 4 U/min

Abbildung 34 Streudiagramm der Rotordrehzahl in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit.

Die Einschaltgeschwindigkeit der E-82 liegt bei 2 m/s. Im Normalbetrieb steigt die Rotordrehzahl linear mit der Windgeschwindigkeit bis zur maximalen Rotordrehzahl von 18 U/min bei ungefähr 10 m/s an. Rechts der Kurve des Normalbetriebs ist eine zweite Kurve mit deutlich geringerer Steigung erkennbar. Diese Kurve beschreibt die Beschleunigung des Rotors bei aus dem Wind gedrehten Rotorblättern (Trudelbetrieb).

3.3.2 Leistungsfähigkeit des IDF

3.3.2.1 Erfassungsreichweite

Die Erfassungsreichweite von IDF für die Detektion eines Rotmilans wurde auf Grundlage der korrekt als Milan nachbestimmten Tracks berechnet. Für jeden Track ist der jeweils erste Punkt einer aufgezeichneten Milan-Flugbahn maßgebend. Somit flossen insgesamt 13.370 Milan-Tracks – davon der jeweils erste Detektionspunkt dieser Tracks – in die Auswertung ein. Da die Systeme unabhängig voneinander arbeiten, werden erst im Nachhinein (Post-Processing) ähnliche Flugbahnen zusammengefügt. Dadurch können in einer Flugbahn mehrere Erstdetektion liegen, die hier jeweils separat betrachtet werden.

Zu berücksichtigen ist, dass IDF zumeist mehrere Tracks für das gleiche Individuum anlegt, wenn sich dieses länger im Erfassungsbereich aufhält. Für die Beurteilung der Erfassungsreichweite sind deshalb die Maximal-Werte der ersten Detektionspunkte relevant, da sie die technisch bedingten Fähigkeiten des Systems zeigen. Vor diesem Hintergrund wird in Abbildung 35 und Abbildung 36 ersichtlich, dass der Rotmilan (bzw. Rot-/Schwarzmilan) in deutlich über 750 m radialer Distanz von IDF detektiert wurde.

Ebenfalls deutlich wird die technisch bedingte Limitierung der Weitwinkelkamera. Deren Sichtfeld reicht nur bis zu einem Steigungswinkel 64° , weshalb Vögel, die sich steiler über einem IDF-System befinden, von diesem dort nicht detektiert werden können. Daraus kann abgeleitet werden, dass in diesem Bereich weniger Flugaktivität aufgezeichnet wird, als in den für die Weitwinkelkamera sichtbaren Bereichen. Diese Einschränkung wird, wo relevant, bei den weiteren Auswertungen berücksichtigt. Die Stereokameras hingegen, welche für das auf die Detektion folgende Tracking der Vögel verantwortlich sind, weisen keine Limitierung bezüglich des Steigungswinkels auf. Daher können in diesen Bereichen durchaus Flugbahnen aufgezeichnet werden, insofern die Detektion außerhalb erfolgte. Darüber hinaus wurden die beiden IDF-Systeme so positioniert, dass erst oberhalb der WEA-Rotoren ein kleiner Bereich vorliegt, in dem beiden Systeme keine Erstdetektion möglich ist (vgl. Abbildung 29).

Bezüglich der Dichte der Erstdetektionspunkte ist zum einen eine Häufung in niedrigen Höhen erkennbar. Dies erscheint plausibel, weil dort auch mehr Flugaktivität von Rotmilanen zu erwarten ist. Darüber hinaus ist allerdings eine leichte Abnahme der Dichte ab ungefähr 550 - 600 m erkennbar. Dies ist als Hinweis auf eine abnehmende Detektionswahrscheinlichkeit zu werten, da mit zunehmender radialer Distanz zum IDF-System das beobachtete Raumvolumen zunimmt.

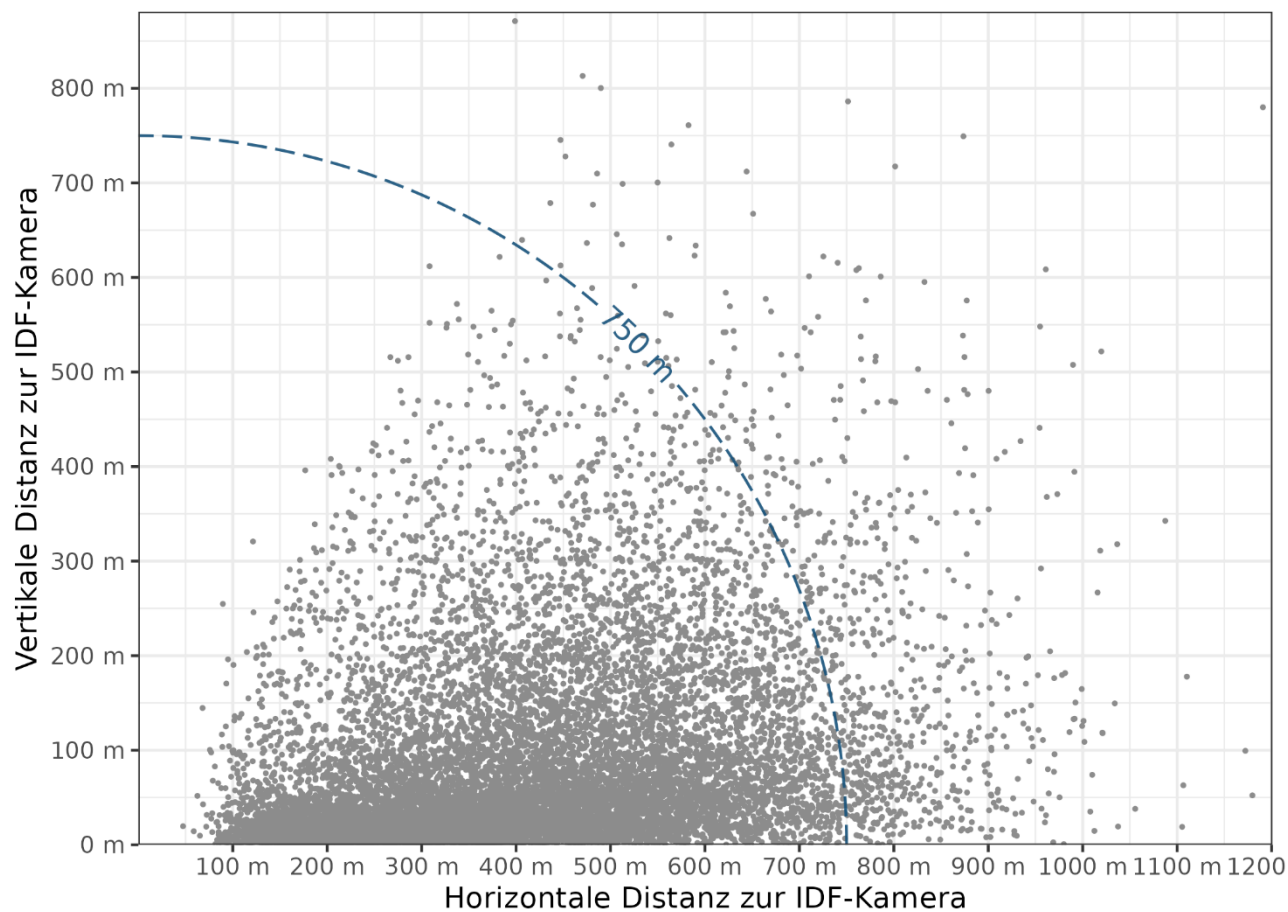


Abbildung 35: IDF-Detektionsdistanz von Rotmilanen (erster Punkt des Tracks)

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

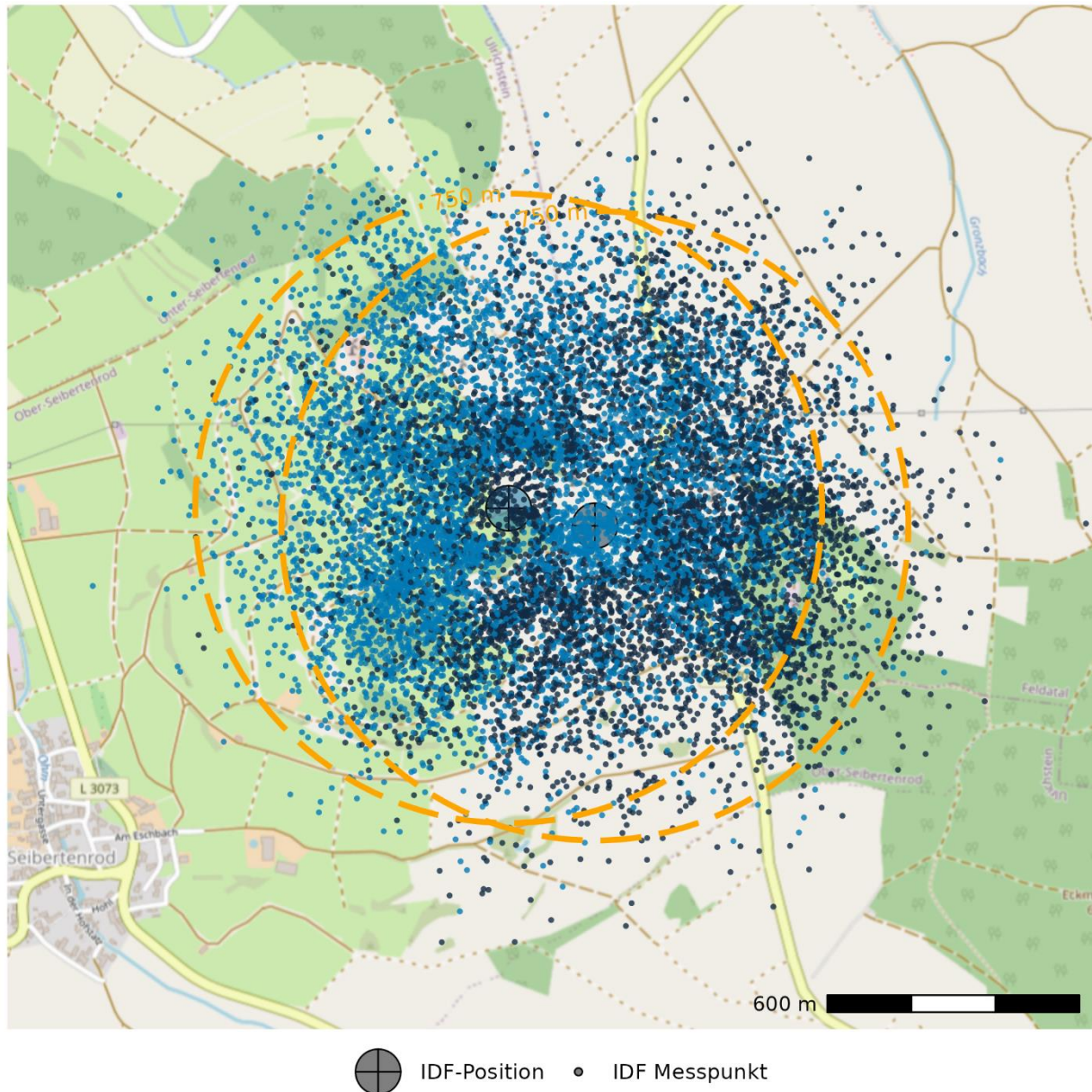


Abbildung 36: Horizontale Verteilung und Distanz des jeweils ersten Detektionspunktes eines nachbestimmten Milan-Tracks zu den IDF-Systemen. Eingetragen sind zusätzlich die 750 m Radien um die IDF-Standorte.

3.3.2.2 Erfassungsrate

Für den Rotmilan konnte innerhalb der 108 Erfassungsstunden ein LRF-Referenzdatensatz von insgesamt 229 Tracks erhoben werden, wobei 34 Tracks – die beide Beobachterteams gleichzeitig erfassten – nur einmal gewertet wurden.

Von den 229 Referenztracks wurden 61 Tracks als „nicht sichtbar“ für IDF bewertet und entsprechend als „ungültig“ eingestuft. Ebenfalls als „ungültig“ bewertet wurden 4 LRF-Tracks, bei denen IDF zeitgleich einen anderen geschützten Vogel verfolgte. Daraus ergibt sich eine LRF-Referenzstichprobe aus insgesamt 164 gültigen Rotmilan-Tracks, wovon in Summe 153 durch IDF ebenfalls detektiert wurden. Die Erfassungsrate beträgt damit 93,3 %.

3.3.3 Flugverhalten von Rotmilanen in WEA-Nähe

3.3.3.1 Flughöhenverteilung

Die IDF-Messungen zeigen ab ca. 30-40 m über dem Boden eine kontinuierliche Abnahme der Aktivitätsdichte mit zunehmender Höhe (Abbildung 37). Unterhalb von 40 m wurde nur wenig Raumvolumen von IDF beobachtet, weshalb die berechneten Mittelwerte auf einer kleinen Stichprobe beruhen und vergleichsweise unsicher sind. Der glatte Kurvenverlauf in höheren Schichten sowie das dort deutlich größere Erfassungsvolumen legen eine robuste Schätzung der dortigen Aktivitätsdichte nahe. Tabelle 4 führt die jeweiligen Anteile der Flugaktivität sowie deren Kumulation mit zunehmender Höhe auf.

Zum Vergleich kann die Höhenverteilung der per Telemetrie gemessenen Rotmilanaktivitätsdichte aus dem Untersuchungsgebiet herangezogen werden (Abbildung 38). Diese beruht zwar auf einer deutlich geringeren Stichprobe, ist aber im Gegenteil zum IDF-System nicht limitiert bezüglich des Erfassungsvolumens in niedrigen Höhenschichten. Hier zeigt sich ebenso eine kontinuierliche Abnahme der Aktivität mit der Flughöhe, dies aber bereits ab 10 m Höhe über dem Grund, was ggf. eine Folge der sehr viel geringeren Stichprobengröße ist. Die Unsicherheit bei niedrigen Flughöhen zeigt sich auch in dem großen Konfidenzintervall in diesem Bereich.

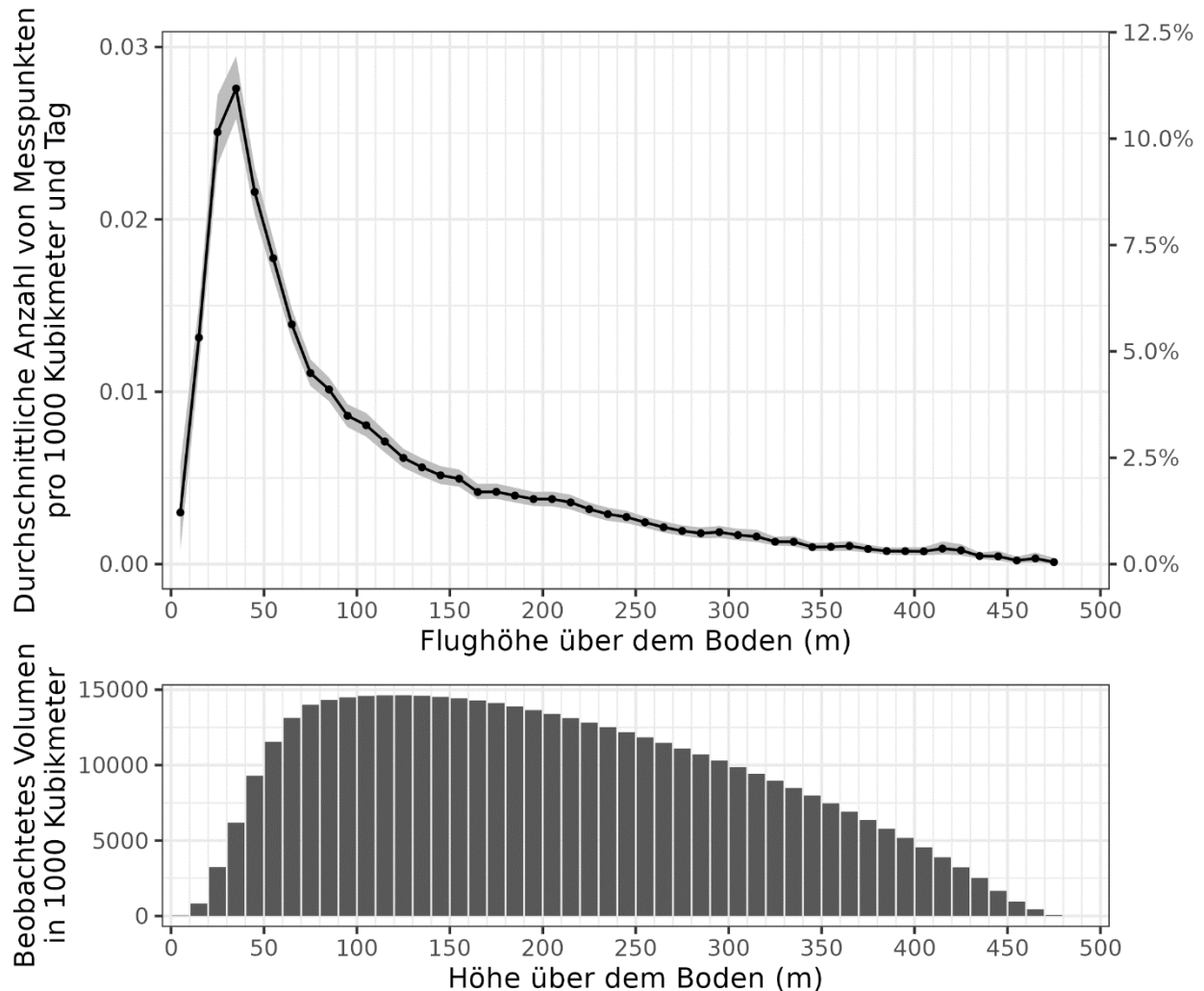


Abbildung 37: Höhenverteilung der Flugaktivität gemessen vom IDF-System. Die obere Grafik zeigt die mittlere tägliche Anzahl von Messpunkten pro 1.000 Kubikmeter (10 m × 10 m × 10 m) in Abhängigkeit von der Höhe über dem Boden. Die schwarze Linie zeigt den gemessenen Mittelwert. Der graue Bereich ist ein durch Bootstrapping berechnetes 95%-Konfidenzintervall und bildet die Sicherheit des jeweiligen Mittelwertes ab. Das Balkendiagramm zeigt das Erfassungsvolumen pro Höhenschicht, das für die Dichteberechnung verwendet wurde. Nur Messpunkte aus dem repräsentativ untersuchten Raum wurden für die Berechnung der Verteilung verwendet, um sicherzustellen, dass die Aufzeichnungswahrscheinlichkeit in allen Höhenschichten gleich ist.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 4: Höhenverteilung der Flugaktivität gemessen vom IDF-System

Höhenklasse	Anteil der Flugaktivität	Kumulativer Anteil der Flugaktivität
0-10 m	1.2%	1.2%
>10-20 m	5.3%	6.5%
>20-30 m	10.2%	16.7%
>30-40 m	11.2%	27.9%
>40-50 m	8.7%	36.6%
>50-60 m	7.2%	43.8%
>60-70 m	5.6%	49.4%
>70-80 m	4.5%	53.9%
>80-90 m	4.1%	58.0%
>90-100 m	3.5%	61.5%
>100-110 m	3.3%	64.8%
>110-120 m	2.9%	67.7%
>120-130 m	2.5%	70.2%
>130-140 m	2.3%	72.5%
>140-150 m	2.1%	74.5%
>150-160 m	2.0%	76.5%
>160-170 m	1.7%	78.2%
>170-180 m	1.7%	79.9%
>180-190 m	1.6%	81.6%
>190-200 m	1.5%	83.1%
>200-210 m	1.5%	84.6%
>210-220 m	1.5%	86.1%
>220-230 m	1.3%	87.4%
>230-240 m	1.2%	88.5%
>240-250 m	1.1%	89.6%
>250-260 m	1.0%	90.6%
>260-270 m	0.9%	91.5%
>270-280 m	0.8%	92.3%
>280-290 m	0.7%	93.0%
>290-300 m	0.8%	93.8%
>300-310 m	0.7%	94.4%
>310-320 m	0.6%	95.1%
>320-330 m	0.5%	95.6%
>330-340 m	0.5%	96.1%
>340-350 m	0.4%	96.6%
>350-360 m	0.4%	97.0%
>360-370 m	0.4%	97.4%
>370-380 m	0.4%	97.7%
>380-390 m	0.3%	98.1%
>390-400 m	0.3%	98.4%
>400-410 m	0.3%	98.7%
>410-420 m	0.4%	99.0%
>420-430 m	0.3%	99.4%
>430-440 m	0.2%	99.5%
>440-450 m	0.2%	99.7%
>450-460 m	0.1%	99.8%
>460-470 m	0.1%	100.0%
>470-480 m	0.0%	100.0%

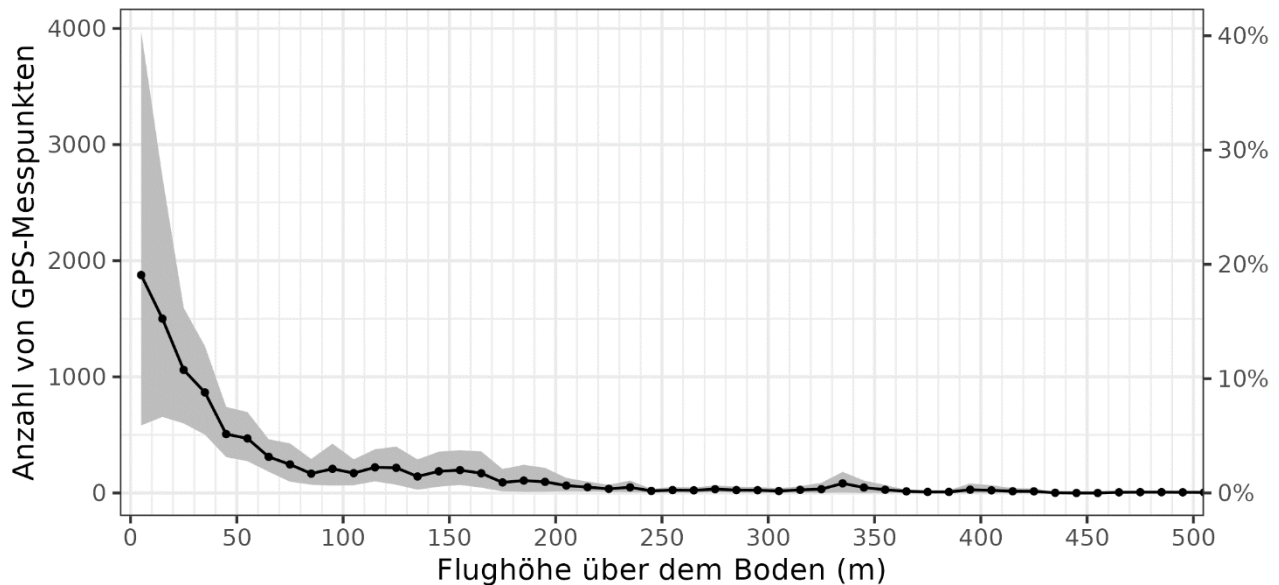


Abbildung 38: Höhenverteilung der Flugaktivität, basierend auf GNSS-Höhenmessungen von besenderten Rotmilanen. Dargestellt ist als schwarze Linie die Anzahl von Messpunkten pro 10-m Höhengschicht über dem Boden. Der graue Bereich ist ein durch Bootstrapping berechnetes 95%-Konfidenzintervall und bildet die Sicherheit des jeweiligen Schätzwertes pro Höhenklasse ab. 934 Messpunkte wiesen eine Flughöhenmessung < 0 m über dem Boden auf und wurden zu Darstellungszwecken auf 0 m über dem Boden gesetzt. Datengrundlage: 9.871 Punkte aus 59 Tracks, verteilt über 5 Individuen. 95% der Punkte und 54 Tracks stammen von einem Individuum (Noah). Entspricht gesamt einer kontinuierlichen Aufzeichnungsdauer von 2 h 45 min.

3.3.3.2 Fluggeschwindigkeit

Der Mittelwert der gemessenen horizontalen Fluggeschwindigkeit liegt bei 9,2 m/s (Abbildung 39). In Rotorhöhe (± 10 m) liegt der Mittelwert geringfügig höher, bei 9,5 m/s (Abbildung 40). Der leichte Anstieg der horizontalen Fluggeschwindigkeit ist größtenteils durch die in Rotorhöhe verringerte Häufigkeit langsamer Fluggeschwindigkeiten bedingt.

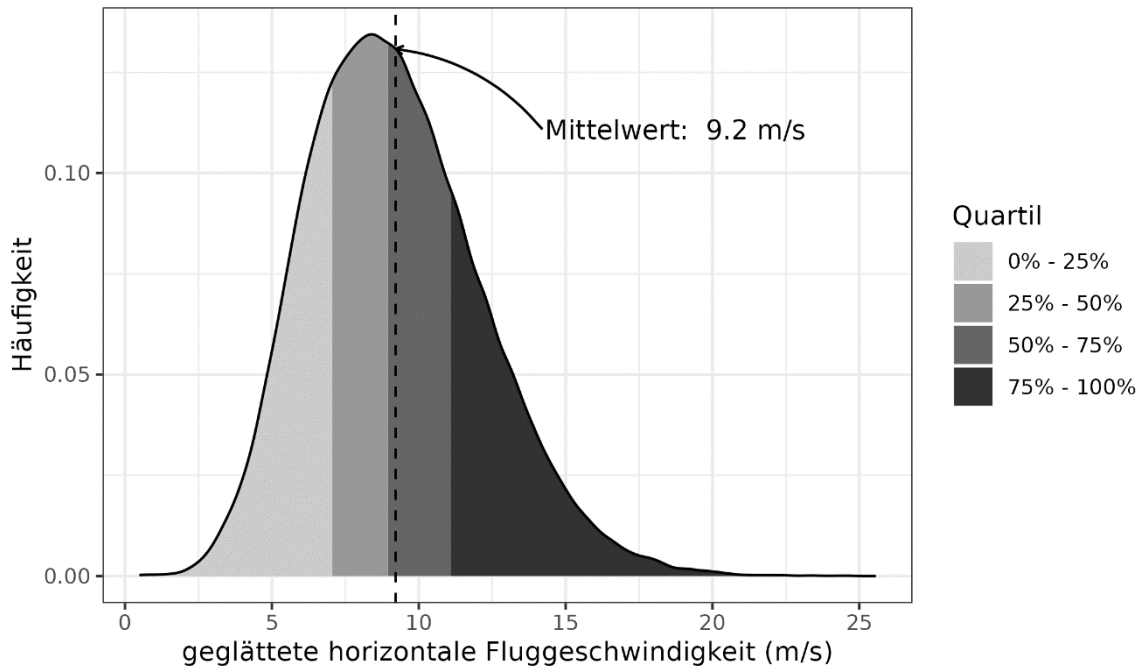


Abbildung 39: Geglättete Verteilung der horizontalen Fluggeschwindigkeit im gesamten Untersuchungsgebiet. Datengrundlage: 116.332 IDF-Messpunkte verteilt über 5446 Tracks (~32 h 19 min kontinuierliche Beobachtungsdauer)

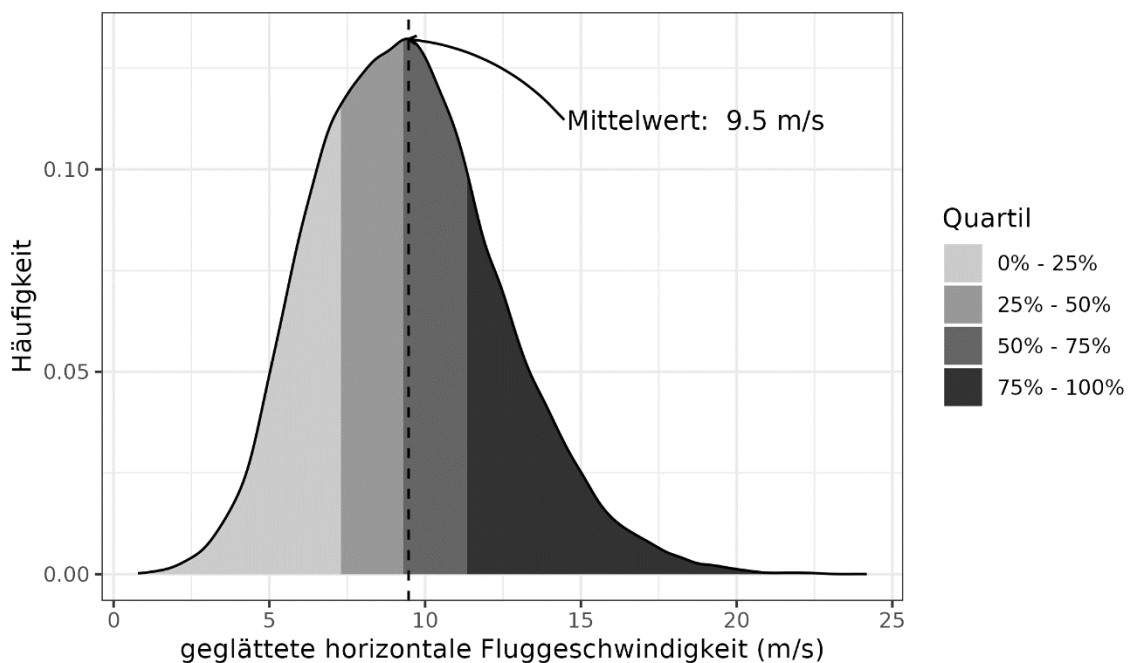


Abbildung 40: Geglättete Verteilung der horizontalen Fluggeschwindigkeit in Rotorhöhe (± 10 m). Datengrundlage: 32.794 IDF-Messpunkte verteilt über 1.766 Tracks (~9 h 7 min kontinuierliche Beobachtungsdauer)

3.3.3.3 Flugaktivität in Rotorhöhe

3.3.3.3.1 Tageszeit

Das Auftreten von Rotmilanaktivität in Rotorhöhe ist teilweise deutlich von der Tageszeit abhängig (Abbildung 41). In den ersten 20 % des Tagesverlaufes sowie in den letzten 10 % wurde kaum Rotmilan-Aktivität in Rotorhöhe aufgezeichnet. In der Mitte des Tages verläuft die Aktivität etwa gleich hoch auf einem Plateau. Die niedrigen Werte sind durch eine große Stichprobe (lange Aufzeichnungsdauer) abgesichert.

Die Betrachtung der Abbildung 42 und Abbildung 43 zeigt allerdings, dass dieser Effekt vor allem durch das weitgehende Fehlen von Aktivität früh morgens und abends bedingt ist, d.h. die Rotmilane erscheinen in dieser Zeit wesentlich seltener im Untersuchungsgebiet. Es besteht jedoch kein Unterschied hinsichtlich der Dauer einzelner Flugereignisse, d.h. in den wenigen Fällen, in denen ein Rotmilan früh morgen und abends in das Untersuchungsgebiet fliegt, hält er sich dort genauso lang auf wie an den übrigen Tageszeiten. Es ist daher in Abbildung 43 hinsichtlich der Anzahl der Messpunkte, die proportional zur Flugdauer in Rotorhöhe sein sollte, kein Unterschied im Tagesverlauf erkennbar, wenn man nur die Intervalle betrachtet, in denen mindestens ein Messpunkt aufgezeichnet wurde.

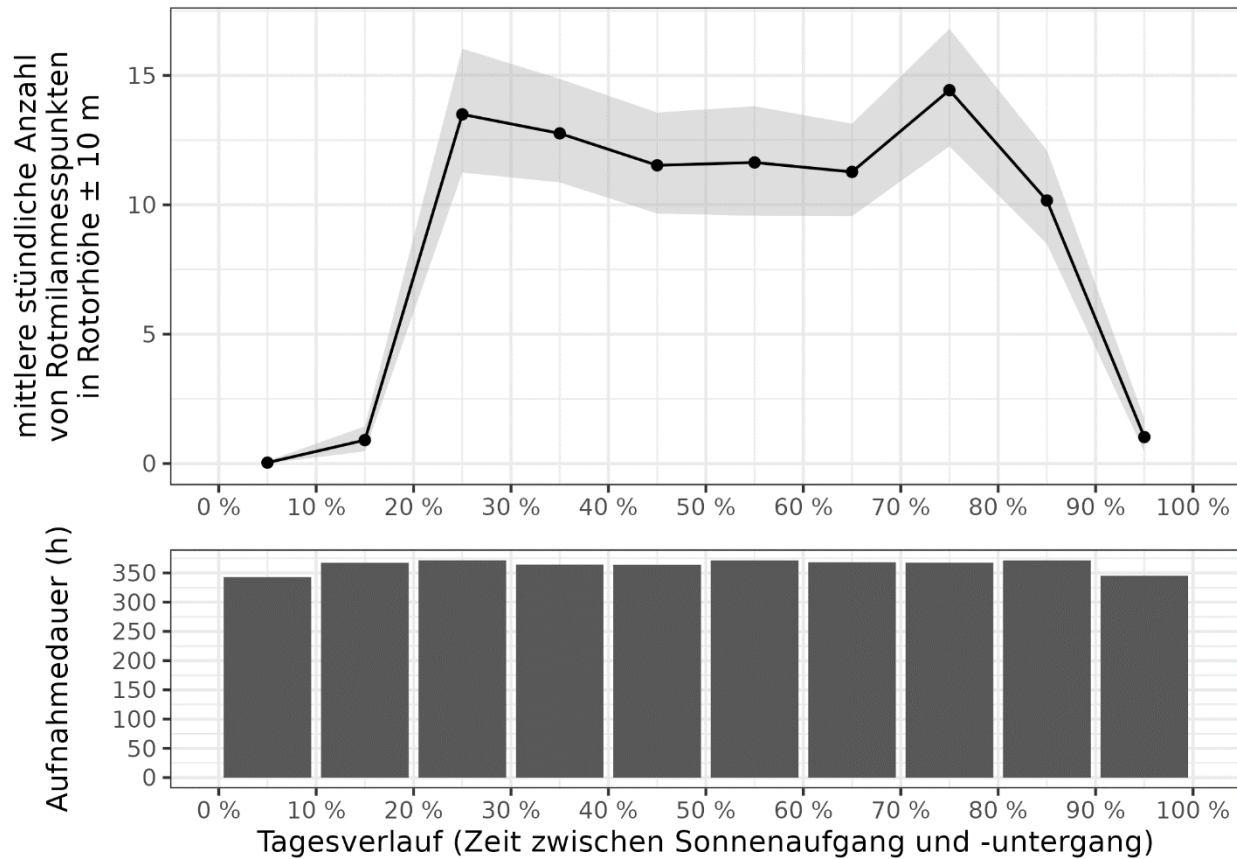


Abbildung 41: Verteilung der aufgezeichneten Flugaktivität in Rotorhöhe im Tagesverlauf. In der oberen Grafik ist die mittlere stündliche Anzahl von Rotmilanmesspunkten in Rotorhöhe dargestellt. Der graue Bereich ist ein durch Bootstrapping berechnetes 95%-Konfidenzintervall und bildet die Sicherheit des jeweiligen Mittelwertes pro 10 % des Tagesverlaufes ab. Im Balkendiagramm ist die Erfassungsdauer des jeweiligen Tagesverlauf-Intervalls (Zehntel) dargestellt.

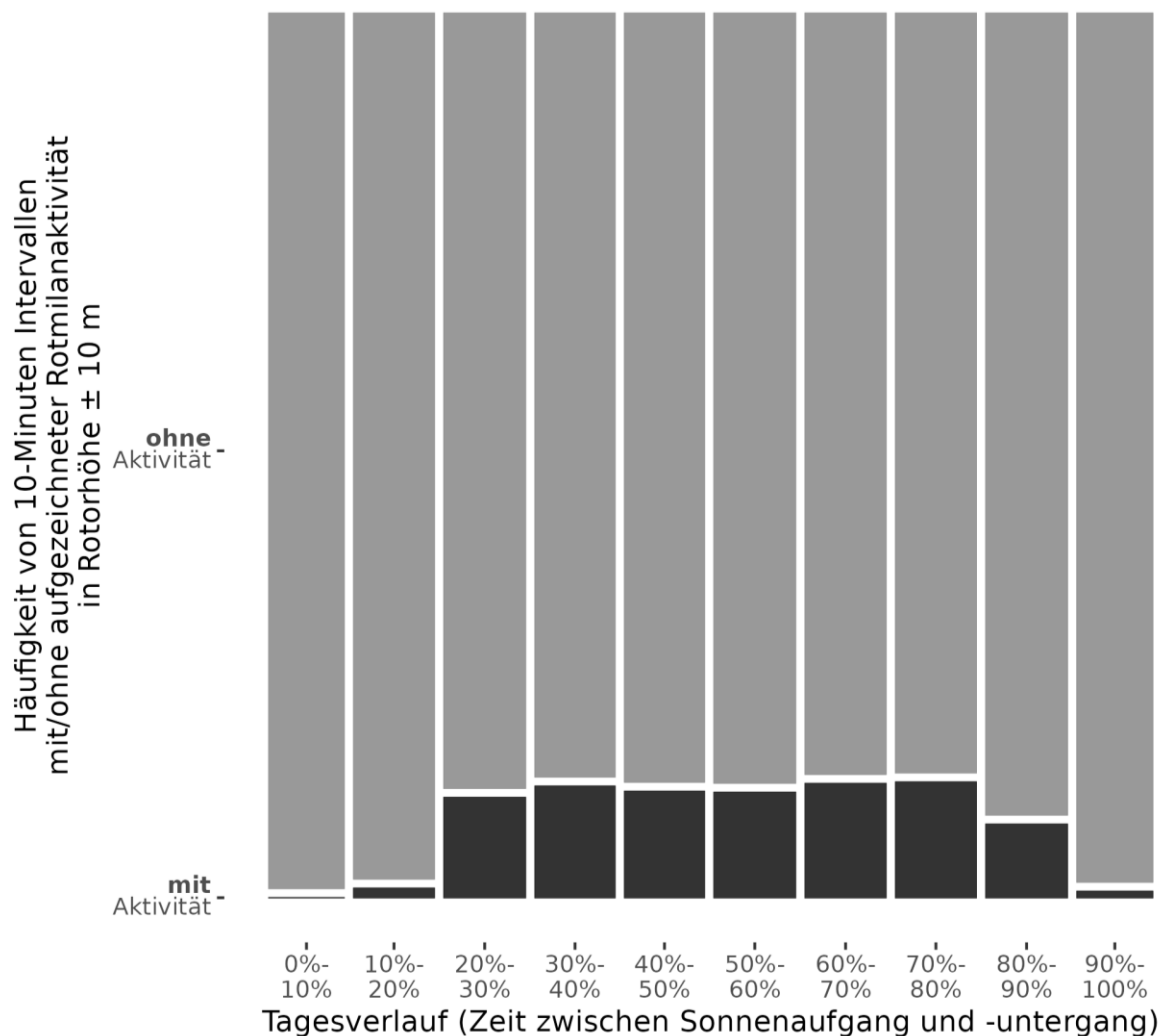


Abbildung 42: Häufigkeit von 10-Minuten Intervallen mit bzw. ohne Aktivität. Im Mosaikdiagramm ist pro Tagesverlauf-Intervall (Zehntel) dargestellt, in wie vielen der 10-Minuten Intervalle mindestens ein Messpunkt oder gar kein Messpunkt in Rotorhöhe aufgezeichnet wurde. Die Fläche der jeweiligen Balkenelemente ist proportional zur Anzahl der 10-Minuten Intervalle.

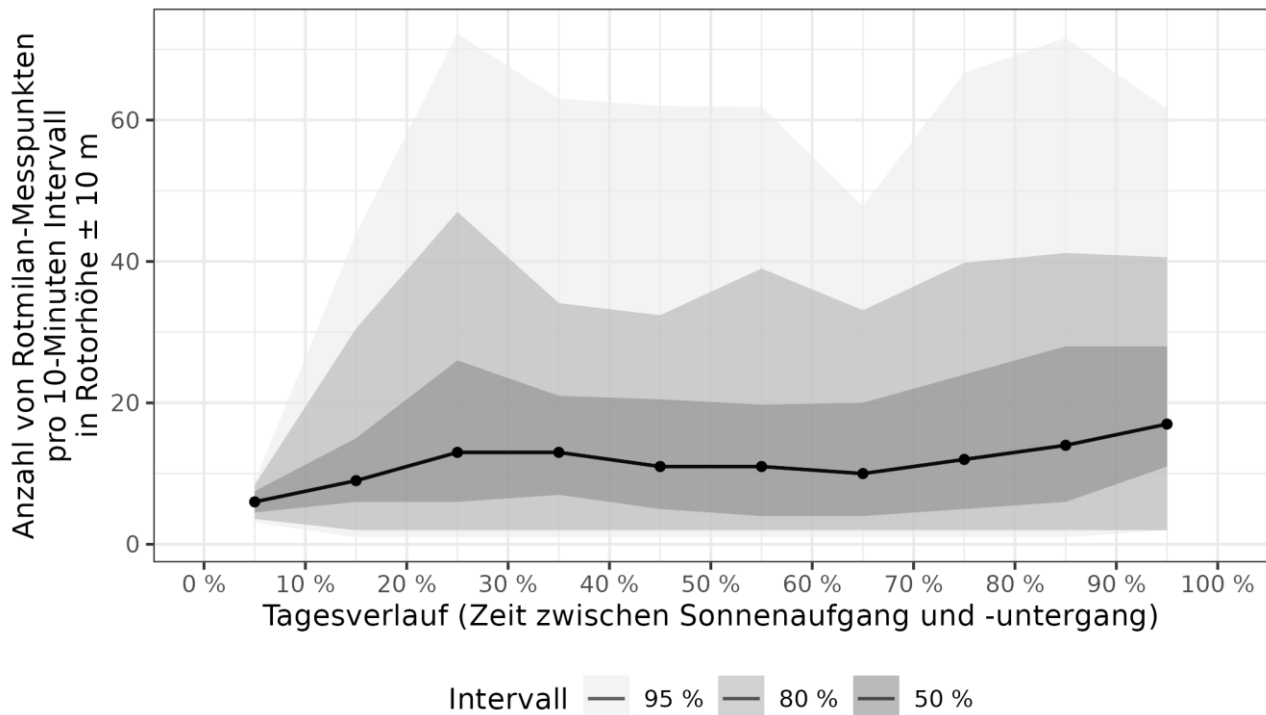


Abbildung 43: Messpunkteanzahl in 10-Minuten Intervallen mit Rotmilanaktivität, in Abhängigkeit vom Tagesverlauf. Dargestellt sind hier nur 10-Minutenintervalle, in denen Aktivität aufgezeichnet wurde. Die grau schattierten Bereiche repräsentieren die durch Bootstrapping erstellten Konfidenzintervalle. Der Verlauf des Medians ist als schwarze Linie abgebildet.

3.3.3.3.2 Windgeschwindigkeit

Auch bzgl. der Windgeschwindigkeit lässt sich eine Beeinflussung der Rotmilanaktivität in Rotorhöhe erkennen. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit nimmt die mittlere aufgezeichnete Anzahl von Messpunkten in Rotorhöhe ab (Abbildung 44). Sowohl bei sehr niedrigen Windgeschwindigkeiten (0-1 m/s), als auch bei hohen Windgeschwindigkeiten (> 9 m/s) ist die Schätzung des Mittelwertes allerdings mit hoher Unsicherheit behaftet, vermutlich, weil diese Windgeschwindigkeiten im Untersuchungszeitraum nur äußerst selten auftraten.

Abbildung 45 und Abbildung 46 zeichnen allerdings hinsichtlich der Aufenthaltsdauer bei einzelnen Flugereignissen bzgl. der Windgeschwindigkeit ein gleiches Bild wie beim Tagesverlauf. Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten wurde in einem größeren Anteil der 10-Minuten Intervalle Rotmilanaktivität in Rotorhöhe aufgezeichnet, die Aufenthaltsdauer im Falle von Flügen in Rotorhöhe (gemessen an der Anzahl von Messpunkten in einem Rotmilan-positiven 10-Minuten Intervall) unterscheidet sich aber nicht.

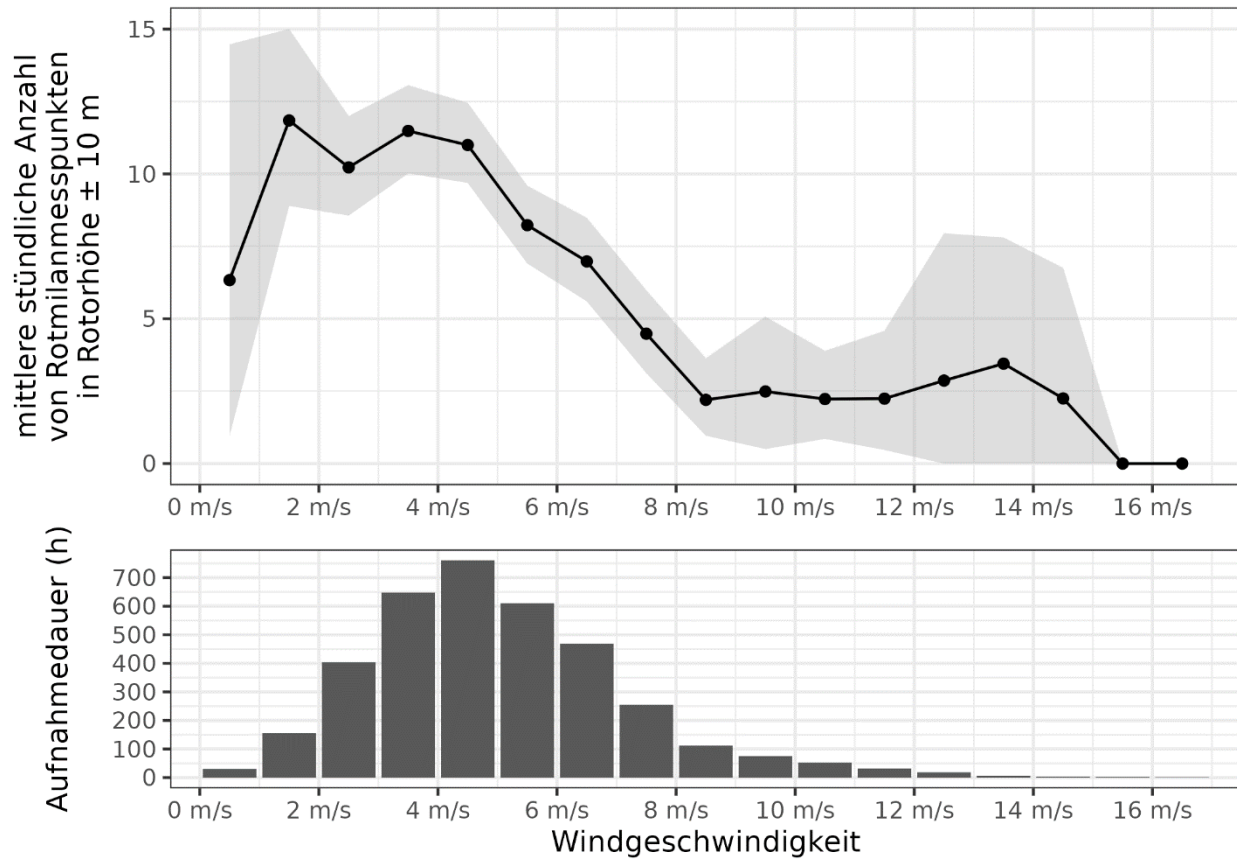


Abbildung 44: Verteilung der aufgezeichneten Flugaktivität in Rotorhöhe in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. In der oberen Grafik ist die mittlere stündliche Anzahl von Rotmilanmesspunkten in Rotorhöhe dargestellt. Der Mittelwert wurde über alle 10-minütlichen Windmesswerte berechnet und berücksichtigt daher auch die ungleiche Verteilung der Aufnahmedauer über die verschiedenen Windgeschwindigkeiten. Der graue Bereich ist ein durch Bootstrapping berechneter 95%-Konfidenzintervall und bildet die Sicherheit des jeweiligen Mittelwertes pro Windgeschwindigkeitsklasse ab. Im Balkendiagramm ist dargestellt wie viele Stunden die entsprechende Windgeschwindigkeit während den IDF-Aufzeichnungen auftrat.

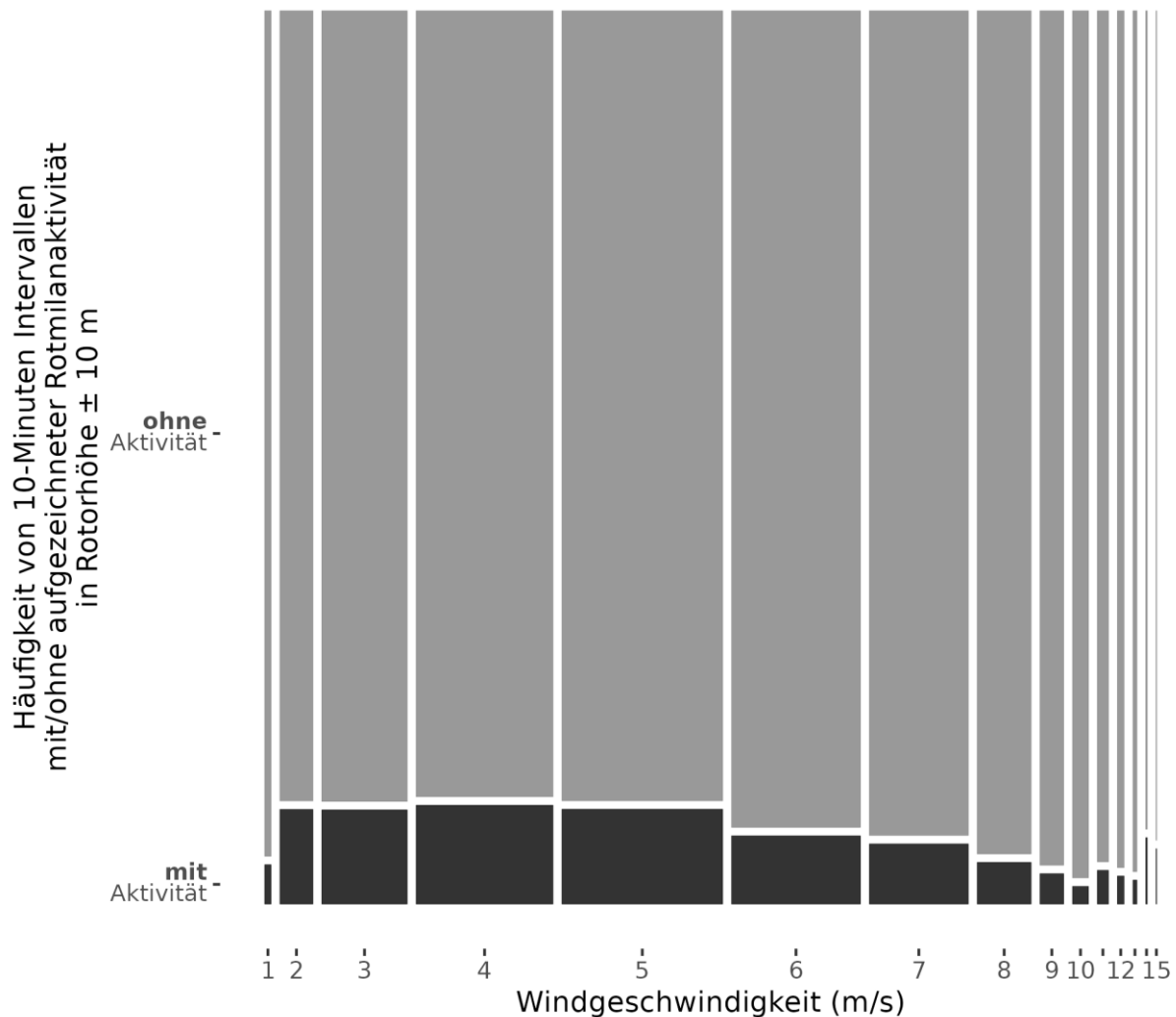


Abbildung 45: Häufigkeit von 10-Minuten Intervallen mit bzw. ohne Aktivität. Im Mosaikdiagramm ist pro Windgeschwindigkeitsklasse dargestellt, in wie vielen der 10-Minuten Intervalle mindestens ein Messpunkt oder gar kein Messpunkt in Rotorhöhe aufgezeichnet wurde. Die Fläche der jeweiligen Balkenelemente ist proportional zur Anzahl der 10-Minuten Intervalle, bei denen die jeweilige Windgeschwindigkeit vorlag.

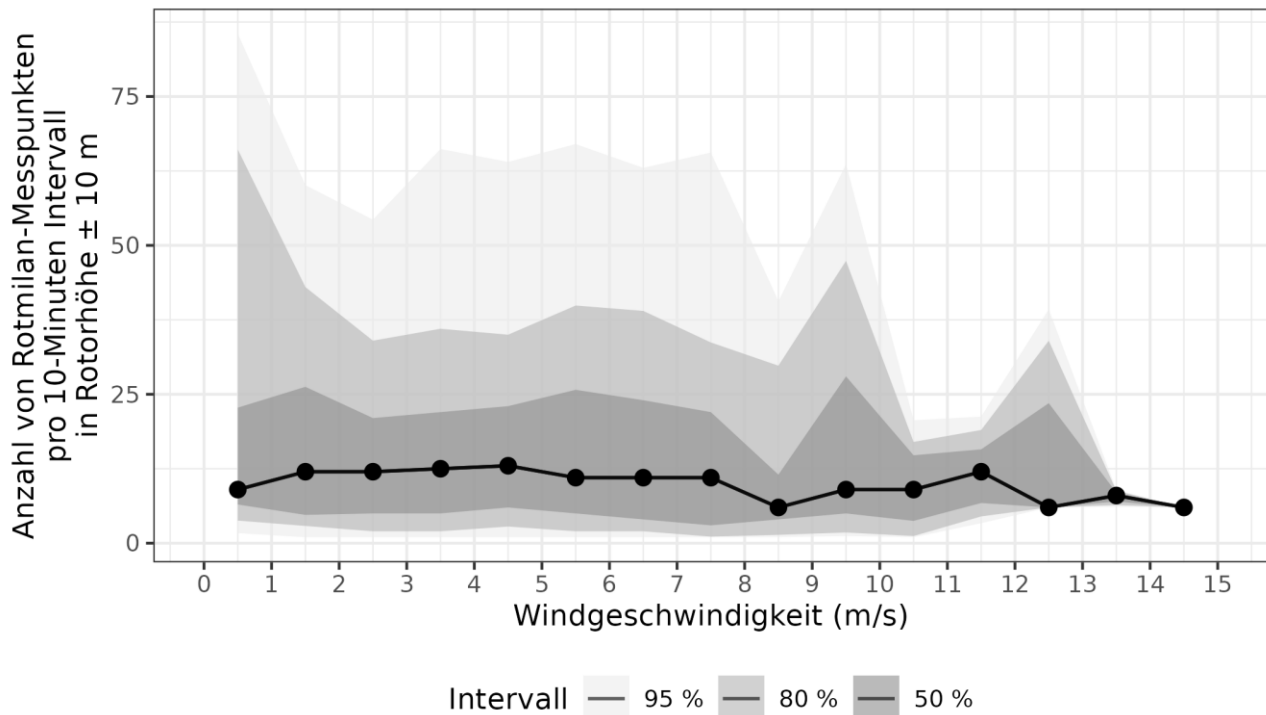


Abbildung 46: Messpunkteanzahl in 10-Minuten Intervallen mit Rotmilanaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit. Dargestellt sind hier nur 10-Minutenintervalle, in denen Aktivität aufgezeichnet wurde. Die grau schattierten Bereiche repräsentieren die durch Bootstrapping erstellten Konfidenzintervalle. Der Verlauf des Medians ist als schwarze Linie abgebildet.

3.3.3.3 Brutphase

Die Brutphasen weisen insofern einen Einfluss auf die Höhe der Rotmilanaktivität in Rotorhöhe auf, indem während der Aufzuchtphase, im Vergleich mit der Brut- und Nachbrutzeit, eine deutliche Steigerung vorliegt (Abbildung 47). Zwischen Brut- und Nachbrutzeit ist kein Unterschied erkennbar.

Dieser Unterschied ist, ähnlich wie bei Tageszeit und Windgeschwindigkeit, größtenteils durch häufigeres Auftreten von Aktivität in Rotorhöhe während der Aufzuchtphase bedingt (Abbildung 48) und nicht durch eine längere Aufenthaltsdauer pro Flug (Abbildung 49).

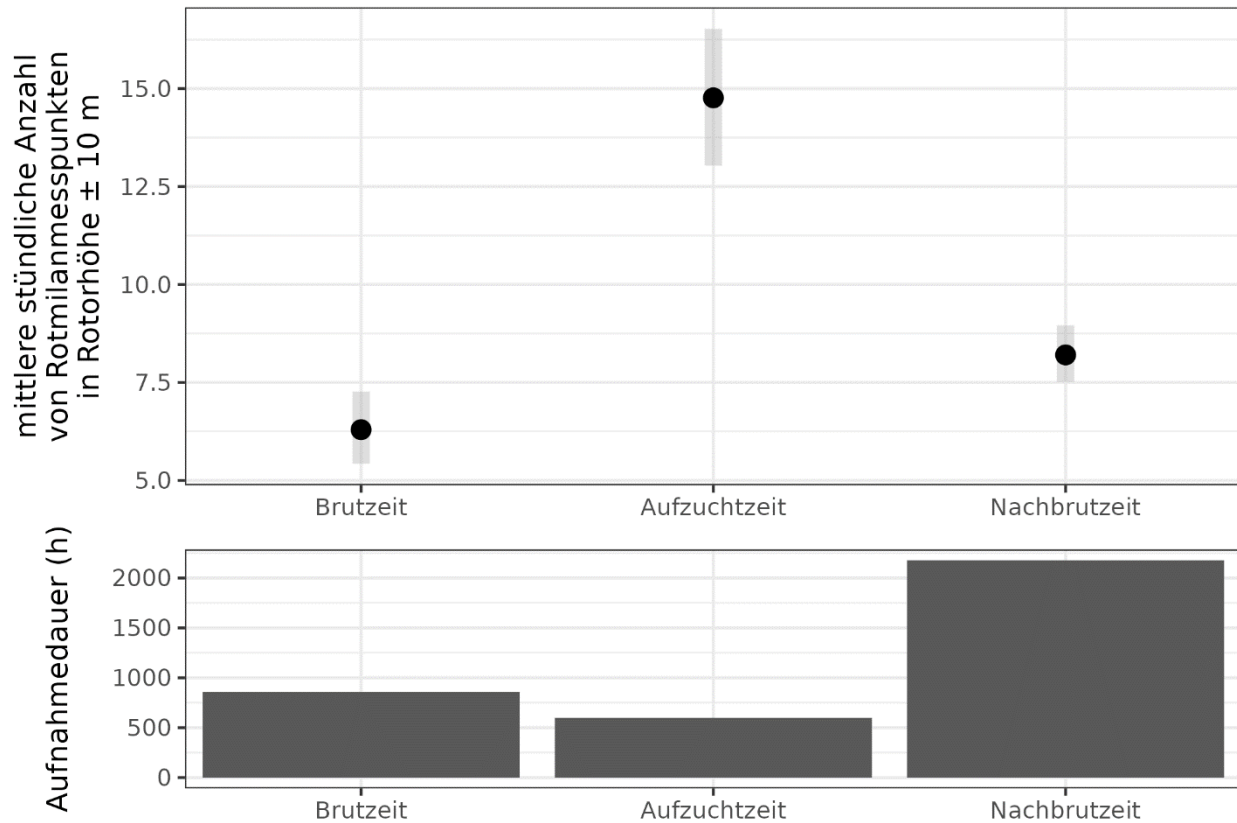


Abbildung 47: Verteilung der aufgezeichneten Flugaktivität in Rotorhöhe während drei verschiedenen Brutphasen. In der oberen Grafik ist die mittlere stündliche Anzahl von Rotmilanmesspunkten in Rotorhöhe jeweils als schwarzer Punkt pro Brutphase dargestellt. Der graue Bereich ist ein durch Bootstrapping berechneter 95%-Konfidenzintervall und bildet die Sicherheit des jeweiligen Mittelwertes ab. Im Balkendiagramm ist die Erfassungsdauer pro Brutphase dargestellt.

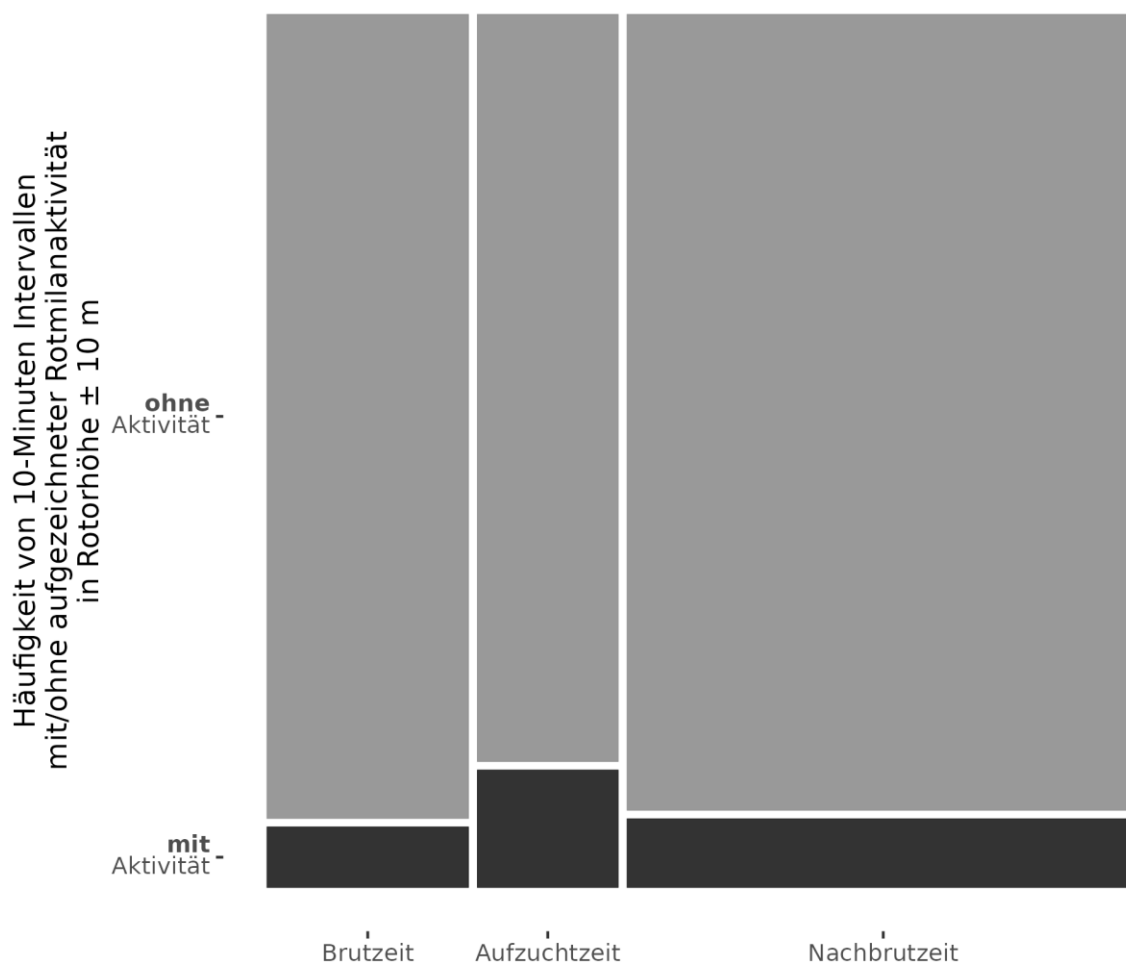


Abbildung 48: Häufigkeit von 10-Minuten Intervallen mit bzw. ohne Aktivität. Im Mosaikdiagramm ist pro Brutphase dargestellt, in wie vielen der 10-Minuten Intervalle mindestens ein Messpunkt oder gar kein Messpunkt in Rotorhöhe aufgezeichnet wurde. Die Fläche der jeweiligen Balkenelemente ist proportional zur Aufzeichnungsdauer während der jeweiligen Brutphase.

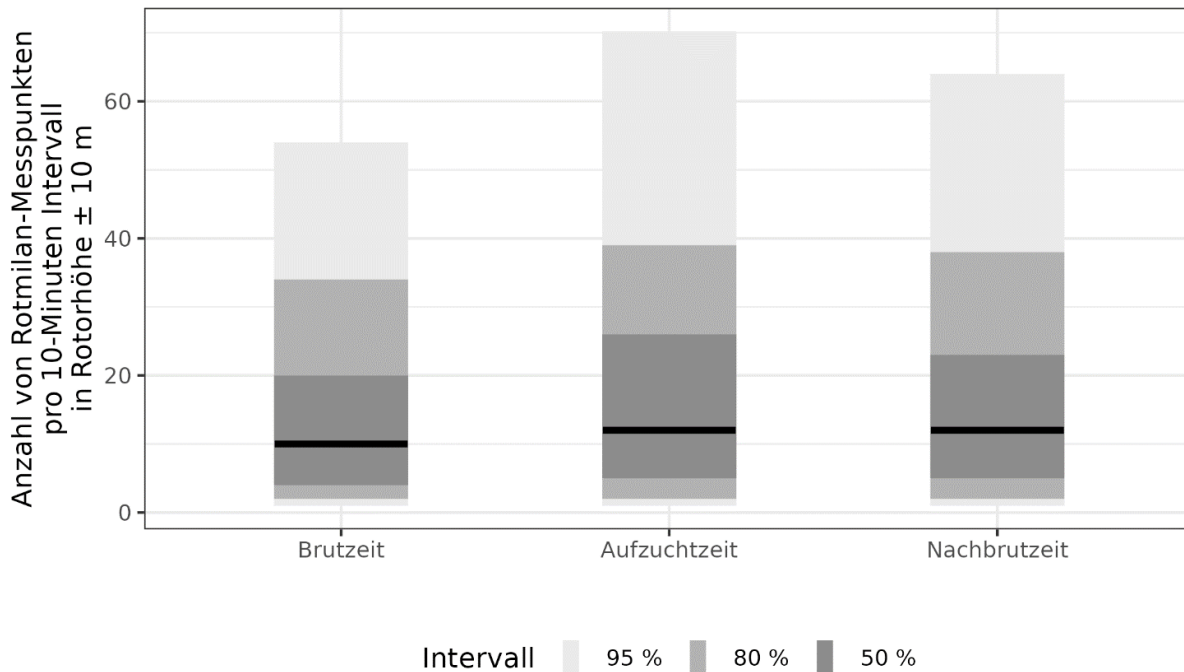


Abbildung 49: Messpunkteanzahl in 10-Minuten Intervallen mit Rotmilanaktivität pro Brutphase. Dargestellt sind hier nur 10-Minutenintervalle, in denen Aktivität aufgezeichnet wurde. Pro 10-Minuten Intervall ist ein Punkt aufgetragen. Die grau schattierten Bereiche repräsentieren die durch Bootstrapping erstellten Konfidenzintervalle. Der Median ist pro Phase als schwarze Linie abgebildet.

3.3.3.3.4 Modellergebnisse

In den Modellergebnissen spiegelt sich wider, was sich bereits bei der Betrachtung der einzelnen Variablen zeigt. Das Zero-Inflation-Modell, welches erklärt, wie häufig Nuller-Zählwerte auftreten, d.h. wodurch sich die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass keine Aktivität in Rotorhöhe stattfindet, findet deutliche, sichere Effekte für die ausgewählten Variablen. Die geschätzten Effekte decken sich gut mit den zuvor beschriebenen Verteilungen (Kapitel 3.3.3.3.1, 3.3.3.3.2 und 3.3.3.3.3). Das Zählwerte-Modell, welches die Anzahl der Messpunkte pro 10-Minuten Intervall erklären soll, findet hingegen, erkennbar an den großen Konfidenzintervallen, nur unsichere Effekte (Abbildung 50 und Abbildung 51). Eine Ausnahme stellt der Faktor IDF-System dar. System 2 scheint im Vergleich zu System 1 mehr Messpunkte pro 10 Minuten Intervall in Rotorhöhe aufzuzeichnen.

Zusammengefasst sagen beide Modelle eine starke Reduktion der Rotmilanaktivität in Rotorhöhe für die ersten 20 % des Tages sowie die letzten 10 % voraus (Abbildung 52). Während der ersten 10 % des Tagesverlauf wird mit sehr geringer Unsicherheit nahezu keine Aktivität vorhergesagt (Abbildung 52). Bei zunehmender Windgeschwindigkeit schätzen die Modelle eine Verringerung der Aktivität (Abbildung 53). Bezüglich der Brutphasen zeigen die Modelle eine Erhöhung der Rotmilanaktivität in Rotorhöhe während der Aufzuchtphase vorher (Abbildung 54).

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Zero-Inflation Modell			
Variable	Beta ¹	95% CI ²	p-value
Windgeschwindigkeit (m/s)	0.13	0.11, 0.16	<0.001
Tagesverlauf (Zehntel)			
1	—	—	
2	-2.3	-3.8, -0.88	0.002
3	-4.7	-6.1, -3.3	<0.001
4	-4.8	-6.3, -3.4	<0.001
5	-4.8	-6.2, -3.4	<0.001
6	-4.8	-6.2, -3.4	<0.001
7	-4.9	-6.3, -3.5	<0.001
8	-4.9	-6.3, -3.5	<0.001
9	-4.4	-5.8, -3.0	<0.001
10	-2.0	-3.5, -0.50	0.009
Brutphase			
Brutzeit	—	—	
Aufzuchtzeit	-0.66	-0.82, -0.51	<0.001
Nachbrutzeit	-0.07	-0.20, 0.05	0.3
IDF-System			
1	—	—	
2	-0.03	-0.13, 0.07	0.5

¹ Beta = Geschätzter Regressionskoeffizient
² CI = Confidence Interval

Zählwerte Modell			
Variable	Beta ¹	95% CI ²	p-value
Windgeschwindigkeit (m/s)	-0.02	-0.05, 0.01	0.2
Tagesverlauf (Zehntel)			
1	—	—	
2	0.79	-0.83, 2.4	0.3
3	1.2	-0.37, 2.8	0.13
4	1.1	-0.51, 2.6	0.2
5	1.0	-0.57, 2.6	0.2
6	1.0	-0.55, 2.6	0.2
7	0.91	-0.66, 2.5	0.3
8	1.1	-0.42, 2.7	0.2
9	1.3	-0.32, 2.8	0.12
10	1.4	-0.29, 3.0	0.11
Brutphase			
Brutzeit	—	—	
Aufzuchtzeit	0.15	-0.01, 0.30	0.060
Nachbrutzeit	0.13	0.00, 0.26	0.049
IDF-System			
1	—	—	
2	0.09	-0.01, 0.19	0.085

¹ Beta = Geschätzter Regressionskoeffizient
² CI = Confidence Interval

Abbildung 50: Ergebnisse des Zero-Inflation Modells.

Negative Schätzwerte (Beta) für Variablen bedeuten, dass sich durch die Zunahme der Variable bzw. durch das jeweilige Faktorlevel (Tagesverlaufzehntel, Brutphase, IDF-System) die Wahrscheinlichkeit verringert, dass keine Aktivität in Rotorhöhe stattfindet. Die Schätzwerte von Faktoren sind jeweils in Relation zu dem Faktorlevel zu verstehen, für das kein Schätzwert angegeben ist (Referenzlevel).

Abbildung 51: Ergebnisse des Zählwerte Modells mit negativer Binomialverteilung.

Positive Schätzwerte (Beta) für Variablen bedeuten, dass sich durch die Zunahme der Variable bzw. durch das jeweilige Faktorlevel (Tagesverlaufzehntel, Brutphase, IDF-System) mehr Rotmilanflugaktivität in Rotorhöhe stattfindet. Die Schätzwerte von Faktoren sind jeweils in Relation zu dem Faktorlevel zu verstehen, für das kein Schätzwert angegeben ist (Referenzlevel).

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

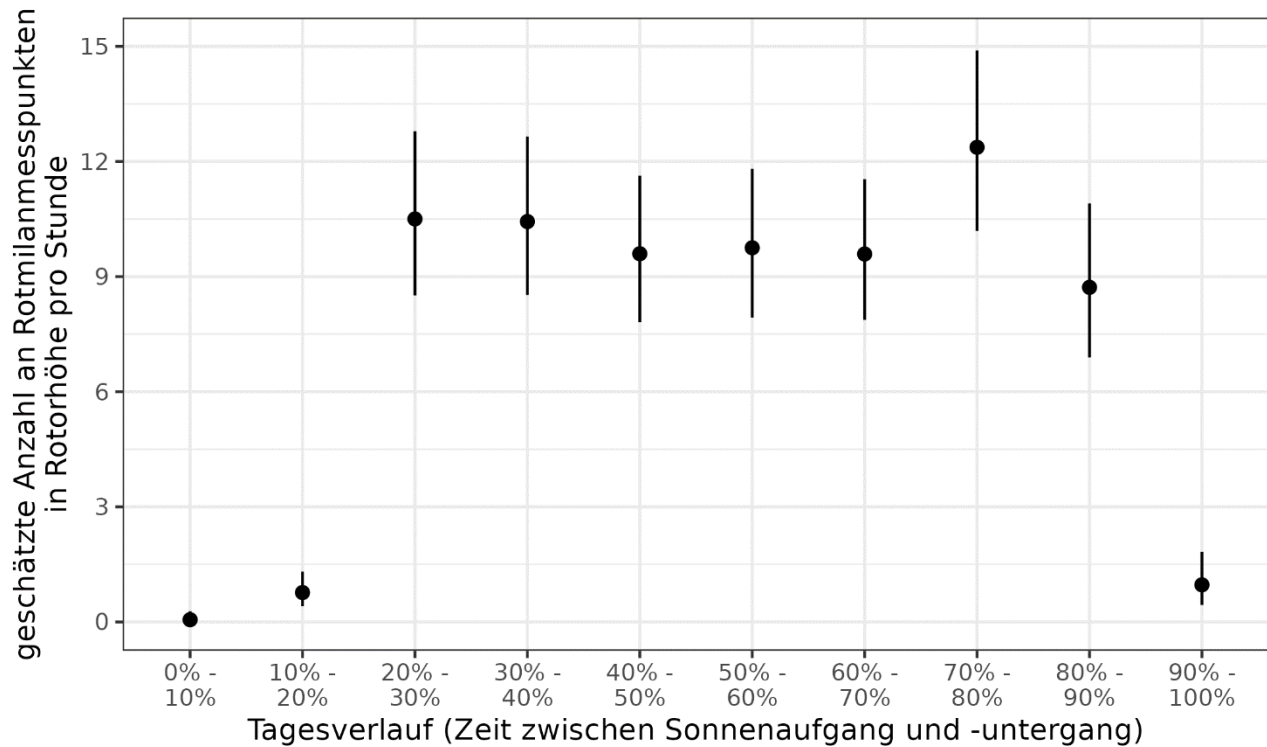


Abbildung 52: Modellvorhersage für den Effekt der Tageszeit auf die Menge von Rotmilanaktivität in Rotorhöhe. Die Punkte stellen die Schätzwerte dar. Die schwarzen Striche bilden das 95% Konfidenzintervall für die Schätzwerte ab.

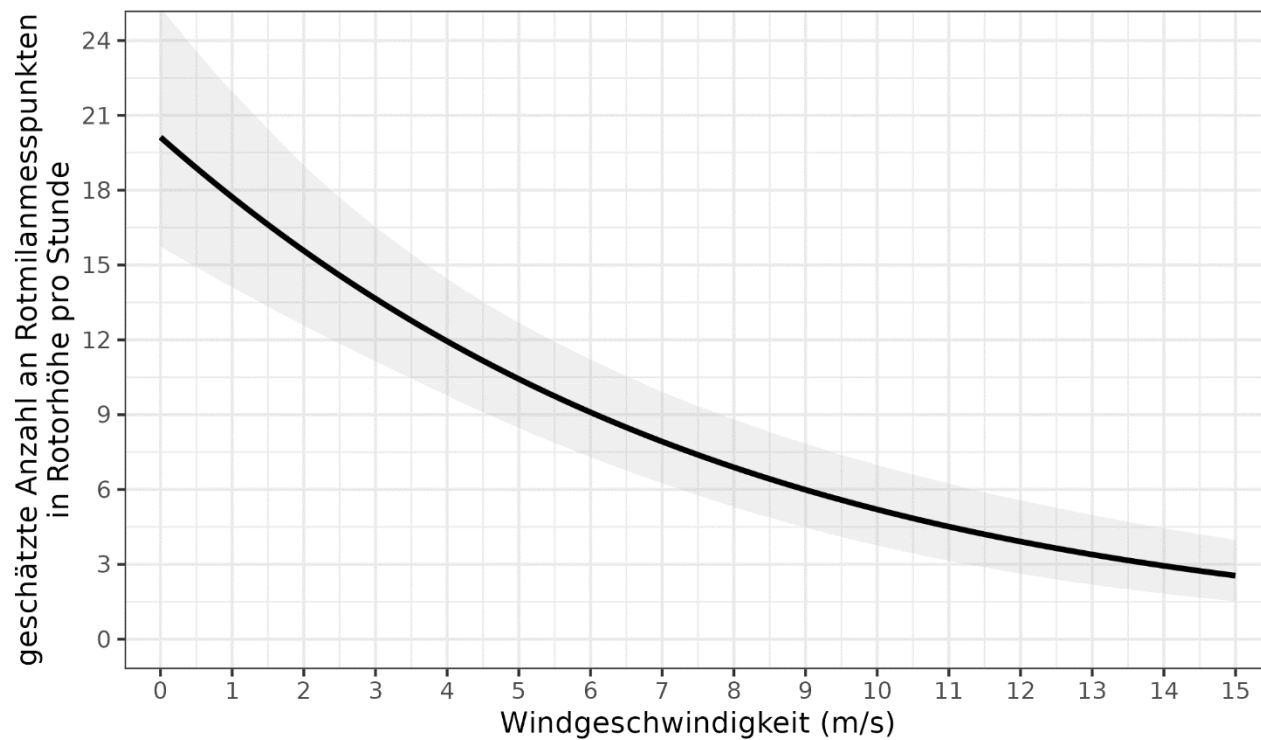


Abbildung 53: Modellvorhersage für den Effekt der Windgeschwindigkeit auf die Menge von Rotmilanaktivität in Rotorhöhe. Die schwarze Linie stellt die Schätzwerte dar. Der grau unterlegte Bereich bildet das 95% Konfidenzintervall für die Schätzwerte ab.

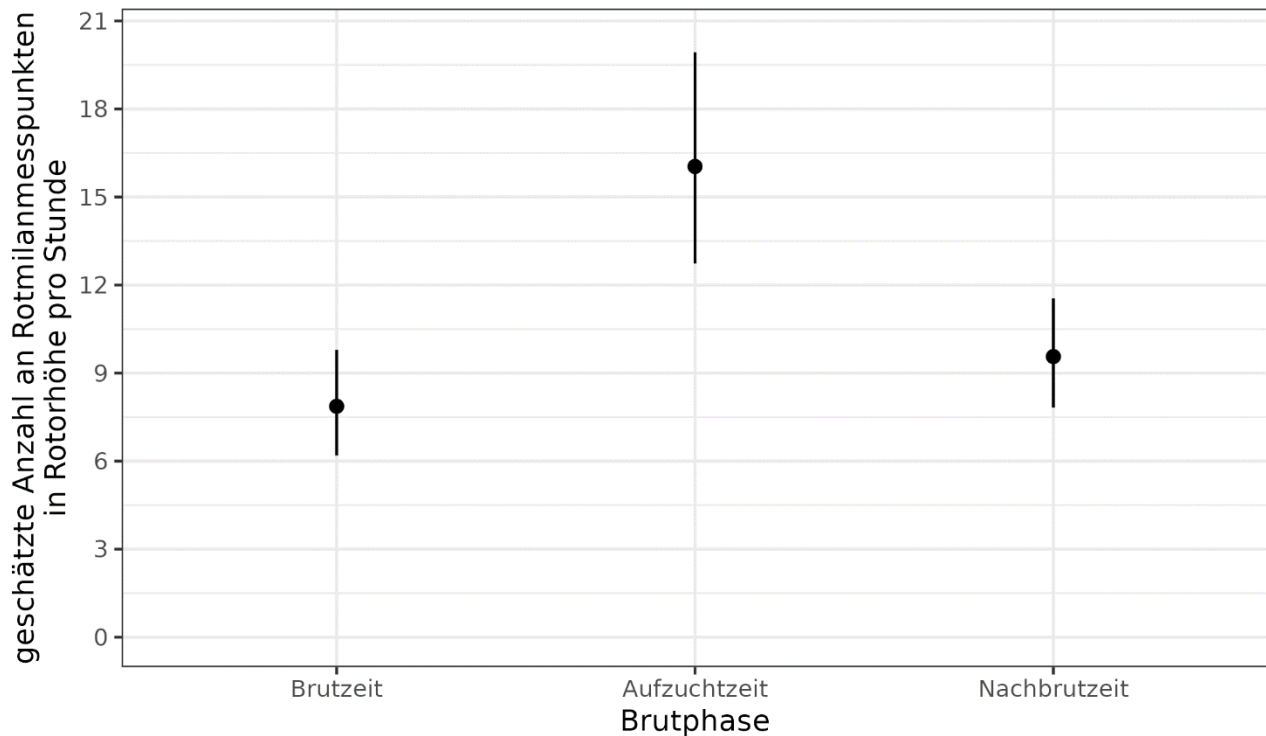


Abbildung 54: Modellvorhersage für den Effekt der Brutphase auf die Menge der Rotmilanaktivität in Rotorhöhe. Die Punkte stellen die Schätzwerte dar. Die schwarzen Striche bilden das 95% Konfidenzintervall für die Schätzwerte ab.

3.3.3.4 Meideverhalten – Änderung der Aktivitätsdichte

Bei der Betrachtung, ob die Aktivitätsdichte von Rotmilanen im Nahbereich von WEA-Rotoren abnimmt und damit ein aktives Meideverhalten anzeigt, muss zunächst berücksichtigt werden, über welche Distanzen zu WEA-Rotoren sich das Erfassungsvolumen verteilt (Abbildung 55 und Abbildung 56). Hier zeigt sich, dass im Windpark unterhalb und auf Rotorhöhe bereits die Hälfte des Raumes weniger als 150 m vom nächstgelegenen WEA-Rotor entfernt ist. Erst oberhalb der Rotoren steht deutlich mehr Raum weiter entfernt von WEA-Rotoren zur Verfügung.

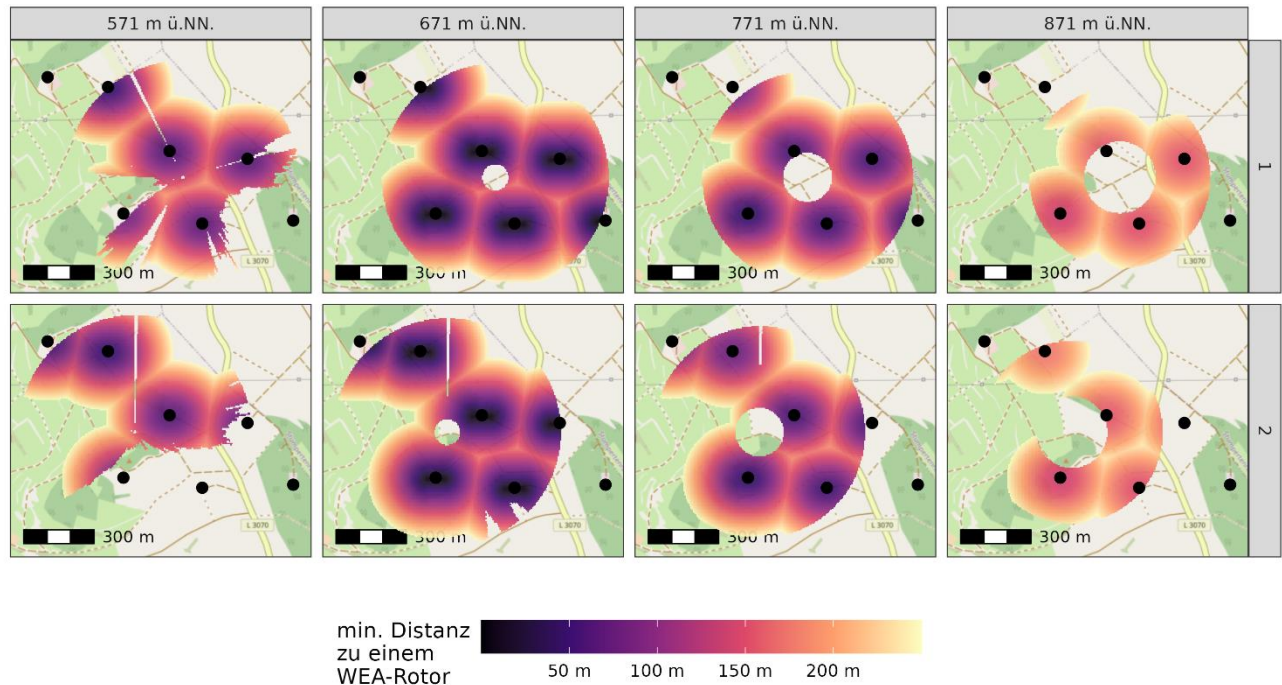


Abbildung 55: Kartendarstellung des Luftraumes, in dem die IDF-Systeme sowohl zur Erstdetektion als auch zum Tracking von Rotmilanen fähig waren und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Vogel aufgezeichnet wurde, gleichmäßig verteilt ist.

Die Distanz des Raumes zum Rotor der nächstgelegenen WEA ist farblich kodiert. Distanzen werden bis max. 250 m radialer Distanz zu einem WEA-Rotor dargestellt. In der Darstellung wird eine Nabenausrichtung der WEA nach Süden angenommen. Die Darstellung ist unterteilt nach Höhengschichten (Spalten) und IDF-System (Zeilen). Der IDF-Standort befindet sich jeweils im Zentrum der Karte. Die WEA-Standorte sind als schwarze Punkte abgebildet. Berücksichtigt wurden für diese Darstellung eine max. radiale Distanz von 500 m zur IDF-Kamera, der maximale Steigungswinkel, in dem Detektionen erfolgen können (64 °) sowie die Maskierungen in niedrigen Bereichen.

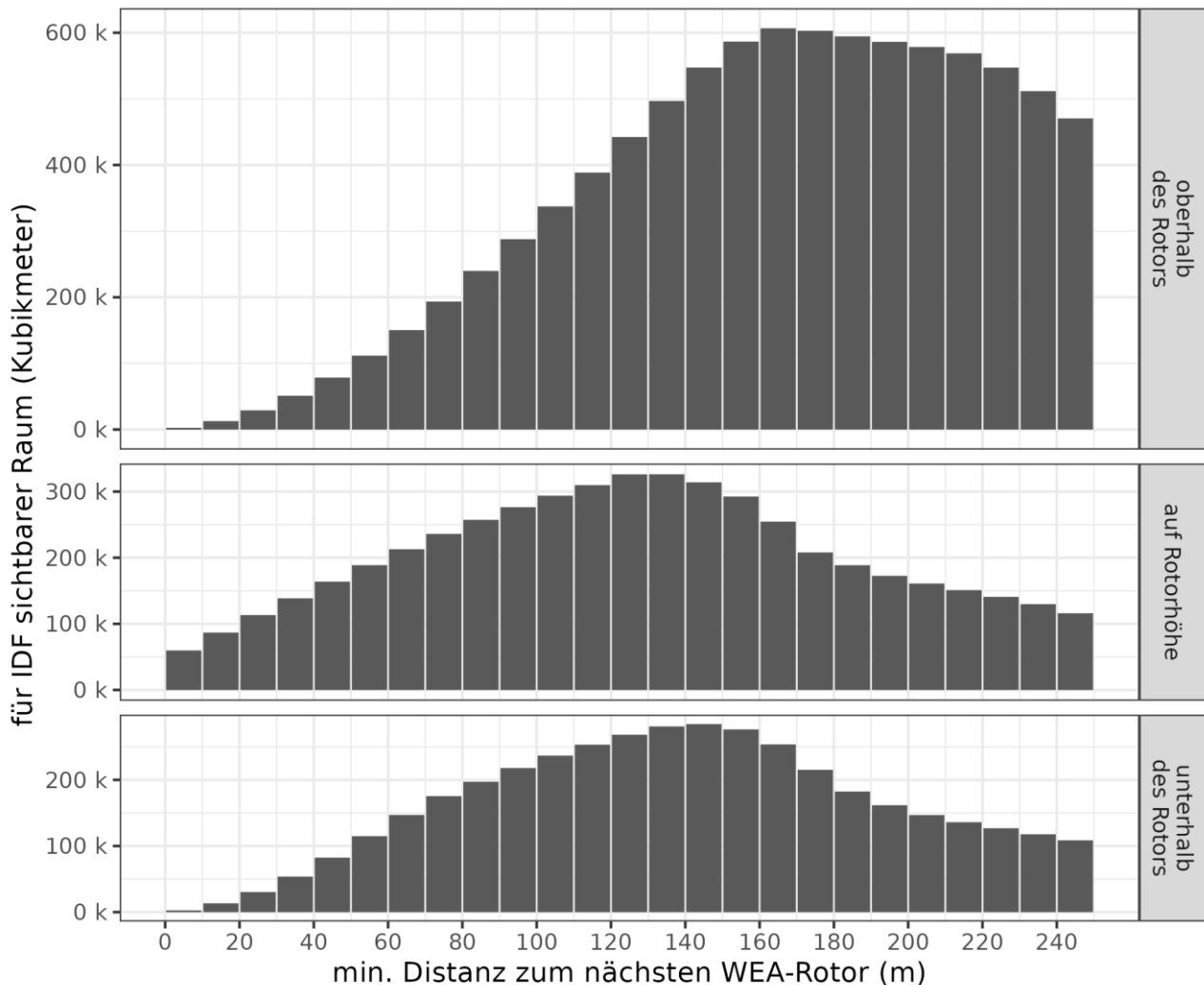


Abbildung 56 Verteilung des Erfassungsvolumen des IDF-Systems über verschiedene Distanzen zu WEA-Rotoren.

Bei der Betrachtung, wie sich die Rotmilanaktivität über den beobachteten Raum verteilt (Abbildung 57), wird deutlich, dass in allen Hörschichten eine deutliche Abnahme der Aktivitätsdichte im Nahbereich der WEA-Rotoren erkennbar ist. Diese Abnahme ist unterhalb der Rotorhöhe ab ca. 120 m Distanz erkennbar, in Rotorhöhe ab ca. 80 m und darüber ab ca. 40 m. Insgesamt ist dies ein deutlicher Hinweis auf eine aktive Meidung des Nahbereichs der WEA-Rotoren. Wäre die Rotmilanaktivität unabhängig von der Position der WEA-Rotoren und zufällig im Raum verteilt, sollte die Aktivitätsdichte in allen Distanzklassen gleich groß sein. Die Abweichung der gemessenen Aktivitätsdichte von dieser gleichmäßigen Verteilung wird somit als Anzeichen einer zumindest teilweisen Meidung der Anlagennähe angesehen.

Tendenziell verringert sich die Distanz, ab der eine Abnahme der Dichte erkennbar ist, mit zunehmender Höhe, was zumindest teilweise auch auf ein Ausweichen in die Höhe deuten könnte. Eine Trennung der Analyse in Phasen mit drehenden und stehenden Rotoren ist nicht möglich, da die Rotoren sich die allermeiste Zeit drehen, während Rotmilane im Windpark aktiv waren. Selbst Rotordrehzahlen < 4 U/min traten nur selten auf.

Die mittels der IDF-Systeme festgestellte Meidung rotornaher Bereiche bestätigt sich bei Betrachtung derselben Auswertung des Telemetrie-Datensatzes (Abbildung 60). Auch hier ist eine Meidung der rotornahen Bereiche erkennbar, solange sich der Rotor der WEA dreht. Interessanterweise liegt oberhalb der Rotorhöhe im Bereich 30 m - 60 m Distanz die höchste Aktivitätsdichte vor. Diese wurde ausschließlich während stehender Rotoren aufgezeichnet. Dies könnte als ein schwacher Hinweis gewertet werden, dass die Bewegung der Rotoren relevant für das beobachtete Meideverhalten ist. Einschränkend muss allerdings erwähnt werden, dass sich diese Aktivitätsspitze auf nur 85 Messpunkte (~1 min 25 s Aufzeichnungsdauer) zurückführen lässt. So wird auch insgesamt aufgrund der kleinen Stichprobe Einzelereignissen ein relativ großes Gewicht beigemessen, wodurch die Kurvenverläufe teilweise nicht stetig sind. Insgesamt wurde kein einziger Telemetrie-Messpunkt in weniger als 30 m Distanz zu einem WEA-Rotor aufgezeichnet.

Dabei wurden in gleicher Weise wie bei den IDF-Daten der differenziert zu betrachtende verfügbare Luftraum sowie die daraus resultierenden möglichen Entfernungen zu den WEA-Rotoren berücksichtigt (Abbildung 58 und Abbildung 59).

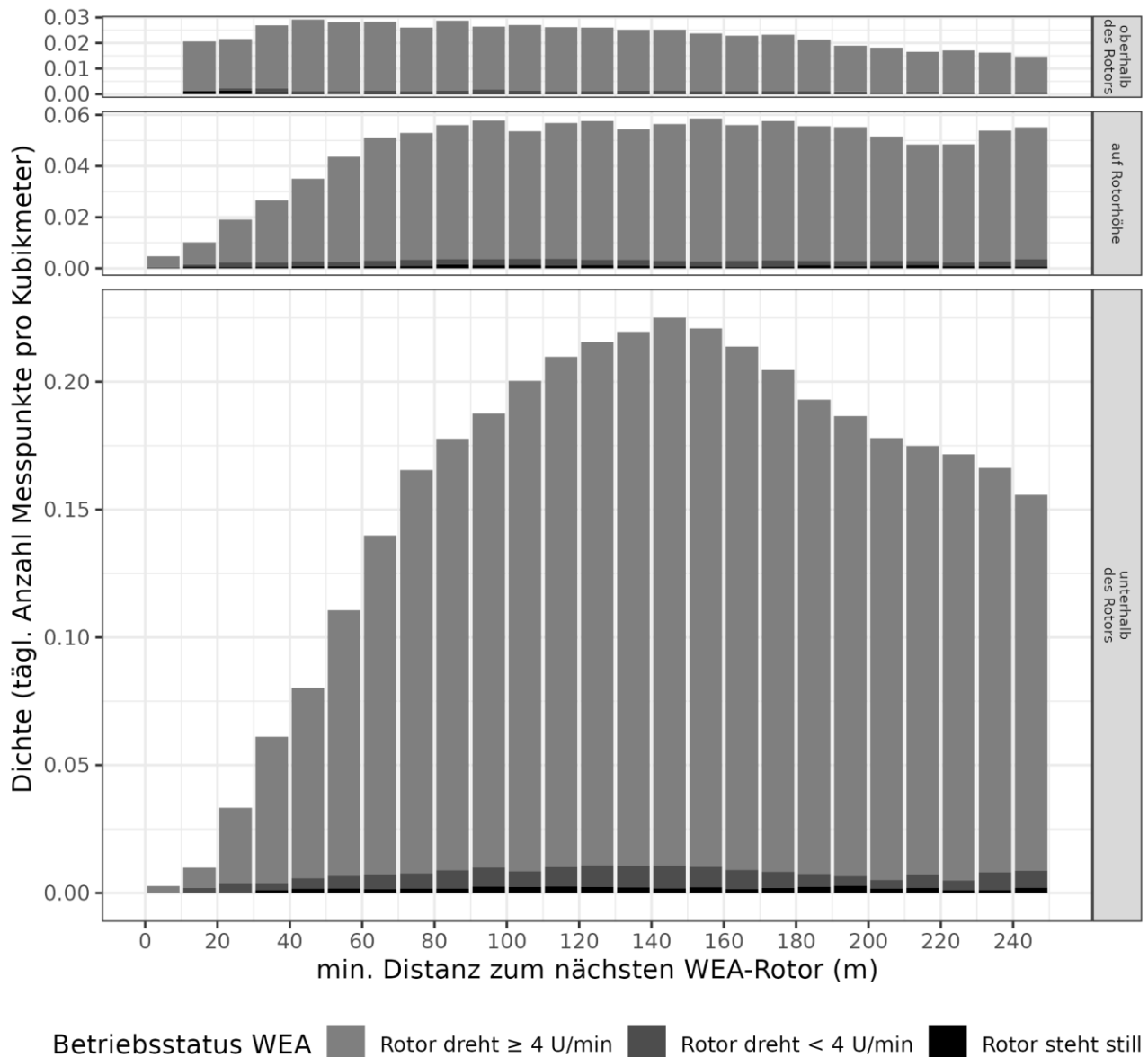


Abbildung 57: Verteilung der Rotmilanaktivitätsdichte in Abhängigkeit von der Distanz zum nächstgelegenen WEA-Rotor, gemessen von den IDF-Systemen.

Dargestellt ist die Anzahl von Messpunkten pro Kubikmeter Erfassungsvolumen (vgl. Abbildung 55 und Abbildung 56), unterteilt nach 10-m Distanzklasse zum nächstgelegenen WEA-Rotor. Die Verteilung wird pro Höschicht (unterhalb des WEA-Rotors, auf Rotorhöhe und oberhalb des Rotors) separat dargestellt. Farblich unterschieden wird, bei welcher Rotordrehgeschwindigkeit die Messpunkte aufgezeichnet wurden.

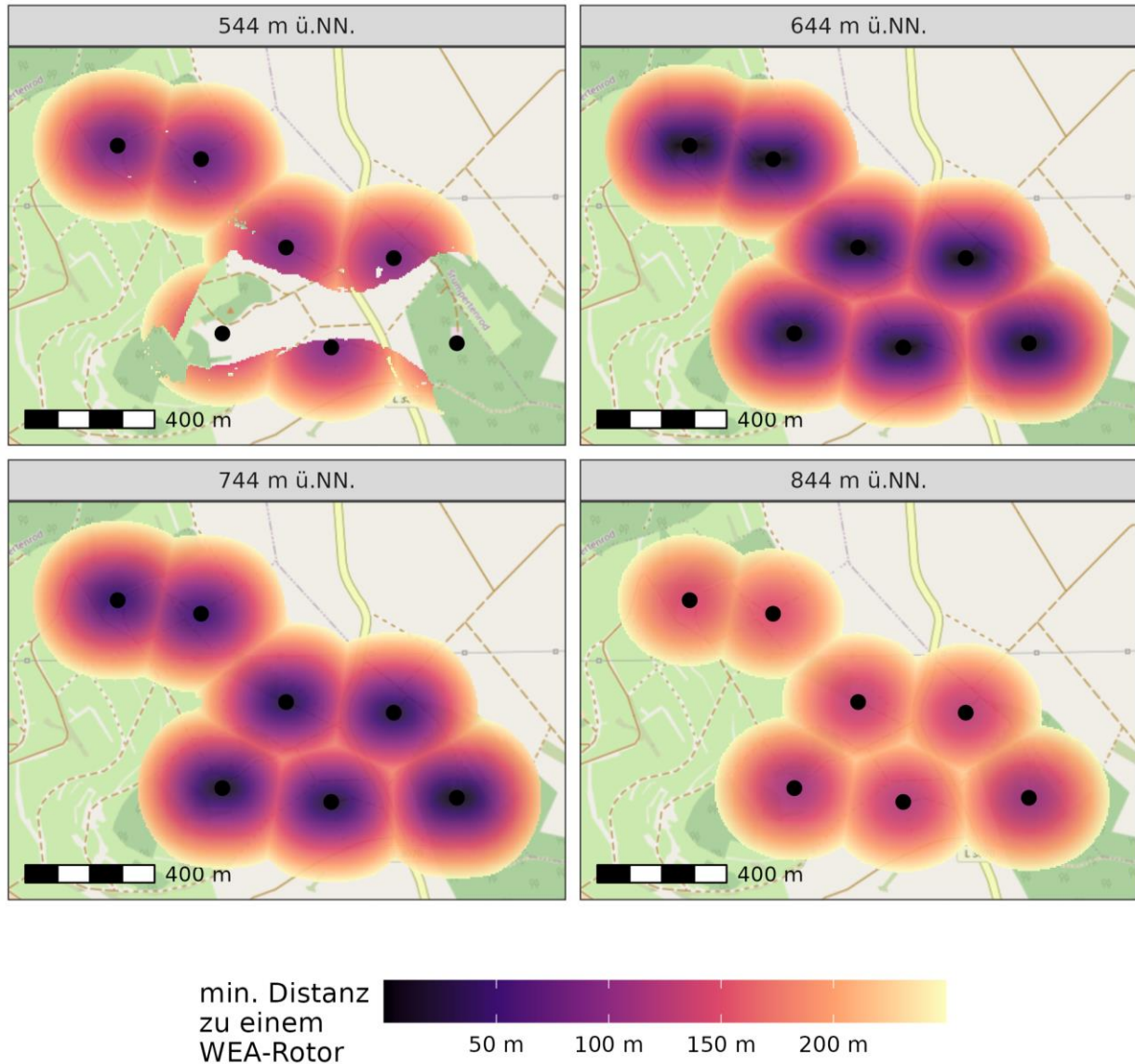


Abbildung 58: Kartendarstellung des Luftraumes im Windpark, aus dem Telemetrie-Messpunkte zur Berechnung der Aktivitätsdichte verwendet wurden.

Die Distanz des Raumes zum Rotor der nächstgelegenen WEA ist farblich kodiert. Distanzen werden bis max. 250 m radialer Distanz zu einem WEA-Rotor dargestellt. In der Darstellung wird eine Nabenausrichtung der WEA nach Süden angenommen. Die Darstellung ist unterteilt nach Höhenschichten (Boxen). Die WEA-Standorte sind als schwarze Punkte abgebildet.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

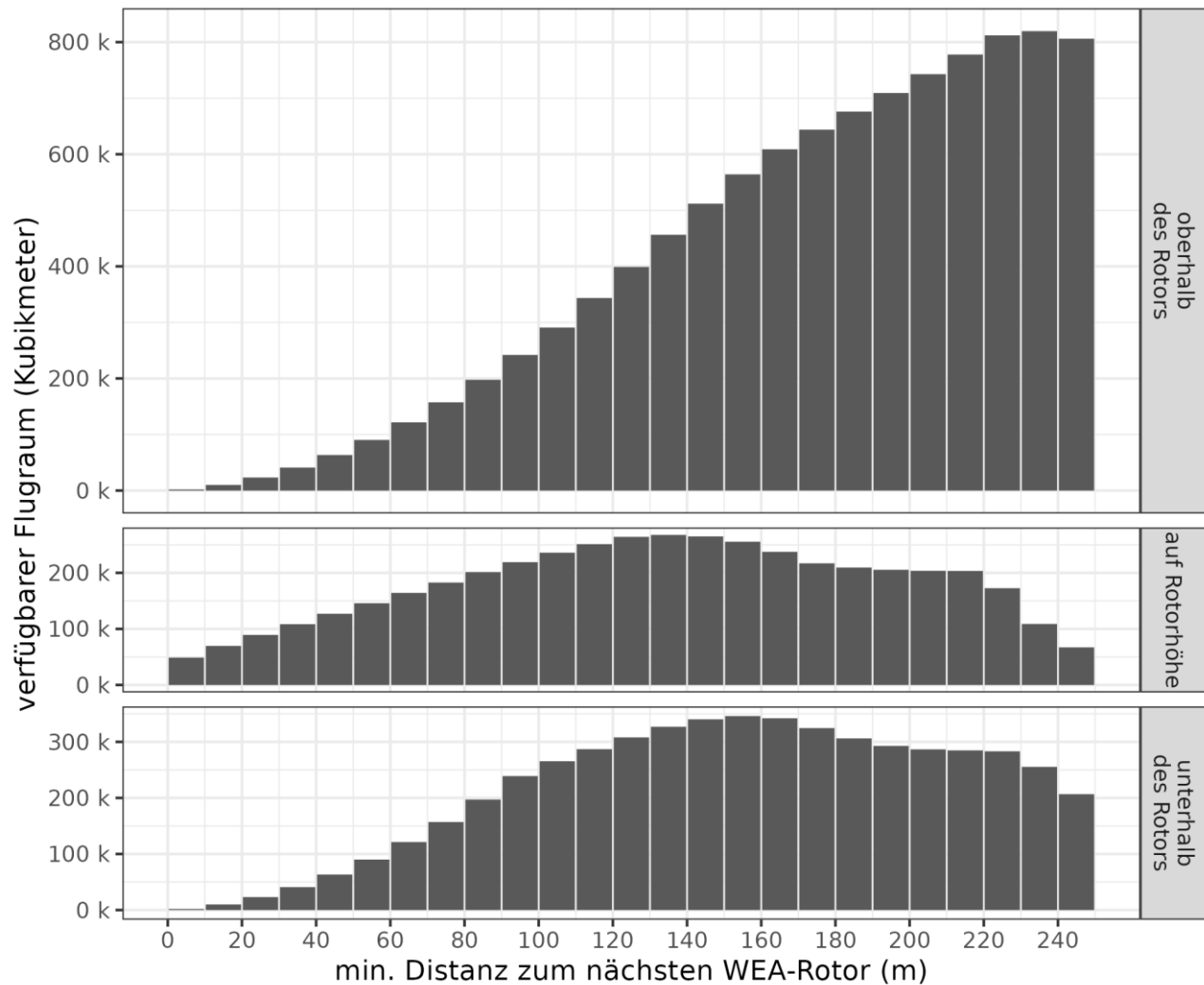


Abbildung 59: Verteilung des per Telemetrie untersuchten Erfassungsvolumen über verschiedene Distanzen zu WEA-Rotoren.

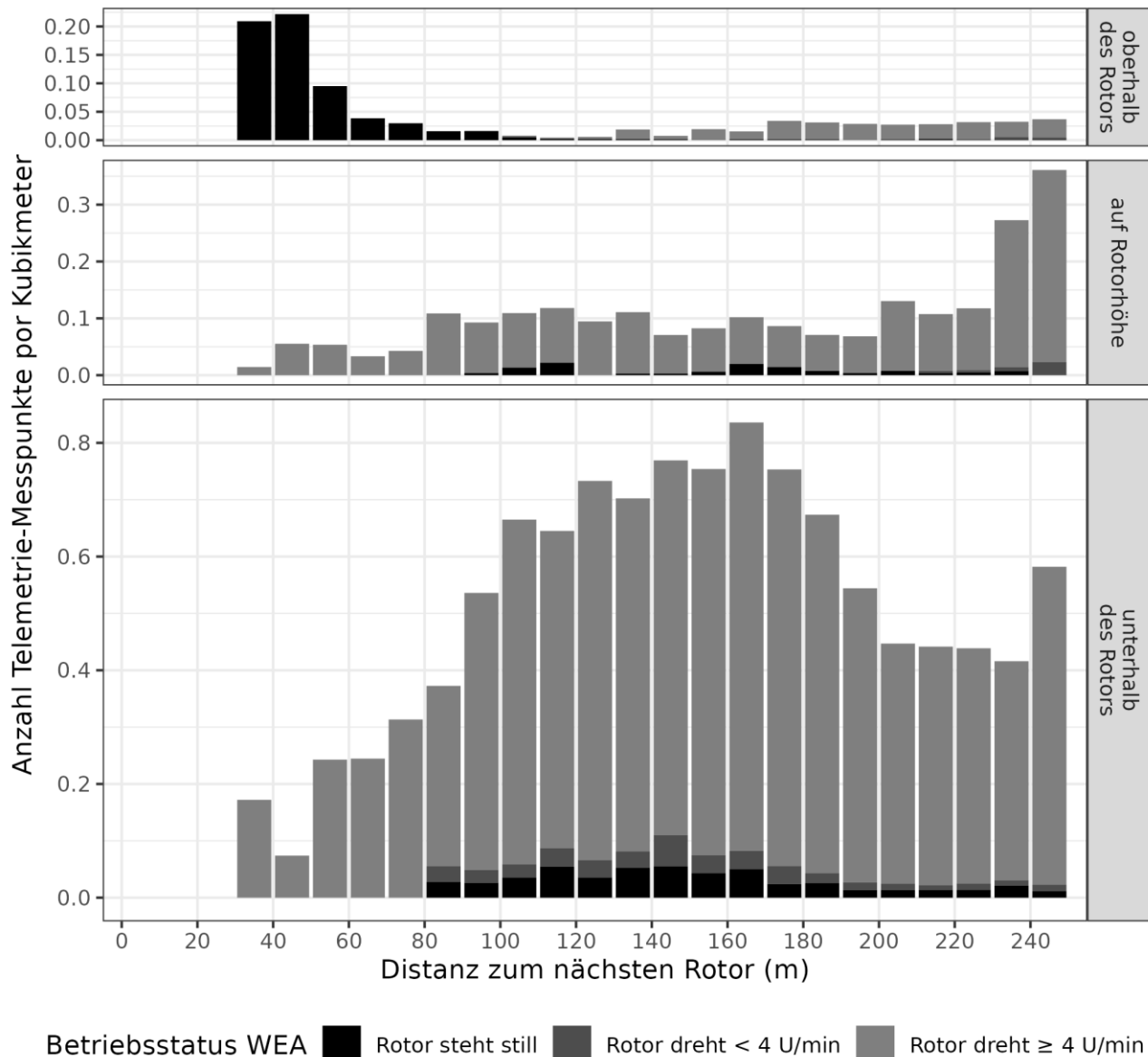


Abbildung 60: Verteilung der Rotmilanaktivitätsdichte in Abhängigkeit von der Distanz zum nächstgelegenen WEA-Rotor, gemessen per Telemetrie. Dargestellt ist die Anzahl von Messpunkten pro Kubikmeter Erfassungsvolumen (vgl. Abbildung 58 und Abbildung 59) unterteilt nach 10-m Distanzklasse zum nächstgelegenen WEA-Rotor. Die Verteilung wird pro Höhenschicht (unterhalb des WEA-Rotors, auf Rotorhöhe und oberhalb des Rotors) separat dargestellt. Farblich unterschieden wird, bei welcher Rotordrehgeschwindigkeit die Messpunkte aufgezeichnet wurden.

Eine weitere höhenabhängige Differenzierung des Meideeffekts ist anhand eines Modells möglich, das basierend auf den IDF-Messungen pro 20 m Höhenklasse die Aktivitätsdichte in Abhängigkeit von der Distanz zum WEA-Rotor vorhersagt (Abbildung 61). Insgesamt zeigt sich wiederum konsistent eine Abnahme der Aktivitätsdichte im Nahbereich der Rotoren. Die höhenabhängige Differenzierung ergibt mit knapp 150 m die größte Meidedistanz unterhalb von 60-80 m unter Nabenhöhe. Nach oben verringert sich die Meidedistanz kontinuierlich und beträgt noch ca. 80 m auf Nabenhöhe und nur noch ca. 40 m oberhalb von 60 m über Nabenhöhe. Der Meideeffekt verteilt sich somit pyramidenförmig um die WEA: er ist unten am breitesten und wird nach oben immer schmaler. Offenbar fliegen die Rotmilane nur in verringerten Maß unterhalb der Rotoren durch, obwohl sie dort keiner Kollisionsgefahr ausgesetzt wären.

Zudem ist auch erkennbar, dass die Abnahme der Aktivitätsdichte in Rotornähe zu einer deutlichen Zunahme in einer Entfernung von ca. 120-150 m führt (Abbildung 57 und Abbildung 61), d.h. zu einer entsprechenden räumlichen Verschiebung. Im Ergebnis führt dies dazu, dass sich innerhalb des Windparks die Flugaktivität in den Bereichen zwischen den WEA konzentriert. Insofern ist die in Abbildung 27 dargestellte räumliche Verteilung der von den beiden IDF-Systemen aufgezeichneten Rotmilanpositionen tatsächlich weitgehend ein Abbild der Meidereaktionen der Vögel gegenüber den WEA-Rotoren.

Aus einer Gegenüberstellung der Aktivitätsdichten der Distanzklassen, die dem Rotor am nächsten gelegen ist, mit der Distanzklasse, die am weitesten vom Rotor entfernt ist, lässt sich eine quantitative Schätzung der aktiven Meiderate (Meso-Avoidance) pro Höhenklasse berechnen (Abbildung 62). Die berechneten Meideraten fallen in den Höhenklassen, die mindestens teilweise vom WEA-Rotor durchstreift werden, überwiegend hoch aus (91 %-94 %, Ausnahme: 72 %). In Höhenklassen, die außerhalb der Rotorreichweite liegen, sind teilweise auch sehr hohe Meidungsraten zu verzeichnen (92-97 %), teilweise aber auch deutlich geringere (74 und 51 %). Ursachen für diese kleinräumigen Unterschiede lassen sich nicht erkennen.

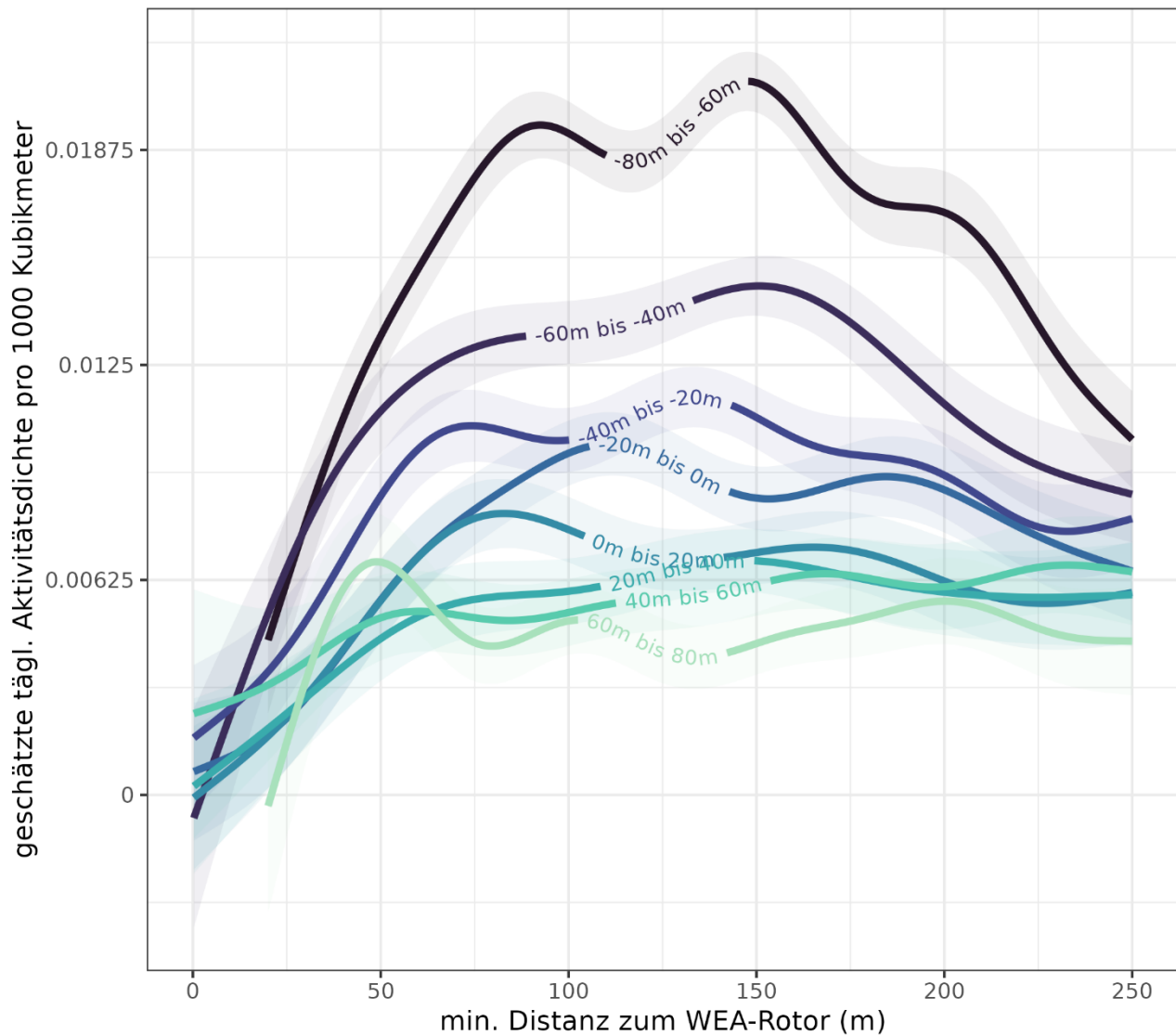


Abbildung 61: Modellvorhersage der Aktivitätsdichte in Abhängigkeit von der Distanz zu WEA-Rotoren, pro Höhenklasse von 20 Metern, in Relation zur Nabenhöhe. Pro 20-m Höhenklasse ist eine farblich unterschiedene Modellvorhersage eingezeichnet, welche die von IDF-Systemen gemessene Aktivitätsdichte in Abhängigkeit von der Distanz zu einem WEA-Rotor beschreibt. Das Modell berechnet pro 20 m-Distanzklasse einen Vorhersagewert, der anschließend zu Darstellungszwecken geglättet wurde. Ebenso wurde das Konfidenzintervall geglättet und als schattierter Bereich hinter den Linien eingezeichnet.

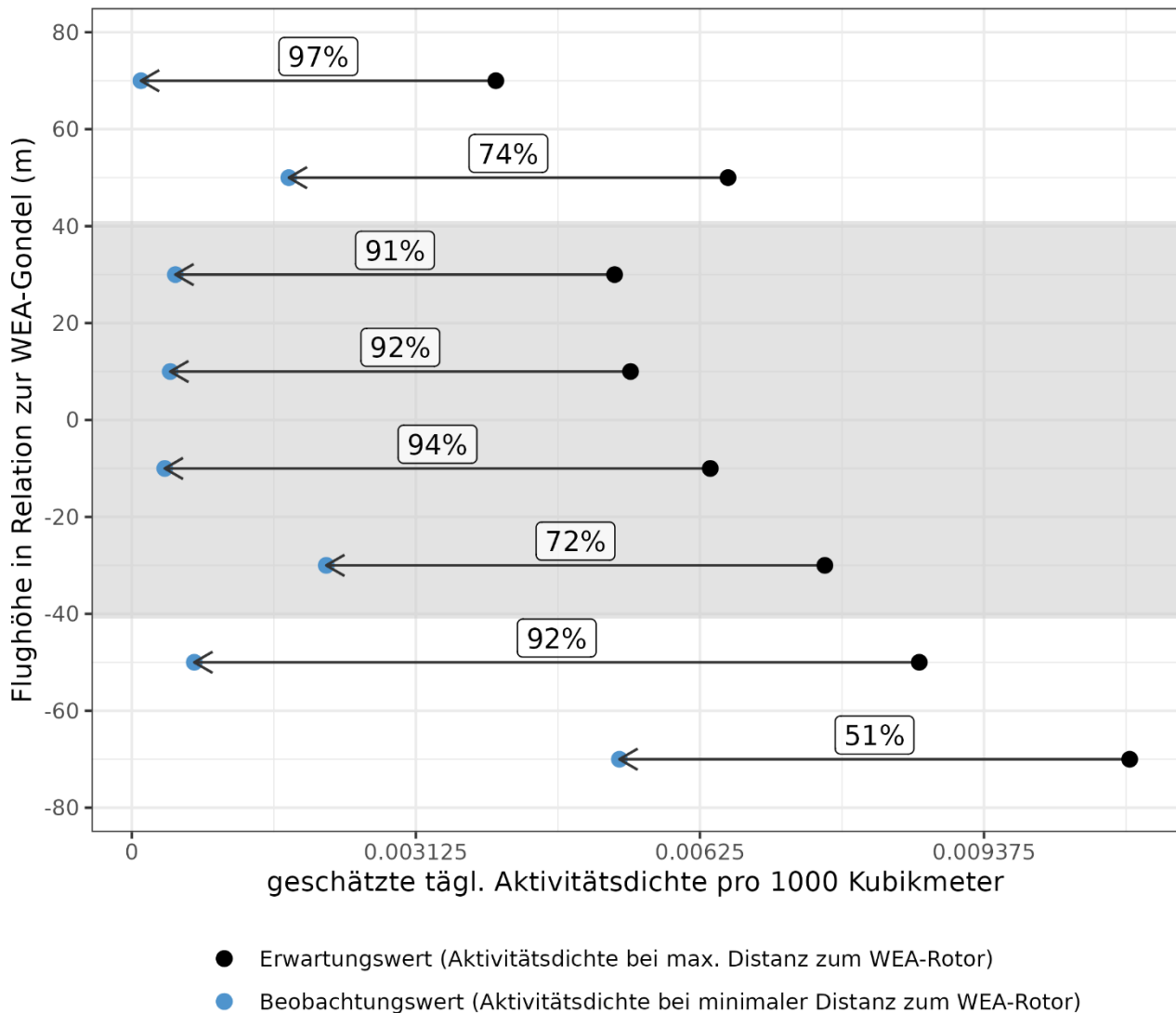


Abbildung 62 : Meso-Avoidance-Rate pro Höhenklasse. Dargestellt ist pro 20 m Höhenklasse (in Relation zur Höhe der WEA-Nabe), welche Aktivitätsdichte in dieser Höhe erwartet wird (schwarzer Punkte, gemessen in maximaler Entfernung zum WEA-Rotor) und welche Aktivitätsdichte in minimaler Distanz zum WEA-Rotor gemessen wurde (blauer Punkt). Die Annahme dabei ist, dass die am weitesten entfernte Distanzklasse einen Dichtewert abbildet, wie er unbeeinflusst von den WEA-Rotoren im Gebiet vorliegen würde (Erwartungswert). Die absolute Differenz zwischen Erwartungs- und Beobachtungswert wird durch die Länge des schwarzen Pfeiles repräsentiert. Der relative Unterschied (Meso-Avoidance-Rate) wird als Prozentwert über dem Pfeil angegeben. Der vom Rotor durchstreifte Höhenbereich ist als grau hinterlegtes Band dargestellt.

3.3.3.5 Ausweichreaktionen

Die qualitative Betrachtung ausgewählter Flugbahnen verdeutlicht, dass nicht allein durch höhendifferenzierte Einhaltung von Meidedistanzen zu den WEA-Rotoren das Kollisionsrisiko von den Rotmilanen aktiv verringert wird.

Generell bestätigen sich in zwar in vielen Fällen die Erkenntnisse aus dem vorigen Kapitel. So ist oft bei langen Flugbahnen, die in Rotorhöhe durch den Windpark verlaufen, gut erkennbar, dass diese Flugwege vermutlich spezifisch gewählt werden, um Abstand zu den WEA-Rotoren zu wahren (Abbildung 63). Bei Flugbahnen, die weit oberhalb der Rotorhöhe verlaufen, scheint die Lage der WEA oft irrelevant für den Verlauf zu sein (Abbildung 64).

Darüber hinaus fallen aber auch Flugbahnen auf, bei denen der Rotor nur knapp umflogen wird. Beispielsweise wurden Flugbahnen aufgezeichnet, in denen die Vermutung nahe liegt, dass WEA gezielt durch einen Steigflug, relativ knapp oberhalb des Rotors überquert wurden (Abbildung 65). Insgesamt wurde eine Vielzahl von Flugbahnen aufgezeichnet, in denen Rotmilane WEA-Rotoren nur sehr kleinräumig ausweichen (Abbildung 66).

In Einzelfällen wurde auch eine spontane Ausweichreaktion im Nahbereich der WEA aufgezeichnet (Abbildung 67 und Abbildung 68).

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

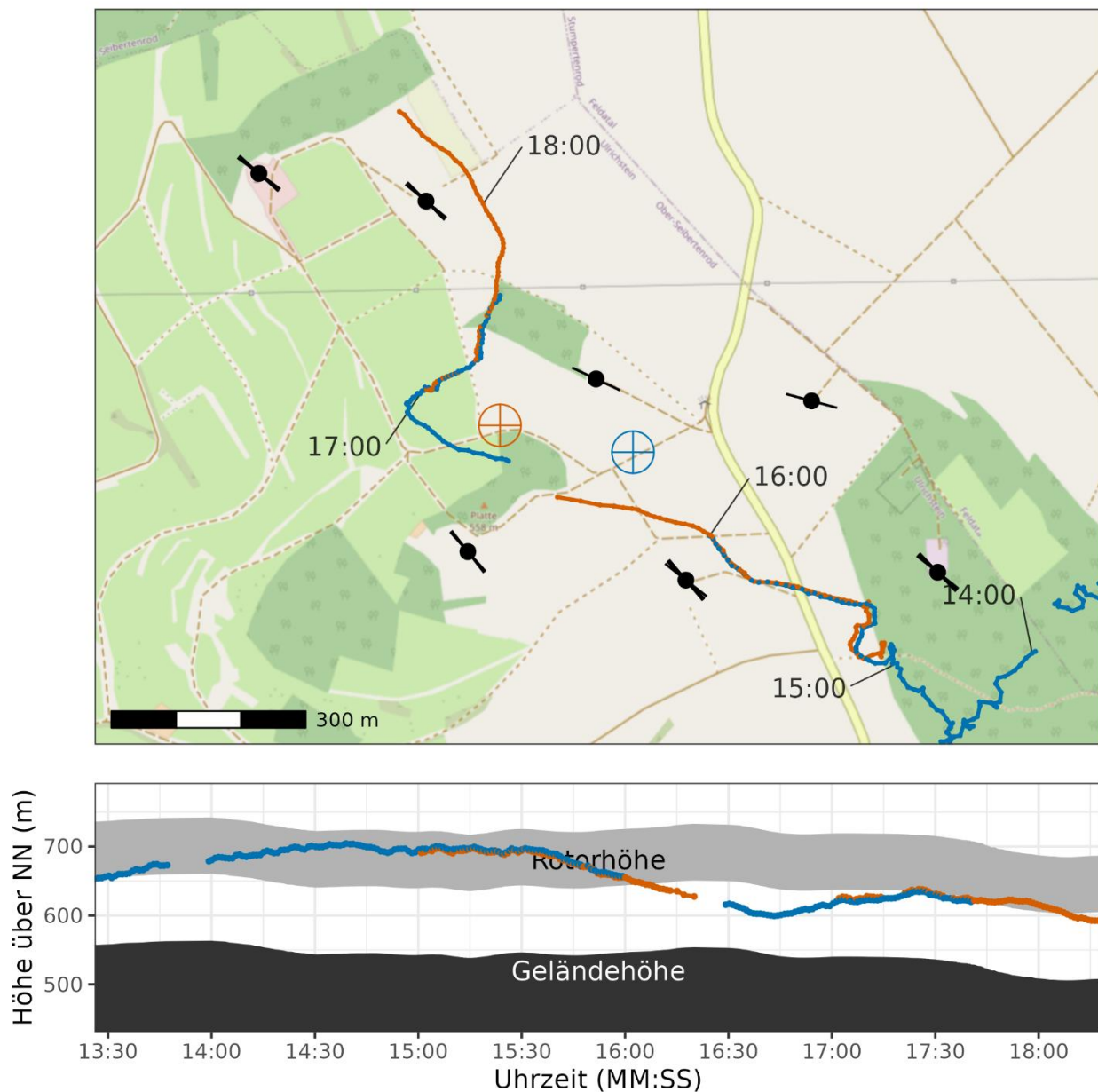


Abbildung 63: Rotmilan-Flugbahn in Rotorhöhe, umfliegt die WEA in der Horizontalen. In der Kartendarstellung sind farblich kodiert die Messpunkte der 2 IDF-Systeme als Punkte eingetragen. Die Fadenkreuze stellen die jeweiligen Standorte der IDF-Systeme dar. Die WEA sind als schwarze Punkte eingezeichnet. Die zeitgleiche Rotorstellung(en) ist als schwarze Linien dargestellt. Die untere Grafik zeigt den Flughöhenverlauf der Rotmilanflugbahn. Die IDF-Messpunkte sind, gleich wie in der Karte, farblich unterschieden. Zusätzlich wird die Geländehöhe unter den jeweiligen Messpunkten als dunkelgrau unterlegte Fläche dargestellt. Aus der Geländehöhe abgeleitet, wird darüber, hellgrau unterlegt, das Höhenband dargestellt, welches vom Rotor der WEA durchstreift wird.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group



Abbildung 64: Rotmilan-Flugbahn oberhalb der WEA ohne Ausweichreaktion. In der Kartendarstellung sind farblich kodiert die Messpunkte der 2 IDF-Systeme als Punkte eingetragen. Die Fadenkreuze stellen die jeweiligen Standorte der IDF-Systeme dar. Die WEA sind als schwarze Punkte eingezeichnet. Die zeitgleiche Rotorstellung(en) ist als schwarze Linien dargestellt. Die untere Grafik zeigt den Flughöhenverlauf der Rotmilanflugbahn. Die IDF-Messpunkte sind, gleich wie in der Karte, farblich unterschieden. Zusätzlich wird die Geländehöhe unter den jeweiligen Messpunkten als dunkelgrau unterlegte Fläche dargestellt. Aus der Geländehöhe abgeleitet wird darüber, hellgrau unterlegt, das Höhenband dargestellt, welches vom Rotor der WEA durchstreift wird.

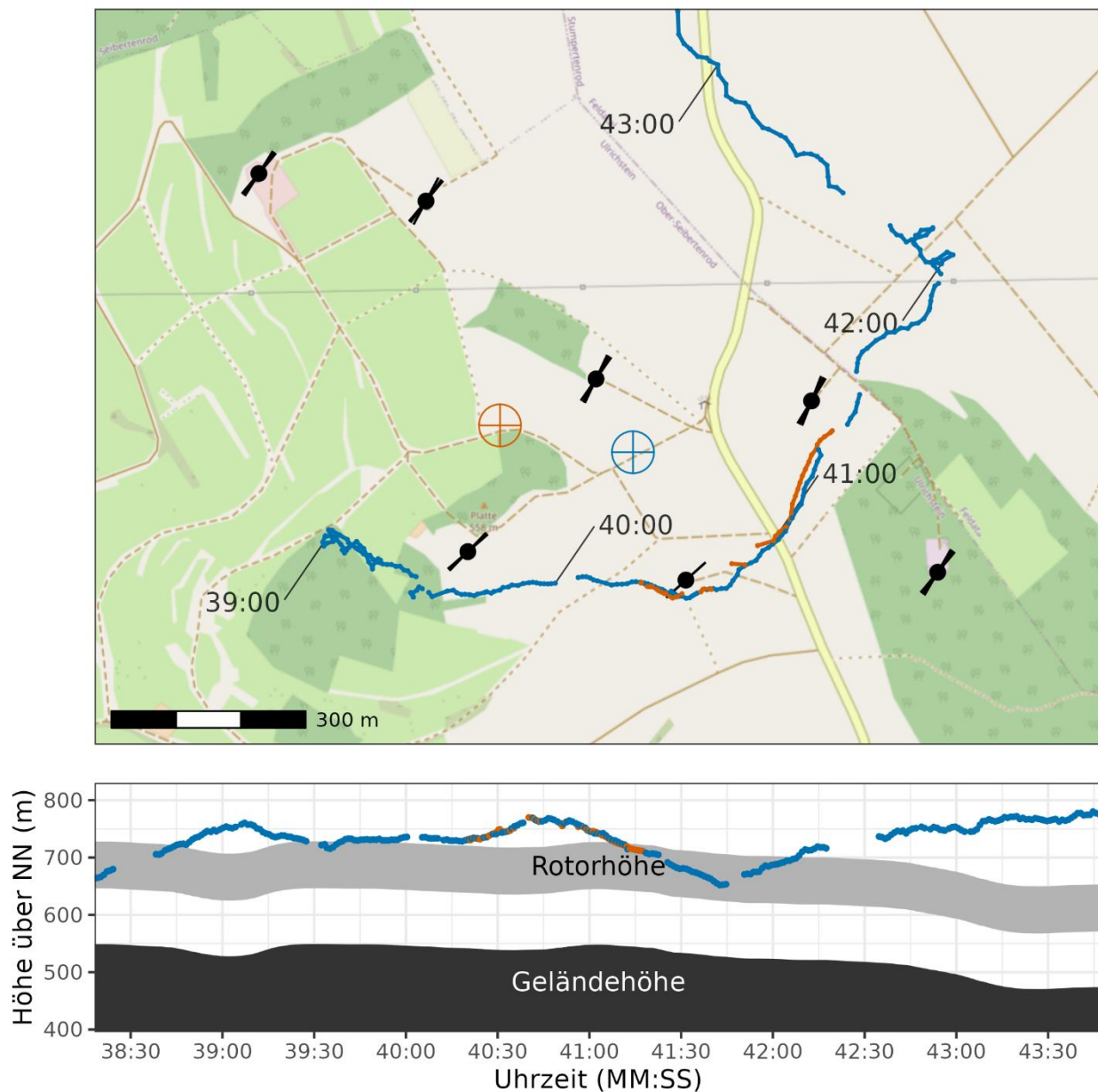


Abbildung 65: Rotmilan-Flugbahn weicht kurz vor dem Rotor nach oben aus. In der Kartendarstellung sind farblich kodiert die Messpunkte der 2 IDF-Systeme als Punkte eingetragen. Die Fadenkreuze stellen die jeweiligen Standorte der IDF-Systeme dar. Die WEA sind als schwarze Punkte eingezeichnet. Die zeitgleiche Rotorstellung(en) ist als schwarze Linien dargestellt. Die untere Grafik zeigt den Flughöhenverlauf der Rotmilanflugbahn. Die IDF-Messpunkte sind, gleich wie in der Karte, farblich unterschieden. Zusätzlich wird die Geländehöhe unter den jeweiligen Messpunkten als dunkelgrau unterlegte Fläche dargestellt. Aus der Geländehöhe abgeleitet wird darüber, hellgrau unterlegt, das Höhenband dargestellt, welches vom Rotor der WEA durchstreift wird.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

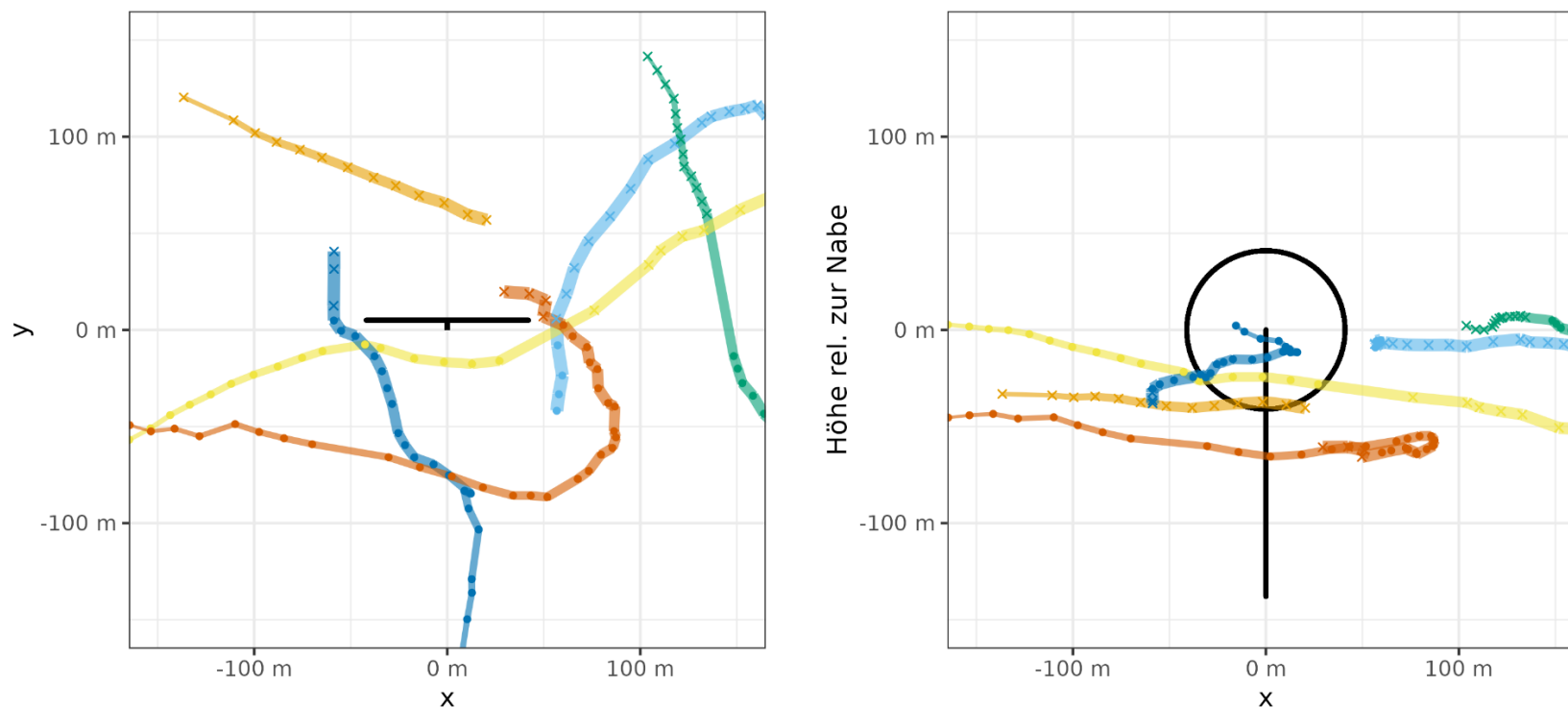


Abbildung 66: Rotmilanflugbahnen im Nahbereich der WEA-Rotoren. Dargestellt sind, farblich unterschieden, 6 Rotmilanflugbahnen, die sich den WEA-Rotoren bis auf wenige Meter annähern. Die Flugbahnen wurden bei unterschiedlichen Rotorausrichtungen aufgezeichnet und zum Zwecke der Darstellung auf eine normierte Ausrichtung transformiert. In der linken Grafik wird die WEA von oben gezeigt. Die Nabe ist nach oben ausgerichtet. Alle Achsen haben ihren Nullpunkt an der Position der WEA-Nabe. Punkte, die sich auf der windzugewandten Seite des Rotors befinden, sind als Kreuze eingezeichnet, die Punkte der windzugewandten Seite als Punkte. Die Größe der Punkte sowie die der unterlegten Linie nimmt im Verlauf der Flugbahn zu. In der rechten Grafik sind dieselben Flugbahnen in einer Frontalansicht zu sehen. Auch in dieser Grafik ist anhand des Punktsymbols erkennbar, ob sich der Punkt vor dem Rotor oder dahinter befindet.

Links: Ansicht von oben; Rechts: Frontalansicht

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

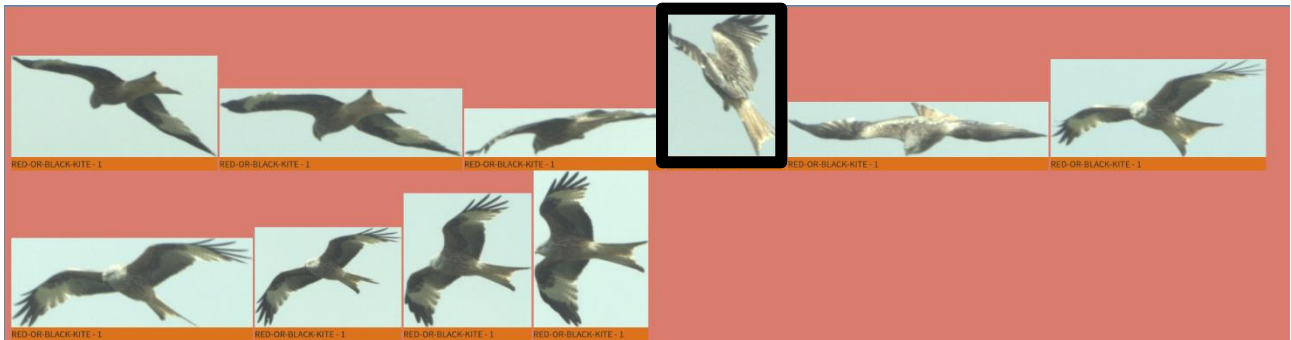
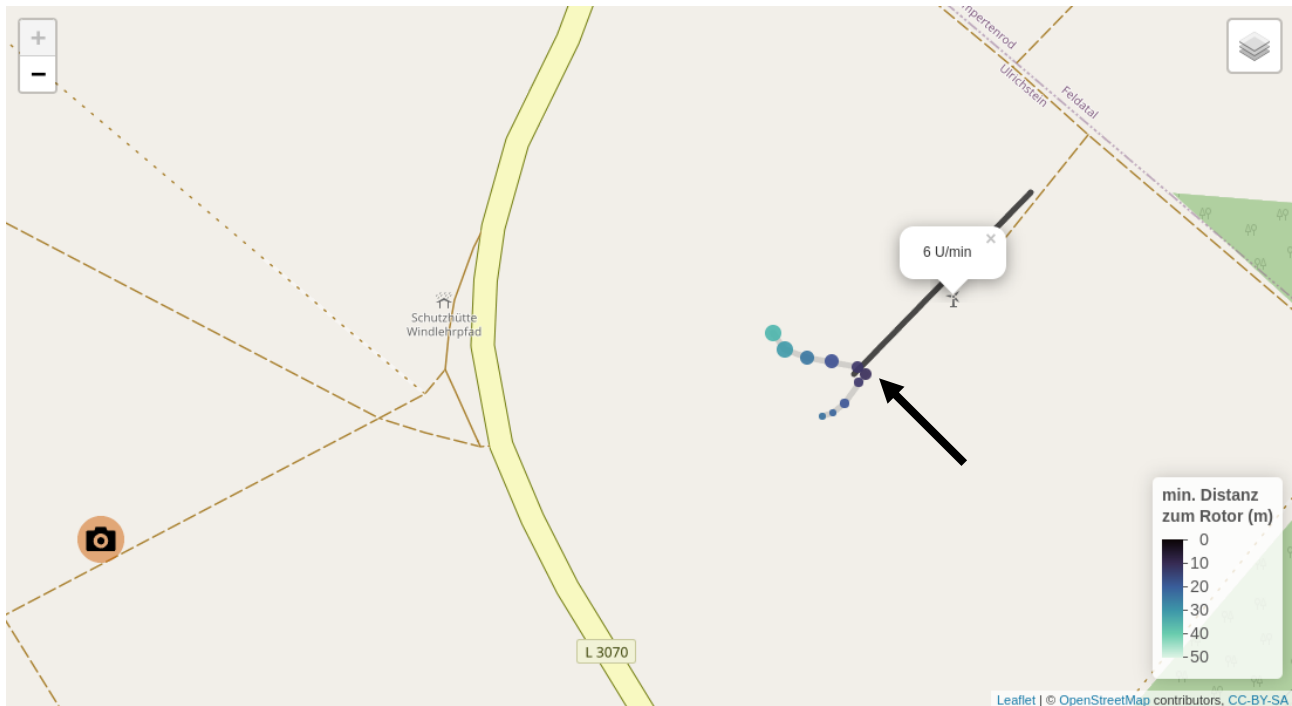


Abbildung 67: Ausweichreaktion eines Rotmilans. In der oben dargestellten Karte ist der Verlauf einer Rotmilanflugbahn zu sehen. Die Punkte sind farblich kodiert entsprechend ihrer Distanz zum WEA-Rotor. Die Größe der Punkte nimmt im Verlauf der Flugbahn zu. Die Ausrichtung bzw. maximalen horizontalen Ausmaße des WEA-Rotors (auf Nabenhöhe) zum Aufnahmezeitpunkt der Flugbahn entsprechen der eingezeichneten schwarzen Linie. Der schwarze Pfeil zeigt den Zeitpunkt in der Flugbahn, an dem eine deutlich sichtbare Ausweichreaktion des Rotmilans einsetzte. In der Bilderfolge unter der Karte ist in chronologischer Reihenfolge pro Messpunkt das zugehörige Bild abgedruckt. Das Bild, in dem der Beginn der Ausweichreaktion erkennbar ist, wurde schwarz eingerahmt. Der Vogel näherte sich der Rotorscheibe auf bis zu 11 m an. Die tatsächliche Distanz zu einem Rotorblatt kann größer gewesen sein.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

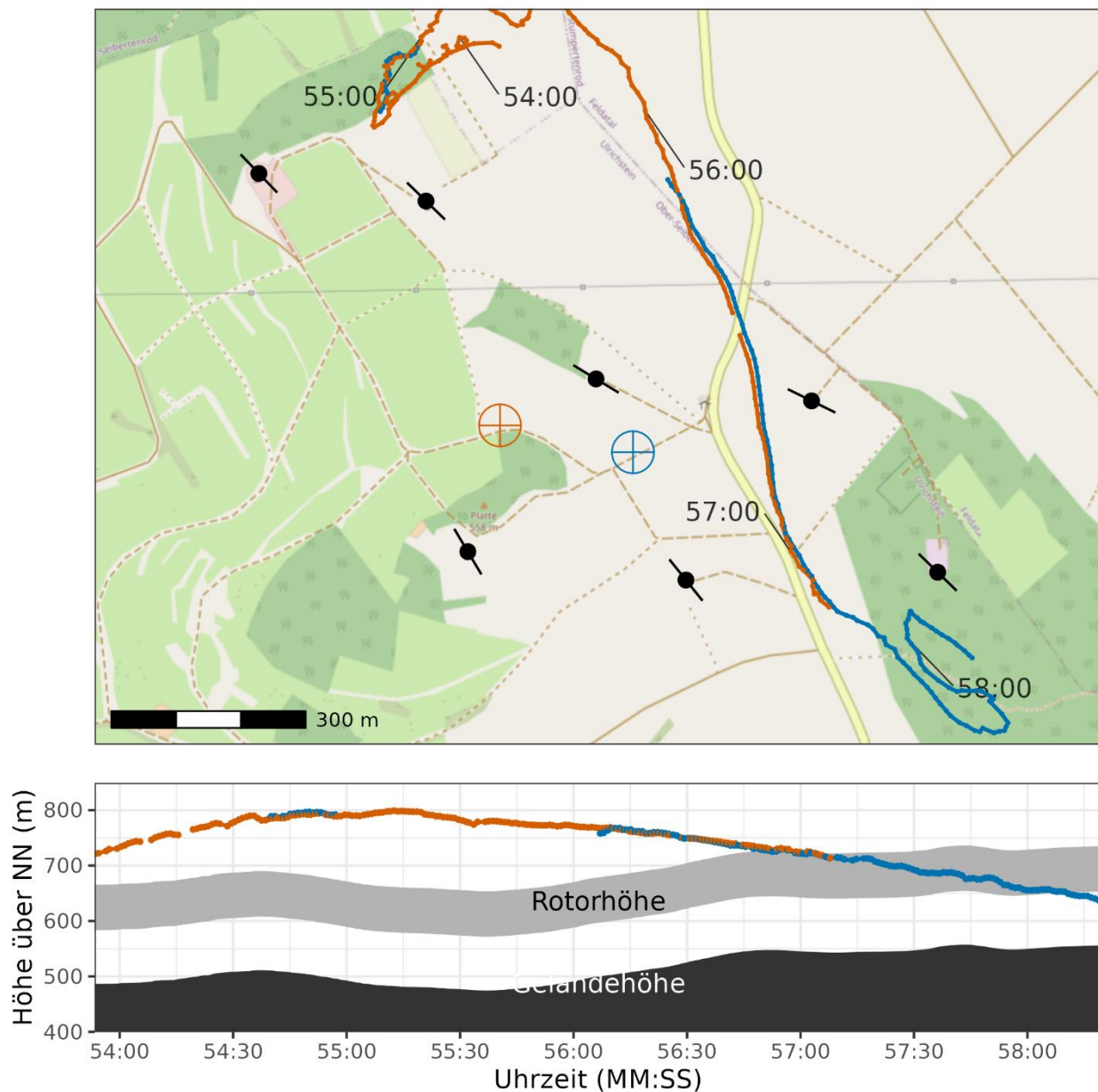


Abbildung 68: Rotmilan-Flugbahn mit Abdrehen vor dem Rotor in Rotorhöhe (rechts unten in der Karte). In der Kartendarstellung sind farblich kodiert die Messpunkte der 2 IDF-Systeme als Punkte eingetragen. Die Fadenkreuze stellen die jeweiligen Standorte der IDF-Systeme dar. Die WEA sind als schwarze Punkte eingezeichnet. Die zeitgleiche Rotorstellung(en) ist als schwarze Linien dargestellt. Die untere Grafik zeigt den Flughöhenverlauf der Rotmilanflugbahn. Die IDF-Messpunkte sind, gleich wie in der Karte, farblich unterschieden. Zusätzlich wird die Geländehöhe unter den jeweiligen Messpunkten als dunkelgrau unterlegte Fläche dargestellt. Aus der Geländehöhe abgeleitet wird darüber, hellgrau unterlegt, das Höhenband dargestellt, welches vom Rotor der WEA durchstreift wird.

3.3.3.6 Rotordurchflüge – Simulation

Sowohl spontane Ausweichreaktionen als auch kleinräumiges und großräumiges Ausweichverhalten wirken dahingehend, dass Rotordurchflüge vermieden werden. Anhand eines Vergleiches der Anzahl beobachteter Rotordurchflüge mit einem simulierten Erwartungswert ähnlich der Methode von SCHAUB *et al.* (2020) kann der Effekt dieses Verhaltens zusammenfassend quantifiziert werden.

Im gesamten Untersuchungszeitraum konnten lediglich zwei Flugbahnen von Rotmilanen durch drehende Rotoren dokumentiert werden. Beide Flugbahnen wurden anhand der aufgezeichneten Bilder bzgl. der Übereinstimmung der Flugrichtung in Bild und Positionsmessungen sowie des Bildinhaltes plausibilisiert. So konnte ausgeschlossen werden, dass zwischenzeitlich die Position eines Rotorflügels anstatt des Rotmilans eingemessen wurde (Abbildung 69 bis Abbildung 72). Eine dritte Flugbahn, die zunächst auch als Rotordurchflug eingestuft wurde, da sie einen Messpunkt exakt auf der Rotorscheibe vorweist, stellte sich in diesem Prüfprozess als fehlerhaft heraus (Abbildung 73 und Abbildung 74).

Die Anzahl der aufgezeichneten Rotordurchflüge ist in Relation zu setzen zu der im Untersuchungszeitraum ermittelten Flugaktivität: 245.438 Messpunkte in Distanzen kleiner 250 m zu einem WEA-Rotor (~68 h 11 min kontinuierliche Aufzeichnungsdauer) bzw. 50.119 Messpunkten in Distanzen kleiner 100 m (~13 h 55 min kontinuierliche Aufzeichnungsdauer).

Zur Berechnung des Erwartungswertes wurden 2.039 Rotmilan-(Teil-)Flugbahnen verwendet, die den definierten Mindestkriterien entsprachen (mind. ein Messpunkt in <150 m Distanz zum WEA-Rotor, Minstdauer 30 s, keine Unterbrechung > 3 s). In diesem Datensatz war ein Rotordurchflug enthalten, was einer Rate von rund 0,00049 Rotordurchflügen pro Flugbahn entspricht.

Die in der Simulation verschobenen Flugbahnen verliefen im Mittel 0,0286-mal durch einen Rotor. Der Vergleich des Erwartungswertes mit der beobachteten Anzahl von Rotordurchflügen ergibt eine Meiderate von 98,3%. Die auf diese berechneten Meideraten beinhalten sowohl Meso- als auch Mikro-Avoidance, d.h. sowohl die Meidung der WEA-Nähe als auch das unmittelbare Ausweichen zur Vermeidung eines Rotordurchflugs.

In den 81 per Telemetrie erfassten Rotmilan-(Teil-)Flugbahnen, welchen denselben Mindestkriterien entsprachen, wurde kein Rotordurchflug aufgezeichnet. Per Simulation wurde für diese Flugbahnen eine Rotordurchflugsrate von 0,0114 Rotordurchflügen ermittelt. Die Berechnung einer Meiderate für die Telemetrieflugbahnen erscheint allerdings aufgrund der kleinen Stichprobe nicht als sinnvoll.

Darüber hinaus bestätigen die Ergebnisse der Simulation die Ergebnisse bzgl. des beobachteten Meideverhaltens gegenüber WEA-Rotoren (Kapitel 3.3.3.4 und 3.3.3.5). Die realen, aufgezeichneten Flugbahnen erreichen deutlich seltener den Nahbereich der WEA-Rotoren, als es die Ergebnisse der Simulation erwarten lassen. Dies zeigt sich gleichermaßen bei den IDF-Flugbahnen (Abbildung 75), als auch bei den Telemetrie-Flugbahnen (Abbildung 76) und legt nahe, dass die Rotmilanflugbahnen gezielt so verlaufen, dass die Nähe der WEA-Rotoren vermieden wird.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

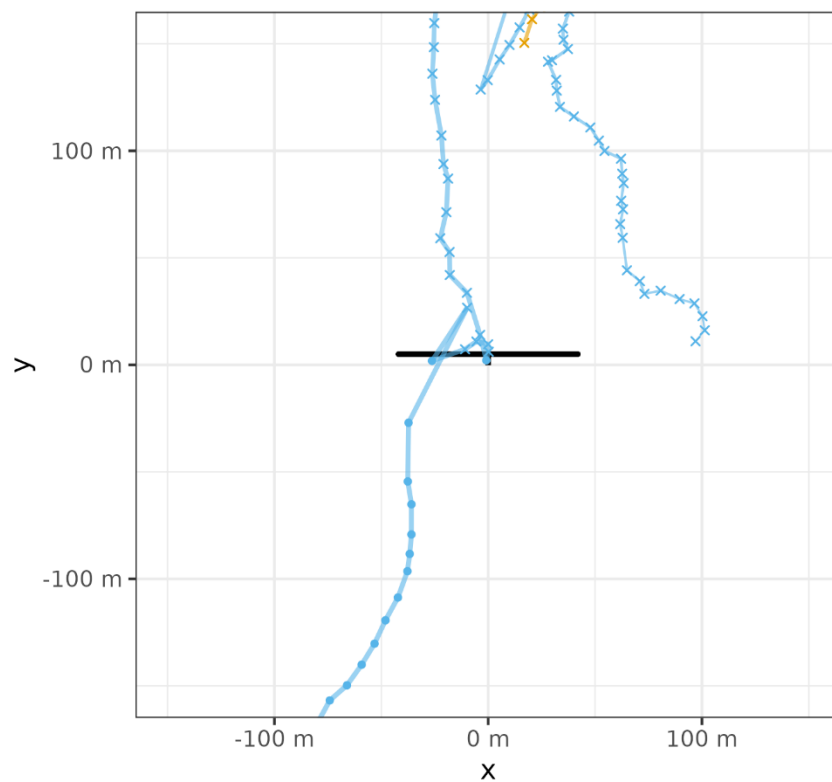
Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Rotordrehzahl: 7.71 U/min

Radiale Distanz zur IDF-Kamera: System 1: 533 m; System 2: 387 m

Ansicht von Oben



Frontalansicht

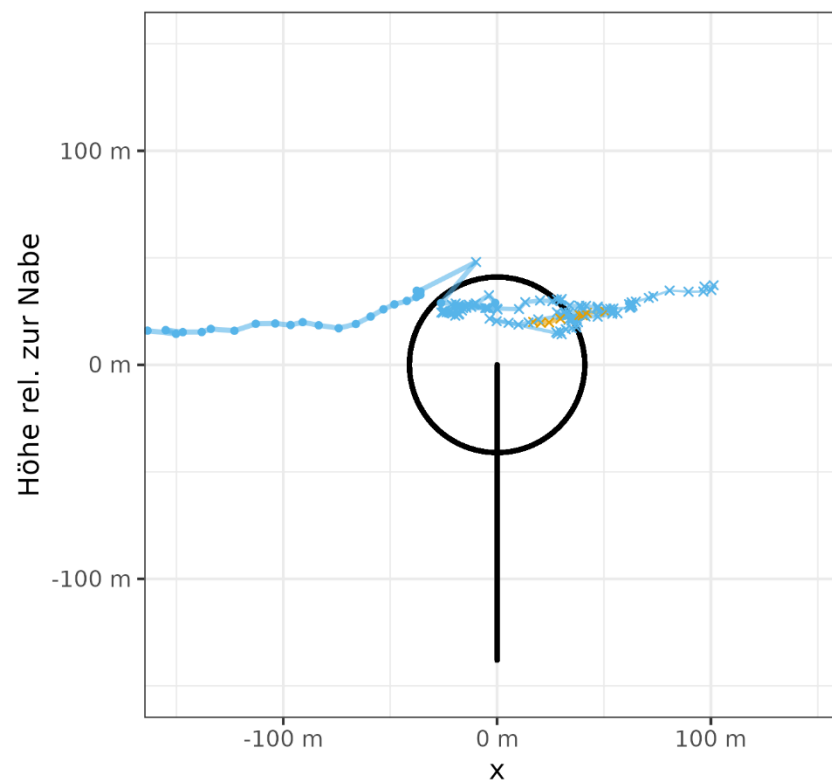


Abbildung 69 Erster dokumentierter Rotordurchflug in Draufsicht und Frontalansicht (vgl. Abbildung 70).

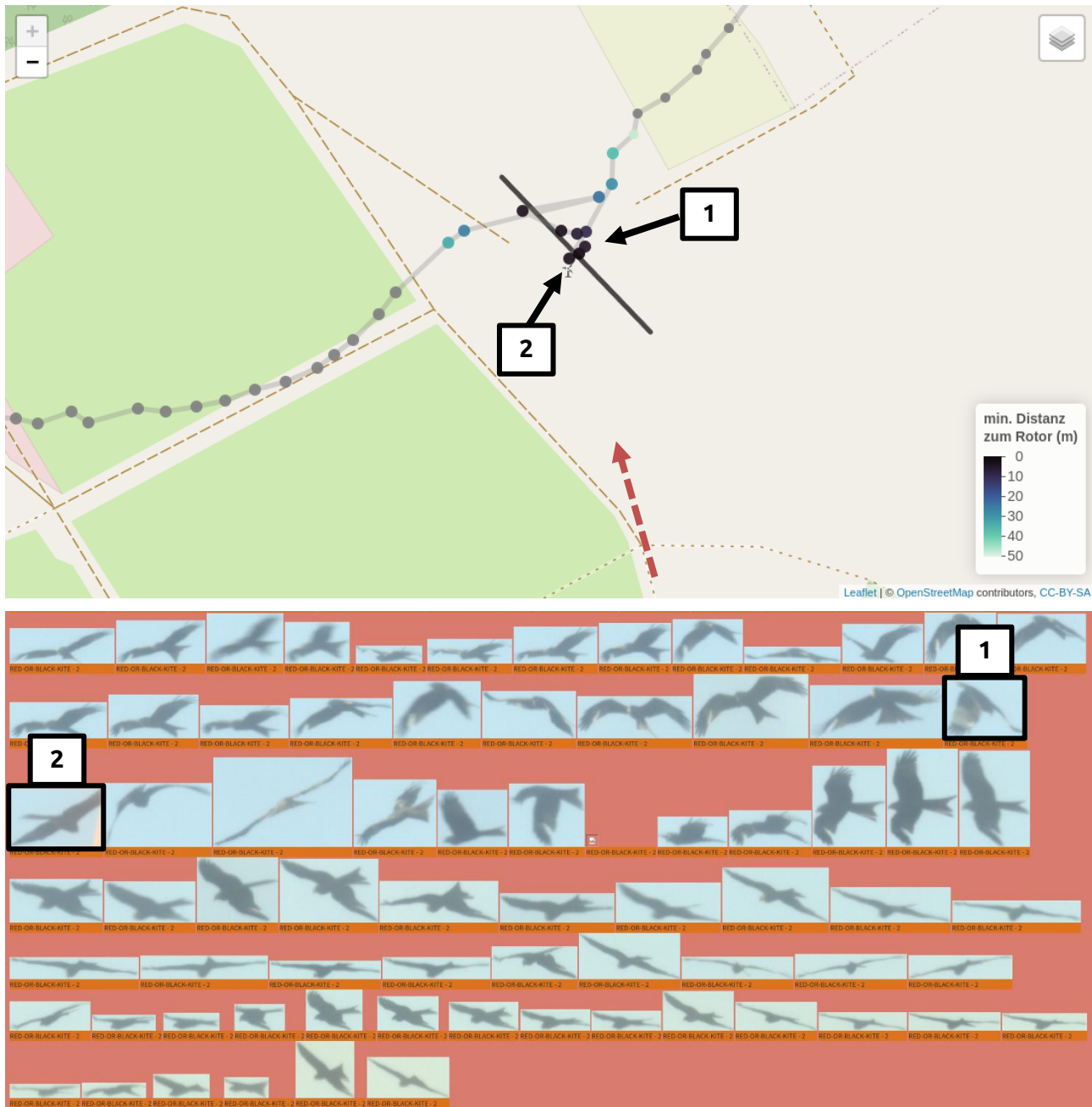


Abbildung 70 Erster Rotordurchflug eines Rotmilans in Kartensicht und Fotos. In der oben dargestellten Karte ist der Verlauf einer Rotmilanflugbahn zu sehen, die zwei Mal durch den Rotorbereich verläuft (identisch mit Abbildung 69). Die Punkte sind farblich kodiert entsprechend ihrer Distanz zum WEA-Rotor. Graue Punkte sind weiter als 50 m vom Rotor entfernt. Die Größe der Punkte nimmt im Verlauf der Flugbahn zu. Die Ausrichtung bzw. maximale horizontale Ausmaße des WEA-Rotors (auf Nabenhöhe) zum Aufnahmezeitpunkt der Flugbahn entsprechen der eingezeichneten schwarzen Linie. Der gestrichelte rote Pfeil zeigt die Blickrichtung des IDF-Systems, welches die Flugbahn aufzeichnete. Die nummerierten schwarzen Pfeile ordnen 2 Bilder den Messpunkten zu. Bild 1 zeigt einen Teil der Ausweichreaktion (180° Drehung). Auf Bild 2 ist der WEA-Rotor vor dem Rotmilan zu sehen

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

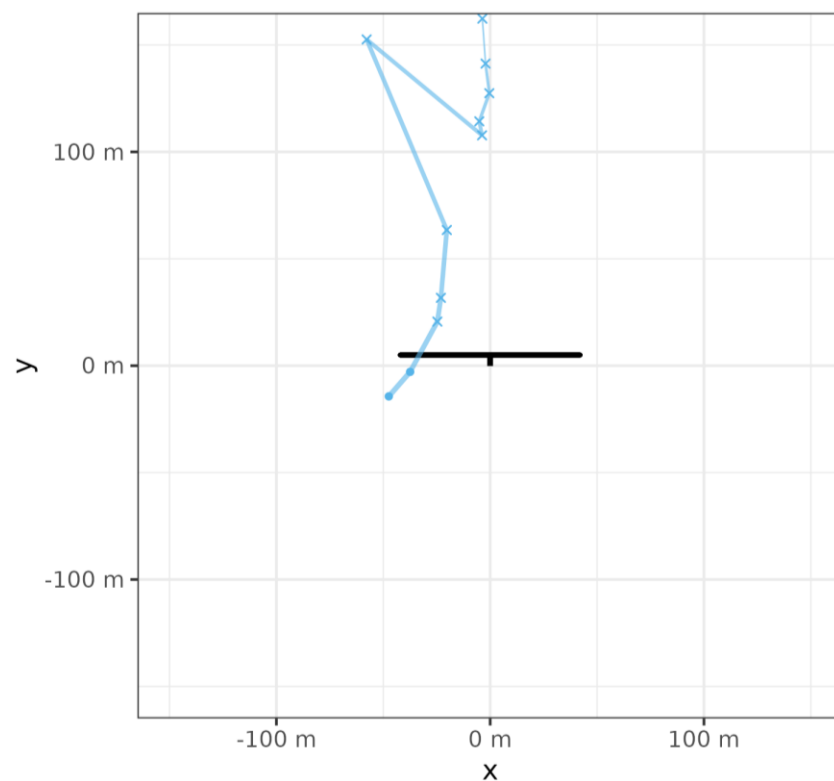
Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Rotordrehzahl: 7.71 U/min

Radiale Distanz zur IDF-Kamera: System 1: 533 m; System 2: 387 m

Ansicht von Oben



Frontalansicht

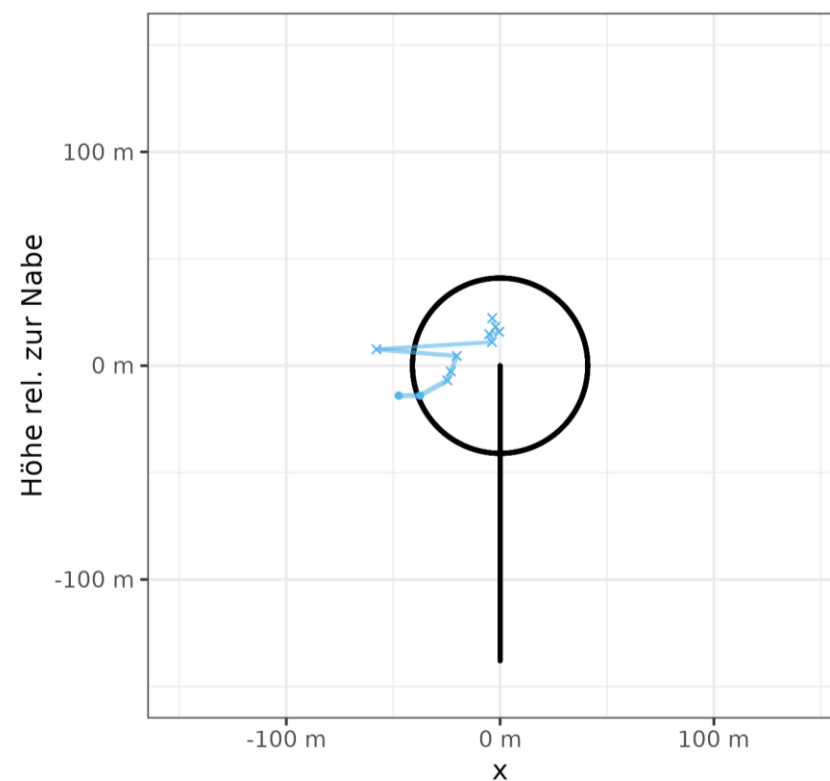


Abbildung 71 Zweiter dokumentierter Rotordurchflug in Draufsicht und Frontalansicht (vgl. Abbildung 72).

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

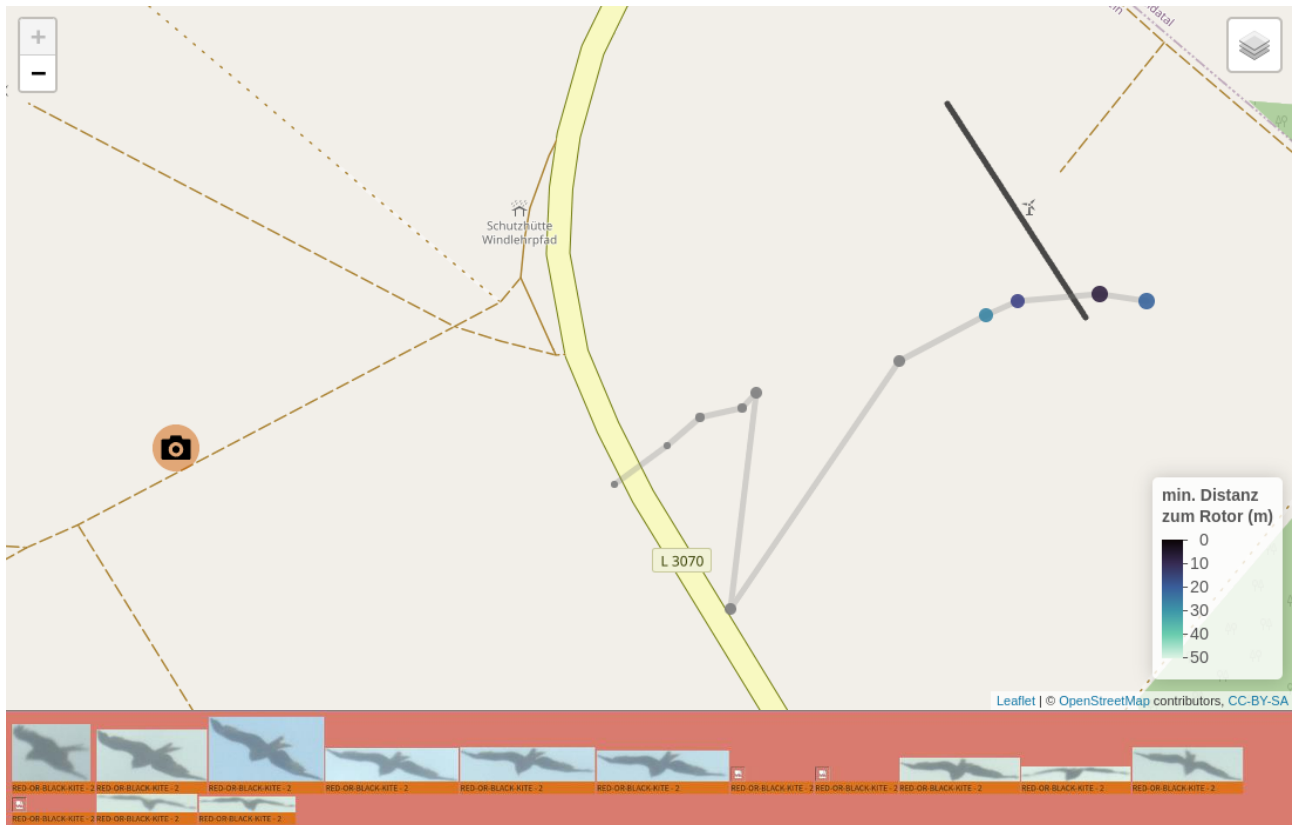


Abbildung 72 Zweiter Rotordurchflug eines Rotmilans in Kartensansicht und Fotos. In der oben dargestellten Karte ist der Verlauf einer Rotmilanflugbahn zu sehen, die durch den Rotorbereich verläuft, identisch mit Abbildung 71. Die Punkte sind farblich kodiert entsprechend ihrer Distanz zum WEA-Rotor. Graue Punkte sind weiter als 50 m vom Rotor entfernt. Die Größe der Punkte nimmt im Verlauf der Flugbahn zu. Die Ausrichtung bzw. maximale horizontale Ausmaße des WEA-Rotors (auf Nabenhöhe) zum Aufnahmezeitpunkt der Flugbahn entsprechen der eingezeichneten schwarzen Linie. Die Position des IDF-Systems, welche die Flugbahn aufzeichnete, ist mit einem rot unterlegten Kamerasymbol markiert. Der stark vom Rest abweichende Messpunkt ist als Messfehler einzustufen, da auf den Bildern keine starke Richtungsänderung erkennbar ist.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

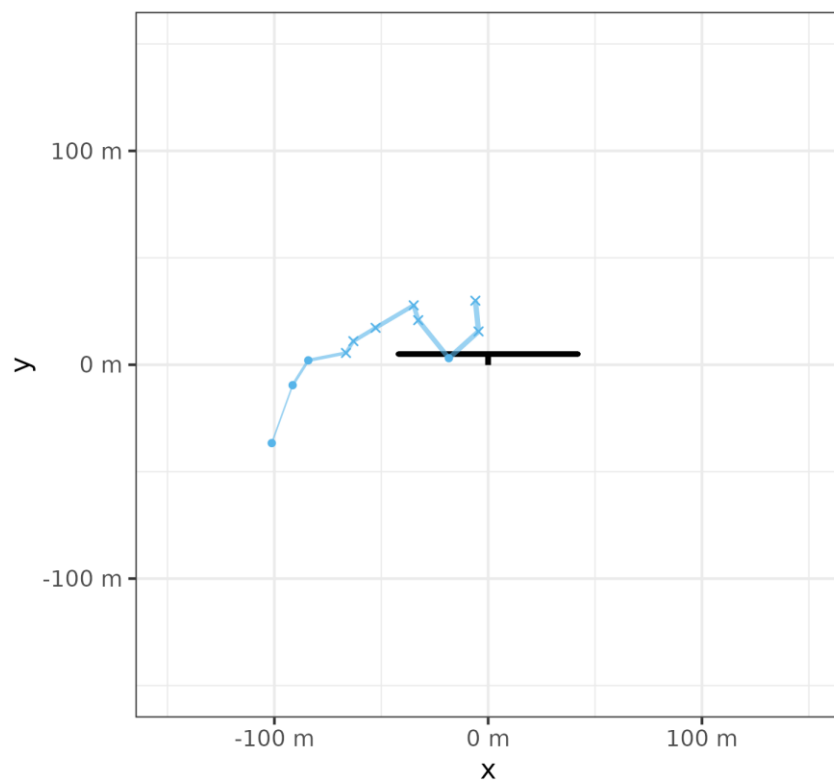
Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Rotordrehzahl: 7.71 U/min

Radiale Distanz zur IDF-Kamera: System 1: 533 m; System 2: 387 m

Ansicht von Oben



Frontalansicht

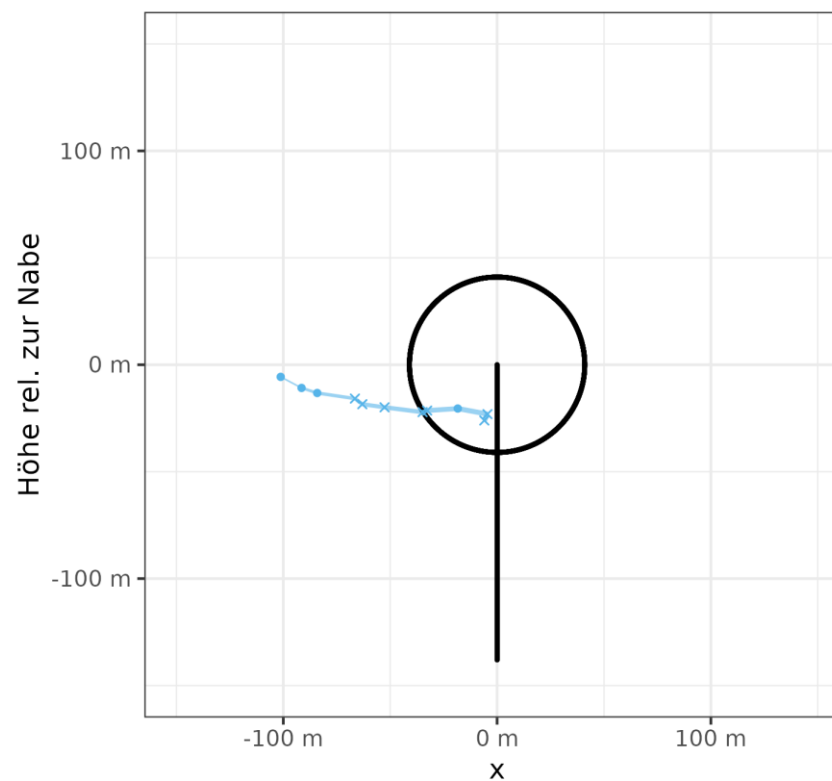


Abbildung 73: Falsifizierter Rotordurchflug eines Rotmilans in Draufsicht und Frontalansicht (vgl. Abbildung 74)

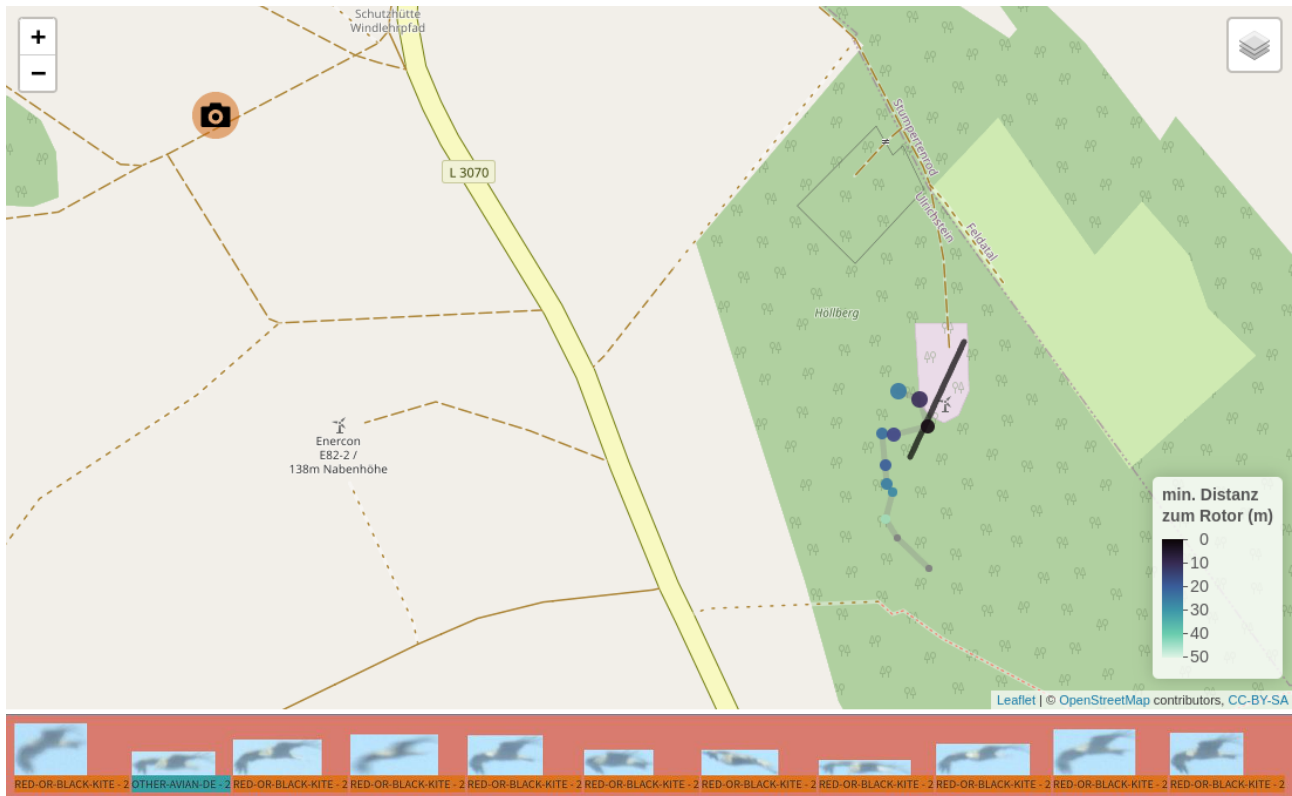


Abbildung 74 Falsifizierter Rotordurchflug eines Rotmilans. In der oben dargestellten Karte ist der Verlauf einer Rotmilanflugbahn zu sehen, die vermeintlich durch den Rotorbereich verläuft (identisch mit Abbildung 73). Die Punkte sind farblich kodiert entsprechend ihrer Distanz zum WEA-Rotor. Graue Punkte sind weiter als 50 m vom Rotor entfernt. Die Größe der Punkte nimmt im Verlauf der Flugbahn zu. Die Ausrichtung bzw. maximale horizontale Ausmaße des WEA-Rotors (auf Nabenhöhe) zum Aufnahmezeitpunkt der Flugbahn entsprechen der eingezeichneten schwarzen Linie. Die Position des IDF-Systems, welche die Flugbahn aufzeichnete, ist mit einem rot unterlegten Kamerasymbol markiert. Anhand der aufgezeichneten Bilder kann nachvollzogen werden, dass der Rotmilan tatsächlich in einer geraden Bahn am WEA-Rotor vorbeigeflogen ist. Die 3 Messpunkte, die eine Annäherung bzw. Durchquerung des WEA-Rotors zeigen, sind Fehlmessungen, die vermutlich dadurch entstanden sind, dass das IDF zwischenzeitlich die Position des WEA-Rotors eingemessen und zwischen Vogel- und Rotorposition gemittelt hat.

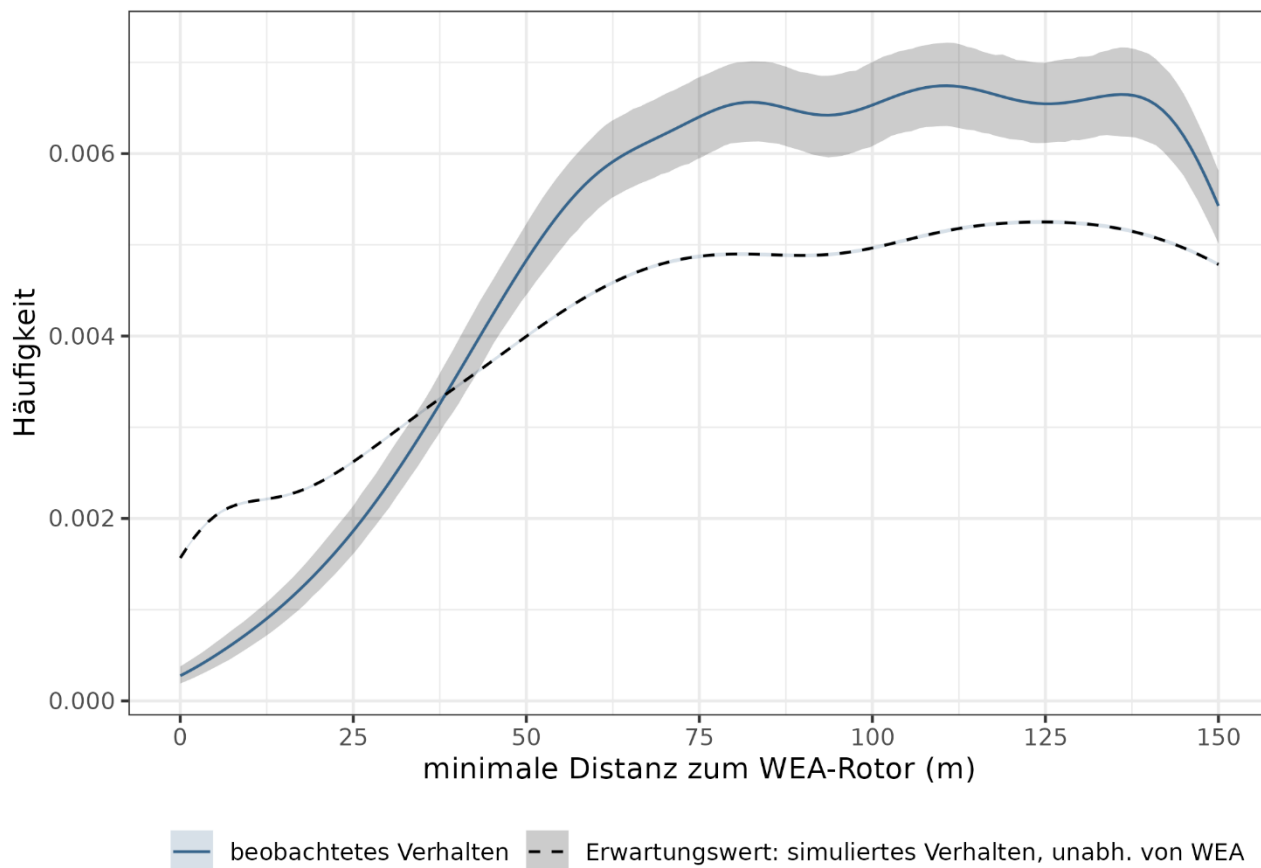


Abbildung 75: Häufigkeitsverteilung von pro IDF-Flugbahn berechneten minimalen Annäherungsdistanzen von Rotmilanen an den WEA-Rotor. In der Darstellung wird die minimale Distanz zum Rotor verglichen zwischen aufgezeichneten IDF-Flugbahnen (beobachtetes Verhalten) und simulierten Flugbahnen (Erwartungswert), die ein von den WEA unbeeinflusstes Flugverhalten darstellen sollen. Die Häufigkeitsverteilung, dargestellt als Linie, ist per Kerndichteschätzung (Gaußkern, $h = 7,5$) berechnet. Die schattierten Bereiche um die Linien stellen das 95 % Sicherheitsintervall dar. Datengrundlage: 2.034 Flugbahnen, die zur Ermittlung des Erwartungswertes in 1 m Schritten jeweils 0-200 m orthogonal zu ihrer Flugrichtung nach links und rechts verschoben wurden.

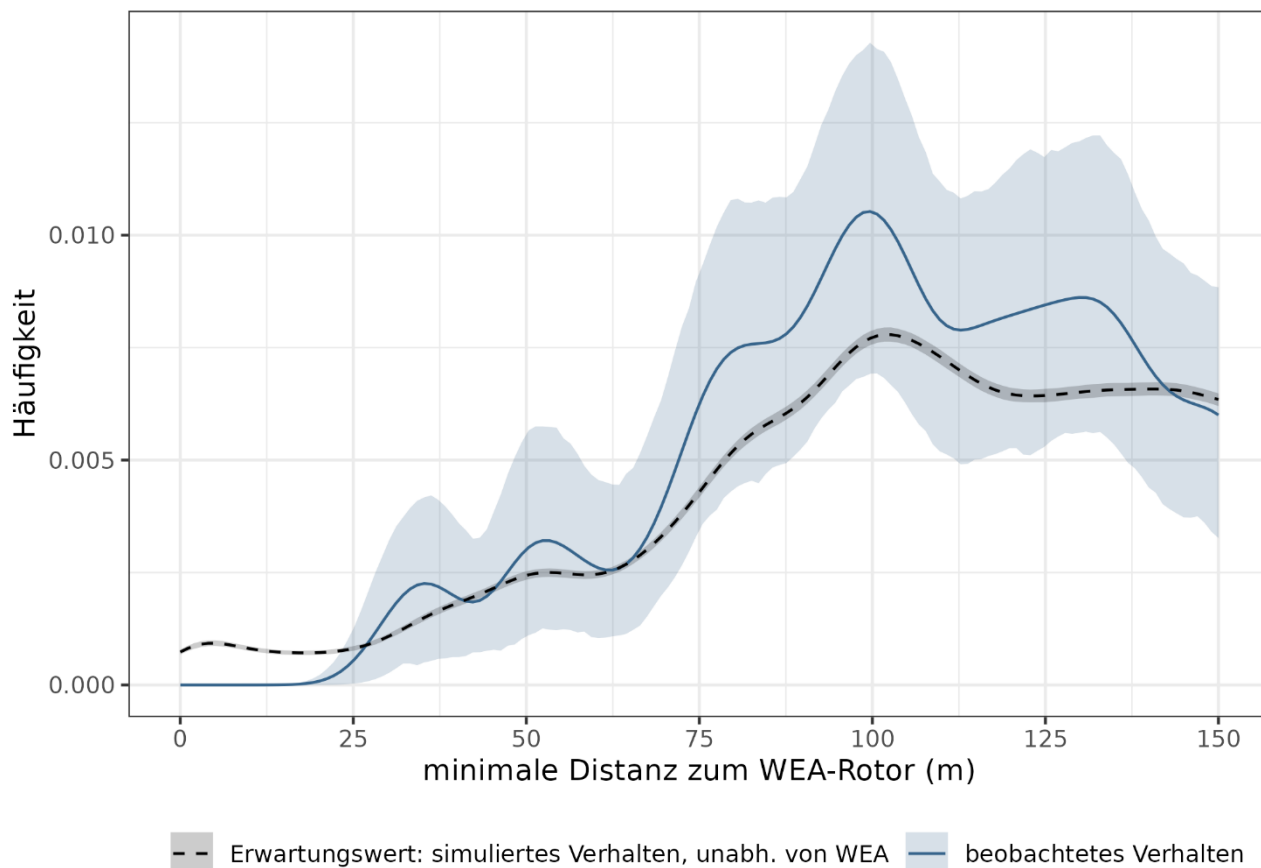


Abbildung 76: Häufigkeitsverteilung von pro Telemetrie-Flugbahn berechneten minimalen Annäherungsdistanzen von Rotmilanen an den WEA-Rotor. In der Darstellung wird die minimale Distanz zum Rotor verglichen zwischen aufgezeichneten Telemetrie-Flugbahnen (beobachtetes Verhalten) und simulierten Flugbahnen (Erwartungswert), die ein von den WEA unbeeinflusstes Flugverhalten darstellen sollen. Die Häufigkeitsverteilung, dargestellt als Linie, ist per Kerndichteschätzung (Gaußkern, $h = 5$) berechnet. Die schattierten Bereiche um die Linien stellen das 95 %-Sicherheitsintervall dar. Datengrundlage: 81 Flugbahnen, die zur Ermittlung des Erwartungswertes in 1 m Schritten, jeweils 0-200 m orthogonal zu ihrer Flugrichtung nach links und rechts verschoben wurden.

3.3.3.7 Rotordurchflüge – Band Modell

In einem weiteren methodischen Ansatz wurde zur Ermittlung von Erwartungswerten, die mit der beobachteten Anzahl an Rotordurchflügen verglichen werden können, der Schritt 1 des Band-Modells verwendet (siehe Kapitel 3.2.2.6 und 5.2.1). Die per Band-Modell berechnete Anzahl erwarteter Rotordurchflüge ist stark davon abhängig, welche mittlere Rotordurchflugszeit bei der Berechnung angenommen wird. Führt man die Berechnung entsprechend SNH (2000) bzw. BAND *et al.* (2007) durch und geht von einem orthogonalen Rotordurchflug bei durchschnittlicher Fluggeschwindigkeit aus, so liegt die geschätzte Meiderate bei 99,1% (Tabelle 5). Eine konservativere Annahme bzgl. der Rotordurchflugszeit von 2 s soll auch etwaige Kurvenflüge oder kreisende Flugbewegungen berücksichtigen. Anhand der Abbildungen der aufgezeichneten Rotordurchflüge in Kapitel 3.3.3.6 ist allerdings erkennbar, dass die meisten Rotordurchflüge weniger als eine Sekunde dauern. Wird der Berechnung eine Rotordurchflugszeit von 2 s zugrunde gelegt, führt dies zu einer Schätzung der Meiderate auf 96,1% (Tabelle 5).

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 5: Meso- und Mikro-Avoidance Rate berechnet durch Vergleich der per Band-Modell erwarteten Anzahl von Rotordurchflügen mit der beobachteten Anzahl von Rotordurchflügen. Pro WEA und aufsummiert über alle WEA wird angegeben, wie viele Messpunkte im Risikobereich (auf Rotorhöhe, ≤ 200 m horizontale Distanz zur WEA-Nabe) aufgezeichnet wurden und bei wie vielen dieser Punkte der Rotmilan sich in Rotorreichweite befunden hätte, wenn die Punkte gleichmäßig im Raum verteilt wären. Die aus der Punkteanzahl in Rotorreichweite abgeleitete Anzahl erwarteter Rotordurchflüge wird unterschieden nach 2 verschiedenen Annahmen bzgl. der durchschnittlichen Rotor-Durchflugszeit angegeben. Auch die daraus berechnete Meiderate wird bzgl. der angenommenen mittleren Rotor-Durchflugszeit unterteilt. Die Meiderate stellt das Produkt von Meso- und Mikro-Avoidance Verhalten dar.

WEA	Anzahl Messpunkte		Erwartete Anzahl Rotordurchflüge		Beobachtete Anzahl Rotordurchflüge	Meiderate (Meso-Avoidance und Mikro-Avoidance)	
	im Risikobereich	anteilmäßig erwartet im Rotorbereich	Durchflugszeit 0,46s	Durchflugszeit 2s		Durchflugszeit 0,46s	Durchflugszeit 2s
1	5.638	12,3	26,6	6,1	0	100%	100%
2	7.560	16,5	35,6	8,2	0	100%	100%
3	8.503	18,5	40,1	9,3	0	100%	100%
4	4.812	10,5	22,7	5,2	0	100%	100%
5	7.316	15,9	34,5	8,0	1	97,1%	87,4%
6	6.192	13,5	29,2	6,7	0	100%	100%
7	7.115	15,5	33,5	7,7	1	97,0%	87,1%
Gesamt	47.136	102,7	222,2	51,3	2	99,1%	96,1%

3.4 Diskussion

3.4.1 Leistungsfähigkeit des IDF

Grundlage für die Beurteilung der Belastbarkeit der erzielten Datengrundlage ist die Überprüfung der relevanten Leistungsparameter der beiden verwendeten IDF-Systeme. Hierbei zeigte sich, dass die ermittelte Erfassungsreichweite von mehr als 750 m sowie die Detektionsrate von rd. 93 % sehr gut mit den an sechs Erprobungsstandorten gewonnenen Ergebnissen von REICHENBACH *et al.* (2021) übereinstimmen. Diese beiden Kennwerte verdeutlichen, dass die Flugaktivität von Rotmilanen im Bereich des Windparks „Auf der Platte“ zu einem sehr hohen Grad repräsentativ erfasst werden konnte.

Die Klassifizierungsleistung wurde im Rahmen dieses Vorhabens nicht überprüft, da ohnehin sämtliche Tracks, in denen laut IDF mind. ein Messpunkt eines Rot- oder Schwarzmilans enthalten war, anhand der Fotos nachbestimmt wurden. Hierdurch wurde sichergestellt, dass sämtliche Tracks, die in die Auswertung eingingen, tatsächlich nur Rotmilane enthielten. Es wurde hingegen nicht überprüft, ob es sich bei anderen Tracks, die von IDF nicht als Red-or-Black Kite klassifiziert wurden, nicht teilweise auch um Rotmilan handelte. Insofern ist keine Angabe zur Rate der korrekten Klassifizierung möglich, aber im Hinblick auf die Fragestellung auch nicht notwendig.

Durch die vorgenommene Verlängerung des Beobachtungszeitraums bis Mitte September liegen insgesamt Daten von 107 Tagen mit zwei Kameras und weiteren 30 Tagen mit nur einer Kamera vor. Diese führten zu einer Stichprobengröße von 11.427 Rotmilan-Flugbahnen mit 396.206 Messpunkten (365.175 davon mit Bild). Es wird somit deutlich, dass an den validen Untersuchungstagen eine sehr große Stichprobe gewonnen werden konnte und dass die zeitlichen Ausfälle nicht zu einer Einschränkung der Belastbarkeit der Datengrundlage führten. Die enorme Größe der erzielten Stichprobe verdeutlicht auch der Vergleich mit REICHENBACH *et al.* (2021), die an sechs Standorten an insgesamt 364 Kameratagen nur 8.522 Rotmilantracks mit 275.394 bestätigten Messpunkten erzielten.

Die räumliche Abdeckung weist Einschränkungen im Bereich niedriger Flughöhen auf. Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt jedoch auf dem Flugverhalten der Rotmilane in Rotorhöhe. Dieser Höhenbereich war von beiden IDF-Systemen vollständig einsehbar. Für Auswertungen, die sich über den gesamten Höhenbereich erstreckten, wurde für die verschiedenen Höhenschichten hinsichtlich des sichtbaren Volumens mit entsprechenden Dichtebetrachtungen korrigiert. Die Stichprobengröße ist zwar in niedrigen Höhen geringer, das Konfidenzintervall als Maß für die statistische Unsicherheit ist jedoch auch in diesen Höhenschichten sehr klein (siehe Abbildung 37). Zudem passen die erzielten Ergebnisse gut zur aus der Literatur bekannten Flughöhenverteilung (siehe Kapitel 3.4.2.4).

3.4.2 Flugverhalten von Rotmilanen in WEA-Nähe

Prognose und Bewertung des Kollisionsrisikos von Rotmilanen an WEA bedürfen fundierter Kenntnisse über das Verhalten der Vögel innerhalb von Windparks und ihrer Reaktion bei Annäherung an eine WEA. Telemetriestudien liefern zwar detaillierte Daten über die dreidimensionale Raumnutzung einzelner Individuen, sind aber hinsichtlich dieser Fragestellungen davon abhängig, ob sich die besenderten Tiere tatsächlich in WEA-Nähe aufhalten. In den Niederlanden konnten in einer Region mit einer hohen Anzahl sowohl an WEA als auch an Wiesenweihenbrutpaaren für diese Art quantitative Daten zum Flugverhalten in WEA-Nähe und zum resultierenden Kollisionsrisiko gewonnen werden (SCHAUB *et al.* 2020). In dem vorliegenden Vorhaben wird erstmalig ein kamerabasiertes Vogeldetektionssystem genutzt, um in einem definierten Raumausschnitt mit WEA die Flugaktivität einer als besonders kollisionsgefährdet geltenden Greifvogelart (LANGGEMACH & DÜRR 2021) über einen längeren Zeitraum kontinuierlich zu erfassen und das kleinräumige Flugverhalten im Nahbereich von WEA quantitativ zu beschreiben.

Auf der schwedischen Insel Gotland wurde bereits 2020 mittels eines IDF-Systems das Flugverhalten von Greifvögeln innerhalb eines bestehenden Windparks erfasst (LINDER *et al.* 2022). Im Fokus standen dabei Stein- und Seeadler sowie Rotmilan, wobei jedoch keine artspezifische Differenzierung der Ergebnisse erfolgte. Zudem konnten über einen Zeitraum von zehn Monaten mit 231 Kameratagen nur 672 Tracks aller drei Arten aufgezeichnet werden (im Mittel 2,9 Tracks pro Tag). In der vorliegenden Studie wurden hingegen innerhalb von fünf Monaten 11.162 Rotmilantracks aufgezeichnet (im Mittel 83 pro Tag).

3.4.2.1 Flugaktivität im Windpark

Das Untersuchungsgebiet weist trotz der Anwesenheit von sieben WEA eine sehr hohe Flugaktivität von Rotmilanen auf. Im Mittel wurden von den Kameras pro Tag 83 Tracks registriert. Zum Vergleich: an den sechs Erprobungsstandorten zur Wirksamkeit des IDF-Systems ermittelten REICHENBACH *et al.* (2020) durchschnittlich eine Anzahl von 5,6 bis 54,7 Flügen pro Tag, allerdings jeweils nur mit einer Kamera und einem entsprechend kleineren Betrachtungsraum. Dennoch wird die besonders hohe Rotmilanaktivität im Bereich des Windparks „Auf der Platte“ deutlich. Dabei ist jedoch zu betonen, dass die tatsächliche Aufenthaltsdauer von Rotmilanen im Windpark von den IDF-Systemen unterschätzt wird, sowohl aufgrund von Sichtverschattungen (niedrige Flüge) als auch aufgrund der Tatsache, dass die Kameras nicht mehrere Vögel gleichzeitig verfolgen können (anders als Radargeräte).

Hieraus lässt sich zunächst ableiten, dass Rotmilane den Bereich des Windparks offenbar nicht meiden, d.h. keine Makro-Avoidance zeigen. Dies korrespondiert mit dem etablierten Kenntnisstand zur Kollisionsgefährdung von Greifvögeln an WEA. HÖTKER *et al.* (2013) belegen in Übereinstimmung mit der internationalen Literatur, dass Greifvögel sich nicht oder kaum von WEA gestört fühlen oder sich verdrängen lassen. Stattdessen kollidieren sie im Vergleich zu ihrer Häufigkeit in der Landschaft überproportional häufig mit WEA. Als besonders betroffene Arten sind Steinadler (USA), Gänsegeier (Spanien), Seeadler (Norwegen) und Rotmilan (Deutschland)

anzusehen (GOVE *et al.* 2013). Übereinstimmend wird davon ausgegangen, dass Rotmilane kein erkennbares (großräumiges) Meideverhalten gegenüber WEA zeigen (MAMMEN *et al.* 2014; LAG VSW 2015). Während ihrer ausgiebig im Segel- und Ruderflug stattfindenden Nahrungssuche gilt die Art daher als besonders anfällig für WEA-Kollisionen, da sich der Vogel dabei lange Zeit im Luftraum aufhält und sich weniger auf die Umgebung als vielmehr auf die Beute konzentriert und daher die ggf. Rotoren nicht oder zu spät als Gefahr wahrnehmen könnte (DREWITT & LANGSTON 2008). Es handelt sich allerdings bei Kollisionen generell um äußerst seltene Ereignisse, die zum Teil auf Zufällen beruhen (GRÜNKORN *et al.* 2016).

Das Untersuchungsgebiet im Bereich des Windparks „Auf der Platte“ weist offenbar eine hohe Habitatqualität für Rotmilane auf. Es handelt sich um kleinteilige Grünlandparzellen mit hohem Grenzlinienanteil und eingestreuten Gehölzen und Waldrändern. Dazu kommt die Hangneigung nach Südwesten, die zu einer günstigen Aufwindsituation führt. Damit handelt es sich um typische Habitatbedingungen im Naturraum Vogelsberg mit seiner hohen regionalen Rotmilandichte (HEUCK *et al.* 2019b). Die vorhandenen WEA führen offenbar nicht zu einer Minderung dieser Habitatqualität. Die resultierende hohe Flugaktivität von Rotmilanen innerhalb des Windparks bietet somit eine sehr gute Ausgangssituation für die Untersuchung des kleinräumigen Meideverhaltens.

Generell gilt das Ausmaß der Flugaktivität als stellvertretendes Maß für das Kollisionsrisiko. Auf der Annahme, dass die Flugaktivität mit der Entfernung zum Brutplatz abnimmt, die höchste Flugaktivität also im Nahbereich um den Horst stattfindet, beruhen auch die einschlägigen Abstandsempfehlungen der Leitfäden der Bundesländer. Insofern legt die festgestellte hohe Flugaktivität im Windpark „Auf der Platte“ die Frage nahe, ob dort im Untersuchungszeitraum Kollisionen festgestellt werden konnten. Hierzu ist folgendes festzuhalten:

- Während des Untersuchungszeitraums gab es keine Hinweise auf eine erfolgte Kollision. Es sind bei insgesamt 11.427 aufgezeichneten Rotmilantracks zwei Rotordurchflüge dokumentiert worden (siehe Kapitel 3.3.3.6), die beide nachweislich nicht zu einer Kollision geführt haben. Ob es darüber hinaus weitere Rotordurchflüge gab, die nicht von den Kameras aufgezeichnet wurden, weil z.B. gerade andere Individuen erfasst wurden, lässt sich nicht beurteilen.
- Ziel der Studie war die Analyse des Flugverhaltens im unmittelbaren Windparkbereich mit einer entsprechenden Ausrichtung der Untersuchungsmethodik. Sowohl die kleinräumige Vermeidung als auch das witterungsabhängige Fluggeschehen wurden durch zwei Identiflight-Kamerasysteme erfasst. Diese wurden so errichtet, dass bei der Erhebung der örtlichen Flugaktivität der Schwerpunkt auf der kontinuierlichen Erfassung möglichst langer Flugbahnen lag. Die Systeme waren daher dahingehend programmiert, einen einzelnen Flug eines Rotmilans durch den Windpark kontinuierlich zu verfolgen und nicht zwischendurch auf andere Rotmilane umzuschwenken. Auch wenn - wie bei allen optisch arbeitenden Systemen - damit keine lückenlose Aufzeichnung des gesamten Fluggeschehens im Windpark möglich war, stellt die erhobene Datengrundlage eine sehr umfangreiche und repräsentative Stichprobe der im Windpark erfolgenden Flüge dar, die

eine gute Basis für die Bearbeitung der spezifischen Fragestellungen dieses Projektes – insbesondere auch zum kleinräumigen Meideverhalten – bietet.

- In dem gesichteten Bildmaterial waren einige Ausweichreaktionen (siehe Kapitel 3.3.3.5), aber keine Kollisionen zu erkennen. Auch bei den LRF-Erfassungen wurden keine Risikosituationen registriert. Der örtliche Jagdausübungsberechtigte erzählte von kollidierten Mäusebussarden, die er im Laufe der Zeit bereits gefunden hatte, nicht aber von Rotmilanen. Auch der relativ intensive Besucherverkehr in dem mit einem guten Wegenetz versehenen Windpark führte nicht zu einer Meldung eines Kollisionsfunds an die Schlagopferkartei der Vogelschutzwarte Brandenburg (systematische Kollisionsopfersuchen wurden jedoch nicht durchgeführt).
- Kollisionen des Rotmilans stellen absolut gesehen seltene Ereignisse dar (GRÜNKORN *et al.* 2016). Dies resultiert offenbar aus der im vorliegenden Projekt ermittelten sehr hohen kleinräumigen Meidungsrate. Hinzu kommt im hier betrachteten Windpark eine sehr hohe Rotorunterkante von 97 m über Grund, durch die ein nur geringer Anteil an Flugaktivität in Rotorhöhe entsteht und so das Kollisionsrisiko zusätzlich gemindert wird (siehe Kapitel 3.3.3.1 und 5.1.2). Insofern erscheint es nicht verwunderlich, dass in der vorliegenden fünfmonatigen Untersuchung keine Kollisionen registriert werden konnten.

In diesem Zusammenhang ist auch zu betonen, dass die im Windpark aufgezeichnete sehr hohe Flugaktivität nicht nur von dem ortsansässigen und reviertreuen Brutpaar stammt, für das ggf. eine „Gewöhnung“ an die WEA angenommen werden könnte. Aus den Vor-Ort-Beobachtungen anlässlich der Datenaufnahme mittels LRF, den Sichtungen des Fotomaterials und der Einbeziehung der Telemetriedaten lässt sich eindeutig ableiten, dass über den Untersuchungszeitraum eine Vielzahl unterschiedlicher Individuen das Untersuchungsgebiet frequentierte. Die erzielten Ergebnisse sind somit keine Spezifika des örtlichen Brutpaars, sondern spiegeln generell das Flugverhalten von Rotmilanen und ihre Reaktion gegenüber WEA wider.

3.4.2.2 Einflüsse auf die Flugaktivität

Die Ergebnisse zur Tagesphänologie unterscheiden sich von denjenigen von HEUCK *et al.* (2019b) dahingehend, dass die Verteilung weniger einer Glockenkurve mit einem Maximum gegen Mittag als vielmehr einem breitschultrigen Plateau mit einer weitgehend gleichbleibenden Aktivität über ca. 60 % der Tageslänge ähnelt. Das Fehlen eines ausgeprägten Mittagsmaximums kann eine örtliche Spezifität sein, die nicht verallgemeinert werden sollte. Möglicherweise beruhen die Unterschiede zumindest zum Teil aber auch darauf, dass vorliegend nur die Flugaktivität in Rotorhöhe betrachtet wurde, wohingegen HEUCK *et al.* (2019b) die tagesphänologische Verteilung der Gesamt-Flugaktivität analysierten. Eine weitgehende Übereinstimmung zeigt sich jedoch in der nur geringen Flugaktivität während der ersten und der letzten 15 % der Tageslänge.

Die höchste Flugaktivität innerhalb der untersuchten Brutzeitphasen wurde während der Aufzuchtzeit ermittelt, die niedrigste hingegen während der Bebrütungsphase (siehe Kapitel 3.3.3.3.3). In der Studie von HEUCK *et al.* (2019b) findet sich dieser Unterschied aufgrund des

geringen Weibchenanteils unter den ohnehin wenigen Sendervögeln nicht. SPATZ *et al.* (2019) konnten hingegen an 13 hessischen Sendervögeln zeigen, dass die geflogenen Distanzen der Weibchen (als Maß der Flugaktivität) während Bebrütung- und frühen Aufzuchtphase deutlich zurückgingen und danach wieder auf das Niveau der Männchen anstiegen. Die in der vorliegenden Studie ermittelten Unterschiede zwischen den Brutzeitphasen dürften somit weitgehend auf Änderungen der Flugaktivität der Weibchen zurückgehen. In der Nachbrutzeit können dann einerseits Jungvögel und ortsfremde Vögel zur gemessenen Flugaktivität beitragen, während im Gegenzug der Beitrag des örtlichen Brutpaars aufgrund nachlassender Horst- und Revierbindung (HEUCK *et al.* 2019b) abnehmen könnte.

Generell zeigen die vorliegenden Daten eine abnehmende Flugaktivität in Rotorhöhe mit steigender Windgeschwindigkeit. Dies stimmt mit den Ergebnissen von PFEIFFER & MEYBURG (2022) überein, die in Thüringen an 29 telemetrierten Rotmilanen mit rd. 8.8 Mio. Datenpunkten im Flug einen negativen Effekt höherer Windgeschwindigkeiten auf die Flughöhe feststellten. Auch LINDER *et al.* (2022) fanden auf Gotland eine negative Korrelation zwischen Flughöhe und Windgeschwindigkeit (gepoolte Daten von Stein- und Seeadler sowie Rotmilan). Ebenso zeigt sich in einer zusätzlichen Auswertung der Daten aus HEUCK *et al.* (2019b) in HMUKLV & HMWEVW (2020) eine Abnahme der Flughöhe bei hohen Windgeschwindigkeiten. Hinsichtlich der prozentualen Anteile der Flugaktivität in Rotorhöhe bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten ist generell zu beachten, dass bei optischen Systemen wie IDF sehr niedrige Flughöhen unterrepräsentiert sein können (siehe Kapitel 3.3.1.1), so dass hierfür Telemetriedaten eine bessere Grundlage bilden.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse ist wiederum nach deren Abhängigkeit von standortspezifischen Faktoren zu fragen. Für die betrachteten Parameter Tageszeit und Brutzeitphase kann eine solche Abhängigkeit ausgeschlossen werden, diese Ergebnisse können daher verallgemeinert werden. Dies gilt nicht in gleicher Weise für die Windgeschwindigkeit, die in Abhängigkeit von der Topografie unterschiedlich über Hessen verteilt ist. Das Untersuchungsgebiet im Windpark „Auf der Platte“ befindet in einem Bereich mit deutlich erhöhter mittlerer Windgeschwindigkeit (Abbildung 77). Untersuchungen, ob Rotmilane in Gebieten mit höheren Windgeschwindigkeiten eine abweichende Verteilung der Flugaktivität in Relation dazu aufweisen, fehlen bislang.

Die vorliegende Untersuchung stammt aus einem Bereich mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 6,25 m/s auf einer Höhe von 140 m über Grund (Abbildung 77). Die erzielten Ergebnisse hinsichtlich der Flughöhenverteilung und des Einflusses der Windgeschwindigkeit gelten zunächst nur für den konkreten Standort. Es kann jedoch angenommen werden, dass an allen Standorten mit gleicher oder niedrigerer mittlerer Windgeschwindigkeit die Rotmilane eine vergleichbare Nutzung des örtlichen Windangebots zeigen. Insofern können die vorliegenden Ergebnisse als repräsentativ bzw. konservativ zumindest für Standorte mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 6,25 m/s oder weniger angesehen werden. Dies betrifft nach der vom TÜV Süd erstellten landesweiten Windpotenzialkarte für Hessen (Abbildung 77 links) aus dem Jahr 2011 insgesamt über 88 % der hessischen Windenergie-Vorranggebiete. Zwar haben nach Mitteilung der obersten

Landesplanungsbehörde Hessens die Regierungspräsidien für die Festlegung der Windenergie-Vorranggebiete neben der landesweiten Potenzialkarte auch die von Vorhabenträgern eingereichten kleinräumigen Windpotenzial-Studien berücksichtigt, sofern diese den definierten fachlichen Anforderungen entsprachen. Deren Windgeschwindigkeitswerte können kleinräumig von denen der TÜV-Studie aus dem Jahr 2011 abweichen. Unabhängig davon zeigt jedoch die Windpotenzialkarte 2011 (Abbildung 77) zutreffend die relativen Unterschiede der Windhöffigkeiten an den verschiedenen Vorranggebiets-Standorten in Hessen an. Lediglich an noch windhöffigeren Standorten ist nicht auszuschließen, dass Rotmilane möglicherweise in etwas stärkerem Maß bei höheren Windgeschwindigkeiten fliegen als im Bereich des Windparks „Auf der Platte“.

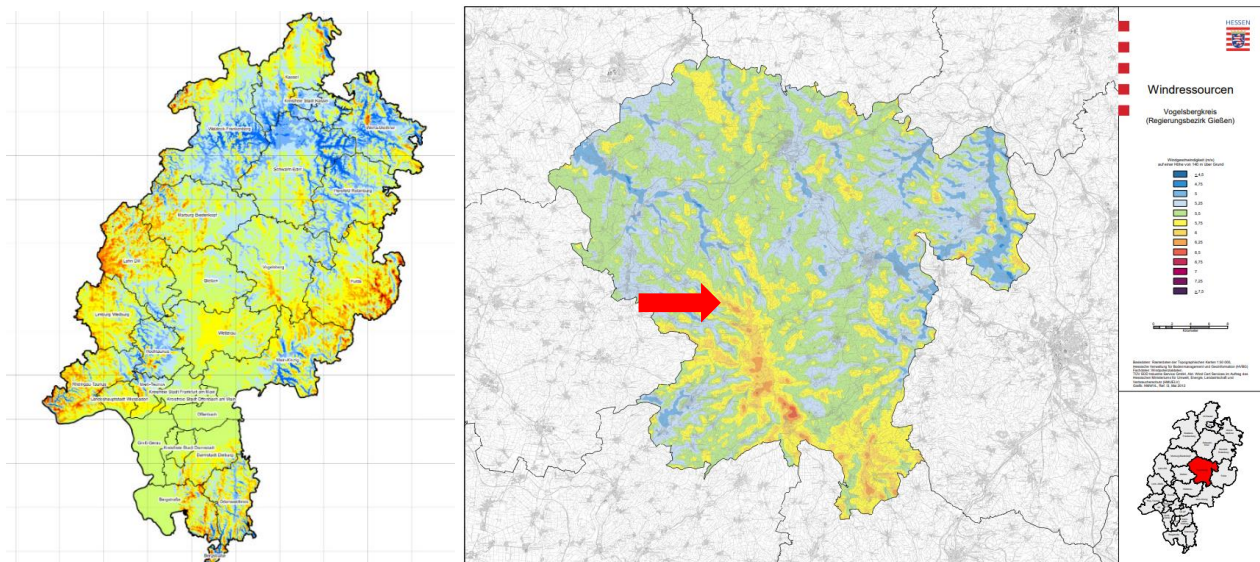


Abbildung 77: Räumliche Verteilung der mittleren Windgeschwindigkeit in Hessen (links) und im Vogelsbergkreis (rechts)
 Roter Pfeil: Lage des Untersuchungsgebiets Windpark „Auf der Platte“
 Blaue Färbung: niedrige Windgeschwindigkeit, rote Färbung: hohe Windgeschwindigkeit
 Quelle: <https://www.energieland.hessen.de/windpotenzialkarten>, abgerufen am 15.11.2022

3.4.2.3 Meideverhalten (avoidance)

Die Tatsache einer beobachtbaren hohen Flugaktivität bestimmter Vogelarten innerhalb von Windparks im Kombination mit der Erkenntnis einer demgegenüber niedrigen Kollisionsrate (GRÜNKORN *et al.* 2016) führt zu der Annahme eines kleinräumigen Meide- und Ausweichverhaltens. In der Vergangenheit wurden Versuche zur Quantifizierung dieser Meiderate (sog. „avoidance rate“) durch einen Vergleich der Flugaktivität vor Errichtung des Windparks und der Anzahl der daraus folgenden Kollisionsopfer bei Fehlen jeglichen Ausweichverhaltens mit der Anzahl an tatsächlichen Kollisionsopfern nach Errichtung des Windparks durchgeführt (URQUHART & WHITFIELD 2016). Eine entsprechende Untersuchung an einem walisischen Windpark führte für den Rotmilan zu einer Meiderate von 0,992 (URQUHART & WHITFIELD 2016). Die auf diese Weise

ermittelte Meiderate ist allerdings als Resultat des Zusammenwirkens aller Einflussfaktoren zu sehen, insbesondere des aktiven Meideverhaltens einerseits und der differenzierten Flughöhenverteilung andererseits. Letztere führt dazu, dass nur noch ein geringerer Teil der Gesamtaktivität tatsächlich einem Kollisionsrisiko ausgesetzt ist.

SCHAUB *et al.* (2020) konnte bei der Wiesenweihe in einer niederländischen Telemetriestudie mit einer dreisekündlichen Sendertaktung eine Meiderate von 93,5 % ermitteln. Hinzu kommt, dass der Anteil der Flugaktivität in Rotorhöhe bei nur 7,1 % lag. Zudem betonen SCHAUB *et al.* (2020), dass sie nur die sog. Meso-Avoidance (Meidung der WEA innerhalb eines Windparks, siehe Kapitel 3.2.2.4) betrachtet haben, nicht hingegen die Mikro-Avoidance (Meidung der Rotorscheibe einer einzelnen WEA). Letzteres könnte den vergleichsweise niedrigen Wert erklären, da in der vorliegenden Studie sowohl die Meso- als auch die Mikro-Avoidance einbezogen wurde.

LINDER *et al.* (2022) fanden Hinweise auf Meso-Avoidance in ihren gepoolten IDF-Daten von Stein- und Seeadlern sowie Rotmilan, allerdings waren die entsprechenden Korrelationen nur schwach ausgeprägt. Die Autoren führen das u.a. auf die hohe Artspezifität des Meideverhaltens zurück. Tendenziell zeigten die Vögel bei Annäherung an eine WEA eine Verringerung der Flughöhe.

Die aktuell umfangreichste Analyse zum Ausweichverhalten von Rotmilanen gegenüber WEA findet sich in MERCKER *et al.* (2023). Auf der Basis von 57.500 GPS-Punkten von 146 verschiedenen Individuen im 500 m Umkreis von > 4.000 verschiedenen WEA ergab sich eine mittlere Meidung von 86 % (95%-Konfidenzintervall: 84,6%; 87,3%), die sich bis zu einer Entfernung von ca. drei bis fünf Rotorblattlängen erstreckte (Meso-Avoidance). Dies führt innerhalb von Windparks zu einem entsprechenden Aufkonzentrieren der Flugaktivität in den Bereichen zwischen den WEA (analog zu den vorliegenden Ergebnissen, siehe Kapitel 3.3.3.4). Zusätzlich ermittelten die Autoren anhand von mittels Laser Rangefinder ermittelten Daten sowie von 78 GPS-Flugsegmente, die eine WEA-Rotorkugel schnitten, eine mittlere Mikro-Avoidance von rd. 85 %. Als Gesamt-Meiderate geben die Autoren einen Wert von etwa 98 % an. Sie betonen, dass der zusätzliche Minderungseffekt durch die heterogene Flughöhenverteilung in diesem Wert noch nicht enthalten ist. Dies passt sehr gut zu den in dem vorliegenden Projekt erzielten Ergebnissen, die in zwei methodischen Ansätzen eine Gesamt-Meiderate von 98,3-99,1 % ergaben (siehe Kapitel 3.3.3.6 und 3.3.3.7). Insofern führen mit unterschiedlichen Methoden erhobene Daten (GPS, Kamera, LRF) zu einer übereinstimmenden Größenordnung der Meiderate, so dass von einer guten Belastbarkeit ausgegangen werden kann.

Die vorliegenden Ergebnisse erlauben eine teilweise Unterscheidung zwischen Meso- und Mikro-Avoidance. Erstere kann anhand der deutlich abnehmenden Aktivitätsdichte in WEA-Nähe ermittelt werden, wobei sich die Entfernung, bis zu der diese Aktivitätsverringering erkennbar ist, in Bezug auf die Flughöhen unterscheidet (siehe Abbildung 62). Die größten Meidungsabstände finden sich bei Flügen unterhalb der Rotorhöhe und belaufen sich auf ca. 100 m, wobei zu erkennen ist, dass die Aktivität in Richtung WEA graduell abnimmt und dass die Aktivitätsverringering in WEA-Nähe mit einer Aktivitätssteigerung in einem Bereich von ca. 120-150 m Entfernung verbunden ist. Es ist somit eine räumliche Verschiebung der Flugaktivität

erkennbar. In Rotorhöhe erstreckt sich der Meidungseffekt nur bis ca. 70 m und oberhalb der Rotorhöhe nur bis ca. 40 m (siehe Kapitel 3.3.3.4).

Die Mikro-Avoidance bezieht sich demgegenüber auf Ausweichreaktionen in unmittelbarer Rotornähe. Hierdurch werden einerseits Rotordurchflüge vermieden, andererseits gelingt es den Vögeln, selbst bei eindeutigen Rotordurchflügen oder knappen Vorbeiflügen zumindest in den hier dokumentierten Fällen eine Kollision zu vermeiden (siehe Kapitel 3.3.3.5 und 3.3.3.6). Eine Quantifizierung der Mikro-Avoidance in Abgrenzung zur Meso-Avoidance ist allerdings nicht möglich, da die methodischen Ansätze der Kapitel 3.3.3.6 (Simulation) und 3.3.3.7 (Band-Modell) beide Typen des Meideverhaltens integrieren. Die auf diese Weise erzielten Ergebnisse sind somit Resultat des Zusammenspiels von Meso- und Mikro-Avoidance. Insgesamt ist festzuhalten, dass die hier ermittelten Werte bzw. Größenordnung der Meiderate in Kombination mit der spezifischen vertikalen Flughöhenverteilung dazu führen, dass Kollisionen sehr seltene Ereignisse sind – bezogen auf das Risiko an einzelnen WEA bzw. für einzelne Brutvögel.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit bzw. Verallgemeinerbarkeit ist zu fragen, ob die erzielten Ergebnisse von spezifischen Standortbedingungen abhängen, die an anderer Stelle variieren können, und ob Übereinstimmungen mit bereits vorliegenden Untersuchungen vorliegen. Für die Meiderate wird allgemein davon ausgegangen, dass sie für verschiedene Vogelarten unterschiedlich ist (SNH 2018). Sie trägt wesentlich zur artspezifischen Kollisionsgefährdung bei und weist daher für den Seeadler einen niedrigen Wert auf (95 %) und für Gänse, die im Vergleich zu anderen Arten wegen ihrer ausgeprägteren Makro-Avoidance nur in sehr geringem Maße von Kollisionen an WEA betroffen sind (DOUSE 2013), einen sehr hohen Wert (99,8 %) (SNH 2018).

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die in diesem Vorhaben erzielten Ergebnisse zum kleinräumigen Meideverhalten von Rotmilanen gegenüber WEA ein artspezifisches Verhaltensmuster widerspiegeln und daher auf andere Standorte übertragen werden können. Dafür spricht auch die hohe Übereinstimmung mit den methodisch auf andere Weise erzielten Ergebnissen von MERCKER *et al.* (2023) sowie auch von URQUHART & WHITFIELD (2016).

3.4.2.4 Flughöhe und Fluggeschwindigkeit

Die ermittelte Flughöhenverteilung entspricht sehr weitgehend den Ergebnissen von PFEIFFER & MEYBURG (2022), die auf Daten von 29 telemetrierten Rotmilanen aus Thüringen stammen (siehe Abbildung 86). Das grundsätzliche Verteilungsmuster entspricht ebenfalls den Ergebnissen von HEUCK *et al.* (2019b), allerdings fand diese Studie einen etwas größeren Anteil der Flugaktivität in niedrigen Flughöhen (siehe Abbildung 84). Generell weisen diese beiden Studien gegenüber älteren Untersuchungen den Vorteil einer hohen Genauigkeit infolge der Nutzung von barometerkorrigierten Höhedaten bzw. sekundlichen GPS-Daten auf und bilden somit eine gute Vergleichsgrundlage. Typisch ist ein deutliches Maximum im Bereich von ca. 20-50 m, gefolgt von einem steilen Abfall bis ca. 100 m und einer sich anschließenden Abflachung der Kurve bei nur noch sehr geringen Fluganteilen (siehe Kapitel 5.1.1). Damit liegen nunmehr Daten aus unterschiedlichen Regionen (Hessen und Thüringen) und einer größeren Anzahl von Individuen vor. Zudem wurden sie mit unterschiedlichen Techniken erhoben (Telemetrie und

Stereokameras), so dass von einem belastbaren und übertragbaren Wissensstand ausgegangen werden kann.

Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass es räumlich und auch zeitlich zu Abweichungen von dieser typischen Verteilung kommen kann (siehe Kapitel 4.1 und 5.1.4). Relevante Einflussfaktoren können die Entfernung zum Brutplatz und die funktionale Bedeutung des betrachteten Raumes sein (Nahrungsgebiet, Thermikgebiet, Überfluggebiet). Häufige Änderungen der Flughöhe sind ein typisches Verhaltensmerkmal des Rotmilans (PFEIFFER & MEYBURG 2022). Die vorliegenden Telemetriestudien aus verschiedenen Bundesländern und von einer größeren Zahl an Sendervögeln liefern jedoch insgesamt ein repräsentatives Bild der artspezifischen Flughöhenverteilung, so dass demgegenüber kleinräumige Unterschiede vernachlässigt werden können.

So wurden im vorliegenden Untersuchungsgebiet im Vergleich zu anderen Studien tendenziell höhere Flughöhen ermittelt. Der Anteil der Flugaktivität in Höhen < 80 m beläuft sich auf rund 60 % (siehe Tabelle 4), wohingegen dieser Anteil bei HEUCK *et al.* (2019b) bei rd. 75 % liegt und bei PFEIFFER & MEYBURG (2022) zumindest bei den Weibchen noch darüber. Eine Ursache hierfür kann im konkreten Fall das Vorliegen von Hangaufwinden sein, da sich das Gelände im Südwesten zum Tal hin absenkt. Dennoch führt eine Abschaltung von WEA bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten auch in einem solchen Fall zu einer hohen Schutzwirkung (siehe Kapitel 5.1.2). Hinsichtlich der Übertragbarkeit kann der untersuchte Standort aufgrund seiner generell hohen Flugaktivität und der tendenziell nach oben verschobenen Flughöhenverteilung als worst case angenommen werden. Der 60 %-Wert der Flugaktivität unterhalb von 80 m dürfte daher bei der Mehrzahl anderer Standorte überschritten werden und sich den Werten von HEUCK *et al.* (2019b) sowie PFEIFFER & MEYBURG (2022) annähern.

Auch die Fluggeschwindigkeit über Grund ist sehr variabel und hängt von dem jeweiligen Verhaltenskontext ab (z.B. Thermikkreisen versus Strecken- oder Verfolgungsflug). In dem vorliegenden Projekt wurde eine mittlere Fluggeschwindigkeit von 9,2 m/s ermittelt (9,5 m/s in Rotorhöhe). Dies entspricht ca. 33 km/h. Dieser Wert ist etwas höher als von REICHENBACH *et al.* (2021) anhand von 76.000 sekundlichen IDF-Erfassungspunkten ermittelt (8,4 m/s), liegt aber in derselben Größenordnung. Möglicherweise führen Messungenauigkeiten des IDF-Systems bei der Bestimmung der Vogelposition im Mittel zu einer geringfügigen Überschätzung der Fluggeschwindigkeiten.

3.4.2.5 Konsequenzen für Schutzmaßnahmen

Die vorliegenden Ergebnisse untermauern in Übereinstimmung mit weiteren Studien folgende generelle Aussagen zum Flugverhalten von Rotmilanen:

- Der größte Anteil der Flugaktivität erfolgt in Höhen bis ca. 50 m, darüber hinaus nimmt die Flugaktivität stark ab.
- Die Flugaktivität in größerer Höhe nimmt mit zunehmender Windgeschwindigkeit ab.
- Früh und spät am Tag ist die Flugaktivität in Rotorhöhe niedriger als über den übrigen Tagesverlauf.
- Rotmilane zeigen ein ausgeprägtes kleinräumiges Ausweichverhalten gegenüber den Rotoren von WEA in einer Größenordnung von 98-99 % (bezogen auf die tatsächliche Flugaktivität in Rotorhöhe und Rotornähe). Auch die verbleibenden Rotordurchflüge führen nicht zwangsläufig zu einer Kollision.

Diese Kenntnisse eröffnen die Möglichkeit, durch gezielte Betriebsbeschränkungen von WEA bei Niedrigwindgeschwindigkeiten das Kollisionsrisiko für Rotmilane – in Kombination mit der hohen Ausweichrate – sehr weitgehend zu senken, ohne dass es dabei zu starken Einschränkungen bei der Stromproduktion der Anlagen kommt. Im Kern besteht die Maßnahme in einer Erhöhung der Anlauf-Windgeschwindigkeit während der täglichen Hauptaktivitätsphasen bei gleichzeitiger Anhebung der Rotorhöhe (siehe Kapitel 5.1). Dort wird deutlich, dass sogar an einem Standort wie dem hier untersuchten Windpark, an dem durch Hangwinde vergleichsweise niedrigere Fluganteile in der rotorfreien Zone vorliegen, bereits WEA-Abschaltungen bei niedrigen Windstärken zu hohen Schutzwirkungen führen. Die hieraus resultierende Schutzwirkung lässt sich in der quantitativen Abschätzung des Kollisionsrisikos mittels Probabilistik einbeziehen (siehe Kapitel 5.2).

Insgesamt ist mit den inzwischen erfolgten Telemetriestudien sowie der vorliegenden Kamera-Studie eine sehr gute Grundlage für die Belastbarkeit dieser Maßnahmenkombination gegeben.

4 Teilprojekt B: Objektivierung der Sachverhaltsermittlung, speziell bei der Ermittlung der Häufigkeit und Höhe der Fluganteile des Rotmilans im Rotorbereich.

Ziel dieses Teilprojektes ist die Entwicklung eines fachgutachterlichen Vorschlags für einen methodischen Standard zum Eingang mittels Detektionssysteme erhobener Flugaktivitätsdaten im kollisionskritischen Bereich in immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren.

Standardmäßig werden solche Flugaktivitätsdaten durch Raumnutzungsbeobachtungen von Ornithologen erhoben. Gemäß der Verwaltungsvorschrift Naturschutz/Windenergie (HMUKLV & HMWEVW 2020) besteht das Ziel von Raumnutzungsbeobachtungen in der Ermittlung funktionaler Zusammenhänge zwischen Brut- und Nahrungshabitaten bzw. Schlaf- und Nahrungshabitaten. Hierfür sind im Gesamtzeitraum je zu untersuchender Art insgesamt mindestens 108 Stunden Untersuchungszeit vorzusehen. Bei mehreren Beobachtungspunkten (was der Regelfall sein dürfte) sind dabei mindestens 54 Stunden je Beobachtungspunkt einzuhalten, bei 6 Stunden pro Beobachtungstermin. In den methodischen Erläuterungen wird bereits darauf hingewiesen, dass die Genauigkeit der Verortung über Laser Rangefinder (LRF) erheblich verbessert werden kann, indem technische Hilfsmittel die räumlichen Koordinaten des Vogels erfassen (Reichweite: 1 bis 4 km). Der Einsatz bildgebender Verfahren soll ab deren Praxisreife und wirtschaftlichem Einsatz möglich sein.

Generell ist zu betonen, dass sich die in der Verwaltungsvorschrift vorgesehenen Raumnutzungsbeobachtungen auf die konkrete räumliche Verteilung der Flugaktivität eines bestimmten Brutpaares beziehen, dessen Neststandort innerhalb des artspezifischen Prüfradius liegt. In der Regel geht es hierbei um die individuen- bzw. brutpaarbezogene Ermittlung von Pendelflügen zwischen dem Neststandort und attraktiven Nahrungshabitaten, nicht jedoch um die generelle Ermittlung der Flugaktivität, die immer auch Nichtbrüter oder Individuen von weiter entfernten Brutplätzen umfasst. Bei Raumnutzungserfassungen mit menschlichen Beobachtern kann durch entsprechende Wahl der Beobachtungspunkte und, bei gleichzeitigem Einsatz mehrerer Beobachter, durch „Übergabe“ von Flügen per Funk, diese notwendige brutpaarbezogene Identifikation der jeweiligen Flugereignisse gewährleistet werden. Zudem ist zumindest phasenweise auch über den Mauserzustand eine individuelle Erkennung des örtlichen Brutpaares möglich. Eine automatisierte Erfassung mittels Detektionssystemen umfasst hingegen immer sämtliche vor Ort auftretenden Vögel der jeweiligen Art und ermöglicht in den allermeisten Fällen aufgrund des begrenzten betrachteten Raumausschnittes (insbesondere Kamera) sowie des Fehlens individueller Erkennung (insbesondere Radar) keine konkreten brutpaarbezogenen Aussagen. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen sind daher nicht mit denen einer Raumnutzungsanalyse gleichzusetzen und brutpaarbezogene Bewertungen nicht möglich.

4.1 Generelle methodische Aspekte

Die Aussagekraft von Flugbeobachtungen durch menschliche Beobachter wird teilweise kritisch diskutiert (SPRÖTGE *et al.* 2018). Zum einen ist die zeitliche Stichprobe in Relation zur Gesamtdauer der Brutzeit sehr gering, zum anderen ist die Verortung von Flugbewegungen, insbesondere in topographisch bewegtem Gelände und bei größeren Beobachtungsabständen, mit einer beträchtlichen Ungenauigkeit verbunden. Gleiches gilt auch für Schätzungen der Flughöhe (GRÜNKORN *et al.* 2016). Beidem kann durch den Einsatz von Laser Rangfindern Abhilfe geschaffen werden, wodurch differenzierte und belastbare Raumnutzungsdaten generiert werden können (Abbildung 78).

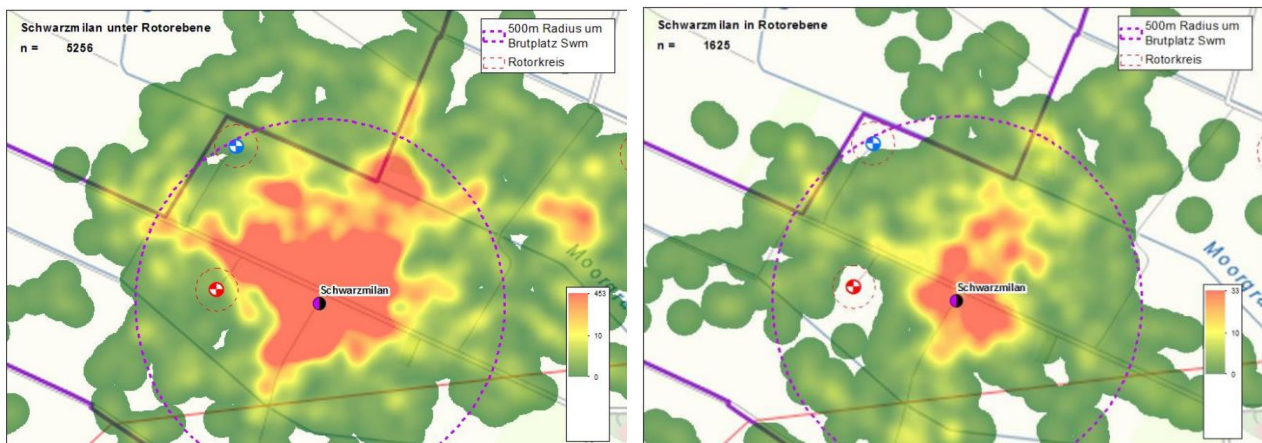


Abbildung 78: Beispiel für mittels Laser Rangfinder erhobene Raumnutzungsdaten von Schwarzmilanen, differenziert nach Flughöhe (links: unterhalb Rotorhöhe örtlicher WEA, rechts: in Rotorhöhe örtlicher WEA)

Quelle: SPRÖTGE & REICHENBACH (2020)⁵

Dabei ist allerdings die hohe Variabilität sowohl der absoluten Flugaktivität pro Tag als auch der relativen Höhenverteilung (vgl. Abbildung 79) zu berücksichtigen. Die Verteilung der Stichprobe der LRF-Untersuchungstage über den Untersuchungszeitraum kann somit einen großen Einfluss auf die Ergebnisse der dabei ermittelten Flugaktivität und Flughöhenverteilung haben. Dies begründet sich damit, dass die Frequentierung und Nutzungsart eines bestimmten Standortes durch Greifvögel in der Regel von dessen konkreter Attraktivität am jeweiligen Untersuchungstag abhängig ist. Da beispielsweise Wiesenmahd und Feldbearbeitung stark das Nahrungsangebot und auch die Thermikeigenschaften eines Standortes beeinflussen, üben derartige Ereignisse auch einen großen Einfluss auf die absolute Flugaktivität und relative Flughöhenverteilung eines Standortes aus (LAG VSW 2017).

⁵ https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/Veranstaltungen/Runder_Tisch_Vermeidungsmassnahmen/6_Runder_Tisch_05-02-2020/Signifikant_erhoehetes_Toetungsrisiko_Reichenbach-Sproetge_2020-02-05.pdf

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

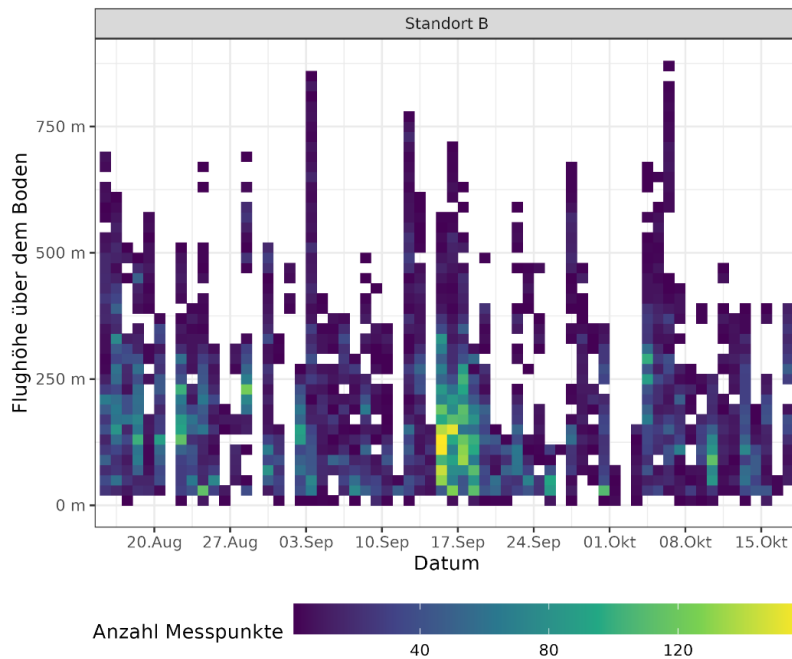


Abbildung 79: Beispielhafte Flughöhenverteilung pro Tag, erhoben mit dem Kamerasystem IdentiFlight
Pro Tag (x-Achse) wird dargestellt, wie viel Aktivität (Anzahl Messpunkte, farblich kodiert) pro Höhenklasse (y-Achse, eine Kachel entspricht 20 m) aufgezeichnet wurde. Zusätzliche Auswertung von Daten aus REICHENBACH *et al.* (2021)

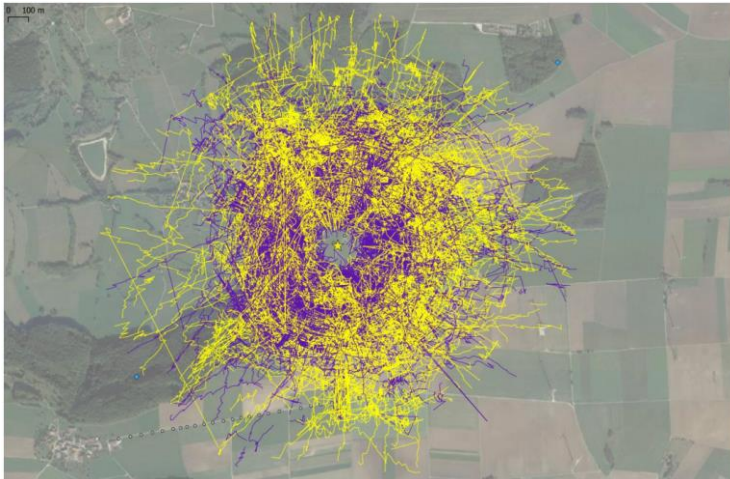
In Einzelfällen kann daher als Alternative oder ergänzend zu den Standardmethoden zur Erfassung der Raumnutzung bestimmter Greif- oder Großvögel der Einsatz automatisierter Detektionssysteme sinnvoll sein, insbesondere, wenn ein möglichst vollständiges Abbild der Frequentierung lediglich eines bestimmten Raumausschnittes benötigt wird. Hierfür eignen sich jedoch nur Systeme, die eine dreidimensionale Verortung und Verfolgung der jeweiligen Flugbahnen in den kollisionskritischen Höhen vornehmen können. In Frage kommen somit nur Radarsysteme sowie Kamerasysteme mit schwenkbaren Stereoköpfen. Generell ist zu berücksichtigen, dass die bei Flugwege-Erfassungen erzielten Ergebnisse sehr stark durch die verwendete Methode beeinflusst werden können. Aufschlussreich sind in dieser Hinsicht Daten, die mit unterschiedlichen Methoden innerhalb desselben Zeitraums am gleichen Ort erhoben wurden.

GPS-Daten telemetrierter Vögel liefern bei hoher Taktungsrate ein sehr genaues Bild der Raumnutzung, allerdings nur bezogen auf das jeweilige Individuum. Die Detektionswahrscheinlichkeit ist überall gleich, solange ausreichender Satellitenkontakt besteht. Im Gegensatz dazu liefern Daten bildgebender Systeme, wie z.B. IdentiFlight (IDF), umfassende Daten aller Individuen, die in dem durch die Erfassungsreichweite bestimmten Raumausschnitt auftreten. Demgegenüber ist die zeitliche Stichprobe menschlicher Beobachter mit Laser Rangefinder (LRF) sehr viel kleiner. Im Ergebnis können sich mit diesen drei Methoden sehr unterschiedliche Datenausprägungen ergeben (Abbildung 80).

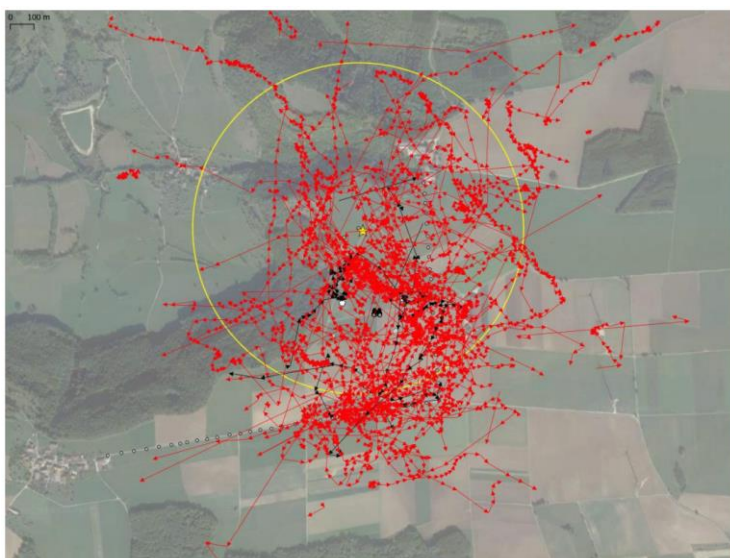
Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

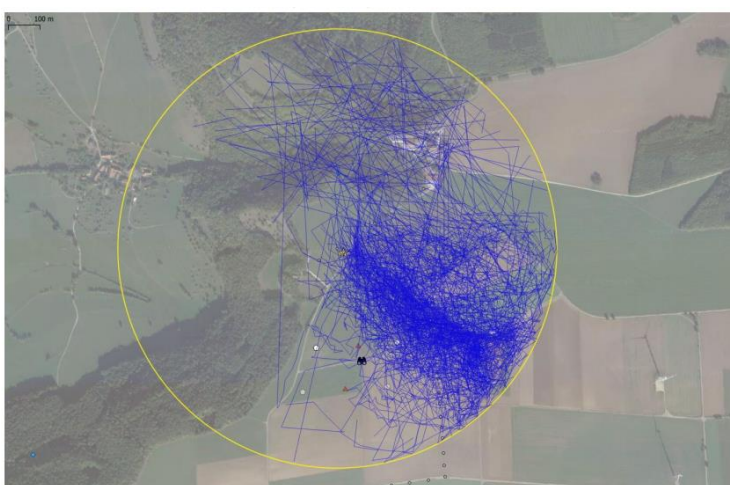
The Regional Planning and
Environmental Research Group



Sämtliche an den neun Tagen vom IDF
aufgezeichneten Flugwege (Individuenzahl
nicht ermittelbar); gelb: Rot-/
Schwarzmilan, violett: andere Vögel)



Sämtliche an den neun Tagen mittels LRF
aufgezeichneten Flugwege (Individuenzahl
nicht ermittelbar); rot: Rotmilan, schwarz:
Schwarzmilan)



Ortungspunkte eines einzelnen
telemetrierten Rotmilans an den neun
Tagen

Abbildung 80: Beispielhafte Flugwegedaten von neun identischen Tagen mit IDF (oben), LRF (Mitte) und GPS (unten). Standort Geislingen, Schwäbische Alb; Quelle: ASCHWANDEN & LIECHTI (2020),

Hinsichtlich der Höhenverteilung sind bei der Erfassung mit den beiden optischen Systemen IDF und LRF vermutlich – im Vergleich zur GPS-Telemetrie – sehr niedrige Flughöhen unterrepräsentiert, weil diese nur schwer erfasst werden können, wenn die Flüge aus Beobachter- bzw. Kameraperspektive vor einem Hintergrund wie beispielsweise einer Baumreihe oder dem Boden verlaufen. Demgegenüber steht eine gegenüber dem LRF deutlich bessere Detektionsrate hochfliegender Vögel durch das IDF-System. Ein Vergleich der Steigungswinkel der Blickrichtungen, in denen Rotmilane vom IDF-System oder von menschlichen Beobachtern mit dem LRF entdeckt wurden, legt nahe, dass menschliche Beobachter mehr Schwierigkeiten haben, Rotmilane zu entdecken, die sich in einem steilen Winkel hoch über ihnen befinden (vgl. Abbildung 81). Schnelle Überflüge in großer Höhe werden daher vermutlich bei LRF-Erfassungen häufiger verpasst, was zu einer Unterrepräsentation dieser Flughöhen führt.

Im Hinblick auf das Kollisionsrisiko an Windenergieanlagen ist jedoch vorrangig die Raumnutzung in Rotorhöhe maßgeblich, die auch von optischen Systemen (IDF und LRF) i.d.R. gut einsehbar ist.

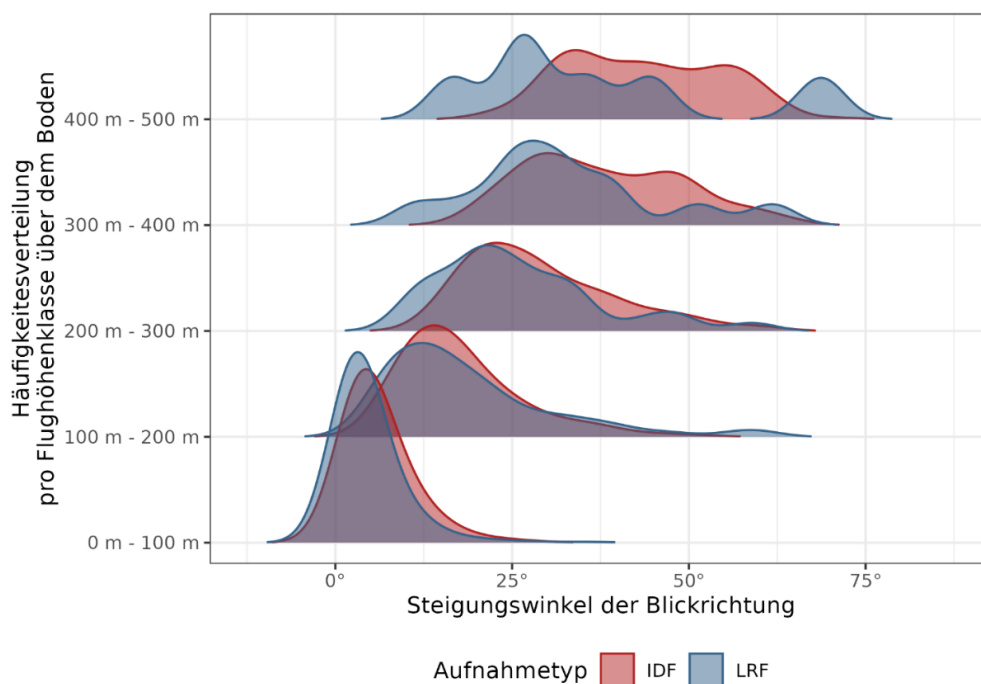


Abbildung 81: Geglättete relative Häufigkeit von Steigungswinkeln, in denen Rotmilane entdeckt wurden, abhängig von der Flughöhe über dem Boden sowie dem Aufnahmetyp

Pro Flughöhenklasse (y-Achse) wird die geglättete relative Häufigkeit dargestellt, in welchem Steigungswinkel (x-Achse) sich der Rotmilan in Relation zur Beobachterposition befand, als der erste Messpunkt aufgezeichnet wurde. Unterschieden wird nach Aufnahmetyp (IDF (IdentiFlight) = rot, LRF (Laser Rangefinder) = blau). In zunehmender Höhe werden im Vergleich zwischen den Aufnahmetypen mehr Rotmilane in steilerer Blickrichtung vom IDF entdeckt, als es den menschlichen Beobachtern, die den LRF bedienen gelingt. Zusätzliche Auswertung von Daten aus REICHENBACH *et al.* (2021)

4.2 Eigenschaften von Radarsystemen

Im Gegensatz zu optischen Systemen verwenden Radargeräte hochfrequente elektromagnetische Wellen, die gebündelt ausgesendet und von Objekten reflektiert werden. Diese Echos werden empfangen und hinsichtlich ihrer Signaleigenschaften ausgewertet. Gemäß KNE (2020) weisen radarbasierte Detektionssysteme folgende Eigenschaften auf:

- Flugobjekte werden kontinuierlich bei Tag und bei Nacht erfasst, verfolgt und klassifiziert.
- In Echtzeit werden die Position, die Höhe und die Flugrichtung und -geschwindigkeit (3D-Tracks) erfasst.
- Eine Erfassung und Verfolgung von mehr als 500 Flugobjekten gleichzeitig ist möglich.
- Die Erfassungsreichweite liegt laut Hersteller bei maximal 1.200 m (bspw. für den Rotmilan) und ist abhängig von der Größe des Objektes und dessen Anflugwinkel.
- Die Flugobjekte werden automatisiert auf der Basis einer Reihe von Parametern (insb. Größe, Flügelschlagfrequenz, Flugverhalten) differenziert. Das Ziel ist die automatisierte Identifizierung auf Artenebene in Echtzeit, was allerdings derzeit noch nicht oder nur eingeschränkt erfolgt.
- Pro Antenne ist eine räumliche Abdeckung von 90° horizontal und 40° vertikal (Abbildung 82) gegeben (FMCW-Radar, X-Band 9,4 GHz, Auflösung: 1,7 m). Zur 360°-Abdeckung sind 4 oder mehr Antennen erforderlich; die räumliche Abdeckung des unmittelbaren Anlagenumfeldes ist nicht vorgesehen (Erfassungslücke).
- Der Erfassungsbereich verschmälert sich nahe dem System (40° vertikale Antennenabdeckung).
- In reliefiertem Gelände ist die räumliche Abdeckung durch Radarschatten eingeschränkt; ebenso kann die Existenz einer Grenzschicht über Boden oder Wald zu einer Reduktion der Erfassungsrate führen.
- Starker Regen und Schneefall schränken die Funktionsfähigkeit ein.

Die Dokumentation des Fachgesprächs „Antikollisionssysteme für Vögel - Ein Blick auf den Entwicklungs- und Erprobungsstand“ (Stand 04.10.2021) von KNE benennt auch konkrete Leistungswerte für das Radarsystem BirdScan⁶:

- Erfassungsreichweite: 1.200 m für Rotmilan/Großvögel,
- Erfassungsrate: 72 % für Großvögel, 75 % für Rotmilane,
- Erkennungsrate (in Bezug auf den Rotmilan): richtig als Vogel erkannt 68 %, davon richtig als Großvogel erkannt 88 %.

Die einzelnen Radartracks können über verschiedene Zeiträume als Abbild der Raumnutzung zusammengefasst werden (Abbildung 83).

⁶ https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Dokumentation_Fachgesprach-Antikollisionssysteme-fuer-Voegel_2021.pdf

Gegenüber optischen Systemen bieten Radarsysteme somit den Vorteil einer deutlich größeren Erfassungsreichweite sowie einer gleichzeitigen Verfolgung mehrerer Flugobjekte. Dies führt zu folgenden radarspezifischen Eigenschaften:

- Aufgrund der großen Erfassungsreichweite lassen sich innerhalb des überwachten Sektors (360 ° bei Einsatz von vier Antennen) räumliche Unterschiede in den Schwerpunkten der Flugaktivität gut identifizieren.
- Die Flugaktivität wird vollständig abgebildet, da nicht wie bei schwenkbaren Kameraköpfen immer nur jeweils eine Flugbahn verfolgt werden kann, wodurch bei gleichzeitiger Anwesenheit mehrerer Vögel immer einige Flugbahnen ganz oder teilweise nicht erfasst werden.

Eine Erkennung auf Artebene ist hingegen derzeit noch nicht möglich, wohl aber eine Unterscheidung von Größenklassen (vgl. Abbildung 83).

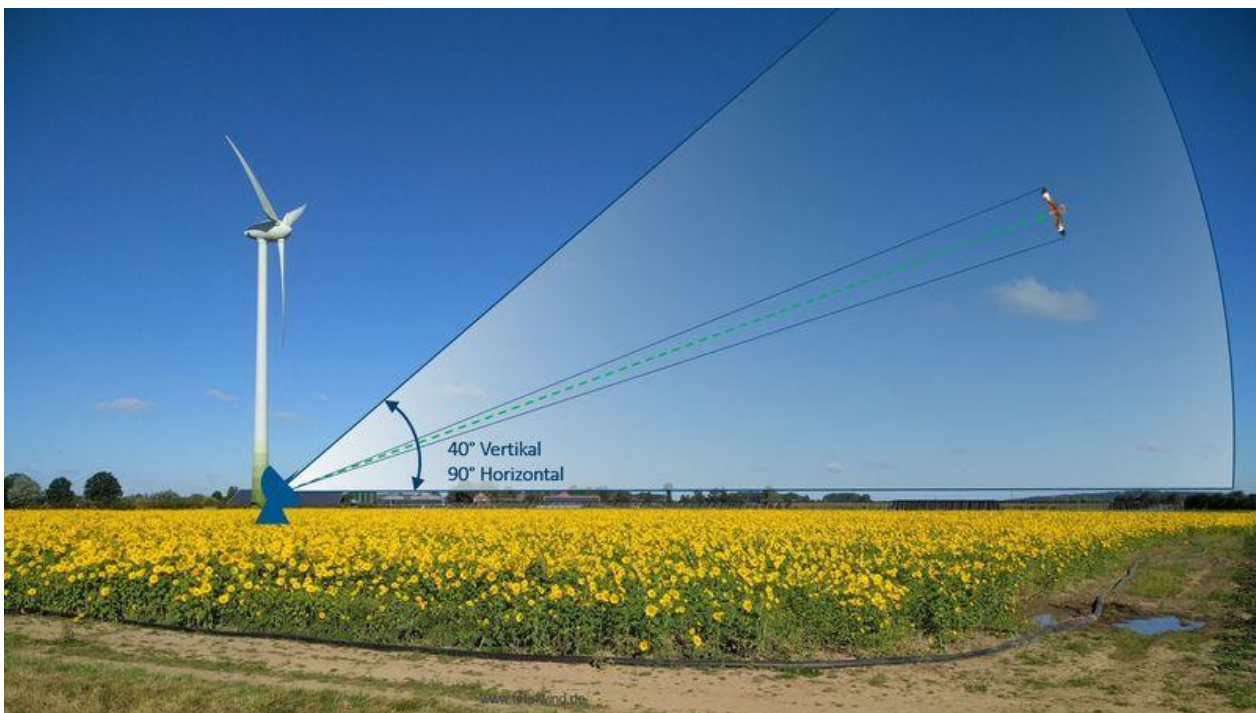


Abbildung 82: Räumliche Abdeckung einer einzelnen Radarantenne

Quelle: <https://swiss-birdradar.com/systems/radar-birdscan-ms1/>

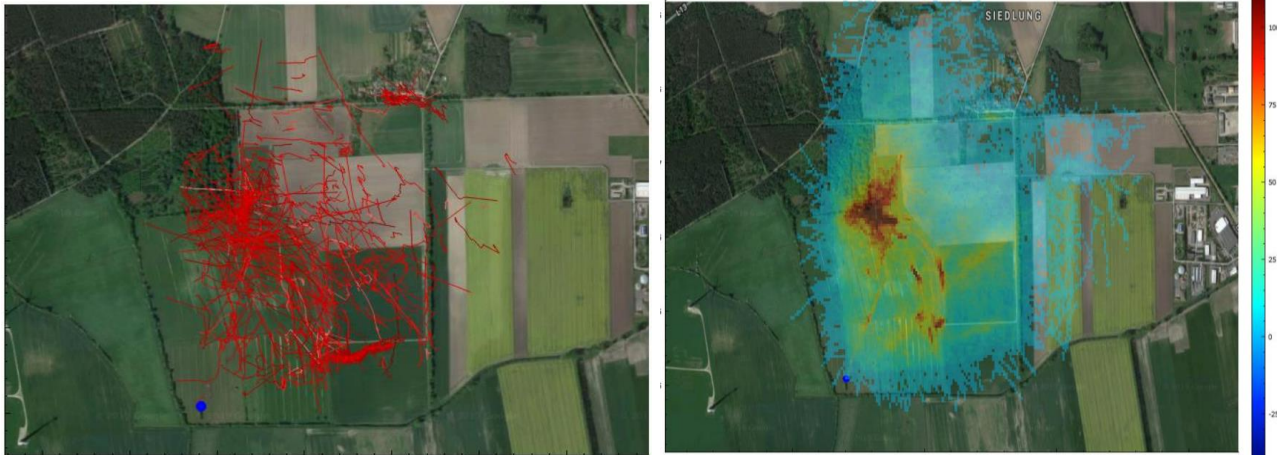


Abbildung 83: Mit dem Radar-System BirdScan aufgezeichnete Flugwege von Großvögeln eines Tages (links) und eines Monats (rechts)

Quelle: FRÜH (2019), https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/Frueh_KNE-Konferenz.pdf

4.3 Methodische Vorschläge

Hinsichtlich einer Verwendung von Detektionssystemen bei der Sachverhaltsermittlung im Zuge immissionsschutzrechtlicher Genehmigungsverfahren werden auf der Basis der Kap. 4.1 und 4.2 folgende Fragen betrachtet:

1. In welchen Fällen sollte grundsätzlich der Einsatz von Detektionssystemen in Betracht gezogen werden?
2. Welche Systeme eignen sich für den betrachteten Zweck?
3. Was ist bei der Auswertung und Interpretation der Daten zu beachten?

Zu Frage 1:

Gemäß der hessischen Verwaltungsvorschrift (HMUKLV & HMWEVW 2020) ist für die Sachverhaltsermittlung ein gestuftes Vorgehen vorgesehen:

1. Brutbestandserfassung: Ermittlung der Reviere bzw. Brutplätze WEA-sensibler Arten in den artspezifischen Prüfbereichen,
2. Klärung der Einhaltung der artspezifischen Mindestabstände und Prüfbereiche: sofern keine Reviere bzw. Brutplätze WEA-sensibler Arten in diesen Bereichen ermittelt werden, können artenschutzrechtliche Verbotstatbestände ausgeschlossen werden; ein weiterer Untersuchungsbedarf besteht nicht,
3. Habitatpotenzialanalyse (HPA): sofern die artspezifischen Mindestabstände und Prüfbereiche nicht eingehalten werden, ist anhand der Habitat- und Geländeausstattung zu beurteilen, ob der geplante Windpark im Bereich hochwertiger oder gar essenzieller Brut- und Nahrungshabitate bzw. bevorzugter Flugwege liegt.

4. Raumnutzungsanalysen: sofern die HPA einen Konflikt mit hochwertigen Habitaten indiziert oder ein Ausschluss solcher Konflikte nicht eindeutig ist, sind mit Raumnutzungsbeobachtungen an mind. 18 Terminen insbesondere das Ausmaß der Flugaktivität sowie das Bestehen funktionaler Zusammenhänge zwischen Brut- und Nahrungshabitaten zu klären.

Diese Raumnutzungsbeobachtungen erfordern zunächst keine Flughöhenbestimmung, wohl aber eine möglichst genaue Verortung der gesichteten Flugwege. Wie bereits in der Verwaltungsvorschrift vorgesehen, wäre der nächste Schritt zur Verbesserung der Beurteilungsgrundlage und der Datenqualität die Verwendung von Laser Rangefindern. Hierfür müssen jedoch die Beobachtungspunkte so gelegt werden, dass die Vögel möglichst weitgehend oberhalb der Horizontlinie verfolgt werden können. Bei Flügen vor Waldrändern, Baumreihen oder Gegenhängen kommt es zu häufigen Fehlmessungen mit dem Laserstrahl. Dies gilt im Übrigen auch, wenn die Vögel vor oder hinter einer Windenergieanlage fliegen.

Grundsätzlich stellt jedoch die Verwendung von Laser Rangefindern einen erheblichen Qualitätsgewinn der Raumnutzungsdaten dar, sowohl hinsichtlich der Verortung als auch der Bestimmung der Flughöhen. Ergebnis kann somit ein sehr differenziertes Bild der Raumnutzung sein (siehe Abbildung 78). Voraussetzung ist allerdings eine sorgfältige Kalibrierung vor jedem Einsatz sowie eine regelmäßige Überprüfung der Verortung anhand bekannter Geländemerkmale (z.B. Gebäude oder WEA).

Insofern kommt der Einsatz von Detektionssystemen zur Sachverhaltsermittlung erst in Betracht, wenn auch die Verwendung von Laser Rangerfindern nicht zu hinreichend belastbaren Ergebnissen führt. Dies dürfte allerdings nur noch in wenigen Ausnahmefällen tatsächlich zutreffen. So kann davon ausgegangen werden, dass für den Rotmilan als häufigster WEA-sensibler Greifvogelart in Hessen im Falle von Neuplanungen von Windenergiestandorten der Einsatz von Detektionssystemen für die Sachverhaltsermittlung i.d.R. als unverhältnismäßig und als nicht notwendig anzusehen ist. Bei der Erweiterung bzw. dem Repowering von Bestandwindparks kann es im Einzelfall sinnvoll sein, die Raumnutzung der örtlichen Brutpaare in Bezug auf die bereits vorhandenen WEA besonders detailliert zu ermitteln, um hieraus Rückschlüsse über etwaige Auswirkungen der neu geplanten WEA zu erlangen. Die Bearbeitung von Forschungsfragen kann dem Vorhabenträger jedoch nicht auferlegt werden.

Vor diesem Hintergrund lassen sich somit nur wenige Fälle skizzieren, in denen der Einsatz eines Detektionssystems für die Sachverhaltsermittlung sinnvoll sein kann:

- Steht die Frage nach den Wechselbeziehungen zwischen Brutplatz und Nahrungsgebiet im Vordergrund und handelt es sich um eine Vogelart, die nur wenige solcher Wechselflüge pro Tag durchgeführt, kann ein sehr hoher personeller und zeitlicher Aufwand erforderlich sein, um auch mit Laser Rangefindern eine ausreichende Anzahl an Flugbewegungen registrieren zu können (z.B. Schwarzstorch oder Adler). Hierbei kann ein Detektionssystem, das über mehrere Monate kontinuierlich und automatisiert Daten aufzeichnet, ein bei weitem besseres und belastbareres Bild der tatsächlichen Raumnutzung liefern als eine Stichprobe von vergleichsweise wenigen Tagen mit

menschlichen Beobachtern. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass Kamerasysteme aufgrund ihrer begrenzten Reichweite nur einen kleinen Raumausschnitt abdecken können. Demgegenüber sind Radarsysteme mit ihrer größeren Reichweite im Vorteil, sofern über die Größenklasse die Zielart zweifelsfrei erkannt werden kann und mit einer Kombination mehrerer Antennen eine 360 °-Abdeckung erreicht werden kann. Für sämtliche Systeme ist die Frage der Sichtverschattung bzw. die geringe Detektionswahrscheinlichkeit unterhalb der Horizontlinie zu berücksichtigen. Maßgeblich ist jedoch im Hinblick auf das Kollisionsrisiko nicht die Gesamtaktivität, sondern nur diejenige in Rotorhöhe. Diese dürfte sich mit Detektionssystemen immer hinreichend abdecken lassen. In stark bewegtem Gelände kann dies jedoch einen größeren Einfluss auf die Auswahl der Gerätestandorte haben.

- In fachlich wie rechtlich strittigen Fällen, sei es im immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren oder im Zuge eines verwaltungsgerichtlichen Klageverfahrens, kann der Einsatz eines Detektionssystems eine objektive, weil personenunabhängige Beurteilungsgrundlage liefern.

Zu Frage 2:

Die Frage nach der Art des einzusetzenden Detektionssystems hängt im Wesentlichen vom Zweck und der spezifischen Fragestellung ab. Soll die generelle Flugaktivität sowohl bei Tag als auch bei Nacht auf größere Entfernung untersucht werden, z.B. im Zusammenhang mit einer horizontalen und vertikalen Verdichtung des Vogelzugs (wie in Sattellagen), sind Radargeräte am besten geeignet. Steht jedoch das Flugverhalten einer bestimmten tagaktiven Art in einem relativ eng begrenzten Raumausschnitt im Fokus, ist ein Kamerasystem mit dreidimensionaler Flugwegeerfassung und weitestgehend eindeutiger Art-Identifizierung zu bevorzugen. Das System IdentiFlight kann in Bezug auf den Rotmilan einen Umkreis mit einem Durchmesser von ca. 1,5 km abdecken, was ca. 3-4 WEA entspricht, wenn diese nicht zu sehr am Rand des Erfassungsbereichs liegen. Bei größeren Windparkflächen wären entsprechend mehr Geräte vonnöten. Demgegenüber wäre ein Radarsystem im Vorteil, da ein einzelnes Gerät einen Raum abdecken kann, der annähernd doppelt so groß ist wie bei IdentiFlight. Allerdings liegen bislang noch keine Untersuchungen vor, dass Radarsysteme eine vergleichbar hohe Zielartenidentifikationsrate wie IdentiFlight erreichen. In Bezug auf den Rotmilan wurde bei IdentiFlight eine Klassifikationsrate von rd. 97 % nachgewiesen (REICHENBACH *et al.* 2021).

Zu Frage 3:

Hinsichtlich der Auswertung der Daten sind insbesondere die Vorteile von Detektionssystemen gegenüber menschlichen Beobachtern zu nutzen. Diese bestehen in erster Linie in einer sehr genauen Auflösung des dreidimensionalen Flugverhaltens und der Generierung einer sehr großen Datengrundlage. Im Gegensatz zu einer lediglich rein kartografischen Darstellung der ermittelten Flugbewegungen wie bei herkömmlichen Raumnutzungsbeobachtungen bedarf es spezifischer Softwarelösungen zur Analyse und Darstellung der Daten (siehe Kapitel 3.2). Der Fokus der Auswertungen sollte auf der Überprüfung lokaler Besonderheiten im Vergleich mit dem

generellen Wissensstand zur Raumnutzung und zum Flugverhalten des Rotmilans liegen. Dies könnte beispielsweise folgende Fragen umfassen:

- Ist vor Ort eine spezifische Flughöhenverteilung gegeben, z.B. durch lokale Aufwindsituationen (Verschiebung nach oben) oder durch besondere Nahrungsbedingungen (Verschiebung nach unten)?
- Lassen sich räumliche Konzentrationen der Flugaktivität erkennen oder ist diese gleichmäßig über den betrachteten Raum verteilt?
- Lassen sich zeitliche Schwerpunkte der Flugaktivität erkennen, z.B. in Bezug auf die verschiedenen Brutzeitphasen oder in Abhängigkeit von der Bewirtschaftung?

Im Falle eines Repoweringvorhabens kann die Flugaktivität gezielt im Hinblick auf den Einfluss der vorhandenen WEA analysiert werden, um hieraus möglichst effektive Maßnahmen zur Verminderung des Kollisionsrisikos durch die neuen WEA abzuleiten.

5 Teilprojekt C: Betriebszeitenregelung und Probabilistik

5.1 Schlussfolgerungen aus den gewonnenen Erkenntnissen zum Flugverhalten der Art für die Optimierung der in Hessen geltenden Betriebszeitenregelungen im Windparkbereich

Bei dieser Aufgabenstellung ist zu klären, ob die gewonnenen Erkenntnisse eine Optimierung der in Hessen geltenden WEA-Betriebszeitenregelungen für den Rotmilan ermöglichen. Ebenso sind bislang in Hessen gewonnene Erkenntnisse zum Flugverhalten der Art zu berücksichtigen und zu prüfen, ob sich diese Erkenntnisse auch in der Arterfassung im Bereich des/der untersuchten Windparks widerspiegeln. Beispielsweise enthält die hessische Verwaltungsvorschrift Naturschutz/Windenergie 2020 die Ergebnisse einer vertiefenden dreijährigen Studie zum Rotmilan im Vogelsberg. Diese Studie hat ergeben, dass ca. 75 % der Flüge der Art in einer Höhe von unter 80 m über Grund stattfanden (HEUCK *et al.* 2019b; HМУKLV & HМУEVW 2020).

Weiterhin führt die Verwaltungsvorschrift auf, dass die nachträgliche vertiefende Auswertung der Daten der dreijährigen Rotmilan-Studie ergeben hat, dass in Hessen oberhalb von 80 m (Rotorhöhe) die Flugaktivität der Art mit höheren Windgeschwindigkeiten abnimmt. In Abb. 20 der dreijährigen Rotmilan-Studie (HEUCK *et al.* 2019b) ist die prozentuale Abnahme hoher Flüge mit der Windgeschwindigkeit erkennbar, beispielsweise von ca. 33 % bei 3 m/s Windstärke auf ca. 19 % bei ca. 8 m/s Windstärke. In HМУKLV & HМУEVW (2020) ist dieser Zusammenhang als Perzentilen bei bestimmten Windgeschwindigkeiten dargestellt.

5.1.1 Bestehende Betriebszeitenregelung

In HМУKLV & HМУEVW (2020) ist eine Betriebszeitenregelung als Maßnahme zur Vermeidung eines signifikant erhöhten Tötungsrisikos für den Rotmilan in solchen Fällen vorgesehen, in denen hochwertige Habitate mit geringer Vorbelastung betroffen sind (Flugaktivität vergleichbar mit einem avifaunistischen Schwerpunkttaum) und eine hinreichende Senkung des Kollisionsrisikos nicht durch andere Maßnahmen (große Rotorhöhe, Habitatgestaltung, Mahdabschaltung) erreicht werden kann. In diesen Fällen erfolgt eine temporäre Abschaltung der Anlagen am Tag im Zeitraum März bis August zum Schutz von rund 90 % (85 % im Falle hochwertiger Arthabitate und zugleich deutlich überdurchschnittlicher Flugaktivität) der Fluganteile in Abhängigkeit der rotorfreien Zone über Grund und der Windgeschwindigkeit unter folgenden Bedingungen (jeweils von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang):

- – Bei rotorfreier Zone ≥ 70 m über Grund:
WEA-Abschaltung bei Windgeschwindigkeit $\leq 5,8$ m/s ($\leq 4,7$ m/s) im Gondelbereich
- – Bei rotorfreier Zone ≥ 80 m über Grund:
WEA-Abschaltung bei Windgeschwindigkeit $\leq 5,2$ m/s ($\leq 4,1$ m/s) im Gondelbereich
- – Bei rotorfreier Zone ≥ 90 m über Grund:
WEA-Abschaltung bei Windgeschwindigkeit $\leq 4,8$ m/s ($\leq 3,5$ m/s) im Gondelbereich

Grundlage für die Berechnung ist die Verteilung der Telemetriedaten von HEUCK *et al.* (2019b) hinsichtlich der Flughöhe und der Windgeschwindigkeit (Abbildung 84 und Abbildung 85). Gemäß diesen Daten erfolgten rd. 72 % aller Flüge unterhalb von 75 m. Dies bestätigt sich auch in einer aktuellen Publikation von PFEIFFER & MEYBURG (2022) auf der Basis von 29 besenderten Rotmilanen aus Thüringen, wonach bei den Männchen rd. 70 % und bei den Weibchen rd. 85 % der Flugaktivität unterhalb von 80 m erfolgten (Abbildung 86). Die Autoren weisen darauf hin, dass Windgeschwindigkeit und Sonnenscheindauer einen merklichen, und zwar entgegengesetzten Einfluss auf die Flughöhe haben. So führt ein Anstieg der Windgeschwindigkeit von 1 m/s zu einer Reduktion der mittleren Flughöhe von nahezu 10 %. Hingegen erhöht jede zusätzliche Stunde Sonnenschein die Flughöhe der Männchen um mehr als 12 %. Ein wesentliches Merkmal des Flugverhaltens des Rotmilans ist PFEIFFER & MEYBURG (2022) zufolge eine ständige Änderung der Flughöhe. Niedrige Höhen zwischen 5 und 60 m werden vorrangig während der Nahrungssuche genutzt, wohingegen größere Flughöhen vor allem bei Richtungsflügen über größere Distanzen auftreten.

Die Daten von PFEIFFER & MEYBURG (2022) bestätigen somit den grundsätzlichen Ansatz von HMUKLV & HMWEVW (2020) hinsichtlich der Einbeziehung sowohl der Flughöhe als auch der Windgeschwindigkeit in eine Betriebszeitenregelung zur Verminderung des Kollisionsrisikos.

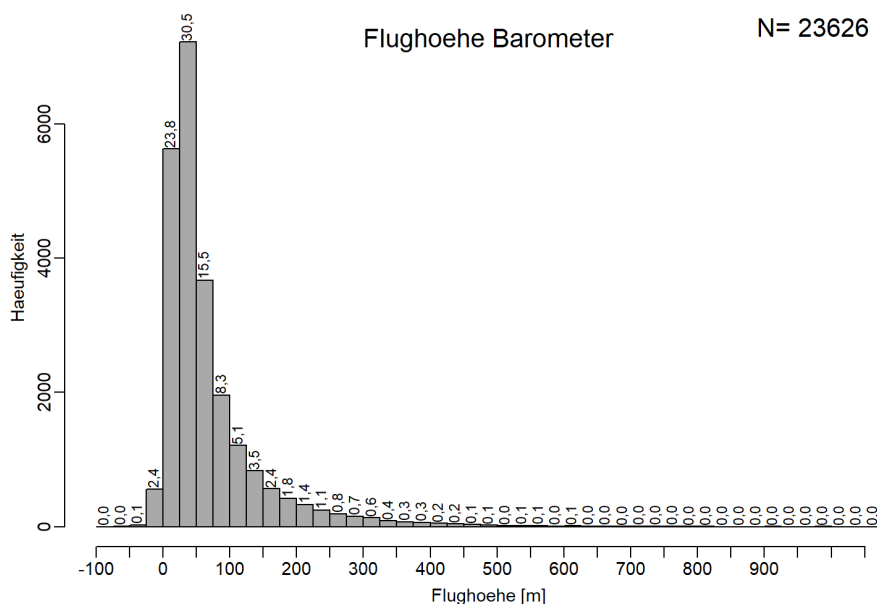


Abbildung 84: Histogramm der Flughöhen 6 besendeter Rotmilane aus dem hessischen Vogelsberg in 25 m-Klassen mit Angabe des jeweiligen prozentualen Anteils der Häufigkeit
Quelle: HEUCK *et al.* (2019b)

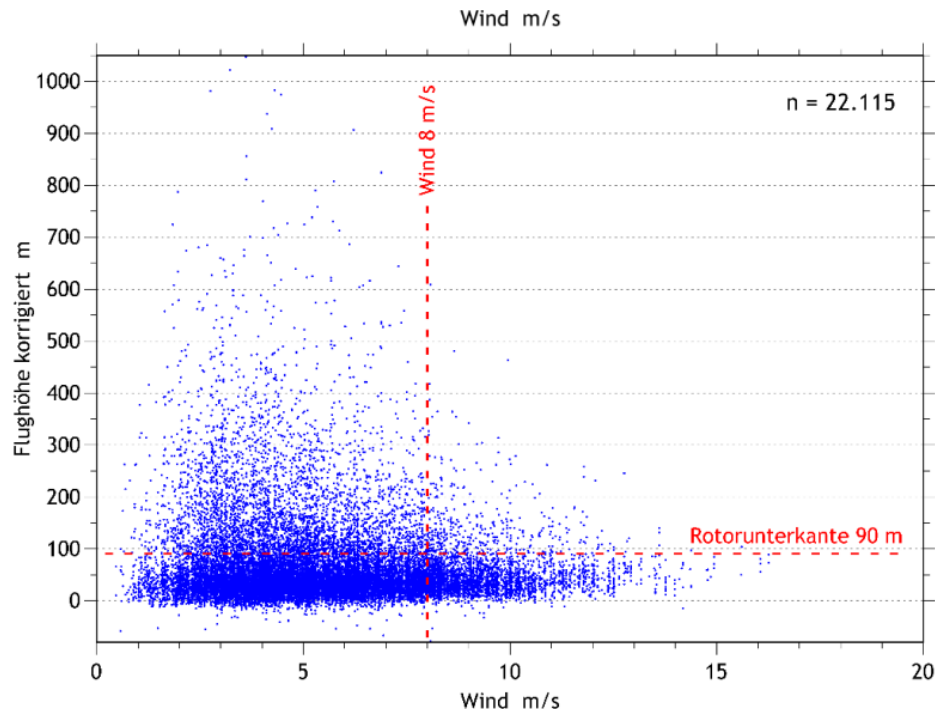


Abb. 5 a + b: Rotmilane im Flug als Flughöhe korrigiert (m) gegen Windgeschwindigkeit (m/s) im 5-Minuten-Datensatz im Anwesenheitszeitraum, nur Ortungspunkte im Flug. Daten der Besenderung von Juni 2016 bis Juli 2018. Datenquellen: Heuck *et al.* (2019), nachträglich ausgewertet vom HMWEVW. Zur Veranschaulichung wurde eine Windgeschwindigkeit von 8 m/s und eine Rotorunterkante von 80 m eingezeichnet

Abbildung 85: Verteilung der Ortungspunkte 6 besonderer Rotmilane aus dem hessischen Vogelsberg hinsichtlich Flughöhen und Windgeschwindigkeit
Quelle: (HMUKLV & HMWEVW 2020)

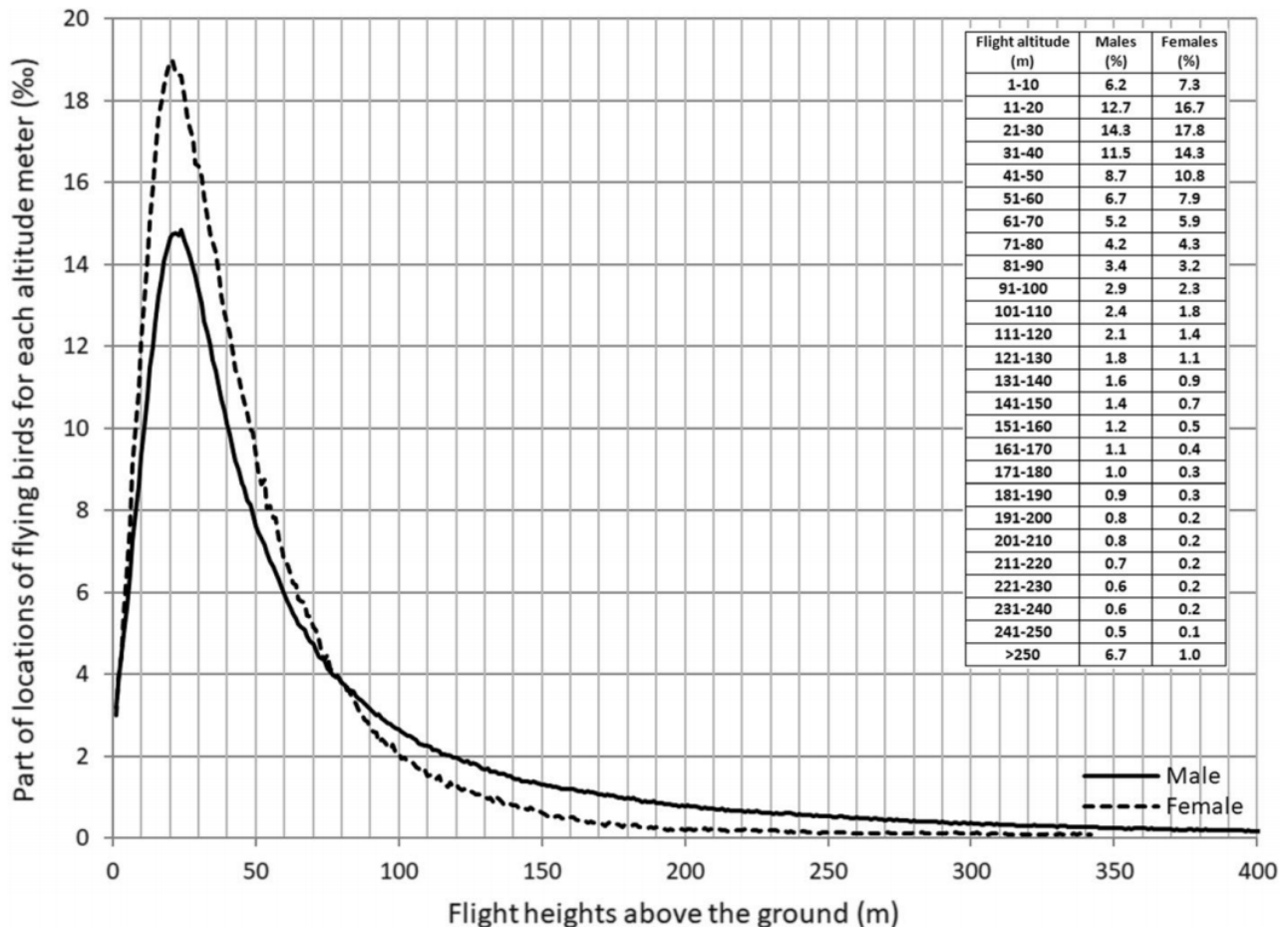


Abbildung 86: Flughöhen 29 besonderer Rotmilane (19 Männchen, 10 Weibchen) aus der Umgebung von Weimar (Thüringen) mit tabellarischen Angaben des jeweiligen prozentualen Anteils der Häufigkeit in 10 m-Klassen, N = 8.798.033
Quelle: (PFEIFFER & MEYBURG 2022)

5.1.2 Ergebnisse des vorliegenden Projekts

Die mit den beiden IDF-Systemen ermittelte Verteilung der Flughöhen (Kapitel 3.3.3.1) zeigt einen sehr ähnlichen Verlauf wie die von PFEIFFER & MEYBURG (2022) ermittelte Kurve (Abbildung 86). Die entsprechende tabellarische Auflistung der Flugaktivitätsanteile in der jeweiligen Höhenschicht (Tabelle 4) weicht jedoch aufgrund kleinräumiger standörtlicher Besonderheiten (Hangaufwinde im südwestlichen Bereich) von derjenigen von PFEIFFER & MEYBURG (2022) etwas ab (Abbildung 86). So verliefen laut IDF-Daten nur rund 60 % aller Flüge unterhalb von 80 m, wohingegen dieser Wert bei PFEIFFER & MEYBURG (2022) rd. 70 % für die Männchen und 85 % für die Weibchen beträgt. Bei HEUCK *et al.* (2019b) beläuft sich dieser Wert auf mind. 72 % (Abbildung 84).

Betrachtet man die Rotorhöhe der im Untersuchungsgebiet befindlichen WEA (ca. 100 – 180 m), ergibt sich bei PFEIFFER & MEYBURG (2022) ein Flugaktivitätsanteil von 12,6 % für Männchen und 7,1 % für Weibchen. Aus den vorliegenden IDF-Daten ergibt sich hingegen ein Anteil von 15,9 %. Bei HEUCK *et al.* (2019b) beläuft sich dieser Wert auf mind. 11 % (Abbildung 84).

Aufgrund der in diesem Projekt für die beiden Kameras gegebenen bodennahen Sichtverschattungen und Maskierungen (Abbildung 28) ist eine gewisse Unterrepräsentierung sehr niedriger Flughöhen gegeben. Dies gilt nicht nur für Flüge hinter den sichtverschattenden Strukturen, sondern auch für solche davor, da IDF Flüge vor dunklem bzw. strukturiertem Hintergrund in wesentlich geringerem Maße detektiert als gegen den Himmel. Dieser unterschiedlichen Erfassbarkeit wurde jedoch Rechnung getragen, indem das beobachtbare Volumen berücksichtigt und die Dichte der Messpunkte pro Volumeneinheit als Maß verwendet wurde (siehe Kapitel 3.2.2.3). Die oben dargestellten Unterschiede können somit zumindest nicht ausschließlich auf die unterschiedliche Erfassbarkeit niedriger Höhen von Kameras und Telemetrie zurückgeführt werden.

Insofern bestätigen die vorliegenden Daten grundsätzlich die Höhenverteilung der Rotmilanflugaktivität, offenbar ist jedoch in diesem Untersuchungsgebiet eine örtlich etwas nach oben verschobene Flughöhenverteilung gegeben. Dies lässt sich ggf. auf eine Nutzung von Hangaufwinden zurückführen, da die betrachtete Fläche nach Südwesten abfällt und daher topografisch die Entstehung von Hangaufwinden begünstigt (siehe Abbildung 29). Es bestätigt sich somit, dass die Höhenverteilung der Flugaktivität lokal variieren kann (siehe Kapitel 3.4.2.4 und 5.1.4). Daher sollte im Allgemeinen für eine höhenschichtspezifische Quantifizierung der Flugaktivität auf die umfassenderen Telemetriedaten von HEUCK *et al.* (2019b) sowie von PFEIFFER & MEYBURG (2022). zurückgegriffen werden.

Kombiniert man die Ergebnisse der Flughöhenverteilung mit der Verteilung der Flugaktivität in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, lässt sich der Anteil an nicht mehr kollisionsgefährdeten Flügen ermitteln, der entweder unterhalb einer bestimmten Rotorunterkantenhöhe oder unterhalb einer bestimmten Anlauf-Windgeschwindigkeit liegt (Abbildung 87 und Abbildung 88). Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Modellergebnisse in Kapitel 3.3.3.4 gezeigt haben, dass Windgeschwindigkeit und Flughöhe interagieren und der Verlauf der Kurve davon beeinflusst wird, wie häufig eine bestimmte Windgeschwindigkeit auftritt. Zudem wurde deutlich, dass die Windgeschwindigkeit allein nicht sicher die Aufenthaltsdauer von Rotmilanen im Rotorbereich vorhersagen kann. Generell zeigt sich jedoch, dass der Anteil an nicht mehr kollisionsgefährdeten Flügen steigt, je höher die Rotorunterkante und je höher die Anlauf-Windgeschwindigkeit liegen. Da der vorliegende Untersuchungsstandort durch eine im landesweiten Vergleich hohe mittlere Windgeschwindigkeit gekennzeichnet ist (siehe Abbildung 77), ist an vielen windschwächeren Standorten mit einem noch höheren Anteil an nicht kollisionsgefährdeter Flugaktivität unterhalb der betrachteten Anlauf-Windgeschwindigkeiten zu rechnen.

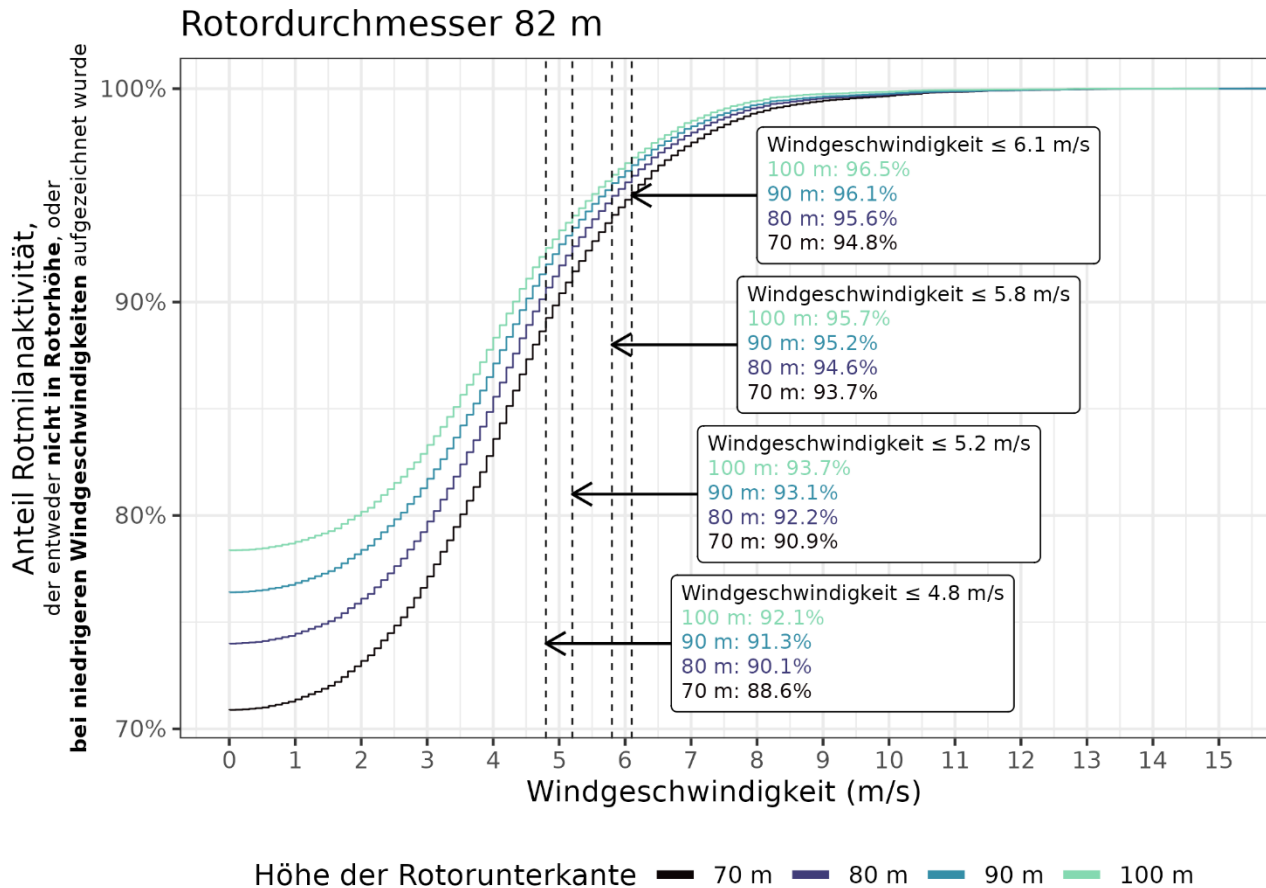


Abbildung 87: Anteil der Rotmilanaktivität, der entweder nicht in Rotorhöhe einer E-82 oder bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten aufgezeichnet wurde. Unterschieden werden die Anteile für 4 hypothetisch festgesetzte Höhe der Rotorunterkante. Als Rotordurchmesser werden jeweils die 82 m der E-82 vor Ort angenommen. An den Kurvenverläufen sowie den 4 eingezeichneten Beschriftungstafeln ist somit abzulesen, welcher Anteil der gesamten aufgezeichneten Rotmilanaktivität nicht während des Anlagenbetriebes in Rotorhöhe stattfinden würde, wenn die Cut-In Windgeschwindigkeit der WEA auf die jeweilige Windgeschwindigkeit verschoben würde.

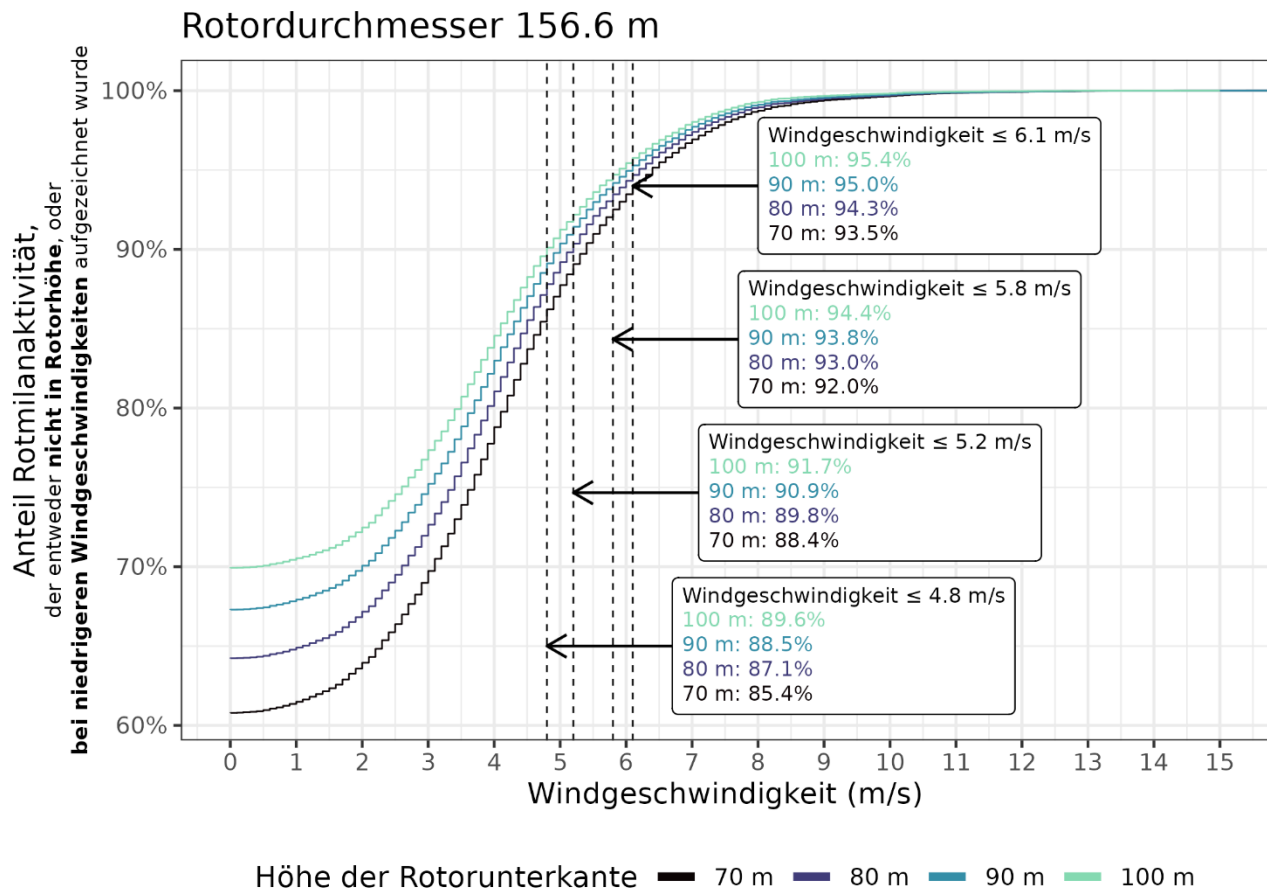


Abbildung 88: Anteil der Rotmilanaktivität, der entweder nicht in Rotorhöhe einer E-160 oder bei niedrigeren Windgeschwindigkeiten aufgezeichnet wurde. Unterschieden werden die Anteile für 4 hypothetisch festgesetzte Höhe der Rotorunterkante. Als Rotordurchmesser werden jeweils die 156,6 m einer E-160 angenommen. An den Kurvenverläufen sowie den 4 eingezeichneten Beschriftungstafeln ist somit abzulesen, welcher Anteil der gesamten aufgezeichneten Rotmilanaktivität nicht während des Anlagenbetriebes in Rotorhöhe stattfinden würde, wenn die Cut-In Windgeschwindigkeit der WEA auf die jeweilige Windgeschwindigkeit verschoben würde.

Diesen Ansatz hat bereits die hessische Verwaltungsvorschrift Naturschutz und Windenergie (HMUKLV & HMWEVW 2020) auf der Basis der Daten von HEUCK *et al.* (2019b) verfolgt. In der Gegenüberstellung ergibt sich eine weitgehende Übereinstimmung der vorliegenden Projektergebnisse mit den Angaben in der Verwaltungsvorschrift (VwV) von HMUKLV & HMWEVW (2020), bezogen auf einen Rotordurchmesser aktueller WEA-Typen (knapp 160 m).

Tabelle 6: Vergleich der Schutzniveaus bei Kombination verschiedener Rotorunterkantenhöhen und Anlauf-Windgeschwindigkeiten zwischen HMUKLV & HMWEVW (2020) und den Projektergebnissen

VwV = Verwaltungsvorschrift Naturschutz/Windenergie (HMUKLV & HMWEVW 2020)
(IDF-Daten bezogen auf einen Rotordurchmesser von 156,6 m, die Angaben von HMUKLV & HMWEVW (2020) sind hinsichtlich des Rotordurchmessers nach oben offen)

Anlauf-Windgeschwindigkeit	4,8 m/s		5,2 m/s		5,8 m/s		6,1 m/s	
Rotorunterkante	VwV	IDF	VwV	IDF	VwV	IDF	VwV	IDF
70 m	Ca. 85 %	85,4 %	Ca. 87 %	88,4 %	Ca. 90 %	92,0 %	Ca. 91 %	93,5 %
80 m	Ca. 88 %	87,1 %	90,0 %	89,8 %	Ca. 91 %	93,0 %	Ca. 92,5 %	94,3 %
90 m	90,0 %	88,5 %	Ca. 91 %	90,9 %	Ca. 92 %	93,8 %	Ca. 94 %	95,0 %
100 m	--	89,6 %	--	91,7 %	--	94,4 %	--	95,4 %

5.1.3 Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Daten zeigen, dass die Kombination einer hohen Rotorunterkante mit einer gewissen Anhebung der Anlauf-Windgeschwindigkeit eine hohe Schutzwirkung entfaltet. Die konkrete Ausgestaltung dieser Regelung hängt davon ab, welches Schutzniveau generell und im Einzelfall für erforderlich gehalten wird. Hierbei handelt es sich um die Definition der sog. Signifikanzschwelle, die nicht Gegenstand des vorliegenden Projektes ist. Dabei wird auch zu berücksichtigen sein, dass bereits allein mit einer hohen Rotorunterkante ein hohes Schutzniveau erreicht werden kann und dass Rotmilane ein sehr ausgeprägtes kleinräumiges Ausweichverhalten zeigen, was in der probabilistischen Schätzung zu sehr niedrigen Kollisionswahrscheinlichkeiten führt (siehe Kapitel 5.2). In der Folge kann im jeweiligen Einzelfall ggf. nur noch eine vergleichsweise geringe zusätzliche Schutzwirkung durch die Anhebung der Anlauf-Windgeschwindigkeit erforderlich sein, um das Kollisionsrisiko unter die Signifikanzschwelle zu senken (siehe beispielhaft Kapitel 5.2.2.2).

Die am Untersuchungsstandort ermittelten Werte (siehe Tabelle 6) sind hinsichtlich möglicher örtlicher Variationen bereits als vorsorglich anzusehen, da die vorliegenden Projektergebnisse an einem für Hessen sehr windhöffigen Standort gewonnen wurden, an dem nur ein Anteil von ca.

60 % Flugaktivität unterhalb von 80 m ermittelt werden konnte. An windschwächeren Standorten ist auf der Grundlage der Daten von HEUCK *et al.* (2019b) sowie von PFEIFFER & MEYBURG (2022) von höheren Anteilen auszugehen und entsprechend von einem höheren Schutzniveau bei den genannten Anlauf-Windgeschwindigkeiten. Durch dieses Vorgehen erübrigt sich eine differenzierte Erfassung der einzelfallspezifischen Flughöhenverteilung, die örtlich und methodisch bedingt zwischen 60 % und > 75 % schwanken kann.

Hinsichtlich der Tagesphänologie können nach den vorliegenden Daten die ersten und die letzten 15 % der Tageslänge von der Betriebsbeschränkung ausgenommen werden.

5.1.4 Einfluss der Distanz zum nächsten Brutplatz

Die Auswertung der Flughöhendaten von HEUCK *et al.* (2019b) und von PFEIFFER & MEYBURG (2022) bezieht sich auf den gesamten Aktionsraum der besenderten Vögel und berücksichtigt daher nicht etwaige unterschiedliche räumliche Verteilungen bestimmter Flughöhen. Maßgeblich für das Kollisionsrisiko an einem konkreten Standort ist jedoch die dortige ortspezifische Flughöhenverteilung. Diese kann nach oben oder unten von der generellen Verteilung über den gesamten Aktionsraum abweichen. Gründe hierfür können in der Entfernung zum Nest, dem örtlichen Thermikpotenzial, der Windgeschwindigkeit und dem zeitlich und örtlich variierenden Nahrungsangebot sowie in der Distanz zwischen Brutplatz und Nahrungshabitat (Richtungsflüge) liegen.

Als ein wesentlicher Einflussfaktor auf die Flughöhe ist die Entfernung zum Brutplatz einzustufen. Nachfolgend werden aus der Studie von REICHENBACH *et al.* (2021) IdentiFlight- und Laser Rangefinder-Daten von jeweils zwei Untersuchungsstandorten ausgewertet, für die Nachweise für besetzte Rotmilanhorste in weniger als 750 m Entfernung zum Beobachterstandort vorlagen.

Betrachtet man die Verteilung der Aktivität über die Flughöhen in Abhängigkeit des horizontalen Abstandes zu diesen Rotmilanhorsten, so ergibt sich folgendes Bild: Je geringer die Distanz zum Horst ist, desto stärker konzentriert sich die Flugaktivität auf niedrige Höhen (Abbildung 90). Mit zunehmender Distanz nimmt der Anteil an höheren Flugbahnen zu und die Mediane der Verteilung verschieben sich deutlich nach oben. Bemerkenswert ist, dass die Flughöhenverteilungen, wie sie in 0-300 m horizontaler Distanz zum Rotmilanhorst beobachtet wurden, denen stark ähneln, die HEUCK *et al.* (2019b) und PFEIFFER & MEYBURG (2022) per GPS-Sender für den gesamten Aktionsraum der besenderten Vögel ermittelten. Es liegt nahe, dass diese Ähnlichkeit daraus entsteht, dass Rotmilane sich in der Brutphase hauptsächlich nahe ihres Horstes aufhalten, weshalb die meisten GPS-Messungen in diesen Bereich fallen. Dies würde bedeuten, dass zumindest in der Brutzeit, bei zunehmender Entfernung von Rotmilanhorsten zwar die absolute Aktivität abnimmt, möglicherweise aber der Anteil der Flugaktivität, die auf Rotorhöhe stattfindet, zunimmt. Hierzu können in der vorliegenden Studie jedoch keine Analysen durchgeführt werden.

SCHELAND (2023) untersuchte anhand der Daten von HEUCK *et al.* (2019b) ebenfalls, ob sich die mittlere Flughöhe mit zunehmender Distanz zum Horst verändert. Wie in Abbildung 89 zu sehen, liegt diese insbesondere im nahen Umkreis des Horstes mit 33,6 m bis annähernd 50 % unter den Werten von Intervallen mit höheren Distanzen. Ab einer Entfernung von 2.000 m steigt die Verteilung wieder an, da hier häufig Flüge über längere Strecken in energiesparenderen Höhen stattfinden (PFEIFFER & MEYBURG 2022)

Hieraus ergibt sich, dass auch bei einer – ausnahmsweisen – Errichtung von WEA im Nahbereich von Rotmilanbrutplätzen (< 500 m) durch die Einhaltung einer hohen Rotorunterkante ein guter Grundschutz gegeben ist.

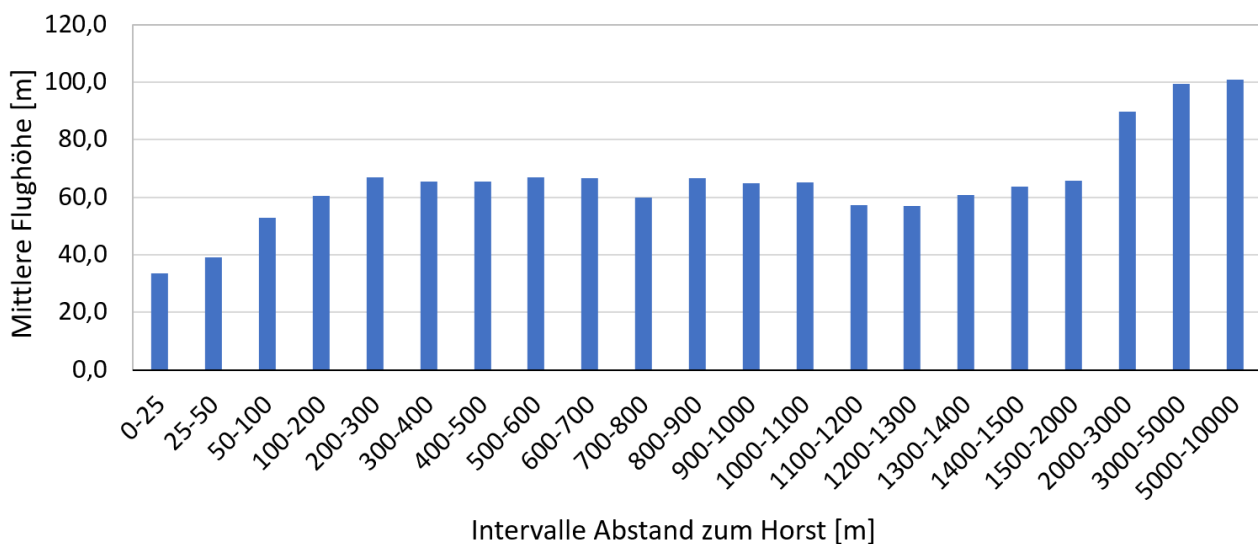


Abbildung 89: Mittlere Flughöhenverteilung in Abhängigkeit vom Abstand zum Horst.

Quelle: SCHELAND (2023), zusätzliche Auswertung von Original-Daten von HEUCK *et al.* (2019b)

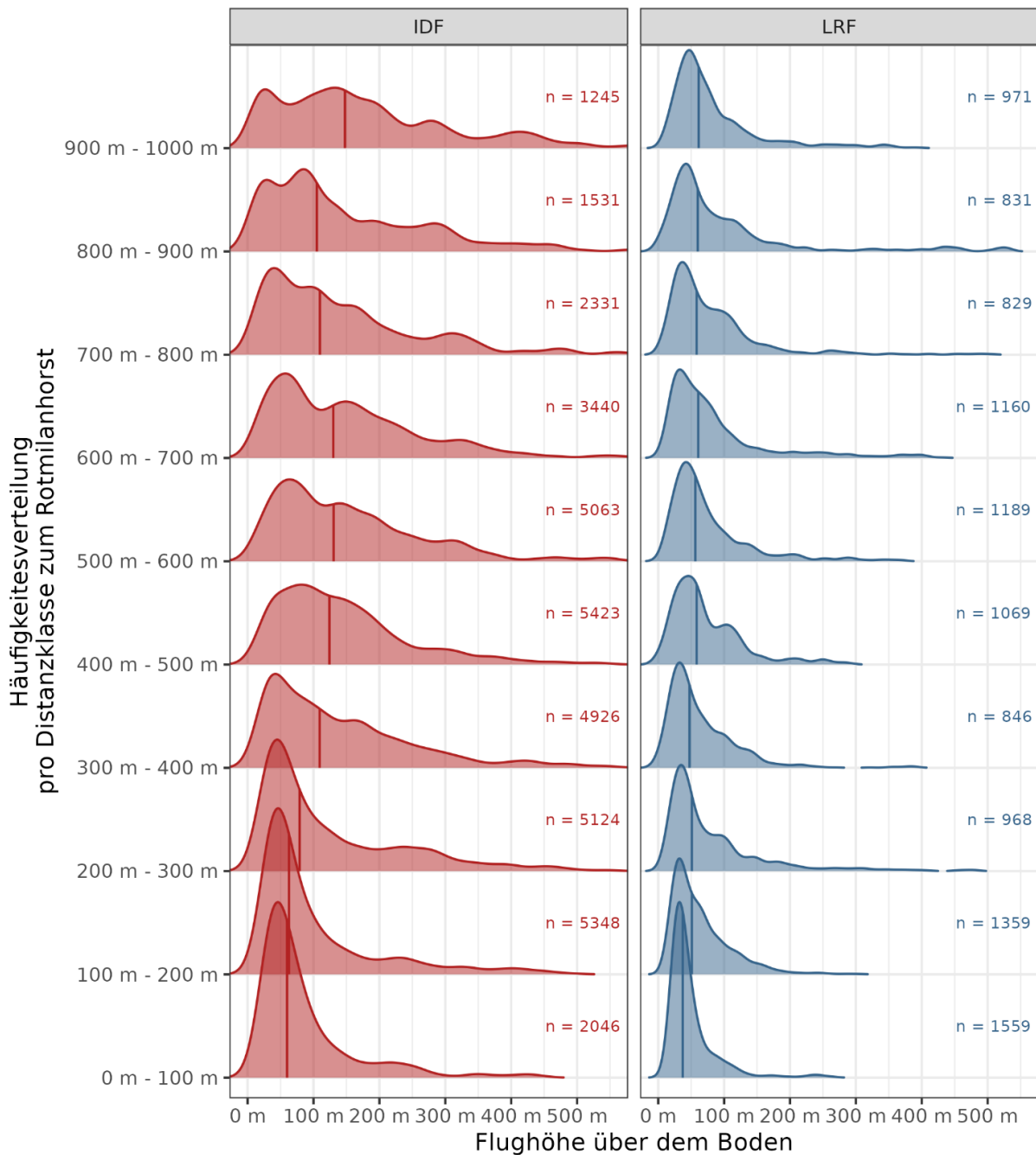


Abbildung 90: Verteilung der Flughöhen über dem Grund in Abhängigkeit von der Distanz zu einem Rotmilanhorst

Alle Messpunkte wurden in jeweils 100 m breite Distanzklassen zum nächstgelegenen Rotmilanhorst eingeteilt. Pro Distanzklasse wurde eine Dichtekurve erstellt, welche geglättet die relative Verteilung der Flughöhen über dem Boden in der jeweiligen Distanzklasse darstellt. Der Median der Verteilung wird durch einen senkrechten Strich abgebildet. Die Fläche unter der Kurve ist zu Vergleichszwecken pro Aufnahmetyp in allen Distanzklassen gleich. Die Anzahl von Messpunkten, die zur Berechnung der Verteilungen verwendet wurden, sind jeweils rechts aufgeschrieben. Als Datengrundlage wurden nur Messpunkte aus Bereichen verwendet, die sicher unbeeinflusst vom Maskierungseffekt drehender Rotoren waren.

Zusätzliche Auswertung von Daten aus REICHENBACH *et al.* (2021)

5.2 Schlussfolgerungen aus den gewonnenen Erkenntnissen zum Flugverhalten der Art im Hinblick auf probabilistische Bewertungsverfahren zur Bewertung des signifikant erhöhten Tötungsrisikos an WEA

Nachfolgend werden zunächst die grundlegenden Eingangsparameter und Rechenschritte probabilistischer Kollisionswahrscheinlichkeitsberechnungen anhand des international angewandten Band-Modells (BAND *et al.* 2007) erläutert. In den vergangenen Jahren wurden mehrere probabilistische Methoden vorgestellt und diskutiert, die sich jedoch nur geringfügig voneinander unterscheiden und allesamt auf bestimmten pauschalierten Annahmen zur Kollisionswahrscheinlichkeit beruhen (VEENKER INGENIEURE 2020; BDEW 2021; REICHENBACH & AUSSIEKER 2021; SCHREIBER 2021). Anhand der dargestellten Methodik sollen darauffolgend potenzielle Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt werden, die auf den innerhalb dieses Projektes erzielten Erkenntnisgewinn hinsichtlich des Flugverhaltens des Rotmilans (Kapitel 3) zurückgreifen oder aber durch darüberhinausgehende Arbeiten geleistet werden können.

Die Ergebnisse und Weiterentwicklungen der probabilistischen Methode von MERCKER *et al.* (2023) sind im vorliegenden Kapitel nicht berücksichtigt, da beide Projekte zeitlich parallel liefen.

5.2.1 Das Modell und seine Parameter

5.2.1.1 Bisherige Berechnungsmethodik

Um das Kollisionsrisiko zu quantifizieren bzw. zu prognostizieren wird international die Verwendung sog. „Collision-Risk-Models“ (CRM) diskutiert, die i.d.R. auf detaillierten Flugaktivitätsdaten aus Raumnutzungsbeobachtungen beruhen (MASDEN & COOK 2016). Ausgangspunkt ist das sog. „Band-Modell“ (BAND *et al.* 2007), welches ursprünglich bereits 1995 konzipiert und 2000 veröffentlicht wurde (SNH 2000). Eine nochmalige Weiterentwicklung erfolgte 2012 (BAND 2012).

In diesem Modell stellen die erfassten Flugbewegungen an einem konkreten Standort die Grundlage für die Berechnungen der Kollisionswahrscheinlichkeit dar und werden auf die Aufenthaltsdauer im Rotorbereich im gesamten Jahr bzw. für die gesamte Brutperiode im Falle von Zugvögeln hochgerechnet. Diese Aufenthaltsdauer wird dann durch die anzunehmende Dauer für einen tatsächlichen Durchflug durch einen WEA-Rotor geteilt, womit man die Anzahl an Rotordurchflügen pro Jahr bzw. Brutperiode erhält. Das Modell setzt somit einen Zusammenhang zwischen der Flugaktivität, d.h. der Flugdauer im Risikobereich, und möglichen Kollisionen voraus. Dieser Wert stellt das Ergebnis des ersten Berechnungsschritts des Band-Modells dar (s. Abbildung 91).

Im nächsten Schritt wird die Wahrscheinlichkeit bestimmt, mit der ein Vogel bei einem potenziellen Rotordurchflug tatsächlich verunglückt. Diese Wahrscheinlichkeit kann mit Hilfe eines Excel-Tools berechnet werden, in das art- und anlagenspezifische Daten wie Vogelgröße, Fluggeschwindigkeit, Rotorgröße sowie Drehgeschwindigkeit eingehen. Diese Kollisionswahrscheinlichkeit beruht auf der Annahme eines mechanistischen Durchflugs, während

dem die Vögel keinerlei Ausweichverhalten zeigen. Wesentliche Grundlage für die Berechnungen stellen demnach die Dauer des Rotordurchflugs, die sich durch die durchschnittliche Fluggeschwindigkeit und die Rotorflügelbreite ergibt, sowie die Anzahl an Rotorumdrehungen pro Minute dar (neben einer Reihe weiterer Parameter zu WEA und Vogelart). Als Ergebnis erhält man die Wahrscheinlichkeit, ob ein Vogel während eines Durchflugs vom Rotor getroffen wird. Das Exceltool wird regelmäßig aktualisiert (SNH 2000; BAND *et al.* 2007; CHRISTIE & URQUHART 2015) und ist inzwischen auch als R-Paket verfügbar (stochLAB). Das Produkt aus der Anzahl an Rotordurchflügen und der Kollisionswahrscheinlichkeit eines solchen Durchflugs ergibt eine erste prognostizierte Anzahl an kollidierten Vögeln.

Anschließend wird das Ausweichverhalten der Vögel in der Berechnung berücksichtigt, da die Raumnutzungsbeobachtungen in der Regel vor dem Bau und der Inbetriebnahme der WEA stattfindet. So ist aus einer Vielzahl von Untersuchungen bekannt, dass Vögel in wesentlich geringerem Maße mit WEA kollidieren als von dem Modell prognostiziert. Sie zeigen somit ein Ausweich- oder Meideverhalten, um einem Zusammenstoß mit dem wahrgenommenen Hindernis zu entgehen (WHITFIELD & MADDERS 2006; SCHAUB *et al.* 2020). Grundsätzlich wird bislang für jede Vogelart eine Ausweichrate von 98 % angenommen, bei entsprechender Datengrundlage werden artspezifische Ausweichraten angegeben und stetig aktualisiert (SNH 2010, 2018). Für den Rotmilan wurden im vorliegenden Projekt hierzu neue empirische Erkenntnisse gewonnen (Kapitel 3.3.3). Mittels der Einbeziehung der Ausweichrate (avoidance rate) wird versucht, eine realistische Zahl an erwartbaren Kollisionsopfern zu berechnen. Geht man davon aus, dass die Eingangsgrößen in den Schritten 2 und 3 artspezifisch weitgehend feststehen, hängt das Ergebnis der Berechnung für einen konkreten WEA-Standort in erster Linie von dem dortigen Ausmaß an Flugaktivität ab (Abbildung 92).



Abbildung 91: Schematischer Ablauf des Band-Modells

Dieses schon ältere und in der Literatur teilweise kontrovers diskutierte Modell (GRÜNKORN *et al.* 2016) rückt aktuell wieder durch die Verwendung probabilistischer Ansätze zur Ermittlung des Kollisionsrisikos in den Fokus (BRAND *et al.* 2020). Die probabilistische Herangehensweise ist grundsätzlich vergleichbar mit derjenigen des Band-Modells. Für die Ermittlung der Flugaktivität im Gefahrenbereich der WEA wird dabei jedoch nicht auf tatsächliche Flugbeobachtungen zurückgegriffen, sondern auf eine Abschätzung von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten. HÖTKER *et al.* (2017) und (MÄNNEL 2021) haben derartige Berechnungen bereits beispielhaft für den Rotmilan durchgeführt.

Die Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit eines Individuum setzt sich demnach aus der Kombination von verschiedenen Einzelwahrscheinlichkeiten zusammen (BRAND *et al.* 2020). Dazu zählen die Wahrscheinlichkeiten,

- dass der Vogel den Gefährdungsbereich der WEA durchfliegt,
- dass die WEA in Betrieb ist (Worst Case 100 % Betriebszeit) und
- dass eine Kollision stattfindet.

Im Beispiel von (MÄNNEL 2021) fließen diese drei Einzelwahrscheinlichkeiten in eine Gesamt-Formel zur Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit innerhalb eines Kalenderjahres ein (s. Abbildung 92).

- Aufenthaltsdauer im kritischen Bereich ($Pf_1 = \prod Pf_{1,i}$)
- Bestimmung der Anzahl der errechneten Durchflüge (mit t_d)
- Bestimmung der Wahrscheinlichkeit einer potentiellen Kollision (Pf_2)
- Bestimmung der Anzahl potentieller Kollisionen
- Bestimmung des Ausweichverhaltens (Pf_3)
- Bestimmung der errechneten Anzahl von Kollisionen (Pf_{ges})

$$Pf_{ges} = \frac{Pf_1 \cdot 365 \text{ d} \cdot 24 \text{ h} \cdot 60 \text{ min} \cdot 60 \text{ s}}{t_d} \cdot Pf_2 \cdot Pf_3$$

Abbildung 92: Formel zur Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit innerhalb eines Jahres
Quelle: (MÄNNEL 2021)

Generell gilt, dass eine hohe Anzahl an Flugbewegungen in Rotornähe das Kollisionsrisiko erhöht (SCHAUB 2012; HEUCK *et al.* 2019a). Die wesentlichen Faktoren in der probabilistischen Formel, die die prognostizierte Anzahl an Kollisionen (Pf_{ges}) maßgeblich beeinflussen, sind somit einerseits die Aufenthaltsdauer im kritischen Bereich (Pf_1), d.h. das Ausmaß der Flugaktivität in Rotorhöhe am konkreten WEA-Standort, sowie andererseits das artspezifische Ausweichverhalten (Pf_3). Die Wahrscheinlichkeit, dass es bei einem Rotordurchflug zu einer Kollision kommt (Pf_2), ist demgegenüber in Bezug auf unterschiedliche Standorte und Arten von untergeordneter Bedeutung. Eine ausführliche Beispielrechnung ist in Kapitel 5.2.2 dargestellt.

Alle Variablen der Formel weisen für die einzelnen Vogelarten feste Werte auf. Unterschiedlich ist im jeweiligen Einzelfall somit lediglich die Aufenthaltsdauer im kritischen Bereich. Diese wird zu einem großen Teil von der Entfernung zwischen Brutplatz und WEA beeinflusst, hängt aber auch von der örtlichen Habitatqualität und bestimmten funktionalen Zusammenhängen ab, z.B. dem Vorhandensein häufig genutzter Flugkorridore. Die probabilistische Methode verwendet für die Prognose der Flugaktivität an einem bestimmten Standort im Wesentlichen die Distanz zwischen Brutplatz und WEA; es existieren jedoch auch Ansätze zur Einbeziehung der Habitatqualität (BDEW 2021).

Probabilistische Berechnungen werden als eine Möglichkeit angesehen, die Frage zu beantworten, ob an einem konkreten Anlagenstandort eine signifikante Erhöhung des Tötungsrisikos im Sinne von § 44 Abs. 5 Nr. 1 BNatSchG zu erwarten ist. Dafür wird jedoch ein Schwellenwert benötigt, ab welchem zusätzlichen anthropogenen Tötungsrisiko von einer

signifikanten Erhöhung auszugehen ist. Hierfür wurden bereits mehrere Ansätze entwickelt (VEENKER INGENIEURE 2020; BDEW 2021; REICHENBACH & AUSSIEKER 2021; SCHREIBER 2021), gleichzeitig beschäftigt sich eine Unterarbeitsgruppe der Umweltministerkonferenz (UMK) mit dieser Fragestellung.⁷ Es muss jedoch gewährleistet sein, dass sich die Kollisionswahrscheinlichkeit mit Hilfe probabilistischer Methoden im Einzelfall tatsächlich adäquat ermitteln lässt und dass bestehende Unsicherheiten entsprechend berücksichtigt werden. Dies erfolgt aktuell durch die Arbeiten von MERCKER *et al.* (2023).

Für die Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit fließt in die Formel aus Abbildung 92 eine Vielzahl an Durchschnittswerten ein, welche das Flugverhalten der Zielart bestmöglich beschreiben soll (siehe Kapitel 5.2.1.2). Hierbei stellt sich im Einzelfall die Frage, ob einzelne Aspekte des Flugverhaltens erwartbar stark vom Durchschnitt abweichen, z. B., weil der Betrachtungsraum überwiegend für hohe, zielgerichtete Transitflüge genutzt, im Mittel aber artspezifisch viel Zeit mit niedrigeren Nahrungsflügen verbracht wird, was sich wiederum in den Durchschnittswerten des Flugverhaltens widerspiegelt.

Probabilistische Methoden eignen sich zur Bewertung eines allgemeinen artspezifischen Kollisionsrisikos, da eine Vielzahl an relevanten Parametern wie bspw. die Flughöhenverteilung berücksichtigt wird. Dies liefert ein umfassenderes Bild als lediglich die Betrachtung der horizontalen Raumnutzung. Zusätzlich können Szenarien verglichen werden, in denen sich die Flugaktivität und das Flugverhalten nicht ändern, etwaige Unsicherheiten also in allen Fällen gleichermaßen wirken. Dazu zählen z. B. Repoweringvorhaben, bei denen sich lediglich die Anlagentypen ändern.

Durch eine systematische Bewertung der aktuell für den Rotmilan verfügbaren Datengrundlage soll die Belastbarkeit probabilistischer Berechnungen für den Einzelfall bewertet werden. Darin fließen Erkenntnisse aus diesem Projekt ein, da mit den gewonnenen Daten Unterschiede zwischen dem durchschnittlich erwartbaren Flugverhalten und der konkreten Aktivität am Standort ersichtlich werden. Darauf aufbauend sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, die Aussagekraft von Einzelfallbewertung in Abhängigkeit des Standorts zu verbessern.

⁷ https://www.umweltministerkonferenz.de/documents/top-07--bericht-lenkungsgruppe_1626695009.pdf,
abgerufen am 06.11.2022

5.2.1.2 Eingangsparmeter

In die bisherige probabilistische Berechnungsmethode geht eine Vielzahl von anlagen-, standort- sowie artspezifischen Parametern ein, um daraus die Kollisionswahrscheinlichkeit für ein beliebiges arttypisches Individuum zu ermitteln (s. Tabelle 7). Bei den artspezifischen Eingangsparmetern handelt es sich um Durchschnittswerte, die größtenteils empirisch ermittelt wurden. Zusammen mit den anlage- und standortspezifischen Parametern wird mit Hilfe der Formel aus Abbildung 92 zunächst die erwartbare durchschnittliche Aufenthaltsdauer im Rotornahbereich (Pf_1) abgeschätzt. Diese Angabe ersetzt bei probabilistischen Berechnungen die tatsächlich erfasste Flugdauer und stellt einen wesentlichen Unterschied zur herkömmlichen Verwendung des Band-Modells dar. Letzteres geht von einer Ermittlung der konkreten Flugaktivität am geplanten WEA-Standort aus. Für die Schätzung der Aufenthaltsdauer im Rotornahbereich wird die Dauer der Anwesenheit im Brutgebiet (bzw. am Standort an dem sich die WEA befindet) sowie die Dauer der täglichen Flugaktivität benötigt. Mit Hilfe der artspezifischen Flughöhenverteilung kann abgeschätzt werden, wie hoch der Anteil der Flüge in Rotorhöhe ist. Der Rotordurchmesser sowie die Rotorflügeltiefe definieren den Raum, in dem es potenziell zu Kollisionen kommen kann. Mit Hilfe der Flugaktivitätsverteilung in Abhängigkeit zur Entfernung zum Horst (hohe Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Nahbereich, danach deutlich abnehmend) kann in Kombination mit der durchschnittlichen Flugaktivität in Rotorhöhe und der durchschnittlichen Fluggeschwindigkeit die Anzahl an potenziellen Rotordurchflügen ermittelt werden. Bislang existieren jedoch nur wenige Ansätze, wie weitere Faktoren, die die konkrete Flugaktivität am WEA-Standort beeinflussen können, berücksichtigt werden. Dazu zählt insbesondere die Habitatausstattung, die z.B. hinsichtlich der räumlich-zeitlichen Verteilung von attraktiven Nahrungsflächen die Flugaktivität deutlich beeinflussen kann.

Für die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit einer potenziellen Kollision (Pf_2) werden u. a. die Rotorflügeltiefe, die max. Drehzahl (Rotationsgeschwindigkeit) sowie die Fluggeschwindigkeit und die Größe des Vogels berücksichtigt. Abschließend fließt das Ausweichverhalten (Pf_3) in die Berechnung ein und gibt an, wie viele potenzielle Kollisionen durch Kursänderungen etc. bereits vor einem Rotordurchflug verhindert werden. Eine beispielhafte Berechnung des Einflusses verschiedener Anlagendimensionen auf die Kollisionswahrscheinlichkeit ist in Kapitel 5.2.2.2 enthalten.

Tabelle 7: Bisherige Eingangsparameter für die Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit

Parameter	Typ	Rechenschritt
Rotordurchmesser	anlagenspezifisch	Pf_1
Rotorhöhe	anlagenspezifisch	Pf_1
Rotorflügelteiefe	anlagenspezifisch	Pf_1, Pf_2
Max. Drehzahl	anlagenspezifisch	Pf_2
Entfernung WEA zum Brutplatz	standortspezifisch	Pf_1
Anwesenheitszeit im Brutgebiet	artspezifisch	Pf_1
Tägliche Flugaktivität	artspezifisch	Pf_1
Flugaktivität in Abhängigkeit zur Entfernung zum Horst	artspezifisch	Pf_1
Flughöhe	artspezifisch	Pf_1
Fluggeschwindigkeit	artspezifisch	Pf_1, Pf_2
Größe des Vogels	artspezifisch	Pf_2
Durchflugsdauer Risikobereich	art- und anlagenspezifisch	Pf_2
Ausweichverhalten	artspezifisch	Pf_3

Es handelt sich bei den artspezifischen Parametern um Durchschnittswerte

5.2.1.3 Bewertung der aktuellen Datengrundlage

Nachfolgend wird die Datengrundlage für probabilistischen Kollisionsrisikoabschätzungen für die Zielart Rotmilan dargestellt und bewertet. Der resultierende Verbesserungsbedarf wird formuliert und anschließend mit den Ergebnissen dieser Studie abgeglichen. Das sich daraus ergebende Verbesserungspotenzial wird in Kap. 5.2.1.3 zusammengefasst und findet anschließend nach Möglichkeit innerhalb der Beispielrechnungen in Kap. 5.2.2 Anwendung.

Die Belastbarkeit der einzelnen Eingangsparameter variiert generell und unterscheidet sich zusätzlich je nach Zielart. Dies gilt sowohl für probabilistische Berechnungen zur Ermittlung der Aufenthaltsdauer im kritischen Bereich als auch für die Berechnungsschritte Pf_2 und Pf_3 , die identisch mit den eigentlichen Berechnungen des Band-Modells sind.

Anlagenspezifische Parameter

Angaben zur Rotorgröße, zur Anlagenhöhe sowie weiteren anlagenspezifischen Parametern können den Datenblättern des jeweiligen Anlagentyps entnommen werden. Dadurch lässt sich der potenziell risikobehaftete Raum sicher definieren.

Die Anlagenspezifikation beeinflusst die zu erwartenden Kollisionsopferzahlen deutlich, dies allerdings immer nur in Abhängigkeit von den zu Grunde gelegten Angaben zum Flugverhalten der Zielarten.

Entfernung WEA zum Brutplatz

Die Distanz zwischen Anlagenstandort und Brutplatz kann durch eigene Kartierungen bzw. vorhandene Daten sicher ermittelt werden. Dieser Parameter hat durch die artspezifische Flugaktivität in Abhängigkeit zur Entfernung zum Horst indirekt Einfluss auf das Kollisionsrisiko. Eine Vermeidungsmaßnahme stellt daher die Vergrößerung des Abstands zwischen WEA und Brutplatz dar.

Bei Arten mit häufig wechselnden Horsten im Revier stellen die Kartierungen jedoch nur eine Momentaufnahme dar, sodass das Kollisionsrisiko in einzelnen Jahren in Abhängigkeit von der tatsächlichen Entfernung variieren kann. Diese Problematik besteht jedoch mindestens im gleichen Ausmaß auch für die Anwendung pauschaler Abstandskriterien bei der Standortwahl.

Anwesenheitszeit im Brutgebiet

Für Angaben zur durchschnittlichen Anwesenheitszeit im Brutgebiet kann auf eine Vielzahl an Literaturangaben zurückgegriffen werden. Hierbei gilt es zwischen Zugvögeln und stationären Arten zu unterscheiden. Für diesen Parameter liegen belastbare Angaben für alle relevanten Arten vor. Generell sollte auf die Kernzeiten der Aufenthaltsdauer im Brutrevier zurückgegriffen werden. Für den Rotmilan wird eine Anwesenheit vom 01.03. bis zum 30.09. eines jeden Jahres angenommen, im Gegensatz zu Wanderfalke oder Seeadler, die ganzjährig im Brutrevier anwesend sind oder zu Wespenbussard und Baumfalke, die nur ca. 4 Monate im Brutrevier verbringen. In der Nachbrutzeit, d.h. nach Ausfliegen der Jungen, vergrößert sich jedoch der Aktionsraum und die Horstbindung nimmt ab, so dass sich die Verteilung der Flugaktivität über unterschiedliche Entfernungen zum Horst ändert (HEUCK *et al.* 2019b).

Flugaktivität in Abhängigkeit zur Entfernung zum Horst

Belastbare Angaben zur räumlich-zeitlichen Verteilung der Flugaktivität liegen erst seit wenigen Jahren vor. Hieraus begründet sich die Weiterentwicklung probabilistischer Verfahren zur Abschätzung der Kollisionswahrscheinlichkeit in der jüngeren Vergangenheit. Die verbesserte Datengrundlage hängt mit dem seit Anfang der 1990er-Jahre ausgeweiteten Einsatz von Telemetrie in der (Greif-)Vogelforschung zusammen. Durch ihren Einsatz war es möglich, eine Vielzahl an Fragestellungen zum Flugverhalten, der Migration und sonstigen Raumnutzungen zu beantworten, welche bei herkömmlichen Beobachtung bis dato an einer mangelnden Datengrundlage gescheitert sind (MEYBURG & MEYBURG 2013). Seit dem Jahr 2003 werden Sender mit GPS-Ortungen und Solar-/Batteriebetrieb verwendet. Mit Hilfe dieser Technik sind Ortungen bis auf wenige Meter genau möglich. Neben der Analyse der Habitatnutzung im Brutgebiet können auch Daten zur Flughöhe und -geschwindigkeit erfasst werden (MEYBURG & MEYBURG 2013). Die Technik hat sich seit Anfang der 2000er-Jahre kontinuierlich weiterentwickelt, um Ungenauigkeiten der Messungen weiter zu reduzieren. Auch bei der Auswertung erfolgte eine schrittweise Annäherung an mögliche Fehlerquellen, um die Interpretation der Daten weiter verbessern zu können (z. B. PERON *et al.* 2020).

Für den Rotmilan wurde in den vergangenen zehn Jahren eine Vielzahl an aufwendigen Telemetriestudien durchgeführt (z. B. GSCHWENG *et al.* 2014; PFEIFFER & MEYBURG 2015; HÖTKER *et al.* 2017; HEUCK *et al.* 2019b; SPATZ *et al.* 2019; SCHERLER 2020; SPATZ *et al.* 2021; PFEIFFER & MEYBURG 2022; SPATZ *et al.* 2022). Die Inhalte der Studien variieren dabei je nach Zielsetzung. Nicht in jedem Fall wurde allen Fragestellungen zur Erörterung der für die Probabilistik benötigten Parameter nachgegangen. Für eine umfangreiche Rotmilan-Telemetriestudie, welche alle artspezifischen Parameter abdeckt, wurden im Zeitraum 2016 bis 2018 insgesamt sechs Tiere (zwei Weibchen und vier Männchen) besendert. Aufgrund der Datenqualität sowie des umfassenden Ansatzes wurde für probabilistische Berechnungen für den Rotmilan zuletzt verstärkt auf Angaben aus der Studie von HEUCK *et al.* (2019b) zurückgegriffen. Mit Hilfe der Ergebnisse anderer Telemetriestudien sowie weiteren Literaturangaben soll die Qualität der Studie hinsichtlich des Nutzens als Eingangsparameter für probabilistische Berechnungen erörtert werden.

Eine Vielzahl der aufgeführten Telemetriestudien ermittelte die Entfernungsverteilung der besenderten Tiere ausgehend vom Horststandort. Die Verteilung ist relevant für die Berechnung der durchschnittlichen Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Tieres im kritischen Rotorbereich (s. Kap. 5.2.2.1).

In der Studie von HEUCK *et al.* (2019b) zeigt sich, dass ein relativ hoher Anteil der Ortungspunkten in unmittelbarer Nähe zum Horst (ca. 10 % bis 100 m Entfernung) (s. Abbildung 93) erfasst wurde. Bis zu einer Entfernung von ca. 1.200 m zum Horst nimmt der kumulative Anteil der Ortungen pro 100 m-Entfernungsradius jeweils um ca. 5 % zu. In weiterer Entfernung flacht die Zunahme zusehends ab. Bis zu einer Entfernung von ca. 1.000 m wurden in etwa 60 % aller Ortungspunkte der besenderten Tiere registriert, bis zu einer Entfernung von 3.000 m nahezu 100 % (HEUCK *et al.* 2019b). Diese Verteilung deckt sich weitgehend mit den Angaben aus den Telemetriestudien von HÖTKER *et al.* (2017) und GSCHWENG *et al.* (2014).

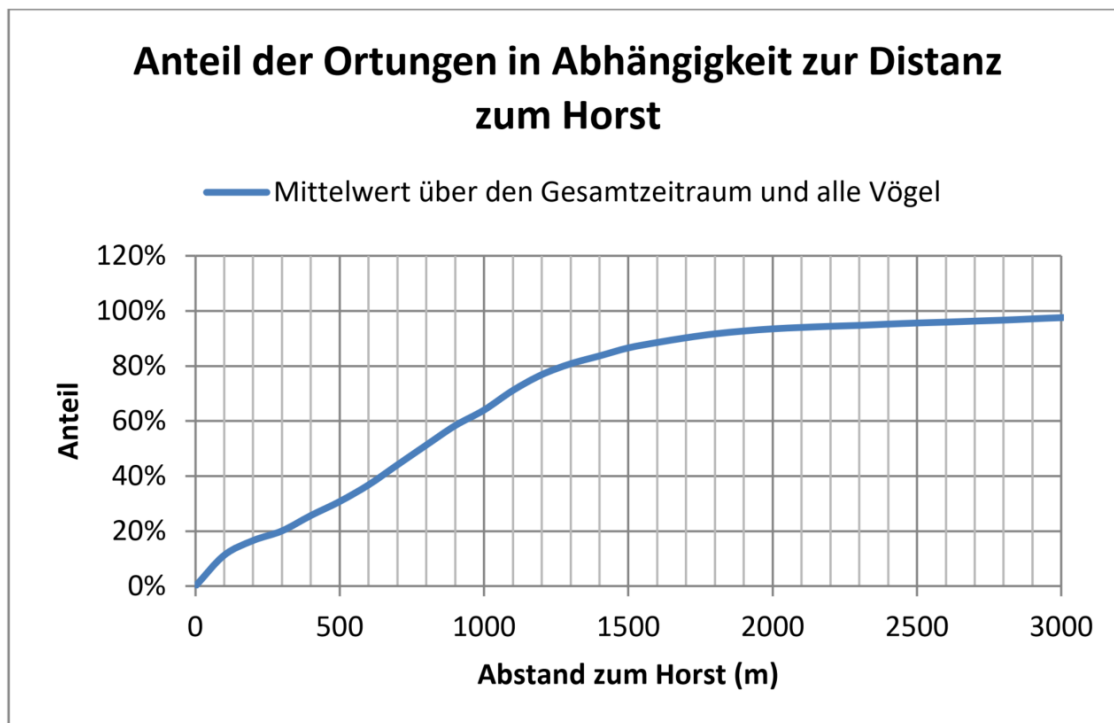


Abbildung 93: Aufsummierter Anteil der Ortungen in Abhängigkeit zur Distanz zum Horst

Quelle: MÄNNEL (2021); aufbereitete Daten aus HEUCK *et al.* (2019b), ohne Ausschluss von horstnahen Ortungspunkten

Für die Telemetriestudie von SPATZ *et al.* (2019) wurden insgesamt 13 Rotmilane (fünf Weibchen und acht Männchen) verteilt über Hessen besendert und im Jahr 2018 geortet. In den Ergebnissen werden Unterschiede zwischen den Geschlechtern deutlich. So fliegen Männchen relativ konstant über die gesamte Brutzeit, wohingegen die Flugaktivität der Weibchen stärkeren Schwankungen ausgesetzt ist. Berücksichtigt man jedoch diese geschlechterspezifischen Unterschiede, so zeigen sich wiederum deutlich Übereinstimmungen mit den vorgenannten Studien.

Zwar bestehen geschlechts- und individuenspezifische sowie interanuelle Schwankungen, insgesamt ergibt sich jedoch ein verlässliches Bild der durchschnittlichen Entfernungsverteilung von Rotmilanflügen in Abhängigkeit zum Nistplatz. Für den auf durchschnittlichen Angaben beruhenden Ansatz probabilistischer Berechnungen kann daher auf die für die Geschlechter und den gesamten Brutzeitraum gemittelten Werte aus HEUCK *et al.* (2019b) zurückgegriffen werden.

Deutlicher Anpassungsbedarf für die Berechnung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit am Anlagenstandort besteht jedoch bei Einzelfallbetrachtungen. So ist für den Rotmilan wie auch für viele weitere Arten nachgewiesen, dass geeignete (Nahrungs-)Habitats bevorzugt aufgesucht und ungünstige Habitatstrukturen dafür gemieden werden. Im Gegensatz zur Annahme einer gleichmäßigen Verteilung im Revier in Abhängigkeit der Distanz zum Horst können WEA-Standorte demnach häufiger oder seltener als durchschnittlich zu erwarten wäre, durch die Tiere aufgesucht werden. Beispielhaft für den Rotmilan sind deutliche Unterschiede hinsichtlich der Flugdauer über Wäldern und Grün- bzw. Offenländern zu erwarten. Abseits der Brutplätze werden

Wälder hauptsächlich während zielgerichteter Distanzflüge überflogen. Die Aufenthaltsdauer in bzw. über geeigneten Nahrungshabitaten ist aus Gründen des Jagdverhaltens deutlich größer. So fassen HEUCK *et al.* (2019b) in ihrer Telemetriestudie zusammen (S. 81): „Als Greifvogel, der im Offenland jagt, meidet er [der Rotmilan] tendenziell Wälder.“ Zusätzliche Ergebnisse diesbezüglich liefert eine weitere hessische Telemetriestudie, die eine deutliche Präferenz von Grünländern während der Brutzeit belegt (SPATZ *et al.* 2022).

Die Abhängigkeit der Flugverteilung von windkraftsensiblen Vogelarten von z. B. Habitatstrukturen oder Landnutzungstypen ist aktuell von MERCKER *et al.* (2023) untersucht und in ein probabilistisches Modell integriert worden. Auch der BDEW (2021) macht hierzu methodische Vorschläge. Insgesamt eignen sich probabilistische Methoden besonders für die Berechnung durchschnittlicher Kollisionswahrscheinlichkeiten in Abhängigkeit der Entfernung zwischen WEA und Horst, da bei einer Vielzahl von betrachteten Anlagenstandorte annähernd von einer normalverteilten Flugaktivität innerhalb des Aktivitätsradius auszugehen ist (REICHENBACH & AUSSIEKER 2021). Zudem kann das Kollisionsrisiko für unterschiedliche Anlagentypen für denselben potenziellen Standort trotz der genannten Unsicherheiten verglichen werden (Repowering).

Tägliche Flugaktivität

Weitere Angaben können aus der Studie von HEUCK *et al.* (2019b) hinsichtlich der durchschnittlichen täglichen Flugaktivität entnommen werden. HEUCK *et al.* (2019b) ermittelten für beide Geschlechter einen durchschnittlichen Anteil Flugzeit von 33,9 % während der täglichen Aktivitätszeit. In weiteren Rotmilan-Telemetriestudien wurden saisonale und geschlechterspezifische Unterschiede deutlich. So fliegen Weibchen insbesondere während des Ausbrütens der Eier deutlich weniger als die Männchen, welche in dieser Zeit größtenteils die Jagd übernehmen (SPATZ *et al.* 2019). In einer umfangreichen thüringischen Telemetriestudie wurden insgesamt 29 Tiere (zehn Weibchen und 19 Männchen) über einen maximalen Zeitraum von sieben Jahren besendert (PFEIFFER & MEYBURG 2022). Dort wurde für Männchen eine durchschnittliche Flugaktivität von 36 % und von 19 % für Weibchen ermittelt. Der für beide Geschlechter gemittelte Wert aus HEUCK *et al.* (2019b) liegt innerhalb dieses Rahmens, aber deutlich näher am Wert der Männchen. Dies lässt sich höchstwahrscheinlich mit dem größeren Anteil von Daten besonderer Männchen begründen. Aufgrund des größeren Datenumfangs sowie der feineren Klasseneinteilung wird die Verwendung der Daten aus der Studie von PFEIFFER & MEYBURG (2022) vorgeschlagen. Als gemittelter Wert für beide Geschlechter ergibt sich 27,5 %. Alternativ könnte die Berechnung getrennt für Männchen und Weibchen durchgeführt werden.

Flughöhe

Im Fall der Flughöhenverteilung ähneln sich die genannten Studien ebenfalls deutlich, gleichzeitig werden wiederum geschlechtsspezifische Unterschiede ersichtlich. In Abbildung 94 und Abbildung 95 ist die Flughöhen-Verteilung der besenderten Rotmilane aus den Studien von HEUCK *et al.* (2019b) bzw. PFEIFFER & MEYBURG (2022) dargestellt. In beiden Fällen ist eine deutliche Bevorzugung niedriger Flughöhen erkennbar, im Detail unterscheiden sich die Verteilungen insbesondere aufgrund unterschiedlicher Klasseneinteilungen.

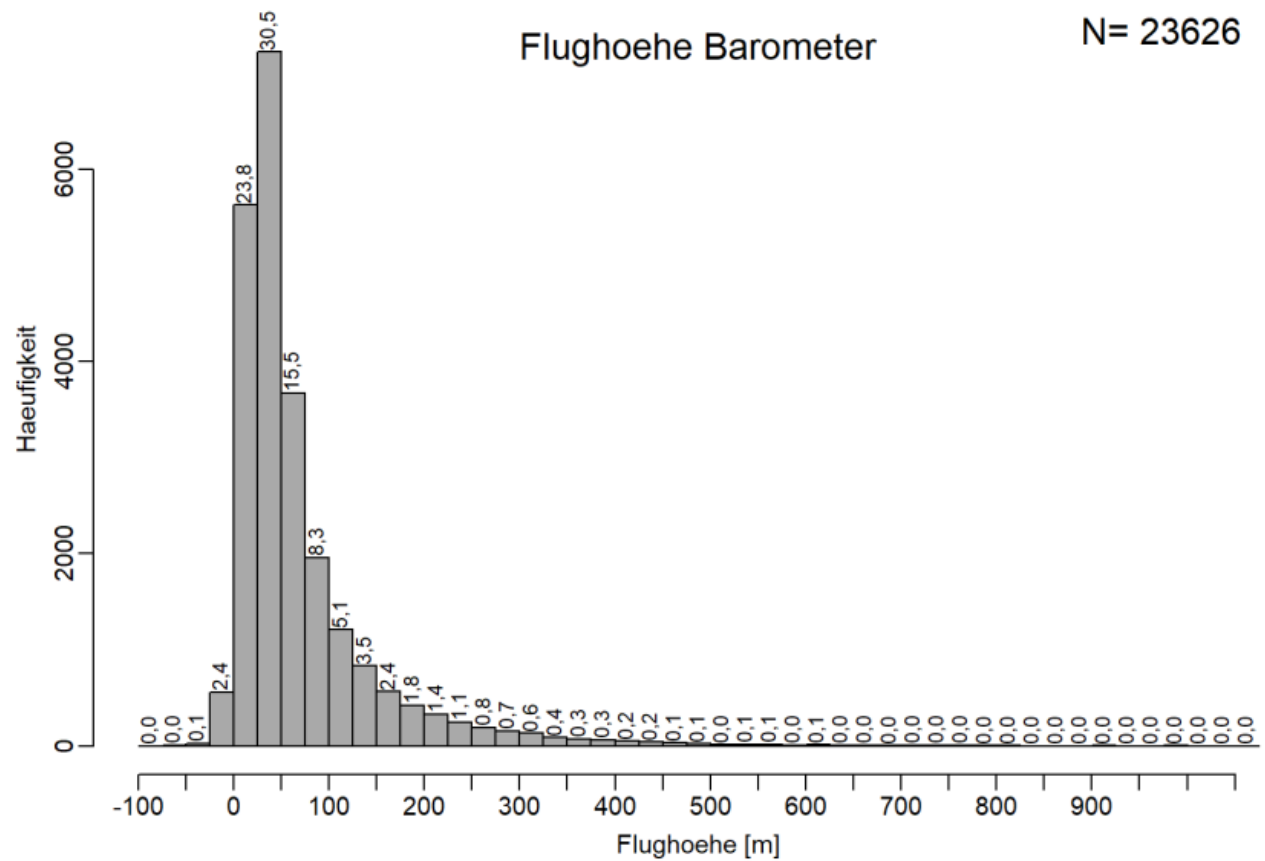


Abbildung 94: Verteilung der Flughöhe von sechs hessischen Rotmilanen auf 25 m-Klassen
 Quelle: HEUCK *et al.* (2019b)

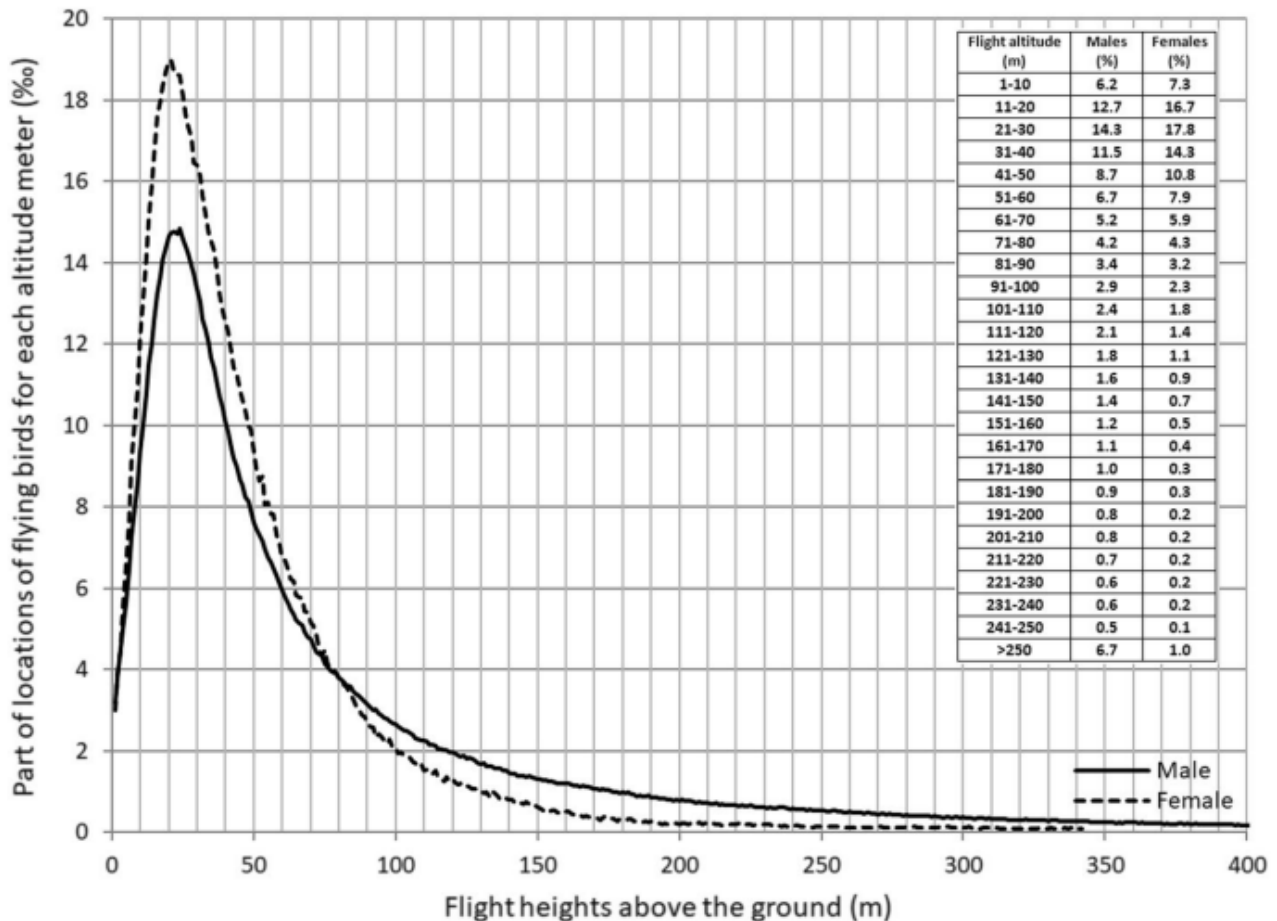


Abbildung 95: Verteilung der Flughöhe von 29 thüringischen Rotmilanen auf 10 m-Klassen
Quelle: PFEIFFER & MEYBURG (2022)

Summiert man beispielsweise die Anteile der Flughöhenklasse bis 100 m, erhält man als Durchschnittswert für beide Geschlechter in Hessen einen Wert von 80,5 % (inkl. 2,4 % der Klasse -25-0 m, die durch Messungenauigkeiten entstehen, aber ebenfalls niedrige Flüge repräsentieren) und in Thüringen einen Wert von 83,4 %. Aufgrund des größeren Datenumfangs sowie feineren Klasseneinteilung wird die Verwendung der Daten aus der Studie von PFEIFFER & MEYBURG (2022) vorgeschlagen.

Fluggeschwindigkeit

Eine vergleichsweise kleine Datengrundlage stand bislang für die durchschnittliche Fluggeschwindigkeit der Rotmilane zur Verfügung. Die Fluggeschwindigkeit ist entscheidend für die Dauer der Rotordurchflüge und somit für die geschätzte Anzahl sowie für die Kollisionswahrscheinlichkeit eines Durchflugs ohne Ausweichverhalten (Pf_2). Um diese relevanten Parameter abdecken zu können, wurde eigens für die Berechnung von Kollisionsrisiken eine Übersicht von durchschnittlichen Fluggeschwindigkeiten diverser Vogelarten zusammengestellt (PROVAN & WHITFIELD 2006). Weitere Daten liegen durch Radarerfassungen verschiedener

Vogelarten vor, aus denen die Fluggeschwindigkeit abgeleitet wurde (ALERSTAM *et al.* 2007). Durch Zusammenhänge zwischen Anatomie und Fluggeschwindigkeit können auch näherungsweise Arten berücksichtigt werden, für die bislang keine Daten vorliegen. Insgesamt variiert die Datenverfügbarkeit je nach Art stark. So wurde die Fluggeschwindigkeit des Rotmilans von 12 m/s aus lediglich 17 erfassten Flugbewegungen ermittelt (ALERSTAM *et al.* 2007).

Hier stellt die kamerabasierte Erfassung eine deutliche Verbesserung dar. Aus der Erprobungsstudie des IDF-Systems stehen insgesamt 76.000 sekundliche Erfassungspunkte des Rotmilans zur Verfügung, aus denen eine mittlere Fluggeschwindigkeit von 8,4 m/s berechnet wurde (REICHENBACH *et al.* 2021). Dieser Wert ist deutlich belastbarer und fand daher in der jüngeren Vergangenheit vermehrt Einzug in probabilistische Berechnungen für das Kollisionsrisiko des Rotmilans (BDEW 2021; REICHENBACH & AUSSIEKER 2021).

Größe des Vogels

Angaben zur durchschnittlichen Vogelgröße kann einer Vielzahl von Literaturquellen entnommen werden. Aufgrund des geringen Einflusses dieses Parameters auf das Gesamtergebnis können leicht abweichende Angaben vernachlässigt werden. Es wird eine durchschnittliche Vogelgröße von 0,65 m angenommen.

Durchflugsdauer Risikobereich

Fluggeschwindigkeit und Größe des Vogels wirken sich auf die anzunehmende Dauer eines (potenziellen) Rotordurchflugs aus. HÖTKER *et al.* (2017) nehmen für ihre Berechnungen des Band-Models eine Durchflugszeit von 10 Sekunden an. MÄNNEL (2021) verlängert die Durchflugszeit in seinen Berechnungen auf 20 Sekunden, da es sich bei ihrem Beispiel um eine deutlich größere WEA handelt (Enercon E-160). BAND *et al.* (2007) berechnen die Durchflugszeit mit der Formel:

$$\frac{(\text{Maximale Rotorflügelbreite} + \text{Länge des Vogels})}{\text{Fluggeschwindigkeit}} = \text{Durchflugszeit}$$

Mit einer maximalen Rotorbreite von 5,12 m, einer mittleren Rotmilan-Länge von 0,65 m sowie einer mittleren Fluggeschwindigkeit von 8,4 m/s ergibt sich eine Durchflugszeit von 0,61 Sekunden unter der Annahme eines geraden Durchflugs senkrecht zur Rotorebene. Flugwege- und Verhaltensbeobachtungen zeigen jedoch, dass die Vögel den Rotorbereich nicht (immer) in einer geraden Linie durchfliegen, sondern kreisend oder in einer Kurve (GRÜNKORN *et al.* 2016). Als durchschnittliche Durchflugszeit (Aufenthaltsdauer im Rotorbereich) wurde in REICHENBACH & AUSSIEKER (2021) daher eine Zeit von fünf Sekunden angenommen. Vergleichbare Werte wurden in der Studie des Bundesverbands der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. ermittelt (BDEW 2021). Hierfür wurde die mittlere Strecke, die der Vogel in Abhängigkeit des Anlagentyps zurücklegen muss, um den Risikobereich zu durchqueren, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Eintrittspositionen und -winkel berechnet. Je nach Anlagentyp liegen die geschätzten Durchflugszeiten des Rotmilans zwischen 3,51 und 7,15 Sekunden. Tatsächlich gemessene Durchflugszeiten lagen bislang nicht vor, entsprechend unsicher verbleibt dieser Parameter, zumal die angenommene Dauer das Ergebnis deutlich beeinflusst. So führt eine Durchflugsdauer von 5 Sekunden zu viermal mehr geschätzten Rotordurchflügen als eine Durchflugszeit von

20 Sekunden. Aufgrund der verschiedenen bislang verfolgten Ansätze sind Unterschiede bei den einzelnen Methoden zu erwarten. Vor diesem Hintergrund ist eine belastbare Messung der Durchflugsdauer zu begrüßen. Die in diesem Projekt ermittelten Daten zur Durchflugsdauer stellen daher einen großen Fortschritt dar und erlauben eine deutlich realistischere Einschätzung. Insgesamt ergibt sich hieraus, dass die Durchflugszeit deutlich kürzer ist als bislang in den Modellierungen angenommen.

Ausweichverhalten

Kritisch zu sehen ist die Verwendung von pauschal abgeschätzten Ausweichraten (PF_3). Innerhalb des Band-Modells wurde die Berücksichtigung von Ausweichverhalten implementiert, um der großen Diskrepanz zwischen geschätzten Kollisionsopfern und tatsächlich gefundenen Kollisionsopfern Rechnung zu tragen (SNH 2010). Frühe Anwendungen von CRM ohne Berücksichtigung einer „avoidance rate“ überschätzten die zu erwartenden Kollisionsopferzahlen deutlich, da die Raumnutzungsbeobachtungen vor der Konstruktion der WEA durchgeführt wurden und somit kein Ausweichverhalten registriert werden konnte. Um sich den tatsächlichen Zahlen anzunähern, wurden aufwendige Kollisionsopfersuchen innerhalb der betrachteten Windparks durchgeführt. Die Differenz der Ergebnisse wurde durch die Meiderate erklärt, die abschätzen soll, wie viel Prozent der theoretischen Rotordurchflüge aufgrund von aktivem Ausweichverhalten nicht stattfinden (SNH 2010). Letztlich gehen jedoch in die Differenz zwischen prognostizierten und tatsächlichen Kollisionsopfern sämtliche Modellunsicherheiten ein.

Es ist davon auszugehen, dass sich die Anzahl von risikobehafteten Annäherungen an den Rotor aufgrund von Ausweichverhalten in der Realität drastisch reduziert. Grundsätzlich wird für jede Vogelart eine Ausweichrate von 98 % angenommen, bei entsprechender Datengrundlage werden artspezifische Ausweichraten angegeben und stetig aktualisiert (SNH 2010, 2018). So wurde die Meiderate von Rotmilanen beispielsweise auf 99 % angehoben. Grundlage hierfür waren Kollisionsopfersuchen in einem schottischen Windpark (URQUHART & WHITFIELD 2016). Für den Seeadler wird hingegen eine Meiderate von lediglich 95 % angenommen (MAY *et al.* 2011). Dieser Wert wurde während Kollisionsopfersuchen auf der norwegischen Insel Smøla ermittelt und korrespondiert mit den artspezifischen hohen Kollisionsraten der Art (LANGGEMACH & DÜRR 2021).

Für eine adäquate Berücksichtigung der Meiderate innerhalb probabilistischer Verfahren muss daher das Ausweichverhalten auf Rotorhöhe ermittelt werden. Dies ist bislang lediglich für Wiesenweihen erfolgt (SCHAUB *et al.* 2020) und wurde im vorliegenden Projekt nun auch für den Rotmilan durchgeführt, parallel zu den Arbeiten von MERCKER *et al.* (2023).

Demnach sind belastbare Berechnungen der Meiderate auf Rotorhöhe essentiell für die Qualität von probabilistischen Verfahren. Nachfolgend wird ein Überblick der einzelnen Bestandteile des Ausweichverhaltens gegeben.

Es ist für einige Arten (z.B. rastende Kraniche oder Gänse) zu erwarten, dass die Vögel WEA oder Windparks großräumig meiden, da sie sich von den Anlagen gestört fühlen oder die Habitatqualität im Zuge der Installation und Inbetriebnahme abgenommen hat. Der Einfluss dieser „Makro-Avoidance“ ist für viele windkraftsensible Arten jedoch vermutlich gering, da auch

hohe Flugaktivitäten innerhalb von Windparks keine Seltenheit sind. Für Greifvögel belegen HÖTKER *et al.* (2013) in Übereinstimmung mit der internationalen Literatur, dass sich diese Artengruppe nicht oder kaum von WEA gestört fühlt oder sich verdrängen lässt.

Einen wesentlich größeren Einfluss als die Makro-Avoidance besitzt die „Meso-Avoidance“, die das Ausweichverhalten in der näheren Umgebung zu WEA umfasst, welches dafür sorgt, dass es auch bei Flugbewegungen innerhalb von Windparks nur sehr selten zu kritischen Annäherungen an den Rotor kommt. Die Quantifizierung dieser Meso-Avoidance ist jedoch sehr aufwändig und scheiterte bislang an einer unzureichenden Datengrundlage. Eine erfolgreiche Berechnung der Meso-Avoidance führten SCHAUB *et al.* (2020) für Wiesenweihen durch. Die Autoren konnten dafür auf Telemetriedaten der Tiere innerhalb mehrerer niederländischer Windparks zurückgreifen. Die hochaufgelösten GPS-Daten der Flugrouten im Nahbereich von WEA wurden dazu mit zufällig verteilten Punkten verglichen. Es zeigte sich, dass sich Wiesenweihen in Flughöhen unterhalb sowie oberhalb des Rotors den Anlagen bis auf wenige Meter nähern, jedoch trotzdem ein ausgeprägtes Ausweichverhalten zeigten. Bei Flughöhen auf Rotorhöhe zeigten die Tiere bereits ab Entfernungen von ca. 80 m ein deutlich erkennbares Ausweichverhalten, was in einer Meso-Avoidance von 93,5 % resultierte. Geht man zusätzlich zu der ermittelten Meso-Avoidance auch von einer gewissen Macro- und Mikro-Avoidance (Kollisionsvermeidung „in letzter Sekunde“) aus, dann befindet sich dieser Wert innerhalb der Größenordnung der auf Grundlage von Kollisionsopfersuchen ermittelten Werte (SNH 2018).

Zur Mikro-Avoidance zählen kurzfristige, plötzliche Ausweichbewegungen, die eine eventuelle Kollision im letzten Moment noch verhindern. Da es sich insgesamt bei Kollisionen und Fast-Kollisionen um sehr seltene Ereignisse handelt (GRÜNKORN *et al.* 2016), die entsprechend kaum mit bisherigen Erfassungsmethoden (z. B. Raumnutzungsbeobachtungen) beobachtet werden konnten, lagen entsprechend bisher keine Daten zu diesem Verhalten vor.

Vermeidungsmaßnahmen

Vermeidungsmaßnahmen, welche die potenzielle Aufenthaltsdauer im kritischen Bereich quantifizierbar verringern, können in den Berechnungen berücksichtigt werden. Dazu zählt bspw. die windabhängige Betriebsbeschränkung (z.B. Abschaltung bei Niedrigwindgeschwindigkeiten bis 5,8 m/s beim Rotmilan) aus Hessen (HMUKLV & HMWEVW 2020). Zur Ermittlung des damit erzielten Schutzniveaus muss der Anteil an Flügen (in Rotorhöhe) ermittelt werden, welcher während Windgeschwindigkeiten stattfindet, bei denen die Anlagen ausgeschaltet werden müssen (zusätzlich zum Anteil der Flüge, die durch eine hohe Rotorunterkante vor Kollisionen geschützt sind). Hierfür muss die Verteilung der Windgeschwindigkeiten am Anlagenstandort über das Jahr sowie die Abhängigkeit der Flugaktivität von der Windgeschwindigkeit bekannt sein. Für Windparks, deren Windverhältnisse denen des Windparks „Auf der Platte“ ähneln bzw. darunter liegen, kann von einer direkten Übertragbarkeit der hier ermittelten Vermeidungswirkung ausgegangen werden.

Auch andere temporäre Abschaltungen bspw. während bestimmter Brutzeitphasen oder Mahdereignissen lassen sich quantifizieren und in den Berechnungen berücksichtigen. Dabei sollte der artspezifischen saisonalen Verteilung der Flugaktivität Rechnung getragen werden, um möglichst realistische Effekte abschätzen zu können.

Für anlassbezogene Abschaltungen, die mit Hilfe von Antikollisionssystemen ermöglicht werden, stehen ebenfalls belastbare Angaben zum Wirkungsgrad zur Verfügung (z. B. MCCLURE *et al.* 2021; REICHENBACH *et al.* 2021).

Weniger gut lassen sich die Effekte von Vergrämnungsmaßnahmen oder Habitataufwertungen abseits der Anlagenstandorte quantifizieren. Der Erfolg der Vermeidungsmaßnahmen sollte einzelfallbezogen und konservativ abgeschätzt werden.

Zusammenfassende Einschätzung der Datengrundlage

Im Überblick wird die Datenqualität für probabilistische Kollisionsrisikoabschätzungen für die Zielart Rotmilan in Tabelle 8 dargestellt. Auf dieser Grundlage lässt sich ebenfalls die Eignung für weitere Zielarten abschätzen. Entscheidend ist jeweils die Forschungsintensität insbesondere hinsichtlich des Flugverhaltens. Unterschieden werden muss zwischen dem generellen artspezifischen Kollisionsrisiko, der Bewertung von Repoweringsszenarien sowie der standortspezifischen Einzelfallbetrachtung.

Erkenntnisse aus dem vorliegenden Projekt werden an dieser Stelle bereits berücksichtigt, die Implementierung in das probabilistische Verfahren erfolgt in Kapitel 5.2.2. Die einzelnen Ergebnisse und Weiterentwicklungen der probabilistischen Methode von MERCKER *et al.* (2023) sind im vorliegenden Kapitel noch nicht berücksichtigt, da beide Projekte zeitlich parallel liefen.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die Datenqualität für alle anlagen- und standortspezifischen Parameter hoch ist. Den Angaben der Hersteller lassen sich alle relevanten Werte entnehmen. Die Distanz zwischen Anlagenstandort und Brutplätzen lässt sich durch eigene Kartierungen oder vorhandene Informationen sehr genau ermitteln. Die Möglichkeit nicht erfasster Horste sollte bedacht werden, jedoch lässt sich das Risiko durch entsprechenden Kartieraufwand minimieren.

Über eine ebenfalls hohe Datenqualität verfügen artspezifische Angaben zur Anwesenheitszeit im Brutgebiet sowie zur Körpergröße, auch wenn hier in der Realität natürlich Unterschiede auftreten können.

Angaben zum durchschnittlichen Flugverhalten des Rotmilans liegen inzwischen aus mehreren aufwändigen Telemetriestudien vor. Die Ergebnisse ähneln sich allesamt stark, sodass generell von einer hohen Belastbarkeit dieser Parameter ausgegangen wird. Individuen-bezogene Schwankungen sind jedoch nicht ausgeschlossen, sodass im Einzelfall Abweichungen von den Durchschnittswerten auftreten können. Da die Parameter des durchschnittlichen Flugverhaltens großen Einfluss auf das Ergebnis des ersten Rechenschritts haben, wird die Datenqualität konservativ dennoch als „mittel“ eingestuft.

Über eine „geringe“ Datenqualität verfügen aktuell noch die Parameter Flugaktivität in Abhängigkeit zur Entfernung zum Horst sowie das Ausweichverhalten. Die geringe Belastbarkeit

der Flugaktivität in Abhängigkeit zur Entfernung kommt jedoch ausschließlich bei Einzelfallbetrachtungen zum Tragen, da dort die realen Werte deutlich von Durchschnittswerten abweichen können. Abhilfe können in diesem Fall standortspezifische Anpassungen mittels Habitatpotenzialanalyse oder einfacher Habitatbewertung anhand von Szenarien, wie sie in (REICHENBACH & AUSSIEKER 2021) skizziert wurden, liefern. Dabei wird die erwartete Flugaktivität in Rotornähe je nach Attraktivität des Standortes herauf- oder herabgesetzt. Für allgemeine artspezifische Kollisionsrisikoabschätzungen oder zur Bewertung von Repoweringszenarien spielt diese Unsicherheit eine untergeordnete Rolle.

Ebenso beruht die geschätzte Durchflugsdauer bislang größtenteils auf Annahmen und nicht auf tatsächlich gemessenen Zeiten. Dies führt zu einer Vielzahl an unterschiedlichen Werten, welche in den verschiedenen Modellen zum Tragen kommen. Hier liefert die Auswertung der registrierten Rotordurchflüge wichtige Erkenntnisse (s. Kap. 3.3.3.3), die so bislang noch nicht vorlagen und die Qualität eines einflussreichen Parameters deutlich erhöht.

Angaben zum Ausweichverhalten basieren bislang auf Annahmen sowie vereinzelt Kollisionsopfersuchen. Berücksichtigt man die hohe Anzahl von Flugbewegungen innerhalb von Windparks und die artspezifisch hohe, aber absolut gesehen moderate Anzahl registrierter Rotmilankollisionsopfer (LANGGEMACH & DÜRR 2021), so erscheint eine Ausweichrate von nahezu 100 % realistisch. So wurden Kollisionen in der PROGRESS-Studie als absolut gesehen seltene Ereignisse beschrieben (GRÜNKORN *et al.* 2016), die sich jedoch aufgrund der verbreiteten Überlappung geeigneter Rotmilanlebensräume mit Anlagenstandorten zwangsläufig ergeben (BUSCH *et al.* 2017; HEUCK *et al.* 2019a). An dieser Stelle liefert das Projekt entscheidende Erkenntnisse zur Berücksichtigung des Ausweichverhaltens innerhalb probabilistischer Verfahren und zeigt relevante Unterschiede zum ursprünglichen Band-Modell auf. Gleichzeitig konnte erstmalig das Ausweichverhalten des Rotmilans auf Rotorhöhe quantifiziert werden, sodass für diese Art deutlich verbesserte Voraussetzungen für die Verwendung von Probabilistik geschaffen wurden.

Die vorgestellten, in Hessen geltenden Vermeidungsmaßnahmen der windabhängigen Abschaltung von unter 6 m/s im Rotorbereich lassen sich mit Hilfe der Probabilistik quantifizieren. Die Ergebnisse zeigen transparent auf, wie hierüber das Kollisionsrisiko beim Rotmilan außerhalb der für den Stromertrag besonders relevanten Windstärken weiter deutlich verringert werden kann. Die Ergebnisse können als repräsentativ für alle Windparks gelten, die gleich hohe oder niedrigere Windstärken als der hier untersuchte Windpark sind.

Ein weiterer möglicher Einflussfaktor besteht in lokalen Habitatstrukturen, die von MERCKER *et al.* (2023) in ihre Modellentwicklung einbezogen wurden.

Insgesamt stellen probabilistische Verfahren bereits jetzt eine sehr gute Möglichkeit zur Abschätzung des allgemeinen artspezifischen Kollisionsrisikos sowie zur Bewertung von Repoweringszenarien dar. Für die Bewertung des Einzelfalls sind standortspezifische Anpassungen sinnvoll. Hierbei sollte bedacht werden, dass durch die Berücksichtigung von Durchschnittswerten lediglich eine näher eingrenzbar Größenordnung des Kollisionsrisikos ermittelt werden kann. Insgesamt ist jedoch durch die Einbeziehung verschiedener relevanter

Parameter die Belastbarkeit der Ergebnisse deutlich höher als eine ausschließliche Berücksichtigung der Entfernung zwischen Brutplatz und Anlagenstandort.

Tabelle 8: Bewertung der Qualität der Eingangsparameter für die Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit

Parameter	Typ	Datengrundlage	Qualität	Notwendigkeit standortspezifischer Anpassung
Rotordurchmesser	anlagenspezifisch	Hersteller	Hoch	
Rotorhöhe	anlagenspezifisch	Hersteller	Hoch	
Rotorflügeltiefe	anlagenspezifisch	Hersteller	Hoch	
Max. Drehzahl	anlagenspezifisch	Hersteller	Hoch	
Entfernung WEA zum Brutplatz	standortspezifisch	Kartierungen	Hoch	
Anwesenheitszeit im Brutgebiet	artspezifisch	div. Literatur	Hoch	
Tägliche Flugaktivität	artspezifisch	PFEIFFER & MEYBURG (2022)	Mittel	
Flugaktivität in Abhängigkeit zur Entfernung zum Horst	artspezifisch	HEUCK <i>et al.</i> (2019b)	Mittel (Gering) ¹	X
Flughöhe	artspezifisch	PFEIFFER & MEYBURG (2022)	Mittel	(x)
Fluggeschwindigkeit	artspezifisch	REICHENBACH <i>et al.</i> (2021)	Mittel	
Größe des Vogels	artspezifisch	div. Literatur	Hoch	
Durchflugsdauer Risikobereich	art- und anlagenspezifisch	BDEW (2021)	Gering	
Ausweichverhalten	artspezifisch	URQUHART & WHITFIELD (2016)	Gering	

¹ Geringe Qualität lediglich für Einzelfallbetrachtungen

5.2.2 Beispielhafte Anwendung probabilistischer Kollisionsrisikoabschätzungen

Im Weiteren sollen zwei Anwendungsmöglichkeiten probabilistischer Berechnungen anhand des in dieser Studie untersuchten Windparks unter Verwendung der dabei gewonnenen Daten aufgezeigt werden. Zum einen soll eine Einzelfallbetrachtung in Form der Risikoabschätzung des Rotmilanbrutpaars, welches im Nordwesten des Windparks brütet, erfolgen. Anhand dessen soll eine Einschätzung der Belastbarkeit von Einzelfallbetrachtungen erfolgen. Bei dem zweiten Beispiel handelt es sich um den Vergleich verschiedener Repowering-Szenarien hinsichtlich des Kollisionsrisikos in dem untersuchten Windpark.

Neue Erkenntnisse sollen in beiden Fällen diskutiert und/oder angewandt werden.

5.2.2.1 Einzelfallbetrachtung

Im April und Juni 2022 erfolgte im Radius von 1.500 m um die vorhandenen Windenergieanlagen eine Suche nach besetzten Rotmilanbrutplätzen. Dabei ergab sich ein Brutnachweis knapp 800 m nördlich des Windparks (brütender Altvogel) (s. Abbildung 3). Ausgehend von diesem Brutplatz wird das Kollisionsrisiko für einen Rotmilan durch den untersuchten Windpark berechnet. Insgesamt umfasst der Windpark sieben Anlagen des Typs Enercon E-82 E2 (WEA 7 bis WEA 13), wovon die WEA 10 dem Horst am nächsten gelegen ist. Nachfolgend werden die Schritte zur Berechnung des Kollisionsrisikos exemplarisch für die Anlage WEA 10 durchgeführt. Da es sich bei allen Anlagen des Windparks um den gleichen Anlagentyp handelt, hängt das Kollisionsrisiko in diesem Fall ausschließlich von der Entfernung zwischen Brutplatz und Anlagenstandort ab.

Die Anlagenspezifikationen des Typs Enercon E-82 E2 sind in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 9: Anlagenspezifikationen des Typs Enercon E-82 E2

Anlagentyp	Nabenhöhe [m]	Rotor-durchmesser [m]	Max. Rotorblatt-tiefe [m]	Rotor-unterkante über Grund [m]	Rotor-oberkante über Grund [m]	Max. Rotordrehzahl [U/min]	Nennleistung [kW]
E-82 E2	138	82	3,58	97	179	18,0	2.300

Die Methodik orientiert sich an den Rechenschritten aus REICHENBACH & AUSSIEKER (2021). Für dieses Beispiel wird das Kollisionsrisiko für eine Rotmilanbrutplatz in rund 800 m Entfernung zu einer WEA berechnet.

Schritt 1

Die saisonale Anwesenheit ist artspezifisch und fließt als fester Wert in die Berechnungen ein. Für den Rotmilan wird eine Anwesenheit vom 01.03. bis zum 30.09. eines jeden Jahres angenommen. Das entspricht 213 von 365 Tagen und somit einem Anteil von 58,36 %.

Für die nachfolgenden Beispielrechnung wird auf die Flugaktivitätsdaten aus der Telemetriestudie von PFEIFFER & MEYBURG (2022) zurückgegriffen. Die Autoren ermittelten einen Anteil von Flugaktivität während der Tagesstunden von 36 % bei den Männchen und 19 % bei den Weibchen. Bei den Berechnungen wird das durchschnittliche Kollisionsrisiko für ein Individuum des Brutpaares ermittelt, sodass der Mittelwert für beide Geschlechter von 27,5 % verwendet wird. Durch die Betrachtung des gesamten Brutzeitraums können Unterschiede während der einzelnen Brutphasen vernachlässigt werden. Für eine Wort Case-Betrachtung könnte alternativ auf die Flugaktivität des Männchens zurückgegriffen werden.

Die Erfassungen erstreckten sich jedoch nur über den Tag. Für die Periode März bis Oktober wurde näherungsweise der Zeitraum von 22:00 – 5:00 Uhr MESZ ausgeschlossen. Für die Ermittlung des Kollisionsrisikos muss die gesamte Tagesdauer betrachtet werden. Unter der Annahme, dass Rotmilane während der Nacht nicht fliegen, ergibt sich ein auf 24 h bezogene Flugaktivitätsanteil von 21,2 %.

Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Gefahrenbereich setzt sich aus der Aufenthaltswahrscheinlichkeit in dem betreffenden Abstandsradius (100 m-Schritte) und dem Anteil des kritischen Rotorbereichs an der Fläche dieses Abstandsradius zusammen. Aus rein geometrischen Gründen ergibt sich, dass die Flugaktivität pro Flächeneinheit mit zunehmender Entfernung zum Brutplatz sehr stark abnimmt (SPRÖTGE *et al.* 2018).

Für die weitere Berechnung wird als Beispielanlagentyp die Enercon E-82 E2 mit einer Nabenhöhe von 138 m, einer Rotorblattlänge von 41 m und einer maximalen Rotorblatttiefe von 3,58 m verwendet. Als kollisionskritischer Bereich wird die Fläche angenommen, die bei maximalem Pitch des Rotors überstrichen wird. Von oben betrachtet ergibt sich dadurch eine projizierte Fläche von

$$\text{Projizierte Fläche} = \text{Rotordurchmesser } 82 \text{ m} * \text{Rotorblatttiefe } 3,58 \text{ m} * \sin(30^\circ) = 146,78 \text{ m}^2$$

Durch Multiplikation der Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Vogels in dem jeweiligen Distanzring um die WEA (gemäß Abbildung 93) mit dem Flächenanteil des kritischen Rotorbereichs innerhalb dieses Distanzrings ergibt sich die Aufenthaltswahrscheinlichkeit in der Fläche des Rotorbereichs (s. Abbildung 96). Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit in einem Anlagenbereich im 700 – 800 m-Radius, der für diese Beispielrechnung betrachtet wird, beträgt demnach $1,87 \times 10^{-5}$ bzw. 0,00187 %.

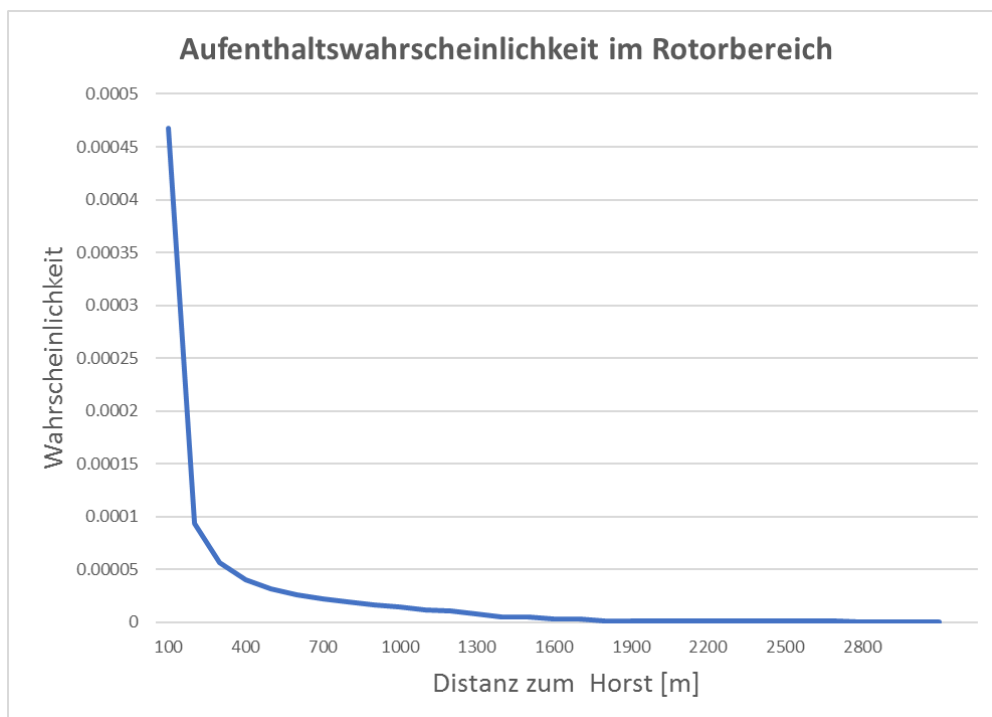


Abbildung 96: Wahrscheinlichkeit für den Aufenthalt im Bereich des Rotors der WEA
Rotorfläche = 146,78 m²

Die Ergebnisse der in diesem Projekt vorgenommenen IDF-Erfassungen eignen sich nicht als Eingangsparameter der Flugaktivität eines einzelnen Individuums im Windpark bzw. im Risikobereich, da durch die Kameras alle Rotmilane im Gebiet erfasst werden. Die im Windpark ermittelte durchschnittliche Flugdauer pro Tag setzt sich somit aus den Flugbewegungen mehrerer Tiere zusammen. Diese können zusätzlich zu dem örtlichen Brutpaar Angehörige weiterer umliegender Brutpaare sowie auch Nichtbrüter umfassen. Durch Auswertung der Kamerabilder sowie die durchgeführten LRF-Erfassungen konnten verschiedene Tiere identifiziert werden, eine individuelle Unterscheidung ist jedoch nur in Einzelfällen möglich. Für die Abschätzung der Flugaktivität eines einzelnen Individuums sollte weiterhin auf Daten aus Telemetriestudien zurückgegriffen werden.

Im nächsten Schritt muss berücksichtigt werden, dass die Flugbewegungen eines Rotmilans nur zu einem bestimmten Anteil in der Höhe des Rotors stattfinden und es dementsprechend nur dann zu einer Kollision kommen kann. Als kritischer Bereich wird für den örtlichen WEA-Typ E-82 E2 eine Höhe zwischen 100 und 180 m über dem Grund angesetzt, um den 10 m-Klassen der Flughöhenverteilung zu entsprechen. PFEIFFER & MEYBURG (2022) haben für diesen Bereich einen Anteil von 12,6 % (Männchen) bzw. 7,1 % (Weibchen) ermittelt. Für beide Geschlechter zusammen ergibt sich ein Wert von 9,9 %.

Die im Windpark mittels IDF erfasste Flughöhenverteilung der Rotmilane ähnelt den Ergebnissen der Telemetriestudien deutlich. Zwar wurde für den Bereich 100 bis 180 m über dem Grund ein etwas höherer Anteil von 15,8 % ermittelt, es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass IDF sehr niedrige Flüge aufgrund von Sichtverschattungen in gewissem Maße untererfasst, sodass insgesamt von einer hohen Übereinstimmung auszugehen ist. Dies spricht, zumindest an diesem Standort, für einen geringen Bedarf an standortbezogenen Anpassungen hinsichtlich der Flughöhenverteilung, sodass die Angaben der detaillierten Telemetriestudien genutzt werden können.

Durch das Anheben der Rotorunterkante auf eine Höhe von in diesem Fall fast 100 m, verbleiben somit nur noch rund 10 % der Flüge als potenziell kollisionssträchtig. Verringerte man die Nabenhöhe der Enercon E-82 E2 auf bspw. 118 oder 98 m, würde der Rotorbereich aufgrund der artspezifischen Flughöhenverteilung einen deutlich größeren Anteil aller potenziellen Flüge betreffen (s. Tabelle 10). Im Vergleich zur Nabenhöhe von 138 m verdoppelt sich der Anteil Flugbewegungen in Rotorhöhe bei einer Nabenhöhe von nur noch 98 m aufgrund der ebenfalls deutlich reduzierten Rotorunterkantenhöhe.

Tabelle 10: Anteil Rotmilan-Flugbewegungen in Rotorhöhe bei verschiedenen Rotorunterkantenhöhen

Nabenhöhe [m]	Rotordurchmesser [m]	Rotorunterkante über Grund [m]	Rotoroberkante über Grund [m]	Anteil Flugbewegungen in Rotorhöhe [%] nach PFEIFFER & MEYBURG (2022)
138	82	97	179	9,9
118	82	77	159	14,4
98	82	57	139	22,3

Die Multiplikation der einzelnen Eingangsparameter bewirkt, dass sich durch die Verdopplung eines Wertes auch das Endergebnis verdoppelt. Die Reduzierung des Anteils an Flugbewegungen in Rotorhöhe durch das Anheben der Rotorunterkantenhöhe stellt somit eine effektive Vermeidungsmaßnahme da. Der Einfluss weitere Anlagenspezifikationen ist beispielhaft in Kapitel 5.2.2.2 dargestellt.

Multipliziert man die einzelnen Variablen der Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Rotorbereich ergibt sich ein Wert von

$$0,58 * 0,212 * 0,0000187 * 0,099 = 0,00000023$$

- 0,58 = Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Brutgebiet pro Jahr
- 0,212 = Wahrscheinlichkeit, dass sich das Tier im Flug befindet
- 0,0000187 = Wahrscheinlichkeit, dass das Tier im Anlagenbereich fliegt
- 0,099 = Wahrscheinlichkeit, dass das Tier auf Rotorhöhe fliegt
- Anteil des Jahres, in dem sich das Tier im Rotorbereich aufhält

Umgerechnet in Sekunden pro Jahr (s. Abbildung 92) ergibt sich eine Aufenthaltsdauer im kritischen Rotorbereich von 7,3 Sekunden.

Für diesen Schritt konnte im Projekt deutlich nachgewiesen werden, dass es sich bei Rotordurchflügen zwar nicht um rein orthogonale, mechanistische Flüge ohne jegliche Änderung der Flugrichtung handelt, die benötigte Zeit für einen Rotordurchflug aber dennoch sehr gering ist und stärker den berechneten Werten des Band-Modells als den Annahmen aktueller probabilistischer Verfahren ähnelt. Die tatsächliche Flugdauer ist abhängig vom Anlagentyp, bewegt sich aber erwartbar in der ermittelten Spanne von 0,5 bis 2 Sekunden.

Mit einer angenommenen Durchflugszeit von 1 Sekunden wird bei einer Aufenthaltszeit von 7,3 Sekunden pro Jahr angenommen, dass das betrachtete Tier insgesamt 7,3 Mal pro Jahr den Rotor der Beispiel-Anlagen in 800 m Entfernung durchfliegt (Ergebnis Schritt 1).

Schritt 2

Unter Zuhilfenahme des aktuellen Exceltools des Band-Modells ergibt sich eine theoretische Kollisionswahrscheinlichkeit von 16,3 % pro Durchflug, wenn man zunächst jegliches Ausweichverhalten außer Acht lässt. Die Eingangsdaten sowie die Ergebnisse des Beispiels sind in Abbildung 97 dargestellt.

Multipliziert man die ohne Ausweichverhalten zu erwartende jährliche Anzahl an Rotordurchflügen (7,3) mit der Kollisionswahrscheinlichkeit von 16,3 % pro Durchflug, ergibt sich eine rechnerische Kollisionswahrscheinlichkeit von 119 % pro Jahr. Demnach wäre pro Jahr ein Kollisionsereignis als sehr wahrscheinlich anzunehmen. (Ergebnis Schritt 2).

Für die relevanten Parameter dieses Berechnungsschritts werden durch das Projekt neue Informationen zur durchschnittlichen Fluggeschwindigkeit zur Verfügung gestellt. Der im Projekt berechnete Mittelwert liegt bei 9,2 m/s und somit im Bereich vorheriger Auswertungen kamerabasierter Antikollisionssystem (REICHENBACH *et al.* 2021). Die durch Kameras gewonnene

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Datenmenge stellt eine deutlich belastbarere Grundlage für die Ermittlung der durchschnittlichen Fluggeschwindigkeit dar als die bislang verwendeten Ergebnisse radargestützter Erfassungen. Insgesamt besitzen die erwartbar geringen standortspezifischen Unterschiede hinsichtlich der Fluggeschwindigkeit nur einen niedrigen Einfluss auf die Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit. So erhöht sich unter beispielhafter Annahme einer Fluggeschwindigkeit von 8,4 m/s die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenstoßes mit dem Rotor während eines einmaligen Durchflugs von 16,3 % auf 17,8 %.

COLLISION RISK ASSESSMENT									
Sheet 3 - probability of collision for single bird transit through rotor									
All input data must be entered on Sheet 1, not here									
However the blade profile (orange) may be revised here to match the actual turbine blades used									
Calculated outputs									
Main output copied to sheet 1									
Calculation of alpha and p(collision) as a function of radius									
NoBlades	3				Upwind:		Downwind:		
MaxChord	3.58 m	r/R	c/C	α	collide		collide		
Pitch (degrees)	30	radius	chord	alpha	length	p(collision)	length	p(collision)	
Species name	Rotmilan	0.00				1.000		1.000	
BirdLength	0.65 m	0.05	0.73	2.38	9.27	0.907	6.66	0.651	
Wingspan	1.70 m	0.10	0.79	1.19	5.62	0.550	2.79	0.273	
F: flapping (0) or gliding (+1)	1	0.15	0.88	0.79	4.60	0.450	1.45	0.142	
Proportion of flights upwind	50% %	0.20	0.96	0.60	4.13	0.404	0.70	0.068	
Bird speed	9.2 m/sec	0.25	1.00	0.48	3.78	0.370	0.83	0.081	
Rotor Radius	41 m	0.30	0.98	0.40	3.39	0.332	0.98	0.096	
Rotation Speed	18 rpm	0.35	0.92	0.34	3.27	0.320	1.33	0.130	
Rotation Period	3.33 sec	0.40	0.85	0.30	2.96	0.289	1.39	0.136	
		0.45	0.80	0.26	2.74	0.268	1.43	0.139	
		0.50	0.75	0.24	2.55	0.249	1.44	0.141	
Bird aspect ratio: β	0.38	0.55	0.70	0.22	2.37	0.232	1.43	0.140	
		0.60	0.64	0.20	2.19	0.214	1.40	0.137	
Integration interval	0.05	0.65	0.58	0.18	2.02	0.197	1.36	0.133	
		0.70	0.52	0.17	1.85	0.181	1.31	0.128	
		0.75	0.47	0.16	1.72	0.169	1.26	0.123	
		0.80	0.41	0.15	1.57	0.154	1.19	0.117	
		0.85	0.37	0.14	1.47	0.144	1.15	0.113	
		0.90	0.30	0.13	1.31	0.128	1.06	0.104	
		0.95	0.24	0.13	1.17	0.115	0.99	0.096	
		1.00	0.00	0.12	0.65	0.064	0.65	0.064	
Overall p(collision) integrated over disk									
Proportion upwind: downwind					Upwind		Downwind		
50% 50%					20.5%		12.1%		
					Average		16.3% (copied to sheet 1)		

Abbildung 97: Durchschnittliche Kollisionswahrscheinlichkeit des Rotmilans pro Durchflug ohne Ausweichverhalten

Exceltool nach BAND *et al.* (2007) und CHRISTIE & URQUHART (2015)

Schritt 3

Für den Schritt 3 wurde in probabilistischen Verfahren bislang auf Modellierungen von URQUHART & WHITFIELD (2016) zurückgegriffen, wonach für den Rotmilan eine Meiderate von 99 % angesetzt werden kann. Das bedeutet, dass lediglich 1 % der potenziellen Kollisionsereignisse tatsächlich mit einem Zusammenstoß von Vogel und WEA enden. Die in diesem Projekt erreichte Quantifizierung des Ausweichverhaltens auf Rotorhöhe mit Hilfe von realen Flugbewegungen liefert in diesem Fall ein deutlich belastbares Ergebnis. Ein Großteil des Ausweichverhaltens spiegelt sich in der Meso-Avoidance wider; so verringern Rotmilane ihre Aktivitätsdichte in WEA-Nähe je nach Flughöhe bereits in einer Entfernung von ca. 80 m (siehe Kapitel 3.3.3.4). Hinzu kommen kleinräumige Ausweichbewegungen in geringer Entfernung, die spontan bei erkannter potenzieller Gefahr erfolgen (Mikro-Avoidance).

Aus der Spanne an errechneten Werten von 98,3 bis 99,1 % wird daher eine mittlere aktive Ausweichrate auf Rotorhöhe von 98,5 % für die Berechnungen angenommen (vgl. Kapitel 3.3.3.6 und 3.3.3.7). Berücksichtigt wird, dass für die Beispielrechnung eine pauschale Rotordurchflugsdauer von einer Sekunde angenommen wird und nicht der konservative Wert von zwei Sekunden. Insgesamt stimmen die ermittelten Werte demnach sehr gut mit den bisher für das Band-Modell berücksichtigten und durch Kollisionsopfersuchen ermittelten Ergebnissen überein (URQUHART & WHITFIELD 2016).

Im Berechnungsschritt 3 fließen für die Beispielrechnung die 98,5 % des Ausweichverhaltens auf Rotorhöhe ein.

Im Ergebnis ergibt sich somit insgesamt eine Kollisionswahrscheinlichkeit von 1,79 % pro Jahr für die gewählte Beispielanlage in 800 m Entfernung zu einem Rotmilanhorst (Ergebnis Schritt 3).

$$1,19 * 0,015 = 0,0179$$

- 1,19 = Kollisionswahrscheinlichkeit ohne Meideverhalten (119 %)
- 0,035 = Anteil der potenziellen Rotordurchflüge, die trotz Meideverhalten stattfinden (100 % - 98,5 % = 1,5 %)
- 0,0179 = Jährliches Kollisionsrisiko 1,79 %

Effekte zusätzlicher Vermeidungsmaßnahmen sind im Schritt 4 dargestellt.

Potenzieller Schritt 4: Einbeziehung von Schutzmaßnahmen

Zusätzlich zum Anheben der Rotorunterkantenhöhe können bei probabilistischen Verfahren zur Berechnung des Kollisionsrisikos weitere Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden, die in einem vierten Rechenschritt zum Tragen kommen. Voraussetzung ist allerdings die Quantifizierbarkeit der Schutzwirkung dieser Maßnahmen. In die Berechnung fließt somit ein weiterer Faktor ein, welcher alle zusätzlichen Flüge, die durch die Schutzmaßnahme erwartbar nicht im Risikobereich oder während des Betriebs der Anlagen stattfinden, berücksichtigt. Dazu zählen alle Maßnahmentypen, deren Wirksamkeit hinreichend quantifizierbar ist:

- Abschaltungen in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit,
- Antikollisionssysteme (sofern mit entsprechenden Erprobungen belegt),
- phänologiebedingte Abschaltungen.

In Abbildung 98 ist dargestellt, wie groß der Anteil von Rotmilanflügen auf Rotorhöhe in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit ist (beispielhaft für Enercon E-82 E2 und Enercon E-160). Dargestellt ist der alleinige Effekt der Windgeschwindigkeit in Rotorhöhe, eine Berücksichtigung der Schutzwirkung unterschiedlicher Rotorunterkantenhöhen, wie sie in Abbildung 87 zusätzlich integriert wurde, ist hier nicht integriert, da dieser Effekt bei der Probabilistik bereits im Schritt 1 Anwendung findet.

Demnach finden am Untersuchungsstandort je nach angesetzter Anlauf-Windgeschwindigkeit zwischen 64,2 und 84,3 % weniger potenziell kollisionssträchtige Flüge statt, wenn die Beispielanlagen E-82 E2 erst bei höheren Windgeschwindigkeiten in Betrieb genommen werden (s. Abbildung 87). Eine Abschaltung bis zu einer Windgeschwindigkeit von 6,1 m/s führt zu einer Reduzierung der Kollisionswahrscheinlichkeit um 84,3 %. Für die errechnete Kollisionswahrscheinlichkeit von 1,79 % bedeutet dies eine Reduktion auf 0,28 %. Eine Abschaltung bis zu einer Windgeschwindigkeit von 5,2 m/s würde noch zu einer Reduzierung um 70,1 % führen. Die jährlich zu erwartende Kollisionswahrscheinlichkeit einer Anlage in 800 m liegt dann noch bei 0,54 %.

Da Anlagen des Typs E-82 E2 im Normalbetrieb ohnehin erst bei Windgeschwindigkeiten von > 3 m/s in Betrieb genommen werden, ergibt sich auch ohne Maßnahme bereits eine Schutzwirkung von rund 20 %. Es wird daher angenommen, dass das Kollisionsrisiko in der Beispielrechnung auch ohne zusätzliche Schutzmaßnahme bei 1,43 % liegt (statt 1,79 %).

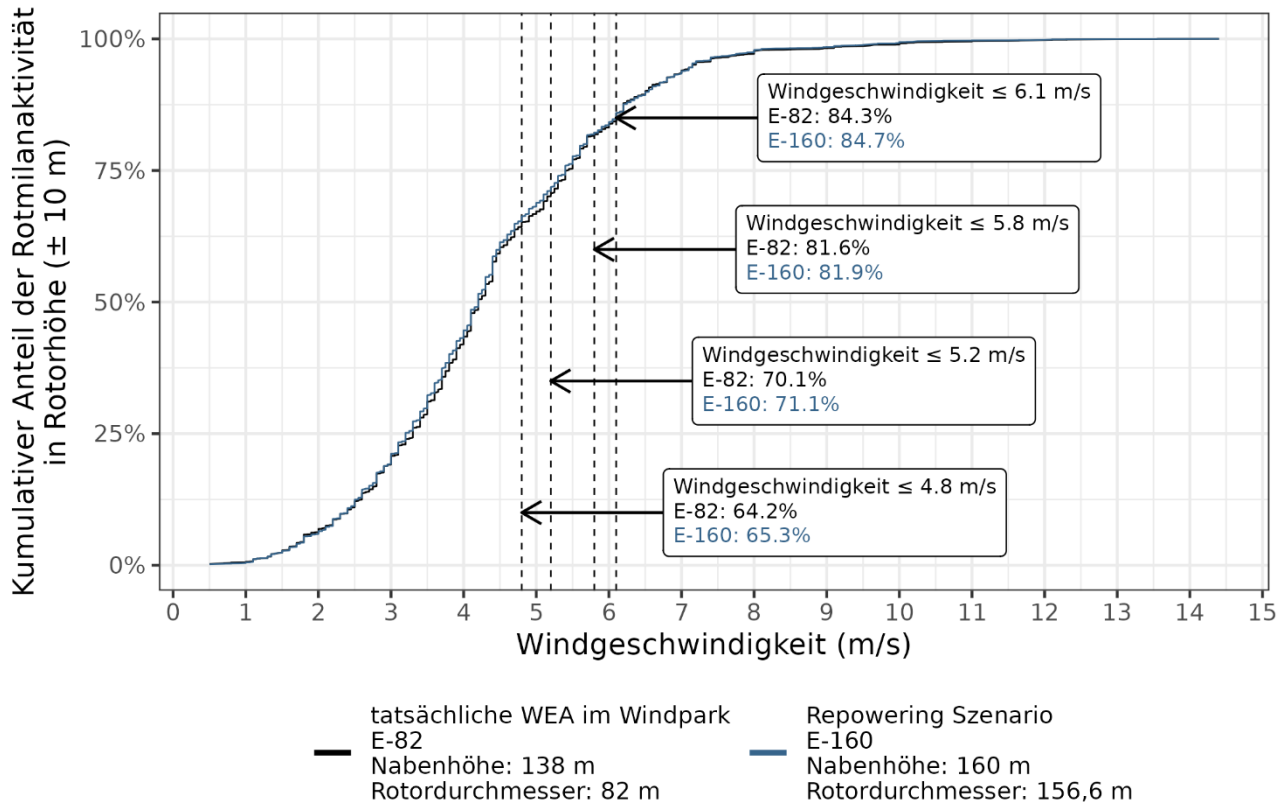


Abbildung 98: Kumulativer Anteil der Rotmilanaktivität in Rotorhöhe in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit und Schutzeffekte verschiedener Anlaufwindgeschwindigkeiten

In gleicher Weise lassen sich Antikollisionssysteme in die Berechnung integrieren. Für das System IdentiFlight wurde eine Rate von rechtzeitigen Abschaltungen von 77 bis 91 % für den Rotmilan ermittelt (REICHENBACH *et al.* 2021). Die Kollisionswahrscheinlichkeit würde sich demnach in einem ähnlichen Umfang wie bei der Anhebung der Anlauf-Windgeschwindigkeit reduzieren (allerdings wäre der Ertragsverlust deutlich geringer, da die Abschaltung nur im Falle der Annäherung eines Rotmilans in Rotornähe erfolgen würde). Für phänologiebedingte Abschaltungen, bei denen der Betrieb in bestimmten Zeiträumen eingestellt wird, entspricht der Schutzeffekt dem zugehörigen Anteil an Flugaktivität während der Brutzeit. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Flugaktivität während der Aufzuchtzeit der Jungtiere höher ist als bspw. während der Balzzeit, temporäre Abschaltungen während dieser Zeit also effektiver wirken. Einzelereignisse wie die Abschaltung während der Mahd lassen sich zunächst weniger gut quantifizieren, da das erhöhte Rotmilanaufkommen deutlich von den durchschnittlichen Werten abweicht. Dieser zusätzliche Effekt müsste durch Erfahrungswerte bzw. durch Ergebnisse noch laufender Forschungsvorhaben⁸ plausibilisiert werden.

⁸ <https://www.natur-und-erneuerbare.de/projektdatenbank/projekte/wirksamkeit-von-lenkungsmassnahmen-fuer-den-rotmilan/>, abgerufen am 12.11.2022

Nicht in ausreichendem Ausmaß quantifizierbar sind bislang die Effekte von Maßnahmen wie Vergrämung oder Aufwertung von Ausweichhabitaten (Ablenkflächen). Diese Effekte sollten demnach je nach Einzelfall verbal-argumentativ berücksichtigt werden.

Generell sollte vor dem Hintergrund des in der Regel offenbar bereits geringen Kollisionsrisikos des Rotmilans der Einfluss der Schutzmaßnahmen auf die Stromproduktion nicht außer Acht gelassen werden. Durch bedarfsgerechte Abschaltungen mittels Antikollisionssystemen kann mit Produktionseinbußen von 3 %, in Extremfällen bis zu 7 % gerechnet werden. Dagegen können pauschale Abschaltungen tagsüber während der gesamten Brutzeit mit Verlusten von rund 28 % angesetzt werden (REICHENBACH *et al.* 2020).

Endergebnis

In Tabelle 11 ist das Kollisionsrisiko des Rotmilans für alle WEA des Windparks „Auf der Platte“ aufgeführt. Die Berechnungsschritte und Eingangsparameter sind jeweils identisch, lediglich die Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Risikobereich ändert sich aufgrund der unterschiedlichen Distanzen zwischen Brutplatz und Anlagenstandort. Entsprechend der anzunehmenden Flugaktivität ist das Kollisionsrisiko in 800 m Entfernung zum Horst rund 6-mal höher als in 1.600 m. Die Einhaltung größerer Abstände kann daher ebenfalls einen Beitrag zur Reduzierung des Kollisionsrisikos am jeweiligen Standort liefern.

Tabelle 11: Jährliches Kollisionsrisiko des nordwestlich des Windparks brütenden Rotmilans

Anlage	Distanz zum Rotmilanhorst [m]	Kollisionsrisiko [%]
WEA7	1.600	0,23
WEA8	1.400	0,39
WEA9	1.300	0,56
WEA10	800	1,41
WEA11	800	1,41
WEA12	1.000	1,11
WEA13	1.300	0,56

Kumuliert besteht für beide Individuen des Brutpaares durch den nahegelegenen Windpark jeweils ein Kollisionsrisiko von 5,67 % pro Jahr. Die Wahrscheinlichkeit, dass mindestens einer der beiden Altvögel kollidiert liegt entsprechend bei 11,34 %. Der vom IDF-System erfasste Zeitraum entspricht etwa 65 % der gesamten Brutzeit. Die Wahrscheinlichkeit, dass es während der Projektdauer zu einer Kollision des Brutpaares im Windpark kam, betrug demnach 7,37 %. Hinweise auf eine Kollision haben sich jedoch aus den aufgenommenen Daten nicht ergeben, auch wenn eine solche nicht vollständig ausgeschlossen werden kann.

Betrachtet man die zwei tatsächlich erfassten Durchflüge und legt eine Kollisionswahrscheinlichkeit von ca. 16,3 % pro Rotordurchflug zu Grunde, dann beträgt die tatsächlich erwartbare Kollisionswahrscheinlichkeit aus diesen Ereignissen 32,6 %. In beiden Fällen hat jedoch nachweislich keine Kollision stattgefunden.

Nach den vorliegenden Ergebnissen stellt der Bereich des Windparks „Auf der Platte“ mit seinen kleinstrukturierten Grünländern und den günstigen Thermikbedingungen aufgrund von Hanglagen offenbar ein Gebiet mit besonders hoher Attraktivität für Rotmilane dar (siehe Kapitel 3.4.2.1). Durch das Vorkommen weiterer Rotmilane neben dem örtlichen Brutpaar ist die Flugaktivität im Vergleich zu anderen Standorten, insbesondere zu Waldstandorten, deutlich erhöht. Demzufolge besteht auch im Vergleich zur Risikobetrachtung für das örtliche Brutpaar eine insgesamt erhöhte Kollisionswahrscheinlichkeit, die sich in den registrierten Rotordurchflügen äußert. Rechnerisch stieg die Kollisionswahrscheinlichkeit demnach von 7,37 % für das örtliche Brutpaar auf die o.g. 32,6 %.

Dennoch wurde durch die Kameras keine Kollision registriert (auch wenn eine solche nicht ausgeschlossen werden kann, da die Luftraumüberwachung durch die Kameras aufgrund der gezielten Verfolgung einzelner Flüge nicht lückenlos ist). Die auf den Fotos erkennbaren Verhaltensreaktionen im unmittelbaren Nahbereich des Rotors (siehe Kapitel 3.3.3.5) legen nahe, dass auch während Rotordurchflügen ein Mikro-Ausweichverhalten stattfinden kann. Insgesamt könnte das Kollisionsrisiko pro Durchflug daher noch geringer ausfallen als in Schritt 2 des Modells berechnet, da es sich eben nicht um einen mechanistischen Flugkörper handelt, wie er dem Modell zugrunde liegt.

5.2.2.2 Einfluss von Repowering auf das Kollisionsrisiko

In diesem Kapitel sollen die probabilistischen Berechnungen beispielhaft dazu eingesetzt werden, das veränderte Kollisionsrisiko verschiedener Repowering-Szenarien für den Windpark „Auf der Platte“ ermitteln zu können. Probabilistische Verfahren zur Berechnung der Kollisionswahrscheinlichkeit eignen sich insbesondere für die Bewertung von Repowering-Projekten (s. § 16 BImSchG und § 45c BNatSchG), da sich in diesen Fällen lediglich die anlagenspezifischen Parameter (s. Tabelle 7) ändern. Die standortspezifischen Parameter ändern sich durch angepasste Standorte lediglich geringfügig, etwaige Änderungen der Distanz zwischen Horst und WEA des Windparks müssen jedoch berücksichtigt werden. Für den vorliegenden Fall wird vereinfachend angenommen, dass die Verteilung der Brutpaare und damit die Flugaktivität am Standort weitgehend gleichbleibt, auch wenn dies nicht vollständig der biologischen Realität entspricht. Auch jahresweise Unterschiede im Bruterfolg können Einfluss auf die Flugaktivität vor Ort haben. Ansonsten treffen Unsicherheiten der Eingangsparameter für alle Szenarien gleichermaßen zu, sodass die Vergleichbarkeit der Ergebnisse weniger stark beeinflusst wird.

Geänderte Kollisionswahrscheinlichkeiten ergeben sich daher überwiegend durch die neuen Anlagenspezifikationen. Bei neueren Anlagentypen ist generell von einer Vergrößerung des Rotordurchmessers auszugehen, dies vergrößert ebenfalls den Risikobereich der Anlagen, in dem es zu Kollisionen kommen kann. Gleichzeitig weisen sie in der Regel höhere Nabenhöhen auf. Viele

Arten profitieren von der sich hieraus ergebenden Anhebung der Rotorunterkantenhöhe, da dies den Anteil von risikofreien Flugbewegungen unterhalb des Rotors erhöht. Zudem kommt es bei vielen Repowering-Vorhaben zu einer deutlichen Reduzierung der Anlagenzahl.

Anhand des Windparks „Auf der Platte“ sollen exemplarisch mehrere Aspekte probabilistischer Kollisionswahrscheinlichkeitsrechnungen erläutert werden. Der ausgewählte Windpark eignet sich diesbezüglich besonders aufgrund eines in der Vergangenheit bereits erfolgten Repowerings sowie dem Potenzial für ein zukünftiges weiteres Repowering. Unter diesen Voraussetzungen kann das veränderte Konfliktpotenzial realistisch bewertet werden.

Im Jahr 1994 wurden im Bereich des heutigen Windparks „Auf der Platte“ die ersten sechs WEA errichtet. Es handelte sich um den Typ Micon M700-225 des gleichnamigen dänischen Herstellers, mit einer Nennleistung von 225 kW. Im Juli 1996 erfolgte eine erste Erweiterung mit vier Anlagen des Typs Micon M1500-500 mit einer Nennleistung von je 500 kW. Im selben Jahr wurden weitere drei Anlagen, zwei vom Typ Micon M700-225 und eine vom Typ Micon M1500-500, errichtet, sodass der Windpark nach seiner vorläufigen Fertigstellung Mitte der 1990er-Jahre insgesamt 13 WEA umfasste.

Die Anlagenstandorte konnten mit Hilfe von Google Earth Satellitenbildern aus April 2011 und anhand von Betreiberangaben ermittelt werden (Abbildung 99). Für die beispielhaften Berechnungen wird angenommen, dass es sich bei den Anlagen WEA 3 bis WEA 6 sowie WEA 11 um den Typ Micon M1500-500 handelt.



Abbildung 99: Anlagenstandorte der ersten Ausbaustufe des WP Auf der Platte (Stand April 2011)
Quelle: Google Earth

Ende 2011 begann der Betreiber mit dem vollständigen Repowering des Windparks. Dazu wurden alle 13 Bestandsanlagen zurückgebaut und durch sieben WEA des Typs Enercon E-82 E2 ersetzt, die sich auch aktuell im Windpark befinden (s. Abbildung 2). Insgesamt hat sich die Verteilung der WEA nur geringfügig verändert, lediglich die Anzahl wurde deutlich reduziert. Aufgrund der neueren Technik konnte die Nennleistung des gesamten Windparks trotz Reduktion der Anlagenanzahl deutlich von ehemals 4,3 MW auf nun 16,1 MW gesteigert werden (entspricht 2,3 MW pro Anlage).

Windenergieanlagen üben gegenüber Nachbaranlagen Turbulenzen aus, weshalb aus statischen Gründen ein Mindestabstand zwischen den jeweiligen WEA von dem rund 3-fachen Rotordurchmesser an diesem Starkwindstandort notwendig ist. Bei einem zukünftigen Repowering auf annähernd gleichem Flächenzuschnitt ist daher nur noch von drei modernen und leistungsstarken Windenergieanlagen auszugehen (Betreiberangabe). Als beispielhafter Anlagentyp wird nachfolgend mit einer Enercon E-160 gerechnet, auch wenn künftig noch leistungsstärkere WEA-Typen zum Einsatz kommen könnten. Die drei Anlagen befinden sich auf dem bisherigen Flächenzuschnitt an den Standorten der derzeitigen WEA 7, 9 und 10 (vgl. Abbildung 4), womit die notwendigen Mindestabstände der zukünftigen WEA eingehalten werden können.

Die insgesamt vier Anlagentypen, die in den Szenarien einschließlich eines potenziellen zukünftigen Repowerings vorkommen, unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer Spezifikationen (s. Tabelle 12). Entsprechend der allgemeinen Weiterentwicklung von WEA nimmt die Nennleistung in Abhängigkeit von der Nabenhöhe und Rotorgröße zu.

Tabelle 12: Für die Berechnung verwendete Anlagenspezifikationen unterschiedlicher Ausbauszenarien

Szenario	Typ	Anzahl	Naben- höhe [m]	Rotor- durch- messer [m]	Max. Rotorblatt- tiefe [m]	Max. Rotor- drehzahl [U/min]	Anlaufwind- geschwindig- keit [m/s]	Nenn- leistung [kW]
1	M700- 225	8	30	30	1,80	37,5	3,0	225
1	M1500- 500	5	46	43	2,00	25,0	3,0	500
2	E-82 E2	7	138	82	3,58	18,0	3,0	2.300
3	E-160	3	166	160	5,12	9,4	2,5	5.500

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahl, der exakte Horststandort sowie der Bruterfolg von in der Nähe brütender Rotmilane nahezu jährlich variiert. Durch die Betrachtung von Abbildung 2 und Abbildung 3 wird die Variabilität der Rotmilanbrutplätze deutlich. Als vereinfachte Annahme sowie für einen besseren Vergleich wird jedoch für alle drei Szenarien von demselben Brutplatz ausgegangen, dieser entspricht dem Standort aus dem Jahr 2022.

In gleicher Weise wie in der Beispielrechnung des vorigen Kapitels wurde für jede Anlage der drei Ausbauszenarien das durchschnittlich zu erwartende jährliche Kollisionsrisiko für einen brütenden Rotmilan einzeln berechnet (s. Tabelle 13 bis Tabelle 15). Die Kollisionsrisiken unterscheiden sich je nach Anlagentyp deutlich.

Im Vergleich zu den älteren Micon-Anlagen wirkt sich die größere Rotorfläche der modernen WEA-Typen negativ auf das Kollisionsrisiko aus, da sich dadurch der potenziell kollisionssträchtige Raum stark vergrößert. So ist das Volumen des Rotorbereichs (als Kugel betrachtet) eines E-160 Rotors rund 150-mal größer als das eines M700-225 Rotors. Positiv wirkt sich hingegen die Anhebung der Rotorunterkante aus, da sich dadurch im Fall des Rotmilans der Anteil an Flugbewegungen auf Rotorhöhe drastisch reduzieren lässt (siehe Kapitel 5.1.2), wohingegen sich der niedrige Rotor einer M1500-500 oder M700 auf einer vom Rotmilan bevorzugten Höhe befindet.

Als besonders günstige Kombination wird ein vergleichsweise kleiner Rotor in großer Höhe (> 80 m Rotorunterkantenhöhe) angesehen. Diese Kombination liegt aktuell im Windpark „Auf der Platte“ vor.

Ebenfalls positiv wirkt sich eine Reduzierung der Drehgeschwindigkeit der Rotorblätter aus. Hier wird als Worst Case die maximale Anzahl an Rotationen pro Minute angenommen. Größere Rotoren drehen sich prinzipiell langsamer während der Stromproduktion. Dies erhöht die Chancen einen Rotordurchflug unbeschadet zu überstehen.

Fachgutachten Flugverhalten Rotmilan

Oldenburg, 03.07.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Zusätzlich wird ebenfalls der Einfluss der Entfernung zwischen den Anlagenstandorten und dem Brutplatz deutlich. Dieser Effekt ist jedoch abhängig vom konkreten Horststandort und entsprechend variabel.

Der Einfluss der jeweiligen Anlauf-Windgeschwindigkeit ist in den Ergebnissen bereits berücksichtigt. Hier werden bei Anlaufgeschwindigkeiten von 3,0 m/s etwas 20 % aller potenziellen Flüge auf Rotorhöhe durch Stillstand des Rotors geschützt. Bei einer Anlauf-Windgeschwindigkeit von nur 2,5 m/s, wie sie die Enercon E-160 aufweist, werden hingegen nur noch rund 12,5 % der Flüge geschützt.

Tabelle 13: Durchschnittliches jährliches Kollisionsrisiko der WEA im Ausbauszenario 1 für einen brütenden Rotmilan

Anlage	Anlagentyp	Distanz zum Brutplatz [m]	Nennleistung [kW]	Kollisionsrisiko [%]
WEA1	Micon M700-225	800	225	1,52
WEA2	Micon M700-225	900	225	1,34
WEA3	Micon M1500-500	1.000	500	2,31
WEA4	Micon M1500-500	1.200	500	1,59
WEA5	Micon M1500-500	1.200	500	1,59
WEA6	Micon M1500-500	1.400	500	0,81
WEA7	Micon M700-225	1.300	225	0,61
WEA8	Micon M700-225	1.800	225	0,11
WEA9	Micon M700-225	1.400	225	0,42
WEA10	Micon M700-225	1.500	225	0,39
WEA11	Micon M1500-500	1.400	500	0,81
WEA12	Micon M700-225	1.500	225	0,39
WEA13	Micon M700-225	1.600	225	0,25
Gesamt			4.300	12,14

Tabelle 14: Durchschnittliches jährliches Kollisionsrisiko der WEA im Ausbauszenario 2 für einen brütenden Rotmilan

Anlage	Anlagentyp	Distanz zum Brutplatz [m]	Nennleistung [kW]	Kollisionsrisiko [%]
WEA7	Enercon E-82 E2	1.600	2.300	0,23
WEA8	Enercon E-82 E2	1.400	2.300	0,39
WEA9	Enercon E-82 E2	1.300	2.300	0,56
WEA10	Enercon E-82 E2	800	2.300	1,41
WEA11	Enercon E-82 E2	800	2.300	1,41
WEA12	Enercon E-82 E2	1.000	2.300	1,11
WEA13	Enercon E-82 E2	1.300	2.300	0,56
Gesamt			16.100	5,67

Tabelle 15: Durchschnittliches jährliches Kollisionsrisiko der WEA im Ausbauszenario 3 für einen brütenden Rotmilan

Anlage	Anlagentyp	Distanz zum Brutplatz [m]	Nennleistung [kW]	Kollisionsrisiko [%]
WEA7	Enercon E-160	1.600	5.500	0,68
WEA9	Enercon E-160	1.300	5.500	1,70
WEA10	Enercon E-160	800	5.500	4,25
Gesamt			16.500	6,63

Neben der Veränderung des Kollisionsrisikos muss auch diejenige der Nennleistung beachtet werden. So führt eine E-160 Anlage in 800 m Entfernung gemäß den Berechnungen zwar zu einem rund 2,8-fach höheren Kollisionsrisiko als eine M700-225, weist dafür aber auch eine rund 24-fache Nennleistung auf. In der aktuellen Ausbaustufe (Szenario 2) besitzt der WP auf der Platte das geringste gesamte Kollisionsrisiko. Das angenommene künftige Repowering würde das gesamte jährliche Kollisionsrisiko und auch die gesamte Nennleistung geringfügig erhöhen – bei einer Reduzierung der Anlagenzahl von sieben auf drei. Es ist jedoch zu erwarten, dass sich die Anzahl an Volllaststunden durch die Vergrößerung des Rotors ebenfalls deutlich erhöht, sodass hinsichtlich der Betrachtung von Kollisionsrisiko und Leistung insgesamt von einem positiven „Kosten-Nutzen-Faktor“ ausgegangen werden kann. Zudem kann durch die Verwendung eines neueren, noch leistungstärkeren Anlagentyps die Nennleistung weiter gesteigert werden.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die in diesem Beispiel aktuell vorhandenen Anlagen aufgrund der Höhe der Rotorunterkante von knapp 100 m bereits eine hinsichtlich des Kollisionsrisikos besonders günstige Ausgangssituation darstellen, die bei anderen älteren Windparks meist nicht vorliegt.

Bei einem Repowering wird die Anlagenzahl in vielen Fällen zurückgehen, da wegen erforderlicher Mindestabstände zur Wohnbebauung die Flächenkulisse beschränkt wird und weil durch den Größenzuwachs bei den Rotorblättern die Mindestabstände der Anlagen untereinander ansteigen. Um ausgewiesene Windeignungsgebiete dennoch möglichst effektiv auszunutzen, sollte eine noch weitergehende Reduzierung der Anlagenzahl aus Gründen des Kollisionsrisikos nur in Ausnahmefällen in Betracht gezogen werden. Stattdessen sollten gezielte Schutzmaßnahmen wie insbesondere eine hohe Rotorunterkante und eine windgeschwindigkeitsabhängige Betriebsbeschränkung genutzt werden, um das Tötungsrisiko unter die Signifikanzschwelle zu senken. Deren Wirksamkeit konnte mit den im vorliegenden Projekt erhobenen Daten deutlich untermauert werden (s. Kap. 5.1), insbesondere auch angesichts des offenbar sehr effektiven kleinräumigen Meideverhaltens von Rotmilanen gegenüber dem Rotorbereich.

Im angeführten Beispiel müsste das Kollisionsrisiko der Ausbaustufe 3 nur geringfügig gesenkt werden, damit es im Vergleich zum Szenario 2 zu keiner Anhebung des gesamten jährlichen Kollisionsrisikos kommt (um ca. 17 %). Möchte man die benötigte Reduktion des Kollisionsrisikos allein durch Abschaltungen erreichen, die von der Windgeschwindigkeit abhängig sind, dann gilt es zu berücksichtigen, dass eine Vermeidungswirkung von rund 20 % in der aktuellen Ausbaustufe bereits durch die benötigte Einschaltgeschwindigkeit von 3,0 m/s erreicht wird. Somit ist eine effektive Reduktionswirkung von zusätzlich knapp 37 % erforderlich. Diese lässt sich schon durch Abschaltungen bis zu einer Windgeschwindigkeit von 4,8 m/s erreichen bzw. deutlich übererfüllen (s. Abbildung 88) – sofern gemäß § 45c Abs. 2 BNatSchG angestrebt wird, das rechnerische Kollisionsrisiko durch das Beispiel-Repowering nicht zu erhöhen. Alternativ wäre der Einsatz von Antikollisionssystemen möglich, hierzu könnte im Vorfeld eine wirtschaftliche Betrachtung auf der Basis der in diesem Vorhaben ermittelten Flugaktivität erfolgen (REICHENBACH *et al.* 2020).

5.2.3 Schlussfolgerungen zur Probabilistik

Die Bewertung der Datengrundlage probabilistische Berechnungen lässt eine hohe Belastbarkeit des geschätzten Kollisionsrisikos für die Zielart Rotmilan erwarten. Die Qualität der meisten artspezifischen Eingangsparameter hängt von der Verfügbarkeit hochwertiger Telemetriestudien ab, da dadurch Informationen zum durchschnittlichen Flugverhalten der Individuen gewonnen werden können. Durch die Verwendung aller relevanten Merkmale des Flugverhaltens (z. B. Flughöhenverteilung, tägliche Flugaktivität etc.) kann das artspezifische Kollisionsrisiko sehr gut abgeschätzt werden (auch wenn gewisse Modellunsicherheiten immer bestehen bleiben) und stellt eine deutlich solidere Bewertungsgrundlage dar die alleinige Betrachtung der Flugaktivität innerhalb von Abstandsradien.

Für eine weitere Verbesserung der Datengrundlage sind weitere Telemetriestudien (auch für weitere Zielarten) wünschenswert. Dazu zählt vor allem die Quantifizierung der Bevorzugung bestimmter Habitatstrukturen (z. B. Grünländer) im Revier, was bei der Einzelfallbetrachtung eines konkreten Standortes zu einer weiteren Verbesserung des Ergebnisses führt.

Innerhalb dieses Projekts konnten wichtige Erkenntnisse zum Flugverhalten des Rotmilans gewonnen werden, welche die Aussagekraft probabilistischer Berechnungen stärken. Dazu zählt zum einen die Messung der durchschnittlichen Dauer eines Rotordurchflugs, die bislang lediglich auf Schätzungen beruht hat und das Endergebnis stark beeinflussen konnte und zum anderen die Ermittlung der Ausweichrate mit Hilfe tatsächlich erfasster Flugbewegungen. Hierfür lagen bislang lediglich Schätzwerte vor, die auf Grundlage von Kollisionsopfersuchen getätigt wurden. Insgesamt konnte eine Ausweichrate von knapp 99 % bestätigt werden.

Besonders in attraktiven Bereichen ist es sinnvoll, das Kollisionsrisiko durch geeignete Vermeidungsmaßnahmen weiter zu senken. Besonders zu empfehlen ist eine möglichst hohe Rotorunterkantenhöhe von > 80 m über dem Grund, da dadurch bereits eine Vielzahl an Flügen im Rotorbereich verhindert werden kann. Über eine (niedrig)windabhängige Abschaltung kann in der Regel bereits die notwendige zusätzliche Reduzierung des Kollisionsrisikos erreicht werden. Bei Bedarf stehen mit Antikollisionssystemen, Mahd-abhängigen Abschaltungen sowie Vergrämnungsmaßnahmen (möglichst weitgehende Reduzierung der Habitatqualität unterhalb der WEA) und Ablenkflächen weitere Vermeidungsmaßnahmen zur Verfügung.

6 Fazit

Das vorliegende Projekt dokumentiert erstmalig mit Hilfe von Kameras das kleinräumige Flugverhalten von Rotmilanen innerhalb eines stark frequentierten Windparks. Der große Stichprobenumfang in Kombination mit der hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung der Daten ermöglicht eine Quantifizierung des Meide- und Ausweichverhaltens und damit einen deutlichen Fortschritt im Verständnis des Kollisionsrisikos von Rotmilanen an WEA. Die Analyse relevanter Einflussfaktoren ermöglicht einen zielgerichteteren Einsatz bestimmter Schutzmaßnahmen und lässt eine fundiertere Quantifizierung ihres Wirkungsgrades zu. Das untersuchte Fallbeispiel repräsentiert aufgrund seiner hohen Habitatqualität, seiner hohen mittleren Windgeschwindigkeit, einer infolge von Hangaufwinden nach oben verschobenen Flughöhenverteilung und einer insgesamt sehr hohen Flugaktivität von Rotmilanen ein besonders hohes Konfliktpotenzial. Daher können die erzielten Ergebnisse auf eine Vielzahl hessischer Windenergiestandorte mit niedrigerer oder gleicher Windgeschwindigkeit und Rotmilanaktivität übertragen werden.

Oldenburg, den 03.07.2023



Dr. Marc Reichenbach, ARSU GmbH

7 Literatur

- AGORA ENERGIEWENDE (2021): Windenergie und Artenschutz - Wege nach vorn. https://static.agora-energiawende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_11_DE_EE-Artenschutz/A-EW_234_Windenergie-und-Artenschutz_WEB.pdf.
- ALERSTAM, T., M. ROSEN, J. BÄCKMAN, P. G. P. ERICSON & O. HELLGREN (2007): Flight Speed among Bird Species: Allometric and Phylogenetic Effects. *PLoS Biol.* (5(8)): 1656-1662.
- ASCHWANDEN, J. & F. LIECHTI (2020): Erprobung des automatischen Vogeldetektionssystems Identiflight auf dem Testfeld des WindForS im Rahmen der Naturschutzbegleitforschung (NatForWINSent). Schweizerische Vogelwarte, Sempach, 38 S.
- BAND, B. (2012): Using a Collision Risk Model to assess Bird Collision Risks for Offshore Wind Farms. 62 pp.
- BAND, B., M. MADDERS & D. P. WHITFIELD (2007): Developing field and analytical methods to assess avian collision risk at wind farms. In: DE LUCAS CASTELLANOS, M.: *Birds and Wind Farms - Risk Assessment and Mitigation*, Madrid.
- BDEW (2021): Signifikante Erhöhung des Tötungsrisikos von Brutvögeln an Windenergieanlagen, Anwendungshilfe, Bewertungsmethode und Heranziehung probabilistischer Ansätze., 20 S.
- BRAND, C., D. LANGELEH & T. MÄNNEL (2020): Die Signifikanzschwelle nach § 44 (5) Nr. 1 BNatSchG - ein Verfahren zur Bewertung des Tötungsrisikos geschützter Arten im Gefahrenbereich von Windenergieanlagen. *Zeitschrift für Neues Energierecht* 24 (1): 7-14.
- BUSCH, M., S. TRUTMANN & B. GERLACH (2017): Overlap between breeding season distribution and wind farm risks: a spatial approach. *Vogelwelt* (137): 169-180.
- CHRISTIE, D. & B. URQUHART (2015): A refinement of the Band spreadsheet for wind turbine collision risk allowing for oblique entry. *N. Z. J. Zool.*: 9 S.
- COHEN, J. (1988): *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ.
- COOK, A. V. S. C. P., E. M. HUMPHREYS, E. A. MASDEN & H. BURTON (2014): The Avoidance Rates of Collision Between Birds and Offshore Turbines. *Scottish Marine and Freshwater Science* 5: 274 S.
- DOUSE, A. (2013): *Guidance: Avoidance Rates for Wintering Species of Geese in Scotland at Onshore Wind Farms*. Scottish Natural Heritage, 2013, 20 S.
- DREWITT, A. L. & R. H. LANGSTON (2008): Collision effects of wind-power generators and other obstacles on birds. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1134: 233-266.

- GELPKE, C. & M. HORMANN (2010): Artenhilfskonzept Rotmilan (*Milvus milvus*) in Hessen. Gutachten im Auftrag der Staatlichen Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland. Echzell, 115 S.
- GOVE, B., R. LANGSTON, A. MCCLUSKIE, J. D. PULLAN & I. SCRASE (2013): Windfarms and birds: an updated analysis of the effect of wind farm on birds, and best practice guidance on integrated planning and impact assessment. BirdLife International on behalf of the Bern Convention, Strasbourg, 89.
- GRÜNKORN, T., J. BLEW, T. COPPACK, O. KRÜGER, G. NEHLS, A. POTIEK, M. REICHENBACH, J. VON RÖNN, H. TIMMERMANN & S. WEITEKAMP (2016): Ermittlung der Kollisionsraten von (Greif)Vögeln und Schaffung planungsbezogener Grundlagen für die Prognose und Bewertung des Kollisionsrisikos durch Windenergieanlagen (PROGRESS). Schlussbericht zum durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des 6. Energieforschungsprogrammes der Bundesregierung geförderten Verbundvorhaben PROGRESS, FKZ 0325300A-D.
- GSCHWENG, M., M. RIEPL & E. K. V. KALKO (2014): Rotmilan (*Milvus milvus*) und Windenergie: Problematik und Praxis bei der Erfassung windkraftsensibler Greifvogelarten. Ber. Vogelschutz 51: 61-82.
- HAGER, A. & J. THIELEN (2018): Untersuchung des Flugverhaltens von Schwarzstörchen in Abhängigkeit von Witterung und Landnutzung unter besonderer Berücksichtigung vorhandener WEA im Vogelschutzgebiet Vogelsberg., Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung. https://landesplanung.hessen.de/sites/landesplanung.hessen.de/files/Fassung%20B_Schwarzstorch_Endber_ohne%20Thibout_20190426_D_final.pdf.
- HEUCK, C., C. HERRMANN, C. LEVERS, P. J. LEITAO, O. KRONE, R. BRANDL & J. ALBRECHT (2019a): Wind turbines in high quality habitat cause disproportionate increases in collisions mortality of the white-tailed eagle. Biol. Conserv. 236: 44-51.
- HEUCK, C., M. SOMMERHAGE, P. STELBRINGK, C. HÖFS, K. GEISLER, C. GELPKE & S. KOSCHKAR (2019b): Untersuchung des Flugverhaltens von Rotmilanen in Abhängigkeit von Wetter und Landnutzung unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Windenergieanlagen im Vogelschutzgebiet Vogelsberg - Abschlussbericht. im Auftrag des Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen.
- HMUKLV & HMWEVW (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz; Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen) (2020): Verwaltungsvorschrift (VwV) "Naturschutz/Windenergie", Wiesbaden.
- HÖTKER, H., O. KRONE & G. NEHLS (2013): Greifvögel und Windkraftanlagen: Problemanalyse und Lösungsvorschläge. Schlussbericht für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit., Michael-Otto-Institut im NABU, Leitnitz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung, BioConsult SH, Bergenhusen, Berlin, Husum.

- HÖTKER, H., K. MAMMEN, U. MAMMEN & L. RASRAN (2017): Red Kites and Wind Farms - Telemetry Data from the Core Breeding Range. In: KÖPPEL, J.: Wind Energy and Wildlife Interactions, Springer, Cham, 3-15.
- KNE (Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende) (2020): Synopse – Detektionssysteme zur ereignisbezogenen Abschaltung von Windenergieanlagen zum Schutz von tagaktiven Brutvögeln.
- LAG VSW (Länderarbeitsgemeinschaft der Vogelschutzwarten) (2015): Abstandsempfehlungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogellebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten in der Überarbeitung vom 15. April 2015. 29 S.
- LAG VSW (2017): Abschaltung von Windenergieanlagen (WEA) zum Schutz von Greifvögeln und Störchen bei bestimmten landwirtschaftlichen Arbeiten.
- LANGGEMACH, T. & T. DÜRR (2021): Informationen über Einflüsse der Windenergienutzung auf Vögel. - Stand 10. Mai 2021. Landesamt für Umwelt Brandenburg, Staatliche Vogelschutzwarte.
- LINDER, A. C., H. LYHNE, B. LAUBEK, D. BRUHN & C. PERTOLDI (2022): Quantifying Raptors's Flight Behavior to Assess Collision Risk and Avoidance Behavior to Wind Turbines. Symmetry 14,2245: 26 S.
- MAMMEN, U., B. NICOLAI, J. BÖHNER, K. MAMMEN, J. WEHRMANN, S. FISCHER & G. DORNBUSCH (2014): Artenhilfsprogramm Rotmilan des Landes Sachsen-Anhalt. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. http://www.lau.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LAU/Naturschutz/Publikationen/Dateien/berichte_5-14_ahp-rotmilan.pdf.
- MÄNNEL, T. LAND, F. W. A., (Editor), (2021): Grundlagen und Beispiele für die Anwendung der Probabilistik zur Ermittlung und Bewertung des Kollisionsrisikos. Tagungsband der Fachtagung: "Anwendung von Probabilistik zur Bewertung des Kollisionsrisikos windenergieanlagen sensibler Vogelarten", 12.02.2021. <https://www.fachagentur-windenergie.de/services/veranstaltungen/webinar-probabilistik-1222021/>.
- MASDEN, E. A. & A. S. C. P. COOK (2016): Avian collision risk models for wind energy impact assessments. Environ. Impact Assess. Rev. 56: S. 43 - 49.
- MAY, R., T. NYGÅRD, E. L. DAHL, O. REITAN & K. BEVANGER (2011): Collision risk in white-tailed eagles. Modelling kernel-based collision risk using satellite telemetry data in Smøla wind-power plant. Tagungsband der Fachtagung: "May, 2011", Trondheim.
- MCCLURE, J., B. ROLEK, L. DUNN, J. MCCABE, L. MARTINSON & T. KATZNER (2021): Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. J Appl Ecol. 00:1-7 (<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13831>).
- MCCLURE, J. W., L. MARTINSON & T. D. ALLISON (2018): Automated monitoring for birds in flight: Proof of concept with eagles at a wind power facility. Biol. Conserv. 224: 26-33.
- MERCKER, M., J. LIEDTKE, T. LIESENJOHANN & J. BLEW (2023): Pilotstudie "Erprobung Probabilistik" - Erprobung probabilistischer Methoden hinsichtlich ihrer fachlichen

Voraussetzungen mit dem Ziel der Validierung der Methode zur Ermittlung des vorhabenbezogenen Tötungsrisikos von kollisionsgefährdeten Brutvogelarten an Windenergieanlagen. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV), 10.03.2023, 101 S.

- MEYBURG, B.-U. & C. MEYBURG (2013): Telemetrie in der Greifvogelforschung. Greifvögel und Falknerei 2013: 26-60.
- PERON, G., J. M. CALABRESE, O. DURIEZ, C. H. FLEMING, R. GARCIA-JIMENEZ, A. JOHNSTON, S. A. LAMBERTUCCI, K. SAFI & E. L. C. SHEPARD (2020): The challenges of estimating the distribution of flight heights from telemetry or altimetry data. Animal Biotelemetry (8): 13 S.
- PFEIFFER, T. & B.-U. MEYBURG (2015): GPS tracking of Red Kites (*Milvus milvus*) reveals fledgling number is negatively correlated with home range size. Journal of Ornithology 156 (4): 963-975.
- PFEIFFER, T. & B.-U. MEYBURG (2022): Flight altitudes and flight activities of adult Red Kites (*Milvus milvus*) in the breeding area as determined by GPS telemetry. Journal of Ornithology: 24 S.
- PROVAN, S. & D. P. WHITFIELD (2006): Avian Flight Speeds and Biometrics for Use in Collision Risk Modelling. Unpublished Report.
- REICHENBACH, M. & T. AUSSIEKER (2021): Windenergie und der Erhalt der Vogelbestände – Regelungsvorschläge im Kontext einer gesetzlichen Pauschalausnahme. . <https://www.stiftung-klima.de/app/uploads/2021/05/2021-04-26-Windenergie-und-Erhalt-der-Vogelbestaende.pdf>.
- REICHENBACH, M., T. AUSSIEKER & J. HOLZMÜLLER (2020): Wirtschaftliche Aspekte ereignisbezogener Abschaltung zum Vogelschutz an Windenergieanlagen; Brutplatzszenarien – Ertragseinbußen – Einfluss auf die Anlagentechnik. 69 S. <https://www.naturschutz-energiewende.de/dialog/workshopreihe-technische-systeme/>.
- REICHENBACH, M., H. REERS & S. GREULE (2021): Wie gut schützt IdentiFlight den Rotmilan (*Milvus milvus*)? - Untersuchungen zur Wirksamkeit eines Kamerasystems zum Schutz vor Kollisionen an Windenergieanlagen. im Auftrag der erneuerbare energien europa e3 GmbH, 161 S. <https://www.e3-gmbh.de/identiflight/>.
- SCHAUB, M. (2012): Spatial distribution of wind turbines is crucial for the survival of red kite populations. Biol. Conserv. 155: 111-118.
- SCHAUB, T., R. H. G. KLAASEN, W. BOUTEN, A. SCHLAICH & B. J. KOKS (2020): Collision risk of Montagu's Harriers *Circus pygargus* with wind turbines derived from high-resolution GPS tracking. International Journal of Avian science (162): 520-534.
- SCHELAND, H. (2023): Repowering und Artenschutz - Eine Einordnung des § 45c im Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen. Masterthesis. Universität Koblenz-Landau, Koblenz-Landau.

- SCHERLER, P. (2020): Drivers of Departure and Prospecting in Dispersing Juvenile Red Kites. Dissertation. Universität Zürich, Zürich.
- SCHREIBER, D. M. (2021): Quantifizierung des WKA-bedingten Tötungsrisikos für Rotmilan (*Milvus milvus*), Mäusebussard (*Buteo buteo*) und Rohrweihe (*Circus aeruginosus*) - Weiterentwicklung des Ansatzes aus Schreiber (2017). 31 S.
- SNH (Scottish Natural Heritage) (2000): Guidance: Windfarms and birds: Calculating a theoretical collision risk assuming no avoiding action. 10 S.
- SNH (Scottish Natural Heritage) (2010): Use of Avoidance Rates in the SNH Wind Farm Collision Risk Model. 10 S.
- SNH (Scottish Natural Heritage) (2018): Avoidance Rates for the onshore SNH Wind Farm Collision Risk Model. 4 S.
- SPATZ, T., J. KATZENBERGER, N. FRIESS, C. GELPKE, E. GOTTSCHALK, M. HORMANN, S. KOSCHKAR, T. PFEIFFER, S. STÜBING, C. SUDFELDT, S. RÖSNER, D. G. SCHABO & N. FARWIG (2022): Sex, landscape diversity and primary productivity shape the seasonal space use of a migratory European raptor. J. Avian Biol.: 14 S.
- SPATZ, T., S. RÖSNER, D. G. SCHABO, C. GELPKE & N. FARWIG (2021): Zwischen Revierbildung, Brutphase und Jungenaufzucht Aktionsräume und Habitatnutzung adulter Rotmilane *Milvus milvus* in Hessen. Ornithologische Mitteilungen 73 (9/10): 8 S.
- SPATZ, T., D. SCHABO, N. FARWIG & S. RÖSNER (2019): Raumnutzung des Rotmilans *Milvus milvus* im Verlauf der Brutzeit: Eine Analyse mittels GPS-basierter Bewegungsdaten. Vogelwelt 139: 161-169.
- SPRÖTGE, M., E. SELLMANN & M. REICHENBACH (2018): Windkraft Vögel Artenschutz, Books on Demand, Norderstedt.
- URQUHART, B. & D. P. WHITFIELD (2016): Derivation of an avoidance rate for red kite *Milvus milvus* suitable for onshore wind farm collision risk. Natural Research Information Note 7, 22 S.
- VEENKER INGENIEURE (2020): Ermittlung und Bewertung der Tötungswahrscheinlichkeit von Rotmilanen in der Nähe eines Windparks. 21 S.
- WHITFIELD, D. P. & M. MADDERS (2006): Deriving collision avoidance rates for red kites *Milvus milvus*. Natural research information note 3, Natural Research Ltd, Banbury, UK., 14 S.