



Arbeitsgruppe für
regionale Struktur- und
Umweltforschung GmbH

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Durchführung von Leistungsnachweisen für Detektionssysteme zur Verminderung von Vogelkollisionen an Windenergieanlagen in Brandenburg

Kamera- und Radar-Datenauswertung und gutachterliche Einordnung

In Kooperation mit:



vogelwarte.ch

Erstellt im Auftrag von:

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE)

Auftraggeber:

Hochschule
für nachhaltige Entwicklung
Eberswalde

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE)
Schicklerstraße 5
16225 Eberswalde

Vorhaben:

Durchführung von Leistungsnachweisen für Detektionssysteme zur Verminderung von Vogelkollisionen an Windenergieanlagen in Brandenburg

Kamera- und Radar-Datenauswertung und gutachterliche Einordnung

Stand:

22.08.2023

Auftragnehmer:**ARSU GmbH**

Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH
Escherweg 1, 26121 Oldenburg
Postfach 5554, 26045 Oldenburg

Tel. +49 441 971 74 97

Fax +49 441 971 74 73

www.arsu.de

info@arsu.de

Bearbeiter:

Dr. Marc Reichenbach, Dipl.-Biol., Dipl.-Ökol., ARSU GmbH

Tim Steinkamp, MSc. Landschaftsökologie, ARSU GmbH

Dr. Janine Aschwanden, Schweizerische Vogelwarte, Seerose 1, CH-6204 Sempach

Dr. Hendrik Reers, Dipl.-Biol., OekoFor GbR, Kartäuserstr. 39a, 79102 Freiburg

Sören Greule, MSc. Umweltwissenschaften, OekoFor GbR

Johanna Grimm, MSc. Verhaltens-, Neuro- und Kognitionsbiologie, OekoFor GbR

INHALTSVERZEICHNIS

0	Zusammenfassung.....	1
1	Einleitung und Aufgabenstellung	7
2	Funktionsweise der Systeme.....	9
2.1	IDF.....	9
2.1.1	Hardware.....	9
2.1.2	Software.....	12
2.1.3	Abschaltung der Windenergieanlagen	13
2.2	BirdScan.....	15
2.2.1	Grundlagen Radartechnik.....	15
2.2.2	Radarsystem BirdScan MS1.....	18
3	Untersuchungskonzept	21
4	Methodik.....	23
4.1	Untersuchungsgebiet.....	23
4.1.1	Auswahlkriterien.....	23
4.1.2	Standortlayout.....	25
4.1.3	Abschaltung	26
4.1.4	Zeitliche Abdeckung.....	35
4.1.5	Räumliche Abdeckung	39
4.2	Referenzdaten – LRF-Erfassungen	44
4.2.1	Datenerhebung.....	44
4.2.2	Datenabgleich – IDF.....	46
4.2.3	Datenabgleich – BirdScan.....	47
4.3	Referenzdaten – Kombination von IDF und BirdScan.....	48
4.4	Auswertung und statistische Analyse	49
4.4.1	Erfassungsreichweite	50
4.4.2	Erfassungsrate.....	51
4.4.3	Klassifizierung.....	51

4.4.4	Abschaltung	54
4.4.5	Gesamtleistung.....	56
4.5	Wirtschaftliche Auswirkungen.....	57
4.5.1	Berechnung der Ertragsverluste.....	57
4.5.2	Aufbereitung der Erfassungsdaten	63
4.5.3	Vergleich der Systeme.....	69
5	Ergebnisse.....	70
5.1	Erzielte Datengrundlage.....	70
5.1.1	LRF.....	70
5.1.2	IDF.....	72
5.1.3	BirdScan	80
5.2	Erfassungsreichweite.....	87
5.2.1	IDF.....	87
5.2.2	BirdScan	90
5.3	Erfassungsrate.....	92
5.3.1	IDF.....	92
5.3.2	BirdScan	92
5.4	Klassifizierung	95
5.4.1	IDF.....	95
5.4.2	BirdScan	99
5.5	Abschaltung.....	103
5.5.1	IDF.....	103
5.5.2	BirdScan	112
5.5.3	Dimensionierung des inneren Abstandszylinders.....	115
5.6	Gesamtleistung.....	119
5.7	Wirtschaftliche Auswirkungen.....	121
5.7.1	Untersuchungszeitraum	121
5.7.2	Ganzjährige Prognose der Ertragsverluste.....	124
5.7.3	Zusätzliche Stopp- und Start-Vorgänge.....	129
6	Diskussion	131

6.1	BirdScan.....	131
6.1.1	Standortlayout, zeitliche und räumliche Abdeckung.....	131
6.1.2	Erfassungsreichweite und Erfassungsrate.....	132
6.1.3	Klassifizierung.....	132
6.1.4	Abschaltung.....	132
6.1.5	Wirtschaftliche Auswirkungen.....	134
6.2	Einordnung in den bisherigen Kenntnisstand.....	134
6.3	Bewertung der Leistungsfähigkeit der Systeme.....	137
6.4	Artenschutzrechtliche Einordnung.....	141
6.4.1	Gesetzlicher Rahmen.....	141
6.4.2	Antikollisionssysteme als Schutzmaßnahme.....	142
6.4.3	Folgerungen aus den Projektergebnissen.....	143
6.5	Wirtschaftliche Auswirkungen.....	144
6.6	Ausblick.....	147
7	Literatur.....	148

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Installiertes IdentiFlight-System.....	10
Abbildung 2:	Sichtfeld eines IdentiFlight-Systems PTU V2.....	11
Abbildung 3:	Sichtfeld eines IdentiFlight-Systems PTU V3.....	12
Abbildung 4:	Schema zur Dimensionierung der inneren und äußeren Abstandszylinder.....	15
Abbildung 5:	Beispiele von Echosignaturen: Singvogel (a), Wasservogel (b) und Insekt (c).	17
Abbildung 6:	Beispiele von Radarantennen (links: Balkenantenne, Mitte: Parabolantenne, rechts: Hornantenne).....	17
Abbildung 7:	Radarsensoren des Radarsystems BirdScan MS1.....	20
Abbildung 8:	Echosignatur eines Rotmilans.....	20
Abbildung 9:	Brutbestand der Zielarten im Umfeld der Untersuchungsstandorte.....	24
Abbildung 10:	Standorte der Systeme am Komplex- und Offenlandstandort.....	25

Abbildung 11:Fotos der beiden Systeme am Komplexstandort (a) und Offenlandstandort (b).....	26
Abbildung 12:Schema zur Dimensionierung der inneren und äußeren Abstandszylinder für den Rotmilan (oben) und den Seeadler (unten) beim IDF-System.	31
Abbildung 13:Standortlayout mit den programmierten Abstandszylindern bezüglich IDF.	32
Abbildung 14:Schema zur Illustration des Abstandszylinders beim BirdScan-System (nicht maßstabsgetreu).	34
Abbildung 15:Zeitliche Verfügbarkeit und erhobene Gesamtdaten des jeweiligen IDF-Systems am Komplex- und Offenlandstandort.....	36
Abbildung 16:Zeitliche Verfügbarkeit der BirdScan-Systeme am Komplex- (links) und Offenlandstandort (rechts).....	38
Abbildung 17:Verteilung der von dem jeweiligen IDF-System erhobenen Messpunkte am Komplex- und Offenlandstandort nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel.....	40
Abbildung 18:Verteilung von als „large_raptor“ und „other_bird“ klassifizierten Messpunkten am Komplexstandort nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel vom 18.06.-18.07.2022.	41
Abbildung 19:Verteilung von als „large_raptor“ und „other_bird“ klassifizierten Messpunkten am Komplex- (oben) und Offenlandstandort (unten) nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel vom 24.07.-06.09.2022 (Betrieb gleichzeitig mit gegenseitiger Interferenz).....	42
Abbildung 20:Verteilung von als „large_raptor“ und „other_bird“ klassifizierten Messpunkten am Komplex- (oben) und Offenlandstandort (unten) nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel ab 07.09.2022 (Betrieb alternierend).....	43
Abbildung 21:Datenermittlung des Laser Range Finders Vector 21 Aero.....	44
Abbildung 22:Auszug der Zeitreihe von stündlichen Mittelwerten der Windgeschwindigkeit (m/s) auf 165 m Höhe.....	58
Abbildung 23:Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit 2019 auf 165 m Höhe im Untersuchungsgebiet.....	59
Abbildung 24:Zeitlicher Verlauf der Windgeschwindigkeiten (m/s) in Stundenwerten für das Jahr 2019.....	60
Abbildung 25:Leistungskennlinie der Windenergieanlage Vestas V150-4.2/3/.....	61
Abbildung 26:Verteilung der Rotmilan-Flugaktivität über einen Tag während der vier Brutphasen des Rotmilans	65

Abbildung 27: Summarische Darstellung aller mittels LRF erfassten Rotmilan(A)- bzw. Seeadler(B)-Flugwege am Komplex- und Offenlandstandort.	71
Abbildung 28: Räumliche Verteilung von IDF-Daten mit der Klassifizierung „Red-or-Black-Kite“ am Komplex- und Offenlandstandort.....	74
Abbildung 29: Räumliche Verteilung von IDF-Daten mit der Klassifizierung „White-tailed-Eagle“ am Komplex- und Offenlandstandort.....	75
Abbildung 30: Zeitliche Verteilung und tägliche Aufzeichnungsdauer von Flugbahnen mit der IDF-Kategorie „Red-or-Black-Kite“ am Komplex- und Offenlandstandort.	77
Abbildung 31: Zeitliche Verteilung und tägliche Aufzeichnungsdauer von Flugbahnen mit der IDF-Kategorie „White-tailed-Eagle“ am Komplex- und Offenlandstandort.....	78
Abbildung 32: Beispielhafte räumliche Verteilung von während drei Tagen (25.06./06.07./18.07.) als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkten am Komplexstandort im Sommer 2022.	81
Abbildung 33: Beispielhafte räumliche Verteilung von während drei Tagen (15.09./11.10./25.10.) als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkten am Komplexstandort im Herbst 2022.....	82
Abbildung 34: Beispielhafte räumliche Verteilung von während drei Tagen (14.09./10.10./24.10.) als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkten am Offenlandstandort im Herbst 2022.	83
Abbildung 35: Verteilung von als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkten am Komplex- (oben) und Offenlandstandort (unten) nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel während den Zeitperioden ohne gegenseitige Interferenz.	84
Abbildung 36: Verteilung der Zielarten-Aktivität („large_raptor“) nach Datum zwischen Morgen- und Abenddämmerung am Komplex- und Offenlandstandort.....	85
Abbildung 37: Verteilung der Zielarten-Aktivität („large_raptor“) nach Stunden für jeweils drei Tage im Sommer und Herbst.	85
Abbildung 38: Vertikale und horizontale Distanz des jeweils ersten Detektionspunktes eines nachbestimmten Zielart-Tracks zu IDF.....	88
Abbildung 39: Räumliche Verteilung und Distanz des jeweils ersten Detektionspunktes eines nachbestimmten Zielart-Tracks zu IDF.....	89
Abbildung 40: Radiale und vertikale Distanz des jeweils ersten Detektionspunktes eines basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks („large_raptor“) zum Radargerät für Rotmilan und Seeadler am Komplexstandort (a) und am Offenlandstandort (b).	90
Abbildung 41: Räumliche Verteilung der basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks („large_raptor“) in Relation zum BirdScangerät für Rotmilan	

und Seeadler am Komplexstandort (oben) und am Offenlandstandort (unten).....	91
Abbildung 42:IDF-Klassifizierung und nachbestimmte Klassifizierung am Komplex- und Offenlandstandort zusammen.....	96
Abbildung 43:Korrekt-Positiv-Rate/ „True-Positiv-Rate“ von IDF in Abhängigkeit zur horizontalen Distanz für den Rot-/Schwarzmilan (A) und Seeadler (B) für den Komplex- und Offenlandstandort zusammen.....	98
Abbildung 44:Falsch-Positiv-Rate/ „False-Positiv-Rate“ von IDF in Abhängigkeit zur horizontalen Distanz für den Rot-/Schwarzmilan und Seeadler für den Komplex- und Offenlandstandort zusammen.....	99
Abbildung 45:Korrekt-Positiv-Rate der BirdScan-Systeme basierend auf den IDF-Daten in Abhängigkeit der horizontalen Distanz zu den IDF-Systemen für den Rotmilan.....	101
Abbildung 46:Klassifizierung durch die BirdScan-Systeme basierend auf den IDF-Daten und nachbestimmte Klassifizierung.....	102
Abbildung 47:Anzahl und Dauer der Abschaltungen pro WEA durch IDF am Komplex- und Offenlandstandort.....	105
Abbildung 48:IDF-Klassifikation und nachbestimmte Klassifizierung zum Zeitpunkt der Abschaltung am Komplex- und Offenlandstandort.....	107
Abbildung 49: IDF-induzierte Abschaltungen am Komplex- und Offenlandstandort für den Rotmilan.....	110
Abbildung 50:IDF-induzierte Abschaltungen am Komplex- und Offenlandstandort für den Seeadler	111
Abbildung 51:Anzahl (oben) und Dauer (unten) der Abschaltungen pro Tag am Komplex- und Offenlandstandort.....	113
Abbildung 52:Für die Bodenhöhe korrigierte (a, b) und unkorrigierte (c, d) horizontale Distanz des ersten Messpunktes von als „large_raptor“ klassifizierten BirdScantracks beim Auslösen der Abschaltung bezüglich der virtuellen WEA am Komplexstandort und am Offenlandstandort zwischen Morgen- und Abenddämmerung (grün=Abstandszyylinder, magenta=Pufferbereich).....	115
Abbildung 53:Flugbahn in den inneren Abstandszyylinder (AZ _{innen}) nachbestimmter Rotmilane am Komplex- (A) und Offenlandstandort (B).....	117
Abbildung 54: Flugbahn in den inneren Abstandszyylinder (AZ _{innen}) nachbestimmter Seeadler am Komplex- (A) und Offenlandstandort (B).....	118
Abbildung 55:Gesamtleistung IDF-System.....	120
Abbildung 56:Anzahl Abschaltungen unterschieden nach Kategorien und Standort	122

Abbildung 57: Erfasste und geschätzte Ertragseinbußen unterschieden nach Kategorien und Standort.....	128
Abbildung 58: Anzahl der veranlassten bzw. geschätzten zusätzlichen Stopp- und Startvorgänge.....	130
Abbildung 59: Technischer Vergleich von Antikollisionssystemen.....	136

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Zielarten bzw. die IDF-Kategorien, die eine Abschaltung auslösen am Komplex- und Offenlandstandort.....	27
Tabelle 2: WEA-Parameter am Komplex- und Offenlandstandort.....	28
Tabelle 3: Fluggeschwindigkeiten des Rotmilans, die zur Berechnung der Abstandszylinder an den Untersuchungsstandorten herangezogen wurden.	28
Tabelle 4: Fluggeschwindigkeiten des Seeadlers, die zur Berechnung der Abstandszylinder an den Untersuchungsstandorten herangezogen wurden.	28
Tabelle 5: Dimensionierung der Abstandszylinder je nach Zielart (Rotmilan/Seeadler).....	30
Tabelle 6: Übersichtstabelle der IDF-Erfassungstage am Komplex- und Offenlandstandort.....	35
Tabelle 7: Übersichtstabelle der BirdScan-Erfassungstage am Komplex- und Offenlandstandort.....	39
Tabelle 8: Übersichtstabelle LRF-Erfassungen am Offenland- und Komplexstandort.....	45
Tabelle 9: Bewertungskategorien der Referenzdaten von LRF-Tracks.....	47
Tabelle 10: Beispielhafte Berechnung des Ertragsverlustes.....	63
Tabelle 11: Flugaktivität des Rotmilans während der Brutphasen in Mitteleuropa.....	64
Tabelle 12: Angenommene Verteilung der Seeadler-Flugaktivität über das Jahr.....	66
Tabelle 13: Exemplarische Verteilung der durchschnittlichen Anzahl Abschaltungen pro Tag über die einzelnen Tagesstunden während der Balzzeit.....	68
Tabelle 14: Überblick aller von den IDF-Systemen aufgezeichneter und klassifizierter Datenpunkte am Komplex- und Offenlandstandort.....	72
Tabelle 15: LRF-Referenzstichprobe für das IDF-System am Komplex- und Offenlandstandort.....	80

Tabelle 16:	Anzahl beurteilbare LRF-Tracks als Referenzdaten für die BirdScan-Systeme pro Zeitperiode und Zielart.....	86
Tabelle 17:	IDF-Erfassungsrate für die Zielarten am Komplex- und Offenlandstandort.....	92
Tabelle 18:	Anzahl und Anteil der basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks, die vom BirdScan-System am Komplexstandort in den Zeitperioden ohne Interferenz pro Distanzklasse detektiert worden sind.....	93
Tabelle 19:	Anzahl und Anteil der basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks, die vom BirdScan-System am Offenlandstandort in der Zeitperiode ohne Interferenz pro Distanzklasse detektiert worden sind.....	93
Tabelle 20:	Anzahl und Anteil der basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks, die vom BirdScan-System am Komplexstandort in der Zeitperiode mit Interferenz pro Distanzklasse detektiert worden sind.	94
Tabelle 21:	Anzahl und Anteil der basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks, die vom BirdScan-System am Offenlandstandort in der Zeitperiode mit Interferenz pro Distanzklasse detektiert worden sind.....	94
Tabelle 22:	Kreuztabelle aller nachbestimmter Datenpunkte und ihre IDF-Klassifizierung.....	95
Tabelle 23:	Mittlere Klassifizierungsraten in Abhängigkeit zur horizontalen Distanz zu IDF.....	97
Tabelle 24:	Anteil korrekt als „large_raptor“ klassifizierte Messpunkte des Rotmilans in Abhängigkeit des Standorts, der horizontalen Distanz, der Zeitperiode und der Klassifizierung.	100
Tabelle 25:	Anzahl und Dauer IDF-induzierter Abschaltungen insgesamt und durchschnittlich pro Tag am Komplex- und Offenlandstandort.....	104
Tabelle 26:	Erfolgsrate hinsichtlich generierter und verpasster Abschaltungen durch IDF beim Einflug der Zielarten in den inneren Abstandszylinder am Komplex- und Offenlandstandort.....	108
Tabelle 27:	Im Untersuchungszeitraum theoretisch durch den Einsatz von IDF angefallenen Ertragseinbußen	121
Tabelle 28:	Im Untersuchungszeitraum theoretisch durch den Einsatz von BirdScan angefallenen Ertragseinbußen	123
Tabelle 29:	Vergleich der Ertragseinbußen ausgelöst durch IDF bzw. BirdScan	123
Tabelle 30:	Durchschnittliche Dauer der Abschaltensignale unterschieden nach Kategorie und Standort.....	124
Tabelle 31:	Extrapolierte Milan-Abschaltungen durch IDF am Offenland Standort.....	125

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 32:	Extrapolierte Milan-Abschaltungen durch IDF am Komplex Standort.....	125
Tabelle 33:	Extrapolierte Seeadler-Abschaltungen durch IDF am Offenland Standort	126
Tabelle 34:	Extrapolierte Seeadler-Abschaltungen durch IDF am Komplex Standort.....	126
Tabelle 35:	Geschätzte jährliche Ertragseinbußen durch Milan- und Seeadlerflüge.....	127
Tabelle 36:	Geschätzte jährliche Ertragseinbußen durch die Kategorie Protected	127
Tabelle 37:	Geschätzte gesamte jährliche Ertragseinbußen	128
Tabelle 38:	Vergleich der KNE-Anforderungen mit den erzielten Leistungswerten für Rotmilan und Seeadler	138

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS:

AKS: Antikollisionssystem(e)

BfN: Bundesamt für Naturschutz

BNatSchG: Bundesnaturschutzgesetz

BT-Drucksache: Bundestagsdrucksache

BVerwG: Bundesverwaltungsgericht

H_{max}: Höhe des äußeren Abstandszylinders

H_{min}: Höhe des inneren Abstandszylinders

HL_{max}: Untere Grenze des äußeren Abstandszylinders

HL_{min}: Untere Grenze des inneren Abstandszylinders

HU_{max}: Obere Grenze des äußeren Abstandszylinders

HU_{min}: Obere Grenze des inneren Abstandszylinders

IDF: IdentiFlight

KNE: Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende

LRF: Laser Rangefinder; Laser-Entfernungsmesser (siehe Fachwortverzeichnis)

OVG: Oberverwaltungsgericht

PTU: Pan-Tilt Unit; deutsch: Schwenk-Neige-Einheit (siehe Fachwortverzeichnis)

R_{max}: Radius des äußeren Abstandszylinders

R_{min}: Radius des inneren Abstandszylinders

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition; deutsch: Überwachung, Steuerung und Datenerfassung (siehe Fachwortverzeichnis)

Tc: Time to clear (siehe Fachwortverzeichnis)

TTC: Time to Collision (siehe Fachwortverzeichnis)

WEA: Windenergieanlage/n

WP: Windpark

FACHWORTVERZEICHNIS:

Azimut: Ein nach einer Himmelsrichtung orientierter Horizontalwinkel

Abschaltzylinder: synonym mit Abstandszylinder – programmiertes Volumen, innerhalb dessen das Antikollisionssystem bei Detektion einer Zielart ein Abschaltsignal auslöst.

Äußerer Abstandszylinder: Definierter dreidimensionaler Bereich, in dem nach der Time To Collision Methode (siehe Fachwortverzeichnis) bedarfsgerecht Abschaltsignale generiert werden.

Blinder Fleck (IDF): Bereich, der beim Blick in die Sonne vom IDF-System nicht eingesehen werden kann

Blinde Zone (IDF): Bereich direkt über dem IDF-System, welcher von den Kamerasystemen nicht eingesehen werden kann.

Falsch-Negativ-Rate /false-negative-rate: Rate, mit der eine Zielart (z.B. Seeadler) nicht als diese bestimmt wird

Falsch-Positiv-Rate/ false-positive-rate: Rate, mit der eine Nicht-Zielart fälschlich als Zielart bestimmt wird

Habitatpotentialanalyse: Methode zur Ermittlung des Tötungs- und Verletzungsrisikos von kollisionsgefährdeten Brutvogelarten; Ziel ist, die voraussichtliche Raumnutzung von kollisionsgefährdeten Vogelarten auf der Grundlage von gegebenen Habitatstrukturen zu prognostizieren.

Horizontale Distanz: horizontale Entfernung ohne Berücksichtigung der Höhe

Homerange: Aktionsraum eines Tieres; Gebiet das im Zusammenhang mit den Aktivitäten eines Tieres (z.B. Nahrungssuche, Fortpflanzung) regelmäßig von diesem Tier frequentiert wird

Innerer Abstandszylinder: Definierter dreidimensionaler Bereich, in dem beim Eintreten einer Zielart sofort ein Abschaltsignal generiert wird.

Korrekt-Positiv-Rate/ true-positive-rate: Rate, mit der eine Zielart (z. B. Seeadler) korrekt als diese bestimmt wird

Laser Rangefinder: Gerät zur elektrooptischen Entfernungsmessung, mit dem z. B. die 3D Position von Vögeln bestimmt werden kann

Neuronales Netz: Zweig der künstlichen Intelligenz; hier verwendet für die Artklassifizierung von Vögeln

Pan-Tilt Unit (PTU): schwenk- und neigbarer Kamerakopf des IDF-Systems; verschiedene Versionen (PTU2 und PTU3) kamen bei den Untersuchungen der vorliegenden Studie zum Einsatz.

Radiale Distanz: direkte Entfernung zwischen zwei Objekten

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

SCADA: Kontrollsystem, welches zur Steuerung von technischen Prozessen in Windparks benutzt wird

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

Signifikanzschwelle (Artenschutz): Verfahren zur Bewertung des Tötungsrisikos geschützter Arten

Steigungswinkel: Vertikale Abweichung von der Horizontalen

Time to clear (Tc): Zeitlicher Zuschlag, in dem die Abschaltung weiter aufrecht erhalten bleibt, nachdem der Vogel den Abstandszylinder wieder verlassen hat

Time To Collision (TTC) Methode: Bedarfsgerechte Abschaltmethode, in welcher aus der Position, Geschwindigkeit und Flugrichtung der Zielart sowie der Abschaltzeit der WEA ein Vektor berechnet wird, der einen möglichen Kollisionskurs mit dem Rotorbereich der WEA beschreibt.

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

Trudelbetrieb (WEA): Im Rahmen dieser Studie werden für den Trudelbetrieb 2 Umdrehungen pro Minute angenommen.

0 Zusammenfassung

Technische Systeme zur Vogeldetektion und daran gekoppelte, bedarfsgerechte Abschaltungen (Antikollisionssysteme) stellen eine aktuell vielfach diskutierte Möglichkeit dar, um ein signifikant erhöhtes Tötungsrisiko kollisionsgefährdeter Arten zu vermeiden. Gemäß Abschnitt 2 der Anlage 1 zu § 45b Absatz 1-5 BNatSchG ist jedoch bislang nur ein System (IdentiFlight) und auch nur für eine Art (Rotmilan) als Schutzmaßnahme artenschutzrechtlich anerkannt. Insgesamt ist der aktuelle Kenntnisstand über die Leistungsfähigkeit und standörtliche Eignung einzelner Systeme im Anwendungsfall bislang noch begrenzt. Es bedarf daher einer weiteren Erprobung von Systemen an konkreten Standorten unter der Berücksichtigung regional charakteristischer Standortausprägungen.

Vor diesem Hintergrund wurde 2022 im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin in der südlichen Uckermark an zwei benachbarten Standorten eine Erprobung der Leistungsfähigkeit je eines Kamera- und eines Radarsystems vorgenommen. Das Vorhaben dient dem Gewinn empirischer Nachweise über Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und potenzielle Einsatzbereiche von Detektionssystemen zur ereignisbezogenen Betriebsregulierung von Windenergieanlagen (WEA). Hierdurch soll eine für das Land Brandenburg gültige, fachlich valide Wissensgrundlage geschaffen werden. Ausgewählt wurden zwei Systeme (Kamerasystem: IdentiFlight und Radarsystem: BirdScan MS1) mit der Intention, dass sie aufgrund ihrer Funktionsweise für möglichst viele Vorhabenkonstellationen im Land Brandenburg in Betracht kommen. Mit der Erprobung wurden folgende Ziele verfolgt:

- Verifizierung der Herstellerangaben über Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Detektionssystemen anhand deren Detektionseigenschaften;
- Ermittlung des Wirkungsgrades und der standörtlichen Eignung von Detektionssystemen als Basis für eine fundierte und rechtssichere Entscheidungsgrundlage für Genehmigungs- und Fachbehörden im Land Brandenburg;
- Abschätzung der mit den ausgelösten Abschaltungen verbundenen wirtschaftlichen Auswirkungen;
- Ableitung möglicher Weiterentwicklungserfordernisse für einzelne Systeme auf der Basis generierter Erprobungsergebnisse;
- Reflexion über die Bedeutung und die Einordnung der gewonnenen Erkenntnisse mit Entscheidungsträgern des Landes Brandenburg (PAG sowie Diskussionsveranstaltung). Landesinterner Dialog mit den Akteuren, verbunden mit einem Wissenstransfer von der Forschung und Erprobung in die Praxis.

Das Kamerasystem IdentiFlight (IDF) besteht aus acht Weitwinkelkameras für die Detektion von Flugobjekten und einer beweglichen Stereokamera, welche eine Zielart beim Anflug auf eine WEA erkennt und bei Unterschreiten eines kritischen Abstandes ein Abschaltensignal sendet (d.h. die WEA in den Trudelbetrieb bringt). Erst wenn der Vogel diesen kritischen Abstand wieder

verlassen hat, wird die Anlage nach Einhaltung einer gewissen Sicherheitszeitspanne (3 min) wieder in Betrieb gesetzt. Die Klassifizierung eines detektierten Flugobjekts basiert auf einem neuronalen Netz. Dabei wird zwischen „Red-or-Black Kite“ (Milane) und „White-Tailed-Eagle“ (Seeadler), „Protected“ (Großvogel, für den ebenfalls eine Abschaltung ausgelöst wird), „Buzard“ (Bussarde – keine Abschaltung) sowie „Other Avian“ (sämtliche anderen Vögel – keine Abschaltung) unterschieden.

Beim Radarsystem BirdScan MS1 handelt es sich um ein frequenzmoduliertes Dauerstrich-Radar im X-Band-Bereich, ausgestattet mit fixen Radarsensoren (Antennen), mit einer Sendefrequenz von 9.4 GHz und einer Distanz-Auflösung von 2 m. Es besteht aus einer zentralen Recheneinheit, an welcher je nach gewünschter Abdeckung des Luftraums mehrere Antennen angeschlossen werden können. Eine Antenne deckt horizontal einen Winkel von 90° und vertikal einen Winkel von 40° ab. In der vorliegenden Untersuchung wurde das BirdScan-System mit vier Antennen ausgestattet, so dass der Luftraum im Umkreis von 360° überwacht werden konnte. Jede Antenne sendet entsprechend ihrer Ausrichtung kontinuierlich bestehende Radarstrahlen aus. So wird der Verlauf der Bewegung von mehreren Objekten gleichzeitig, die den überwachten Luftraum durchqueren, permanent dreidimensional erfasst. Weiter werden die vom BirdScan registrierten Objekte basierend auf den Eigenschaften der Echosignaturen in Echtzeit klassifiziert. Dabei wird zwischen „Large Raptor“ (mittelgroße Greifvögel wie Milane und Bussarde, für die eine Abschaltung ausgelöst werden soll) sowie „Other Bird“ (sämtliche anderen Vögel ohne Abschaltung) unterschieden.

Das verwendete Untersuchungskonzept folgt den standardisierten Vorgaben von KNE (2019). Die Erprobung erfolgte dementsprechend nach folgenden Kriterien:

1. Räumliche und zeitliche Abdeckung,
2. Erfassungsreichweite,
3. Erfassungsrate,
4. Klassifizierungsrate,
5. Wirksamkeit und Effizienz der Abschaltung.

Das Untersuchungsgebiet wurde nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- für Brandenburg typische landschaftliche Struktur- und Reliefmuster,
- zwei Untersuchungsstandorte:
 - Komplexstandort mit höherer Reliefenergie und kleinteiligen Struktureinheiten (zahlreiche Hecken, Gehölze),
 - Offenlandstandort mit geringer Reliefenergie und wenigen Struktureinheiten (kaum Hecken, Gehölze),
- relative Nähe zu divers strukturierten Waldrändern an beiden Standorten,
- für Brandenburg repräsentatives Artvorkommen der Avifauna, insbesondere von Rotmilan und Seeadler mit überdurchschnittlich hoher Flugaktivität.

2021 wurden auf Basis dieser Liste zahlreiche potenzielle Standorte in Brandenburg geprüft und schließlich zwei geeignete Standorte in der Gemeinde Peetzig nahe der Stadt Greiffenberg in der südlichen Uckermark identifiziert. Im nahen Umfeld der Untersuchungsstandorte befanden sich 2022 vier Rotmilanreviere sowie drei Seeadlerreviere. Der Komplexstandort lag auf einer Kuppe, die teilweise mit Hecken umgeben war. Hier befanden sich die beiden Systemtypen unmittelbar nebeneinander. Der Offenlandstandort befand sich auf einem Acker, wo die Systeme rund 95 m voneinander entfernt installiert worden sind.

Für die Untersuchung der Abschaltung durch beide Systeme wurden virtuelle Standorte von WEA programmiert. Als WEA-Typ wurde eine Vestas V-150 mit einer Nabenhöhe von 165 m und einem Rotorradius von 75 m programmiert. Nach Angaben des Herstellers benötigt dieser Anlagentyp ca. 35 s vom Eintreffen des Abschaltsignals bis zum Erreichen des Trudelbetriebs. Diese Zeitspanne wurde in den nachfolgenden Berechnungen als Abschaltzeit verwendet. Für die Zielarten Rotmilan und Seeadler sollte eine Abschaltung ausgelöst werden, wenn sich ein Individuum dieser Vogelarten in einem potenziellen Gefahrenbereich um die virtuelle WEA befand. Dieser Gefahrenbereich wurde auf der Basis der mittleren Fluggeschwindigkeiten der beiden Zielarten sowie der Abschaltzeit als Zylinder um die WEA-Standorte mit einem Radius von 502 m (BirdScan-System bzw. Seeadler-Radius beim IDF-System) bzw. 373 m (Rotmilan-Radius beim IDF-System) programmiert.

Der Erfassungszeitraum der IDF-Systeme erstreckte sich vom 10.06. bis 29.11.2022. Dabei kam es an einem Gerät zu 17 Ausfalltagen, woraus sich eine zeitliche Verfügbarkeit von 90 bzw. 100 % ergibt. Bei den BirdScan-Systemen kam es aufgrund von Lieferengpässen, einer defekten Antenne und Interferenzproblemen bei gleichzeitigem Betrieb beider Systeme zu kürzeren Erfassungszeiträumen. So generierte im Ergebnis das BirdScan-System am Komplexstandort an 53 Tagen und das BirdScan-System am Offenlandstandort an 46 Tagen belastbare Daten.

Von den IDF-Systemen wurden an beiden Untersuchungsstandorten zusammen 1.587.578 Datenpunkte detektierter Flugobjekte aufgezeichnet, davon 1.344.843 mit Foto. Ca. 60 % der Datenpunkte stammen vom Komplexstandort, ca. 40 % vom Offenlandstandort. Insgesamt liegen rd. 384.000 Datenpunkte mit Foto vor, die von IDF als Rot- oder Schwarzmilan klassifiziert wurden, rd. 141.000, die als Seeadler klassifiziert wurden und rd. 112.000 mit der Klassifizierung „Protected“. Demgegenüber wurde von den BirdScan-Systemen trotz der deutlich kürzeren Laufzeit eine vielfach größere Datenmenge aufgezeichnet. So sind insgesamt rund 758.200 Radartracks der Kategorie „large_raptor“ bestehend aus 43,8 Millionen Messpunkten registriert worden. Über den Untersuchungszeitraum schwankten die Werte zwischen rund 400 bis 11.000 Tracks pro Tag.

Zusätzlich zu IDF und BirdScan wurden von Ornithologen an 101 Tagen Referenzdaten mit Hilfe von Laser Rangefindern (LRF) aufgezeichnet. Diese beliefen sich in der Summe auf 426 Rotmilan-Flugbahnen und 343 Seeadler-Flugbahnen. Diese Referenzflugbahnen dienten für die IDF- und BirdScan-Systeme als Vergleichsgrundlage für die Ermittlung der Erfassungsrate. Für die Auswertung der BirdScan-Daten wurden die LRF-Referenzdaten zusätzlich als Nachbestimmungsgrundlage für die Ermittlung der Erfassungsreichweite und der Rate der

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

korrekten Klassifizierung verwendet. Ein zweiter Referenzdatensatz wurde durch die Kombination der BirdScan- und IDF-Daten generiert. Das Ziel dieses Datensatzes war es zum einen, für BirdScan-Tracks anhand der vom IDF-System aufgezeichneten Bilder eine verifizierte Klassifikation zu erhalten. Zum anderen sollte dadurch ein vollständigeres Bild der Vogelaktivität vor Ort gezeichnet werden, unabhängig vom jeweils zu überprüfenden System. Hierfür wurden 915 Rotmilan-Tracks, 1.422 Seeadler-Tracks, 32 Milan-Tracks (nicht genauer bestimmbar) und 5.242 Tracks von anderen Vogelarten aus BirdScan- und IDF-Daten kombiniert. Im Ergebnis zeigte das BirdScan-System bei der Erfassungsrate und der Erfassungsbereichweite sehr hohe Werte, wohingegen das Kamerasystem bei der Klassifizierung besser abschnitt:

Erprobungskriterium	Ergebnisse IdentiFlight	Ergebnisse BirdScan
Räumliche Abdeckung	Insgesamt ca. 97,5 % In Rotorhöhe 100 %	Innerhalb des Öffnungswinkels (40 °) 100 %
Zeitliche Abdeckung	Komplexstandort: 100 % Offenlandstandort: 90 %	Komplexstandort: 98 % Offenlandstandort: 88 %
Erfassungsbereichweite	Rotmilan ca. 750 m Seeadler bis 1.200 m	Rotmilan 1.800-2.000 m Seeadler bis 2.800 m
Erfassungsrate	Komplexstandort: Rotmilan 90,5 % Seeadler 96 % Offenlandstandort: Rotmilan 92,7 % Seeadler 91,6 %	Komplexstandort: Rotmilan bis 700 m 98,7 % Rotmilan bis 1.400 m 100 % Seeadler bis 700 m 100 % Seeadler bis 1.400 m 96,6 % Offenlandstandort: Rotmilan bis 2.000 m 100 % Seeadler bis 2.000 m 100 %
Klassifizierungsrate	Rotmilan: 97 % Seeadler: 99 %	Rotmilan als „large raptor“: Komplexstandort bis 370 m 86,2 % Komplexstandort 370-740 m 80,6 % Offenlandstandort bis 370 m 92,7 % Offenlandstandort 370-740 m 87,2 %

Die IDF-Systeme lösten an den beiden Standorten im Mittel 9,7 bzw. 9,9 Abschaltungen pro Tag aus. Dies führte pro Tag zu einer Abschaltdauer von durchschnittlich 39 bzw. 41 min. Demgegenüber lösten die BirdScan-Systeme am Komplexstandort durchschnittlich 35,5 und am Offenlandstandort durchschnittlich 21,8 Abschaltungen pro Tag aus. Dies führte pro Tag im Mittel zu einer Abschaltdauer von 174 min am Komplexstandort und 98,9 min am Offenlandstandort. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, dass diese Werte aufgrund eines Fehlers bei der Höhenprogrammierung des Abstandszylinders, der sich erst im Rahmen der Auswertung herausstellte, überschätzt sind. Die Häufigkeit der Abschaltungen wurde minimal um 11-13% und die Dauer minimal um 7-8% überschätzt. Andererseits liegen Abschalt-Daten des

BirdScan-Systems nur aus dem Zeitraum September bis November vor, d.h. aus einer Periode mit gegenüber der Brutzeit deutlich reduzierter Flugaktivität.

Auf der Basis der durch die Systeme generierten Abschaltensignale wurde zusätzlich eine Abschätzung der damit verbundenen wirtschaftlichen Auswirkungen vorgenommen. Hierfür erfolgte eine Berechnung der aus den Abschaltungen resultierenden Ertragsverluste, für die als Vergleichsgrundlage zunächst der erwartbare Jahresenergieertrag ermittelt wurde. Letztlich wurde für jede Stunde des Jahres der erwartete Ertrag der zugrunde gelegten WEA ermittelt, woraufhin in einem zweiten Schritt die durch die Systeme vorgenommenen Abschaltereignisse einbezogen wurden. Aufgrund der eingeschränkten Erfassungsperiode mussten die Abschaltereignisse auf den gesamten Jahresverlauf extrapoliert werden. Da hierfür jedoch zunächst eine zielartenspezifische Hochrechnung der Flugaktivität auf den Jahresverlauf erforderlich ist, konnte diese Extrapolation nur für IDF durchgeführt werden, da nur dieses System spezifisch für bestimmte Vogelarten abschaltet (hier: Rotmilan und Seeadler). Die Abschätzung der Ertragsverluste für das wesentlich unspezifischer abschaltende BirdScan-System konnte nur aus dem Verhältnis der Anzahl der Abschaltungen zu derjenigen von IDF für den konkreten Untersuchungszeitraum abgeleitet werden.

Im Ergebnis wurde festgestellt, dass im Untersuchungsgebiet der Einsatz des IDF-Systems zum Schutz von Rotmilan und Seeadler mit den gewählten Einstellungen zu jährlichen Ertragseinbußen zwischen 5,0 und 5,4 % geführt hätte. Bei Ausschluss der aufgrund der hohen Klassifizierungssicherheit nicht notwendigen fail-safe Kategorie sinkt der Wert auf ca. 3 % zum Schutz beider Arten. Betrachtet man die jährlichen Ertragseinbußen getrennt für die beiden Arten, ergeben sich Werte von deutlich unter 3 %. Auf der Grundlage der höheren Anzahl an Abschaltensignalen des BirdScans während des Zeitraums des gleichzeitigen Betriebs beider Systeme wurde der Ertragsverlust durch das BirdScan am Offenlandstandort auf 29,5 % und am Komplexstandort auf 14,7 % geschätzt, wobei diese Werte aufgrund des falsch programmierten Abstandszylinders zu hoch sind. Hinzu kommt, dass beim BirdScan für Rotmilane früher abgestellt worden ist (größerer Abstandszylinder) als beim IDF, da beim BirdScan keine artspezifische Klassifizierung möglich war.

Für beide Systeme gilt es zu berücksichtigen, dass diese Werte spezifisch für den untersuchten Standort gelten, an dem eine sehr hohe Flugaktivität der Zielarten herrscht, und somit nicht übertragbar sind. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass an typischen Windparkstandorten mit geringerem Brutbestand auch deutlich geringere Ertragseinbußen infolge bedarfsgerechter Abschaltungen durch Antikollisionssysteme zu erwarten sind. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die für die vorliegende Schätzung verwendete einheitliche Dauer des Startvorgangs nach Beendigung des Abschaltensignals mit 9 min als konservativ anzusehen ist und die Ertragseinbußen bei kürzeren Startvorgängen entsprechend geringer sind.

In Bezug auf das Kamerasystem IDF liegen bereits eine Reihe von Vergleichsuntersuchungen vor, in die sich die vorliegenden Ergebnisse gut einfügen. Für das System BirdScan sind hingegen derzeit noch keine derartigen Wirksamkeitsuntersuchungen bekannt. Im Vergleich mit den vom KNE formulierten Anforderungen für die fachliche Eignung und Anerkennung von

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Antikollisionssystemen zeigt, sich, dass IdentiFlight diese Anforderungen vollständig erfüllt bzw. z.T. deutlich übertrifft, und zwar für beide Zielarten. Dies gilt für BirdScan in gleicher Weise für die Kriterien der Erfassungsreichweite und der Erfassungsrate. Bei der Klassifizierungsrate bleiben die Werte zumindest teilweise knapp unterhalb der für den Reaktionsbereich (hier rd. 500 m) geforderten 90 %. Herausragend ist bei BirdScan die sehr große Erfassungsreichweite, die diejenige von IdentiFlight deutlich übertrifft. Dies gilt auch für die Erfassungsrate.

Hinsichtlich IdentiFlight wurden die Ergebnisse bestätigt, die zur fachlichen Anerkennung als geeignete Schutzmaßnahme für den Rotmilan in Anlage 1 zu § 45b Abs. 1-5 BNatSchG geführt haben. Für BirdScan zeigte sich, dass das System Rotmilane und Seeadler auf eine sehr große Entfernung erfolgreich detektieren kann. Zudem kann ein BirdScan-System im Gegensatz zum IDF mehrere Vögel gleichzeitig verfolgen. In Bezug auf die Klassifizierungsrate besteht allerdings noch Optimierungsbedarf. Sobald hierfür bessere Leistungswerte erzielt werden, sollte das System ebenfalls als fachlich geeignete Schutzmaßnahme anerkannt werden können.

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Der naturverträgliche, beschleunigte Ausbau der Windkraft an Land ist ein zentrales Ziel der Bundesregierung. Der Koalitionsvertrag sieht vor, den Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch bis 2030 auf 80 % zu erhöhen und die Klimaneutralität bis spätestens 2045 zu erreichen. Diese Klimaschutzziele sollen erreicht werden, ohne das ökologische Schutzniveau abzusenken. Ziel ist es daher, zügige und rechtssichere Genehmigungsverfahren für Windenergieanlagen zu ermöglichen, unter gleichzeitiger Wahrung hoher und insbesondere unionsrechtlich gebotener ökologischer Standards. (BT-Drucksache 20/2354, S. 17).

Die artenschutzrechtlichen Anforderungen bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen sind in den vergangenen Jahren stetig angewachsen und nach Ansicht der AGORA ENERGIEWENDE (2021) vor allem 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.

Abschnitt 2 der Anlage 1 zu § 45b Absatz 1-5 BNatSchG enthält eine – nicht abschließende - Auflistung von fachlich anerkannten Schutzmaßnahmen. Darin werden auch Antikollisionssysteme thematisiert, von denen jedoch bislang nur für den Rotmilan ein nachweislich wirksames, kamerabasiertes System zur Verfügung steht.

Technische Systeme zur Vogeldetektion und daran gekoppelte, bedarfsgerechte Abschaltungen (Antikollisionssysteme - AKS), stellen inzwischen jedoch eine vielfach diskutierte Möglichkeit dar, um ein signifikant erhöhtes Tötungsrisiko kollisionsgefährdeter Arten zu vermeiden. Entsprechend befindet sich eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme in der Entwicklung und Erprobung (KNE 2022).

Im Land Brandenburg werden für windenergiesensible Vogelarten artspezifische Abstandsempfehlungen (TAK - Tierökologische Abstandskriterien) zu den Brutstandorten als Vermeidungsmaßnahme vorgesehen. Dadurch scheiden große siedlungsferne Flächenanteile für die Windenergienutzung aus. Bereits ausgewiesene Eignungsgebiete werden unter anderem aufgrund der Schutzabstände nicht vollständig genutzt. Gleichzeitig gibt es Unsicherheiten, wie die potenziellen Auswirkungen eines Vorhabens auf am Standort vorkommende Vogelarten prognostiziert und bewertet werden können, insbesondere in Bezug auf die Kollisionsrisiken. Der Einsatz von AKS zur Verminderung von Vogelkollisionsrisiken an Windenergieanlagen könnte hier für Brandenburg einen Lösungsansatz bieten. Der aktuelle Kenntnisstand über die Leistungsfähigkeit und standörtliche Eignung einzelner Systeme im Anwendungsfall ist jedoch bislang noch begrenzt. Es bedarf daher einer Erprobung der Systeme an konkreten Standorten unter der Berücksichtigung der vorherrschenden und für Brandenburg charakteristischen Standortausprägungen.

Vor diesem Hintergrund wurde 2022 im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin in der südlichen Uckermark an zwei benachbarten Standorten eine Erprobung der Leistungsfähigkeit je eines Kamera- und eines Radarsystems vorgenommen. Das Vorhaben dient dem Gewinn empirischer Nachweise über Leistungsfähigkeit, Genauigkeit, Zuverlässigkeit und potenzielle Einsatzbereiche von Detektionssystemen zur ereignisbezogenen Betriebsregulierung von Windenergieanlagen. Hierdurch soll eine für das Land Brandenburg gültige, fachlich valide Wissensgrundlage geschaffen werden.

Ausgewählt wurden zwei Systeme (Kamerasystem: IdentiFlight und Radarsystem: BirdScan MS1) mit der Intention, dass sie aufgrund ihrer Funktionsweise für möglichst viele Vorhabenkonstellationen (einzelne Anlagen, größere Windparks, Ebene der Regionalplanung) im Land Brandenburg in Betracht kommen. Wesentlich war zudem, dass ihr Entwicklungs- und Erprobungsstand bereits weit fortgeschritten ist (KNE 2022).

Folgende grundlegende Fragestellungen sollten mit dem Vorhaben bearbeitet werden:

- a) Können die erprobten Detektionssysteme Prognoseunsicherheiten über Kollisionsrisiken am Standort verringern, und die vorbereitende Standortbewertung „sicherer“ bzw. belastbarer machen? (Bezug: Planungs- und Vorhabenebene)
- b) Können die Systeme – das heißt, die Vogelerkennung gekoppelt mit einer ereignisbezogenen Abschaltung der Windenergieanlagen – das Kollisionsrisiko unter die Signifikanzschwelle senken, wie es für die Genehmigungsfähigkeit erforderlich ist? (vgl. § 44 Abs. 5 Nr. 1 BNatSchG).
- c) Welche wirtschaftlichen Auswirkungen hat der Einsatz von Detektionssystemen, d.h. welche Ertragsverluste werden hervorgerufen?

Demgemäß wurden folgende konkrete Ziele verfolgt:

- Verifizierung der Herstellerangaben über Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Detektionssystemen anhand deren Detektionseigenschaften (vgl. Anforderungsprofil, KNE 2019) durch unabhängige Erprobungen.
- Ermittlung des Wirkungsgrades und der standörtlichen Eignung von Detektionssystemen als Basis für eine fundierte und rechtssichere Entscheidungsgrundlage für Genehmigungs- und Fachbehörden im Land Brandenburg.
- Abschätzung der mit den ausgelösten Abschaltungen verbundenen wirtschaftlichen Auswirkungen.
- Ableitung möglicher Weiterentwicklungserfordernisse für einzelne Systeme auf der Basis generierter Erprobungsergebnisse.
- Reflexion über die Bedeutung und die Einordnung der gewonnenen Erkenntnisse mit Entscheidungsträgern des Landes Brandenburg (PAG sowie Diskussionsveranstaltung). Landesinterner Dialog mit den Akteuren, verbunden mit einem Wissenstransfer von der Forschung und Erprobung in die Praxis.

Aufgabe des vorliegenden Berichts ist die Auswertung der Kamera- und Radardaten und die entsprechende Darstellung der Ergebnisse der Systemerprobungen. Diese werden gemäß den artenschutzrechtlichen Anforderungen sowie den genannten Zielen und Fragestellungen bewertet.

2 Funktionsweise der Systeme

2.1 IDF

2.1.1 Hardware

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 bis zu 10 m im Offenland bzw. bis zu 42 m im Wald montiert (Abbildung 1).

Für die Überwachung des Luftraums greifen die beiden Kameraeinheiten wie folgt ineinander: Die untere Einheit aus acht kreisförmig angeordneten Weitwinkelkameras überwacht permanent, im horizontalen 360° Umkreis, wobei die Erfassungsreichweite von der Größe der zu detektierenden Zielart abhängt. Für den Rotmilan wurden bereits ca. 750 m ermittelt (REICHENBACH *et al.* 2021) und für Adler ca. 1.000 m (MCCLURE *et al.* 2018; REICHENBACH *et al.* 2023b).

Die Weitwinkelkamera-Einheit dient dazu Bewegungen im Luftraum zu detektieren (Objekte, die sich für mehr als 30 s nicht fortbewegen, werden ignoriert) und relevante Flugobjekte herauszufiltern. Dabei ist die Beobachtung von mehreren Objekten gleichzeitig möglich. Irrelevante Flugobjekte (z. B. Flugzeuge, Fahrzeuge, Rotorblätter, Fallschirmspringer oder kleine Vögel) werden von relevanten Flugobjekten (z. B. Exemplare der Zielart Rotmilan oder Seeadler) auf der Basis bestimmter Objekt-Parameter unterschieden, die mit einer Frequenz von 5 Hz von den Weitwinkelkameras erfasst werden: Helligkeit, ungefähre Größe, Geschwindigkeit, Position und Bewegungsmuster des detektierten Objekts.

Wird aufgrund dieser Objekt-Parameter auf die Detektion eines relevanten Flugobjekts geschlossen (Exemplar einer Zielart), so erfolgt eine Meldung an die zweite Kameraeinheit – die Stereokamera. Die Stereokamera 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. Die Entfernungsmessung sowie der Winkel bei der Verortung des Vogels kann dabei einen Fehler von ca. 5 % aufweisen (Hersteller-Angaben). Die hohe Auflösung der Stereokamera ermöglicht eine genauere Farb-, Form- und Bewegungsmustererkennung und damit eine Klassifizierung des detektierten Objekts

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

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. Ebenso wie die Weitwinkelkamera-Einheit kann auch die Stereokamera mehrere Objekte gleichzeitig verfolgen, in dem sie – je nach programmierter Priorisierung – zwischen diesen hin und her schwenkt.



Abbildung 1: Installiertes IdentiFlight-System

Die Stereokamera kann sich mithilfe zweier Kalibrierungstafeln, die in ca. 300 m und 500 m Entfernung zum Kamerastandort fest aufgebaut werden, automatisch selbst kalibrieren (Überprüfung der Winkel- und Entfernungsmessung und ggf. Korrektur). Automatisch beheizbare Kameralinsen gewährleisten zudem einen ganzjährigen Einsatz von IDF (z. B. bei Regen oder Schnee). Laut Hersteller erstreckt sich das vertikale Sichtfeld der IDF-Weitwinkelkameras von -1° bis $+64^\circ$ Steigungswinkel, das vertikale Sichtfeld der IDF-Stereokamera von technisch -18° bis $+83^\circ$ (PTU V2) bzw. technisch -30° bis $+90^\circ$ (PTU V3), wobei die tatsächlichen Winkel je nach Standortparameter und Leistungsanforderungen angepasst werden müssen. Die IDF-Systeme weisen somit eine „blinde Zone“ unmittelbar über sich auf, innerhalb derer keine Objekte entdeckt und durch die keine Objekte verfolgt werden können (Abbildung 11). Zudem gibt der Hersteller bei klarem Himmel einen „blinden Fleck“ von 15° um

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

die Sonne an, wenn sich ein Objekt, vom Standpunkt von IDF, direkt vor der Sonne befindet. Im Rahmen der Wirksamkeitsuntersuchung zum Rotmilan (REICHENBACH *et al.* 2021) konnte jedoch gezeigt werden, dass diese technische Angabe in der Praxis unterschritten wird und von einem „blinden Fleck“ von unter 5° um die Sonne auszugehen ist. Darüber hinaus gibt der Hersteller an, dass die Einschränkungen des Sichtfeldes von IDF aufgrund der genannten technischen Parameter, des Sonnenstandes oder durch topografische Gegebenheiten durch ein Netzwerk aus mehreren IDF-Systemen minimiert werden können.

Falls aus technischen oder datenschutzrechtlichen Gründen erforderlich, können bestimmte Bereiche maskiert werden. Das bedeutet, diese Bereiche können zwar theoretisch von den Kameras erfasst werden, sind aber technisch „geschwärzt“ und werden nicht aufgenommen.

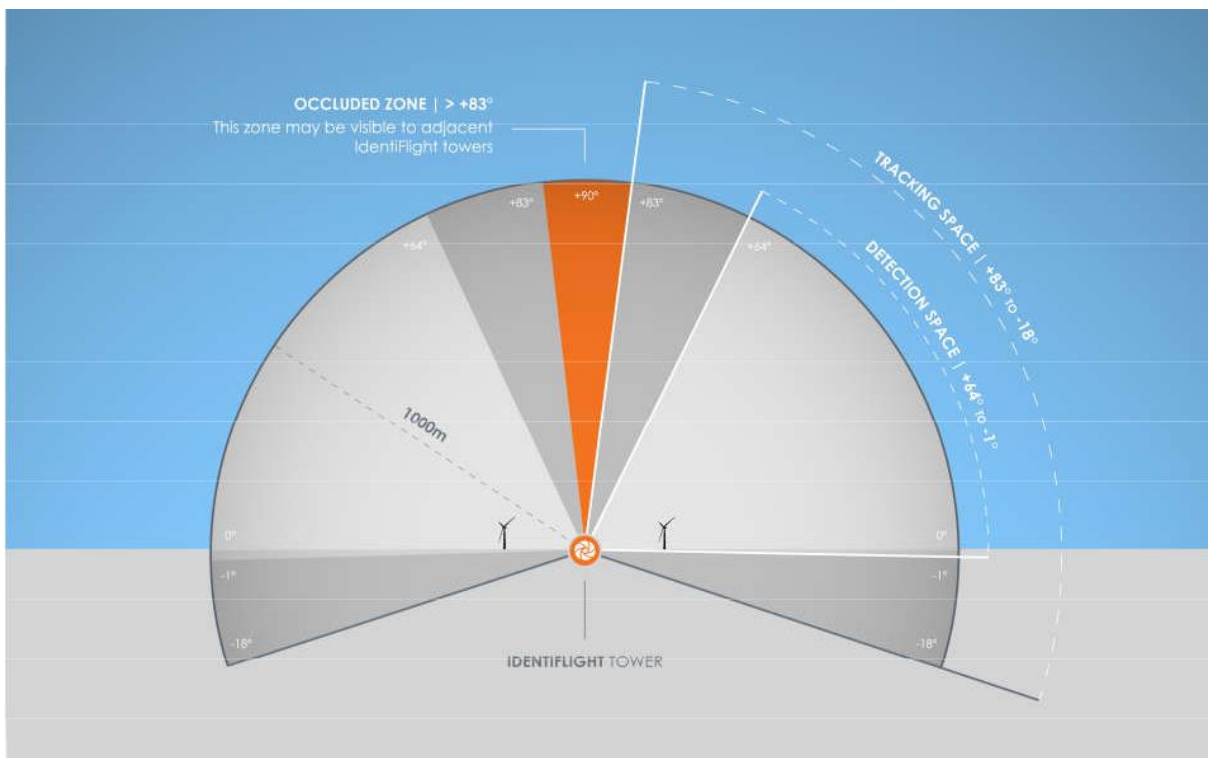


Abbildung 2: Sichtfeld eines Identiflight-Systems PTU V2. Quelle: Abbildung des Herstellers.

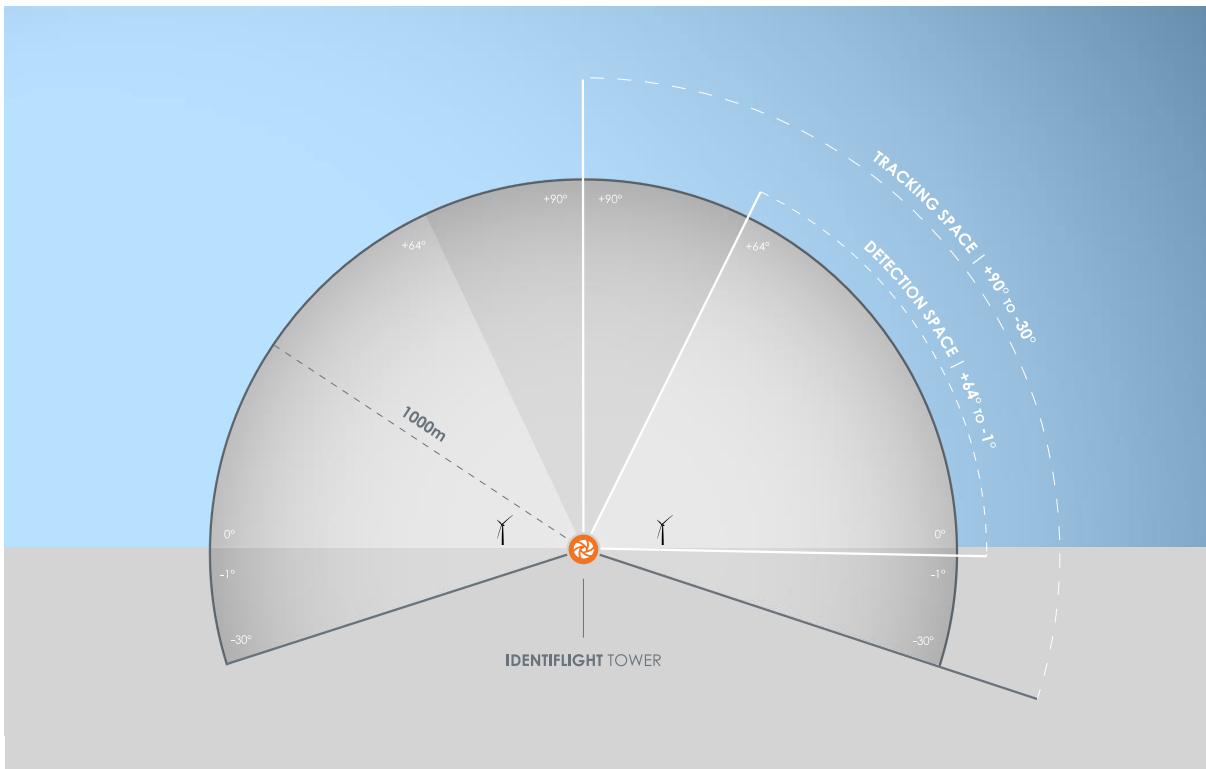


Abbildung 3: Sichtfeld eines Identiflight-Systems PTU V3. Quelle: Abbildung des Herstellers.

2.1.2 Software

Die Klassifizierung eines detektierten Flugobjekts basiert auf einem neuronalen Netz. Informationen der Stereokamera – Fotos sowie die Entfernungsinformationen – werden in Echtzeit vom neuronalen Netz verwendet, um das Flugobjekt zu klassifizieren. Dabei wird zu jeder Klassifizierung ein Konfidenzwert ausgegeben, der angibt, wie sicher sich das System mit der Klassifizierung ist.

Basierend auf einem Bild durch die Stereokamera wird somit für jeden sekundlichen Datenpunkt ein Konfidenzwert ermittelt und von IDF gespeichert. Für eine Sichtung der Daten, wie bspw. in der vorliegenden Untersuchung, fasst IDF Datenpunkte mit zeitlichem und räumlichem Zusammenhang sowie ähnlicher Flugrichtung, in sog. „Tracks“ mit jeweils einer Track-ID zusammen. Für die Entscheidung des Klassifizierungsalgorithmus sind diese Tracks allerdings nicht von Relevanz.

Die Klassifizierung durch das IDF-System zeichnet sich durch eine vorsorglich intendierte Übergewichtung des Falsch-Positiv-Fehlers aus. Das bedeutet, dass im Zweifelsfall eine Nicht-Zielart eher als Zielart eingeordnet wird als umgekehrt. Es wird demnach analog den Regeln der

Funktionalen Sicherheit¹ im Zweifelsfall in den sicheren Zustand (Trudelbetrieb der Anlage) gewechselt.

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

Zur Minimierung der Datengröße wird das Foto bereits vor dem Ablegen auf die Größe des Flugobjektes zugeschnitten. Diejenigen Flugbewegungen, die ein Abschaltsignal generiert haben, werden zusätzlich in einer separaten Datei mit denselben Informationen abgelegt.

2.1.3 Abschaltung der Windenergieanlagen

Zum Schutz der programmierten Zielart (hier Rotmilan und Seeadler) arbeitet das IDF-System mit einem vektoriellen Abschaltalgorithmus (Time To Collision Methode), der auf zwei Abstandszylindern (äußerer und innerer Abstandszylinder) rund um die WEA beruht (Abbildung 4).

Jede Sekunde zeichnet IDF einen Datenpunkt auf, für den unter anderem die Position sowie die Flugrichtung des detektierten Seeadlers von IDF aus den 10 Hz Daten berechnet werden. Solange sich der Seeadler außerhalb des äußeren Abstandszylinders (mit einem Radius von R_{\max} und einer Höhe von H_{\max}) aufhält, wird kein Abschaltsignal ausgegeben. Unterschreitet der Vogel allerdings diesen Abstand (R_{\max}) wird immer dann ein Abschaltsignal generiert, wenn sich der Vogel auf „Kollisionskurs“ befindet. Das bedeutet, dass der Vektor seiner Flugroute, nach einer bestimmten Zeit t („Time-to-Collision“), bei gleichbleibender Flugrichtung und -geschwindigkeit den Rotorbereich der WEA kreuzt. Dabei muss die „Time-to-Collision“ der jeweiligen Zeitspanne bis zum Übergang in den Trudelbetrieb der WEA entsprechen, damit der Vogel beim Eintreffen im Rotorbereich nicht mehr gefährdet ist. Im Folgenden wird daher die Abschaltzeit gleichgesetzt mit der „Time-to-Collision“.

Bei Eintritt in den inneren Abstandszylinder (mit einem Radius von R_{\min} und einer Höhe von H_{\min}), wird immer ein Abschaltsignal ausgegeben, unabhängig von der Flugrichtung und -geschwindigkeit des Vogels. Dies gilt in gleicher Weise, wenn der Vogel erst innerhalb des R_{\min}

¹ https://de.wikipedia.org/wiki/Funktionale_Sicherheit, abgerufen am 08.05.2021

detektiert wird, z.B. nach Auffliegen von einer Sitzwarte oder nach Auftauchen aus einem zuvor sichtverschatteten Bereich. Befindet sich der Vogel danach für eine bestimmte Zeit wieder außerhalb des inneren Abstandszylinders und werden dabei keine Abschaltbedingungen mehr erfüllt (kein Kollisionskurs), so wird der Abschaltbefehl aufgehoben und die betreffende WEA geht nach dieser „Time to clear“ (Tc) wieder in Betrieb.

Die „Time to clear“ soll die WEA schonen und verhindern, dass z. B. durch das Kreisen am Rande des inneren Abstandszylinders ständige Ab- und Wiedereinschaltensignale generiert werden. Nach Sendung eines Abschaltsignals durch IDF an die überwachte WEA wird diese erst wieder in Betrieb genommen, wenn innerhalb der frei programmierbaren Tc kein weiterer Abschaltbefehl generiert wurde.

Radius und Höhe der Abstandszylinder können variabel programmiert werden und hängen im Wesentlichen von drei Parametern ab:

- von den WEA-Dimensionen (*Nabenhöhe und Rotorradius*),
- von der Zeit, die die WEA benötigt, um ab Empfang des Abschaltsignals in den Trudelbetrieb zu gelangen (*Abschaltzeit*) und
- von der Fluggeschwindigkeit der Zielart (*Fluggeschwindigkeit*).

Somit ergeben sich zur Berechnung der Dimensionierung der Abstandszylinder folgende Formeln:

$$\begin{aligned} & \textit{Horizontale Ausdehnung bzw. Radius der Abstandszylinder} \\ & = \textit{Rotorradius} + \textit{Fluggeschwindigkeit} * \textit{Abschaltzeit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \textit{Vertikale Ausdehnung bzw. Höhe der Abstandszylinder} \\ & = \textit{Nabenhöhe} +/- \textit{Rotorradius} +/- \textit{Fluggeschwindigkeit} * \textit{Abschaltzeit} \end{aligned}$$

In Abbildung 4 ist die Dimensionierung der Abstandszylinder schematisch dargestellt. Die für die vorliegende Untersuchung zu Grunde liegenden WEA-spezifischen Parameter sowie die Dimensionen der Abstandszylinder werden in Kapitel 4.1.3.1 aufgeführt und dort weiter erläutert.

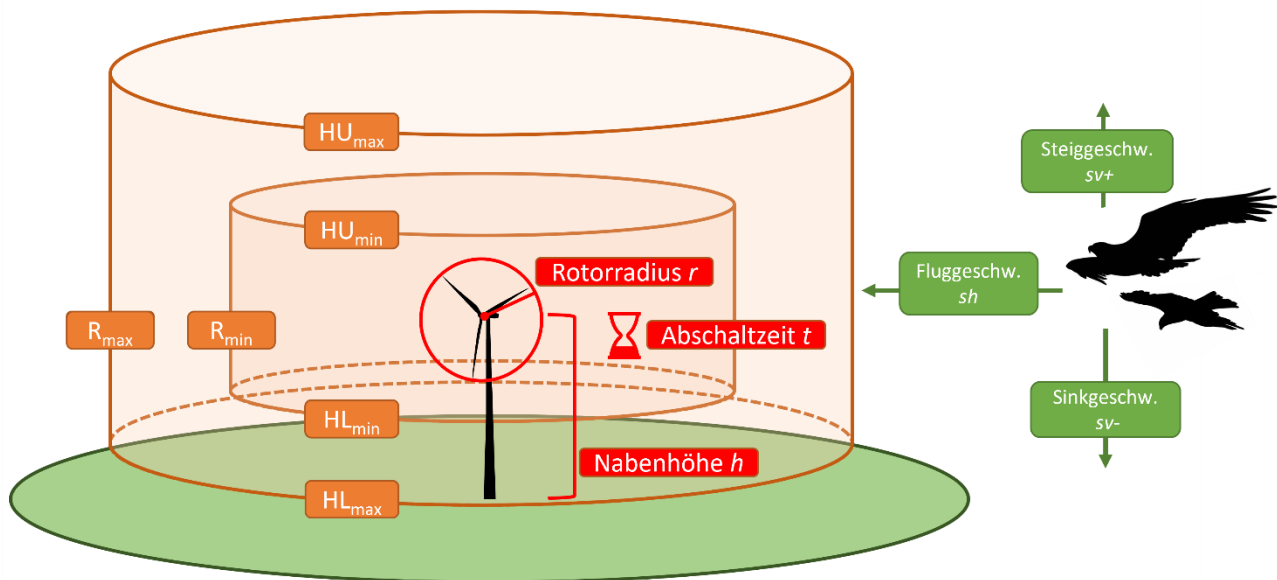


Abbildung 4: Schema zur Dimensionierung der inneren und äußeren Abstandszylinder.
 HU_{max} bzw. HL_{max} = obere („upper“) und unterer („lower“) Begrenzung des äußeren Abstandszylinders, HU_{min} bzw. HL_{min} = obere („upper“) und unterer („lower“) Begrenzung des inneren Abstandszylinders; R_{max} = Radius des äußeren Abstandszylinders, R_{min} = Radius des inneren Abstandszylinders.

2.2 BirdScan

2.2.1 Grundlagen Radartechnik

Das Funktionsprinzip eines Radargeräts besteht darin, dass über eine Antenne Mikrowellen ausgesendet werden (Radarstrahl) welche von Objekten, die von den Mikrowellen getroffen werden, reflektiert und zum Radarsystem zurückgeworfen werden. Dort werden sie vom Empfänger des Radarsystems registriert. Die vom Radar empfangenen Reflektionen werden als Echos bezeichnet. Die Intensität eines Echos, das vom Radar empfangen wird, variiert je nach Größe, Ausrichtung und Position des Objekts im Radarstrahl (Form des Querschnitts eines Objekts bezüglich des Radars). Die Zeitdauer, bis ein Echo vom Radar empfangen wird, dient zur Bestimmung der zwischen Radargerät und detektiertem Objekt liegenden Distanz.

Da Mikrowellen nicht nur von fliegenden Vögeln, sondern beispielsweise auch von starkem Niederschlag, Flugzeugen, Insekten, fahrenden Autos oder grasenden Kühen reflektiert werden, besteht für ein Radarsystem, das zur Vogeldetektion genutzt werden soll, die große Herausforderung darin, die für das System relevanten Echos herauszufiltern.

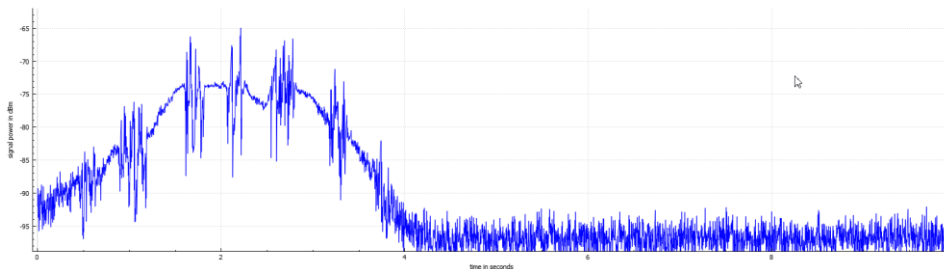
Bei der Art und Weise wie Radargeräte betrieben werden, gibt es zwei verschiedene Methoden. Bei einer Variante drehen sich die Antennen stetig um die eigene Achse (z.B. Schiffsradar mit Balkenantenne) und bei der anderen Variante sind die Antennen fix montiert. Bei Radarsystemen mit rotierender Antenne werden Objekte im Umkreis des Radarsystems jeweils

bei jeder Drehung nur für einen Bruchteil einer Sekunde vom Radarstrahl überstrichen (vergleichbar mit einem sich um die eigene Achse drehenden horizontal ausgerichteten Lichtkegel eines Scheinwerfers). Bei Radarsystemen mit fixen Antennen wird der Radarstrahl kontinuierlich entsprechend der Ausrichtung der Antenne in eine Richtung ausgestrahlt (vergleichbar mit einem festinstallierten Scheinwerferlicht). Dadurch befinden sich Objekte, die sich im Erfassungsbereich der Antenne bewegen länger im Radarstrahl als bei der rotierenden Variante.

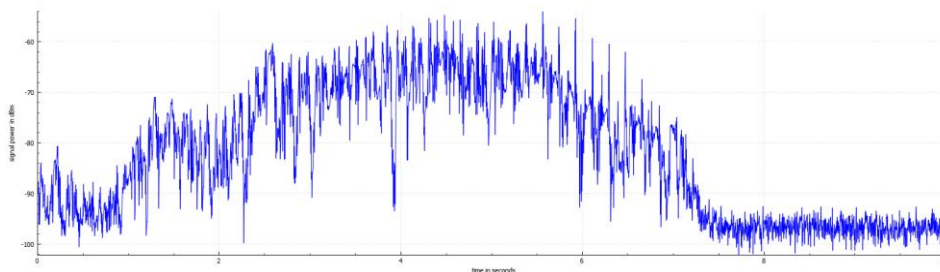
Wenn sich Objekte über längere Zeit im Radarstrahl befinden, kann vom Radar nicht nur eine generelle Intensität des Echos, sondern auch die zeitliche Variation der Echointensität registriert werden. Das heißt, es wird messbar, wenn ein Objekt bildlich gesprochen im Radarstrahl ständig die Größe seines Umrisses ändert. Dies geschieht beispielsweise durch den Flügelschlag bei Vögeln. Da die Radarechos von Vögeln ein charakteristisches Muster (Echosignatur, Abbildung 5) aufweisen, kann dieser Effekt dazu genutzt werden, die Echos von Vögeln aus den anderen Echos herauszufiltern. Eine automatische Klassifizierung auf Artniveau ist jedoch zurzeit (noch) nicht möglich.

Radarsysteme können unterschiedliche Typen von Antennen haben (z.B. Balken, Parabolschüssel, Horn etc., Abbildung 6). Der Typ der Antenne bestimmt, welche Form der daraus hervorgehende Radarstrahl besitzt. Mit Antennen, die horizontal ausgerichtet sind und einen einzelnen nach oben und unten hin breit streuenden Radarstrahl aussenden, kann lediglich die Distanz zu einem vom Radar erfassten Objekt, nicht aber die Höhe bestimmt werden (z.B. Balkenantenne vom Schiffsradar), da aus technischen Gründen die vertikale Position eines Objekts im Radarstrahl unbekannt ist. Eine Lösung für dieses Problem bieten Gruppenantennen (Phased Array Antenne), wo zahlreiche neben und übereinander angeordnete Antennenelemente gleichzeitig eng gebündelte Radarstrahlen aussenden (vergleichbar mit mehreren fixen Taschenlampen, die in Reihen neben und übereinander angeordnet sind). Für jedes Antennenelement ist bekannt, welchen Ausschnitt des Luftraums es überwacht, woraus die Höhe eines Objekts abgeleitet werden kann.

a)



b)



c)

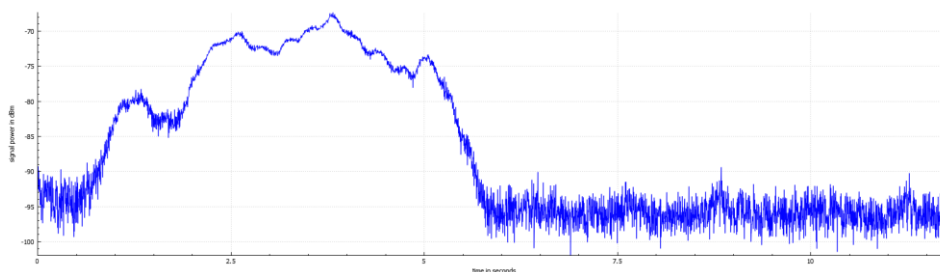


Abbildung 5: Beispiele von Echosignaturen: Singvogel (a), Wasservogel (b) und Insekt (c).
 Die X-Achse zeigt die Zeit in Sekunden (s) von 0 – 12 s und die Y-Achse die Signalstärke in Dezibel Milliwatt (dBm) von -100 bis -70 dBm.



Abbildung 6: Beispiele von Radarantennen (links: Balkenantenne, Mitte: Parabolantenne, rechts: Hornantenne).
 Die Form des Radarstrahls hängt vom Typ der Antenne ab. Fotos: Balkenantenne und Parabolantenne (© Archiv Schweizerische Vogelwarte), Hornantenne (Averse, CC BY-SA 3.0)

2.2.2 Radarsystem BirdScan MS1

2.2.2.1 Hardware

Beim Radarsystem BirdScan MS1 handelt es sich um ein frequenzmoduliertes Dauerstrich Radar (Frequency-Modulated Continuous Wave radar = FMCW radar) im X-Band-Bereich mit einer Sendefrequenz von 9.4 GHz und einer Distanz-Auflösung von 2 m, ausgestattet mit fixen Radarsensoren (Antennen). Es besteht aus einer zentralen Recheneinheit, an welcher je nach gewünschter Abdeckung des Luftraums mehrere Antennen angeschlossen werden können. Eine Antenne deckt horizontal einen Winkel von 90° und vertikal einen Winkel von 40° ab. In der vorliegenden Untersuchung wurde das BirdScan-System mit vier Antennen ausgestattet, so dass der Luftraum im Umkreis von 360° überwacht werden konnte (Abbildung 7).

Jede Antenne ist eine Gruppenantenne (Phased Array Antenne) und sendet entsprechend ihrer Ausrichtung kontinuierlich bestehende Radarstrahlen aus. So wird der Verlauf der Bewegung von Objekten, die den überwachten Luftraum durchqueren, permanent dreidimensional erfasst. Vom BirdScan-System werden sämtliche Objekte gleichzeitig verfolgt, die sich im Radarstrahl bewegen. Daher ist keine Priorisierung von Objekten notwendig.

2.2.2.2 Software

Die vom BirdScan registrierten Objekte werden basierend auf den Eigenschaften der Echosignaturen (Abbildung 8) in Echtzeit klassifiziert. Da die Flügelschlagmuster großer Greifvögel sehr ähnlich sind, ist zurzeit noch keine artspezifische Klassifizierung möglich. Der Klassifizierungsalgorithmus war gemäß dem Vorsorgeprinzip so trainiert, dass Rotmilane zusammen mit anderen Greifvogelarten wie z.B. Bussarde und Weihen einer gemeinsamen Klasse „large_raptor“ zugeordnet werden. Aufgrund fehlender Trainingsdaten konnte das Radarsystem im Vorfeld der Erprobung nicht spezifisch für die Klassifizierung von Seeadlern trainiert werden. Es konnte nicht vorhergesagt werden, welcher Klasse der Algorithmus die Flugwege von Seeadlern zuordnen wird. Vermutet wurde, dass diese vom Algorithmus ebenfalls der Klasse „large_raptor“ zugeteilt werden.

Die momentane Version des Systems teilt die Radarechos in folgende Klassen ein:

- Large_raptor: Echos von Großvögeln (z.B. Rotmilan, Mäusebussard etc.)
- Other_bird: Echos von anderen Vögeln (z.B. Amsel, Buchfink etc.)
- Ground_object: Echos von Objekten, die sich auf dem Boden bewegen (z.B. Personenwagen, landwirtschaftliche Fahrzeuge etc.)
- Stationary_disturbance: Echos reflektiert von stehenden Objekten aus der Umgebung (z.B. Strommasten, Hecken etc.)
- Undefined: Echo kann keiner Klasse zugeordnet werden

Nach der ersten Detektion eines Objekts wird einem Radarecho über 10 s hinweg die Klasse „undefined“ zugeordnet. Danach erfolgt im Verlauf eines Flugwegs alle 0,5 s eine Klassifizierung. Die Hersteller stellen die Radardaten in Form von .csv-Dateien zur Verfügung. Pro Tag wurde jeweils eine Datei erstellt, die alle an einem Tag aufgezeichneten Tracks enthielt (Track-Daten), und eine Datei, die Informationen zu den Abschaltereignissen eines Tages enthielt (Alert-Daten). Bei den Track-Daten waren pro Zeile für einen Track die Track-übergreifenden Informationen abgespeichert sowie die Informationen zu den einzelnen Radarmesspunkten, die zu einem Track gehörten. Eine Track-Datei enthielt die folgenden Informationen:

- Track ID
- Zeitstempel Start und Ende eines Tracks
- Klassifizierungskategorie und -wahrscheinlichkeit gesamter Track
- Angabe, ob ein Track eine Abschaltung ausgelöst hat
- Longitude und Latitude der einzelnen Radarmesspunkte (Werte hintereinander in einer Zelle)
- Höhe ü. M. der einzelnen Radarmesspunkte und des Bodens unterhalb der Radarmesspunkte (SRTM-Daten, Auflösung 30 m x 30 m²)
- Steigungswinkel und radiale Distanz der einzelnen Radarmesspunkte
- Grösse des Radarquerschnitts der einzelnen Radarmesspunkte
- Zeitstempel der einzelnen Messpunkte
- Klassifizierungskategorie und -wahrscheinlichkeit der einzelnen Messpunkte

Die Alert-Daten enthielten pro Zeile ein Abschaltereignis mit folgenden Informationen:

- Alert ID und Nummer der betroffenen WEA
- ID der Tracks, die eine Abschaltung ausgelöst haben
- Zeitstempel Start und Ende einer Abschaltung
- Dauer der Abschaltung in Sekunden

2.2.2.3 Abschaltung der Windenergieanlagen

Der Befehl zur Abschaltung von WEA wird ausgelöst, sobald ein Detektionspunkt räumlich innerhalb eines virtuell festgelegten Bereichs (Abstandszyylinder) liegt und vom System als „large_raptor“ klassifiziert worden ist.

Wie beim IDF können Radius und Höhe des Abstandszyylinder je nach Wunsch programmiert werden. Bei Bedarf könnte auch mit zwei unterschiedlich großen Abstandszyindern gearbeitet werden, wie dies beim IDF üblich ist. Diese Programmierung war seitens der Projektleitung nicht gewünscht worden.

² <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/srtm>



Abbildung 7: Radarsensoren des Radarsystems BirdScan MS1.
 Für die vorliegende Untersuchung sind vier Radarsensoren eingesetzt worden. Diese sind so angeordnet, dass der Luftraum im Umkreis von 360° überwacht werden kann (Foto: Janine Aschwanden).

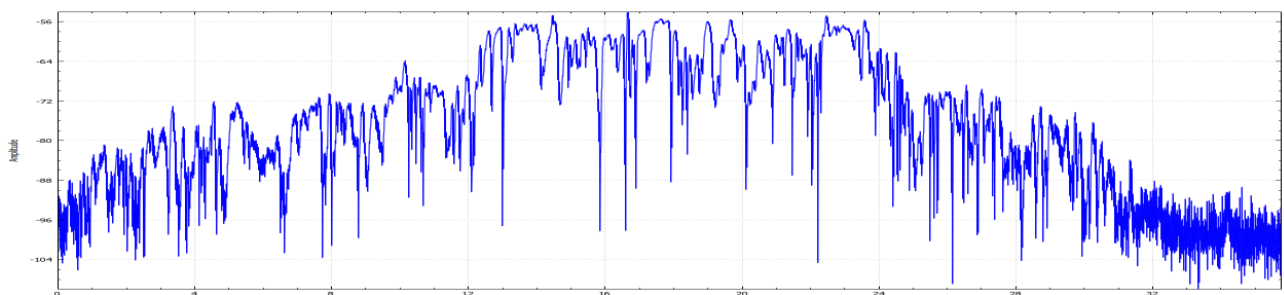


Abbildung 8: Echosignatur eines Rotmilans.
 Die X-Achse zeigt die Zeit in Sekunden (s) von 0 – 12 s und die Y-Achse die Signalstärke in Dezibel Milliwatt (dBm) von -100 bis – 70 dBm.

3 Untersuchungskonzept

Gemäß KNE (2019) sind im Rahmen einer Erprobung am jeweiligen Standort eine Reihe von Fragen zu beantworten, um eine differenzierte Darstellung der Systemleistungsfähigkeit in Abhängigkeit von unterschiedlichen Standorteigenschaften und vorherrschenden Bedingungen zu erreichen:

1. Welche räumliche und zeitliche Abdeckung wird durch das erprobte System grundsätzlich erreicht?
2. Auf welche Entfernung zur WEA werden die relevanten Flugobjekte sicher erfasst und welche Faktoren können dies beeinflussen?
3. Wie viele von den tatsächlich vorkommenden Flugobjekten werden erfasst?
4. In welchem Umfang werden die erfassten Flugobjekte durch das System richtig in systemspezifische Klassen (z.B. große oder mittelgroße Vögel oder konkrete Zielarten) unterschieden?
5. Welche Wirksamkeit und Effizienz werden durch die Systemreaktion, d.h. durch die Generierung von Abschaltsignalen, erreicht?

Daraus ergeben sich die vom KNE (2019) vorgegebenen Erprobungskriterien, anhand derer in der vorliegenden Untersuchung die Wirksamkeit von IDF und BirdScan zum Schutz der Zielart(en) vor Kollisionen an WEA überprüft wurde:

1. Räumliche und zeitliche Abdeckung
2. Erfassungsreichweite
3. Erfassungsrate
4. Klassifizierungsrate
5. Wirksamkeit und Effizienz der Abschaltung

Im Einzelnen wurden die genannten Erprobungskriterien wie folgt untersucht:

1. Für die Beurteilung der räumlichen und zeitlichen Abdeckung durch die beiden Systeme wurden die Daten der Untersuchungsstandorte hinsichtlich Ausfallzeiten und Sichtverschattungen analysiert. Darauf basierend können Aussagen zur zeitlichen Systemverfügbarkeit sowie zu etwaigen Einschränkungen der Überwachung des Beobachtungsbereichs um die jeweilige WEA getroffen werden.
2. Es wurde ermittelt, bis zu welcher Entfernung die Zielart (hier Rotmilan und Seeadler) durch das System detektiert wurde (Erfassungsreichweite). Maßgebend war dabei die Entfernung des ersten Detektionspunktes eines Tracks.
3. Für die Überprüfung der Erfassungsrate ist die Erhebung von Referenzdaten durch ein sog. Zweitsystem erforderlich (KNE 2019). Die Leistungsfähigkeit des Zweitsystems wiederum muss, bezogen auf die Erprobungsfragen, ausreichend bekannt sein. Bei der

vorliegenden Untersuchung wurde ein Laser Rangefinder (LRF, Laser-Entfernungsmesser) eingesetzt, um an den Untersuchungsstandorten die Erfassungsrate der Zielart(en) innerhalb der Detektionsreichweite mit den Flugwegedaten der LRF-Erfassungen abzugleichen. Zusätzlich wurde in der vorliegenden Untersuchung das IDF-System und das Rardarsystem als jeweils gegenseitiges Zweitsystem für die Analyse verwendet.

4. Die Rate der korrekten Klassifizierung (Zielart versus Nicht-Zielart) am Untersuchungsstandort wurde beim IDF ermittelt durch manuelles Nachbestimmen der Fotos und anschließenden Abgleich mit der jeweiligen Klassifizierung durch das System. Beim BirdScan erfolgt der Abgleich mit den bekannten Klassifizierungen der LRF- und der IDF-Daten für diejenigen Flüge, die sowohl vom BirdScan als auch vom jeweiligen Zweitsystem detektiert wurden.
5. Um die Wirksamkeit der Systeme hinsichtlich einer korrekten Betriebssteuerung der WEA zum Schutz der Zielart zu bestimmen, wurden die vom jeweiligen System initiierten, Abschaltungen der einprogrammierten virtuellen WEA analysiert. Hierfür wurde insbesondere die Verschneidung der Daten von IDF und BirdScan genutzt.

Zur Neutralitätswahrung und Qualitätssicherung der Untersuchung wurde eine externe Projektüberwachung durch die TÜV Nord Systems GmbH & Co. KG eingerichtet. Sie stellte eine Durchführung der Untersuchung nach den vorgegebenen Regeln sicher und nahm die entsprechenden Rahmenbedingungen auf (beteiligte Institutionen sowie Personen, Versuchsaufbau, Durchführung, Besonderheiten etc.).

Eine zentrale Aufgabe bestand in der Überwachung einer neutralen Datenerhebung. Hierzu stellte der TÜV Nord einen Server bereit, auf den alle erhobenen Daten übermittelt wurden. Daraufhin wurden die Daten vom TÜV Nord mit einem Hash-Wert versehen, um ggf. nachträgliche Manipulationen erkennbar zu machen. Erst nach einer Übermittlung sowie Dokumentation der erhobenen Daten aller Akteure konnten die Daten zirkuliert und ausgewertet werden. Sowohl die Datenerhebung als auch deren Auswertung wurden stichprobenhaft überprüft.

4 Methodik

4.1 Untersuchungsgebiet

4.1.1 Auswahlkriterien

Für die vom Auftraggeber vorgenommene Auswahl des Untersuchungsgebietes waren im Vorfeld folgende Kriterien aufgestellt worden:

- für Brandenburg typische landschaftliche Struktur- und Reliefmuster
- zwei Untersuchungsstandorte:
 - Komplexstandort mit höherer Reliefenergie und kleinteiligen Struktureinheiten (zahlreiche Hecken, Gehölze)
 - Offenlandstandort mit geringer Reliefenergie und wenigen Struktureinheiten (kaum Hecken, Gehölze)
- relative Nähe zu divers strukturierten Waldrändern an beiden Standorten
- für Brandenburg repräsentatives Artvorkommen der Avifauna, insbesondere der Großvögel, dabei stehen die Arten Rotmilan (*Milvus milvus*) und Seeadler (*Haliaeetus albicilla*) im Fokus
- vermutlich oder nachgewiesen überdurchschnittlich hohe Flugaktivität der Zielarten
- kaum oder geringes Zug- oder Rastvogelaufkommen
- räumliche Nähe zu bekannten bzw. potenziellen Horst-Standorten der Zielarten

In Herbst 2021 wurden auf Basis dieser Liste zahlreiche potenzielle Standorte in Brandenburg geprüft und im November 2021 zwei geeignete Standorte in der Gemeinde Peetzig nahe der Stadt Greiffenberg in der südlichen Uckermark identifiziert.

Aus Kenntnissen örtlicher Ornithologen und Horst-Betreuer lagen gute Informationen über im Gebiet vorkommende Greifvogelarten vor:

- Seeadler (4 Brutpaare im 6-km-Radius),
- Rotmilan (direkt angrenzend 2-3 Horste),
- Schwarzmilan,
- Mäusebussard (5 bis 10 Brutpaare im 6-km-Radius),
- Wespenbussard,
- Turmfalken,
- Fischadler,
- Rohrweihe (am südlichen Seeufer).

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Aufgrund des vorhandenen Artenspektrums waren somit überdurchschnittliche Flugaktivitäten der beiden Zielarten (Rotmilan, Seeadler) zu erwarten. Konkret befanden sich 2022 im nahen Umfeld der Untersuchungsstandorte vier Rotmilanreviere sowie drei Seeadlerreviere (Abbildung 9).

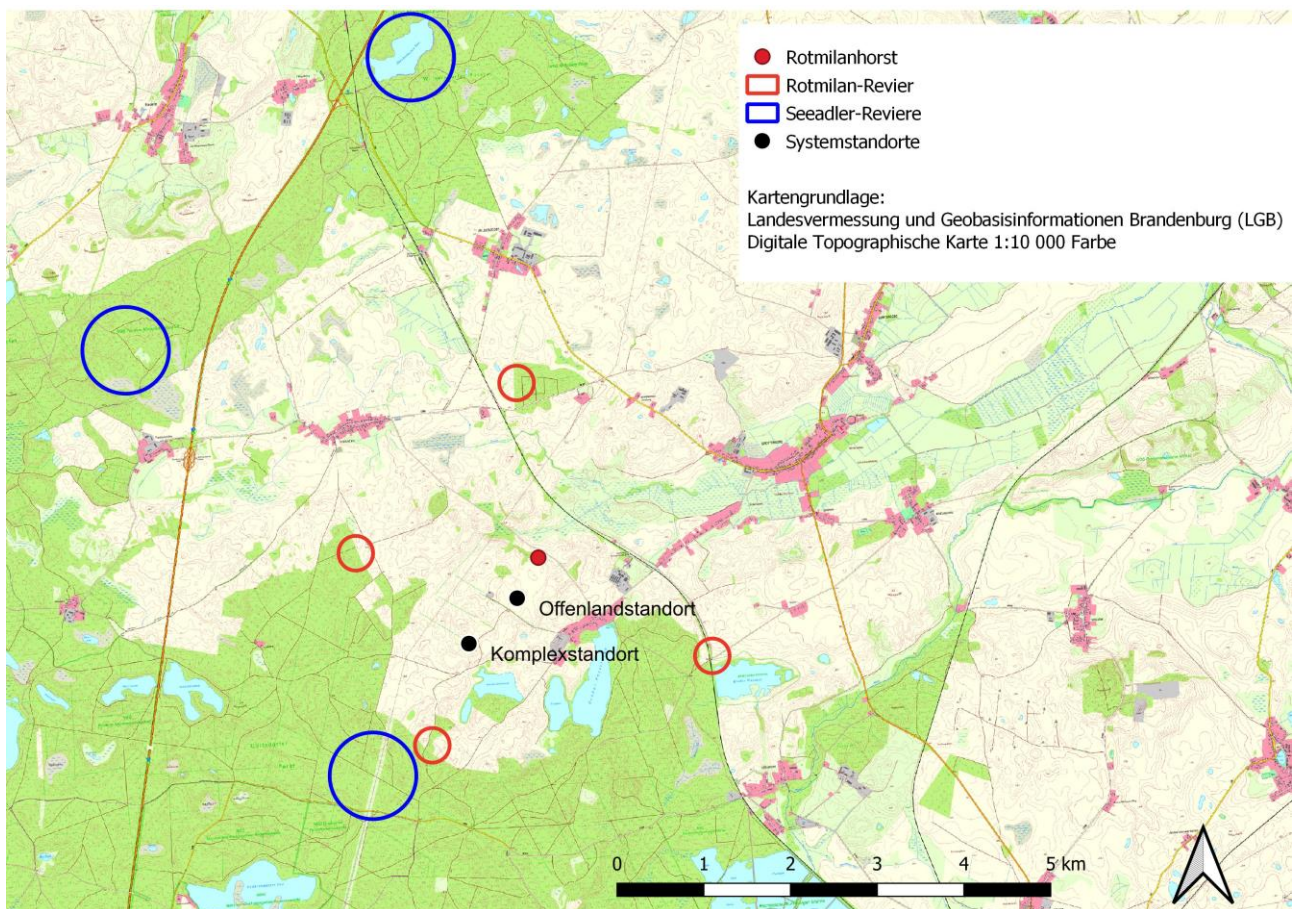


Abbildung 9: Brutbestand der Zielarten im Umfeld der Untersuchungsstandorte

4.1.2 Standortlayout

Der Komplexstandort lag auf einer Kuppe, die teilweise mit Hecken umgeben war (Abbildung 10). Hier befanden sich die beiden Systemtypen unmittelbar nebeneinander (Radar: N 53.070995 E 13.896218, IDF: N 53.070938 E 13.896381). Der Offenlandstandort befand sich auf einem Acker, wo die Systeme rund 95 m Meter voneinander entfernt installiert worden sind (Abbildung 11) (Radar: N 53.075318 E 13.905076, IDF: N 53.075958 E 13.906008).



Abbildung 10: Standorte der Systeme am Komplex- und Offenlandstandort.

546) **Komplexstandort**



b) **Offenlandstandort**



Abbildung 11: Fotos der beiden Systeme am Komplexstandort (a) und Offenlandstandort (b).
 Bei a) befindet sich das BirdScan-System im Hintergrund und bei b) ist das IDF-System im Hintergrund noch knapp sichtbar.

4.1.3 Abschaltung

Für die Untersuchung der Abschaltung durch beide Systeme wurden virtuelle Standorte von Windenergieanlagen (WEA) programmiert. Bezüglich IDF entsprach der Standort der virtuellen WEA am Offenlandstandort dem Standort des BirdScan-Systems. Am Komplexstandort war die virtuelle WEA gegenüber dem IDF um 126 m in Richtung NNE versetzt (siehe Kapitel 4.1.3.1, Abbildung 13). Bezüglich der BirdScan-Systeme befanden sich die virtuellen WEA an beiden Standorten direkt am Standort der Systeme, so dass diese vom WEA-Standort den umliegenden Luftraum überwachten (siehe Abbildung 10 in Kombination mit Abbildung 14). Als WEA-Typ wurde eine Vestas V-150 mit einer Nabenhöhe von 165 m und einem Rotorradius von 75 m programmiert. Nach Angaben des Herstellers benötigt dieser Anlagentyp ca. 35 s vom Eintreffen des Abschaltsignals bis zum Erreichen des Trudelbetriebs. Diese Zeitspanne wird in den nachfolgenden Berechnungen als Abschaltzeit verwendet. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Anlage nicht zum vollständigen Stillstand kommt (es handelt sich nicht um eine aktive Bremsung, sondern um ein Herausdrehen der Rotorblätter aus dem Wind) und dass die Zeitspanne in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit variieren kann.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass durch den Trudelbetrieb die Umdrehungsgeschwindigkeit der Rotorblätter so weit herabgesetzt wird, dass kein artenschutzrechtlich relevantes Kollisionsrisiko mehr besteht.³

Für die Zielarten Rotmilan und Seeadler sollte eine Abschaltung ausgelöst werden, wenn sich ein Individuum dieser Vogelarten in einem potenziellen Gefahrenbereich um die WEA befand (Kapitel 2.1.3). Beim BirdScan gilt es zu berücksichtigen, dass (noch) keine artspezifische

³ <https://www.naturschutz-energiewende.de/fragenundantworten/233-trudelbetrieb-blattspitzengeschwindigkeit-windenergieanlagen-kollisionsrisiko-voegel-fledermaeuse/>, abgerufen am 14.05.2023

Abschaltung möglich war (Kapitel 2.2.2). Eine Abschaltung sollte ausgelöst werden, wenn ein als „large_raptor“ klassifizierter Vogel in den potenziellen Gefahrenbereich um die WEA gelangt.

4.1.3.1 IDF

Das jeweils am Komplex- und Offenlandstandort installierte IDF-System wurde mit der Version 2 des Neuronalen Netzes betrieben (Kapitel 2.1.2). In dieser Software-Version werden die beiden Milan-Arten Schwarzmilan (*Milvus migrans*) und Rotmilan (*Milvus milvus*) in einer gemeinsamen Kategorie („Red-or-Black Kite“) geführt und nicht getrennt klassifiziert. Eine Abschaltung, die für die Kategorie „Red-or-Black Kite“ generiert wurde, inkludierte folglich eine Abschaltung für beide Milan-Arten und nicht ausschließlich für den Rotmilan.

Neben klassifizierten Vögeln der Kategorie „Red-or-Black Kite“ und „White-tailed-Eagle“, sollte das IDF-System am Untersuchungsstandort auch für Vögel der Kategorie „Protected“ im Bedarfsfall eine Abschaltung generieren (Tabelle 1). Diese Kategorie wurde als „Fail Safe“ eingeführt und umfasst vor allem Vögel mit einer großen Flügelspannweite, um die Wahrscheinlichkeit zu erhöhen, dass tatsächlich auch im Falle einer Nichterkennung eines Zielarten-Individuums für dieses abgeschaltet wurde. Dies kann allerdings zu nicht-intendierten Abschaltungen für andere große Vögel, wie z.B. Kraniche, Reiher und, Störche, führen. Das Vorgehen entspricht somit dem generellen Ansatz hinsichtlich der Klassifizierung durch das IDF-System, d.h. einer vorsorglich intendierten Übergewichtung des Falsch-Positiv-Fehlers (Nicht-Zielart wird als Zielart erkannt).

Tabelle 1: Zielarten bzw. die IDF-Kategorien, die eine Abschaltung auslösen am Komplex- und Offenlandstandort.

Zielarten	Rotmilan Seeadler
IDF-Kategorie (Abschaltung wird initiiert)	„Red-or-Black-Kite“ “White-tailed-Eagle“ „Protected“

Grundlage für die Berechnung der Dimensionierung der Abstandszylinder bildet die in Kapitel 2.1.3 beschriebene Formel, wobei neben den standortspezifischen – und hier baugleichen – WEA-Parametern (Tabelle 2) auch die Fluggeschwindigkeit der Zielarten berücksichtigt wird. Die Fluggeschwindigkeitsdaten basieren auf den Daten, die bei der IDF-Erprobung am Rotmilan (REICHENBACH *et al.* 2021) gewonnen wurden (Tabelle 3), wobei auch Fluggeschwindigkeitsdaten von Seeadlerflügen zusätzlich aufgezeichnet werden konnten und hier als Datengrundlage verwendet werden (Tabelle 4).

Tabelle 2: WEA-Parameter am Komplex- und Offenlandstandort.

Nabenhöhe	166
Rotorradius	75
Time-to-Collision (Abschaltzeit)	35 sec ⁴
Time to clear	3 min

Tabelle 3: Fluggeschwindigkeiten des Rotmilans, die zur Berechnung der Abstandszylinder an den Untersuchungsstandorten herangezogen wurden. Basierend auf dem Bericht zur IDF-Erprobung (Reichenbach et al. 2021)

	Höhenbereich	Median (mean)	90 % (max)
Horizontale Fluggeschwindigkeit (sh)	0 – 300 m	8,5 m/s	12,9 m/s
Sinkgeschwindigkeit (sv-)	200 – 400 m	1,2 m/s	3,1 m/s
Steiggeschwindigkeit (sv+)	0 – 100 m	0,6 m/s	1,5 m/s

Tabelle 4: Fluggeschwindigkeiten des Seeadlers, die zur Berechnung der Abstandszylinder an den Untersuchungsstandorten herangezogen wurden. Basierend auf dem Bericht zur IDF-Erprobung (Reichenbach et al. 2021)

	Höhenbereich	Median (mean)	90 % (max)
Horizontale Fluggeschwindigkeit (sh)	0 – 300 m	12,2 m/s	18,7 m/s
Sinkgeschwindigkeit (sv-)	200 – 400 m	1,4 m/s	3,1 m/s
Steiggeschwindigkeit (sv+)	0 – 100 m	0,5 m/s	1,6 m/s

Für die Berechnung der Dimensionierung des inneren Abstandszylinders wird der Median der Fluggeschwindigkeit und für den äußeren Abstandszylinder das 90% Perzentil der Fluggeschwindigkeit zugrunde gelegt. Zu beachten ist jedoch, dass bei der vorliegenden Untersuchung eine davon abweichende Berechnung des äußeren Abstandszylinders vorgenommen und ebenfalls der Median der Fluggeschwindigkeit angewendet wurde. Technisch bedingt kann IDF pro Zielart nur mit zwei Abstandszylindern programmiert werden (innerer und äußerer, vgl. Kapitel 2.1.3); für eine bessere Vergleichbarkeit des IDF-Systems mit dem BirdScan-

⁴ Zu beachten ist, dass für die Berechnung des äußeren Abstandszylinders die TTC = 40 sec festgelegt wurde. Dieses Vorgehen weicht von der üblichen Berechnung ab, ist hier aber projektspezifische Gründe (Vergleichbarkeit zum BirdScan-System) zurückzuführen.

System sollte jedoch nur ein Abstandszylinder vorhanden sein. Aus diesem Grund wurde der hier angewendete äußere Abstandszylinder mit möglichst geringen Ausmaßen programmiert und andere Parameter zur Berechnung herangezogen als üblicherweise.

Im Folgenden werden exemplarisch die Dimensionierungen der Abstandszylinder für den Seeadler berechnet. Da es sich am Komplex- und Offenlandstandort um baugleiche (virtuelle) WEA handelt, gelten die berechneten Dimensionierungen an beiden Standorten.

Dimensionierung des inneren Abstandszylinders

Für die seitliche Begrenzung des inneren Abstandszylinders R_{\min} wird die mittlere horizontale Fluggeschwindigkeit sh_{mean} des Seeadlers mit der Dauer für die Abschaltung (bis in den Trudelbetrieb) der WEA t multipliziert und auf den Rotorradius r addiert:

$$r + sh_{\text{mean}} * t = R_{\min}$$

$$75 \text{ m} + 12,2 \text{ m/s} * 35 \text{ s} = 502 \text{ m}$$

Für die obere Begrenzung des inneren Abstandszylinders HU_{\min} wird die mittlere vertikale Sinkgeschwindigkeit sv_{mean} des Seeadlers mit der Dauer für die Abschaltung (bis in den Trudelbetrieb) der WEA t multipliziert und gemeinsam mit dem Rotorradius r auf die Nabhöhe h der WEA aufaddiert:

$$h + r + sv_{\text{mean}} * t = HU_{\min}$$

$$166 \text{ m} + 75 \text{ m} + 1,4 \text{ m/s} * 35 \text{ s} = 290 \text{ m}$$

Für die untere Begrenzung des inneren Abstandszylinders HL_{\min} wird die mittlere vertikale Steiggeschwindigkeit sv_{mean} des Seeadlers mit der Dauer für die Abschaltung (bis in den Trudelbetrieb) der WEA t multipliziert und gemeinsam mit dem Rotorradius r von der Nabhöhe h der WEA subtrahiert:

$$h - r - sv_{\text{mean}} * t = HL_{\min}$$

$$166 \text{ m} - 75 \text{ m} - 0,5 \text{ m/s} * 35 \text{ s} = 73,5 \text{ m} = 73 \text{ m}$$

Dimensionierung des äußeren Abstandszylinders (projektspezifisch)

Für die seitliche Begrenzung des äußeren Abstandszylinders R_{\max} wird, die mittlere horizontale Fluggeschwindigkeit sh_{mean} des Seeadlers mit der Dauer für die Abschaltung (bis in den Trudelbetrieb) der WEA t^5 multipliziert und auf den Rotorradius r addiert:

⁵ TTC = 40 sec, vgl. Tabelle 2

$$r + sh_{max} * t = R_{max}$$

$$75 \text{ m} + 12,2 \text{ m/s} * 40 \text{ s} = 563 \text{ m}$$

Für die obere Begrenzung des äußeren Abstandszylinders HU_{max} wird die mittlere vertikale Sinkgeschwindigkeit sv_{-mean} des Seeadlers mit der Dauer für die Abschaltung (bis in den Trudelbetrieb) der WEA t multipliziert und gemeinsam mit dem Rotorradius r auf die Nabhöhe h der WEA aufaddiert:

$$h + r + sv_{-max} * t = HU_{max}$$

$$166 \text{ m} + 75 \text{ m} + 1,4 \text{ m/s} * 40 \text{ s} = 297 \text{ m}$$

Für die untere Begrenzung des äußeren Abstandszylinders HL_{max} wird die mittlere vertikale Steiggeschwindigkeit sv_{+mean} des Seeadlers mit der Dauer für die Abschaltung (bis in den Trudelbetrieb) der WEA t multipliziert und gemeinsam mit dem Rotorradius r von der Nabhöhe h der WEA subtrahiert:

$$h - r - sv_{+max} * t = HL_{max}$$

$$166 \text{ m} - 75 \text{ m} - 0,5 \text{ m/s} * 40 \text{ s} = 71 \text{ m}$$

In gleicher Weise wurden die Dimensionierungen der Abstandszylinder für den Rotmilan berechnet, unter Berücksichtigung der zielartspezifischen Fluggeschwindigkeiten (vgl. Tabelle 3). Die jeweils für die Zielart berechnete und angewendete Dimensionierung der Abstandszylinder ist in Tabelle 5 aufgeführt und in Abbildung 12, Abbildung 13 und – für das BirdScan – in Abbildung 14 dargestellt.

Tabelle 5: Dimensionierung der Abstandszylinder je nach Zielart (Rotmilan/Seeadler). Die beprobten WEA sind baugleich, folglich gelten die gleichen Dimensionierungen der Abstandszylinder pro Zielart.

Zielart	R _{min}	HU _{min} -Höhe	HL _{min} -Höhe	R _{max}	HU _{max} -Höhe	HL _{max} -Höhe	Puffer R _{min}	
							vertikal	horizontal
Rotmilan	373 m	283 m	70 m	415 m	289 m	67 m	10 m	25 m
Seeadler	502 m	290 m	73 m	563 m	297 m	71 m	10 m	25 m

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

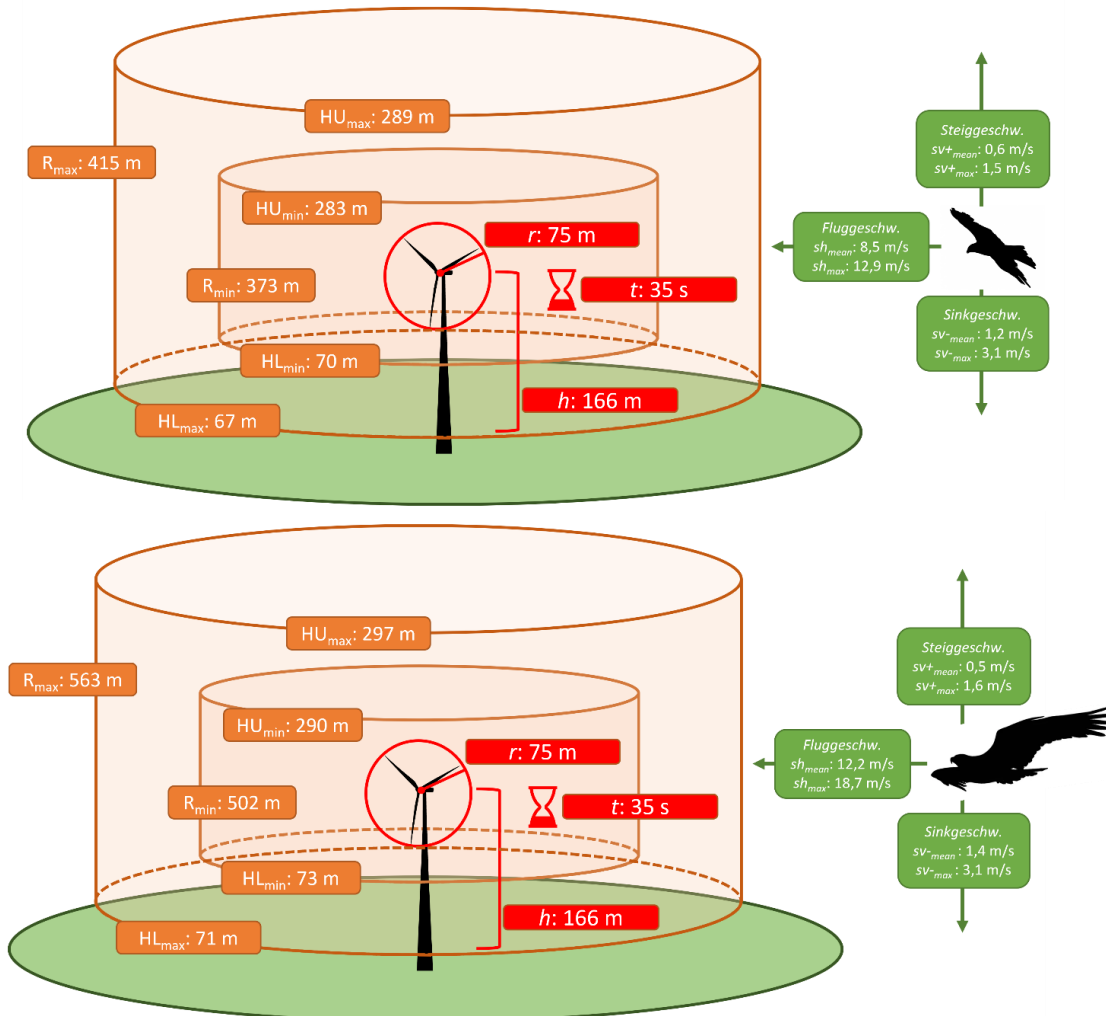


Abbildung 12: Schema zur Dimensionierung der inneren und äußeren Abstandszylinder für den Rotmilan (oben) und den Seeadler (unten) beim IDF-System.

HU_{max} bzw. HL_{max} = obere („upper“) und unterer („lower“) Begrenzung des äußeren Abstandszylinders, HU_{min} bzw. HL_{min} = obere („upper“) und unterer („lower“) Begrenzung des inneren Abstandszylinders; R_{max} = Radius des äußeren Abstandszylinders, R_{min} = Radius des inneren Abstandszylinders.

Wenn nach einer Abschaltung innerhalb des Abstandszylinders keine weiteren Detektionen der Zielarten mehr erfolgten, wurde die virtuelle WEA frühestens nach 3 min wieder in Gang gesetzt. (analog zum BirdScan)

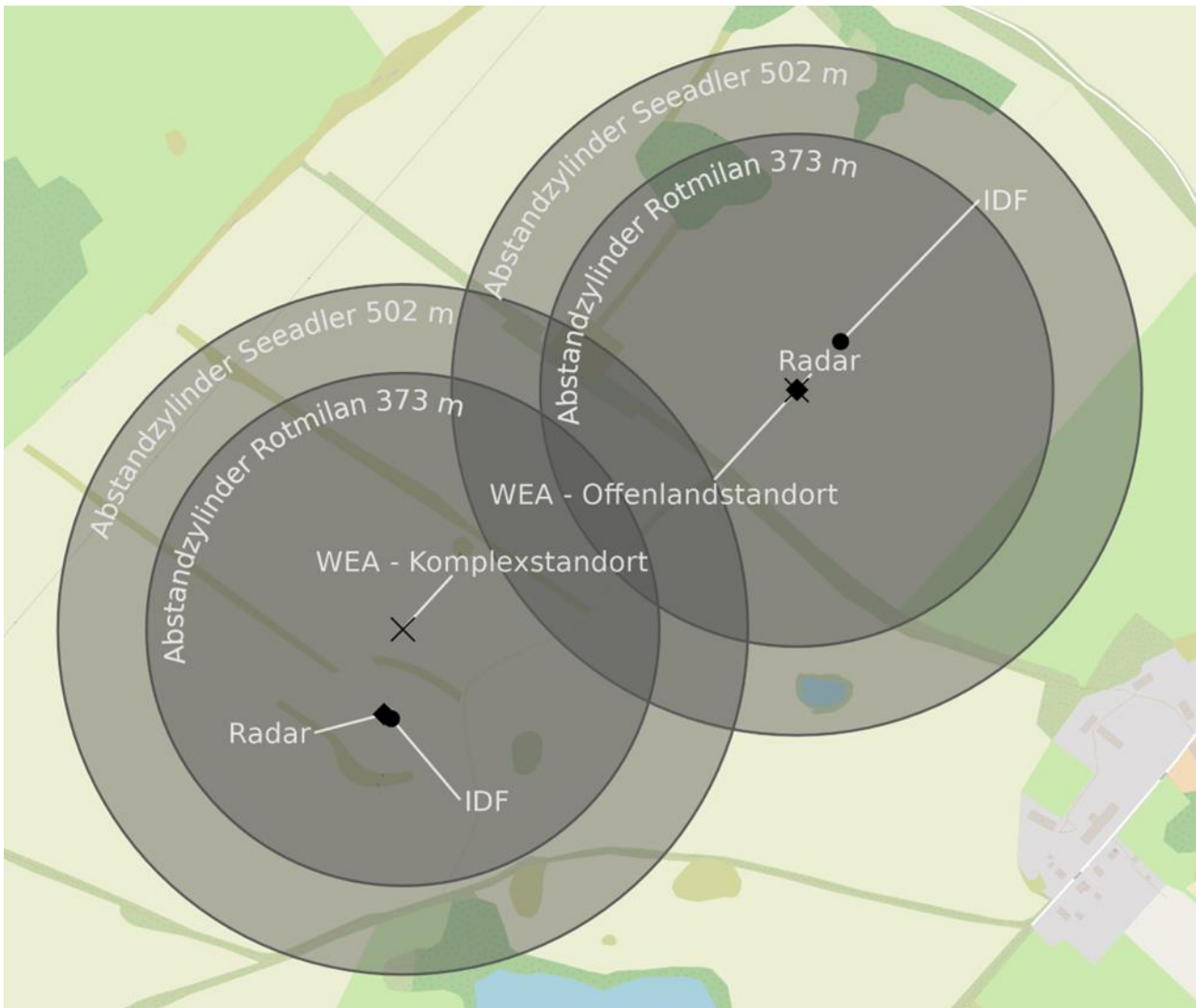


Abbildung 13: Standortlayout mit den programmierten Abstandszylindern bezüglich IDF.

4.1.3.2 BirdScan

Geplant war, dass die BirdScan-Systeme wie die IDF-Systeme so programmiert werden, dass eine Abschaltung ausgelöst wird, wenn die Zielarten in den Abstandszylinder der virtuellen WEA gelangen. Der Standort der virtuellen WEA entsprach dabei an beiden Standorten dem Standort des BirdScan-Systems, so dass dort das BirdScan-System das Zentrum des Abstandszylinders bildete (Abbildung 14).

Da davon ausgegangen wurde, dass beide Zielarten der Klasse „large_raptor“ zugeordnet werden (Kapitel 2.2.2), wurde als Radius des Abstandszylinders derjenige des Seeadlers ($r=502$ m) programmiert. Die untere Grenze des Abstandszylinders war bei 70 m und die obere Grenze bei 290 m eingestellt.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Wenn nach einer Abschaltung innerhalb des Abstandszylinders keine weiteren Detektionen der Zielarten mehr erfolgten, wurde die virtuelle WEA wie beim IDF frühestens nach 3 min wieder in Gang gesetzt.

Die Ausdehnung der Abstandszylinder sowie die Programmierung der Abschaltautomatik wurde Ende Juli 2022 mit derjenigen der IDF-Systeme abgeglichen.

Nach Abschluss der Datenerfassung hat sich im Rahmen der Auswertung gezeigt, dass sich bei der Programmierung des Abstandszylinders ein Fehler eingeschlichen hatte. Anstatt der Höhe über Boden bezüglich Mastfuß der virtuellen WEA wurde die Höhe über Boden bezüglich des Geländes verwendet. Der Umriss des Abstandszylinders folgte demzufolge dem Verlauf der Bodenhöhe des Geländes.

Dies wäre insofern unproblematisch gewesen, wenn das Gelände völlig eben wäre. An den Erprobungsstandorten wies die Bodenhöhe des Geländes im Umkreis von 500 m um die Standorte der virtuellen WEA jedoch Unterschiede auf. Am Komplexstandort befand sich die virtuelle WEA auf einer Kuppe und bei der WEA am Offenlandstandort stieg das Gelände in Richtung NW leicht an und fiel in Richtung SW leicht ab. Auf abfallendem Gelände bewirkt die Fehlprogrammierung, dass die Abschaltung unterhalb von 70 m bezüglich Bodens des Mastfußes, also unterhalb des ursprünglich geplanten Abstandszylinders ausgelöst werden kann. Auf ansteigendem Gelände kann eine Abschaltung oberhalb des ursprünglich geplanten Abstandszylinders ausgelöst werden.

Diese Umstände wirken sich auf die Häufigkeit und Dauer der Abschaltungen aus. Einerseits kann es sein, dass Abschaltungen unnötig ausgelöst worden sind, wenn Flugwege in Wahrheit vollständig außerhalb des ursprünglich geplanten Abstandszylinders erfolgten. Andererseits kann es sein, dass Abschaltungen zu früh ausgelöst worden sind. Das ist bei Flugwegen der Fall, die später doch noch eine Abschaltung ausgelöst haben könnten, weil sie nicht nur den falsch programmierten Abstandszylinder erreichten, sondern auch noch in den ursprünglich geplanten Abstandszylinder gelangt wären.

Die Überprüfung des Einflusses der Fehlprogrammierung auf die Häufigkeit und Dauer der Abschaltungen ist schwierig, da ein Abschaltereignis meist ein Zusammenspiel aus mehreren Flugwegen ist. So wird eine Abschaltung verlängert, wenn sich die WEA aufgrund eines Vogels bereits im Trudelbetrieb befindet und unterdessen ein weiterer Vogel in den Abstandszylinder eintritt. Wenn nun ein Vogel X bei korrekter Programmierung des Abstandszylinders keine oder erst später eine Abschaltung ausgelöst hätte, hätte vielleicht ein anderer Vogel Y eine Abschaltung ausgelöst, so dass Vogel X bereits geschützt gewesen wäre. Somit würde die ganze Kette der Abschaltereignisse beeinflusst.

Eine Abschätzung des Einflusses der Fehlprogrammierung des Abstandszylinders auf die Häufigkeit und Dauer der Abschaltungen kann dementsprechend nur überschlägig vorgenommen werden. Es ist davon auszugehen, dass die zu früh ausgelösten Abschaltungen die Gesamtdauer der Abschaltungen nicht relevant beeinflussen. Wichtig ist hier die Dauer der unnötig ausgelösten Abschaltungen, die lediglich von einer Flugbewegung verursacht worden sind. Die Summe dieser Abschaltungen kann zur groben Korrektur der Wirtschaftlichkeitsberechnungen verwendet werden.

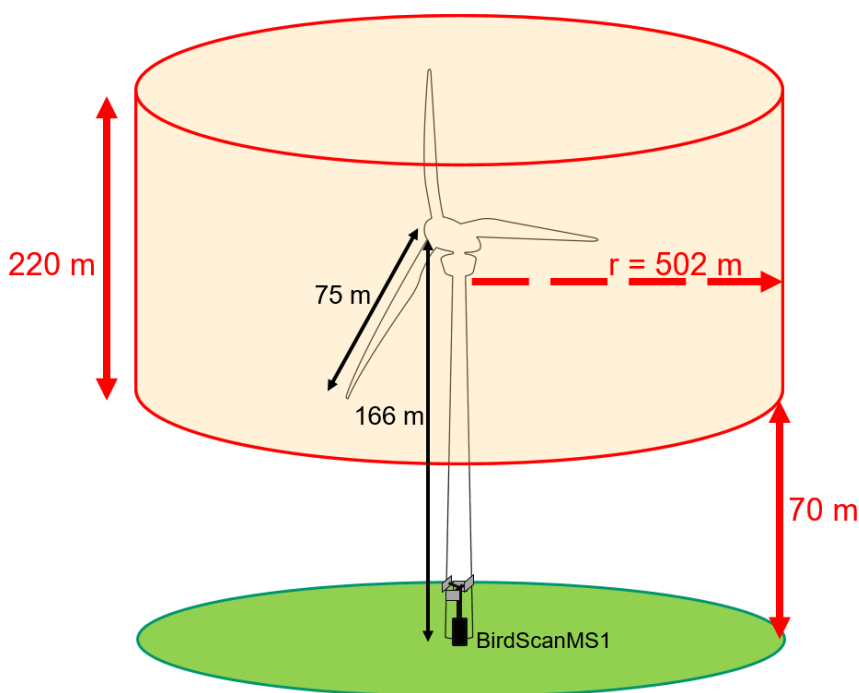


Abbildung 14: Schema zur Illustration des Abstandszylinders beim BirdScan-System (nicht maßstabsgetreu). Der Standort des BirdScan-Systems entspricht an beiden Standorten demjenigen der virtuellen WEA.

4.1.4 Zeitliche Abdeckung

Die zeitliche Abdeckung gibt Aufschluss darüber, ob die BirdScan- bzw. IDF-Systeme ab Inbetriebnahme an den Untersuchungsstandorten, wie geplant aktiv und technisch verfügbar waren oder ob es zu Systemausfällen gekommen ist.

4.1.4.1 IDF

Die angesetzte Erfassungsdauer durch das IDF-System erstreckte sich an beiden Untersuchungsstandorten vom 10.06.2022 bis zum 29.11.2022. An insgesamt sieben Tagen (drei am Offenlandstandort und vier am Komplexstandort) trat ein Stromausfall und in Folge ein Ausfall des betroffenen IDF-Systems auf (Abbildung 15). Diese extern bedingten Ausfälle werden bei der zeitlichen Verfügbarkeit von IDF nicht berücksichtigt, da sie für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von IDF nicht relevant sind (Ausfälle aufgrund von Generatorproblemen treten bei einer normalen Installation nicht mehr auf, da IDF dann an die Windpark-interne Stromversorgung angeschlossen ist; Ausfälle aufgrund eines generellen Stromausfalls würden neben dem IDF-System den gesamten Windpark betreffen, für die Zielarten bestände dann aber kein Risiko).

Am Komplexstandort traten neben den vier Stromausfall-Tagen keine weiteren Ausfälle auf und es kann von einer systemtechnischen zeitlichen Verfügbarkeit des IDF-Systems von 100 % ausgegangen werden (Tabelle 6). Am Offenlandstandort kam es zusätzlich zu den drei Stromausfall-Tagen noch zu systembedingten Ausfällen an 17 anderen Tagen (im Besonderen Ende Juli), woraus sich eine systemtechnische zeitliche Verfügbarkeit des IDF-Systems von ca. 90 % ergibt. Berücksichtigt werden sollte hierbei, dass am Offenlandstandort auch das IDF-System mit der älteren Version der PTU-Einheit (PTU V2) eingesetzt wurde. Neben den bekannten Ausfallzeiten konnten keine unplausiblen Datenlücken festgestellt werden. Zeiträume mit geringer Aktivität – und ergo weniger Daten – können auch mit ungünstigen Witterungsverhältnissen in Verbindung gebracht werden.

Tabelle 6: Übersichtstabelle der IDF-Erfassungstage am Komplex- und Offenlandstandort

Standort	Erfassungszeitraum		Anzahl Tage Systembetrieb	Anzahl Tage Erfassungen (exkl. gantztägige systembedingte Ausfälle)	Ausfälle/Wartung IDF		gantztägig extern bedingte Ausfälle
	Beginn	Ende			gantztägig	halbtägig und kürzer	
Komplexstandort	10.06.22	29.11.22	173	173	0	0	4
Offenlandstandort	10.06.22	29.11.22	173	156	17	0	3

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

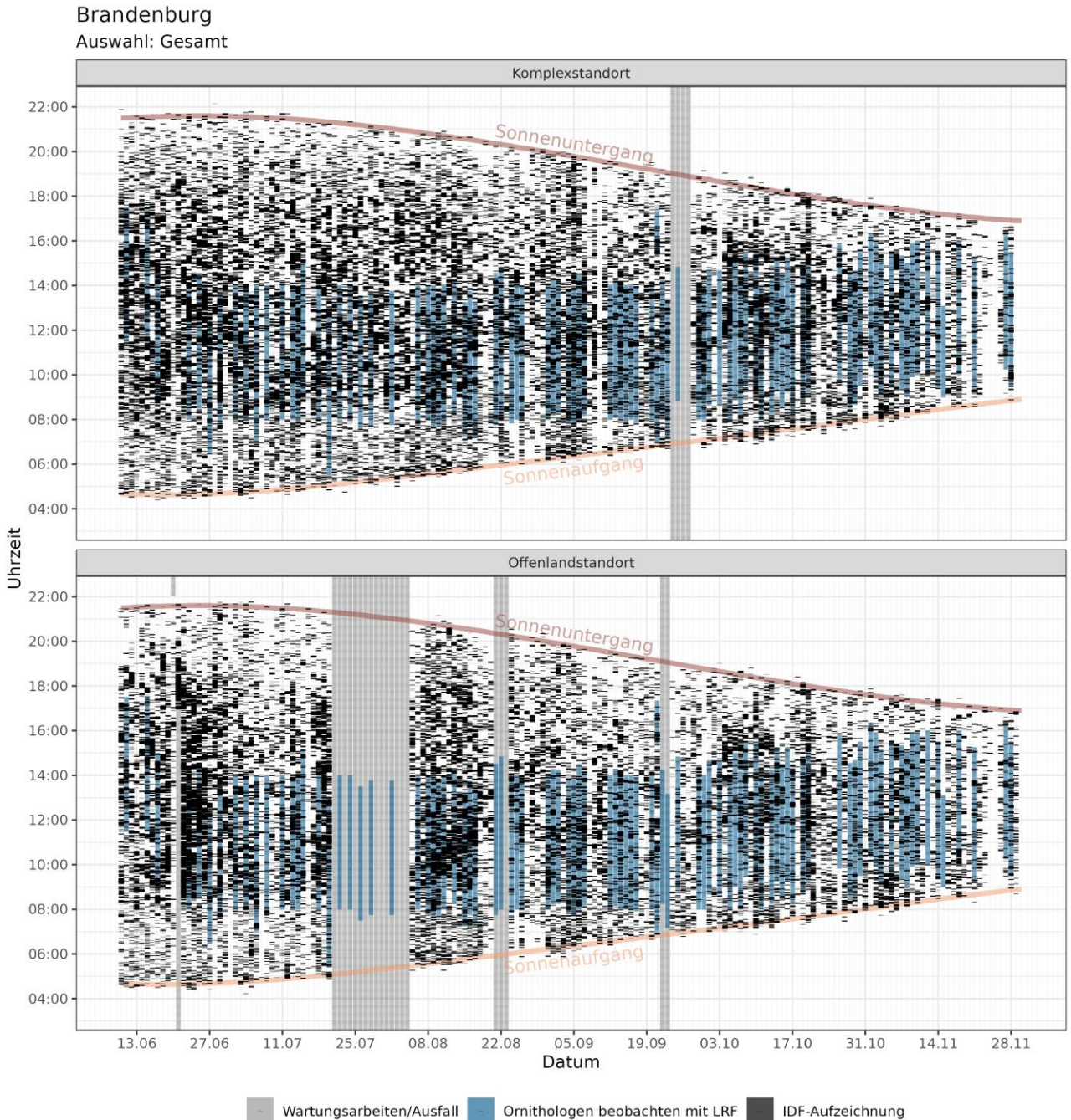


Abbildung 15: Zeitliche Verfügbarkeit und erhobene Gesamtdaten des jeweiligen IDF-Systems am Komplex- und Offenlandstandort.
 Gespeicherte Dateneinträge von IDF sind für jeden Tag als schwarze Linien gekennzeichnet. Die Zeiträume für die LRF-Erfassungen sind hellblau markiert. Systemausfälle und/oder extern bedingte Ausfälle sind grau markiert.

4.1.4.2 BirdScan

Aufgrund von Lieferengpässen konnte in der ersten Phase mit Verspätung nur eines der beiden BirdScan-Systeme in Betrieb genommen werden. Dieses wurde beim Komplexstandort eingerichtet und startete mit dem Betrieb am 18.06.2022 (Abbildung 16). Bis zur Inbetriebnahme des zweiten Radargerätes am Offenlandstandort war am Komplexstandort zudem die nach Norden ausgerichtete Antenne defekt. Ab dem 24.07.2022 waren beide BirdScan-Systeme mit sämtlichen Antennen gleichzeitig in Betrieb. Nach einer Weile hat sich jedoch gezeigt, dass sich die beiden BirdScan-Systeme aufgrund der räumlichen Nähe gegenseitig stören (Interferenz)⁶. Daher wurde entschieden, die BirdScan-Systeme alternierend zu betreiben. Der alternierende Betrieb erfolgte ab dem 07.09.2022 (planmäßige Abschaltung eines BirdScan-Systems alle zwei Tage). Ab dem 27.10.2022 war nur noch das BirdScan-System am Offenlandstandort in Betrieb, damit für diesen Standort noch genügend Referenzdaten mit dem Laser-Rangefinder gesammelt werden konnten. Für den Komplexstandort standen in Kombination mit den Daten aus der ersten Phase bereits genügend Referenzdaten zur Verfügung.

Für einen aussagekräftigen Vergleich der Abschaltung zwischen IDF- und BirdScan-Systemen mussten die Abschaltparameter beider Systeme gleich eingestellt werden. Der Abgleich zwischen den beiden Systemen erfolgte innerhalb der Periode, in der zwischen den BirdScan-Systemen Interferenzen auftraten. Gültige Daten bezüglich der Auswertung im Zusammenhang mit Fragen zur Abschaltung standen damit erst nach dem 07.09.2022 zur Verfügung. Im Nachhinein gilt es hier allerdings zu berücksichtigen, dass der Abstandszylinder bezüglich der Bodenhöhe des Geländes und nicht bezüglich des Mastfußes der WEA programmiert war (siehe Kapitel 2.2.2.3).

Ohne die Tage mit planmäßigen Abschaltungen aus dem alternierenden Betrieb waren die BirdScan-Systeme zwischen Morgen- und Abenddämmerung an 107 (Komplexstandort) und an 103 Tagen (Offenlandstandort) in Betrieb (Tabelle 7). Ohne längere technische Ausfälle (> 30 min) und ohne Reparatur-/Wartungsarbeiten liefen die Erfassungen am Komplexstandort an 105 Tagen und am Offenlandstandort an 91 Tagen. Daraus ergibt sich für den Komplexstandort eine zeitliche Abdeckung von 98.1% und für den Offenlandstandort eine zeitliche Abdeckung von 88.3%. Schließt man zusätzlich die Periode aus, in welcher das Interferenzproblem auftrat, so bleiben am Komplexstandort 53 Erfassungstage und am Offenlandstandort 46 Erfassungstage übrig. Die Daten aus der Periode mit dem Interferenzproblem konnten aber je nach Auswertung trotzdem genutzt werden.

⁶ Grundsätzlich können zwei BirdScan-Systeme in unmittelbarer Nähe zueinander betrieben werden. Dafür muss bei den Behörden jedoch genügend Sendebandbreite beantragt werden. Der Erhalt der Bewilligung zur Nutzung der entsprechenden Bandbreite kann jedoch schwierig werden, wenn die Bandbreite militärisch genutzte Sendefrequenzen tangiert.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

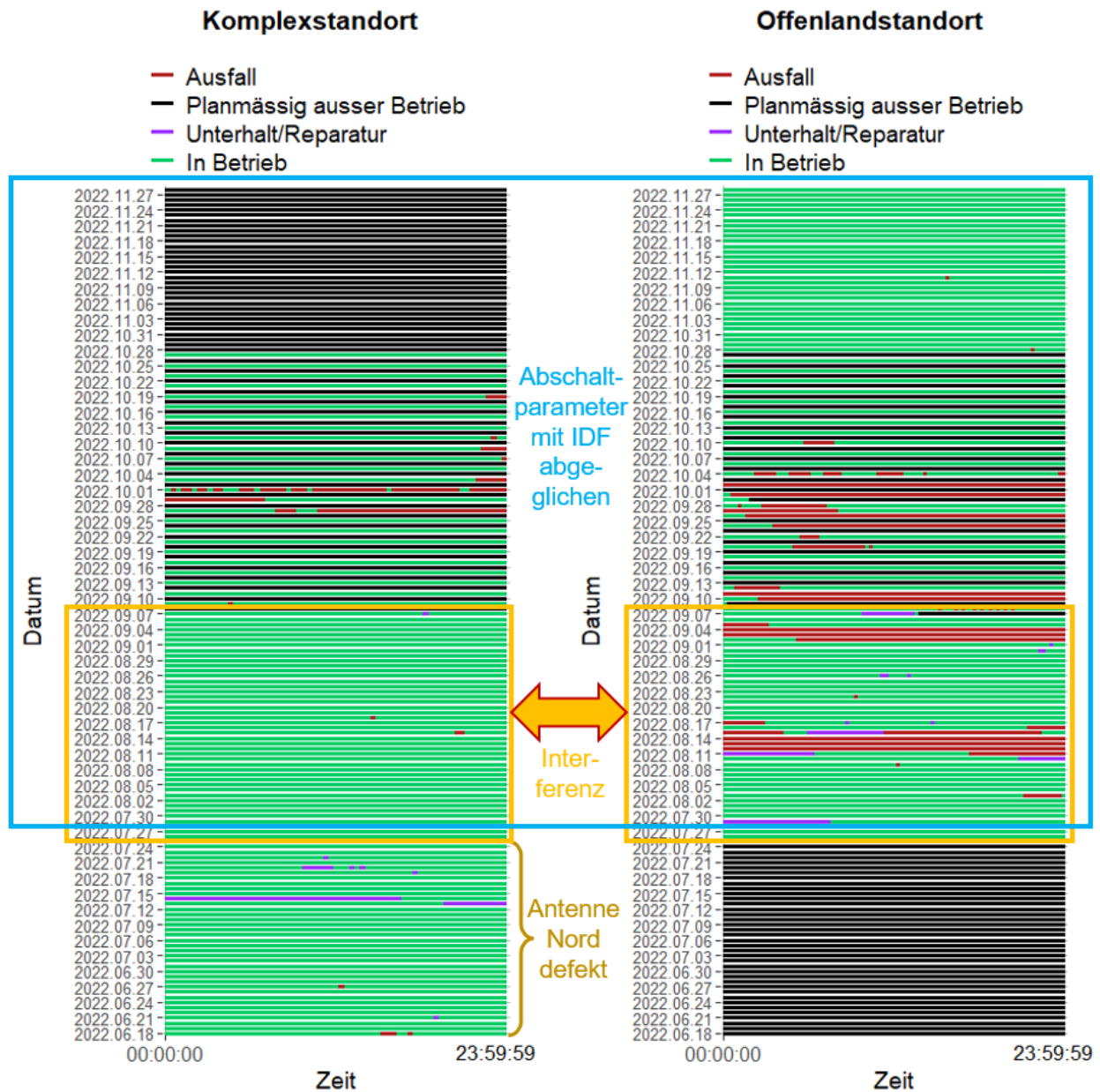


Abbildung 16: Zeitliche Verfügbarkeit der BirdScan-Systeme am Komplex- (links) und Offenlandstandort (rechts).

In der Zeitperiode, wo beide BirdScan-Systeme aktiv waren (orange umrandet), haben sich die beiden Systeme gegenseitig gestört (Interferenz).

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 7: Übersichtstabelle der BirdScan-Erfassungstage am Komplex- und Offenlandstandort.

Standort	Bird-Scan-System	Erfassungszeitraum		Anzahl Tage Systembetrieb (exkl. planmäßige Systemabschaltung)	Anzahl Tage Erfassungen (exkl. ganztägige Wartung/Ausfälle/planmäßige Systemabschaltung)*	Ausfälle/Wartung Radar	
		Beginn	Ende			ganztägig	halbtägig und kürzer
Komplexstandort	2	18.06.	26.10.	107	105	2	12
Offenlandstandort	1	24.07.	28.11.	103	91	12	23

* Ausfälle durch Generatorausfall wurden hier nicht berücksichtigt, da sie für die Beurteilung der Verfügbarkeit der BirdScan-Systeme nicht relevant sind (bei tatsächlicher Installation werden keine Generatoren eingesetzt bzw. bei einem totalen Ausfall der Stromversorgung ist der gesamte Windpark betroffen).

4.1.5 Räumliche Abdeckung

Die räumliche Abdeckung beschreibt, wie gut die BirdScan- bzw. IDF-Systeme den relevanten, dreidimensionalen Raum unter Einschränkungen wie Sichtverschattungen (z. B. durch Bäume) oder Reliefunterschiede überblicken kann. Daraus können ggf. bestehende Einflüsse auf die Wirksamkeit der Systeme vor Ort abgeleitet werden. Bei der Planung des Standortdesigns sind ggf. bestehende Sichtverschattungen in einem für die Abschaltung relevanten Bereich zu berücksichtigen, z.B. durch eine entsprechende Positionierung (räumliche Lage und/ oder Installationshöhe) der Erfassungssysteme oder auch durch den Einsatz mehrerer Erfassungssysteme.

4.1.5.1 IDF

Um ggf. vorhandene sichtverschattete Bereiche am Komplex- und Offenlandstandort identifizieren zu können wurde die Verteilung sämtlicher vom jeweiligen IDF-System aufgezeichneter Datenpunkte nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel für die beiden Standorte visualisiert (Abbildung 17). In dieser Ansicht werden ggf. vorhandene sichtverschattete Bereiche besonders deutlich; sie erscheinen dann heller, da hier keine Datenpunkte erhoben werden konnten. Zu beachten ist, dass die Entfernung zu IDF in dieser Ansicht nicht abgeleitet werden kann. Außerdem wird durch die zweidimensionale Projektion einer Halbkugel um den IDF-Standort die Darstellung der Datenpunkte mit zunehmendem Steigungswinkel immer mehr verzerrt und erscheint bei gleicher Aktivität weniger dicht.

Insgesamt ist die Verteilung der Daten an beiden Standorten homogen, wobei die orangefarbene Linie in Abbildung 17 deutlich macht, wo der IDF-Erfassungsraum nach unten begrenzt und die Wahrscheinlichkeit für die Erfassung eines Datenpunktes deutlich reduziert ist.

Lediglich 2,5 % der Datenpunkte wurden unterhalb dieser Linie aufgezeichnet, wobei dieser Bereich vorhandene Vegetationsstrukturen (Bäume, Hecken etc.) umschließt. Am Komplexstandort finden sich nordöstlich und östlich zum Teil sichtverschattete Bereiche; am Offenlandstandort ist dies hauptsächlich im Nordwesten und im Osten der Fall (Abbildung 17). Beide Standorte unterscheiden sich hinsichtlich der Sichtverschattungen nur geringfügig, obwohl der Komplexstandort einen größeren Anteil an Hecken- und Gehölzstrukturen aufweist sowie durch eine stärkere Reliefausbildung gekennzeichnet ist. Dadurch bedingte potenzielle Sichteinschränkungen konnten durch die Installation des Erfassungssystems auf einer Erhebung kompensiert werden. Die bestehenden Sichtverschattungen betreffen an beiden Standorten Bereiche in niedriger Höhe, sie haben beim vorliegenden Standortdesign mit den programmierten angehobenen Abstandszylindern (siehe Kapitel 4.1.3.1) für die Abschaltung keine Relevanz.

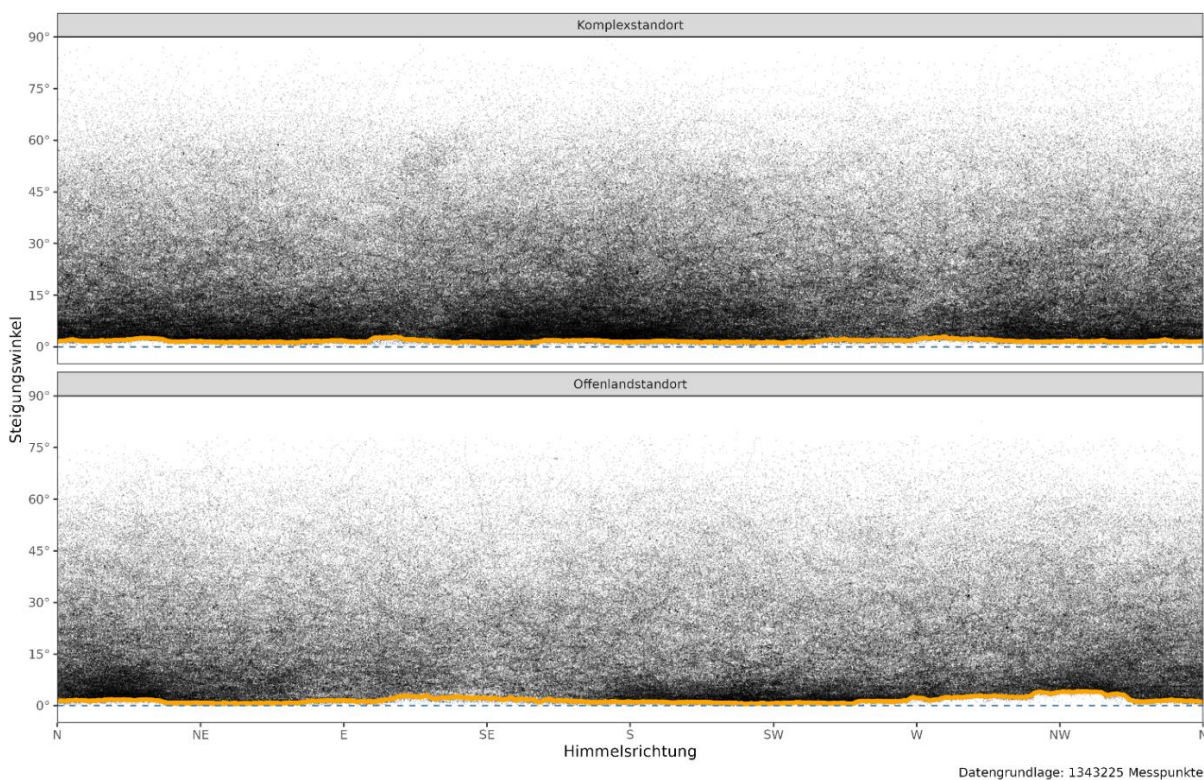


Abbildung 17: Verteilung der von dem jeweiligen IDF-System erhobenen Messpunkte am Komplex- und Offenlandstandort nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel.

Dargestellt sind sämtliche Messpunkte bzgl. Himmelsrichtung und Steigungswinkel, die vom jeweiligen IDF aufgezeichnet wurden. Messpunkte, die per Nachbestimmung der Bilder keinen Vögeln zugeordnet wurden (z.B. Bilder von Vegetation, WEA-Befeuernungen 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 gelben Linie liegen 2,5% der Messpunkte (pro 1° Himmelsrichtung berechnet). Datengrundlage: Datenpunkte mit Foto

4.1.5.2 BirdScan

In der ersten Periode vom 18.06. bis 18.07.2022 war nur der Komplexstandort mit einem BirdScan-System ausgerüstet. Während dieser Zeit war die nach Norden ausgerichtete Antenne defekt. Bei der Verteilung der Messpunkte nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel ist die dadurch entstandene Datenlücke im nördlichen Sektor sichtbar (Abbildung 18).

Die Grenzen eines Radarstrahls sind nicht scharf und variieren je nach Größe des erfassten Objekts. Je grösser ein Objekt, umso grösser ist der überwachte Raum innerhalb eines Radarstrahls. Dieser Effekt bewirkt, dass trotz der defekten Antenne einige Messpunkte im nördlichen Sektor liegen oder dass Messpunkte außerhalb des vom Hersteller angegebenen Öffnungswinkels von 40° liegen.

Die Abdeckung von 360° war sowohl in der Zeitperiode gegeben, in der beide BirdScan-Systeme gleichzeitig aktiv waren (Interferenz, Abbildung 19) wie auch in der Zeitperiode, in der die BirdScan-Systeme alternierend betrieben worden sind (Abbildung 20).

Die Darstellungen verdeutlichen die im Vergleich zum IDF geringere vertikale Abdeckung des Luftraums. Aufgrund des Öffnungswinkels von 40° kann das BirdScan abhängig von der Distanz keine sehr hohen Flüge registrieren. Zum Beispiel kann ein Rotmilan in einer Distanz von 500m bei dem Elevationswinkel von 40° auf etwa 400 m Höhe detektiert werden (STARK & FRÜH 2020).

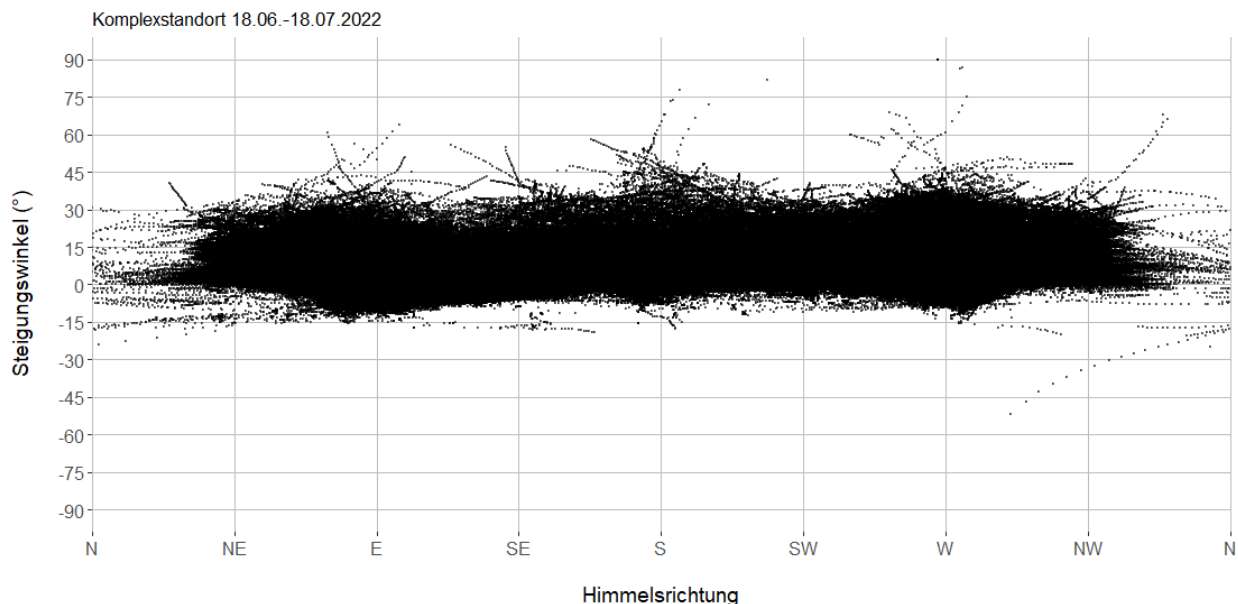


Abbildung 18: Verteilung von als „large_raptor“ und „other_bird“ klassifizierten Messpunkten am Komplexstandort nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel vom 18.06.-18.07.2022.
Dargestellt sind nur die vom BirdScan-System als „large_raptor“ oder als „other_bird“ klassifizierten Messpunkte (nicht nachbestimmt), die vom System innerhalb der Zeitfenster aufgezeichnet worden sind, in denen gleichzeitig LRF-Beobachtungen stattgefunden haben. Weit unterhalb des Horizonts liegende Messpunkte stammen von Vögeln, die knapp über Boden in unmittelbarer Nähe des Systems unterwegs waren.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

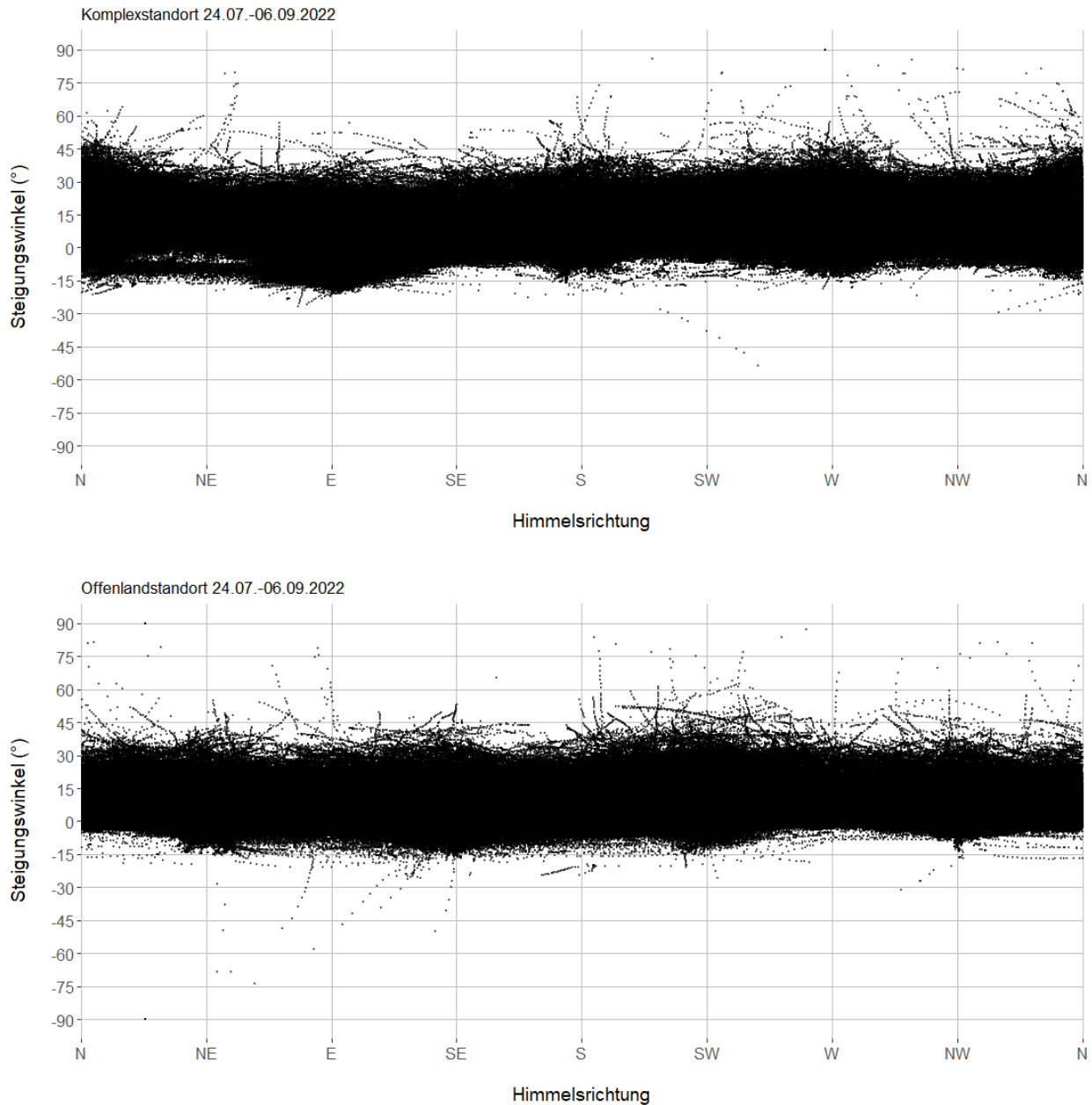


Abbildung 19: Verteilung von als „large_raptor“ und „other_bird“ klassifizierten Messpunkten am Komplex- (oben) und Offenlandstandort (unten) nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel vom 24.07.-06.09.2022 (Betrieb gleichzeitig mit gegenseitiger Interferenz).

Dargestellt sind nur die von den BirdScan-Systemen als „large_raptor“ oder als „other_bird“ klassifizierten Messpunkte (nicht nachbestimmt), die von den Systemen innerhalb der Zeitfenster aufgezeichnet worden sind, in denen gleichzeitig LRF-Beobachtungen stattgefunden haben. Weit unterhalb des Horizonts liegende Messpunkte stammen von Vögeln, die knapp über Boden in unmittelbarer Nähe des Systems unterwegs waren.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

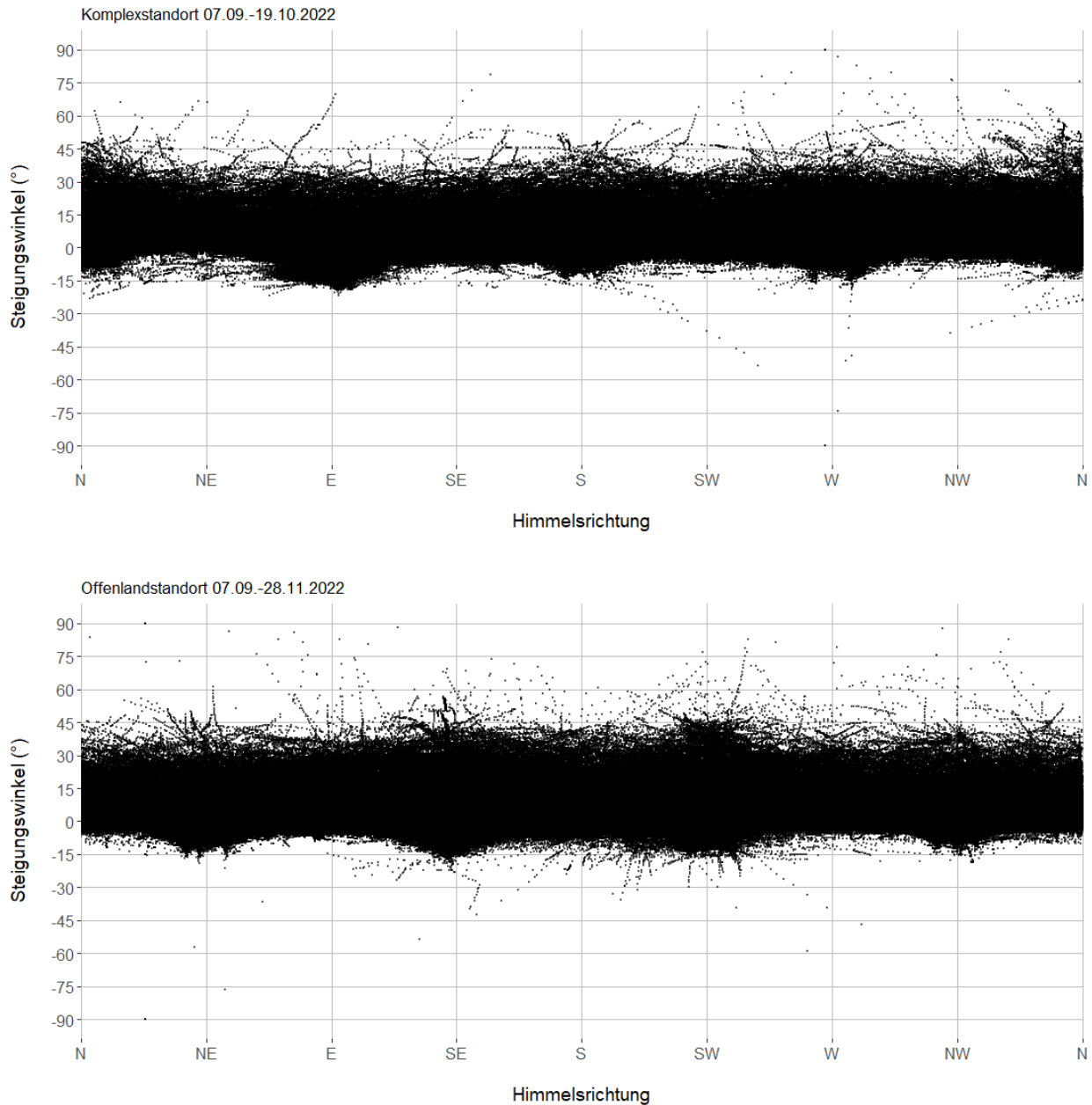


Abbildung 20: Verteilung von als „large_raptor“ und „other_bird“ klassifizierten Messpunkten am Komplex- (oben) und Offenlandstandort (unten) nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel ab 07.09.2022 (Betrieb alternierend).

Dargestellt sind nur die von den BirdScan-Systemen als „large_raptor“ oder als „other_bird“ klassifizierten Messpunkte (nicht nachbestimmt), die von den Systemen innerhalb der Zeitfenster aufgezeichnet worden sind, wo gleichzeitig LRF-Beobachtungen stattgefunden haben. Weit unterhalb des Horizonts liegende Messpunkte stammen von Vögeln, die knapp über Boden in unmittelbarer Nähe des Systems unterwegs waren.

4.2 Referenzdaten – LRF-Erfassungen

4.2.1 Datenerhebung

In der vorliegenden Untersuchung wurden Referenzdaten durch den Einsatz eines Laser Rangefinders (LRF, Laser-Entfernungsmesser) generiert. Mit Hilfe der LRF-Erfassungen konnte – parallel zu der Datenaufzeichnung durch das IDF- und BirdScan-System – eine unabhängige Stichprobe an Zielart-Flugbahnen innerhalb des Sichtbereiches der beiden Systeme generiert und im Anschluss mit den durch die Systeme erhobenen Daten abgeglichen werden.

Die Funktionsweise eines LRF basiert darauf, dass mit Hilfe eines Laser-Strahls die radiale Distanz, der Azimut sowie den Steigungswinkel eines, mit dem Laser-Strahl anvisierten, Zielobjekts bestimmt wird (Abbildung 21). 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 wurden zwei 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.

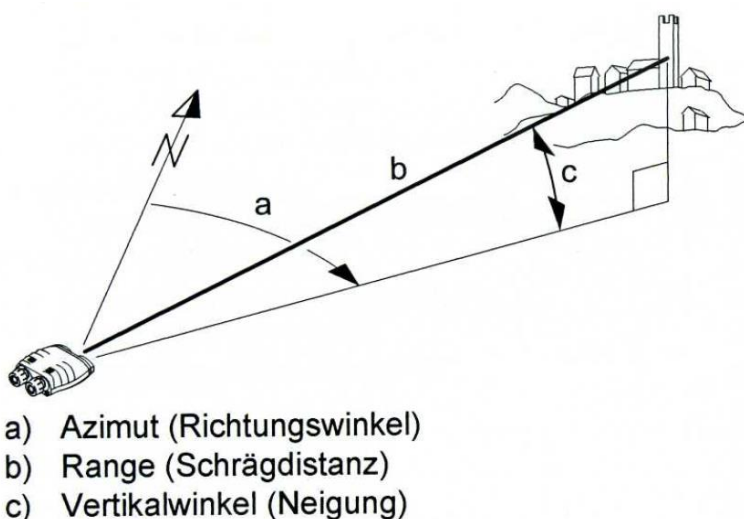


Abbildung 21: Datenermittlung des Laser Range Finders Vector 21 Aero
Auszug aus der Gebrauchsanweisung

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Die LRF-Datenaufnahme an den beiden Untersuchungsstandorten erstreckte sich von Juni bis November 2022 in Summe über 101 Tage; die tägliche Beobachtungsdauer betrug durchschnittlich rund 6 h pro Tag (Tabelle 8). Die Erhebungsphasen bewegten sich schwerpunktmäßig in der Zeit zwischen 09:00 Uhr und 18:00 Uhr. In dieser Zeit ist typischerweise eine gesteigerte Flugaktivität der Zielarten zu erwarten, da diese Vögel thermisch günstige Witterungsverhältnisse für ihre Flugaktivität bevorzugen. Für den Rotmilan ist diese tageszeitliche Verteilung sehr gut durch die Telemetrie-Studien von HEUCK *et al.* (2019) sowie von PFEIFFER & MEYBURG (2022) belegt.

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 Standort 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.

Die LRF-Datenerfassung wurde an beiden Untersuchungsstandorten von den örtlichen Ornithologen Herrn Ulf Kraatz und Herrn Ronny Müller durchgeführt. In Summe wurden 426 Rotmilan-Flugbahnen und 343 Seeadler-Flugbahnen mit dem LRF erfasst, die zusammen 18.700 Messpunkte umfassten. 138 Rotmilan-Tracks und 97 Seeadler-Tracks wurden am Komplexstandort, 288 Rotmilan-Tracks und 246 Seeadler-Tracks wurden am Offenlandstandort erhoben (Tabelle 8). Zu beachten ist, dass LRF-Daten, die an einem der Standorte erhoben wurden, auch als Referenzdaten für den anderen Standort verwendet werden konnten. Hingegen wurden Flugbahnen desselben Individuums, die von beiden Beobachtern gleichzeitig vom Komplex- und Offenlandstandort erfasst wurden, nur einmal bewertet (in 22 Fällen). Der sich ergebende Referenzdatensatz für den Komplex- und Offenlandstandort wird für das IDF-System in Kapitel 5.1.2.3 sowie für das BirdScan-System in Kapitel 5.1.3.3 näher erläutert.

Tabelle 8: Übersichtstabelle LRF-Erfassungen am Offenland- und Komplexstandort. Zu beachten ist, dass in 22 Fällen derselbe Vogel von beiden Standorten aus erfasst wurde. In den Referenzdatensatz flossen diese Beobachtungen jedoch nur einmal ein.

Standort	Erfassungszeitraum		Erfassungstage	Erfassungstunden gesamt [hh:mm]	Erfassungstunden pro Tag Ø [hh:mm]	LRF Tracks Rotmilan	LRF-Tracks Seeadler
	Beginn	Ende					
Komplexstandort	23.06.22	19.10.22	39	234:24	06:00	138	97
Offenlandstandort	11.06.22	28.11.22	62	367:10	05:55	288	246
GESAMT	11.06.22	28.11.22	101	601:35	05:57	426	343

4.2.2 Datenabgleich – IDF

Der mit Hilfe des LRF generierte Referenzdatensatz wurde hinsichtlich der Detektion durch IDF bewertet, wobei ausschließlich LRF-Tracks bewertet wurden, die in radialer Distanz von 750 m (Rotmilan) bzw. 1.000 m (Seeadler) zu IDF aufgenommen wurden und sich in einem für IDF einsehbaren Bereich befanden. Diese Distanzen entsprechen den vom Hersteller angegebenen und in bisherigen Studien (REICHENBACH *et al.* 2021; REICHENBACH *et al.* 2023b) bestätigten Erfassungsreichweiten, welche bei der Planung zugrunde gelegt werden, wo bzw. wie viele IDF-Systeme für eine ausreichende Standortabdeckung aufgestellt werden müssen. Jeder LRF-Track wurde diesbezüglich einzeln betrachtet und als gültig oder ungültig für die Auswertung eingeschätzt. Als „gültig“ bewertete Tracks wurden anschließend als vom IDF „erfasst“ oder „nicht-erfasst“ eingestuft und für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von IDF herangezogen; nicht berücksichtigt wurden Tracks, die als „ungültig“ bewertet wurden. Als „ungültig“ werden Tracks bezeichnet, die keine Aussagekraft für die technische Leistungsfähigkeit des Systems haben, weil dieses die entsprechenden Flugereignisse aus tatsächlichen Gründen nicht verfolgen konnte. Nur Tracks, die das System hätte erfassen können bzw. müssen, geben Auskunft über die Systemperformance und werden als „gültig“ bewertet.

Die Bewertungskategorien (Tabelle 9) wurden wie folgt definiert:

- 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 Zeit als Grenzwert bei der Beurteilung hinsichtlich einer technisch möglichen Erfassung eines Vogels durch IDF festgelegt.
- Als „ungültig“ bewertet wurden LRF-Tracks, wenn sich der Vogel außerhalb der radialen Erfassungsreichweite von IDF befand (Rotmilan 750 m bzw. Seeadler 1.000 m). Ebenfalls als „ungültig“ bewertet wurden LRF-Tracks, wenn der vermessene Vogel für das IDF nicht sichtbar war und sich beim vorliegenden Standortdesign in einem für die Abschaltung nicht relevanten Bereich befand. Das bedeutet, dass der Vogel aufgrund von Sichtverschattungen (vor oder hinter einem Objekt bzw. unterhalb der Horizontlinie) nicht vom IDF erfasst werden konnte. Diese Abschätzung wurde generell sehr konservativ durchgeführt und nur in klaren Fällen als nicht sichtbar für das IDF bewertet.
- 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. In diesen Fällen kann im Hinblick auf die Erfassungsrate als technische Leistungsfähigkeit des Systems nicht beurteilt werden, ob IDF den Vogel erfasst hätte, wenn es nicht mit einem anderen Vogel beschäftigt gewesen wäre.

Tabelle 9: 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 Zielart-Vogel wurde zeitgleich von IDF erfasst

4.2.3 Datenabgleich – BirdScan

Zur Visualisierung und Bewertung der Tracks wurden die LRF- und BirdScanmesspunkte in QGIS (Version 3.22.8-Białowieża) eingelesen und mit der Funktion „points to path“ zu Tracks verbunden. Mit der Funktion „Temporal Controller“ wurden die Tracks in zeitlicher Reihenfolge manuell durchgeschaut und beurteilt, ob es BirdScan-Tracks gibt, die mit den LRF-Tracks übereinstimmen.

Zur Beurteilung, ob ein LRF-Track von einem BirdScan-System erfasst worden ist, dienen folgende Grundlagen:

- Zeitstempel
- Verlauf und Form des Flugwegs
- Distanz und Flughöhe

Ein LRF-Track wurde als vom BirdScan-System detektiert gewertet, wenn mindestens ein Teil des LRF-Tracks erfasst worden ist.

Nicht beurteilbare LRF-Tracks wurden von der Analyse ausgeschlossen. Ein LRF-Track wurde als nicht beurteilbar gewertet, wenn folgende teilweise in Kombination auftretende Kriterien auftraten:

- LRF-Track sehr kurz (< 4 Punktpositionen liegen räumlich (<50 m) und zeitlich nahe (<5 s) beieinander)
- Auflösung des LRF-Tracks zu grob (Punktpositionen liegen räumlich (>500 m) und zeitlich (>30 s) weit auseinander)
- Zuordnung des LRF-Tracks aufgrund zu großer Flugaktivität nicht möglich
- LRF-Track liegt im Sektor mit der defekten Antenne

Die BirdScantracks wurden von der BirdScansoftware teilweise in mehrere Teile mit separaten Track-Ids zerstückelt. In solchen Fällen sind für jeden LRF-Track möglichst alle Teilstücke eines zugehörigen BirdScantracks eruiert und herausgeschrieben worden.

4.3 Referenzdaten – Kombination von IDF und BirdScan

Ein zweiter Referenzdatensatz wurde durch die Kombination der BirdScan- und IDF-Daten generiert. Das Ziel dieses Datensatzes war es zum einen, für BirdScantracks anhand der vom IDF-System aufgezeichneten Bilder eine verifizierte Klassifikation zu erhalten. Zum anderen sollte dadurch ein vollständigeres Bild der Vogelaktivität vor Ort gezeichnet werden, unabhängig vom jeweils zu überprüfenden System. Da sowohl die zwei unterschiedlichen Systeme als auch pro System die zwei Standorte unabhängig voneinander operierten, während sich ihr Erfassungsraum in großen Teilen überlagerte, standen je nach zeitlicher Verfügbarkeit Daten von bis zu 3 Referenzsystemen zur Verfügung.

Die Kombination der BirdScan- und IDF-Daten erfolgte, indem zeitlich überlappende Aufzeichnungen desselben Vogels anhand eines Algorithmus automatisch zusammengefügt wurden.

In einem vorbereitenden Bearbeitungsschritt wurden alle vom BirdScan- oder IDF-System automatisch erstellten Tracks in kleinere Tracksegmente aufgespalten. Dies war notwendig, weil bei beiden Systemen ein kleiner Teil der Messpunkte fälschlicherweise zu einem Track zusammengefügt worden war. Dies beeinflusst zwar nicht die Systemleistung der Antikollisionssysteme, würde aber die Erfolgsquote beim Zusammenfügen der Tracks verringern. Deshalb wurden Tracks in Segmente unterteilt sobald

- bei IDF-Tracks zwischen 2 Messpunkten eine radiale Distanz $> 100\text{m}$ oder eine Geschwindigkeitsmessung $> 50\text{ m/s}$ vorlag,
- bei BirdScan-Tracks zwischen 2 Messpunkten eine radiale Distanz $> 100\text{m}$ vorlag.

Bei BirdScantracks wurden, vermutlich aufgrund der Übergänge zwischen zwei der vier Antennen, regelmäßig kurz sehr hohe Geschwindigkeiten gemessen, was vor allem den kurzen Zeitabständen zwischen den Messpunkten und weniger der Messungsgenauigkeit geschuldet ist.

Anschließend wurden alle Messpunkte unterschiedlicher Tracksegmente, die im gleichen Zeitfenster ($\pm 1\text{ s}$) aufgezeichnet wurden, auf ihre Ähnlichkeit hin geprüft. Messpunktpaare wurden anhand der folgenden zwei Kriterien in drei Kategorien eingeteilt:

- Kriterien:
 - räumliche Nähe: $\leq 50\text{ m}$ radiale Distanz
 - gleiche Flugrichtung: $\leq 25^\circ$ Winkelunterschied der dreidimensionalen Flugrichtung
- Kategorien:
 - Match: räumlicher Nähe **und** gleiche Flugrichtung
 - Mögliches Match: räumliche Nähe
 - Kein Match: keine räumliche Nähe **und** keine gleiche Flugrichtung

Zwei Tracksegmente wurden dann als zusammengehörig markiert, wenn im Vergleich aller zeitlich zusammengeführten Messpunktpaare

- das Verhältnis Match/kein Match bei mehr als 3:1 lag, **oder**
- das Verhältnis Match/kein Match im Verhältnis 1:1 stand **und** absolut mindestens 5 Matches vorlagen.

Anschließend wurden als zusätzliche Kontrolle alle zusammengeführten Tracksegmente entfernt, bei denen mehr als 10% der Messpunktpaare eine radiale Distanz >100 m zueinander aufwiesen.

Alle verbliebenen Tracksegmente, die weiterhin als zusammengehörig markiert waren, wurden entsprechend ihrer paarweise vorliegenden Verbindungen kettenartig zusammengefügt. Wenn z.B. die folgenden Verbindungen vorlägen: *a-b, b-c, c-d, d-f, e-g*, entstünden daraus die zusammengeführten Tracks *abcdf* und *eg*.

Da die BirdScan-Systeme mehrere Flugbahnen parallel aufzeichnen, wurden in seltenen Fällen mehrere zeitgleich aufgezeichnete Tracksegmente eines BirdScan-Systems zusammengefügt. In diesen Fällen wurde so lange jeweils das Tracksegment mit dem schlechten Match/kein Match-Verhältnis entfernt, bis keine Parallelaufzeichnungen (eines Systems) verblieben.

Bei der visuellen Überprüfung einer Stichprobe von 200 zufällige ausgewählten, zusammengeführten Tracks wurden keine erkennbaren Fehlpaarungen entdeckt. Da für die BirdScan-Messpunkte aber keine Bilder zum Abgleich mit den IDF-Bilder vorliegen, können vereinzelt Fehlpaarungen aufgrund von zwei oder mehr nahe beieinander fliegenden Individuen nicht ausgeschlossen werden.

Auf diese Art wurden 915 Rotmilan-Tracks, 1.422 Seeadler-Tracks, 32 Milan-Tracks (nicht genauer bestimmbar) und 5.242 Tracks von anderen Vogelarten aus BirdScan- und IDF-Daten kombiniert.

4.4 Auswertung und statistische Analyse

Die großen IDF-Datenmengen wurde skriptbasiert mit der Statistik-Programmiersprache R unter Zuhilfenahme der integrierte Entwicklungsumgebung 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:

- Messungen des LRF einzulesen, zu visualisieren und Fehlmessungen zu eliminieren,
- LRF-Tracks der Zielart(en) mit den IDF-Daten abzugleichen und damit die Detektion durch IDF zu prüfen,
- einzelne Abschaltsituationen zu bewerten und anhand der aufgezeichneten Bilder zu überprüfen, ob die Abschaltung durch eine Zielart ausgelöst wurde,
- die von IDF aufgenommenen Bilder manuell nachzubestimmen.

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.

Die .csv-Dateien mit den BirdScandaten wurden ebenfalls per Rstudio (Version 2022.12.0) in das Statistik-Programm R (Version 4.2.2, 2022-10-31 ucrt) eingelesen, bearbeitet, ausgewertet und visualisiert. Weitere Analysen und Visualisierungen sind im QGIS (Version 3.22.8-Białowieża) vorgenommen worden (Kapitel 4.2.3).

4.4.1 Erfassungsreichweite

4.4.1.1 IDF

Um die Erfassungsreichweite von IDF zu ermitteln, 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 können, wenn 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 zuverlässige Erfassungsdistanz für den Rotmilan laut Hersteller) bzw. 1.000 m (= maximale zuverlässige Erfassungsdistanz für den Seeadler laut Hersteller) liegen.

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

4.4.1.2 BirdScan

Zur Bestimmung der Erfassungsreichweite der BirdScan-Systeme wurden die BirdScandaten zur Nachbestimmung mit den LRF-Daten abgeglichen. Danach wurde für jeden nachbestimmten BirdScan-Track (verifizierter „large_raptor“) die Entfernung des ersten Detektionspunktes bezüglich des BirdScan-Systems bestimmt.

4.4.2 Erfassungsrate

4.4.2.1 IDF

Um die Erfassungsrate des jeweiligen IDF-Systems an den Untersuchungsstandorten zu bestimmen, wurde der generierte LRF-Datensatz herangezogen. Dabei wurde für jeden gültigen LRF-Track bestimmt, ob dieser von einem oder beiden IDF-Systemen ebenfalls detektiert worden ist. Entsprechend konnte ein LRF-Track auch doppelt, d.h. für beide Standorte, gewertet werden. Es flossen ausschließlich LRF-Tracks in die Bewertung ein, die in radialer Distanz von 750 m (Rotmilan) bzw. 1.000 m (Seeadler) zu IDF aufgenommen wurden und sich in einem für IDF einsehbaren Bereich befanden („gültige“ Tracks, siehe Kapitel 4.2.2). Die Erfassungsrate wurde getrennt für den Komplex- und Offenlandstandort bestimmt.

4.4.2.2 BirdScan

Als Referenz zur Bestimmung der Erfassungsrate der BirdScan-Systeme dienten ebenfalls die LRF-Daten. Für jeden LRF-Track wurde bestimmt, ob dieser von den BirdScan-Systemen detektiert worden ist oder nicht. Weiter wurde jeder LRF-Track einer Distanzklasse zugeordnet (0-700 m, 701-1.400 m etc.). Die Zuordnung erfolgte basierend auf dem Messpunkt, der innerhalb eines LRF-Tracks dem BirdScan-System horizontal am nächsten lag. So konnte die Erfassungsrate distanzabhängig betrachtet werden, anders als beim IDF, bei dem aufgrund der bekanntermaßen deutlich geringeren Erfassungsreichweite (REICHENBACH *et al.* 2021; REICHENBACH *et al.* 2023b) eine vergleichbare Aufteilung in Distanzklassen nicht möglich war. Weiter wurde die Erfassungsrate getrennt nach Standort und nach Zeitperiode mit und ohne Interferenzproblem ausgewertet.

4.4.3 Klassifizierung

4.4.3.1 Korrekt-positiv und falsch-positiv Rate

Zur Bewertung der Klassifizierungsleistung können vier unterschiedliche Raten betrachtet werden, wobei zwei Paarungen bestehen, die im Umkehrschluss (Ergänzung auf 100 %) jeweils die andere Rate ergeben (korrekt-positiv/falsch-negativ und falsch-positiv/korrekt-negativ).

- Korrekt-positiv: Zielart wird richtig als Zielart klassifiziert
- Falsch-negativ: Zielart wird fälschlicherweise als Nicht-Zielart klassifiziert
- Falsch-positiv: Nicht-Zielart wird fälschlicherweise als Zielart klassifiziert
- Korrekt-negativ: Nicht-Zielart wird richtig als Nicht-Zielart klassifiziert

Bei BRUNS *et al.* (2021) werden lediglich Anforderungen betreffend der korrekt-positiv Rate gestellt, welche im Umkehrschluss die falsch-negativ Rate ergibt. Diese Paarung ist aus Sicht des

Vogelschutzes besonders relevant, da sie zeigt, wie gut ein System die Zielart erkennt. Dementsprechend sollte sie möglichst hoch sein.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist insbesondere die falsch-positiv Rate interessant, da diese zeigt, ob häufig unnötig Abschaltungen zu erwarten wären. Für diese Rate werden bei BRUNS *et al.* (2021) keine Anforderungen gestellt. Zur Gewährleistung der Wirtschaftlichkeit sollte diese Rate möglichst niedrig sein.

4.4.3.2 IDF

Die IDF-Klassifizierungsrate (Zielart versus Nicht-Zielart) wurde durch ein manuelles Nachbestimmen der Fotos durch Ornithologen der OekoFor GbR und dem anschließenden Abgleich mit der jeweiligen Klassifizierung durch IDF ermittelt.

Bei der Nachbestimmung wurden folgende Arten bzw. Artengruppen unterschieden: Rotmilan, Schwarzmilan und Milan sp. sowie Seeadler, Schreiadler, Fischadler, Wespenbussard und Bussard bzw. Mäusebussard. Andere Greifvögel (z.B. Weihen, Falken etc.) wurden in der Kategorie „Greifvögel“ zusammengefasst. Konnte bei einem Greifvogel nicht ausgeschlossen werden, dass es sich um eine der Zielarten handelt, wurde die Kategorie „Greifvogel unbestimmbar“ vergeben. Vögel, bei denen es sich nicht um Greifvögel handelte, wurden entweder auf Artniveau bestimmt (Kranich, Schwarzstorch, Weißstorch) oder in der Kategorie „anderer Vogel“ geführt. Wurde von IDF ein anderes Flugobjekt erfasst (Flugzeug, Ballon, Drohne etc.) oder war kein Vogel auf dem Bild zu sehen, wurde die Kategorie „Kein Vogel“ vergeben. Konnte der Vogel gar nicht bestimmt werden, wurde dieser als „Vogel unbestimmbar“ gekennzeichnet. Bei der Beurteilung der Klassifizierungsleistung (korrekt-positiv bzw. falsch-negativ) wurden nur Vögel berücksichtigt, bei denen anhand der Bilder sicher festgestellt werden konnte, ob es sich um eine der Zielarten handelte oder nicht.

Zwar wurde bei der Nachbestimmung zwischen den beiden Milan-Arten unterschieden – sofern möglich – jedoch bei der Berechnung der Klassifizierungsleistung zusammengefasst („Rotmilan“, „Schwarzmilan“ und „Milan sp.“), da IDF in der derzeitigen Software-Version beide Arten in einer gemeinsamen Kategorie führt („Red-or-Black Kite“).

An den beiden Untersuchungsstandorten war IDF jeweils so programmiert, dass neben der Kategorie „Red-or-Black Kite“ und „White-Tailed-Eagle“ auch die Kategorie „Protected“ bei Bedarf eine Abschaltung ausgelöst hat. Entsprechend wurde die Klassifizierung als korrekt gewertet, wenn IDF für einen nachbestimmten Rot-/Schwarzmilan bzw. Milan sp. oder Seeadler die Kategorie „Red-or-Black Kite“, „Protected“ oder „White-tailed-Eagle“ vergeben hatte, da jede dieser Kategorien im Bedarfsfall eine Abschaltung auslöst.

4.4.3.3 BirdScan

Korrekt-positiv / falsch-negativ Rate

Die LRF- und IDF-Daten dienen als Referenz zur Bestimmung der korrekt-positiv Rate (korrekte Bestimmung einer Zielart als „large_raptor“) für das BirdScan-System. Da die Abschaltung auf der Klassifizierung einzelner Messpunkte beruht, wurde die Klassifizierung auf der Ebene der einzelnen Messpunkte bestimmt. Dazu wurden die Messpunkte aller BirdScan-Tracks, die mit den Referenzdaten abgeglichen worden sind, summiert und der Anteil der Messpunkte bestimmt, die korrekt als „large_raptor“ klassifiziert worden sind.

Bei jedem BirdScan-Track werden die Messpunkte über die ersten 10 s hinweg als „undefined“ klassifiziert. Erst danach erfolgt die Zuordnung zu einer Klasse. Daher wurden die Messpunkte während den ersten 10 s eines BirdScan-Tracks von der Analyse ausgeschlossen.

Die Analyse der Klassifikationsleistung wurde lediglich für die Zielart Rotmilan durchgeführt, da der Klassifikations-Algorithmus des BirdScan-Systems noch nicht für Seeadler trainiert worden war.

Im Nachgang zur Datenerfassung sind die BirdScan-Daten zusätzlich zur ursprünglichen Klassifizierung mit einem neuen Klassifizierungsalgorithmus des Herstellers reklassifiziert worden. Dies dient zur Illustration, dass der Algorithmus optimiert werden kann. Die Auswertungen hinsichtlich Klassifizierung wurden mit den reklassifizierten Daten wiederholt.

IDF-Daten als Referenz zur Bestimmung der falsch-positiv / korrekt-negativ Rate

Da das BirdScan-System keine Arterkennung erlaubt, kann die Bestimmung der falsch-positiv Rate nicht auf derselben Ebene erfolgen wie für das IDF. Aus Sicht des BirdScan-Systems wäre es nicht zutreffend, dass es falsch positiv ist, wenn eine Rohrweihe als „large_raptor“ klassifiziert worden ist. Denn das System ist so programmiert, dass Rohrweihen in die Kategorie „large_raptor“ fallen. In dem Sinne wären aus Sicht des BirdScan-Systems nur diejenigen Fälle falsch positiv, wo „Nicht-large_raptors“ fälschlicherweise als „large_raptor“ klassifiziert würden. Wenn alle Fälle als falsch positiv gewertet würden, bei denen vom BirdScan-System „Nicht-Rotmilane“ als „large_raptor“ klassifiziert worden sind, würde die falsch-positiv Rate stark überschätzt werden.

Da das BirdScan-System nicht nur Groß- sondern simultan auch sämtliche Kleinvögel wie beispielweise Schwalben, Feldlerchen, Amseln, Finken und Stare erfasst, wäre zur Bestimmung der falsch-positiv Rate ein Referenzdatensatz notwendig, der repräsentativ alle Vogelarten enthält, die sich vor Ort bewegt hatten. Diese Voraussetzung kann der Referenz-Datensatz des IDF nicht bieten, da das IDF seinen Fokus auf Großvögel legt und prioritär die Zielarten verfolgt. Zudem ist die Reichweite zur Erfassung von Kleinvögeln für Kamerasysteme stärker begrenzt als für Radarsysteme. Darum sind in einem IDF-Datensatz Flugbewegungen von Kleinvögeln gegenüber Flugbewegungen von Großvögeln stark untervertreten. Eine Nutzung der IDF-Daten als Vergleichsdaten zur Bestimmung der falsch-positiv Rate für das BirdScan-System würde daher eine Unterschätzung der falsch-positiv Rate bewirken, da im IDF-Datensatz der Anteil der

„large_raptors“ überproportional vertreten ist. Auf die Bestimmung einer falsch-positiv Rate für das BirdScan-System musste daher verzichtet werden.

Der Abgleich der BirdScan-Daten mit den IDF-Daten wurde jedoch dazu genutzt, um darzustellen, welcher BirdScan-Kategorie die vom IDF erfassten Vogelarten zugeordnet werden.

4.4.4 Abschaltung

An den beiden Standorten erfolgte keine Abschaltung realer WEA. Stattdessen wurden virtuelle WEA programmiert, für die Abschaltensignale von IDF generiert wurden. Die vorliegende Erprobung erstreckt sich somit nur über die Phase von der Detektion bis zum Abschaltensignal und umfasst nicht das Verhalten der WEA nach Eingang dieses Signals. Letzteres ist unabhängig von der Leistungsfähigkeit des BirdScan- bzw. IDF-Systems und daher nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

4.4.4.1 IDF

Geprüft wurden in der vorliegenden Untersuchung sämtliche Abschaltungen, die von den IDF-Systemen generiert wurden. Maßgebend dafür sind die am Standort programmierten Zielarten (vgl. Kapitel 4.1.3), für die im Bedarfsfall eine Abschaltung ausgelöst wird. Wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben, erfolgt die Abschaltung von WEA durch IDF stufenweise. Im äußeren Abstandszylinder werden Zielarten bereits beobachtet, eine Abschaltung jedoch nur fakultativ ausgelöst. Beim Eindringen in den inneren Abstandszylinder wird obligatorisch ein Abschaltensignal ausgelöst.

Bei den Abschaltungen im inneren Abstandszylinder ist zu beachten, dass IDF erst dann eine Abschaltung generiert, wenn die Zielart im inneren Abstandszylinder detektiert wurde. Das bedeutet, dass sich die Zielart für mindestens einen Datenpunkt bereits im inneren Abstandszylinder befunden haben muss. Aus diesem Grund wurden für den Fall „Abschaltung bei Eintritt in den inneren Abstandszylinder“ horizontale und vertikale Pufferbereiche angenommen, innerhalb derer eine Abschaltung erfolgen musste, um als korrekt gewertet worden zu sein. Auch lassen sich auf diese Weise Messungenauigkeiten berücksichtigen. Die Pufferbereiche galten ab der Grenze des inneren Abstandszylinders hin zur WEA (vgl. Kapitel 4.1.3.1)

Für die Auswertung wurden zunächst die Anzahl sowie die Dauer der Abschaltung für die WEA am jeweiligen Untersuchungsstandort ermittelt und visualisiert. Dadurch lassen sich ggf. Auffälligkeiten hinsichtlich der Abschaltung erkennen (z. B. unplausibel lange Perioden ohne Abschaltung) sowie ggf. Vorhersagen zu potenziell erwartbaren Abschaltungen bei einem Betrieb der geplanten WEA ableiten.

Um valide Aussagen hinsichtlich eines Kollisionsrisikos für die Zielart(en) treffen zu können, wurden für die folgenden beiden Auswertungsschritte ausschließlich Flüge bewertet, deren Artbestimmung durch Ornithologen (OekoFor GbR) verifiziert werden konnten: Zunächst wurde

geprüft, ob für alle Flüge, die von IDF korrekt als Zielart klassifiziert wurden und den inneren Abstandszylinder passiert hatten, planmäßig ein Abschaltsignal ausgelöst wurde oder eine Abschaltung versäumt wurde. Im Anschluss wurde untersucht, ob rechtzeitig bei Einflug in den inneren Abstandszylinder eine Abschaltung ausgelöst wurde bzw. in welcher Entfernung zur WEA für Zielart-Flüge Abschaltungen ausgelöst wurden.

4.4.4.2 BirdScan

Auswertungen zur Abschaltung wurden jeweils nur mit BirdScan-Daten vorgenommen, die nach dem 07.09.2022 erhoben worden sind. Damit ist sichergestellt, dass die BirdScan-Daten nicht von Interferenzproblemen beeinflusst sind und die Hysterese gleich eingestellt war wie bei den IDF-Systemen.

Anhand der Systemdaten (nicht nachbestimmt) wurde für jeden Tag ausgewertet, wie häufig und wie lange die WEA theoretisch basierend auf dem fehlprogrammierten Abstandszylinder (siehe Kapitel 2.2.2.3) abgeschaltet worden wären. Weiter wurde überprüft, bei welchen Distanzen bezüglich der WEA eine Abschaltung ausgelöst worden wäre. Dazu wurden die horizontalen Distanzen zwischen WEA und denjenigen Messpunkten bestimmt, die eine Abschaltung ausgelöst haben. Wie beim IDF wird eine Abschaltung frühestens ausgelöst, wenn sich ein als „large_raptor“ klassifizierter BirdScan-Messpunkt bereits im Abstandszylinder befindet. Deshalb muss für den Randbereich des Abstandszylinders ebenfalls ein Puffer festgelegt werden, innerhalb welchem die Abschaltungen ausgelöst werden müssen, damit eine Abschaltung im worst case rechtzeitig erfolgen könnte. Als Puffer wurden dieselben Werte verwendet wie beim IDF (vertikal 10 m, horizontal 25 m, Kapitel 4.4.4.1). Des Weiteren mussten bei den Messpunkten, die eine Abschaltung ausgelöst haben, von der Flughöhe ü.M. die Bodenhöhe ü.M. abgezogen werden. Damit konnte die Position der Messpunkte zur Darstellung korrigiert werden.

Zusätzlich wurde bestimmt, wie viele Abschaltungen aufgrund der Fehlprogrammierung des Abstandszylinders außerhalb des ursprünglich geplanten Abstandszylinders lagen (< 70 m über Mastfuß der WEA und > 290 m über Mastfuß der WEA). Darüber hinaus wurde ermittelt, ob diese Flugwege in den ursprünglich geplanten Abstandszylinder gelangt wären, wenn die Programmierung korrekt gewesen wäre. Bei Flugwegen, die nicht in den ursprünglich geplanten Abstandszylinder gelangt wären, wäre eine Abschaltung folglich unnötig gewesen, bei solchen die in den Abstandszylinder gelangt wären, wäre die Abschaltung zu früh ausgelöst worden. Bei den unnötig ausgelösten Abschaltungen wurde zusätzlich überprüft, bei wie vielen dieser Abschaltereignisse mehr als ein Flugweg beteiligt war. Die Anzahl und die Summe der Dauer der unnötigen Abschaltungen, bei welchen lediglich ein Flugweg beteiligt war, können zur Korrektur der Wirtschaftlichkeitsberechnungen verwendet werden (Minimalwerte der Überschätzung).

Damit eine zum IDF vergleichbare Auswertung der BirdScandaten betreffend eine valide Aussage hinsichtlich eines Kollisionsrisikos für die Zielarten gemacht werden könnte, müssten von den Zielarten genügend verifizierte BirdScantracks vorliegen, die in den Abstandszylinder gelangt sind. Trotz Abgleich mit den IDF-Daten (Kapitel 4.3) konnte jedoch keine solche

Datengrundlage geschaffen werden. Deshalb musste auf eine entsprechende Auswertung der BirdScan-Daten verzichtet werden.

4.4.4.3 Dimensionierung des inneren Abstandszylinders

Für das BirdScan- und das IDF-System wurde geprüft, ob die Dimensionierung des inneren Abstandszylinders, d.h. ob die Zeit zwischen Einflug in den inneren Abstandszylinder (obligatorisches Auslösen eines Abschaltsignals) und Erreichen des Rotorbereichs ausreichend war, um eine potenzielle Kollision der Zielarten mit dem Rotor der WEA zu verhindern.

Dabei wurden ausschließlich Flüge von Zielart-Vögeln untersucht, die folgende zwei Bedingungen erfüllten: die Klassifizierung wurde manuell verifiziert (bzgl. des BirdScan-Systems vgl. Kapitel 4.3) UND die Zielart-Flüge wurden vom Einflug in den inneren Abstandszylinder bis zum Erreichen des Rotorbereichs vom IDF-System oder BirdScan-System lückenlos erfasst.

4.4.5 Gesamtleistung

Um eine möglichst realitätsnahe Darstellung der Gesamtleistung zu gewinnen, bei der alle Einzelaspekte wie Erfassungsrate, Klassifikationsrate und Dimensionierung der Abstandszylinder integriert sind, wurde zusätzlich eine zusammenfassende Analyse durchgeführt. In dieser Analyse wurde lediglich das resultierende Ergebnis dieser Einzelaspekte betrachtet, nämlich ob bzw. wann ein Abschaltsignal erstellt wurde, bevor ein Rotmilan oder Seeadler in der maximalen Rotorreichweite einer der virtuellen WEA flog.

Zu diesem Zwecke wurden alle Beobachtungen verwendet, bei denen die Artbestimmung durch einen menschlichen Betrachter verifiziert werden konnte, also nachbestimmte IDF-Daten und BirdScan-Daten, denen eine verifizierte IDF-Klassifikation zugeordnet werden konnte (siehe Kapitel 4.3). In diesem Datensatz wurden 45 Zeitpunkte ermittelt, in denen ein Rotmilan (31) oder ein Seeadler (14) in die maximale Reichweite der Rotoren der virtuellen WEA (Rotorradius radial aufgetragen um die WEA-Nabe) einflogen. Für jeden dieser Fälle wurde ermittelt, ob bzw. wann davor ein Abschaltsignal erstellt wurde, welches zum Zeitpunkt des Einfluges noch gültig war. Anschließend wurde pro Abschaltsignal geprüft, wie viel Zeit zwischen der Erstellung des Signals und dem Einflug der Zielart in die maximale Rotorreichweite vergangen waren. Die tatsächlich verstrichene Zeit wurde verglichen mit der Zielsetzung von 35 Sekunden.

Weil das BirdScan-System während maximal 5 der 45 aufgezeichneten Einflüge am jeweiligen Standort aktiv und voll funktionstüchtig war, wurde darauf verzichtet diese Analyse für das BirdScan-System auszuführen.

4.5 Wirtschaftliche Auswirkungen

Ziel dieses Unterprojekts, das gemeinsam mit dem Ingenieurbüro 8.2 Holzmüller, Aurich, bearbeitet wurde, ist die Abschätzung der wirtschaftlichen Auswirkungen bedarfsgerechter Abschaltungen von WEA zum Schutz von Vögeln vor Kollisionen mit Hilfe technischer Systeme. Es erfolgt ein Vergleich der Systeme IDF (stellvertretend für Kamerasysteme) sowie BirdScan auf der Grundlage der am Standort Peetzig im Rahmen der Systemerprobung ausgelösten Abschaltereignisse. Beide Systeme unterscheiden sich hinsichtlich der Erfassungsrate bzw. der generellen Fähigkeit Zielarten sicher zu bestimmen (vgl. Kapitel 5.1 bis 5.6). Leistungsvermögen sowie Konfigurationen der Systeme haben potenziell großen Einfluss auf die Anzahl und Dauer der ausgelösten Abschaltungen und somit auf die Stromproduktion.

IDF unterscheidet im Vergleich zum BirdScan zwischen mehreren Zielarten (Rot- und Schwarzmilan vs. Seeadler). Entsprechend können die Wirtschaftseinbußen an beiden Standorten den jeweiligen Zielarten(gruppen) zugeordnet werden. Die durch das IDF für die jeweiligen Zielarten ausgelösten Abschaltungen können darüber hinaus mit Hilfe von artspezifischen Verteilungen der Flugaktivität (jährlich und täglich) auf das gesamte Jahr bzw. die gesamte Brutzeit extrapoliert werden, um so die wirtschaftlichen Auswirkungen möglichst vollständig abschätzen zu können. Dies ist in Bezug auf das BirdScan-System aufgrund der im Vergleich zu IDF verringerten Zielartenspezifität nur eingeschränkt möglich.

Die Auswertungen orientieren sich am Verfahren der vom KNE initiierten Studie „Wirtschaftliche Aspekte ereignisbezogener Abschaltungen zum Vogelschutz an Windenergieanlagen“ (REICHENBACH *et al.* 2020).

4.5.1 Berechnung der Ertragsverluste

4.5.1.1 Windgeschwindigkeit

Zunächst wird die erwartbare Stromproduktion ohne anlassbezogene Abschaltungen berechnet. Entscheidend hierfür ist die Windgeschwindigkeit, der Anlagentyp spielt demgegenüber nur eine untergeordnete Rolle (REICHENBACH *et al.* 2020). Aufgrund der gewählten Anlagenspezifikationen wird modellhaft von einer Vestas V150 für die Berechnungen ausgegangen.

Hinsichtlich der Windgeschwindigkeiten wird jeweils der Mittelwert jeder Stunde des Jahres gewertet und hierüber die zu erwartende Stromproduktion berechnet. Zur Abschätzung der durchschnittlich zu erwartenden Ertragseinbußen wird auf Windpotenzialstudien der Firma anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH⁷ zurückgegriffen, die für jeden beliebigen Koordinatenpunkt in Deutschland Winddaten bereitstellen und Prognosen anfertigen können.

Bei den Abschätzungen zu Ertragseinbußen wurde auf die repräsentativen Werte des Jahres 2019 für eine Höhe von 165 m zurückgegriffen. In Abbildung 22 sind exemplarisch Mittelwerte

⁷ <https://anemos.de/de/> (abgerufen am 20.04.2023)

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

der ersten Stunden des Jahres 2019 sowie Angaben zu Mittel-, Maximal- und Minimalwert dargestellt.

Die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Windgeschwindigkeiten ist in Abbildung 23 dargestellt.

Tagesstunde	Mittlere Windgeschwindigkeit [m/s] in 165 m Höhe		
01.01.2019 00:00	11,6		
01.01.2019 01:00	12,0		
01.01.2019 02:00	13,1		
01.01.2019 03:00	12,8		
01.01.2019 04:00	14,1		
01.01.2019 05:00	14,8		
01.01.2019 06:00	14,9		
01.01.2019 07:00	14,4		
01.01.2019 08:00	12,4		
01.01.2019 09:00	12,8		
01.01.2019 10:00	13,5		
01.01.2019 11:00	13,6		
01.01.2019 12:00	14,7	Mittelwert	7,8 m/s
01.01.2019 13:00	15,7	Max	18,5 m/s
...	...	Min	0,7 m/s

Abbildung 22: Auszug der Zeitreihe von stündlichen Mittelwerten der Windgeschwindigkeit (m/s) auf 165 m Höhe

Quelle: anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

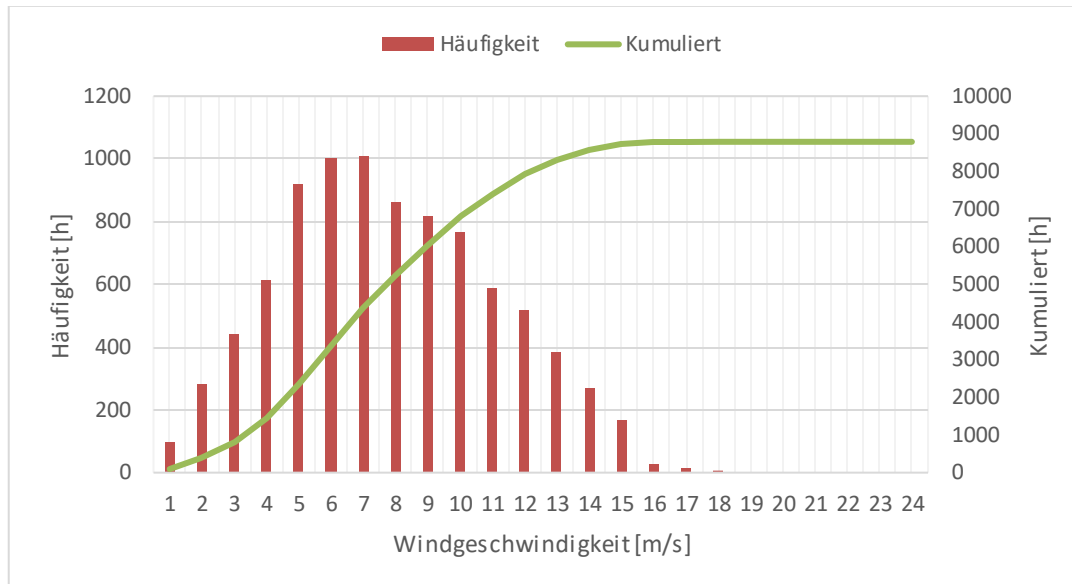


Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit 2019 auf 165 m Höhe im Untersuchungsgebiet
 Datengrundlage: anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH

Die auftretenden Windgeschwindigkeiten sind über den Jahresverlauf einer hohen Fluktuation unterworfen (Abbildung 24). Generell gilt, dass die Windpotenziale im Sommer geringer sind als in den Wintermonaten (siehe rote Trendlinie). Treten ereignisbezogene Abschaltungen vermehrt in der warmen Jahreszeit auf, sind die Ertragseinbußen im Verhältnis zum Gesamtertrag entsprechend geringer.

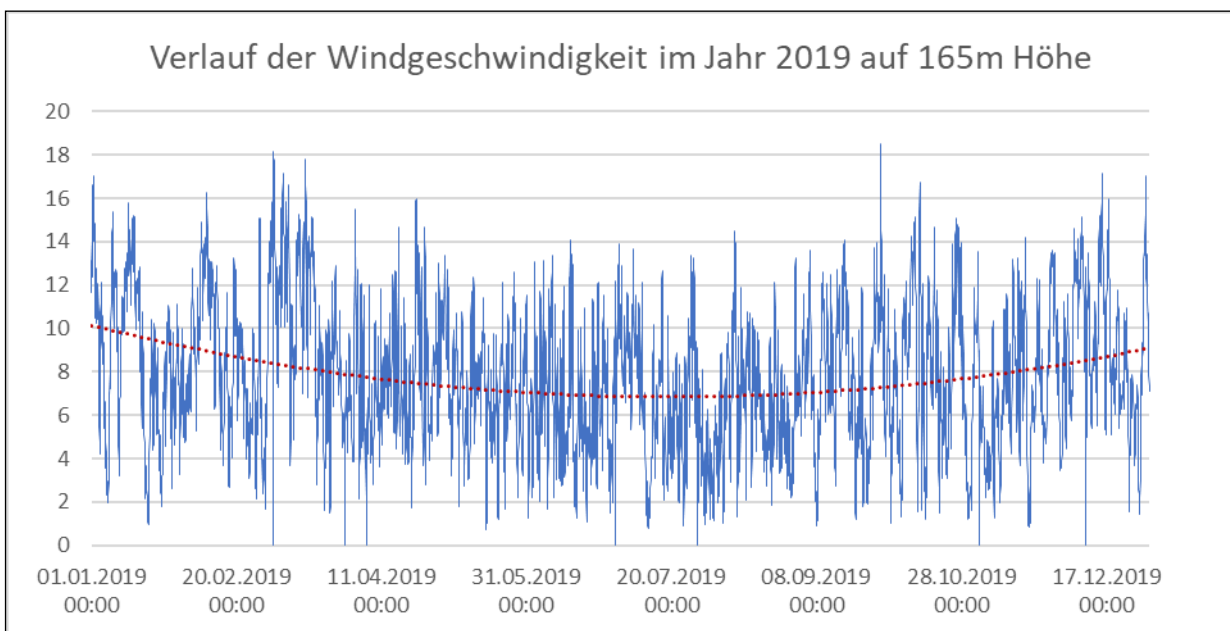


Abbildung 24: Zeitlicher Verlauf der Windgeschwindigkeiten (m/s) in Stundenwerten für das Jahr 2019
Datengrundlage: anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH

4.5.1.2 Windenergietechnik

Zur Abschätzung von Ertragsverlusten wurde mit der Vestas V150/4.2MW mit 165m Nabenhöhe ein Anlagentyp des derzeitigen Marktführers Vestas ausgewählt, der einerseits einen großen Rotordurchmesser aufweist und andererseits häufig bei Ausschreibungen bezuschlagt wurde und daher in Zukunft in Deutschland auch häufig errichtet werden wird.

Leistungskennlinie

Für diesen Anlagentyp weist der Hersteller folgende theoretische Leistungskurve aus (s. Abbildung 25). Dargestellt ist das Leistungsvermögen aufgetragen über der Windgeschwindigkeit, die auf den Rotor einwirkt. Die Einschaltgeschwindigkeiten beträgt 3 m/s, bei einer Windgeschwindigkeit von 12 m/s erreicht die Anlage ihre maximale Leistung. Eine Abschaltung aus Sicherheitsgründen erfolgt theoretisch bei Windgeschwindigkeiten von 24 m/s und mehr.

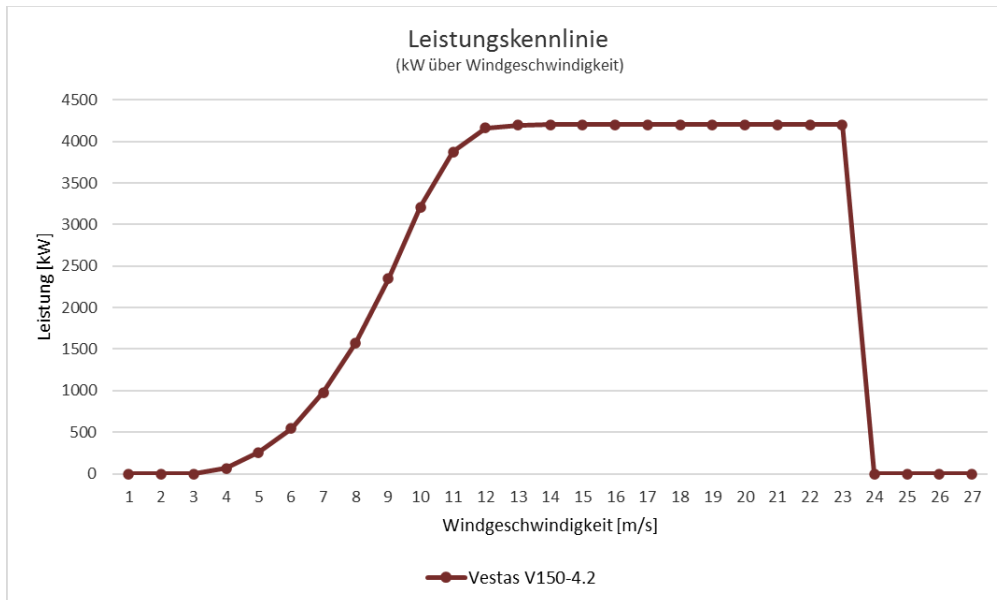


Abbildung 25: Leistungskennlinie der Windenergieanlage Vestas V150-4.2/3/
Quelle: anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH

Start- und Stopp-Prozeduren der Windenergieanlage

Extern veranlasste ereignisbezogene Abschaltungen zum Vogelschutz werden mit passender Signalverarbeitung an die Anlagensteuerung übermittelt. Die Anlagensteuerung wird daraufhin unmittelbar den Stoppvorgang beginnen. Zum Stoppen der Anlage werden die Rotorblätter von der Arbeitsposition auf Fahnenposition gedreht. Durch diese Blattwinkelverstellung wird die Rotordrehung sofort verzögert und nach einer gewissen Zeit erreicht der Rotor den Trudelmodus.

Ändert das externe Signal den Status von Stopp auf Start, so wird unmittelbar die Startvorbereitung initiiert. Allerdings ist der Zeitbedarf für den Startvorgang erheblich länger als beim Stoppvorgang. Im Rahmen des Startvorganges werden zuerst einige Umgebungsparameter wie vorherrschende Windgeschwindigkeit und Windrichtung abgefragt, im Bedarfsfall muss der Rotor dem Wind nachgeführt werden. Daraufhin werden die Rotorblätter von der Fahnenposition in Richtung Arbeitsposition verdreht, die Anlage kann allmählich die Drehzahl und die Leistungsaufnahme am Rotor steigern und schließlich den Generator auf das Netz zuschalten.

Von der Freigabe zum Start bis zur tatsächlichen Zuschaltung auf das Netz dauert es bei dem hier betrachteten Anlagentyp mehrere Minuten. Die Dauer eines Startvorganges ist niemals exakt gleich, bewegt sich aber grundsätzlich in einem Bereich von mehreren Minuten bis hin zu 11 Minuten, manchmal noch länger.

Bei den in diesem Projekt vorgenommenen Abschätzung der Ertragsverluste durch ereignisbezogene Abschaltungen zum Vogelschutz wird vereinfachend immer und ohne Ausnahme eine

Dauer von 9 Minuten (entspricht 0,15 Stunden) für den Startvorgang angesetzt. Hierbei handelt es sich um eine konservative Annahme, oftmals verläuft dieser Startvorgang nach Auskunft von WEA-Betreibern deutlich schneller. Diese Setzung hat relativ große Auswirkungen auf die Ergebnisse, insofern sollten jene ebenfalls als konservativ angesehen werden.

Würde die Startprozedur bei diesem Anlagentyp immer kürzer als 9 Minuten ausfallen, so wären die ausgewiesenen Ertragsverluste überschätzt. Würde die Startprozedur bei diesem Anlagentyp immer länger als 9 Minuten ausfallen, so wären die Ertragsverluste unterschätzt. Insofern ist es bei zukünftigen Projektkalkulationen zu empfehlen, zunächst belastbare Zahlen über die mittlere Dauer der Startprozeduren für den am Standort errichteten Anlagentyp zu ermitteln.

4.5.1.3 Abschätzen von Ertragsverlusten

Um die Ertragsverluste, die durch ereignisbezogene Abschaltungen der Anlage eintreten, abschätzen und vergleichen zu können, wird ein überschlägiges Verfahren angewendet, das grundsätzlich auf Zeitreihen mit 8.760 gemittelten Stundenwerten für alle Eingangsparameter basiert (vgl. Tabelle 10).

Zunächst wird für jede Stunde im Jahr für den Standort die jeweilige Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe dargestellt (im Beispiel: Am Standort auf 165m Höhe für den 19.07.2019 sind die Werte zwischen 4m/s und 7m/s). Mit diesen Windgeschwindigkeitswerten und den dazugehörigen Leistungswerten aus der Leistungskennlinie der Windenergieanlage werden die Erträge pro Stunde in kWh ermittelt (im Beispiel: für die Vestas V150 zwischen 259 und 1.575 kWh pro Stunde für den 19.07.2019). Die Erträge für alle Stunden über das gesamte Jahr 2019 summiert ergeben den erwarteten Jahresenergieertrag (im Beispiel: 18.931.464 kWh im Jahr 2019).

Anschließend wird die Betriebszeit der Windenergieanlage für jede Stunde bestimmt, wobei neben der ereignisbezogenen Abschaltzeit auch noch die benötigte Zeit für den Startvorgang inkludiert wird (im Beispiel: Die jeweiligen Werte für Abschaltzeiten und Anfahrzeiten werden addiert und von der vollen Stunde abgezogen).

Schlussendlich wird der Ertrag der Anlage für jede Stunde des Jahres ermittelt, allerdings unter Berücksichtigung der durch das Szenario (= Abschaltereignisse) reduzierten Betriebszeit (im Beispiel: für das dargestellte Szenario zwischen 234 und 1.575 kWh pro Stunde für den 19.07.2019). Die Erträge für alle Stunden über das gesamte Jahr 2019 summiert führen dann zu dem reduzierten Jahresenergieertrag (Beispiel: 18.228.689kWh im Jahr 2019).

Der beispielhafte Ertragsverlust durch das dargestellte Szenario beläuft sich für das gesamte Jahr auf 702.775kWh (18.931.464 kWh minus 18.228.689 kWh) bzw. 3,71% des normalen Jahresertrages.

Zu weiteren Analysen können sowohl die Anzahl der Abschaltungen als auch die Abschalt- und Anfahrzeiten, die in einem Jahr auftreten, aufsummiert werden (Im Beispiel sind folgende Zeiten für das gesamte Jahr 2019 ausgewiesen: 1.879 Abschaltungen; 175,7 Stunden ereignisbezogene Abschaltzeit; 281,9 Stunden Anfahr- bzw. Startzeit für die Anlage; 8.302,5 Stunden Betriebszeit).

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 10: Beispielhafte Berechnung des Ertragsverlustes

Date/Time	Wind (165m)	V150 Ertrag [kWh]	Anz. Abschalt. gesamt	Dauer Abschalt. gesamt	Anfahrzeit	Betriebszeit	V150 Ertrag [kWh]
01.01.2019 00:00	12	4198	0	0	0	1	4198
01.01.2019 01:00	12	4198	0	0	0	1	4198
.....							
19.07.2019 10:00	5	547	0	0	0	1	547
19.07.2019 11:00	6	977	1	0,06431111	0,15	0,7856889	768
19.07.2019 12:00	5	547	1	0,06431111	0,15	0,7856889	430
19.07.2019 13:00	5	547	1	0,06431111	0,15	0,7856889	430
19.07.2019 14:00	5	547	0	0	0	1	547
19.07.2019 15:00	5	547	2	0,2728684	0,3	0,4271316	234
19.07.2019 16:00	5	547	0	0	0	1	547
19.07.2019 17:00	4	259	0	0	0	1	259
19.07.2019 18:00	5	547	1	0,20855729	0,15	0,6414427	351
19.07.2019 19:00	7	1575	0	0	0	1	1575
19.07.2019 20:00	7	1575	0	0	0	1	1575
.....							
31.12.2019 23:00	7	1575	0	0	0	1	1575
SUMME		18.931.464	1.879	175,7	281,9	8.302,5	18.228.689
Ertragsverlust		100%					3,71%

Die Ertragsverluste können nach dieser Methode für die untersuchten Zeiträume, für die konkret erfasste Abschaltensignale vorliegen, berechnet werden. Zusätzlich ist es möglich, den gesamten Ertragsverlust eines Jahres mit Hilfe von Annahmen zur phänologischen Verteilung der Flugaktivität der Zielarten abzuschätzen (siehe Kapitel 4.5.2).

4.5.2 Aufbereitung der Erfassungsdaten

4.5.2.1 IDF

Zunächst erfolgt die Berechnung der wirtschaftlichen Auswirkungen für den tatsächlich untersuchten Zeitraum vom 10.06.2022 bis zum 29.11.2022 abzüglich der Zeiträume mit Systemausfällen (siehe Kapitel 4.1.4.1). Hierfür liegen für beide Standorte exakte Informationen zur Anzahl und Dauer der Abschaltereignisse vor.

Die zu erwartenden wirtschaftlichen Auswirkungen werden im Fall von IDF nach den Zielgruppen „Rot- und Schwarzmilan“, „Seeadler“ und „Protected“ unterschieden und zusätzlich gesamtartig dargestellt.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Die von Milanen und Seeadler erfassten Abschaltungen können darüber hinaus mit Hilfe von Informationen über die arttypische Flugaktivitätsverteilung über das Jahr bzw. den Tag extrapoliert werden und auch außerhalb des Erfassungszeitraums für jede Tagesstunde angegeben werden.

Hierfür lässt sich die Brutperiode des Rotmilans in vier Phasen einteilen (s. Tabelle 11). Dies beruht auf Durchschnittswerten, wie sie auch in der Telemetriestudie von HEUCK *et al.* (2019) ermittelt wurden. Für den Schwarzmilan wurden in der jüngeren Vergangenheit ebenfalls verschiedene Telemetriestudien durchgeführt, jedoch ohne Fokus auf die Flugaktivitätsverteilung über die gesamte Brutphase (MEYBURG & MEYBURG 2009; MAMMEN & MAMMEN 2020). Da die beiden Schwesternarten ohnehin als gemeinsame Zielartengruppe geführt werden und sich ihre Brut- und Nahrungsökologie ähneln, wird näherungsweise auf die Daten des Rotmilans zurückgegriffen.

Zu Beginn der Brutdauer halten sich die Rotmilane überwiegend in der Nähe des zukünftigen Horstes auf, um dort zu balzen und das Revier vor potenziellen Konkurrenten zu schützen. Während der eigentlichen Brut sitzt das Weibchen größtenteils auf dem Horst, um die Eier auszubrüten. In dieser Phase kümmert sich das Männchen um die Versorgung des Weibchens. Die beiden ersten Brutphasen sind durch eine vergleichsweise geringe Flugaktivität der Rotmilane gekennzeichnet. Sobald die Jungen geschlüpft sind, beteiligt sich auch das Weibchen an der Jagd, um den gestiegenen Futterbedarf zu decken. Die Flugaktivität der Rotmilane erreicht in dieser Brutphase ihren Höhepunkt. Während der Nachbrutzeit nimmt die Flugaktivität wieder allmählich ab, gleichzeitig verlieren die Rotmilane nach und nach die Bindung zum Horst. Die in Tabelle 11 aufgeführte Verteilung der Flugaktivität ist vergleichbar mit der in mehreren Studien nachgewiesenen Verteilung über das Jahr (MAMMEN *et al.* 2013; GSCHWENG *et al.* 2014; PFEIFFER & MEYBURG 2015, 2022). In den von HEUCK *et al.* (2019) ermittelten und in dieser Arbeit verwendeten Angaben fließen in jeder Brutphase die Flugbewegung sowohl von männlichen als auch von weiblichen Rotmilanen ein. Die Flugaktivität der beiden Geschlechter verläuft dabei allerdings unterschiedlich, insbesondere während der Brutzeit (SPATZ *et al.* 2019). Für diese Auswertungen wird somit jeweils die Verteilung der Flugaktivität eines Rotmilanpaares betrachtet.

Tabelle 11: Flugaktivität des Rotmilans während der Brutphasen in Mitteleuropa
Geändert aus HEUCK *et al.* (2019)

Brutphase	Beginn	Ende	Anzahl Tage	Anteil Jahresflugaktivität [%]	Anteil Jahresflugaktivität pro Tag [%]
Balzzeit	15. März	14. April	32	10	0,31
Brutzeit	15. April	19. Mai	36	14	0,39
Aufzuchtzeit	20. Mai	30. Juni	42	37	0,88
Nachbrutzeit	01. Juli	30. September	92	39	0,42

Für die weiteren Berechnungen in dieser Studie wurde als Beginn der Balzzeit der 01. März angenommen

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Die Flugaktivität von Rotmilanen folgt zudem einer Kurve über den Tag, die in den Mittags- und frühen Nachmittagsstunden ihr Maximum hat. In Richtung Sonnenauf- bzw. Untergang flacht die Kurve hingegen deutlich ab (s. Abbildung 26). Der Verlauf der täglichen Flugaktivität entzerrt sich über die Brutdauer leicht in Abhängigkeit von der Tagesslänge (HEUCK *et al.* 2019; PFEIFFER & MEYBURG 2022).

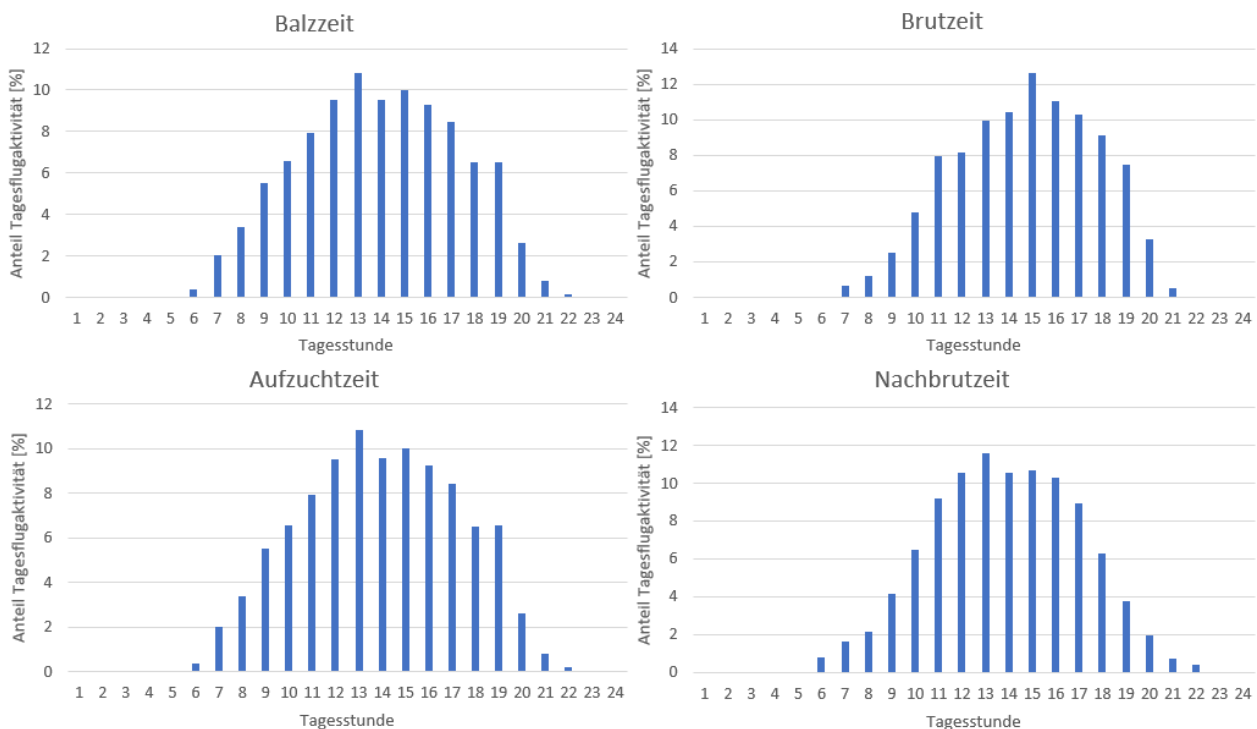


Abbildung 26: Verteilung der Rotmilan-Flugaktivität über einen Tag während der vier Brutphasen des Rotmilans
Verändert aus HEUCK *et al.* (2019)

Die Verteilung der Flugaktivität des Seeadlers unterscheidet sich von den Milanen grundlegend dadurch, dass Seeadler keine Zugvögel sind und ganzjährig im bzw. in der Nähe des Brutreviers verbleiben. Erwartbare Abschaltungen können sich also über das gesamte Jahr verteilen. Allerdings stehen für den Seeadler keine ganzjährigen Informationen über die Verteilung der Flugaktivität zur Verfügung. Zwar wurden auch für diese Art mehrere Telemetriestudien durchgeführt, allerdings handelt es sich bei den besenderten Tieren nicht um adulte Brutpaare und/oder es wurde kein komplettes Jahr telemetriert (KRONE *et al.* 2009; KRONE *et al.* 2017; TIKKANEN *et al.* 2018).

Grundsätzlich gilt jedoch, dass auch die Flugaktivität des Seeadlers während der Versorgung der Jungtiere ihr Maximum erreicht. Die Abschätzung der Flugaktivität während des Winters ist schwierig, da sie insbesondere von der Nahrungsverfügbarkeit abhängt. Häufig aufgesuchte Nahrungsgewässer müssen bei starkem Frost eventuell großräumig ersetzt werden. Als

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

Annäherung wird auf die methodischen Vorgaben zur phänologischen Verteilung der Intensität von Seeadler-Raumnutzungsbeobachtungen aus Schleswig-Holstein zurückgegriffen (MELUR & LLUR 2016; MELUND & LLUR 2021) (Tabelle 12).

Tabelle 12: Angenommene Verteilung der Seeadler-Flugaktivität über das Jahr
Angepasst nach MELUR & LLUR (2016)

Monat	Anteil jährliche Flugaktivität [%]
Januar	7
Februar	7
März	9
April	9
Mai	9
Juni	9
Juli	10
August	10
September	7
Oktober	7
November	7
Dezember	7

Die Flugaktivität pro Tag ist maßgeblich durch die Jagdtechnik der Ansitzjagd beeinflusst. Dabei sitzen die Tiere auf Bäumen in der Nähe ihrer Jagdhabitate und warten auf Beute. Bei dieser äußerst ökonomischen Jagdstrategie verbringen die Tiere rund 80 % der Zeit mit Warten und lediglich 7 % im Flug (NADJAFZADEH *et al.* 2015). TIKKANEN *et al.* (2018) haben in ihrer Telemetriestudie das Flugverhalten von subadulten Seeadlern untersucht, dabei haben sie ebenfalls eine geringe Flugaktivität von durchschnittlich 11 % pro Tag ermittelt, dies deckt sich mit den Aussagen weiterer Telemetriestudien (BALOTARI-CHIEBAO 2018). Rückschlüsse zur Flughäufigkeit werden im Projekt jedoch, wie bei den Milanen, über die Anzahl der tatsächlich erfassten Abschaltungen gewonnen. Da es sich sowohl bei den Milanen als auch beim Seeadler um tagaktive Greifvögel handelt, wird für die tägliche Verteilung der Flugaktivität auf den Verlauf aus Abbildung 26 zurückgegriffen und auf eine ganzjährige Flugaktivität angepasst, die sich überwiegend an der veränderten Tageslänge orientiert.

Auf dieser Datengrundlage ist es auch für den Seeadler möglich, eine Extrapolation der Verteilung der Abschaltereignisse durchzuführen.

Für diejenigen Brutphasen, innerhalb derer die IDF-Tests (teilweise) durchgeführt wurden, kann ein Durchschnittswert für Flüge bzw. Abschaltungen pro Tag per Dreisatz berechnet werden. Für die übrigen Brutphasen kann dieser Wert anschließend unter Berücksichtigung der jeweiligen Flugaktivität ermittelt werden. Es wird angenommen, dass die Anzahl der Abschaltungen positiv mit der Anzahl der Flüge (Flugaktivität) korreliert.

$$\text{Abschaltungen Brutphase 1} * \frac{\text{Flugaktivität Brutphase 2}}{\text{Flugaktivität Brutphase 1}} = \text{Abschaltungen Brutphase 2}$$

Abschaltungen Brutphase 1 = vollständig bzw. teilweise erfasste und extrapolierte Abschaltungen während einer der vier Brutphasen

Flugaktivität Brutphase = Anteil der Flugaktivität einer Brutphase an der gesamten Flugaktivität des Jahres (nach HEUCK et al. (2019))

Um anschließend die durchschnittlichen Abschaltungen für jede einzelne Tagesstunde in diesem Zeitraum prognostizieren zu können, wird die tägliche Verteilung der Rotmilan-Flugaktivität berücksichtigt, wie sie in HEUCK et al. (2019) ermittelt wurde. Unterschieden wird jeweils zwischen den vier Brutphasen bzw. den einzelnen Monaten. Mit Hilfe der prozentualen Flugaktivität pro Tagesstunde wird die durchschnittliche Anzahl der Abschaltungen pro Tagesstunde berechnet.

$$\text{Abschaltungen pro Tag} * \text{Flugaktivität Tagesstunde X} = \text{Abschaltungen Tagesstunde X}$$

Abschaltungen pro Tag = durchschnittliche Anzahl Abschaltungen pro Tag

Flugaktivität Tagesstunde X = Anteil der täglichen Flugaktivität für die jeweilige Tagesstunde (nach HEUCK et al. (2019))

Abschaltungen Tagesstunde X = durchschnittliche Anzahl Abschaltungen in der jeweiligen Tagesstunde

In Tabelle 13 ist dieser Rechenschritt exemplarisch für den Rotmilan im Zeitraum während der Balzzeit dargestellt. In diesem Beispiel finden während dieser Brutphase im Schnitt 1,7 Abschaltungen pro Tag statt. Die höchste Flugaktivität gibt es während der Tagesstunden 13 bis 18. Während dieser Tagesstunden finden im Schnitt jeweils etwas über 10 % aller täglichen Flüge statt. Dies entspricht unter Annahme einer Korrelation zwischen Flugaktivität und Anzahl der Abschaltungen durchschnittlich jeweils rund 0,2 Abschaltungen pro Tag während dieser Tagesstunden. Über die gesamte Balzzeit betrachtet kommt es somit rund alle fünf Tage zu einer Abschaltung während dieser Tagesstunden; in der Tagesstunde 19, während der die Flugaktivität allgemein bereits abnimmt (HEUCK et al. 2019), nur rund alle 10 Tage.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 13: Exemplarische Verteilung der durchschnittlichen Anzahl Abschaltungen pro Tag über die einzelnen Tagesstunden während der Balzzeit
Anteil Flugaktivität nach HEUCK *et al.* (2019), 1,7 Abschaltungen pro Tag (beispielhaft)

Tagesstunde	Anteil tägliche Flugaktivität [%]	Durchschnittliche Anzahl Abschaltungen
1	0,0	0,00
2	0,0	0,00
3	0,0	0,00
4	0,0	0,00
5	0,0	0,00
6	0,0	0,00
7	0,0	0,00
8	0,9	0,01
9	2,8	0,05
10	3,3	0,06
11	5,5	0,09
12	8,6	0,15
13	10,1	0,17
14	12,5	0,21
15	12,7	0,22
16	12,1	0,21
17	11,7	0,20
18	11,2	0,19
19	6,5	0,11
20	1,9	0,03
21	0,0	0,00
22	0,0	0,00
23	0,0	0,00
24	0,0	0,00

Kommt es laut den Berechnungen zu einer oder mehreren Abschaltungen in einer Tagesstunde, so wird die Anzahl mit der ermittelten durchschnittlichen Dauer des Abschaltsignals multipliziert. Somit erhält man eine Tabelle, die den Jahresgang der stündlichen Abschaltanzahlen und -dauern aufführt.

Für beide Standorte werden die Seeadler-Abschaltungen nach dieser Methode für das ganze Jahr prognostiziert, für die Milane erfolgt eine Vorhersage für den Zeitraum 15. März bis 30. September.

Durch den Vergleich der prognostizierten Abschaltungen mit den tatsächlich erfassten können eventuelle Einflüsse der extrapolierten Daten auf die Berechnung der Stromproduktionseinbußen ermittelt werden. So finden die Abschaltungen in der Realität zum Teil gehäuft in kurzen Abständen statt, wohingegen die prognostizierten Abschaltungen einer gleichmäßigen Verteilung unterliegen.

Die Kategorie „Protected“ umfasst eine Vielzahl an Vogelarten (vgl. Kap. 5.5.1), sodass keine einheitliche Flugaktivitätsverteilung angenommen werden kann und eine belastbare Extrapolation somit nicht möglich ist.

Es kann davon ausgegangen werden kann, dass es sich bei einem Teil der erfassten Arten um Zugvögel handelt, die während der Wintermonate nicht am Standort vorkommen, sodass sich die Ertragseinbußen in den Sommermonaten konzentrieren.

Annäherungsweise wird davon ausgegangen, dass die Flugaktivität, der in der Kategorie „Protected“ erfassten Arten im Zeitraum März bis September den erfassten Werten entspricht und sich in der übrigen Zeit um zwei Drittel reduziert. Die erfassten Ertragseinbußen werden entsprechend nach diesem Schema auf das ganze Jahr hochgerechnet.

4.5.2.2 BirdScan

Da das BirdScan-System lediglich zwischen der Kategorie „large raptor“ sowie allen weiteren Vogelarten bzw. Flugobjekten unterscheidet, ist eine Extrapolation der erfassten Abschaltungen mit Hilfe von artspezifischen Angaben zur Flugaktivitätsverteilung nicht möglich. Daher werden zunächst die zu erwartenden Stromproduktionseinbußen während des Einsatzzeitraums der BirdScan-Systeme für beide Standorte auf Grundlage der erfassten Abschaltungen berechnet. Entsprechend den interferenz-bedingten Einschränkungen des BirdScan-Systems wurden nur Abschaltungen berücksichtigt, die nach dem 07.09.2022 erhoben worden sind.

Mit Hilfe der durchschnittlichen Anzahl und Dauer der Abschaltungen während des Einsatzzeitraums können anschließend grob die weiteren Ertragseinbußen während eines ganzjährigen Betriebs abgeschätzt werden. Dabei gilt es zu berücksichtigen, für welche Arten das BirdScan-System tatsächlich Abschaltungen veranlasst hat und inwieweit mit einer Reduktion der Abschalthäufigkeit in den Wintermonaten zu rechnen ist.

4.5.3 Vergleich der Systeme

Um den Einfluss der Systeme auf die wirtschaftlichen Auswirkungen zu ermitteln, werden die Zeiträume verglichen, in denen jeweils an den beiden Standorten sowohl IDF als auch das BirdScan-System in Betrieb waren. Die Ertragseinbußen beruhen in diesem Fall auf der jeweiligen Häufigkeit und Dauer der ausgelösten Abschaltungen. Neben der Flugaktivität am Standort, die für beide Systeme identisch war, hängen diese Faktoren von der Erfassungsrate und der Klassifizierung ab. Systeme mit hoher Falsch-Positiv-Rate führen zu entsprechend höheren Ertragseinbußen.

5 Ergebnisse

5.1 Erzielte Datengrundlage

5.1.1 LRF

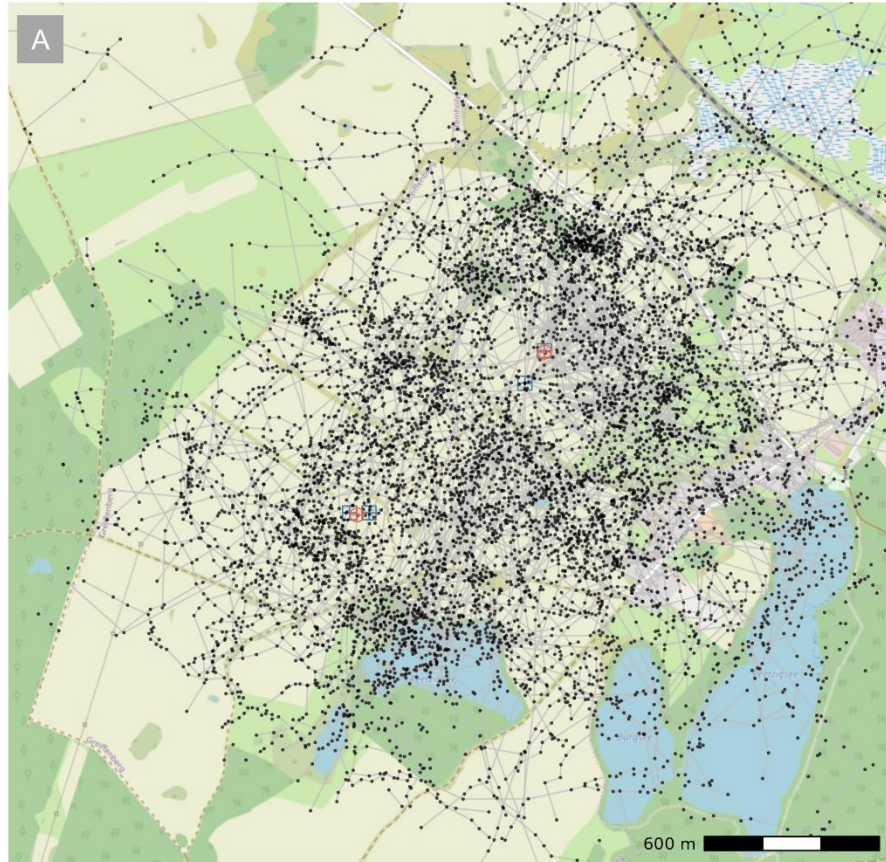
Mit Hilfe des Laser Rangefinders (LRF) konnten in Summe 426 Rotmilan-Flugbahnen und 343 Seeadler-Flugbahnen aufgezeichnet werden. Die räumliche Verteilung dieser Rotmilan- bzw. Seeadler-Flugbahnen ist in Abbildung 27 dargestellt. Dabei wird deutlich, dass Seeadler eher im südwestlichen Teil des Untersuchungsgebiets (demnach eher am Komplex- als am Offenlandstandort) erfasst wurden. Für den Rotmilan ergibt sich ein homogeneres Bild und es lassen sich – bezogen auf die beiden untersuchten Standorte – nur geringfügige Erfassungsunterschiede erkennen. Im Nordosten ist jedoch anhand der Verdichtung der Punkte der dortige Horststandort festzustellen (vgl. Abbildung 9).

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

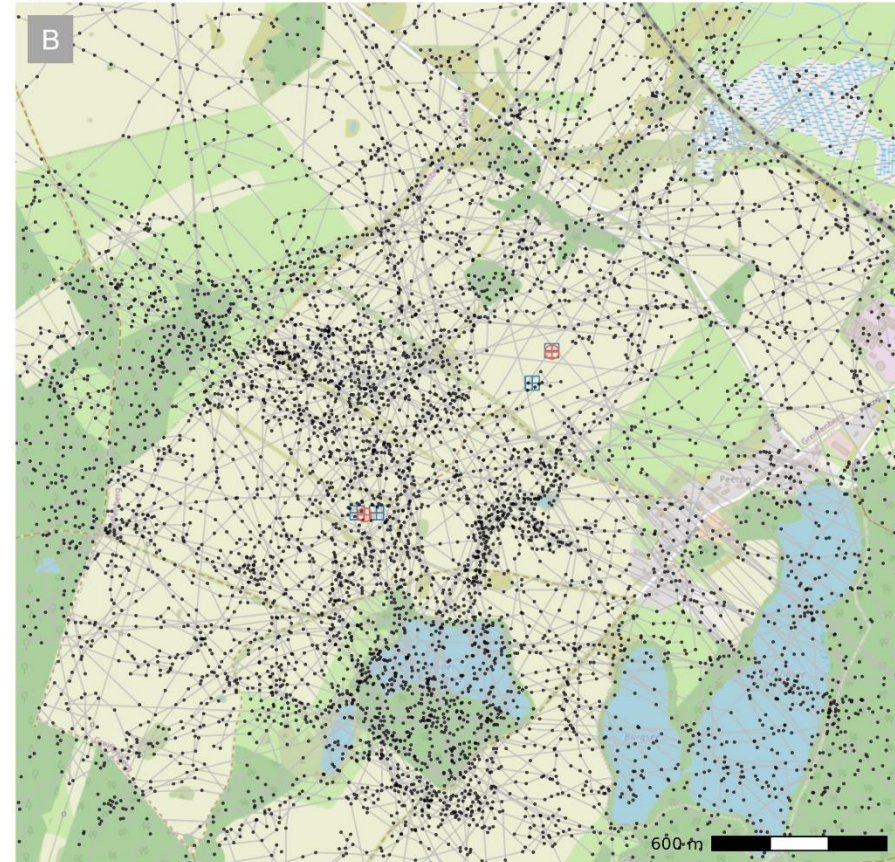
Auswahl: Rotmilan

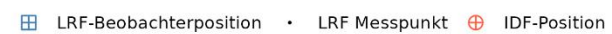




Datengrundlage: 8839 Einzelpunkte aus 426 Tracks

Auswahl: Seeadler





Datengrundlage: 7878 Einzelpunkte aus 343 Tracks

Abbildung 27: Summarische Darstellung aller mittels LRF erfassten Rotmilan(A)- bzw. Seeadler(B)-Flugwege am Komplex- und Offenlandstandort.

5.1.2 IDF

An beiden Untersuchungsstandorten zusammen wurden insgesamt von den IDF-Systemen 1.587.578 Datenpunkte detektierter Flugobjekte aufgezeichnet. 941.043 Datenpunkte wurden am Komplexstandort erhoben, davon wurden 207.269 Datenpunkte von IDF als „Red-or-Black Kite“, 100.201 Datenpunkt als „White-tailed-Eagle“ und 75.297 Datenpunkte als „Protected“ klassifiziert. Am Offenlandstandort wurden 646.535 Datenpunkte erhoben, wovon 186.111 Datenpunkte auf die Klassifizierung „Red-or-Black-Kite“, 44.635 Datenpunkte auf „White-tailed-Eagle“ und 42.391 Datenpunkte auf „Protected“ entfallen.

Einen Überblick aller Datenpunkte und ihrer Klassifizierung durch die IDF-Systeme gibt Tabelle 14. 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 eingeschränkt auf die Datengrundlage von Datenpunkten mit Fotos zurückgegriffen. Auf die jeweils verwendete Datengrundlage wird hingewiesen.

Tabelle 14: Überblick aller von den IDF-Systemen aufgezeichneter und klassifizierter Datenpunkte am Komplex- und Offenlandstandort.

IDF-Kategorie	Komplex-Standort		Offenland-Standort	
	Datenpunkte mit und ohne Foto	Datenpunkte mit Foto	Datenpunkte mit und ohne Foto	Datenpunkte mit Foto
Buzzard	174.793	129.657	84.411	62.024
Other	6.512	3.198	3.459	1.846
Other-Avian	376.971	291.517	285.528	217.800
Protected	75.297	72.310	42.391	40.104
Red-or-Black-Kite	207.269	203.509	186.111	180.794
White-Tailed-Eagle	100.201	98.476	44.635	43.608
Gesamt	941.043	798.667	646.535	546.176

Von den 1.344.843 IDF-Datenpunkten mit Foto wurden 184.258 Datenpunkte für die Beurteilung der Klassifizierungsleistung manuell nachbestimmt. Zusätzlich wurden für die Beurteilung anderer IDF-Leistungswerte zur Vergrößerung der Stichprobe gezielt Tracks mit mindestens einer Zielart-Klassifikation nachbestimmt und dadurch 15.336 Datenpunkte für den Rotmilan bzw. 100.959 Datenpunkte für den Seeadler in die Auswertung mit einbezogen.

5.1.2.1 Räumliche Abdeckung und Verteilung der Zielarten-Aktivität

Betrachtet man die Verteilung der erfassten Zielart-Vögel aus der Position von IDF in horizontaler (Abbildung 28A bzw. Abbildung 29A) und vertikaler Richtung (Abbildung 28B bzw. Abbildung 29B) lassen sich detaillierte Ansichten über die Flugaktivität der Zielarten in alle Richtungen um die IDF-Systeme generieren, die während des Erfassungszeitraums erhoben wurde. Zu beachten ist in der Darstellung in Abbildung 28B bzw. Abbildung 29B, dass die Entfernung zu IDF nicht abgeleitet werden kann und durch die zweidimensionale Projektion einer Halbkugel um den IDF-Standort, die Darstellung mit zunehmendem Steigungswinkel immer mehr verzerrt werden. Analog zur vergrößerten Darstellung von polnahen Flächen (z.B. Grönland) bei der zweidimensionalen Mercator-Kartenprojektion, verteilen sich hier Punktwolken mit hohem Steigungswinkel über eine größere Fläche und erscheinen deshalb bei gleicher Aktivität weniger dicht.

Die Darstellungen dienen zur Visualisierung der erhobenen Daten, um ggf. bestehende Erfassungslücken aufzudecken und bei der Interpretation anderer (IDF-Leistungs-) Daten hilfreich zu sein. Generelle Aussagen zur räumlichen Verteilung der Flugaktivität des Rotmilans bzw. Seeadlers im Untersuchungsgebiet können aber nicht davon abgeleitet werden und sind nicht Ziel der Darstellungen. Trotzdem lassen die Grafiken hinsichtlich der Zielarten-Aktivität erkennen, dass schwerpunktmäßig im nordöstlichen Teil des Offenlandstandorts besonders viele Rotmilane erfasst wurden, hier befand sich auch ein Rotmilanhorst (Abbildung 28A/B). Bei der räumlichen Betrachtung der mittels LRF erfassten Rotmilane zeigt sich dieser Schwerpunkt ebenfalls, allerdings hebt sich dieser hier nicht so klar von den anderen Aktivitäts-Bereichen am südlichen Offenland- sowie südlichen Komplexstandort ab (Abbildung 27A). Für den Seeadler sind Aktivitätszentren im südlichen und nordwestlichen Bereich des Komplexstandorts auszumachen (Abbildung 29A/B). Hierfür findet sich auch eine ähnliche Entsprechung in den LRF-Daten (Abbildung 27B).

Insgesamt erscheint die Verteilung der IDF-Daten für beide Zielarten weitgehend homogen, d.h. die Erfassung an den beiden Standorten war in alle Himmelsrichtungen uneingeschränkt möglich. Unplausible Lücken in der Datenerfassung können nicht festgestellt werden.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Auswahl: RED-OR-BLACK-KITE

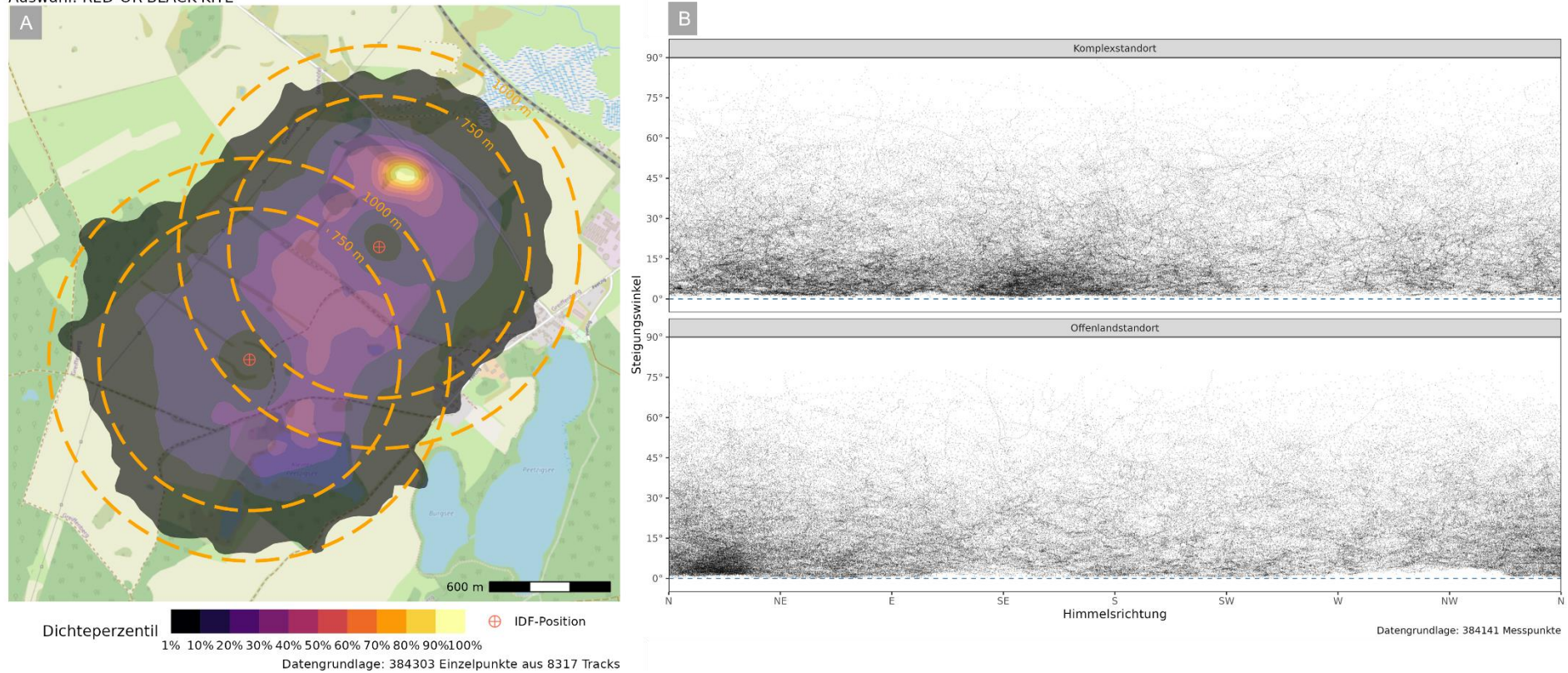


Abbildung 28: Räumliche Verteilung von IDF-Daten mit der Klassifizierung „Red-or-Black-Kite“ am Komplex- und Offenlandstandort A) Kerndichteschätzung verorteter „Red-or-Black-Kite“ Datenpunkte. Je heller die Farbe, desto mehr Datenpunkte wurden von IDF erfasst. Der Farbverlauf ist kumulativ zu lesen, so dass 50 % „Red-or-Black-Kite“-Datenpunkte in den Bereichen erfasst wurden, die die Farben von 1 % bis 50 % aufweisen. B) Positionen von „Red-or-Black-Kite“ Datenpunkten bzgl. Himmelsrichtung und Steigungswinkel.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Auswahl: WHITE-TAILED-EAGLE

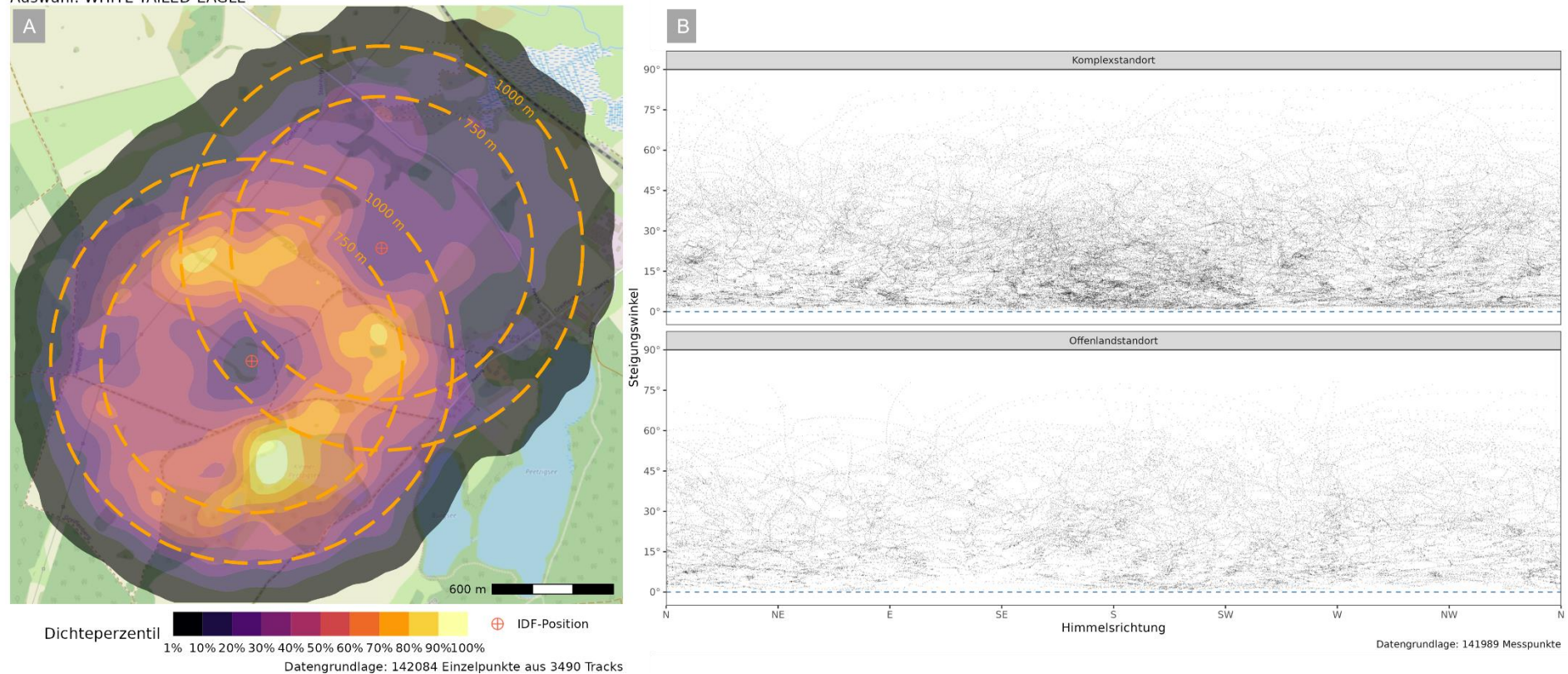


Abbildung 29: Räumliche Verteilung von IDF-Daten mit der Klassifizierung „White-tailed-Eagle“ am Komplex- und Offenlandstandort
 A) Kerndichteschätzung verorteter „White-tailed-Eagle“ Datenpunkte. Je heller die Farbe, desto mehr Datenpunkte wurden von IDF erfasst. Der Farbverlauf ist kumulativ zu lesen, so dass 50 % „White-tailed-Eagle“-Datenpunkte in den Bereichen erfasst wurden, die die Farben von 1 % bis 50 % aufweisen. B) Positionen von „White-tailed-Eagle“ Datenpunkten bzgl. Himmelsrichtung und Steigungswinkel.

5.1.2.2 Zeitliche Abdeckung und Verteilung der Zielarten-Aktivität

Die zeitliche Verteilung der von IDF erhobenen Daten mit der IDF-Klassifizierung „Red-or-Black Kite“ und „White-tailed-Eagle“ lässt tendenziell eine Abnahme von Beginn des Erfassungszeitraums Mitte Juni bis zum Ende der Erfassungszeit Ende November erkennen (Abbildung 30 / Abbildung 31). Auch hinsichtlich der Aufzeichnungsdauer wird dieser Trend deutlich und die Vögel wurden zu Beginn des Erfassungszeitraums häufiger länger pro Tag aufgezeichnet als später im Jahr. Ebenfalls erkennbar sind tageszeitliche Schwankungen hinsichtlich der Anzahl von erhobenen Zielart-Flugbahnen. Dabei ist die Aktivität der Vögel tendenziell über die Tagesmitte am höchsten und nimmt jeweils zu Sonnenauf- bzw. Sonnenuntergang ab (Abbildung 30/ Abbildung 31 unten).

Insgesamt sind diese Ergebnisse plausibel und decken sich auch mit den bekannten Aktivitätszeit der Zielarten (HEUCK *et al.* 2019; PFEIFFER & MEYBURG 2022). Es kann somit von einer weitgehend kontinuierlichen Zielartendetektion durch das IDF-System ausgegangen werden. Schwankungen zur täglichen Aufzeichnungsdauer zwischen den Erfassungstagen können u.a. auf unterschiedlich vorherrschende Witterungsbedingungen (bspw. hinsichtlich der Thermik) oder eine veränderte Nahrungsverfügbarkeit (z.B. Ernte oder Wiesenmahd) zurückgeführt werden.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

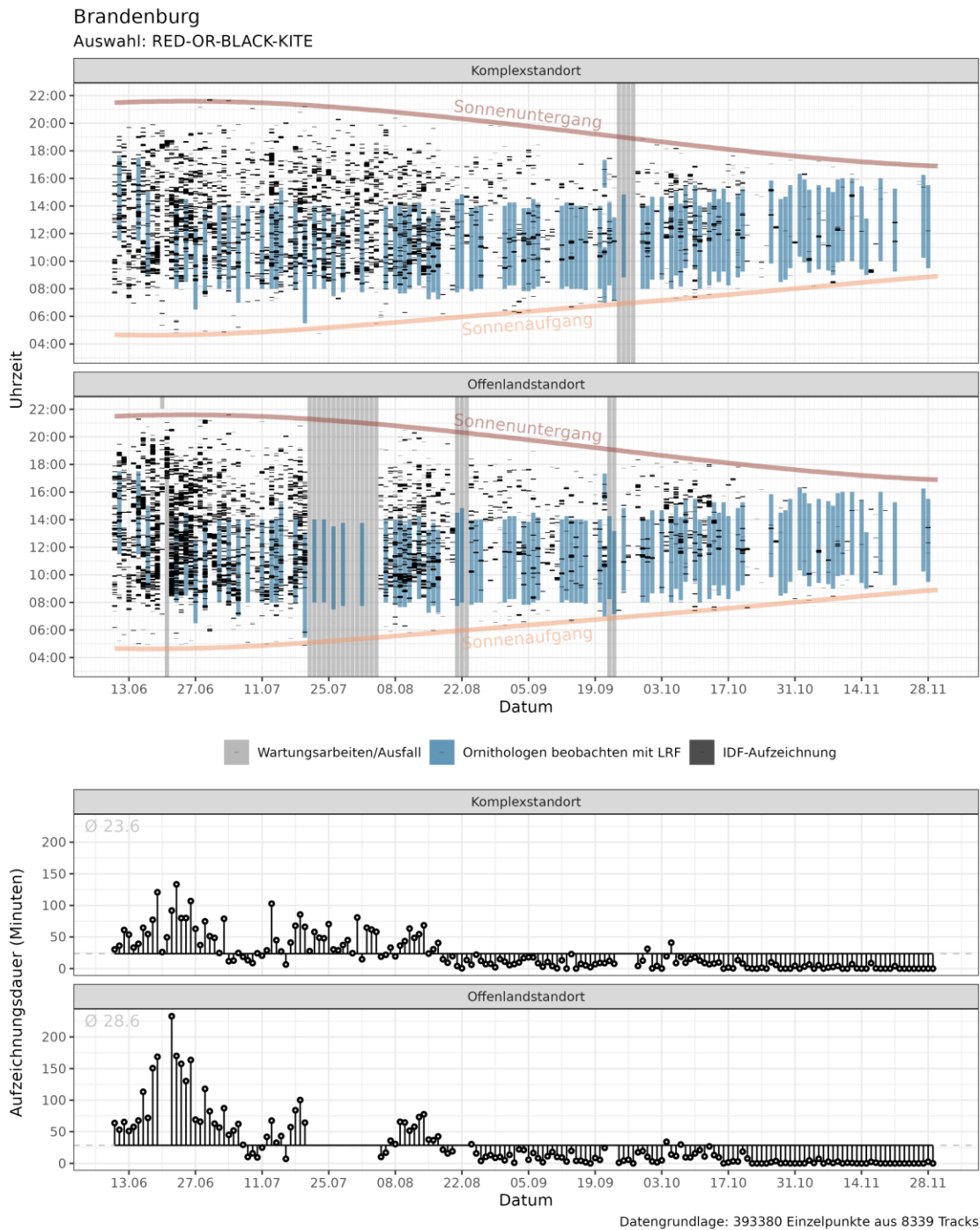


Abbildung 30: Zeitliche Verteilung und tägliche Aufzeichnungsdauer von Flugbahnen mit der IDF-Kategorie „Red-or-Black-Kite“ am Komplex- und Offenlandstandort. Oben: Gespeicherte Dateneinträge von IDF sind für jeden Tag als schwarze Linien markiert. Unten: Die mittlere Aufzeichnungsdauer der Zielart-Flugbahn pro Tag ist als grau gestrichelte Linie markiert bzw. grau als Zahlenwert auf der Y-Achse angegeben. Die jeweiligen Tageswerte sind als Abweichung vom Mittelwert dargestellt. Datengrundlage: Datenpunkte mit und ohne Foto

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

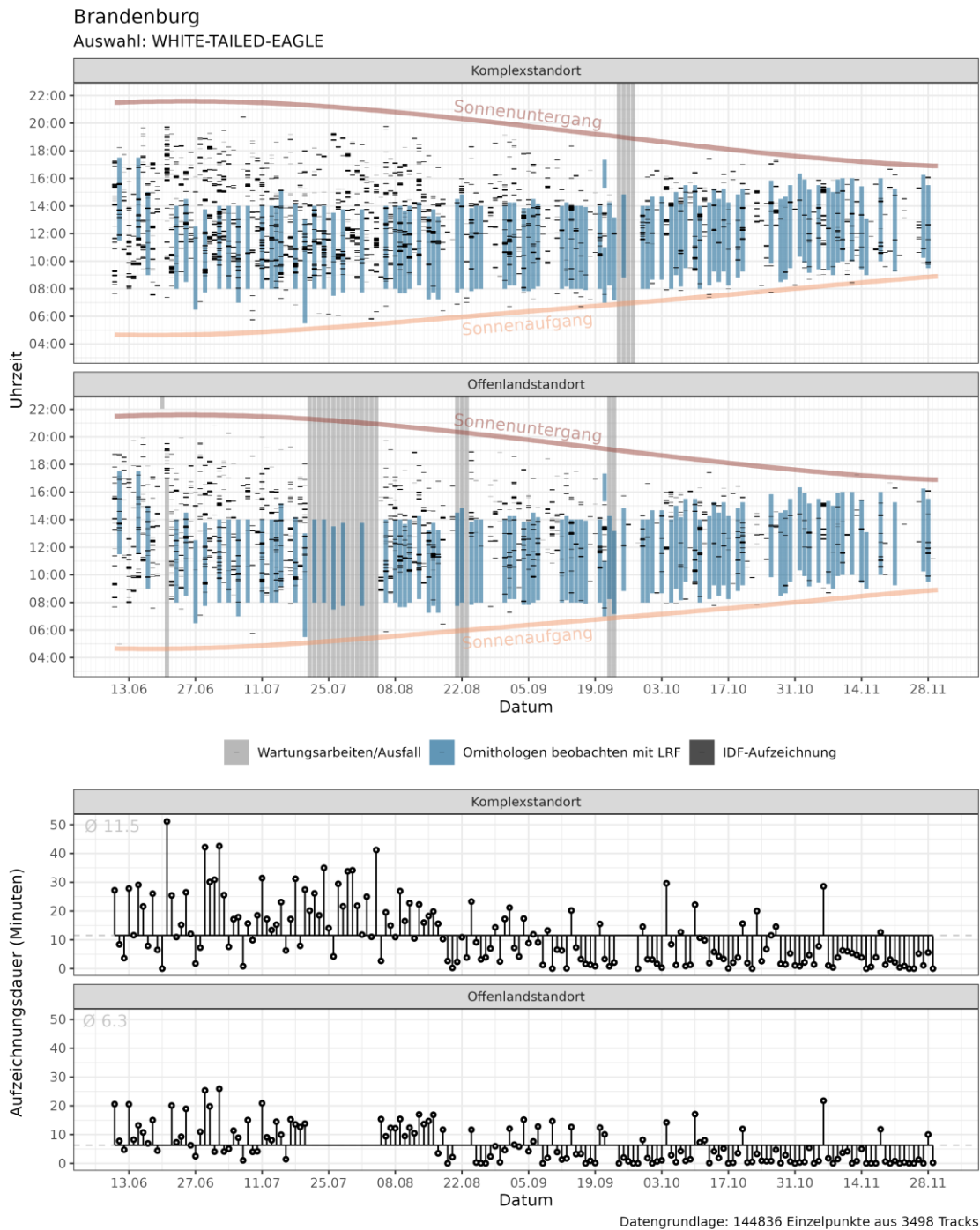


Abbildung 31: Zeitliche Verteilung und tägliche Aufzeichnungsdauer von Flugbahnen mit der IDF-Kategorie „White-tailed-Eagle“ am Komplex- und Offenlandstandort. Oben: Gespeicherte Dateneinträge von IDF sind für jeden Tag als schwarze Linien markiert. Unten: Die mittlere Aufzeichnungsdauer der Zielart-Flugbahn pro Tag ist als grau gestrichelte Linie markiert bzw. grau als Zahlenwert auf der Y-Achse angegeben. Die jeweiligen Tageswerte sind als Abweichung vom Mittelwert dargestellt. Datengrundlage: Datenpunkte mit und ohne Foto

5.1.2.3 Referenzdaten LRF

Für das IDF-System waren an beiden Standorten zusammen für die Zielarten insgesamt 1.721 LRF-Tracks beurteilbar, wovon in Summe 788 LRF-Tracks für beide Zielarten zusammen als „gültig“ bewertet werden konnten (Kapitel 4.2.2). Dabei wurden LRF-Tracks auch doppelt für beide Standorte gewertet, weshalb sich durch das Aufsummieren der Zielartflugbahnen beider Standorte eine größere Anzahl an LRF-Tracks ergibt als von den Beobachtern erhoben wurde (Kapitel 4.2.1).

Am Komplexstandort wurden von den in Summe für diesen Standort bewertbaren 421 Rotmilan-Tracks 201 Tracks mit „gültig“ bewertet bzw. von 328 Seeadler-Tracks 200 Tracks mit „gültig“ bewertet. Folglich wurden 220 Rotmilan-Tracks und 128 Seeadler-Tracks als „ungültig“ eingestuft, wobei 190 Rotmilan-Tracks und 117 Seeadler-Tracks außerhalb der jeweiligen IDF-Erfassungsreichweite aufgenommen wurden. 16 Rotmilan-Tracks und 7 Seeadler-Tracks konnten vom IDF-System aufgrund von Sichtverschattungen nicht gesehen werden; in 14 weiteren Fällen (Rotmilan) bzw. in 4 Fällen (Seeadler) verfolgte IDF zeitgleich einen anderen geschützten Vogel.

Am Offenlandstandort konnten in Summe weniger LRF-Tracks bewertet werden als am Komplexstandort. Trotzdem wurde eine vergleichbare Anzahl an gültigen Referenzdaten für beide Zielarten erreicht, sodass von 374 Rotmilan-Tracks 220 Tracks bzw. von 298 Seeadler-Tracks 167 Tracks als „gültig“ bewertet werden konnten. Die übrigen 154 Rotmilan-Tracks bzw. 131 Seeadler-Tracks wurden als „ungültig“ bewertet, da sich der Vogel entweder außerhalb der IDF-Erfassungsreichweite befand (129 Rotmilan-Tracks bzw. 117 Seeadler-Tracks), in einem sichtverschatteten Bereich erfasst wurde (17 Rotmilan-Tracks bzw. 8 Seeadler-Tracks) oder IDF zeitgleich einen anderen geschützten Vogel verfolgte (8 Rotmilan-Tracks bzw. 6 Seeadler-Tracks).

Einen Überblick gibt Tabelle 15, in der die „gültigen“ und „ungültigen“ LRF-Tracks nach Standort und Zielart gelistet sind.

Tabelle 15: LRF-Referenzstichprobe für das IDF-System am Komplex- und Offenlandstandort. Zu beachten ist, dass LRF-Tracks auch doppelt für beide Standorte gewertet werden konnten, weshalb sich in Summe eine größere Anzahl an LRF-Tracks ergibt als von den Beobachtern erhoben (Kapitel 4.2.1).
*= Nicht für das IDF sichtbar aufgrund von Sichtverschattungen, in einem für die Abschaltung nicht relevanten Bereich.

	Zielart	LRF-Tracks	ungültige LRF-Tracks			gültige LRF-Tracks
			nicht sichtbar für IDF*	außerhalb IDF-Erfassungsreichweite	andere geschützte Art verfolgt	
Komplexstandort	Rotmilan	421	16	190	14	201
	Seeadler	328	7	117	4	200
Offenlandstandort	Rotmilan	374	17	129	8	220
	Seeadler	298	8	117	6	167

5.1.3 BirdScan

5.1.3.1 Räumliche Abdeckung und Verteilung der Zielarten-Aktivität

Zwischen Morgen- und Abenddämmerung wurden von den BirdScan-Systemen pro Tag hunderte bis tausende von als „large_raptor“ klassifizierte BirdScan-Tracks aufgezeichnet. Insgesamt kamen dabei rund 43,8 Mio einzelne Messpunkte zusammen, die rund 758.200 Tracks ergaben. Am 25.06.2022 allein sind zum Beispiel 5.384 BirdScan-Tracks der Kategorie „large_raptor“ bestehend aus 322.865 Messpunkten registriert worden. Horizontal verteilen sich die Tracks um beide BirdScan-Systeme herum innerhalb eines Umkreises von bis zu 2.800 m (Abbildung 32 bis Abbildung 34).

In Bezug zur Himmelsrichtung verteilen sich die als „large_raptor“ klassifizierte Messpunkte im Umkreis von 360° und liegen an beiden Standorten hauptsächlich innerhalb eines Steigungswinkels von -15° bis +30° (Abbildung 35).



Abbildung 32: Beispielhafte räumliche Verteilung von während drei Tagen (25.06./06.07./18.07.) als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkten am Komplexstandort im Sommer 2022.
 Dargestellt sind die zwischen Morgen- und Abenddämmerung vom BirdScan-System als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkte (nicht nachbestimmt). Deutlich sichtbar ist der Effekt der defekten nach Norden ausgerichteten Antenne. Dunkelblau=Messpunkte, gelb=Standort BirdScan Komplexstandort, hellblau=Standort BirdScan Offenlandstandort, weiße Kreise=Radius Abstandszylinder 502 m

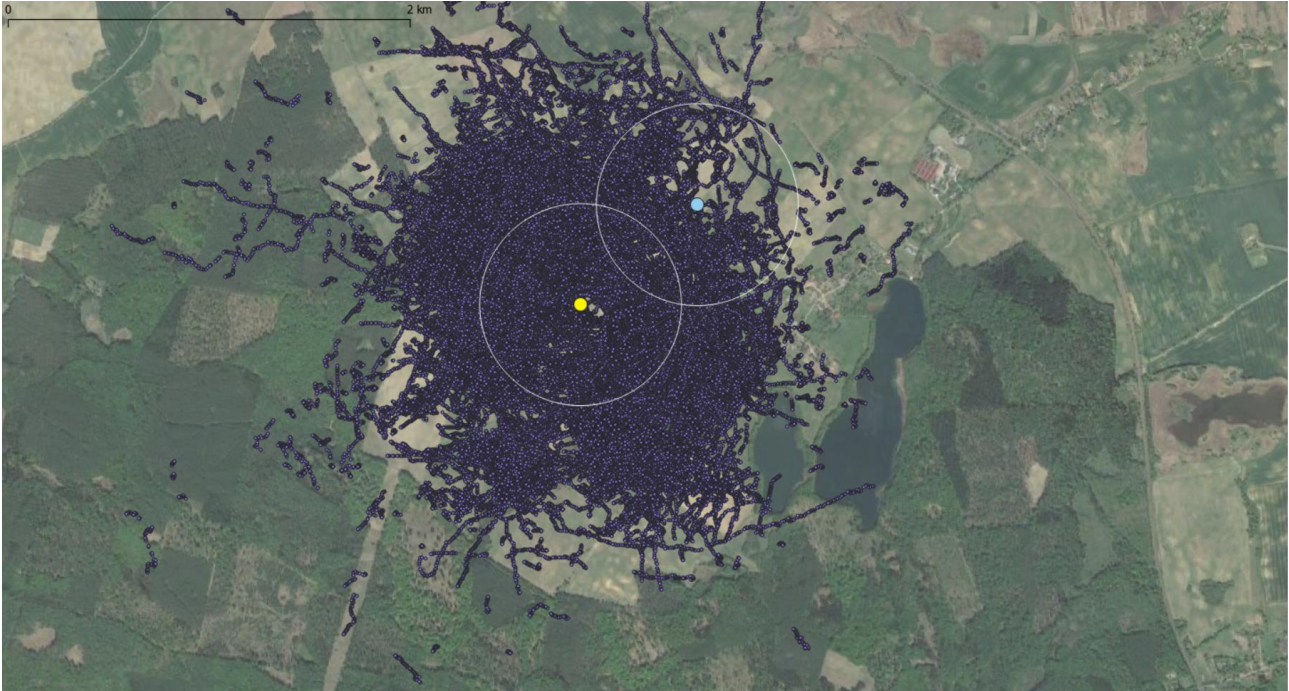


Abbildung 33: Beispielhafte räumliche Verteilung von während drei Tagen (15.09./11.10./25.10.) als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkten am Komplexstandort im Herbst 2022. Dargestellt sind die zwischen Morgen- und Abenddämmerung vom BirdScan-System als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkte (nicht nachbestimmt). Dunkelblau=Messpunkte, gelb=Standort BirdScan Komplexstandort, hellblau=Standort BirdScan Offenlandstandort, weiße Kreise=Radius Abstandszylinder 502 m

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

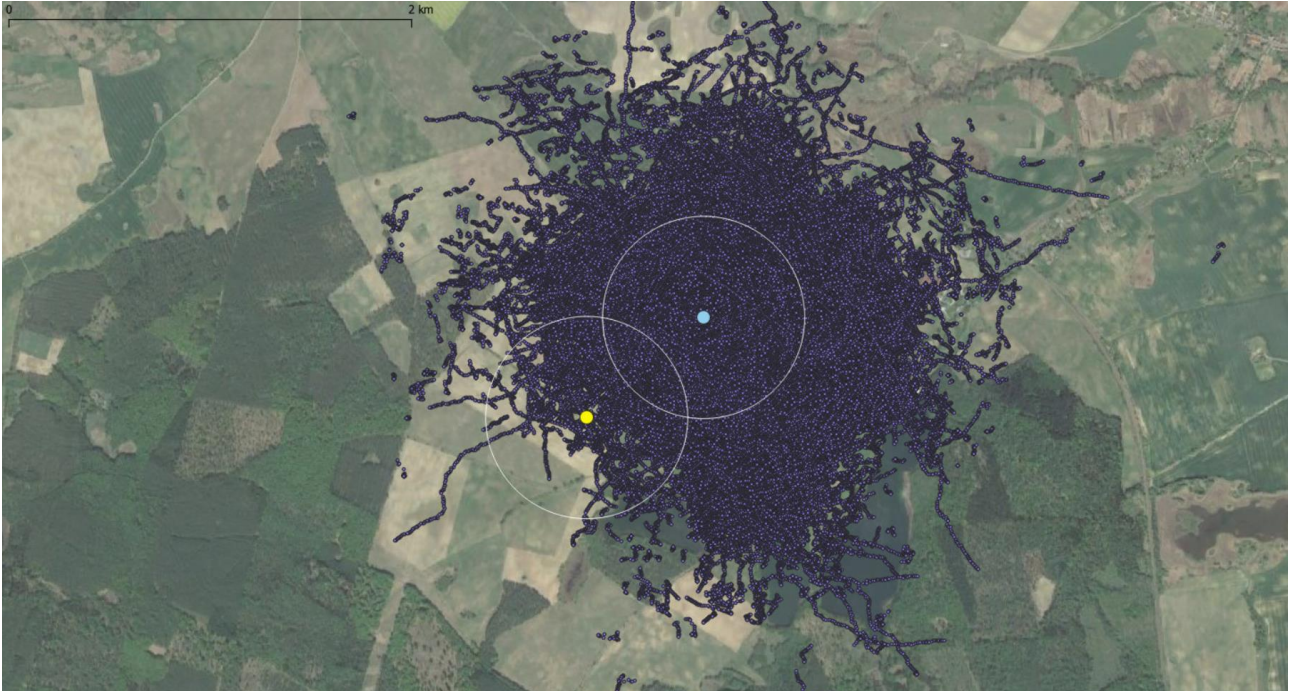


Abbildung 34: Beispielhafte räumliche Verteilung von während drei Tagen (14.09./10.10./24.10.) als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkten am Offenlandstandort im Herbst 2022.
 Dargestellt sind die zwischen Morgen- und Abenddämmerung vom BirdScan-System als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkte (nicht nachbestimmt). Dunkelblau=Messpunkte, gelb=Standort BirdScan Komplexstandort, hellblau=Standort BirdScan Offenlandstandort, weiße Kreise=Radius Abstandszylinder 502 m

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

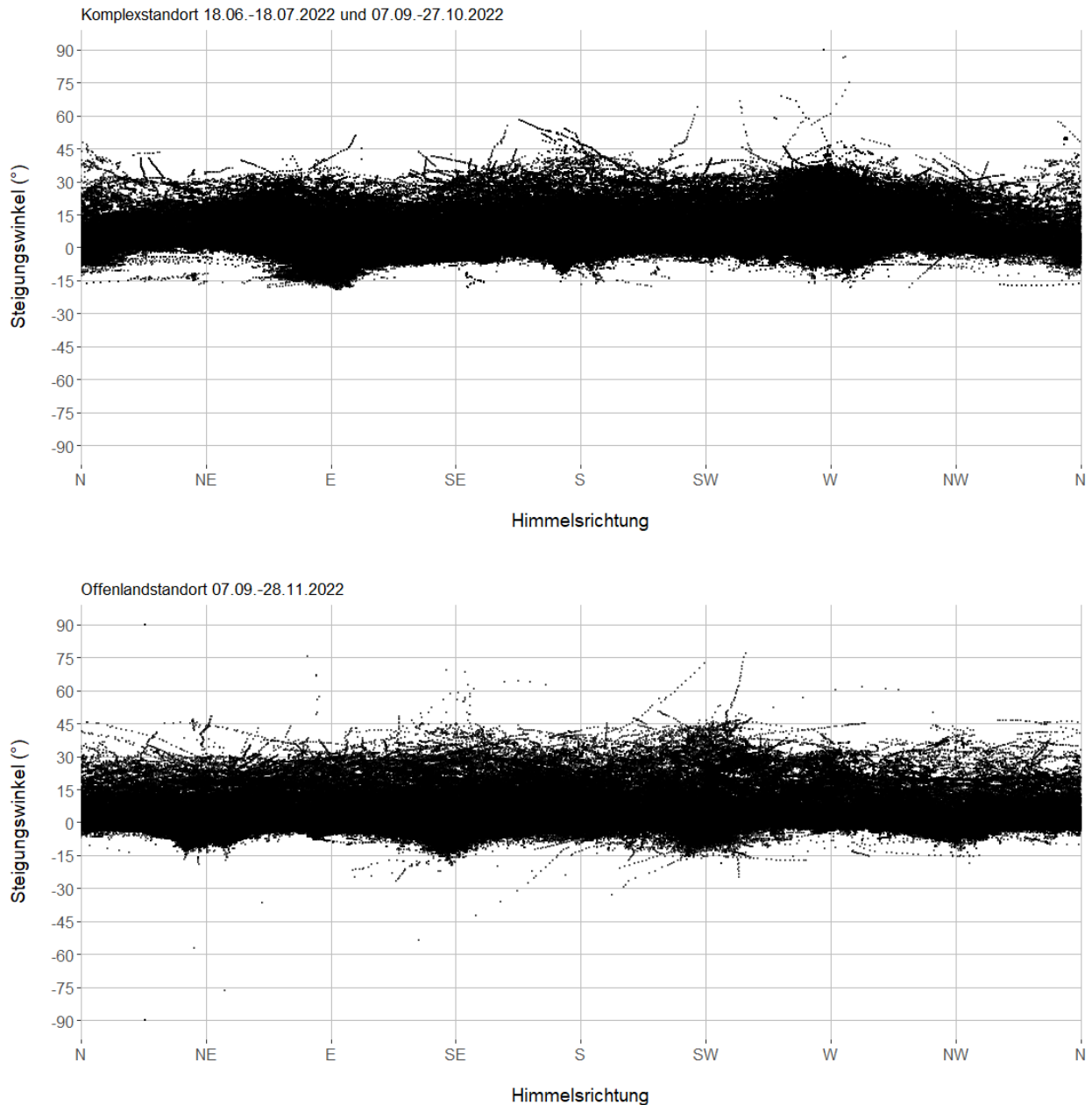


Abbildung 35: Verteilung von als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkten am Komplex- (oben) und Offenlandstandort (unten) nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel während den Zeitperioden ohne gegenseitige Interferenz.

Dargestellt sind nur die von den BirdScan-Systemen als „large_raptor“ klassifizierten Messpunkte (nicht nachbestimmt), die von den Systemen innerhalb der Zeitfenster aufgezeichnet worden sind, innerhalb derer gleichzeitig LRF-Beobachtungen stattgefunden haben. Weit unterhalb des Horizonts liegende Messpunkte stammen von Vögeln, die knapp über Boden in unmittelbarer Nähe des Systems unterwegs waren.

5.1.3.2 Zeitliche Abdeckung und Verteilung der Zielarten-Aktivität

Die BirdScan-Systeme waren 24 h pro Tag in Betrieb. Aufgrund der Tagaktivität der Zielarten waren für die vorliegende Untersuchung nur die bei Tageslicht aufgezeichneten Daten relevant. Zwischen Morgen- und Abenddämmerung variierte die Aktivität je nach Datum (Abbildung 36) und innerhalb eines Tages nach Stunde (Abbildung 37).

Am Offenlandstandort ist vor allem im August eine große Anzahl an als „large_raptor“ klassifizierte Tracks registriert worden. Dies dürfte mit der Interferenz zwischen den beiden BirdScan-Systemen in Zusammenhang stehen. Während den Zeitperioden ohne Interferenz schwankten die Werte zwischen rund 400 und 11.000 Tracks pro Tag.

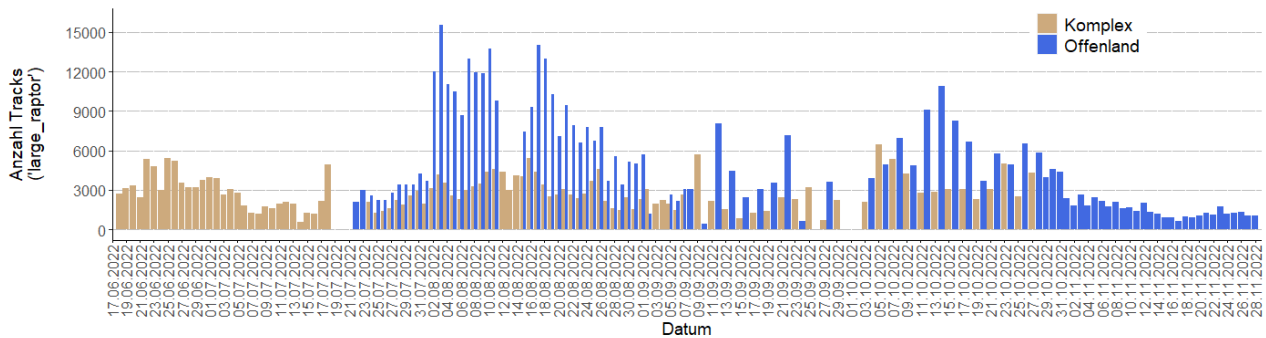


Abbildung 36: Verteilung der Zielarten-Aktivität („large_raptor“) nach Datum zwischen Morgen- und Abenddämmerung am Komplex- und Offenlandstandort.

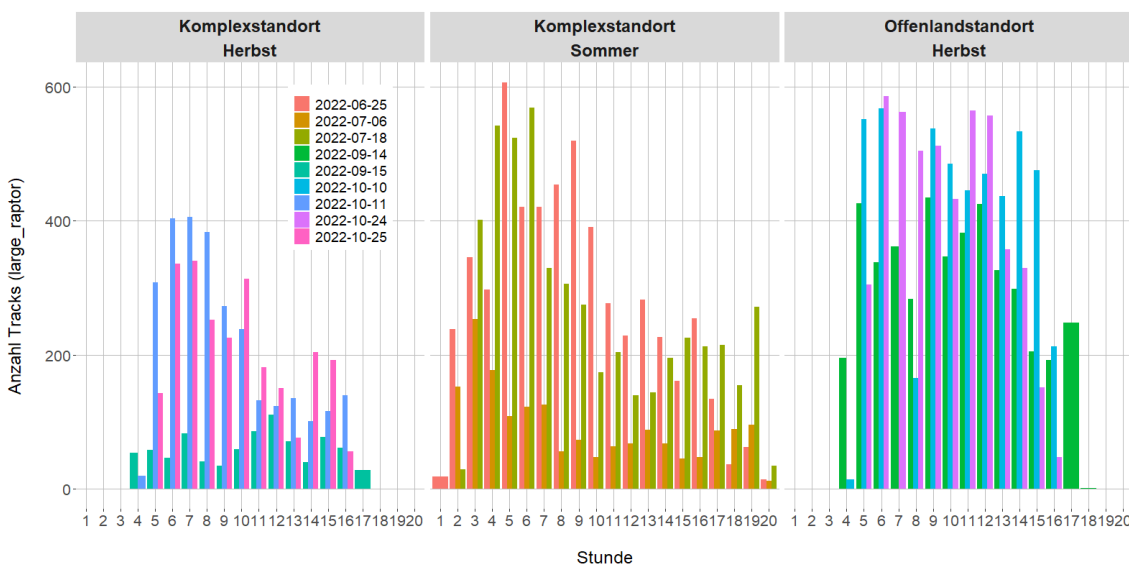


Abbildung 37: Verteilung der Zielarten-Aktivität („large_raptor“) nach Stunden für jeweils drei Tage im Sommer und Herbst.

Aufgrund der Datenmenge sind hier beispielhaft jeweils nur drei Tage der zwischen Morgen- und Abenddämmerung als „large_raptor“ klassifizierte Tracks dargestellt.

5.1.3.3 Referenzdaten LRF

Insgesamt waren bezüglich der BirdScan-Systeme 740 LRF-Tracks beurteilbar (Rotmilan: N=399, Seeadler: N=341). Während der Zeitperiode, in der beide Systeme gleichzeitig aktiv waren (24.07.-07.09.2022), konnten für ein BirdScan-System jeweils die LRF-Tracks von beiden LRF-Beobachtungsstandorten genutzt werden. Für diejenige Zeitperioden, in denen jeweils nur ein BirdScan-System aktiv war (keine gegenseitige Störung, 18.06.-18.07.2022 und ab 07.09.2022) standen von Rotmilanen 185 LRF-Tracks und von Seeadlern 169 LRF-Tracks als Referenzdatensatz zur Verfügung.

Tabelle 16: Anzahl beurteilbare LRF-Tracks als Referenzdaten für die BirdScan-Systeme pro Zeitperiode und Zielart
NA=nicht verfügbar

Zeitperiode	Komplexstandort		Offenlandstandort	
	Rotmilan	Seeadler	Rotmilan	Seeadler
23.06.-20.07.2022	92	54	NA	NA
24.07.-07.09.2022 (Interferenz)	131	94	83	78
07.09.-28.11.2022	37	28	56	87
Total ohne Interferenzperiode	129	82	56	87
Total mit Interferenzperiode	260	176	139	165

5.2 Erfassungsreichweite

5.2.1 IDF

Die Erfassungsreichweite von IDF für die Detektion der Zielarten wurde auf Grundlage der sicher als eine der Zielart nachbestimmten Tracks berechnet. Hierbei ist der jeweils erste Punkt einer aufgezeichneten Zielart-Flugbahn maßgebend, der korrekt als „Red-or-Black Kite“ bzw. „White-tailed-Eagle“ klassifiziert wurde.

Somit flossen 1.750 an Rot- bzw. Schwarzmilan-Tracks sowie 2.207 Seeadler Tracks – davon der jeweils erste korrekt klassifizierte Detektionspunkt dieser Tracks – in die Auswertung ein.

Zu berücksichtigen ist, dass IDF zumeist mehrere Tracks für das gleiche Individuum anlegt, wenn sich dieses länger im Erfassungsbereich aufhält (vgl. Kapitel 4.4.1.1). Für die Beurteilung der Erfassungsreichweite sind deshalb die Maximal-Werte der ersten Detektionspunkte relevant, da sie die technisch bedingten Fähigkeiten des Systems zeigen.

So wurde an beiden Untersuchungsstandorten der Rotmilan in über 750 m radialer Distanz bzw. der Seeadler in über 1.000 m radialer Distanz von IDF detektiert (Abbildung 38). Damit werden die Angaben des Herstellers hinsichtlich der maximalen Erfassungsreichweite für die Zielarten erfüllt.

Darüber hinaus zeigt Abbildung 39, dass die Erfassungsreichweite von IDF für beide Zielarten in alle Himmelsrichtungen vergleichbar und keine Erfassungslücken vorhanden waren. Vergleicht man diese Erstdetektionen mit der räumlichen Verteilung erhobener Zielart-Daten in Abbildung 28 bzw. Abbildung 29 wird außerdem deutlich, dass die Bereiche mit erhöhter Aktivität mit denjenigen Bereichen zusammenfallen, in denen ein Rotmilan bzw. ein Seeadler auch zuerst detektiert wurde.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

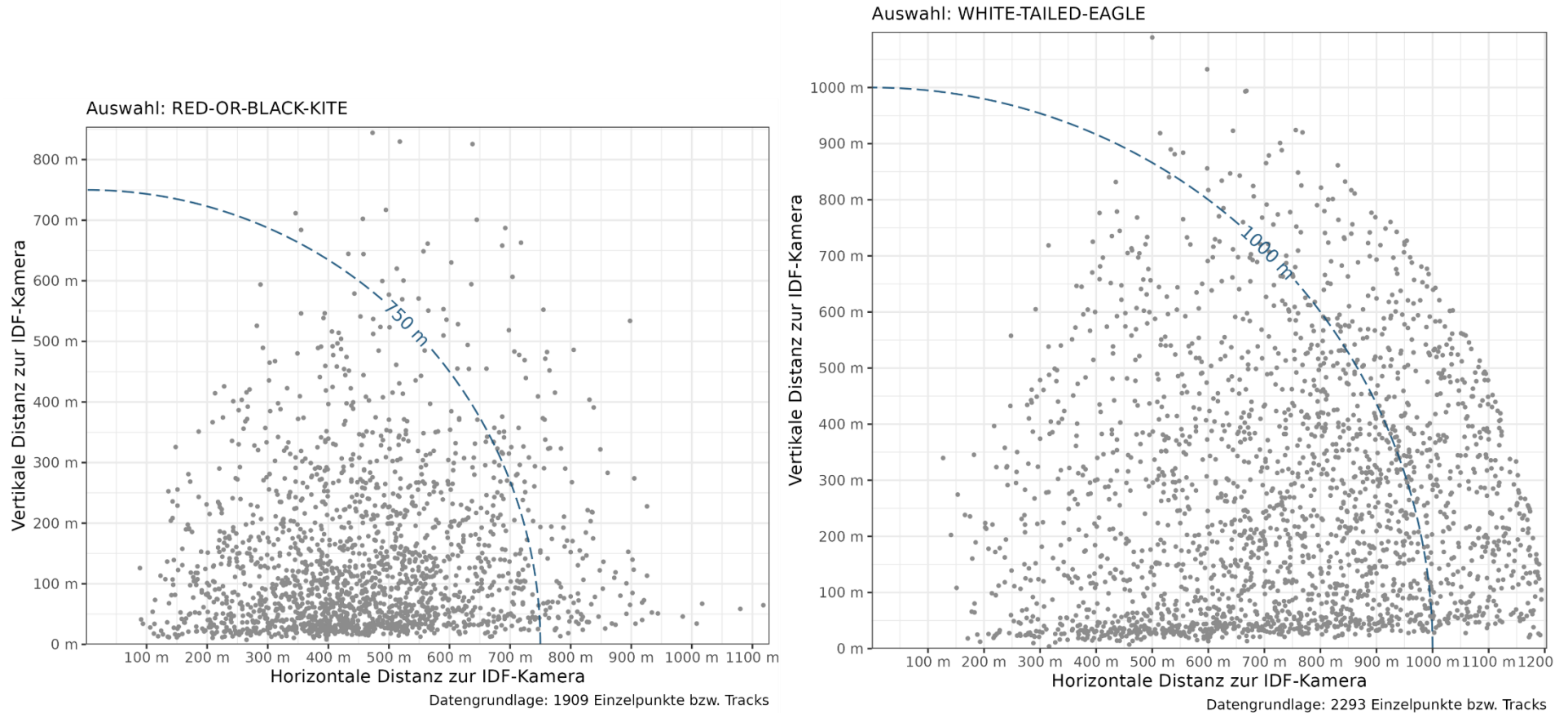


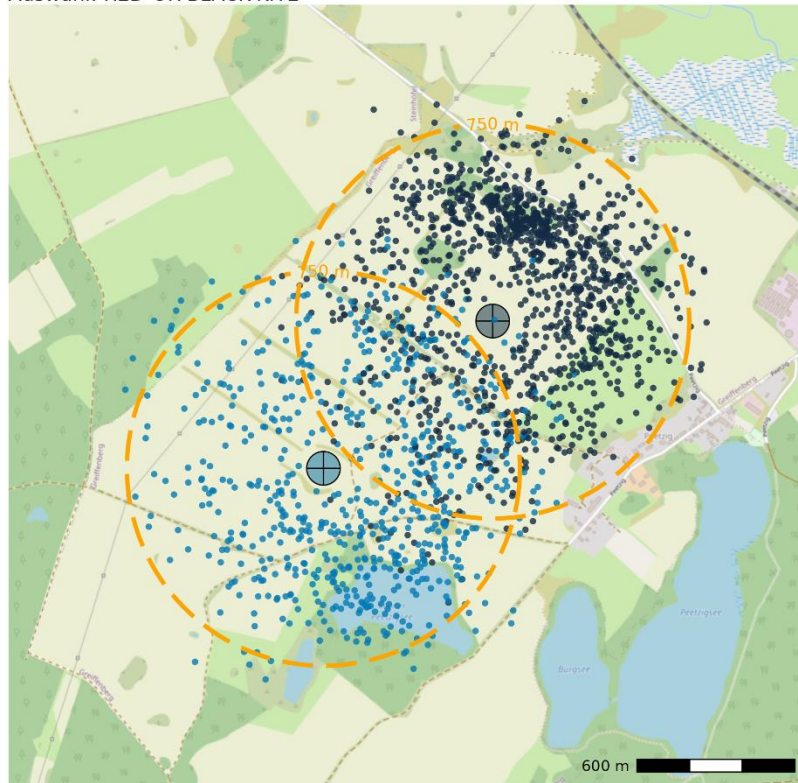
Abbildung 38: Vertikale und horizontale Distanz des jeweils ersten Detektionspunktes eines nachbestimmten Zielart-Tracks zu IDF. Die 750 m bzw. 1.000 m radiale Entfernung zu IDF ist als blaugestrichelte Linie dargestellt. In einer Entfernung >1.200 m werden generell keine Daten mehr von IDF aufgezeichnet, weshalb sich in dieser Distanz in der hier gezeigten Darstellung eine klare Grenze ergibt.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

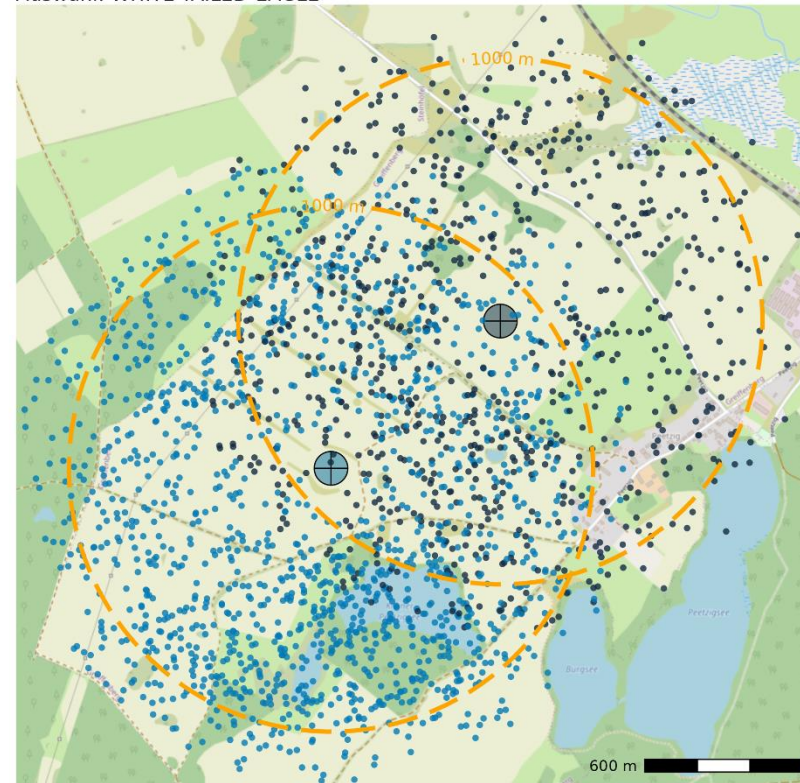
Auswahl: RED-OR-BLACK-KITE



 IDF-Position ● IDF Messpunkt

Datengrundlage: 1909 Einzelpunkte bzw. Tracks

Auswahl: WHITE-TAILED-EAGLE



 IDF-Position ● IDF Messpunkt

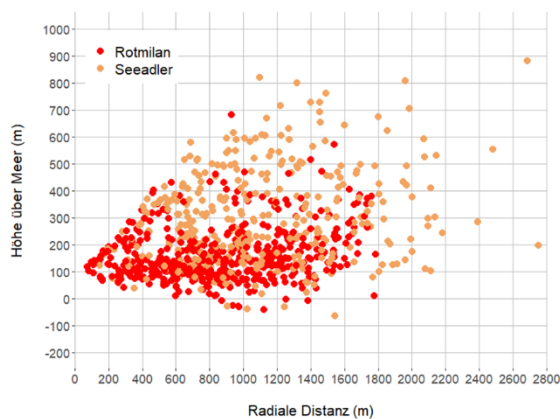
Datengrundlage: 2293 Einzelpunkte bzw. Tracks

Abbildung 39: Räumliche Verteilung und Distanz des jeweils ersten Detektionspunktes eines nachbestimmten Zielart-Tracks zu IDF. Die 750 m bzw. 1.000 m horizontale Distanz zu IDF ist als gelb-gestrichelte Linie dargestellt.

5.2.2 BirdScan

Für Rotmilane liegt die Erfassungsreichweite am Komplexstandort bei 1.800 m und am Offenlandstandort bei 2.000 m, während Seeadler an beiden Standorten bis rund 2.800 m detektiert werden konnten (Abbildung 40 und Abbildung 41).

a) Komplexstandort



b) Offenlandstandort

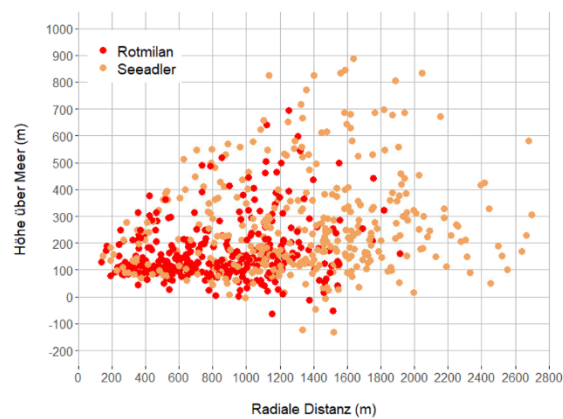


Abbildung 40: Radiale und vertikale Distanz des jeweils ersten Detektionspunktes eines basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks („large_raptor“) zum Radargerät für Rotmilan und Seeadler am Komplexstandort (a) und am Offenlandstandort (b).

Datengrundlage Offenlandstandort: 24.07.2022-28.11.2022, Rotmilan N=326, Seeadler N=366

Datengrundlage Komplexstandort: 23.06.2022-19.10.2022, Rotmilan N=490, Seeadler N=359

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

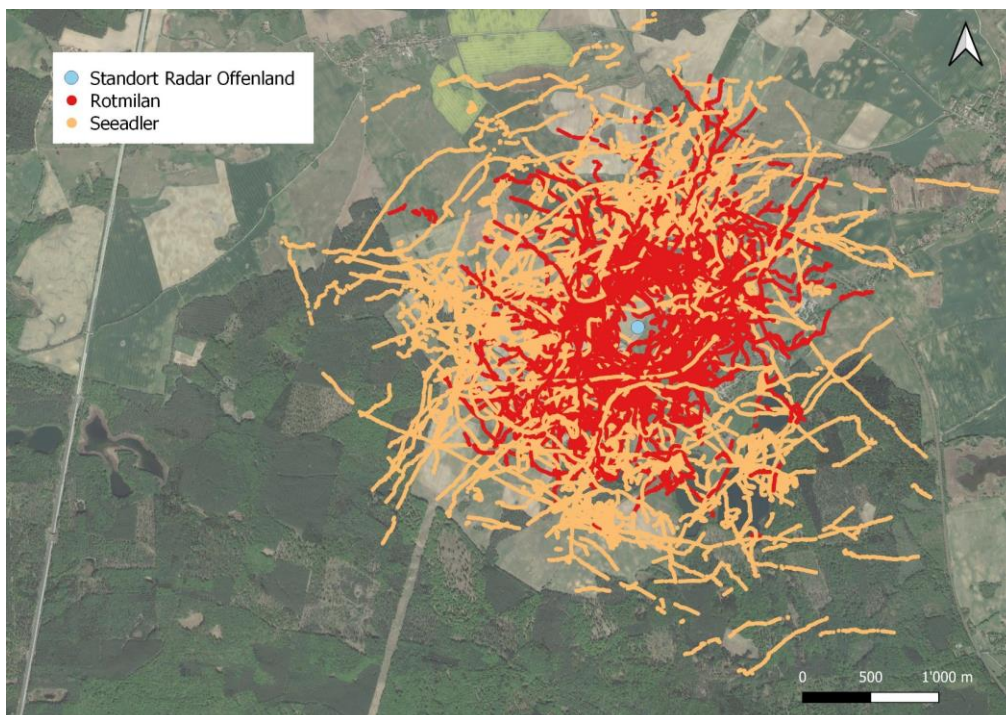
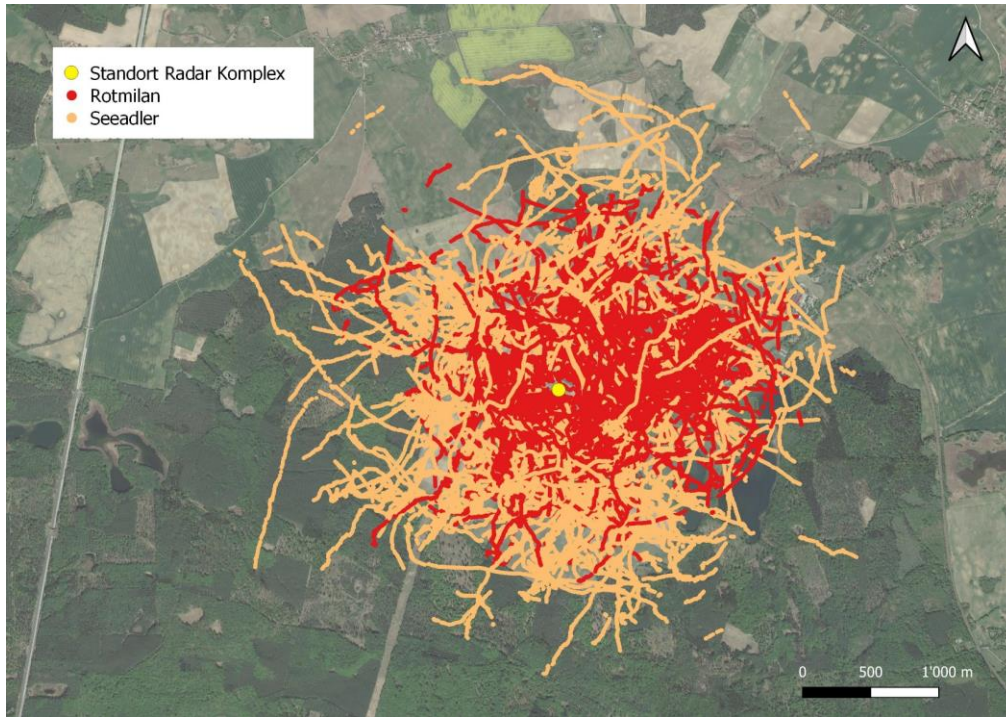


Abbildung 41: Räumliche Verteilung der basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks („large_raptor“) in Relation zum BirdScangerät für Rotmilan und Seeadler am Komplexstandort (oben) und am Offenlandstandort (unten).

Datengrundlage Offenlandstandort: 24.07.2022-28.11.2022, Rotmilan N=326, Seeadler N=366
 Datengrundlage Komplexstandort: 23.06.2022-19.10.2022, Rotmilan N=490, Seeadler N=359

5.3 Erfassungsrate

5.3.1 IDF

Es flossen ausschließlich LRF-Tracks in die Bewertung ein, die in radialer Distanz von 750 m (Rotmilan) bzw. 1.000 m (Seeadler) zu IDF aufgenommen wurden und sich in einem für IDF einsehbaren Bereich befanden. Die Erfassungsrate wurde getrennt für den Komplex- und Offenlandstandort bestimmt.

Aus der „gültigen“ LRF-Referenzstichprobe wurde für den Komplex- und Offenlandstandort die IDF-Erfassungsrate ermittelt, wobei zwischen den Zielarten Rotmilan und Seeadler unterschieden wurde. So betrug die IDF-Erfassungsrate für den Rotmilan bis in einer radialen Distanz von 750 m 90,5 % am Komplex- und 92,7 % am Offenlandstandort. Für den Seeadler unterschied sich die IDF-Erfassungsrate zwischen den Standorten etwas deutlicher. Am Komplexstandort betrug sie 96,0 %, am Offenlandstandort 91,6 % (jeweils bezogen auf die radiale Distanz von 1.000 m).

Tabelle 17: IDF-Erfassungsrate für die Zielarten am Komplex- und Offenlandstandort.

	Zielart	gültige LRF-Tracks	detektiert von IDF		nicht detektiert von IDF	
			Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Komplexstandort	Rotmilan	201	182	90,5 %	19	9,5 %
	Seeadler	200	192	96,0 %	9	4,0 %
Offenlandstandort	Rotmilan	220	204	92,7 %	16	7,3 %
	Seeadler	167	153	91,6 %	14	8,4 %

5.3.2 BirdScan

In den Zeitperioden ohne Interferenz zwischen den beiden BirdScan-Systemen betrugen die Erfassungsraten am Komplexstandort für beide Zielarten bis zu einer horizontalen Distanz von 1.400 m mehr als 95% (Tabelle 18). Am Offenlandstandort lag die Erfassungsrate bis zu einer horizontalen Distanz von 2.100 m für beide Zielarten sogar bei 100% (Tabelle 19).

In der Zeitperiode, in welcher beide BirdScan-Systeme gleichzeitig aktiv waren, zeigt sich der Einfluss der Interferenz deutlich. An beiden Standorten lagen die Erfassungsraten in den jeweiligen Distanzklassen für beide Zielarten niedriger als in den Zeitperioden ohne Interferenzproblem (Tabelle 20 und Tabelle 21).

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 18: Anzahl und Anteil der basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks, die vom BirdScan-System am Komplexstandort in den Zeitperioden ohne Interferenz pro Distanzklasse detektiert worden sind.

Zeitperioden: 23.06.2022-18.07.2022 und 07.09.2022-19.10.2022, NA=nicht verfügbar

Komplexstandort Ohne Interferenz	Rotmilan		Seeadler	
	Anzahl Flugwege	Anteil detektiert (%)	Anzahl Flugwege	Anteil detektiert (%)
Bis 700 m	75	98.7	45	100.0
701 bis 1.400	42	100.0	29	96.6
1.401 bis 2.100	10	50.0	4	50.0
2.101 bis 2.800	2	0.0	2	0.0
2.801 bis 3.500	0	NA	2	0.0
Summe	129		82	

Tabelle 19: Anzahl und Anteil der basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks, die vom BirdScan-System am Offenlandstandort in der Zeitperiode ohne Interferenz pro Distanzklasse detektiert worden sind.

Zeitperiode: 07.09.2022-28.11.2022, NA=nicht verfügbar

Offenlandstandort Ohne Interferenz	Rotmilan		Seeadler	
	Anzahl Flugwege	Anteil detektiert (%)	Anzahl Flugwege	Anteil detektiert (%)
Bis 700 m	32	100.0	40	100.0
701 bis 1.400	14	100.0	27	100.0
1.401 bis 2.100	4	100.0	6	100.0
2.101 bis 2.800	5	0.0	5	40.0
2.801 bis 3.500	1	0.0	8	0.0
Summe	0	NA	1	0.0

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 20: Anzahl und Anteil der basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks, die vom BirdScan-System am Komplexstandort in der Zeitperiode mit Interferenz pro Distanzklasse detektiert worden sind.

Zeitperiode: 24.07.2022-06.09.2022, NA=nicht verfügbar

Komplexstandort Mit Interferenz	Rotmilan		Seeadler	
	Anzahl Flugwege	Anteil detektiert (%)	Anzahl Flugwege	Anteil detektiert (%)
Bis 700 m	71	91.5	49	98.0
701 bis 1.400	52	78.8	25	84.0
1.401 bis 2.100	8	25.0	16	56.3
2.101 bis 2.800	0	NA	4	25.0
2.801 bis 3.500	0	NA	0	NA
Summe	131		94	

Tabelle 21: Anzahl und Anteil der basierend auf den LRF-Daten nachbestimmten Zielart-Tracks, die vom BirdScan-System am Offenlandstandort in der Zeitperiode mit Interferenz pro Distanzklasse detektiert worden sind.

Zeitperiode: 24.07.2022-06.09.2022, NA=nicht verfügbar

Offenlandstandort Mit Interferenz	Rotmilan		Seeadler	
	Anzahl Flugwege	Anteil detektiert (%)	Anzahl Flugwege	Anteil detektiert (%)
Bis 700 m	54	90.7	27	88.9
701 bis 1.400	24	70.8	33	97.0
1.401 bis 2.100	5	40.0	13	69.2
2.101 bis 2.800	0	NA	4	50.0
2.801 bis 3.500	0	NA	1	0.0
Summe	83		78	

5.4 Klassifizierung

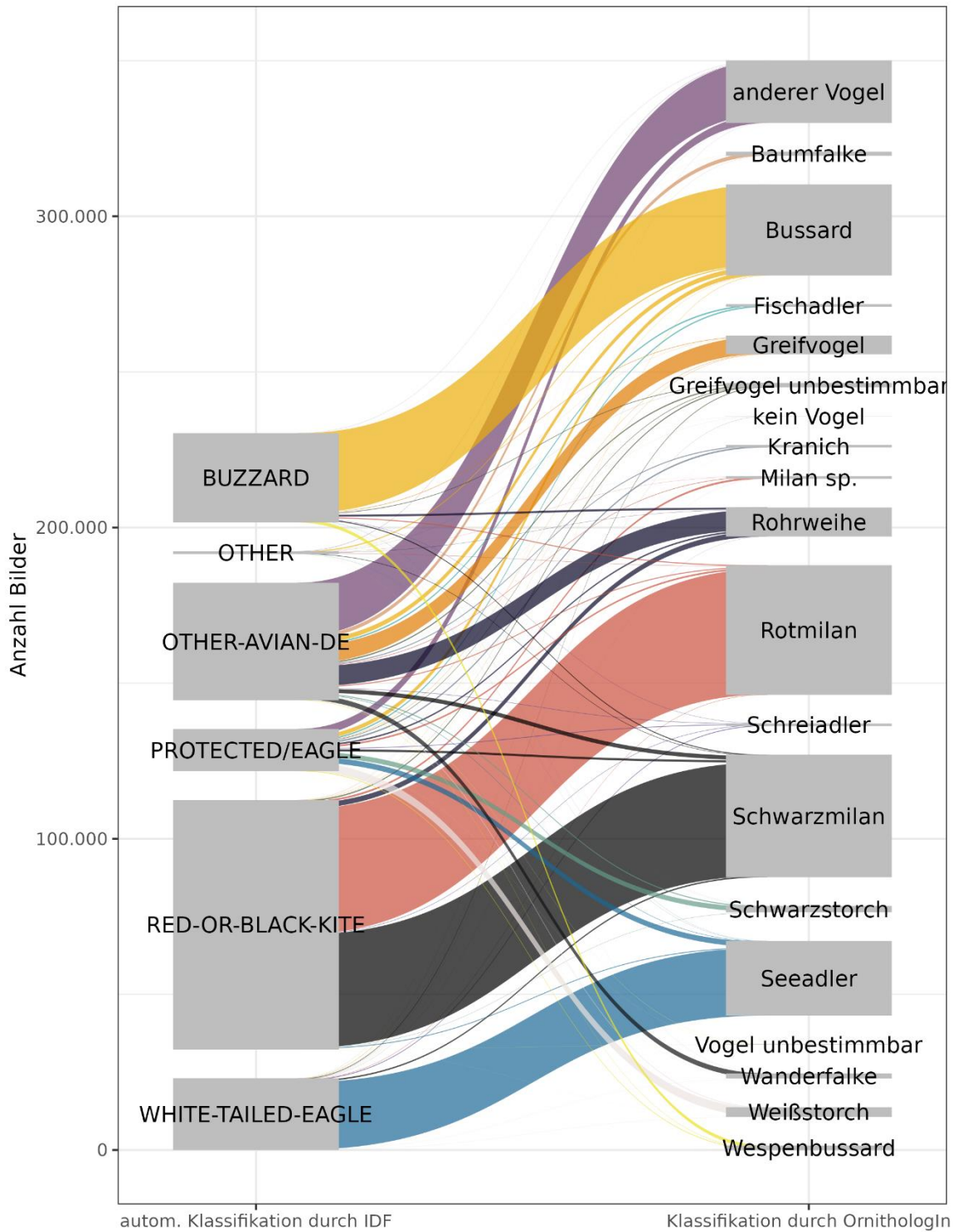
5.4.1 IDF

Grundlage für die Beurteilung der Klassifizierungsleistung sind die 184.258 IDF-Datenpunkte mit Foto, die manuell nachbestimmt und im Anschluss mit der Klassifizierung durch die IDF-Systeme abgeglichen wurden (Tabelle 22), wobei nicht zwischen den beiden IDF-Systemen unterschieden wurde. In Abbildung 42 sind die Ergebnisse der Kreuztabelle zusätzlich in einer Grafik visualisiert.

Tabelle 22: Kreuztabelle aller nachbestimmter Datenpunkte und ihre IDF-Klassifizierung.

IDF-Klassifikation vs Nachbestimmung							
Nachbestimmte Art(-engruppe)	BUZZARD	OTHER	OTHER-AVIAN-DE	PROTECTED ¹	RED-OR-BLACK-KITE ¹	WHITE-TAILED-EAGLE ¹	Gesamt
anderer Vogel	37	79	17.294	2.655	21	27	20.113
Baumfalke	17	7	1.245	—	47	3	1.319
Bussard	25.814	332	1.527	1.375	68	119	29.235
Fischadler	2	—	454	430	1	1	888
Greifvogel	149	38	5.645	102	75	9	6.018
Greifvogel unbestimmbar	197	33	382	190	365	244	1.411
kein Vogel	6	7	16	1	1	49	80
Kranich	1	—	306	484	2	9	802
Milan sp.	13	52	172	9	605	21	872
Rohrweihe	642	58	6.409	485	1.721	27	9.342
Rotmilan	310	91	305	527	40.292	116	41.641
Schreiadler	89	1	138	206	142	239	815
Schwarzmilan	301	147	1.323	697	36.451	449	39.368
Schwarzstorch	22	22	335	1.590	88	—	2.057
Seeadler	43	42	133	1.783	246	21.686	23.933
Vogel unbestimmbar	4	1	83	35	39	8	170
Wanderfalke	12	2	1.641	5	1	6	1.667
Weißstorch	—	1	242	2.794	25	53	3.115
Wespenbussard	1.052	27	110	217	6	—	1.412
Gesamt	28.711	940	37.760	13.585	80.196	23.066	184.258

¹ IDF-Klassifikationen die eine Abschaltung der WEA auslösen können



Datengrundlage: 184258 nachbestimmte Bilder

Abbildung 42: IDF-Klassifizierung und nachbestimmte Klassifizierung am Komplex- und Offenlandstandort zusammen. Zu beachten ist, dass die einzelnen Klassifizierungsgruppen nicht kumulativ dargestellt sind, sondern die Anzahl an Abschaltsignalen für jede Gruppe separat abgebildet ist und die Rasterlinien der Y-Achse als Hilfsmittel zur Abschätzung der Dimensionierung dienen

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Die Klassifizierung wurde als korrekt gewertet, wenn IDF für einen nachbestimmten Rot-/Schwarzmilan bzw. Milan sp. oder Seeadler die Kategorie „Red-or-Black Kite“, „Protected“ oder „White-tailed-Eagle“ vergeben hatte.

Die Korrekt-Positiv-Rate (Zielart wird als Zielart erkannt) liegt für den Rotmilan im Mittel bis zu einer horizontalen Distanz zu IDF von 740 m bei etwa 97 %; für die gleiche Distanz wird für den Seeadler eine Korrekt-Positiv-Rate von im Mittel 99 % erreicht (Tabelle 23).

In Abbildung 43A/B wird zudem deutlich, dass sich die Korrekt-Positiv-Rate für die Zielarten zum überwiegenden Teil aus richtig von IDF klassifizierten Datenpunkten als „Red-or-Black-Kite“ bzw. „White-tailed-Eagle“ zusammensetzt. Bei der Korrekt-Positiv-Rate von Rotmilanen spielt die Kategorie „Protected“ und auch „White-tailed-Eagle“ über alle Distanzklassen hinweg bis 1.000 m nur eine geringfügige Rolle und ist für etwa maximal 5 % der korrekten Klassifizierung von Rotmilanen verantwortlich. Für die Seeadler ist der Anteil an „Protected“ bzw. „Red-or-Black-Kite“-Bestimmungen etwas höher und liegt über alle Distanzklassen hinweg bis 1.150 m bei knapp 10 %.

Falsch-Positive Bestimmungen (Nicht-Zielart wird als Zielart klassifiziert) sind nur in geringem Maß auf die Vergabe der Zielart-Klassifizierung „Red-or-Black-Kite“ bzw. „White-tailed-Eagle“ zurückzuführen (meist deutlich unter 5 % vgl. Abbildung 44), sondern entstehen vor allem aufgrund der Vergabe der Klassifizierung „Protected“. Auch nimmt über alle Distanzklassen bis in 1.100 m der Anteil an „Protected“ Klassifizierungen immer mehr zu. Möglicherweise überschätzt IDF die Größe eines detektierten Vogels mit zunehmender Entfernung, wodurch die „Fail Safe“ Kategorie „Protected“ häufiger vergeben wird. In Tabelle 23 zeigt sich ebenfalls, dass die Falsch-Positive-Rate mit zunehmender horizontaler Distanz zu IDF deutlich steigt und bei 740 m knapp 22 % beträgt. Folglich wurde eine Nicht-Zielart von IDF mit zunehmender Entfernung häufiger fälschlicherweise als Zielart klassifiziert, und spiegelt damit die vorsorglich intendierte Übergewichtung des Falsch-Positiv-Fehlers bei der Klassifizierung wider, die kennzeichnend für die derzeitige IDF-Programmierung ist.

Tabelle 23: Mittlere Klassifizierungsraten in Abhängigkeit zur horizontalen Distanz zu IDF.
Gelistet sind die Korrekt-Positiv-Rate pro Zielart sowie die Falsch-Positiv-Rate für beide Zielarten zusammen von IDF und ihr prozentualer Mittelwert.

Distanz	Korrekt-Positiv-Rate (Zielart als Zielart klassifiziert)		Falsch-Positiv-Rate (Nicht-Zielart als Zielart klassifiziert)
	Rotmilan	Seeadler	Rotmilan & Seeadler
370 m	97,4 % (N=23.337)	99,3 % (N=2.153)	14,8 % (N=39.022)
740 m	96,7 % (N=74.696)	99,0 % (N=14.145)	21,6 % (N=80.779)

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

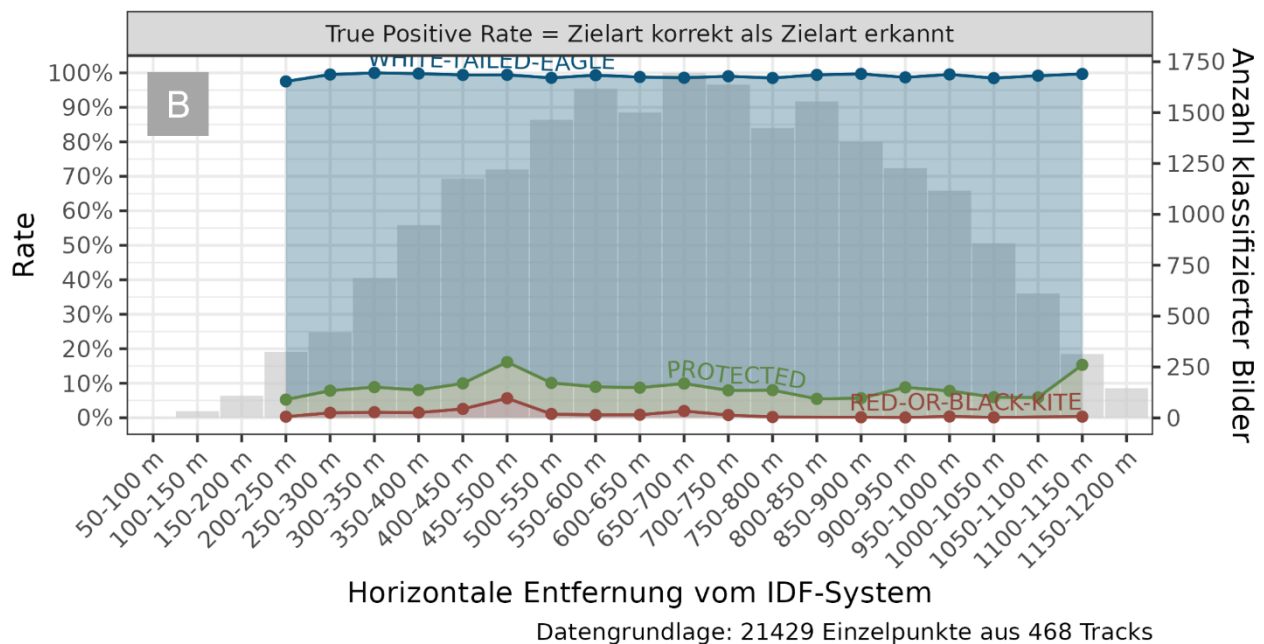
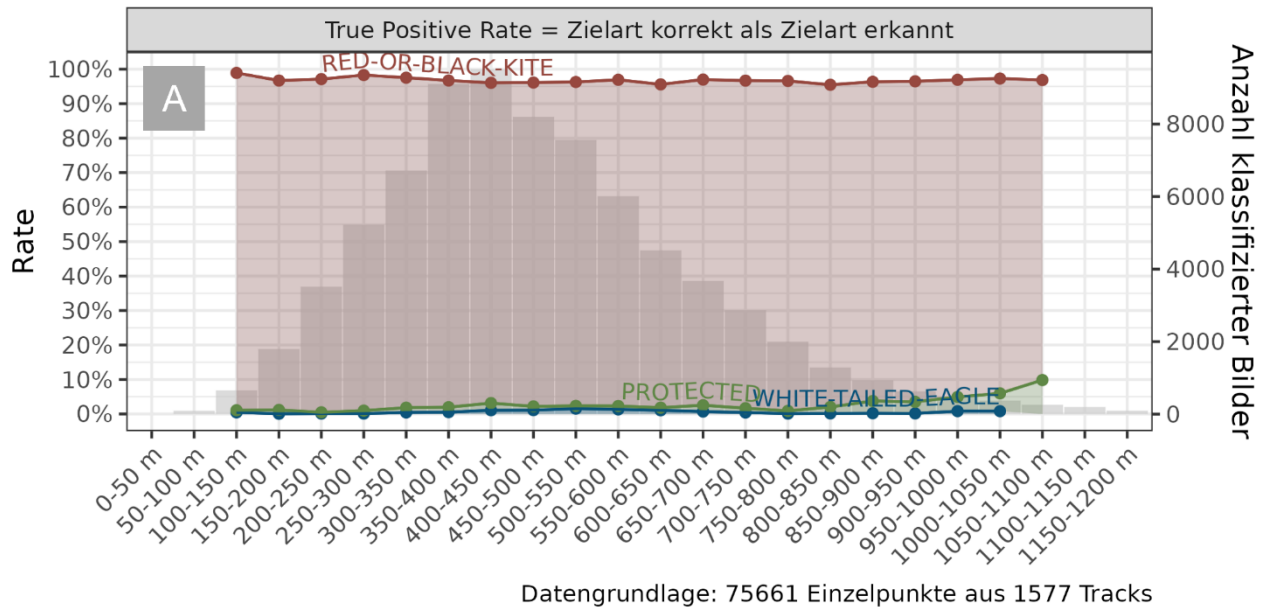
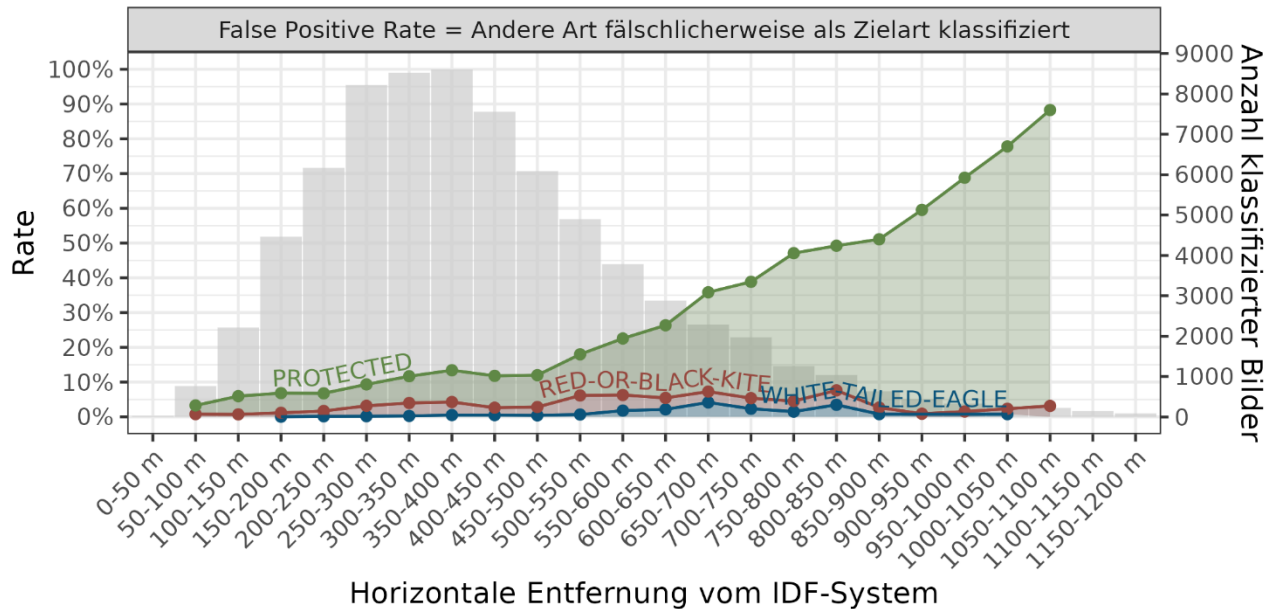


Abbildung 43: Korrekt-Positiv-Rate/„True-Positiv-Rate“ von IDF in Abhängigkeit zur horizontalen Distanz für den Rot-/Schwarzmilan (A) und Seeadler (B) für den Komplex- und Offenlandstandort zusammen.

Dargestellt sind die Raten in Prozent pro Distanzklasse bis in 1.200 m horizontaler Distanz zu IDF für die Klassifizierungs-Kategorien „Red-or-Black-Kite“ (rote Linie), „White-tailed-Eagle“ (blaue Linie) sowie „Protected“ (grüne Linie). Die Anzahl an klassifizierten Datenpunkten pro Distanzklasse ist in Form von Säulen dargestellt; die unterschiedliche Anzahl an Datenpunkten pro Distanzklasse ist zu beachten. Aus statistischen Gründen nicht dargestellt wird die Rate bei <200 Datenpunkten pro Distanzklasse.

Arten: Rot- oder Schwarzmilan und Seeadler



Datengrundlage: 72840 Einzelpunkte aus 4695 Tracks

Abbildung 44: Falsch-Positiv-Rate/„False-Positiv-Rate“ von IDF in Abhängigkeit zur horizontalen Distanz für den Rot-/Schwarzmilan und Seeadler für den Komplex- und Offenlandstandort zusammen. Dargestellt sind die Raten in Prozent pro Distanzklasse bis in 1.200 m horizontaler Distanz zu IDF für die Klassifizierungs-Kategorien „Red-or-Black-Kite“ (rote Linie), „White-tailed-Eagle“ (blaue Linie) sowie „Protected“ (grüne Linie). Die Anzahl an klassifizierten Datenpunkten pro Distanzklasse ist in Form von Säulen dargestellt; die unterschiedliche Anzahl an Datenpunkten pro Distanzklasse ist zu beachten. Aus statistischen Gründen nicht dargestellt wird die Rate bei <200 Datenpunkten pro Distanzklasse.

5.4.2 BirdScan

Da das BirdScan-System für die Klassifizierung des Seeadlers als „large_raptor“ nicht trainiert war, wird die Klassifizierungsleistung lediglich für den Rotmilan angegeben.

5.4.2.1 LRF-Daten als Referenz

Mit dem ursprünglichen Klassifizierungsalgorithmus lag die Klassifizierungsleistung für den Rotmilan zwischen 63% und 79.5% (korrekt positiv). Der Einfluss der Interferenz scheint auf die Klassifizierungsleistung keinen negativen Effekt gehabt zu haben. Mit der Reklassifizierung der Daten konnte die Klassifizierungsleistung für den Rotmilan deutlich gesteigert werden. Sie liegt mit dem neuen Algorithmus in der Zeitperiode ohne Interferenz zwischen 80,6% und 92.7%.

Tabelle 24: Anteil korrekt als „large_raptor“ klassifizierte Messpunkte des Rotmilans in Abhängigkeit des Standorts, der horizontalen Distanz, der Zeitperiode und der Klassifizierung.
 Perioden ohne Interferenz Komplexstandort: 18.06.-18.07.2022 und 07.09.-27.10.2022
 Perioden ohne Interferenz Offenlandstandort: 07.09.2022-28.11.2022
 Periode mit Interferenz: 24.07.-06.09.2022

Standort	Horizontale Distanz	Ursprüngliche Klassifizierung						Reklassifizierung	
		Periode(n) ohne Interferenz		Periode mit Interferenz		Gesamte Periode		Periode(n) ohne Interferenz	
		Anteil korrekt	N	Anteil korrekt	N	Anteil korrekt	N	Anteil korrekt	N
Komplexstandort	0-370 m	63,2 %	5.504	79,5 %	4.641	70,6 %	10.145	86,2 %	5.504
	370-740 m	70,4 %	14.707	72,8 %	13.218	71,5 %	27.925	80,6 %	14.707
Offenlandstandort	0-370 m	70,3 %	3.242	68,8 %	4.158	69,5 %	7.400	92,7 %	3.242
	370-740 m	63,0 %	11.679	63,1 %	16.381	63,1 %	28.060	87,2 %	11.679

5.4.2.2 IDF-Daten als Referenz

Der Abgleich der BirdScan-Daten mit den IDF-Daten erfolgte über beide Standorte gepoolt im Umkreis von 1.500 m um die IDF-Systeme. Mit diesem Abgleich konnte ebenfalls die Korrekt-Positiv-Rate geschätzt werden. Die ursprüngliche Klassifizierung enthält die Daten aller zur Verfügung stehenden Tage ohne Interferenzproblem. Bei der reklassifizierten Variante sind nur diejenigen Tage enthalten, die ohne Interferenzproblem waren und gleichzeitig LRF-Beobachtungen stattgefunden haben.

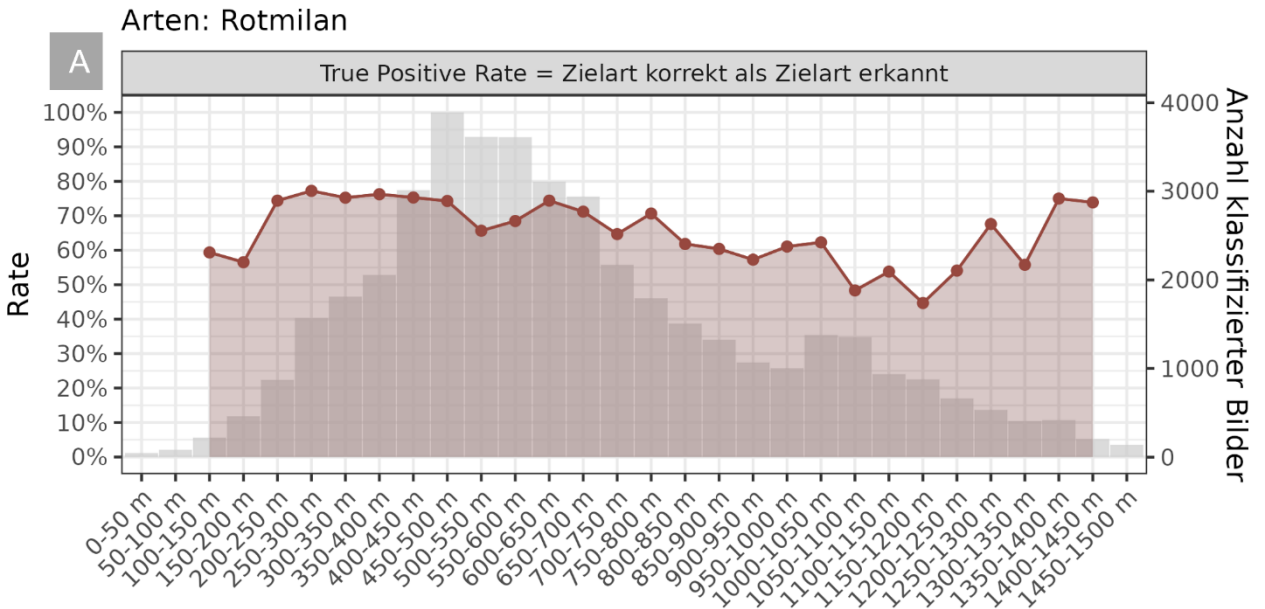
Die Korrekt-Positiv-Rate bewegte sich je nach Distanzklasse bei beiden Klassifizierungsvarianten im gleichen Rahmen wie beim Abgleich mit den LRF-Daten (Abbildung 45A bzw. Abbildung 46A). Die Reklassifizierung der Daten steigerte die Korrekt-Positiv-Rate in den meisten Distanzklassen deutlich (Abbildung 45B bzw. Abbildung 46B). Allerdings sind die Werte der beiden Klassifizierungsvarianten aufgrund der unterschiedlichen Datengrundlagen nicht unmittelbar vergleichbar.

Anhand der IDF-Daten konnte auch geprüft werden, wie die unterschiedlichen vom IDF erfassten Vogelarten vom BirdScan-System klassifiziert worden sind. Der Klasse „large_raptor“ sind von den BirdScan-Systemen nicht nur Rotmilane, sondern auch andere Großvogelarten zugeordnet worden. Dies trifft für beide Klassifizierungsvarianten zu (Abbildung 46).

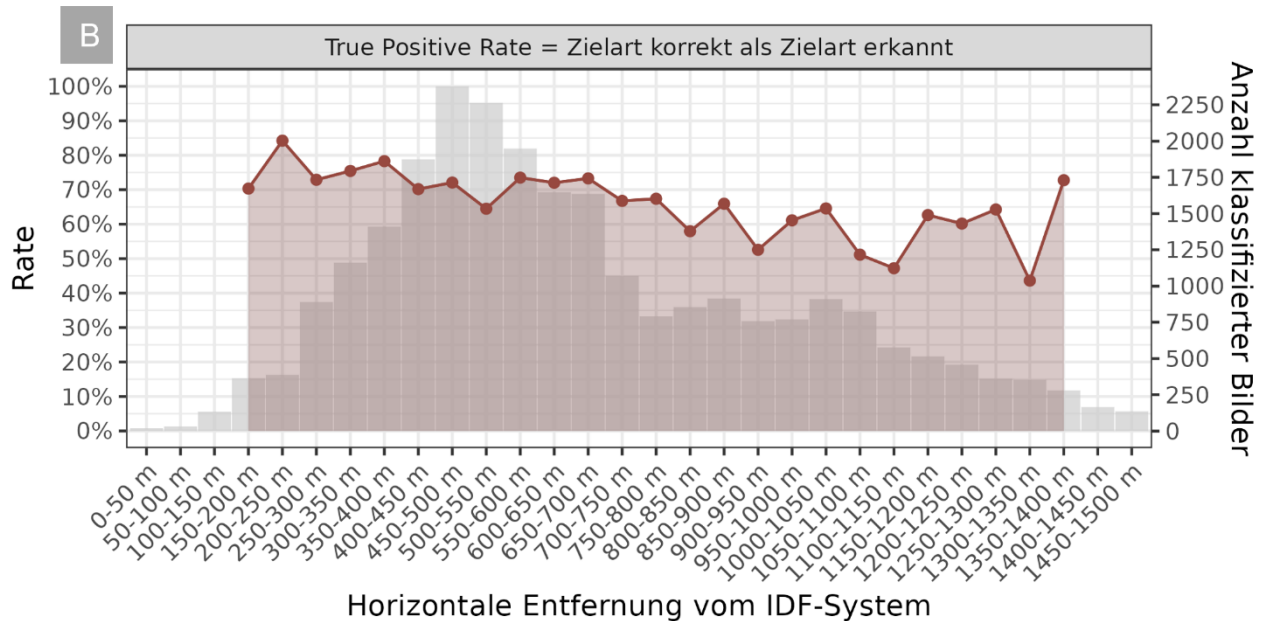
Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group



Datengrundlage: 43038 Einzelpunkte aus 283 Tracks



Datengrundlage: 25869 Einzelpunkte aus 151 Tracks

Abbildung 45: Korrekt-Positiv-Rate der BirdScan-Systeme basierend auf den IDF-Daten in Abhängigkeit der horizontalen Distanz zu den IDF-Systemen für den Rotmilan. A) ursprüngliche Klassifizierung B) Reklassifizierung. Dargestellt sind die Raten in Prozent bis in 1.500 m horizontaler Distanz zu den IDF-Systemen für die Klassifizierungs-Kategorie „large_raptor“ (rote Linie). Die Anzahl an klassifizierten Datenpunkten pro Distanzklasse ist in Form von Balken dargestellt; die unterschiedliche Anzahl an Datenpunkten pro Distanzklasse ist zu beachten. Aus statistischen Gründen nicht dargestellt wird die Rate bei <200 Datenpunkten pro Distanzklasse.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

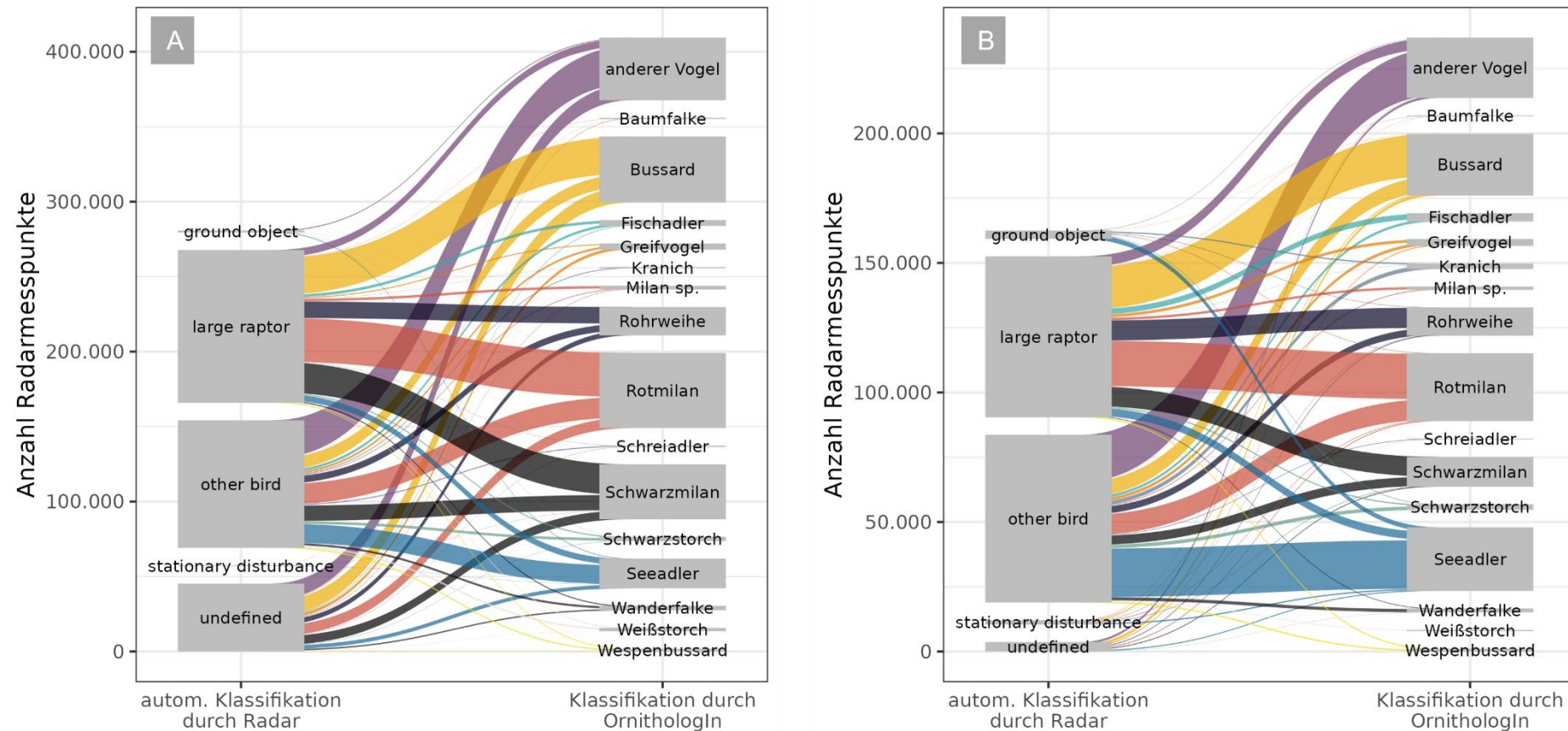


Abbildung 46: Klassifizierung durch die BirdScan-Systeme basierend auf den IDF-Daten und nachbestimmte Klassifizierung. A) ursprüngliche Klassifizierung B) Reklassifizierung. Zu beachten ist, dass die einzelnen Klassifizierungsgruppen nicht kumulativ dargestellt sind, sondern die Anzahl an Abschaltensignalen für jede Gruppe separat abgebildet ist und die Rasterlinien der Y-Achse als Hilfsmittel zur Abschätzung der Dimensionierung dienen. Datengrundlage: A) 233.948 Messpunkte, B) 135.414 Messpunkte.

5.5 Abschaltung

5.5.1 IDF

5.5.1.1 Anzahl und Dauer der Abschaltungen pro WEA

Die Gesamtanzahl der von IDF ausgelösten Abschaltungen (Tabelle 25) ist zwischen dem Komplex- und Offenlandstandort leicht unterschiedlich und hängt neben der Anzahl der Erfassungstage auch von der jeweiligen Flugaktivität der Zielart ab (vgl. Kapitel 5.1.2.1).

Für den Komplexstandort ergeben sich im Mittel 9,7 Abschaltungen pro Tag, am Offenlandstandort sind es mit durchschnittlich 9,9 etwa ähnlich viele Abschaltungen pro Tag. Aufgeschlüsselt nach den IDF-Zielart-Klassifizierungen wird deutlich, dass am Komplexstandort im Mittel mehr Abschaltungen pro Tag für den Seeadler und weniger Abschaltungen für den Rotmilan generiert wurden als am Offenlandstandort. Auch im Hinblick auf die Dauer der Abschaltungen insgesamt und pro Tag wird dieser Standortunterschied tendenziell deutlich, wobei die Unterschiede in der Dauer der Abschaltungen pro Tag für den Seeadler nur im geringen Maße bestehen (2 Minuten Unterschied); für den Rotmilan sind die Unterschiede deutlicher und die Dauer der Abschaltungen pro Tag war am Offenlandstandort im Schnitt 8 Minuten länger als am Komplexstandort. Vor dem Hintergrund der Aktivitätsmuster der Zielarten – Seeadler-Aktivitätsschwerpunkt am Komplexstandort und Rotmilan-Aktivitätsschwerpunkt am Offenlandstandort (vgl. Kapitel 5.1.2.1) – ist dieses Ergebnis plausibel.

Auffällig sind die Standort-Unterschiede bzgl. der Abschaltungen ausgelöst durch die Klassifizierung „Protected“. So wurden am Komplexstandort nicht nur insgesamt für diese Klassifizierung die meisten Abschaltungen ausgelöst, sondern auch deutlich mehr als am Offenlandstandort. Außerdem dauerten die Abschaltungen für „Protected“ am Komplexstandort im Schnitt 7 Minuten länger als am Offenlandstandort. Eine unterschiedlich starke Flugaktivität von anderen Großvögeln (z.B. Kranich, Fischadler und Bussard) vor Ort kann hier vermutet werden (vgl. folgendes Kapitel 5.5.1.2).

In Abbildung 47 ist die zeitliche Verteilung der Abschaltungen dargestellt. Vor dem Hintergrund der detektierten Zielarten-Aktivität, die tendenziell zu Erfassungsbeginn höher war als am Ende der Erfassungen (vgl. Kapitel 5.1.2.2), ist auch die zeitliche Verteilung der Abschaltungen plausibel und lässt keine Auffälligkeiten erkennen.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

Tabelle 25: Anzahl und Dauer IDF-induzierter Abschaltungen insgesamt und durchschnittlich pro Tag am Komplex- und Offenlandstandort. Datengrundlage: Datenpunkte mit der IDF-Klassifizierung „Red-or-Black Kite“ und „White-tailed-Eagle“ sowie „Protected“, die eine Abschaltung ausgelöst haben. Abschaltungen, die nicht zugeordnet werden konnten, sind als „unbekannt“ gelistet. Eingegangen sind nur ganztägige IDF-Erfassungstage und Tage, an denen Daten zur Abschaltung vorhanden waren.

Anzahl Abschaltungen insgesamt Ø Anzahl der Abschaltungen pro Tag					
	gesamt	White-tailed-Eagle	Red-or-Black Kite	Protected	unbekannt
Komplexstandort (161 Tage)	1.564 9,7	191 1,2	619 3,8	710 4,4	44 0,3
Offenlandstandort (141 Tage)	1.392 9,9	127 0,9	767 5,4	440 3,1	58 0,4
Gesamtdauer aller Abschaltungen [hh:mm] Ø Dauer der Abschaltungen pro Tag [hh:mm]					
	gesamt	White-tailed-Eagle	Red-or-Black Kite	Protected	unbekannt
Komplexstandort (161 Tage)	105:24 00:39	13:35 00:05	44:00 00:16	44:52 00:16	02:54 00:01
Offenlandstandort (141 Tage)	96:59 00:41	08:29 00:03	56:38 00:24	27:43 00:11	04:09 00:01

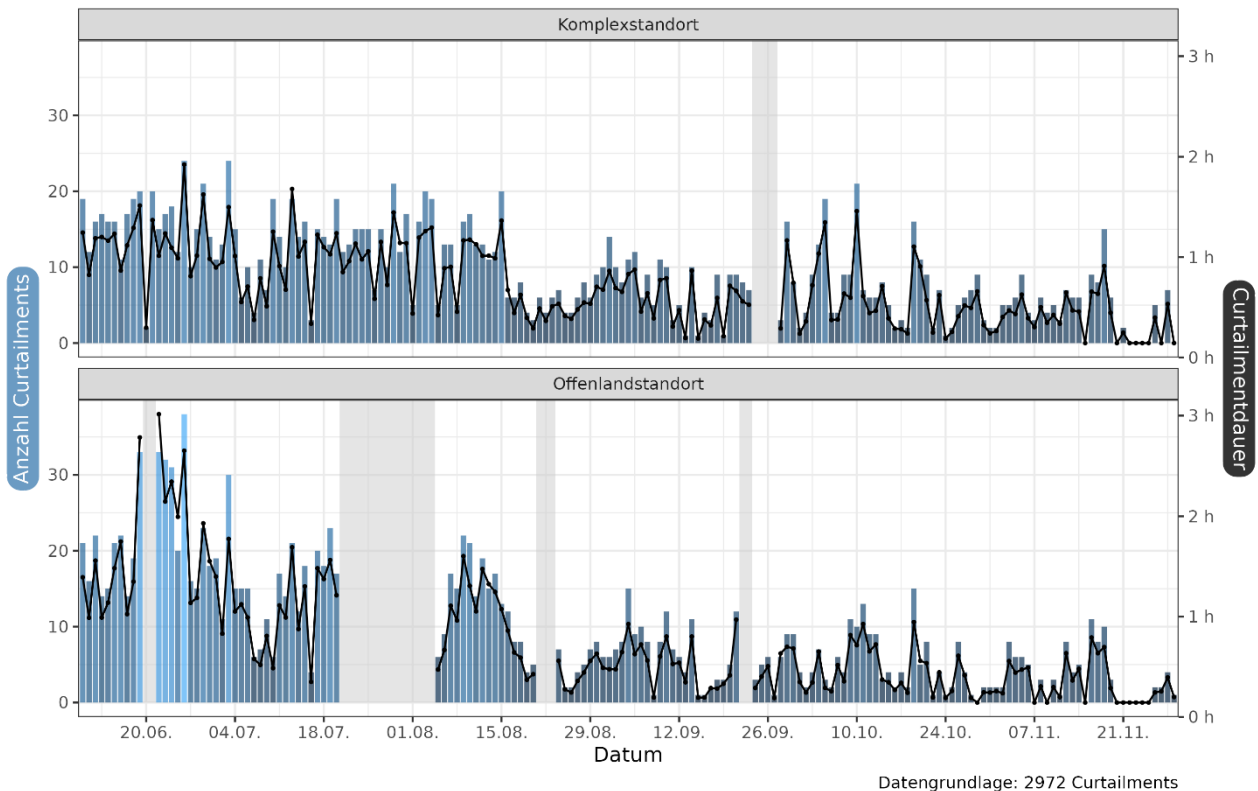


Abbildung 47: Anzahl und Dauer der Abschaltungen pro WEA durch IDF am Komplex- und Offenlandstandort.
 In blauen Balken ist die Anzahl an Abschaltungen pro Tag angegeben, eine schwarze Linie zeigt die Dauer der Abschaltung an. Grau markiert sind Tage, an denen das System aus unterschiedlichen Gründen nicht verfügbar war. Datengrundlage: Datenpunkte mit der IDF-Klassifizierung „White-tailed- Eagle“, „Red-or-Black-Kite“ sowie „Protected“, die eine Abschaltung ausgelöst haben. Eingegangen sind nur ganztägige IDF-Erfassungstage.

5.5.1.2 Klassifikation zum Zeitpunkt der Abschaltung

Die IDF-Klassifizierung bzw. nachbestimmte Klassifizierung zum Zeitpunkt der Abschaltung gibt einen Überblick, für welche Vögel tatsächlich eine Abschaltung ausgelöst wurde. In Abbildung 48 sind für den Komplex- und Offenlandstandort die IDF-Klassifizierungen und nachbestimmten Klassifizierungen aller Vögel gelistet, die eine Abschaltung ausgelöst haben.

Dabei wird nochmal deutlich – vgl. Kapitel 5.5.1.1 –, dass der Anteil der drei IDF-Zielartklassifikationen, die eine Abschaltung ausgelöst haben, zwischen den beiden Untersuchungsstandorten leicht unterschiedlich ist. So wurden am Komplexstandort ca. die Hälfte aller Abschaltungen aufgrund der Klassifizierung „Protected“ ausgegeben, die andere Hälfte setzt sich vorwiegend aus „Red-or-Black-Kite“ Klassifizierungen und zu einem geringen Anteil „White-tailed-Eagle“ Klassifizierungen zusammen. Am Offenlandstandort ist das Verhältnis leicht anders und „Red-or-Black-Kite“ Klassifizierungen dominieren die

Abschaltungen. Abschaltungen aufgrund der Vergabe „Protected“ machen etwa ein Viertel aus, „White-tailed-Eagle“ Abschaltungen bilden wiederum den geringsten Anteil.

Betrachtet man die nachbestimmten Klassifizierungen – mit Fokus auf den Zielarten – spiegelt sich die hohe Korrekt-Positiv-Rate (vgl. Kapitel 5.4.1) wider. An beiden Standorten wurden fast alle Rot-/ Schwarzmilane, für die eine Abschaltung ausgelöst wurde, von IDF auch als „Red-or-Black-Kite“ klassifiziert, nur ein sehr geringer Anteil entfällt auf die Kategorie „Protected“. Seeadler wurden ebenfalls an beiden Standorten größtenteils als „White-tailed-Eagle“ klassifiziert; hier entfällt ein etwas größerer Anteil (ca. 15 %) auf die Kategorie „Protected“.

Auch umgedreht zeigt sich, dass es sich bei Vögeln der Klassifizierung „Red-or-Black-Kite“ bzw. „White-tailed-Eagle“ zu einem dominierend größten Teil um tatsächliche Rot-/ Schwarzmilane bzw. Seeadler handelt. Lediglich ein geringer Anteil an anderen Greifvögeln (z.B. Rohrweihe, Bussard) wird fälschlicherweise als eine der Zielartkategorie klassifiziert. Die Kategorie „Protected“, die als „Fail Safe“ fungiert, wird an beiden Untersuchungsstandorten von nachbestimmten Nicht-Zielart Vögeln dominiert. Dabei handelt es sich häufig um Vögel mit großer Flügelspannweite (z.B. Kraniche) oder auch andere Greifvögel (z.B. Bussard, Fischadler). Den größten Anteil bilden aber „andere Vögel“ (vgl. Kapitel 4.4.3.2); Zielart-Vögel wurden, wie oben beschrieben, zum Zeitpunkt der Abschaltung nur zu einem geringen Anteil als „Protected“ klassifiziert.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

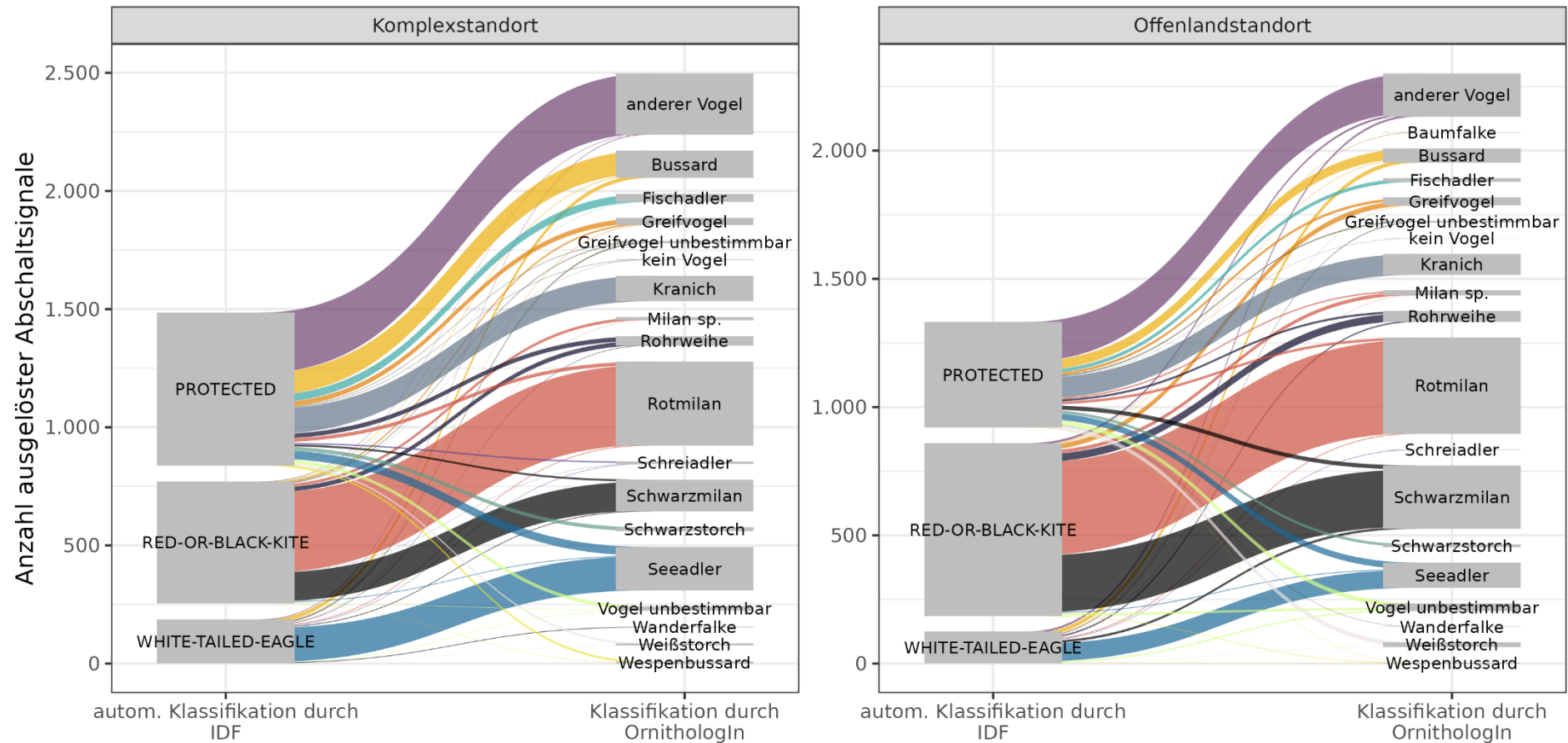


Abbildung 48: IDF-Klassifikation und nachbestimmte Klassifizierung zum Zeitpunkt der Abschaltung am Komplex- und Offenlandstandort.

Zu beachten ist, dass die einzelnen Klassifikationsgruppen nicht kumulativ dargestellt sind, sondern die Anzahl an Abschaltssignalen für jede Gruppe separat abgebildet ist und die Rasterlinien der Y-Achse als Hilfsmittel zur Abschätzung der Dimensionierung dienen.

Datengrundlage: 2.561 Abschaltssignale von 2 WEA

5.5.1.3 Auslösen der Abschaltung

Wird für jeden Zielart-Flug abgeschaltet?

In durchschnittlich 99,7 % der Fälle wurde von IDF im inneren Abstandszylinder ein Abschaltungssignal generiert, sobald mindestens ein Bild einer Zielart von IDF korrekt klassifiziert wurde (Tabelle 26). Die wenigen verpassten Abschaltungen im inneren Abstandszylinder sind v.a. mit niedrigen Konfidenzwerten bei der Bestimmung in Zusammenhang zu bringen. Zwischen den Standorten unterscheidet sich die Erfolgsrate nur marginal.

Tabelle 26: Erfolgsrate hinsichtlich generierter und verpasster Abschaltungen durch IDF beim Einflug der Zielarten in den inneren Abstandszylinder am Komplex- und Offenlandstandort. Gelistet ist die Anzahl der Fälle, bei denen eine Abschaltung von IDF ausgelöst oder diese verpasst wurde. Datengrundlage: korrekt klassifizierte Zielart-Tracks im inneren Abstandszylinder.

	Anzahl erfolgte Abschaltung	Anzahl verpasste Abschaltung	Erfolgsrate
Komplexstandort	1.288	3	99,8 %
Offenlandstandort	1.289	6	99,6 %
Gesamt	2.972	9	99,7 %

Wo wird die Abschaltung ausgelöst?

In insgesamt 715 Fällen konnte den IDF-induzierten Abschaltensignalen anhand der Zeitstempel die Position eines nachbestimmten Rotmilans zugeordnet werden, durch den die Abschaltung ausgelöst wurde. Für den Seeadler war das in insgesamt 275 Fällen möglich. In Abbildung 49 und Abbildung 50 ist dargestellt, wie weit von der jeweiligen WEA am Komplex- und Offenlandstandort sich der Rotmilan bzw. Seeadler zum Zeitpunkt der Abschaltung befand.

Für den **Rotmilan** (Abbildung 49) zeigt sich, dass – an beiden Untersuchungsstandorten – IDF in 71 % bzw. 73 % die Abschaltungen induzierte, wenn sich der Zielart-Vogel außerhalb des inneren Abstandszylinders oder in dessen Pufferbereich befand, wobei mehrheitlich unmittelbar nach Einflug in den inneren Abstandszylinder, ergo im Pufferbereich, eine Abschaltung ausgelöst wurde. Nur ein kleiner Teil der Abschaltungen wurde bereits im äußeren Abstandszylinder ausgelöst, vermutlich für Zielart-Vögel, die mit hoher Geschwindigkeit in gerader Linie auf die WEA zuflogen. In den übrigen Fällen (27 % bzw. 29 %) erfolgte die Auslösung der Abschaltung erst, als sich der Rotmilan bereits im inneren Abstandszylinder befand. In den meisten dieser Fälle wurde der Vogel erst innerhalb des inneren Abstandszylinders erfasst und dann direkt eine Abschaltung induziert. Zudem gab es einige wenige Fälle, in denen der Vogel bereits außerhalb des inneren Abstandszylinders detektiert wurde, die Abschaltung aber erst verspätet ausgelöst

wurde. So konnten in je zwei Fällen am Komplex- und Offenlandstandort die verspäteten Abschaltungen darauf zurückgeführt werden, dass der betreffende Rotmilan nicht kontinuierlich von IDF verfolgt wurde. Das bedeutet, der Vogel wurde zunächst außerhalb des inneren Abstandszylinders detektiert, aber dessen Flugbahn dann nicht weiterverfolgt und der Zeitpunkt verpasst, als diese in den inneren Abstandszylinder verlief. In Folge wurde der Vogel dann erst wieder detektiert und eine Abschaltung ausgelöst, als er sich schon im inneren Abstandszylinder befand.

Für den **Seeadler** (Abbildung 50) zeigt sich generell ein ähnliches Ergebnis, wobei tendenziell ein Unterschied zwischen den Untersuchungsstandorten erkennbar ist. So wurde am Komplexstandort in 78 % und am Offenlandstandort in 69 % die Abschaltung für einen Seeadler von IDF bereits außerhalb oder – vorwiegend – im Pufferbereich des inneren Abstandszylinders generiert. In den übrigen 22 % bzw. 31 % wurde die Abschaltung von IDF erst dann ausgelöst, als sich der Seeadler schon im inneren Abstandszylinder befand. Am Komplexstandort konnten vier der verspäteten Abschaltungen auf eine vorübergehend falsche Klassifikation zurückgeführt werden, wobei in drei Fällen zwar eine Zielart-Klassifizierung („Red-or-Black-Kite“) vergeben wurde, diese aber auch mit einer geringeren Dimensionierung der Abstandszylinder verbunden ist, weshalb für die betreffenden Seeadler erst bei der Reklassifizierung im inneren Abstandszylinder eine Abschaltung ausgelöst wurde. Zudem können jeweils drei verspätete Abschaltungen am Komplex- und Offenlandstandort auf eine lückenhafte Verfolgung durch IDF zurückgeführt werden, in deren Folge der Vogel zwar außerhalb des inneren Abstandszylinders detektiert, eine Abschaltung aber erst im inneren Abstandszylinder ausgelöst wurde.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

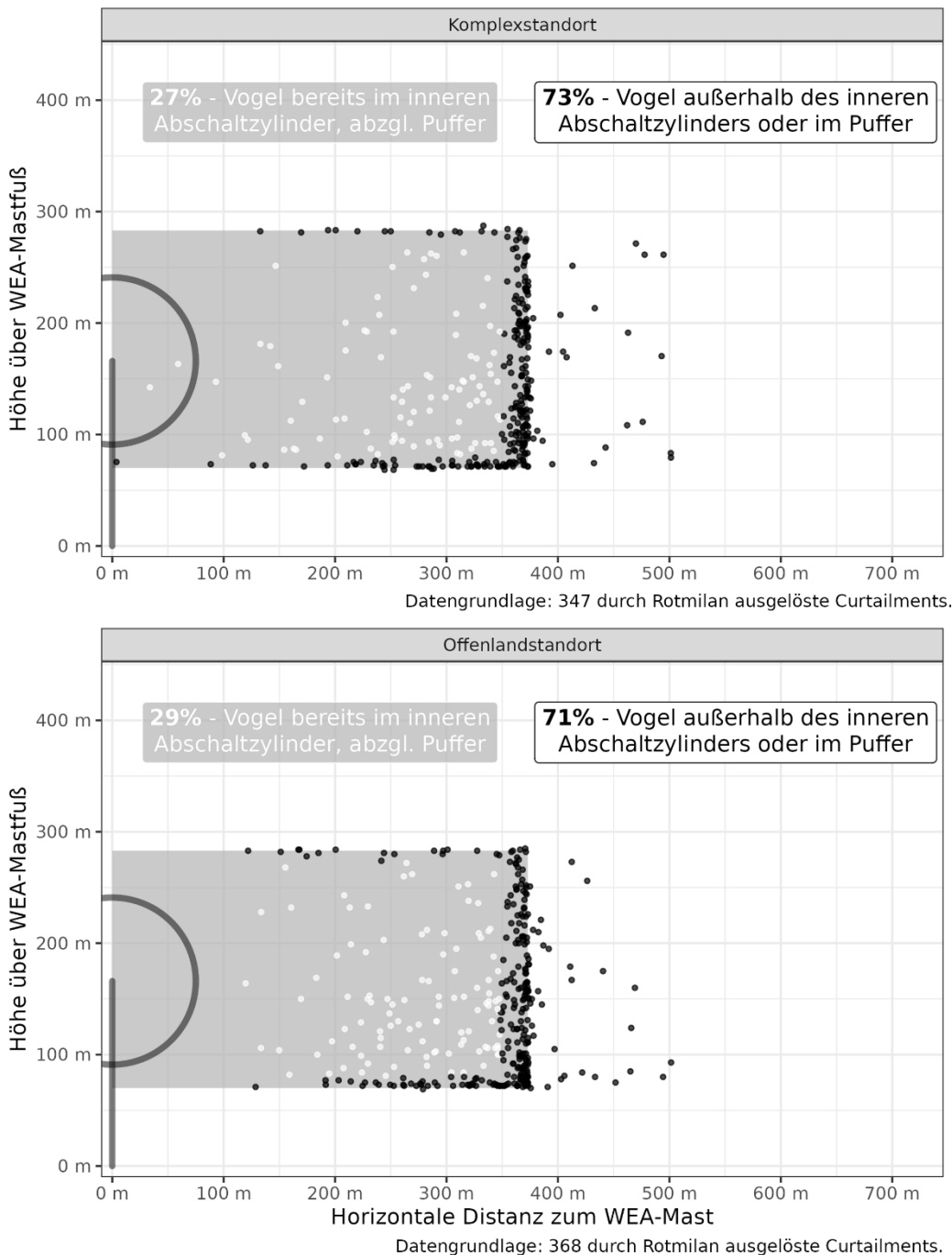


Abbildung 49: IDF-induzierte Abschaltungen am Komplex- und Offenlandstandort für den Rotmilan
 Dargestellt ist jeweils die Entfernung zur WEA, in der sich ein nachbestimmter Rotmilan zum Zeitpunkt der Generierung eines Abschaltsignals durch IDF befand. Schwarz markiert sind Rotmilan-Detektionen außerhalb des inneren Abstandszylinders oder in dessen Pufferbereich, hellgrau sind Rotmilan-Detektionen im inneren Abstandszylinder. Der innere Abstandszylinder ist grau unterlegt

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

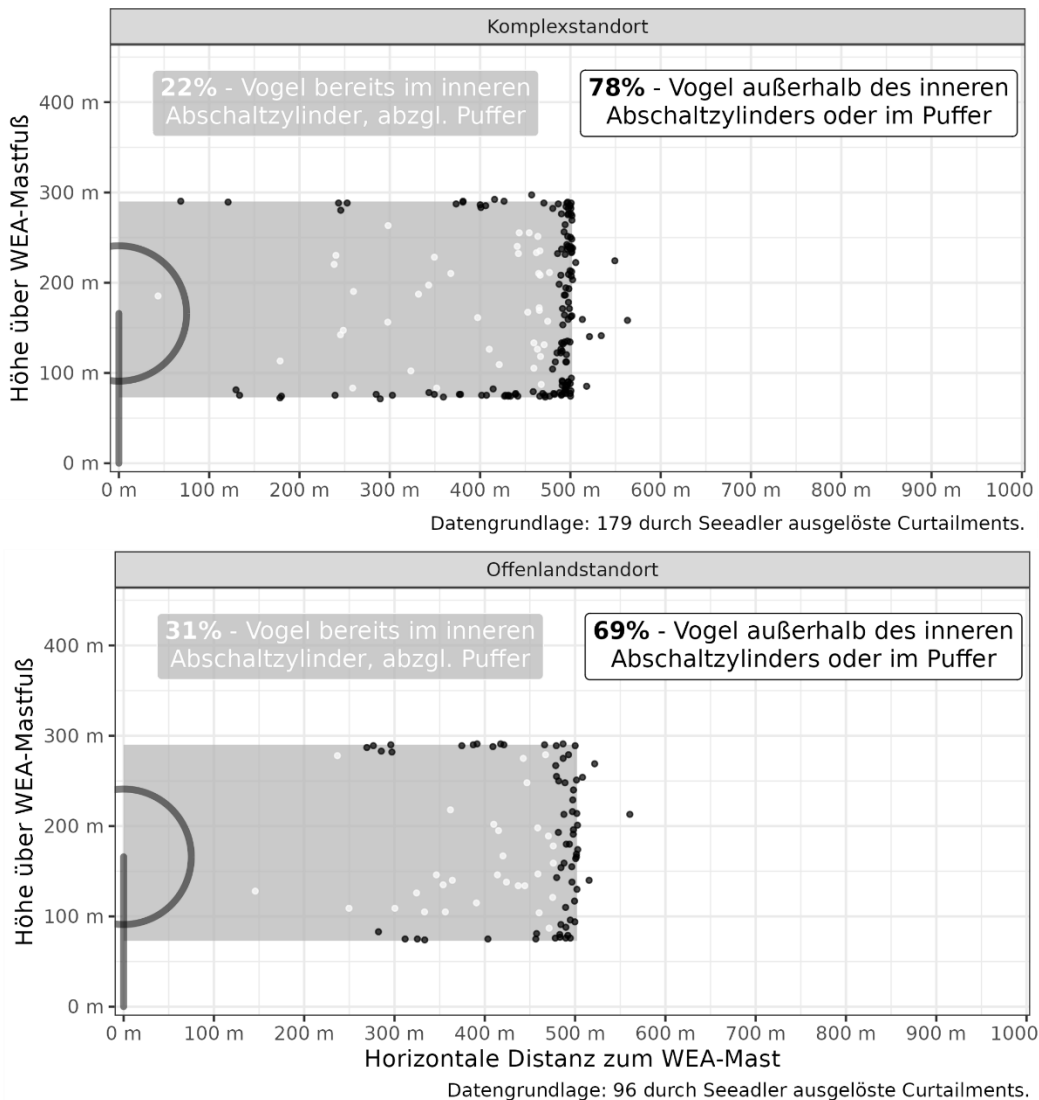


Abbildung 50: IDF-induzierte Abschaltungen am Komplex- und Offenlandstandort für den Seadler
Dargestellt ist jeweils die Entfernung zur WEA, in der sich ein nachbestimmter Seadler zum Zeitpunkt der Generierung eines Abschaltsignals durch IDF befand. Schwarz markiert sind Seadler-Detektionen außerhalb des inneren Abstandszylinders oder in dessen Pufferbereich, hellgrau sind Seadler-Detektionen im inneren Abstandszylinder. Der innere Abstandszylinder ist grau unterlegt.

5.5.2 BirdScan

5.5.2.1 Anzahl und Dauer der Abschaltungen pro WEA

Bei diesen Auswertungen gilt es zu berücksichtigen, dass die Werte aufgrund des fehlprogrammierten Abstandszylinders überschätzt werden (Kapitel 5.5.2.3 und 6.1.4). Zudem wurde die Abschaltung für „large_raptors“ bereits bei Erreichen des Abstandszylinders mit Radius 502 m ausgelöst. Dahingegen erfolgte beim IDF-System die Abschaltung für Rotmilane erst im Abstandszylinder mit Radius 373 m. Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass vergleichbare Daten zu Abschaltungen durch das BirdScan nur aus den Monaten September bis November vorliegen, d.h. aus einem Zeitraum, in dem die Flugaktivität im Vergleich zur vorhergegangenen Brutzeit bereits deutlich reduziert ist, wie aus den Vergleichsdaten des IDF hervorgeht (siehe Abbildung 30, Abbildung 31 und Abbildung 51).

In der Periode ab dem 07.09.2022 bis zum Ende der Erfassungen am 27.10.2022 (Komplexstandort) und 28.11.2022 (Offenlandstandort) erfolgten zwischen Morgen- und Abenddämmerung basierend auf dem fehlprogrammierten Abstandszylinder am Komplexstandort 9-52 und am Offenlandstandort 1-63 Abschaltungen pro Tag (Abbildung 51, oben). Das sind am Komplexstandort durchschnittlich 35,5 pro Tag (\pm sd 13.7) und am Offenlandstandort 21,8 (\pm sd 16.0).

Basierend auf dem fehlprogrammierten Abstandszylinder summierte sich die Dauer der Abschaltungen pro Tag am Komplexstandort auf 32 min bis 332 min und am Offenlandstandort auf 3 min bis 352 min (Abbildung 51, unten). Dies ergibt pro Tag im Mittel eine Dauer von 174 min (\pm sd 87,6 min) am Komplexstandort und 98,9 min (\pm sd 83,4 min) am Offenlandstandort.

Gegen Ende November nahm die Flugaktivität natürlicherweise stetig ab. Die Mittelwerte am Komplexstandort resultieren aus der Zeitperiode, innerhalb welcher noch keine Abnahme der Flugaktivität auftrat. Dahingegen umfassen die Mittelwerte vom Offenlandstandort auch diejenige Zeitperiode, wo die Flugaktivität abnahm. Deshalb liegen die Mittelwerte am Komplexstandort generell höher als beim Offenlandstandort.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

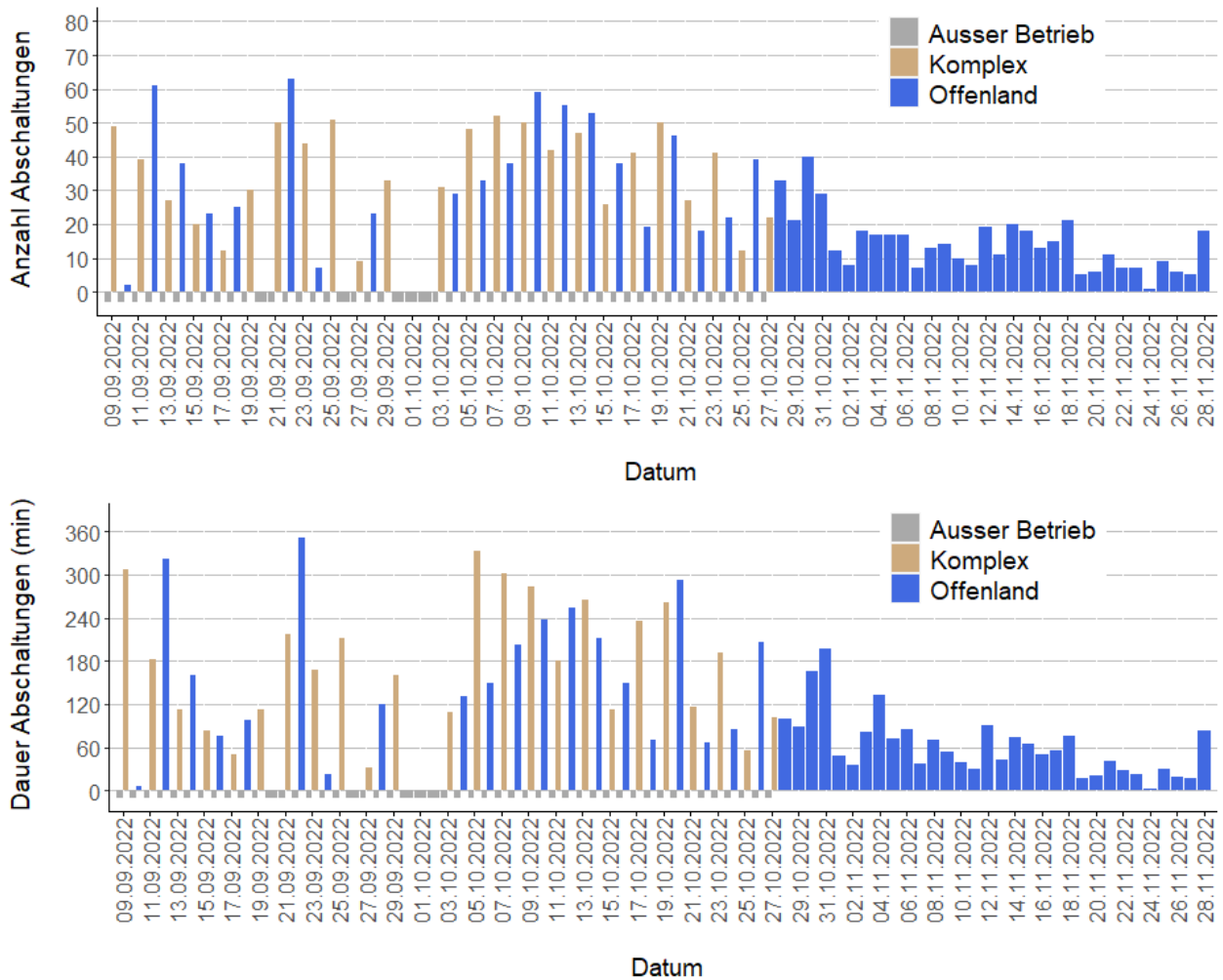


Abbildung 51: Anzahl (oben) und Dauer (unten) der Abschaltungen pro Tag am Komplex- und Offenlandstandort.
 Datengrundlage: Systemdaten zwischen Morgen- und Abenddämmerung (nicht nachbestimmt).

5.5.2.2 Klassifikation zum Zeitpunkt der Abschaltung

Bei den BirdScan-Daten kann nicht nachbestimmt werden, aufgrund welcher Vogelart eine Abschaltung ausgelöst worden ist. Deshalb ist keine Analyse möglich, die derjenigen des IDF entspricht.

5.5.2.3 Auslösen der Abschaltung

Die meisten BirdScan-Messpunkte, die eine Abschaltung ausgelöst hätten, lagen im Pufferbereich des fehlprogrammierten Abstandszylinders: 57.3% am Komplexstandort und 63.4% am Offenlandstandort (Abbildung 52a und b). Außerhalb des fehlprogrammierten Abstandszylinders sind am Komplexstandort 3.5% und am Offenlandstandort 4.0% ausgelöst worden. Die restlichen Messpunkte, die eine Abschaltung ausgelöst haben, sind innerhalb der inneren Grenze des Pufferbereichs des Abstandszylinders zu finden (39.2% am Komplexstandort und 32.6% am Offenlandstandort).

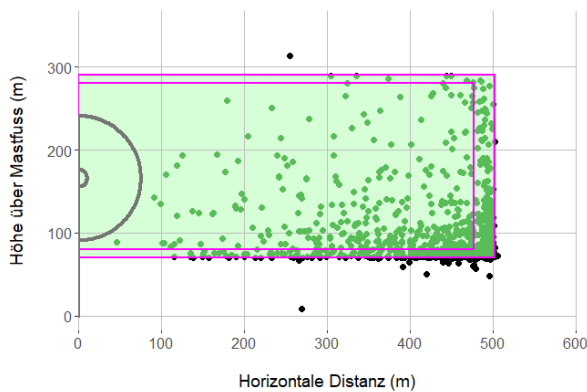
Bezüglich des ursprünglich geplanten Abstandszylinders sind am Komplexstandort 288 von 820 Abschaltungen außerhalb des Zylinders ausgelöst worden (Abbildung 52c und d). In 193 Fällen (23,5%) war die Abschaltung unnötig, weil die Vögel nicht in den ursprünglich geplanten Abstandszylinder gelangt wären. In 95 Fällen (11,6%) sind die Vögel in den ursprünglich geplanten Abstandszylinder gelangt, aber die Abschaltung ist aufgrund der Fehlprogrammierung zu früh erfolgt. Am Offenlandstandort sind 312 von 1.108 Abschaltungen außerhalb des ursprünglich geplanten Abstandszylinders ausgelöst worden. In 196 Fällen (17.7%) war die Abschaltung unnötig und in 116 Fällen (10.5%) zu früh.

Am Komplexstandort waren innerhalb der 193 Fälle, bei denen unnötig abgeschaltet worden ist, bei 106 Fällen nur ein Flugweg und bei 87 Fällen mehr als ein Flugweg beteiligt. Am Offenlandstandort waren bei 120 von 196 unnötigen Abschaltungen nur ein Flugweg und bei 76 von 196 unnötigen Abschaltungen mehr als ein Flugweg beteiligt. Basierend auf den unnötigen Abschaltungen, bei denen nur ein Flugweg beteiligt war, wurde die Anzahl der Abschaltungen am Komplexstandort dementsprechend minimal um 12,9% (106 von 820 Abschaltungen) und am Offenlandstandort um 10,8% (120 von 1.108 Abschaltungen) überschätzt. Zählt man die Dauer der Abschaltungen mit, wo mehr als ein Flugweg beteiligt war, beläuft sich die Dauer der unnötigen Abschaltungen am Komplexstandort auf 14,2 h und beim Offenland auf 13,7 h. Betrachtet man nur die Dauer der unnötigen Abschaltungen, wo lediglich ein Flugweg beteiligt war, so summieren sich die Werte am Komplexstandort auf 5,6 h und am Offenlandstandort auf 6,1 h. Bezogen auf die Gesamtdauer der Abschaltungen (Komplexstandort: 69,6 h; Offenland: 87,4 h) machen die unnötigen Abschaltungen, die nur auf einem Flugweg beruhen, am Komplexstandort 8% und am Offenlandstandort 7% aus. Durch den fehlprogrammierten Abstandszylinder wurde die Dauer der Abschaltungen dementsprechend minimal um 8% (Komplexstandort) bzw. 7% (Offenlandstandort) überschätzt.

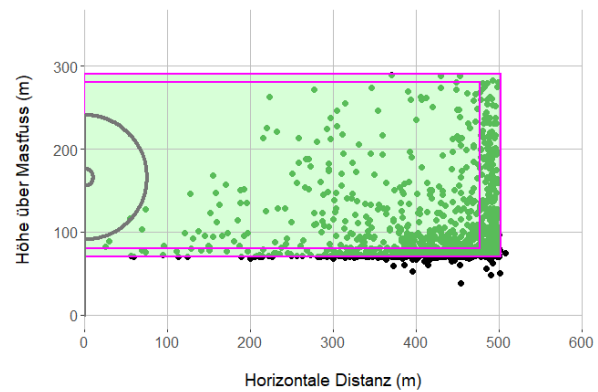
Komplexstandort

Offenlandstandort

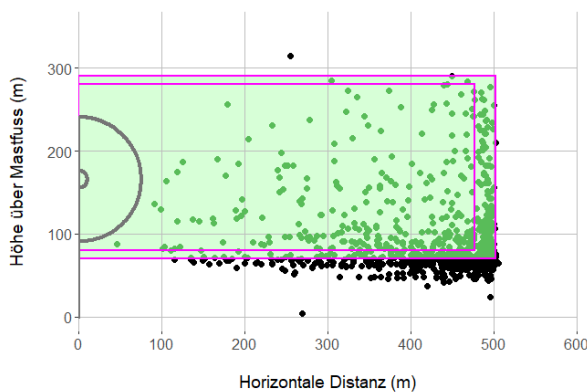
a)



b)



c)



d)

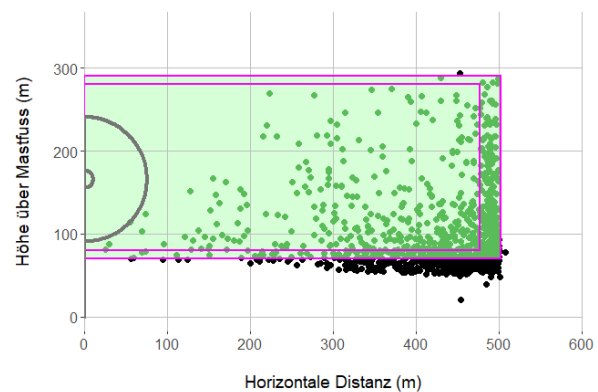


Abbildung 52: Für die Bodenhöhe korrigierte (a, b) und unkorrigierte (c, d) horizontale Distanz des ersten Messpunktes von als „large_raptor“ klassifizierten BirdScantracks beim Auslösen der Abschaltung bezüglich der virtuellen WEA am Komplexstandort und am Offenlandstandort zwischen Morgen- und Abenddämmerung (grün=Abstandszyylinder, magenta=Pufferbereich).
 Datengrundlage Offenlandstandort: Systemdaten 08.09. bis 28.11.2022, N=1.108 (53 Tage)
 Datengrundlage Komplexstandort: Systemdaten 09.09.-27.10.2022, N=820 (24 Tage)

5.5.3 Dimensionierung des inneren Abstandszyinders

Die Dimensionierung der Abstandszyinder basiert auf der Dauer, die die WEA benötigt, um in den Trudelbetrieb zu gehen und auf der Fluggeschwindigkeit der Zielarten (vgl. Kapitel 2.1.3). Für den inneren Abstandszyinder wird der Median der Fluggeschwindigkeit der Zielarten angesetzt (vgl. Kapitel 4.1.3). Folglich wäre zu erwarten, dass ca. die Hälfte der Zielart-Flüge für die Distanz zwischen Einflug in den inneren Abstandszyinder und dem Erreichen der Rotorkugel mehr Zeit benötigt als die angesetzte Abschaltdauer der WEA (> 35 Sekunden). Für die andere Hälfte der Zielart-Flüge würde für IDF erwartet werden, dass sie in kürzerer Zeit die Rotorkugel erreichen als für die Abschaltung der WEA benötigt wird, aber durch das Auslösen einer

Abschaltung bereits im äußeren Abstandszylinder ebenfalls geschützt sind (unter Voraussetzung, dass IDF im regulären Einsatzszenario mit entsprechenden äußeren Abstandszylinder programmiert wird, vgl. Kapitel 4.1.3.1).

Insgesamt 10 Rotmilan- und 9 Seeadler-Flugbahnen verliefen zu einem beliebigen Zeitpunkt in die Rotorkugel und konnten dabei lückenlos vom IDF- oder BirdScan-System verfolgt werden (Abbildung 53 und Abbildung 54). Davon brauchte in zwei der hier dokumentierten Rotmilan-Flugbahnen und in fünf der Seeadler-Flugbahnen der Vogel jeweils mehr Zeit vom ersten Einflug in den inneren Abstandszylinder bis zum Einflug in die Rotorkugel, als zum Abschalten der WEA benötigt wird (hier > 35 Sekunden). In den übrigen Fällen erreichten die Vögel in weniger als 35 Sekunden ab Einflug in den inneren Abstandszylinder die Rotorkugel.

Folglich verliefen – bezogen auf den Seeadler – etwas mehr Zielart-Flugbahnen zu einem späteren Zeitpunkt in die Rotorkugel als aus dem Median der Fluggeschwindigkeit erwartet wurde. Für den Rotmilan ist das Verhältnis umgekehrt und es wurde die Rotorkugel häufiger in kürzerer Zeit erreicht als erwartet.

Generell muss bei der hier erreichten Datengrundlage aber beachtet werden, dass längere Flüge unterrepräsentiert sind, da diese meist nicht kontinuierlich von IDF erfasst werden und daher nicht berücksichtigt werden konnten. Darüber hinaus ist bei der Interpretation der vorliegenden Ergebnisse zu beachten:

- An den Standorten der virtuellen WEA befinden sich keine tatsächlichen Anlagen, sodass das Verhalten der Zielarten sich mit dem Bau der WEA verändern dürfte (Meide- bzw. Ausweichreaktionen). Dies könnte die Annäherungsgeschwindigkeit oder die Häufigkeit der Annäherung an die WEA beeinflussen.
- Hinsichtlich der Rotorstellung musste eine Worst-Case Annahme getroffen werden, nämlich dass die Reichweite der Rotoren als kugelförmiger Bereich (mit einem Radius gleich der Rotorreichweite) angenommen wurde. Je nach tatsächlicher Rotorausrichtung entspricht der Gefahrenbereich jedoch einer Scheibe und die Kugel kann unbeschadet von einem Vogel durchflogen werden, da der Rotor diesen Bereich der Kugel zum Zeitpunkt des Durchflugs tatsächlich gar nicht durchstreift.
- Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass der Abschaltvorgang an der WEA ein kontinuierlicher Verlangsamungsprozess ist. Sobald das Abschaltsignal empfangen wird, werden die Rotorblätter eingedreht. Dabei ist zu beachten, dass die Verlangsamung auch von der aktuellen Rotordrehzahl abhängig ist. Die hier angenommene Abschaltzeit entspricht der Abschaltdauer bei maximaler Rotorgeschwindigkeit (Worst-Case). Dreht sich die WEA bereits vor dem Abschaltprozess langsamer, verringert sich entsprechend auch die Zeit des Verlangsamungsprozesses.

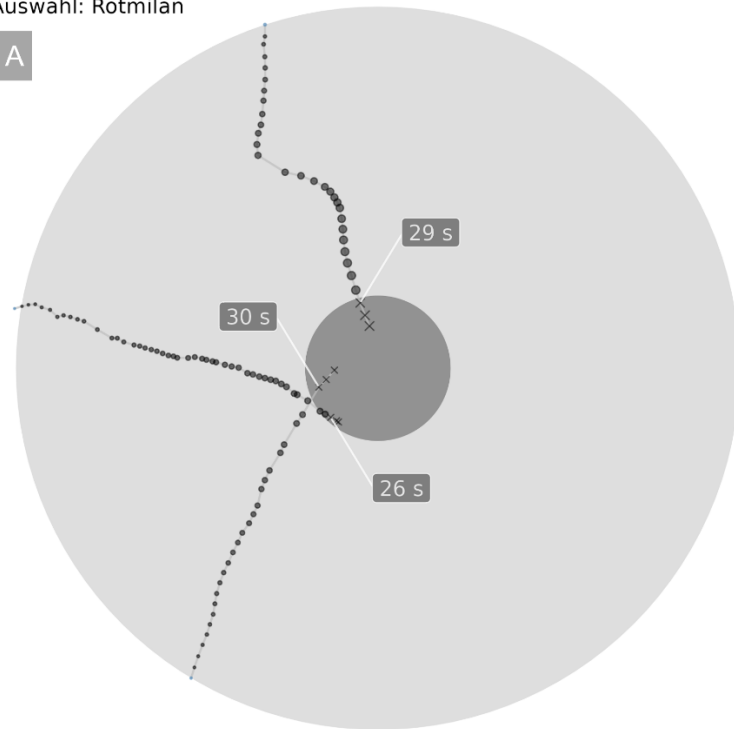
Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

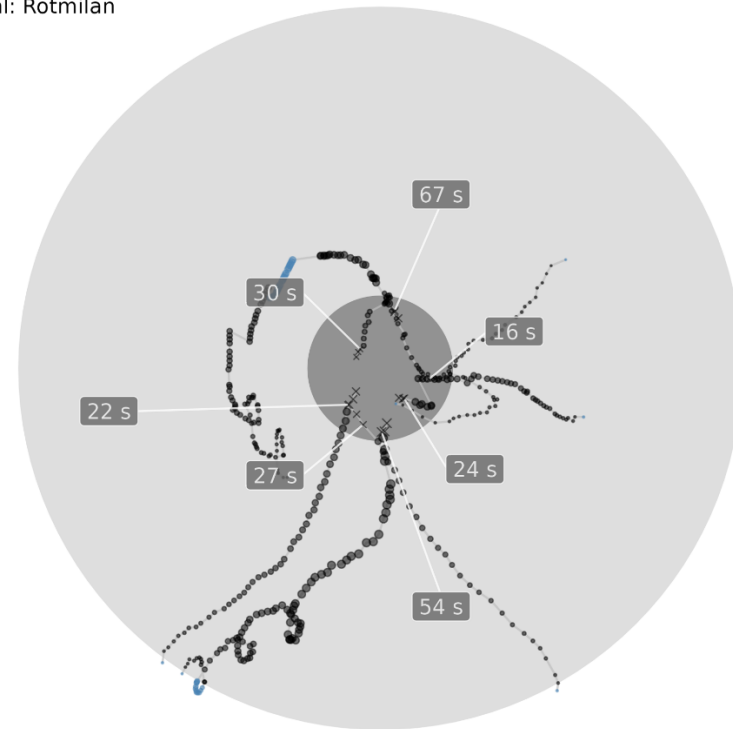
Auswahl: Rotmilan

A



Auswahl: Rotmilan

B



× im inneren Abstandszylinder, in Rotorreichweite
 ● im inneren Abstandszylinder, außerhalb Rotorreichweite
 ● außerhalb des inneren Abstandszylinders

Datengrundlage: 108 Punkte aus 3 Tracks, die außerhalb des inneren Abstandszylinders begannen und Rotorreichweite erreichten.

Datengrundlage: 448 Punkte aus 7 Tracks, die außerhalb des inneren Abstandszylinders begannen und Rotorreichweite erreichten.

Abbildung 53: Flugbahn in den inneren Abstandszylinder (AZ_{innen}) nachbestimmter Rotmilane am Komplex- (A) und Offenlandstandort (B). Dargestellt sind Flugbahnen, die außerhalb des AZ_{innen} begannen und nach der angegebenen Zeit in den Rotorbereich der virtuellen WEA verliefen, wobei sie lückenlos vom IDF- oder dem BirdScan-System aufgezeichnet wurden. Nach Erreichen des Rotorbereichs wird der Verlauf der Flugbahn zur besseren Übersicht nicht mehr dargestellt. Der AZ_{innen} ist hellgrau, der Rotorbereich dunkelgrau eingefärbt.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Auswahl: Seeadler



Auswahl: Seeadler



× im inneren Abstandszylinder, in Rotorreichweite
 ● im inneren Abstandszylinder, außerhalb Rotorreichweite
 ● außerhalb des inneren Abstandszylinders

Datengrundlage: 430 Punkte aus 5 Tracks, die außerhalb des inneren Abstandszylinders begannen und Rotorreichweite erreichten.

Datengrundlage: 195 Punkte aus 4 Tracks, die außerhalb des inneren Abstandszylinders begannen und Rotorreichweite erreichten.

Abbildung 54: Flugbahn in den inneren Abstandszylinder (AZ_{innen}) nachbestimmter Seeadler am Komplex- (A) und Offenlandstandort (B). Dargestellt sind Flugbahnen, die außerhalb des AZ_{innen} begannen und nach der angegebenen Zeit in den Rotorbereich der virtuellen WEA verliefen, wobei sie lückenlos vom IDF- oder dem BirdScan-System aufgezeichnet wurden. Nach Erreichen des Rotorbereichs wird der Verlauf der Flugbahn zur besseren Übersicht nicht mehr dargestellt. Der AZ_{innen} ist hellgrau, der Rotorbereich dunkelgrau eingefärbt.

5.6 Gesamtleistung

Diese Auswertung der Gesamtleistung integriert alle zuvor einzeln beschriebenen und analysierten Teile der Systemleistung. Ob ein Abschaltsignal rechtzeitig vor dem Erreichen der Rotorreichweite erstellt wird, ist das Produkt von rechtzeitiger Detektion des Vogels, korrekter Klassifikation und ausreichender Dimensionierung des Abstandzylinders.

In nur einem von 45 Fällen, in denen ein Einflug in die virtuelle Rotorvolumenkugel aufgezeichnet wurde, war zuvor kein Abschaltsignal vom IDF-System erstellt worden.

Bei den aufgezeichneten Rotmilanen lagen in 55% der 31 Fälle mehr als 35 Sekunden zwischen der Erstellung des Abschaltsignals und dem Erreichen der maximalen Rotorreichweite. Der früheste Einflug eines Rotmilans in die maximale Rotorreichweite erfolgte ca. 15 Sekunden nach der Erstellung des Abschaltsignals (Abbildung 55).

Bei 79% der aufgezeichneten Seeadler (11 von 14) hätte die WEA mehr als die Zielsetzung von 35 Sekunden Zeit gehabt, die Rotorgeschwindigkeit zu reduzieren. Der früheste Einflug eines Seeadlers in die maximale Rotorreichweite erfolgte ca. 25 Sekunden nach der Erstellung eines Abschaltsignals.

Bei dieser Betrachtung muss berücksichtigt werden, dass die maximale Rotorreichweite eine Kugel um die WEA-Nabe bildet und es sich hier deshalb um eine Worst-Case-Darstellung handelt. Die tatsächliche Rotorreichweite ist abhängig von der Rotorausrichtung und kann den Zeitraum bis zum Erreichen der Rotorreichweite beliebig verlängern. Würde beispielsweise ein Rotmilan in einer geraden Flugbahn mit 8,4 m/s durch diesen Bereich fliegen, könnte es bei dem angenommenen Rotordurchmesser von 150 m bis zu 17,8 Sekunden dauern, bis der Rotmilan durch die Rotorscheibe fliegt.

Wie früh vor dem Erreichen der Rotorreichweite wurde die Abschaltung der (virtuellen) WEA eingeleitet?

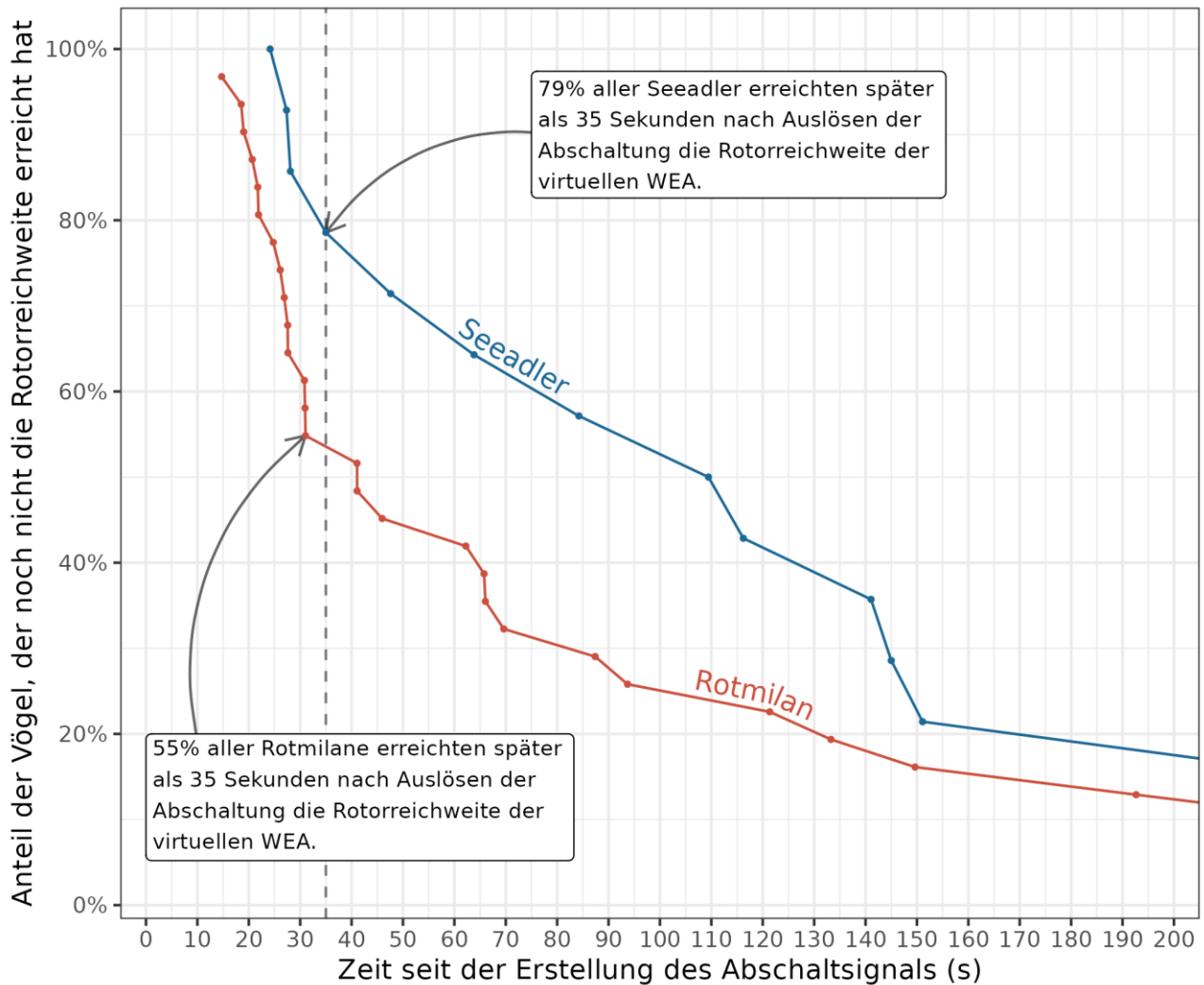


Abbildung 55: Gesamtleistung IDF-System. Dargestellt ist (farblich unterschieden nach Art) wie viel Zeit zwischen der Erstellung eines Abschaltsignals für die WEA und dem Einflug des Vogels in die maximale Rotorreichweite verging. Am Verlauf der kumulativen Kurve ist ablesbar, welcher Anteil (y-Achse) der Vögel noch nicht die maximale Rotorreichweite erreicht hatten, nachdem ein bestimmter Zeitraum (x-Achse) seit der Erstellung eines Abschaltsignal vergangen war. Die Zielsetzung von 35 Sekunden ist als vertikale gestrichelte Linie abgebildet.

5.7 Wirtschaftliche Auswirkungen

5.7.1 Untersuchungszeitraum

5.7.1.1 IDF

In Tabelle 27 sind die berechneten Ertragseinbußen, ausgelöst durch IDF, an beiden Standorten für den konkreten Erfassungszeitraum aufgeführt. Zudem wird nach den verschiedenen Arten/Erfassungsklassen unterschieden. Die Kategorie „Normal“ stellt den Normalbetrieb gänzlich ohne jegliche Abschaltzeiträume dar. An den beiden Standorten ist von einer jährlichen Leistung von rund 18.931.464 kWh auszugehen. Aufgrund der deutlich kürzeren Laufzeit des BirdScan-Systems erfolgt die Darstellung der Ergebnisse hierfür mittels eines Vergleichs der Systeme über einen einheitlichen Zeitraum (Kap. 5.7.1.2).

Die während der Untersuchungsdauer durch das IDF-System theoretisch veranlassten Abschaltungen hätten 2,26 % (Offenlandstandort) bzw. 2,38 % (Komplexstandort) Ertragseinbußen bedeutet. Abgedeckt wurde jedoch nur ein Zeitraum Mitte Juni bis Ende November und damit rund fünf Monate. Die für das gesamte Jahr zu erwartenden Ertragseinbußen, bedingt durch ereignisbezogene Abschaltungen, sind in Kapitel 5.7.2.1 aufgeführt.

Tabelle 27: Im Untersuchungszeitraum theoretisch durch den Einsatz von IDF angefallenen Ertragseinbußen
Unterscheidung nach Standort (S1 = Offenland, S2 = Komplex). Untersuchungsdauer S1 = 151 Tage,
Untersuchungsdauer S2 = 169

Standort	System	Kategorie	Ertrag	Verlust	
			kWh	kWh	%
S1, S2		Normal	18.931.464	0	0
S1	IDF	Gesamt	18.501.712	429.752	2,26
S1	IDF	Milan	18.711.725	219.739	1,16
S1	IDF	Seeadler	18.885.145	46.319	0,24
S1	IDF	Protected	18.767.770	163.694	0,86
S2	IDF	Gesamt	18.482.098	449.366	2,38
S2	IDF	Milan	18.782.194	149.270	0,79
S2	IDF	Seeadler	18.876.573	54.891	0,29
S2	IDF	Protected	18.686.259	245.205	1,30

Aufgrund der etwas längeren Laufzeit wurden am Komplexstandort mehr Abschaltungen ausgelöst als am Offenlandstandort (1.564 gegenüber 1.392). Bezogen auf die durchschnittliche Anzahl Abschaltungen pro Tag gibt es jedoch kaum Unterschiede (Komplex = 9,25, Offenland = 9,22).

Unterschiede bestehen hinsichtlich der Abschalthäufigkeit der einzelnen Arten bzw. der Kategorien. Am Offenlandstandort wurde der größte Teil der zu erwartenden Ertragseinbußen durch Milane verursacht, am Komplex-Standort dominierten hingegen Abschaltungen der Kategorie „Protected“ (Abbildung 56).

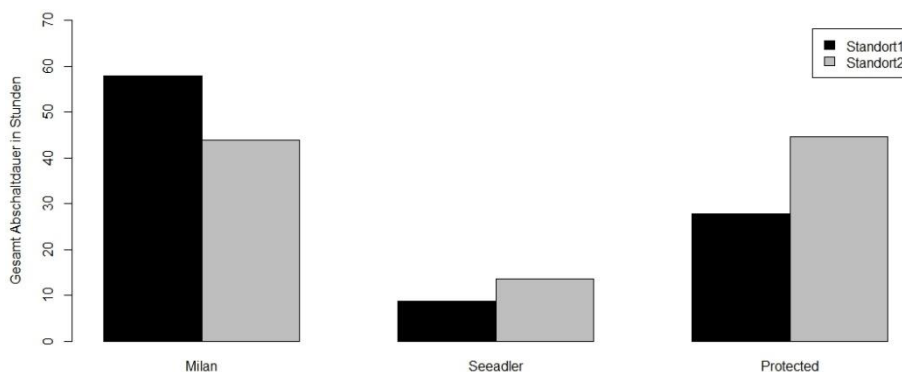


Abbildung 56: Anzahl Abschaltungen unterschieden nach Kategorien und Standort
Standort 1 = Offenland, Standort 2 = Komplex

Neben der Anzahl der Flüge spielt auch die Aufenthaltsdauer der Zielarten im Abstandszylinder eine Rolle für die Höhe der Ertragseinbußen. Ein Großteil der registrierten Flüge, die zu einer Abschaltung geführt haben, verlässt den Abstandszylinder innerhalb der programmierten dreiminütigen Stopp-Phase, sodass anschließend der Startprozess initiiert werden kann. Längere Aufenthalte im Abstandszylinder bzw. neue erfasste Flugbewegungen führen jedoch dazu, dass das Abschaltensignal auch nach Ablauf der vorgesehenen Unterbrechung bestehen bleibt. Die Häufigkeit längerer Aufenthalte ist artspezifisch sowie abhängig vom Standort. Durch Milane ausgelöste Abschaltungen dauern durchschnittlich länger an als Abschaltungen, die durch den Seeadler bedingt sind bzw. es halten sich Seeadler tendenziell kürzer im Abstandszylinder auf (Tabelle 30). Das Vorkommen der Zielarten im Bereich der Anlagen ist wiederum beeinflusst durch die Habitatausprägung am Standort.

Standortspezifische Unterschiede treten hauptsächlich in der Kategorie „Protected“ auf. Die vergleichsweise hohe Anzahl an Abschaltungen, ausgelöst durch Arten, die unter die Kategorie „Protected“ fallen und bei gleichzeitig längerem Aufenthalt dieser Arten im Abstandszylinder, beeinflussen die Ertragseinbußen am Komplexstandort deutlich.

5.7.1.2 Vergleich der Systeme

Ein Vergleich der Systeme über die gesamte Untersuchungsdauer wird durch die sehr viele kürzere Betriebsdauer des BirdScan-Systems erschwert, da die Anzahl der Betriebstage das Gesamtergebnis maßgeblich beeinflusst. Die in Tabelle 28 aufgeführten Ertragseinbußen,

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

ausgelöst durch das BirdScan-System, beziehen sich somit nur auf die aufgeführte kurze Untersuchungsdauer, beginnend ab dem 07. September. Am Offenlandstandort dauerten die Erfassungen bis zum 28. November, am Komplexstandort bis zum 26. Oktober.

Tabelle 28: Im Untersuchungszeitraum theoretisch durch den Einsatz von BirdScan angefallenen Ertragseinbußen

Unterscheidung nach Standort (S1 = Offenland, S2 = Komplex). Untersuchungsdauer S1 = 53 Tage; Untersuchungsdauer S2 = 24 Tage

Standort	System	Kategorie	Ertrag	Verlust	
			kWh	kWh	%
S1, S2		Normal	18.931.464	0	0
S1	BirdScan	Gesamt	18.561.281	370.183	1,96
S2	BirdScan	Gesamt	18.591.181	340.283	1,80

Für einen Vergleich der Systeme wird daher die Datengrundlage der IDF-Systeme stundengenau auf die Laufzeit der jeweiligen BirdScan-Systeme an den Standorten reduziert. Somit wurden nur Abschaltungen gewertet, die erfolgt sind, während beide Systeme parallel gelaufen sind. Durch den direkten Vergleich identischer Zeiträume können Unterschiede bezüglich der Abschalthäufigkeit und -dauer miteinander verglichen werden.

Das IDF-System führte im Zeitraum 08.09. bis 29.11. (abzüglich Zeiten mit Systemausfällen) zu theoretischen Ertragseinbußen von 1,73 % am Offenlandstandort, wohingegen die Ertragseinbußen infolge des Einsatzes des BirdScan-Systems fast 5,5-mal höher wären (Tabelle 29). Am Komplexstandort war die Aktivität der Zielarten im September und Oktober deutlich höher als am Offenlandstandort. Das IDF veranlasste Abschaltungen, die eine Reduktion der Stromproduktion von 3,81 % bedeuten würden. Die durch den Einsatz des BirdScan-Systems bedingten Ertragseinbußen sind hier noch rund 2,9-mal höher.

Tabelle 29: Vergleich der Ertragseinbußen ausgelöst durch IDF bzw. BirdScan

Für die Berechnungen der Ertragseinbußen werden nur Tage innerhalb des Untersuchungszeitraums gewertet, an denen beide Systeme gleichzeitig am jeweiligen Standort einsatzbereit waren

Ort	Gerät	Szenario	Ertrag Normal	Ertrag Szenario	Ertragsverlust		Zeitraum		Stopp u. Start
			kWh	kWh	kWh	%	Datum	Beschreibung	Anzahl
S1	IDF(-)	Real gesamt	5.426.431	5.332.462	93.969	1,73%	08.09. bis 29.11.	verkürzte Betriebszeit	183
S1	Radar	Real gesamt	5.426.431	4.914.170	512.261	9,44%	08.09. bis 29.11.	reale Betriebszeit	1051
S2	IDF(-)	Real gesamt	3.127.363	3.008.153	119.210	3,81%	09.09. bis 27.10.	verkürzte Betriebszeit	201
S2	Radar	Real gesamt	3.127.363	2.787.080	340.283	10,88%	09.09. bis 27.10.	reale Betriebszeit	876

Als Grund für die deutlich höheren Ertragseinbußen ist zum einen die größere Anzahl veranlasster Stopps zu nennen, zusätzlich ist die Dauer der Abschaltensignale deutlich größer (s. Tabelle 30). Beides beeinflusst die Stillstandzeiten der Anlagen in erheblichen Maßen im Vergleich zu IDF.

Tabelle 30: Durchschnittliche Dauer der Abschaltensignale unterschieden nach Kategorie und Standort
Für die Berechnungen der Ertragseinbußen wird zusätzlich eine Zeit von neun Minuten für den Startvorgang berücksichtigt.

Kategorie	Durchschnittliche Dauer des Abschaltensignals [s] inkl. 180 Sekunden Wartezeit	
	Offenland	Komplex
IDF-Milane	231,5	228,0
IDF-Seeadler	210,8	204,6
IDF-Protected	203,1	227,0
BirdScan	278,5	298,7

Es bleibt zu berücksichtigen, dass die durch das BirdScan-System verursachten Ertragseinbußen prinzipiell überschätzt sind, da der Höhenbezug des Abschaltzylinders falsch eingestellt war. Die Anzahl der fälschlicherweise erfassten Abschaltungen bewegt sich am Offenlandstandort in einer Größenordnung von minimal 11% der gesamten Abschaltungen, am Komplexstandort bei minimal 13% (s. Kap. 5.5.2.3). Die Dauer der Abschaltungen wurde am Offenlandstandort minimal um 8% und am Komplexstandort um 7% überschätzt.

5.7.2 Ganzjährige Prognose der Ertragsverluste

5.7.2.1 IDF

In Tabelle 31 und Tabelle 32 sind die tatsächlich erfassten sowie die mit Hilfe der durchschnittlichen Flugaktivität innerhalb der Brutphase extrapolierten Abschaltungen für den Offenland- bzw. Komplexstandort aufgeführt. Für den Offenlandstandort werden durchschnittlich 1.522 Milan-bedingte Abschaltungen erwartet. Die Schätzungen sind jedoch durch eine außergewöhnlich hohe Flugaktivität bzw. Anzahl von Abschaltungen im Juni beeinflusst. Vermutlich haben hier Bewirtschaftungsereignisse kurzfristig eine besondere Attraktionswirkung ausgelöst.

Am Komplex-Standort passen die Anzahl ausgelöster Abschaltungen und die jeweilige Flugaktivität der Brutzeitphasen besser zueinander. An diesem Standort wird mit 1.042

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

Abschaltungen knapp ein Drittel weniger Flugaktivität durch Milane erwartet als am Offenland Standort.

Zusätzlich bleibt festzuhalten, dass in der Realität auch außerhalb der Brutperiode Rotmilanflüge nicht gänzlich ausgeschlossen sind. Für die Berechnung können jeweils nur Durchschnittswerte genutzt werden. Im November wurden am Offenland Standort aber nur insgesamt drei Abschaltungen durch Milane ausgelöst.

Tabelle 31: Extrapolierte Milan-Abschaltungen durch IDF am Offenland Standort

Brutphase	Dauer	Erfasste Tage	Anteil Flugaktivität [%]	Abschaltungen (erfasst)	Abschaltungen (extrapoliert)
Balzzeit	32	0	10	0	183
Brutzeit	36	0	14	0	262
Aufzuchtzeit	42	20	37	318	668
Nachbrutzeit	92	72	39	320	409

Tabelle 32: Extrapolierte Milan-Abschaltungen durch IDF am Komplex Standort

Brutphase	Dauer	Erfasste Tage	Anteil Flugaktivität [%]	Abschaltungen (erfasst)	Abschaltungen (extrapoliert)
Balzzeit	32	0	10	0	110
Brutzeit	36	0	14	0	157
Aufzuchtzeit	42	20	37	169	355
Nachbrutzeit	92	88	39	402	420

Die Anzahl der Seeadler-Abschaltungen war am Offenlandstandort im Juni ebenfalls außergewöhnlich hoch (s. Tabelle 33), auch wenn insgesamt deutlich seltener für den Seeadler abgeschaltet werden musste als für den Rotmilan. Durchschnittlich wird in einem Jahr eine Anzahl von 385 Seeadler-Abschaltungen erwartet.

Am Komplex-Standort werden durchschnittlich 449 Abschaltungen erwartet, die durch den Seeadler ausgelöst werden (s. Tabelle 34).

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 33: Extrapolierte Seeadler-Abschaltungen durch IDF am Offenland Standort

Monat	Dauer	Erfasste Tage	Anteil Flugaktivität [%]	Abschaltungen (erfasst)	Abschaltungen (extrapoliert)
Januar	31	0	7	0	19
Februar	28	0	7	0	19
März	31	0	9	0	54
April	30	0	9	0	54
Mai	31	0	9	0	54
Juni	30	20	9	36	54
Juli	31	20	10	29	45
August	31	27	10	18	21
September	30	30	7	19	19
Oktober	31	31	7	16	16
November	30	29	7	11	11
Dezember	31	0	7	0	19

Tabelle 34: Extrapolierte Seeadler-Abschaltungen durch IDF am Komplex Standort

Monat	Dauer	Erfasste Tage	Anteil Flugaktivität [%]	Abschaltungen (erfasst)	Abschaltungen (extrapoliert)
Januar	31	0	7	0	23
Februar	28	0	7	0	23
März	31	0	9	0	56
April	30	0	9	0	56
Mai	31	0	9	0	56
Juni	30	20	9	37	56
Juli	31	31	10	59	59
August	31	31	10	37	37
September	30	26	7	20	23
Oktober	31	31	7	26	26
November	30	29	7	11	11
Dezember	31	0	7	0	23

Mit Hilfe der hochgerechneten Abschaltungen, ausgelöst durch die Zielarten Rot- und Schwarzmilan bzw. Seeadler, können die gesamten zu erwartenden Ertragseinbußen an den beiden Standorten abgeschätzt werden (Tabelle 35).

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Bei der durchgeführten Abschätzung ergeben sich am Offenland-Standort Ertragseinbußen von 2,48 % zum Schutz der Milane und 1,00 % für den Schutz des Seeadlers. Am Komplex-Standort lagen die geschätzten Ertragseinbußen bei 1,95 % für Milane und bei 1,23 % für den Seeadler. Somit lagen die Ertragseinbußen an beiden Standorten je Brutvogelart bei unter 3 %.

Aufgrund der größeren Anzahl zu erwartender Abschaltungen, bedingt durch die Flugaktivität der Milane sowie durch die insgesamt durchschnittlich längeren Abschaltzeiten, überwiegen die geschätzten Ertragseinbußen am Offenlandstandort deutlich die Produktionsverluste am Komplexstandort. Bei der Schätzung der summierten Ertragseinbußen gilt es zu berücksichtigen, dass Flüge der Zielarten parallel stattfinden können, sodass eine simple Addition den Worst-Case darstellt. Aufgrund der geringeren Flugaktivität des Seeadlers sowie der begrenzten Brutzeitdauer der Milane ist dieser Effekt jedoch zu vernachlässigen.

Tabelle 35: Geschätzte jährliche Ertragseinbußen durch Milan- und Seeadlerflüge
Unterscheidung nach Standort (S1 = Offenland, S2 = Komplex)

Standort	System	Kategorie	Ertrag	Verlust	
			kWh	kWh	%
S1, S2		Normal	18.931.464	0	0
S1	IDF	Milan	18.461.899	469.565	2,48
S1	IDF	Seeadler	18.698.255	189.439	1,00
S1	IDF	Gesamt	18.228.689	659.004	3,48
S2	IDF	Milan	18.562.561	368.903	1,95
S2	IDF	Seeadler	18.742.025	233.209	1,23
S2	IDF	Gesamt	18.373.123	602.112	3,18

Sollten auch zukünftig für die Kategorie „Protected“ Abschaltungen ausgelöst werden, müssen die entstehenden Ertragseinbußen bei der Gesamtbewertung mitberücksichtigt werden. Die Ergebnisse der vereinfachten Hochrechnungen sind in Tabelle 36 aufgeführt. Aufgrund der erwartbar unterschiedlichen Flugaktivität in Sommer- und Winterhalbjahr werden entsprechend der Methodik aus Kapitel 4.5.2.1 zunächst die Ertragseinbußen für die beiden Zeiträume getrennt angegeben. Insgesamt sind durch diese Kategorie am Offenlandstandort jährliche Verluste in einer Größenordnung von 1,50 % zu erwarten. Am Komplexstandort liegen die Verluste im Bereich von 2,00 %.

Tabelle 36: Geschätzte jährliche Ertragseinbußen durch die Kategorie Protected
Unterscheidung nach Standort (S1 = Offenland, S2 = Komplex)

Standort	System	Kategorie	Ertrag	Verlust (Mär – Sep)		Verlust (Okt – Feb)	
			kWh	kWh	%	kWh	%
S1, S2		Normal	18.931.464	0	0	0	0
S1	IDF	Protected	18.648.574	231.990	1,23	50.900	0,27
S2	IDF	Protected	18.552.844	310.496	1,64	68.124	0,36

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Bei zukünftig identischer Konfiguration des IDF-Systems – unter Einbezug der Kategorie „Protected“ – wären zum Schutz von Milanen und Seeadler jährlich Ertragseinbußen von 4,98 % (Offenlandstandort) bzw. 5,18 % (Komplexstandort) zu erwarten (Abbildung 57).

Im Gegensatz dazu würde eine pauschale tägliche Abschaltung während der gesamten Brutzeit des Rotmilans, eine in der Vergangenheit häufiger vorgesehene Vermeidungsmaßnahmen, zu Ertragsverlusten von annähernd 29 % führen (Tabelle 37).

Tabelle 37: Geschätzte gesamte jährliche Ertragseinbußen
Unterscheidung nach Standort (S1 = Offenland, S2 = Komplex)

Standort	System	Kategorie	Ertrag	Verlust	
			kWh	kWh	%
S1, S2		Normal	18.931.464	0	0
S1, S2		Pauschal	13.443.727	5.487.737	28,99
S1	IDF	Gesamt	17.989.243	942.221	4,98
S2	IDF	Gesamt	17.951.403	980.061	5,18

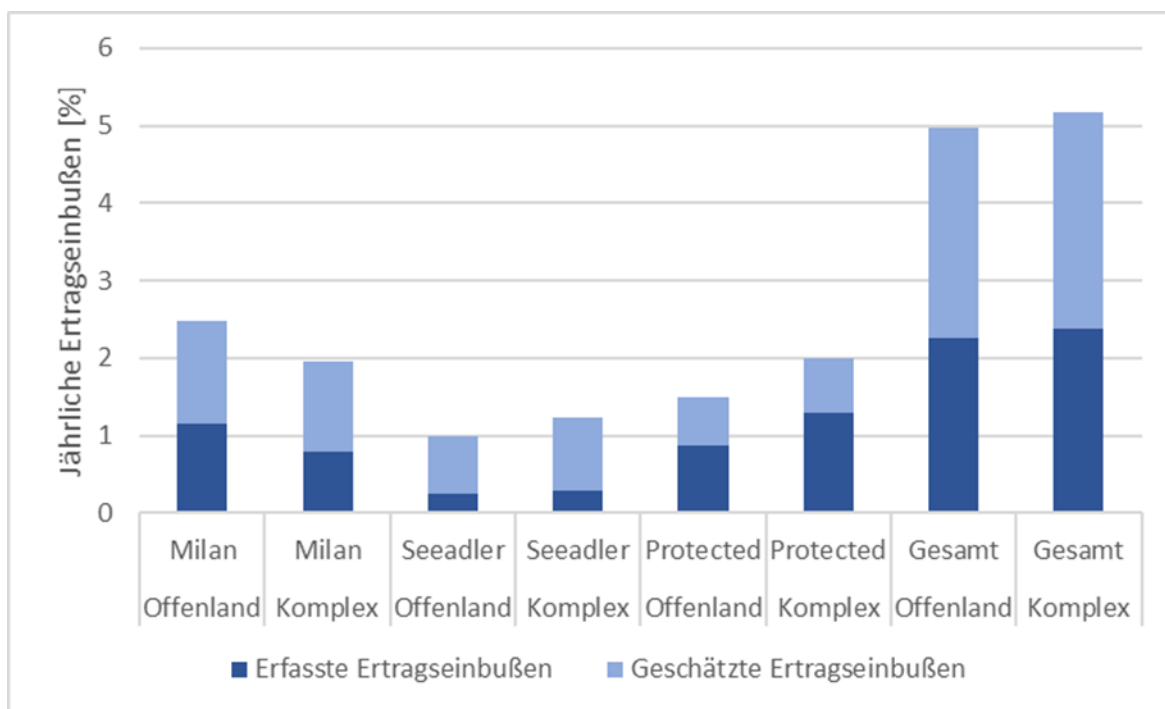


Abbildung 57: Erfasste und geschätzte Ertragseinbußen unterschieden nach Kategorien und Standort

5.7.2.2 BirdScan

Aufgrund der breit gefassten Kategorie „large raptor“ bzw. der ungenauen Unterscheidung relevanter Arten ist eine Hochrechnung der für das gesamte Jahr zu erwartenden Ertragsverluste erschwert. Annäherungsweise werden die für das IDF-System geschätzten Verluste mit dem in Kapitel 5.7.1.2 ermittelten Faktor multipliziert.

Während des parallelen Einsatzes von IDF und BirdScan im Zeitraum 08.09. bis 29.11.2023, veranlasste das BirdScan-System am Offenlandstandort rund 5,7-mal mehr Stoppvorgängen als IDF. Die Stopps resultierten in rund 5,5-mal höheren Ertragsverlusten. Bezogen auf ein ganzes Jahr liegen somit die geschätzten Ertragsverluste am Offenlandstandort, resultierend durch den Einsatz des BirdScan-Systems, in einer Größenordnung von 28,4 %. Dies entspräche in etwa den Verlusten während einer pauschalen Abschaltung über die gesamte Rotmilan-Brutzeit, allerdings mit einem Schutzeffekt über das ganze Jahr.

Am Komplexstandort veranlasste das BirdScan-System im Untersuchungszeitraum rund 4,4-mal so viele Stopps wie IDF. Dies resultiert in rund 2,9-mal höheren Ertragseinbußen. Die Ertragseinbußen fallen im Verhältnis zu der Anzahl von Stopps geringer aus, da die Dauer der IDF-Abschaltensignale während des Untersuchungszeitraums 09.09. bis 27.10.2023 vergleichsweise lang war, insbesondere in der Kategorie „Protected“.

Am Komplexstandort wäre demnach bei einem Einsatz des BirdScan-Systems mit jährlichen Ertragseinbußen in einer Größenordnung von 15,0 % auszugehen.

Es ist auch hier zu berücksichtigen, dass die durch das BirdScan-System verursachten Ertragseinbußen prinzipiell überschätzt sind, da der Höhenbezug des Abschaltzylinders falsch eingestellt war. Die Anzahl der fälschlicherweise erfassten Abschaltungen bewegt sich am Offenlandstandort in einer Größenordnung von minimal 11% der gesamten Abschaltungen, am Komplexstandort bei minimal 13% (s. Kap. 5.5.2.3). Die Dauer der Abschaltungen wurde am Offenlandstandort minimal um 8% und am Komplexstandort um 7% überschätzt.

5.7.3 Zusätzliche Stopp- und Start-Vorgänge

Ereignisbezogene Abschaltungen zum Vogelschutz führen zwangsläufig zu einer größeren Zahl an Stoppvorgängen und den im Anschluss erforderlichen Startvorgängen. Die Analysen für alle Szenarien zeigen erhebliche Unterschiede in der Anzahl von veranlassten Stopp- und Startvorgängen (s. Abbildung 58).

Zur Bewertung der Zahlen ist wichtig zu wissen, dass bei der Entwicklung und Berechnung von Windenergieanlagen gemäß den einschlägigen Richtlinien⁸ 1.100 Stopp- und Startvorgänge pro Jahr berücksichtigt werden müssen (Normal). Diese „normale“ Anzahl von Stopp- und Startvorgängen bildet sich gemäß Richtlinie aus der Summe von 1.000 Einschaltvorgängen bei niedrigem Einschaltwind (ca. 3m/s) und jeweils 50 Startvorgängen bei Nennwind (ca. 12m/s) und

⁸ DIN EN IEC 61400-1 VDE 0127-1:2019-12

Ausschaltwind (> 20m/s). Das sind durchschnittlich etwas mehr als 3 Start- und Stoppvorgänge pro Tag.

Durch die ereignisbezogenen Abschaltungen zum Vogelschutz werden Stopp- und Startvorgänge in einem Umfang generiert, der sich im Extremfall bis auf über 2.000 Stopp- und Startvorgänge pro Jahr kumulieren kann. Allein die durch die Milane veranlassten Stopp- und Startvorgänge werden am Offenlandstandort auf knapp 1.500 Stück geschätzt (s. Abbildung 58).

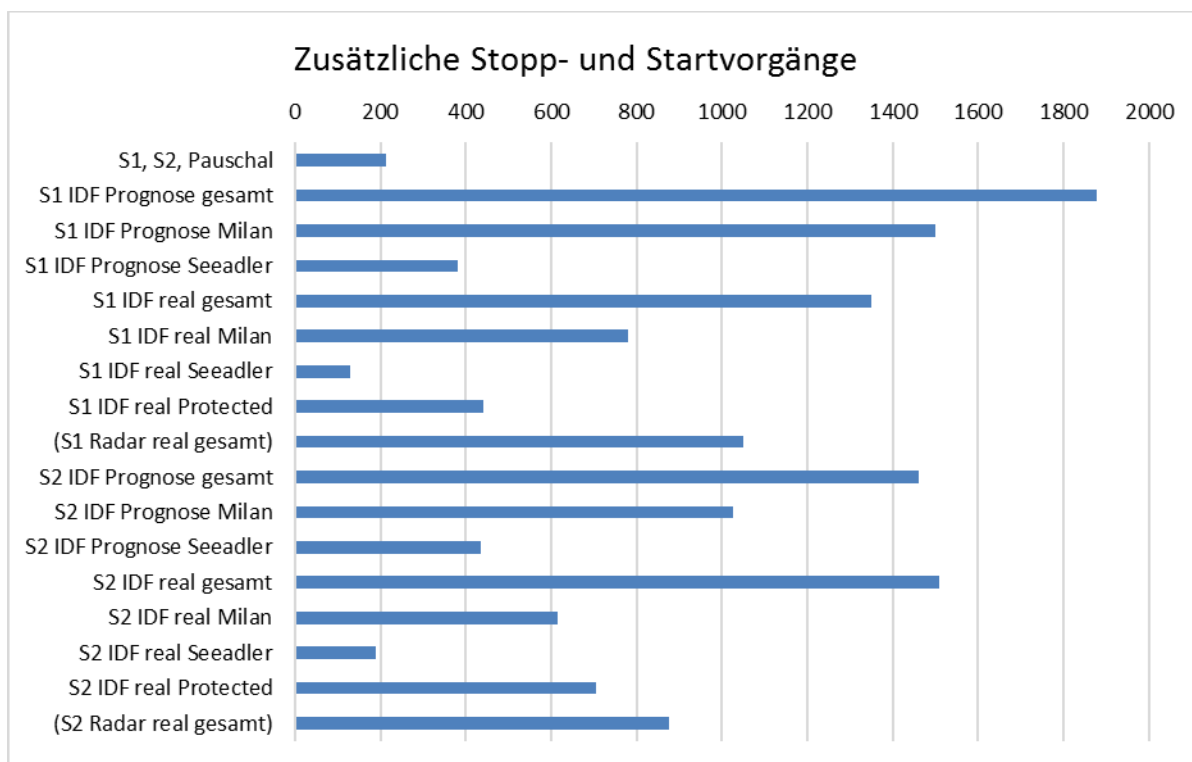


Abbildung 58: Anzahl der veranlassten bzw. geschätzten zusätzlichen Stopp- und Startvorgänge
Unterscheidung nach Standort (S1 = Offenland, S2 = Komplex) sowie nach tatsächlich veranlassten Stopp- und Startvorgängen während der Untersuchungsdauer (real) und der geschätzten jährlichen Anzahl (Prognose).

6 Diskussion

In dem vorliegenden Bericht nimmt die Darstellung der Ergebnisse des IDF-Systems im Vergleich zum BirdScan-System deutlich mehr Raum ein. Das liegt vor allem daran, dass das IDF-System aufgrund der Arterkennung in Kombination mit der Möglichkeit, dass Flugwege von Vögeln anhand von Fotos nachbestimmt werden können, mehr Analysemöglichkeiten bietet als das BirdScan-System. Zudem wurde das IDF bereits an diversen Standorten ausgiebig erprobt (siehe Kapitel 6.2), wohingegen die vorliegende Erprobung für den BirdScan die erste ihrer Art ist. Deshalb liegen für den BirdScan wenig bis keine Erfahrungswerte vor, die für Vergleiche herangezogen werden könnten.

Aufgrund dessen soll nachstehend zunächst eine Diskussion der bezüglich des BirdScan-Systems erzielten Ergebnisse erfolgen.

6.1 BirdScan

6.1.1 Standortlayout, zeitliche und räumliche Abdeckung

Der Aufbau der BirdScan-Systeme entsprach nicht einem Aufbau, wie man ihn im Zusammenhang mit echten WEA realisieren würde. Einerseits lagen die beiden BirdScan-Systeme räumlich so nahe beieinander, dass sich die Systeme gegenseitig störten, und andererseits erfolgte die Stromversorgung über Generatoren. Der Betrieb mobiler Radargeräte mit Generatoren ist gemäß eigenen Erfahrungen (Radar-Forschungsprojekte der Schweizerischen Vogelwarte) störungsanfällig, da die Stromversorgung mit Generatoren instabil sein kann. Aus diesen Gründen wurde bei der Bestimmung der zeitlichen Abdeckung die Tage mit planmäßigen Abschaltungen, die sich aus dem alternierenden Betrieb zur Verhinderung der Interferenzprobleme ergaben, sowie mit Unterbrechungen aufgrund von Stromausfällen, ausgeschlossen.

Die Lieferengpässe für Bestandteile der BirdScan-Systeme führten dazu, dass am Komplexstandort anfänglich nur drei Radarantennen in Betrieb waren, so dass die räumliche Abdeckung im nördlichen Sektor eingeschränkt war. Dies stellte hinsichtlich der Datenauswertung jedoch kein Problem dar. Beim Abgleich der LRF-Daten mit den BirdScandaten wurde berücksichtigt, dass LRF-Flugwege im nördlichen Sektor für das BirdScan-System im besagten Zeitraum nicht sichtbar waren. Nachdem die defekte Antenne ersetzt werden konnte, war die räumliche Abdeckung im Umkreis von 360° innerhalb des Öffnungswinkels der Radarantennen vollständig gegeben. Am Offenlandstandort war die räumliche Abdeckung durchgängig gewährleistet.

6.1.2 Erfassungsreichweite und Erfassungsrate

Die beiden BirdScan-Systeme zeichneten sich vor allem durch die große Erfassungsreichweite und die sehr hohe Erfassungsrate aus. So konnten Rotmilane bis auf eine Distanz von 1,8 km bis 2,0 km und Seeadler bis auf 2,8 km detektiert werden. Ohne Interferenzprobleme lag die Erfassungsrate am Offenlandstandort für beide Arten bis 2 km bei 100%. Am Komplexstandort lagen die Erfassungsraten bis 1,4 km durchschnittlich bei 99,4% für den Rotmilan und 98,3% für den Seeadler.

Am Komplexstandort war die Leistung des BirdScan-Systems im Vergleich zum BirdScan-System am Offenlandstandort geringfügig kleiner. Dies deutet darauf hin, dass die Geländegegebenheiten am Komplexstandort im Vergleich zum Offenlandstandort einen gewissen, allerdings nur geringen Einfluss ausübten.

6.1.3 Klassifizierung

Im Vergleich mit anderen Radarsystemen ist der große Vorteil des Radarsystems BirdScan MS1, dass Vögel anhand der Flügelschlagmuster erkannt und aus der großen Masse der Echos, die durch andere Objekte verursacht werden, herausgefiltert werden können. Anhand der Flügelschlagmuster ist zurzeit jedoch noch keine artspezifische Klassifizierung von Greifvögeln möglich, da die Flügelschlagmuster der unterschiedlichen Greifvogelarten sehr ähnlich sind. Deshalb wurde der Algorithmus zur Klassifizierung der Echos nach dem Vorsorgeprinzip so trainiert, dass nicht nur Rotmilane, sondern auch andere mittelgroße Greifvogelarten wie z.B. Bussarde und Weihen in dieselbe artübergreifende Kategorie „large_raptor“ fallen. Rotmilane werden sehr verlässlich der Kategorie „large_raptor“ zugeordnet (korrekt-positiv Rate: 80.6 % – 92.7 %). Aufgrund von fehlenden Trainingsdaten von Seeadlern konnte der Algorithmus im Vorfeld der Erprobung noch nicht dafür trainiert werden, dass Seeadler ebenfalls der Kategorie „large_raptor“ zugeordnet werden. Deshalb sind die meisten Seeadler entgegen den Erwartungen vom System der Kategorie „other_bird“ zugewiesen worden. Eine Einspeisung von Trainingsdaten für den Seeadler ins System kann ohne Weiteres vorgenommen werden. Weiter ist davon auszugehen, dass zukünftig eine Optimierung der Klassifizierung möglich ist.

Basierend auf den unter Kapitel 4.4.3.3 erläuterten Gründen wurde auf die Bestimmung einer falsch-positiv Rate verzichtet. Eine Darstellung, welcher BirdScan-Kategorie die vom IDF erfassten Vogelarten zugeordnet worden sind, ist in den Ergebnissen enthalten (siehe Abbildung 46). Gemäß Rückmeldung der Hersteller entspricht diese Zuordnung ihren Erwartungen an das BirdScan-System.

6.1.4 Abschaltung

Ein Grund für die große Anzahl an Abschaltungen ist, dass die BirdScan-Systeme noch keine artspezifische Abschaltung erlauben. So fallen nicht nur Rotmilane, sondern beispielsweise auch Bussarde und Weihen in die Kategorie „large_raptors“. Da lokal eine starke Flugaktivität von anderen Vogelarten herrschte, die ebenfalls in die Kategorie „large_raptors“ fallen (siehe Kapitel

4.1.1), wurde häufig eine Abschaltung ausgelöst, die nicht wegen einer Zielart erfolgte. Zudem wurde die Abschaltung für „large_raptors“ bereits bei Erreichen des Abstandszylinders mit Radius 502 m ausgelöst. Dahingegen erfolgte beim IDF-System die Abschaltung für Rotmilane erst im Abstandszylinder mit Radius 373 m. Es ist davon auszugehen, dass an Standorten, wo reelle WEA geplant sind, weit weniger Flugaktivität von Großvögeln herrschen dürfte, was die Anzahl an Abschaltungen reduzieren würde. Andererseits ist zu berücksichtigen, dass die in diesem Vorhaben vom BirdScan-System ausgelöste hohe Anzahl an Abschaltungen in einem Zeitraum außerhalb der Brutzeit erfolgte, d.h. in einer Phase mit deutlich reduzierter Flugaktivität.

An beiden Standorten wurden die meisten Abschaltungen innerhalb des Pufferbereichs ausgelöst. Bei diesen Abschaltungen ist davon auszugehen, dass eine Abschaltung im worst case, das heißt, wenn ein Vogel nach Erreichen des Abstandszylinders geradlinig auf den Rotor zugeflogen wäre, rechtzeitig erfolgt wäre. Im Umkehrschluss wären die Abschaltungen, die innerhalb der inneren Grenze des Pufferbereichs ausgelöst worden sind, im worst case nicht rechtzeitig erfolgt. Bei der Interpretation dieser Werte müssen allerdings diverse Einschränkungen berücksichtigt werden, die unter Kapitel 6.3 erläutert werden. Folgende Gründe können dazu führen, dass Abschaltungen erst innerhalb der inneren Grenze des Pufferbereichs ausgelöst werden:

1. Die Erstdetektion des Vogels erfolgt erst innerhalb der Grenze des Pufferbereichs, weil Vögel innerhalb des Abstandszylinders auffliegen können oder weil Tracks von Vögeln mit Unterbrechungen aufgezeichnet werden.
2. Die Klassifikation als „large_raptor“ findet erst innerhalb der inneren Grenze des Pufferbereichs statt, obwohl der Vogel bereits bei Eintritt in den Abstandszylinder detektiert worden ist.

Nur wenige Messpunkte, die eine Abschaltung ausgelöst hätten, lagen außerhalb des fehlprogrammierten Abstandszylinders, was mit einer Ungenauigkeit des für die Höhenbestimmung zugrundeliegenden Geländemodells (SRTM-Daten, Auflösung: 30 m x 30 m) zu tun haben könnte.

Ein weiterer Grund für die hohe Anzahl an Abschaltungen war die Fehlprogrammierung des Abstandszylinders. Eine Quantifizierung des Einflusses ist nur grob möglich, da die Abschaltprozedur ein komplexes Zusammenspiel von Flugbewegungen mehrerer Vögel gleichzeitig sein kann. Die Ursache dafür, dass die Fehlprogrammierung einen großen Einfluss hatte, war, dass der fehlprogrammierte Abstandszylinder mit der Bindung an die Bodenhöhe relativ zu den WEA zu tief lag und gleichzeitig viele Flugbewegungen von „large_raptors“ tief über Boden erfolgten. Deutlich sichtbar ist der Effekt beim Komplexstandort, der sich auf einer Kuppe befand. Rotmilane sind dafür bekannt, dass sie oft unterhalb von 70 m über Grund fliegen (HEUCK *et al.* 2019; PFEIFFER & MEYBURG 2022). Aus einer Vorgängerstudie betreffend IDF (REICHENBACH *et al.* 2020) ist bereits bekannt, dass eine Anhebung der Untergrenze des Abstandszylinders die Anzahl an Abschaltungen reduziert.

Die Größe und Position des Abstandszylinders können jederzeit wunschgemäß programmiert werden. Daher entstehen aus diesem Fehler für eine zukünftige Nutzung der BirdScan-Systeme keine Vorbehalte.

6.1.5 Wirtschaftliche Auswirkungen

Die Berechnung der wirtschaftlichen Auswirkungen ist direkt an die Anzahl und Dauer der Abschaltungen gekoppelt. Wie bereits im vorangehenden Kapitel erläutert, wirkt sich die Fehlprogrammierung des Abstandszylinders stark auf die Abschaltprozedur aus. Darum ist ein Vergleich der Werte des BirdScan-Systems mit denjenigen Werten des IDF nur eingeschränkt möglich, zumal parallele Daten beider Systeme nur aus der Phase nach der Brutzeit vorliegen. Quantitativ kann daher diesbezüglich lediglich eine grobe Aussage gemacht werden, auch weil Abschaltereignisse durch Flugbewegungen von mehreren Vögeln gleichzeitig beeinflusst werden können. Die Überschätzung der Anzahl der Abschaltungen durch den fehlprogrammierten Abschaltzylinder liegt am Komplexstandort minimal bei 12,9% und am Offenlandstandort minimal bei 10,8%. Die Dauer der Abschaltungen wurde am Komplexstandort minimal um 8% und am Offenlandstandort um 7% überschätzt. Diese Werte sind als Mindestwerte zu betrachten, da zur ihrer Ermittlung nur diejenigen Abschaltungen berücksichtigt worden sind, die unnötig waren und nur mit einem einzelnen Flugweg zu tun hatten. In Wirklichkeit dürften diese Werte höher liegen. Die Größenordnung kann aber nicht abgeschätzt werden.

6.2 Einordnung in den bisherigen Kenntnisstand

Das **IDF-System** wurde von der ARSU GmbH in Kooperation mit der OekoFor GbR gemäß den Kriterien und Anforderungen des KNE (2019) bereits an sechs Standorten in Deutschland für die Arten Rotmilan bzw. Schwarzmilan getestet (REICHENBACH *et al.* 2021). Nachfolgend werden die wesentlichen Ergebnisse dieser Studie zusammengefasst.

- Die IDF-Daten zeichnen sich durch eine hohe Lagegenauigkeit der Verortung bei Vergleichen mit Drohnenflügen und mit per Laser Rangefinder und GPS-Telemetrie aufgezeichneten Vogelflugwegen aus.
- Die zuverlässige Erfassungsbereichweite bei Rot- und Schwarzmilan reicht bis ca. 750 m.
- Die Detektionsrate beläuft sich auf insgesamt 92 % in Bezug auf per Laser Rangefinder (LRF) bzw. GPS (besonderer Rotmilan) aufgezeichnete Referenz-Flugwege des Rotmilans bis 750 m Entfernung zum IDF. Besonders aussagekräftig sind in diesem Zusammenhang die Ergebnisse von einem Standort, wo GPS-Daten eines besonderen Rotmilans als Referenz zu Verfügung standen (95 %).
- Die Bestimmungssicherheit in Bezug auf die Klassifizierung der für die Abschaltung programmierten Zielarten lag 2018 und 2019 zunächst zwischen 78 % und 84 % und

konnte nach Einsatz einer verbesserten zweiten Version des neuronalen Netzes 2020 auf über 96 % gesteigert werden.

In Bezug auf den Seeadler erbrachte die Erprobung von IDF an weiteren vier Standorten im Wesentlichen folgende Ergebnisse (REICHENBACH *et al.* 2023b):

- Erfassungsreichweite > 1.000 m (bis ca. 1.200 m),
- Erfassungsrate 87,2 %,
- Klassifizierungsrate 97,8 %,
- Erfolgsrate der Abschaltung im inneren Abstandszylinder in 98,9 % der Fälle mit mind. einem Bild einer Klassifizierung als Seeadler,
- Zeitdauer der Abschaltauslösung vor dem Erreichen der Rotorvolumenkugel in 99,4 % ausreichend.
- Auch die räumliche und zeitliche Abdeckung erreichen hohe Werte (bis zu 100 %).

Diese Ergebnisse werden durch weitere Studien zu Adlern (USA) und Rotmilanen (Baden-Württemberg) bestätigt (MCCLURE *et al.* 2018; ASCHWANDEN & LIECHTI 2020; MCCLURE *et al.* 2021).

Für IDF ist somit bereits vielfach nachgewiesen, dass das System in der Lage ist, eine hohe Schutzwirkung durch bedarfsgerechte Abschaltungen von WEA zu erzielen und somit das Kollisionsrisiko von Milanen und Seeadlern bei Annäherung an WEA sehr weitgehend zu senken.

Für das **System BirdScan** sind derzeit noch keine vergleichbaren Wirksamkeitsuntersuchungen bekannt. In einer Studie, in der ein leistungsschwächeres BirdScan-System für Raumnutzungserfassungen eingesetzt wurde, betrug die zeitliche Verfügbarkeit 96 % (STARK & FRÜH 2020). Die Erfassungsreichweite für den Rotmilan wird in dieser Studie mit 1.200 m angegeben. Eine Systemerprobung in Sachsen-Anhalt ergab für den Rotmilan eine Erfassungsrate von bis zu 86 % für eine Maximal-Reichweite von 1.200 Meter. Die Erfassungsraten von Rotmilan und Mäusebussard blieben dabei auch in großen Entfernungen zum BirdScan auf gleichem Niveau. Die Klassifikationsrate lag beim Rotmilan bei bis zu 85 % (Unterscheidung Groß- / Kleinvogel).⁹

KNE (2022) gibt einen Überblick über den Entwicklungs- und Erprobungsstand von Antikollisionssystemen. Dabei zeigt sich, dass innerhalb der letzten Jahre einige Systeme neu hinzukamen und darüber hinaus bereits bestehende Systeme wesentlich weiterentwickelt wurden. Insbesondere kann grundsätzlich eine Verbesserung der Erfassungsreichweite und des Klassifizierungserfolges beobachtet werden. Ein Vergleich der technischen Leistungsmerkmale der verschiedenen Systeme zeigt, dass bislang eine unabhängig erprobte Kombination einer Erfassungsreichweite von > 500 m mit automatisierter Arterkennung und Positionsmessung nur bei IdentiFlight vorliegt (Abbildung 59):

⁹ <https://www.fefa-wind.de/newsletter/fefa-newsletter-04042022/>, abgerufen am 25.02.2023

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and Environmental Research Group

	Ereignisbezogene Abschaltung	Ereignisbezogene Vergrämung	Erfassungsbereichweite von > 300 m ¹	Erfassungsbereichweite von > 500 m ¹	Automatisierte Arterkennung ¹⁵	Automatisierte Vogelerkennung ¹⁶	Einteilung in Größenklassen	Undefiniertes Flugobjekt	Positionsmessung ¹⁷	Positionsabschätzung	Entwicklungsstand ¹⁸	Unabhängig erprobt
Kamerasysteme												
Artificial Vision	X	X	?	?	(X)	(X)			X		M	?
AVES Wind Onshore	X		(X)	(X)	X	X			X	X	O	(X)
Bioseco	X	X	X	X		X	X		X		M	X
BirdRecorder	X		X	(X)	X	X			X		E	
BirdVision	X		(X)	(X)	X	X	X		X		O	(X)
DIGISEC	X	X	(X)	(X)		X	X	X		X	M	X
DTBird	X	X	X					X		X	M	X
IdentiFlight	X		X	X	X	X	X		X		(M)	X
ProBird	X	X	?	?		X	X	X	?	X	M	(X)
SafeWind	X	X	X	(X)	(X)	X	X	X		X	M	X
Radarsysteme												
BirdScan	X		X	X			X		X		O	(X)
RobinRadar MAX	X	X*	X	X			X		X		M	(X)
System-Kombinationen												
MUSE	X	X*	X	X	X	X	X	X	X		M	

X wird erfüllt

(X) basiert auf Herstellerangaben. Teils laufende Erprobung/ausstehende Erprobungsergebnisse

? es liegen keine Informationen vor

X* Maßnahme kann optional vorgesehen werden

¹³ Reichweite bei der eine Erfassungsrate von > 90% für den Rotmilan erreicht wird.

¹⁴ Reichweite bei der eine Erfassungsrate von > 90% für den Rotmilan erreicht wird.

¹⁵ Das erlernte Artspektrum unterscheidet sich je nach AKS.

¹⁶ Automatisierte Unterscheidung zwischen „Vogel“ und „Nicht-Vogel“

¹⁷ Die Position des Vogels wird beispielsweise stereoskopisch oder durch Triangulation ermittelt.

¹⁸ E = Entwicklungsphase; O = Optimierungsphase; M = Marktverfügbar, (M) = begrenzt marktverfügbar.

Abbildung 59: Technischer Vergleich von Antikollisionssystemen. Quelle: KNE (2022)

6.3 Bewertung der Leistungsfähigkeit der Systeme

Vorweg ist zunächst festzuhalten, dass in der vorliegenden Untersuchung eine sehr gute Datengrundlage für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der beiden Systeme generiert werden konnte. Aufgrund der sehr hohen Zielartenaktivität stellt das Untersuchungsgebiet einen besonders gut geeigneten Teststandort dar – der allerdings gerade deswegen auch als eher untypisch für einen realen Windparkstandort anzusehen ist.

BRUNS *et al.* (2021) haben Anforderungen für die fachliche Eignung und Anerkennung Antikollisionssystemen formuliert. Diesen werden in Tabelle 38 die in der vorliegenden Untersuchung erzielten Leistungswerte der beiden getesteten Systeme gegenübergestellt. Dabei zeigt sich, dass beide Systeme diese Anforderungen nahezu vollständig erfüllen bzw. z.T. deutlich übertreffen, und zwar für beide Zielarten. Einzig bei der Klassifizierungsrate des BirdScans am Komplexstandort bleibt der Wert knapp unterhalb der für den Reaktionsbereich (hier rd. 340 m für den Rotmilan) geforderten 90 %¹⁰. Beide Systeme haben somit trotz der hohen Vogelaktivität und der teilweise anspruchsvolleren Geländebedingungen ein sehr hohes Leistungsniveau erreicht.

¹⁰ Diese Resultate reflektieren den Stand Ende 2022. Swiss Birdradar Solution AG ist dabei, die Klassifikationsrate zu verbessern und wird eine entsprechend verbesserte Version nachliefern.

Kamera- und Radar-Datenauswertung

Oldenburg, 22.08.2023

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 38: Vergleich der KNE-Anforderungen mit den erzielten Leistungswerten für Rotmilan und Seeadler
grün hervorgehoben: Anforderung erfüllt

Erprobungskriterium	Anforderung gemäß BRUNS <i>et al.</i> (2021)	Ergebnisse IdentiFlight	Ergebnisse BirdScan
Räumliche Abdeckung	Mind. 75 %	Insgesamt ca. 97,5 % In Rotorhöhe 100 %	Innerhalb des Öffnungswinkels (40 °) 100 %
Zeitliche Abdeckung	Möglichst hoch	Komplexstandort: 100 % Offenlandstandort: 90 %	Komplexstandort: 98 % Offenlandstandort: 88 %
Erfassungsreichweite	Mind. die artspezifische Reaktionsdistanz (ergibt sich aus der Abregeldauer der WEA und der Fluggeschwindigkeit); bei einer geringen Reaktionsdistanz können 300 m ausreichen	Rotmilan ca. 750 m Seeadler bis 1.200 m	Rotmilan 1.800-2.000 m Seeadler bis 2.800 m
Erfassungsrate	Mind. 75 %, in besonderen Konfliktfällen bis zu 90 %	Komplexstandort: Rotmilan 90,5 % Seeadler 96 % Offenlandstandort: Rotmilan 92,7 % Seeadler 91,6 %	Komplexstandort: Rotmilan bis 700 m 98,7 % Rotmilan bis 1.400 m 100 % Seeadler bis 700 m 100 % Seeadler bis 1.400 m 96,6 % Offenlandstandort: Rotmilan bis 2.000 m 100 % Seeadler bis 2.000 m 100 %
Klassifizierungsrate	Mind. 75 %; im Reaktionsbereich mind. 90 %	Rotmilan: 97 % Seeadler: 99 %	Rotmilan als „large raptor“: Komplexstandort bis 370 m 86,2 % Komplexstandort 370-740 m 80,6 % Offenlandstandort bis 370 m 92,7 % Offenlandstandort 370-740 m 87,2 %

Hinsichtlich der Frage nach der Vollständigkeit und Rechtzeitigkeit der Abschaltungen – die WEA befindet sich bereits im Trudelbetrieb, wenn der Vogel die Rotorvolumenkugel erreicht – werden von BRUNS *et al.* (2021) keine Anforderungen formuliert. Von IdentiFlight wurde in durchschnittlich 99,7 % der Fälle im inneren Abstandszylinder ein Abschaltungssignal generiert, sobald mindestens ein Bild einer Zielart von IDF korrekt klassifiziert wurde. Vollständigkeit und Rechtzeitigkeit der Abschaltung hängen also nahezu ausschließlich davon ab, ob und wo eine Detektion erfolgt. Für Rotmilan und Seeadler zusammen wurden in knapp $\frac{3}{4}$ aller Fälle die Abschaltungen am Rand des inneren Abstandszylinders und somit definitionsgemäß rechtzeitig ausgelöst. Für das verbleibende Viertel wurde die Abschaltung von IDF erst dann ausgelöst, als sich der Vogel schon im inneren Abstandszylinder befand, d.h. nicht rechtzeitig in Bezug auf den worst case (geradliniger Flug direkt in die Rotorvolumenkugel). Da allerdings der Median der Fluggeschwindigkeit für die Dimensionierung des inneren Abstandszylinder verwendet wurde, wäre es bei einem geradlinigen Flug ohnehin in 50% der Fälle zu einer verspäteten Abschaltung gekommen. In Relation dazu ist die erreichte rechtzeitige Abschaltquote als hoch einzustufen.

In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die Detektion des Vogels durch die Weitwinkelkameras erfolgt. Deren Sichtfeld erstreckt sich jedoch nur bis zu einem Steigungswinkel von 64° , so dass direkt über dem System hinsichtlich der Detektion ein blinder Fleck besteht (siehe Kapitel 2.1.1) und Vögel, die sich aus großer Höhe in diesem Bereich dem System nähern, nicht oder erst verspätet detektiert werden. Dies gilt auch für Vögel, die sich niedrig über Grund (geringer Kontrast gegenüber dunklem Hintergrund) oder hinter sichtsverschattenden Strukturen annähern. Eine verspätete Identifikation und Trackverfolgung durch die Stereokamera kann ebenfalls erfolgen, wenn diese bei hoher Vogelflugaktivität zum Zeitpunkt der Detektion durch die Weitwinkelkameras mit der Verfolgung eines anderen Vogels befasst ist. Diese Faktoren können dazu beitragen, dass ein Teil der Abschaltungen erst erfolgte, nachdem der Vogel schon in den inneren Abstandszyylinder eingedrungen war.

Obwohl beim BirdScan-System der Anteil, mit 60% im Mittel, im Vergleich zum IDF etwas geringer war, sind durch das BirdScan die meisten Abschaltungen für als „large_raptor“ klassifizierte Vögel ebenfalls im Randbereich des Abstandszyinders und somit rechtzeitig ausgelöst worden. Der Anteil der Fälle, bei denen die Abschaltung durch die BirdScan-Systeme erst innerhalb des Abstandszyinders ausgelöst worden wäre, lag bei 36%.

Zur Einordnung dieser Zahlen ist für beide Systeme zu berücksichtigen, dass eine Beurteilung dieses Aspekts mit virtuellen WEA nur eingeschränkt möglich ist. Dies beruht auf mehreren Ursachen:

- Vögel zeigen in unmittelbarer Rotornähe ein Meide- und Ausweichverhalten, um eine Kollision mit der als Hindernis wahrgenommenen WEA zu vermeiden. Diese Änderung des Flugverhaltens in Anlagennähe wird als avoidance rate bezeichnet (URQUHART & WHITFIELD 2016; SNH 2018; LINDER *et al.* 2022; MERCKER *et al.* 2023; REICHENBACH *et al.* 2023a). Das Flugaktivitätsmuster im Umfeld von realen WEA wird sich somit von demjenigen im Bereich virtueller WEA unterscheiden.
- Änderungen des Flugverhaltens durch die Wahrnehmung einer vorhandenen WEA können auch dazu führen, dass die Zeitdauer vom Einfliegen in den Reaktionsbereich des Systems bis zum Erreichen der Rotorkugel ansteigt, z.B. durch zusätzliche Kurven oder Schleifen vor der Anlage.
- Vom IDF wurden für nachbestimmte Rotmilane und Seeadler 2.972 Abschaltungen ausgelöst. Von diesen erreichten 45 Flüge zu einem beliebigen Zeitpunkt die Rotorkugel und konnten dabei vom IDF- oder BirdScan-System aufgezeichnet werden (es ist allerdings nicht ausgeschlossen, dass einige Rotoreinflüge nicht aufgezeichnet wurden). Hieraus wird deutlich, dass der Anteil der dokumentierten Flugbahnen im Rotorkugelvolumen in Relation zu denjenigen im Reaktionsbereich der Systeme sehr gering ist.

Unabhängig davon führt auch eine Abschaltung zu einem Zeitpunkt, bei dem sich der Vogel bereits innerhalb des Abstandszyinders befindet, noch zu einer deutlichen Reduzierung des Kollisionsrisikos. Die Rotordrehzahl verringert sich bei einer Vestas WEA der 4 MW Klasse bereits nach ca. 12 s auf etwa die Hälfte und liegt nach ca. 20 s nur noch wenig über 2 Umdrehungen pro

Minute (REICHENBACH *et al.* 2021). Auch wenn die Reaktion einer WEA auf ein Abschaltsignal je nach WEA-Typ unterschiedlich ist, wird deutlich, dass verspätete Abschaltungen bewirken, dass die Umdrehungsgeschwindigkeit sich bereits substanziell verringert hat, wenn der Vogel in die Rotorvolumenkugel fliegt. Dazu kommt, dass nur sehr wenige Flüge, die in den Abstandszylinder eindringen, tatsächlich in den Rotorbereich gelangen und dass die Zeitdauer bis dahin deutlich länger sein kann als die Abregeldauer der WEA.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass das vorliegende Untersuchungs-Design einen worst case darstellt, der im tatsächlichen Einsatz als Antikollisionssystem an realen WEA nicht auftritt: Der äußere Abstandszylinder war beim IDF zu Herstellung einer besseren Vergleichbarkeit mit BirdScan auf ein Minimum reduziert. Bei einer größeren Dimensionierung dieses äußeren Abstandszylinders – auf der Basis von 90 % der Fluggeschwindigkeiten – ist von zusätzlichen Abschaltungen auszugehen, wodurch die Rate der rechtzeitigen Abschaltungen verbessert würde. Der äußere Abstandszylinder dient dem Zweck, für Flugbahnen, die schnell und geradlinig zur WEA hin verlaufen, rechtzeitige Abschaltung zu generieren, d.h. gerade für solche Flugbahnen, bei denen eine Auslösung des Abschaltsignals im inneren Abstandszylinder nicht ausreichen würde.

6.4 Artenschutzrechtliche Einordnung

6.4.1 Gesetzlicher Rahmen

Das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) wurde mit Gesetz vom 20.07.2022 geändert, was vor allem die artenschutzrechtlichen Regelungen hinsichtlich des Betriebs von Windenergieanlagen an Land betrifft. Gemäß der erläuternden Bundestagsdrucksache 20/2354 beinhaltet der neue § 45b BNatSchG bundeseinheitliche Vorgaben für die fachliche Beurteilung, ob sich das Tötungs- und Verletzungsrisiko für Brutvögel beim Betrieb von Windenergieanlagen im Umfeld ihrer Brutplätze signifikant erhöht. § 45b Absatz 1 bis 5 enthält dementsprechend Konkretisierungen für die Prüfung des Signifikanzkriteriums nach § 44 Absatz 5 Satz 2 in Bezug auf den gegebenen Abstand zwischen Anlagenstandort und Brutplätzen kollisionsgefährdeter Brutvögel.

Zentraler Bezugspunkt ist dabei die in Abschnitt 1 der neuen Anlage 1 zu § 45b Absatz 1 bis 5 BNatSchG enthaltene Tabelle mit einer abschließenden Auflistung kollisionsgefährdeter und daher insoweit prüfungsrelevanter Brutvogelarten (Anlage 1 Abschnitt 1 Tabelle Spalte 1) sowie hierauf bezogener artspezifischer Prüfabstände (Anlage 1 Tabelle Spalten 2, 3 und 4).

Nach § 45b Absatz 2 gilt, dass das Tötungs- und Verletzungsrisiko signifikant erhöht ist, wenn zwischen dem Brutplatz einer kollisionsgefährdeten Brutvogelart und der Windenergieanlage ein geringerer Abstand besteht, als in Spalte 2 der Tabelle jeweils artspezifisch als „Nahbereich“ festgelegt ist. Der Nahbereich um den Brutplatz wird als essentieller Kernbereich des Gesamthabitats von den Tieren mit sehr hoher Frequenz genutzt, so dass der Betrieb einer Windenergieanlage innerhalb dieses Bereichs ein entsprechend hohes Kollisionsrisiko birgt. Dieses Risiko kann bei Brutplätzen im Nahbereich in der Regel auch nicht durch fachlich anerkannte Schutzmaßnahmen unter die Signifikanzschwelle gesenkt werden.

Nach § 45b Absatz 3 bestehen in der Regel Anhaltspunkte für das Vorliegen eines signifikant erhöhten Tötungs- und Verletzungsrisikos, wenn ein Brutplatz einer kollisionsgefährdeten Brutvogelart zwar weiter von einer Windenergieanlage entfernt liegt als der „Nahbereich“ (Spalte 2 der Tabelle), aber noch innerhalb des in Spalte 3 der Tabelle jeweils artspezifisch festgelegten „zentralen Prüfbereichs“. Diese Regelvermutung kann durch den Einsatz verschiedener Instrumente wie einer Habitatpotentialanalyse, fachlich anerkannter Schutzmaßnahmen oder einer Raumnutzungsanalyse im jeweiligen Einzelfall widerlegt werden.

Sofern ein Brutplatz einer kollisionsgefährdeten Brutvogelart außerhalb des „zentralen Prüfbereichs“ (Spalte 3 der Tabelle), aber noch innerhalb des in Spalte 4 der Tabelle jeweils artspezifisch festgelegten „erweiterten Prüfbereichs“ um die Windenergieanlage liegt, besteht nach § 45b Absatz 4 die Regelvermutung, dass kein signifikant erhöhtes Tötungsrisiko vorliegt. Etwas anderes gilt nur, wenn im jeweiligen Einzelfall festzustellen ist, dass die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Exemplaren einer kollisionsgefährdeten Brutvogelart im Gefahrenbereich der Anlage deutlich erhöht ist und die sich dadurch grundsätzlich ergebende signifikante Risikoerhöhung nicht durch fachlich anerkannte Schutzmaßnahmen ausgeschlossen werden kann.

6.4.2 Antikollisionssysteme als Schutzmaßnahme

Schutzmaßnahmen kommen in der Regel nur für die beiden Prüfbereiche in Frage. Im zentralen Prüfbereich ist zunächst grundsätzlich von der Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen auszugehen, sofern nicht über Habitatpotenzialanalysen oder Raumnutzungsbeobachtungen gezeigt werden kann, dass das Tötungsrisiko nicht signifikant erhöht ist. Im erweiterten Prüfbereich sind Schutzmaßnahmen nur ausnahmsweise erforderlich, wenn entgegen der Regelvermutung am konkreten WEA-Standort eine gegenüber dem Umfeld deutlich erhöhte Flugaktivität zu erwarten ist.

In Abschnitt 2 der Anlage 1 zu § 45b Absatz 1-5 BNatSchG sind Antikollisionssysteme bereits als fachlich anerkannte Schutzmaßnahme aufgeführt. Dazu heißt es:

Beschreibung: Auf Basis automatisierter kamera- und/oder radarbasierter Detektion der Zielart muss das System in der Lage sein, bei Annäherung der Zielart rechtzeitig bei Unterschreitung einer vorab artspezifisch festgelegten Entfernung zur Windenergieanlage per Signal die Rotordrehgeschwindigkeit bis zum „Trudelbetrieb“ zu verringern.

Wirkung: Nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft und Technik kommt die Maßnahme in Deutschland derzeit nur für den Rotmilan in Frage, für den ein nachweislich wirksames, kamerabasiertes System zur Verfügung steht. Grundsätzlich erscheint es möglich, die Anwendung von Antikollisionssystemen zukünftig auch für weitere kollisionsgefährdete Großvögel, wie Seeadler, Fischadler, Schreiadler, Schwarzmilan und Weißstorch, einzusetzen. Antikollisionssysteme, deren Wirksamkeit noch nicht belegt ist, können im Einzelfall im Testbetrieb angeordnet werden, wenn begleitende Maßnahmen zur Erfolgskontrolle angeordnet werden.

Hieraus lässt sich ableiten:

- Für den Rotmilan gibt es ein nachweislich wirksames Antikollisionssystem. Hierbei handelt es sich um das System IdentiFlight, das vom KNE am 08.07.2021 in einer Pressemitteilung für den Rotmilan als „reif für die Praxis“ erklärt wurde¹¹.
- Die Anwendung eines Antikollisionssystems als Schutzmaßnahme für den Seeadler erscheint möglich, sofern die Wirksamkeit in gleicher Weise wie für den Rotmilan belegt werden kann. Die Grundlage hierfür ist mittlerweile durch die Erprobungsergebnisse von REICHENBACH *et al.* (2023b) gelegt worden.

Inzwischen gibt es eine Reihe von Antikollisionssystemen, die sich in der Entwicklung oder bereits in der Erprobung befinden. Eine aktuelle Systemübersicht des KNE (2022) umfasst eine Auswahl derjenigen Systeme, die nach Einschätzung des KNE das Potenzial besitzen aktuell und/oder zukünftig als Schutzmaßnahme eingesetzt zu werden. Darin heißt es bezüglich des Entwicklungsstands der hier eingesetzten Systeme:

¹¹ <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

IdentiFlight

- Erprobung für Rotmilan und Seeadler bereits abgeschlossen (Deutschland: BW, BB, By, HE, MV, SH, ST; Österreich, Frankreich, Schweden, USA),
- In der Optimierungsphase für Schreiadler und weitere Arten,
- International in Betrieb (insb. Australien, USA),
- Bestandteil von Genehmigungen (MV, SH).

BirdScan

- In der Optimierungsphase,
- In der Erprobung: BB, NW, ST,
- Bestandteil einer Genehmigung (ST).

6.4.3 Folgerungen aus den Projektergebnissen

Hinsichtlich IdentiFlight wurden die Ergebnisse bestätigt, die zur fachlichen Anerkennung als geeignete Schutzmaßnahme für den Rotmilan geführt haben (vgl. Kapitel 6.2). Inzwischen liegen somit für diese Art übereinstimmende Erprobungsergebnisse aus Baden-Württemberg (ASCHWANDEN & LIECHTI 2020), Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern (REICHENBACH *et al.* 2021) sowie nun auch Brandenburg vor. Damit ist von einer Übertragbarkeit der Ergebnisse auf unterschiedliche Regionen und Landschaftsräume auszugehen, zumindest, solange es sich um Standorte im Offenland oder Halboffenland handelt. In Bayern und Baden-Württemberg werden 2022/2023 auch Erprobungen an Waldstandorten vorgenommen.¹²

Darüber hinaus wurden vergleichbare bzw. noch bessere Ergebnisse auch für den Seeadler erzielt (REICHENBACH *et al.* 2023b). Damit sind grundsätzlich die Voraussetzungen gegeben, dieses System auch für den Seeadler als fachlich geeignete Schutzmaßnahme anzuerkennen.

Hinsichtlich BirdScan zeigte sich, dass das System Rotmilane und Seeadler auf eine sehr große Entfernung erfolgreich detektieren kann. Zudem kann ein BirdScan-System im Gegensatz zum IDF mehrere Vögel gleichzeitig verfolgen. In Bezug auf die Klassifizierung besteht allerdings noch Optimierungsbedarf. Sobald hierfür bessere Leistungswerte erzielt werden, kann das System im Offenland ebenfalls als fachlich geeignete Schutzmaßnahme anerkannt werden. Offen ist jedoch die Frage, wie sich die Präsenz reeller WEA oder topografisch komplexes Gelände auf die Detektionseigenschaften des Systems auswirken.

¹² <https://www.e3-identiflight.de/news-presse/>, abgerufen am 25.02.2023

6.5 Wirtschaftliche Auswirkungen

Die Größenordnung der zu erwartenden wirtschaftlichen Auswirkungen hängt entscheidend von den Standortverhältnissen bzw. dem vorhandenen Artenspektrum sowie dem eingesetzten System und dessen Konfigurationen ab. In diesem Zusammenhang ist zu betonen, dass das Untersuchungsgebiet mit einem Bestand von vier Rotmilanen und drei Seeadlern im nahen Umfeld (siehe Abbildung 9) aufgrund dieser sehr hohen Brutdichte als nicht repräsentativ für einen durchschnittlichen Windparkstandort mit Einsatz von Antikollisionssystemen anzusehen ist. Das in diesem Vorhaben ermittelte Ausmaß an Ertragsverlusten durch bedarfsgerechte Abschaltungen ist daher sehr hoch und nicht ohne weiteres auf andere Standorte übertragbar.

An Standorten, die für eine Vielzahl von Zielarten einen attraktiven Lebensraum darstellen, ist generell von höheren Ertragseinbußen auszugehen als an Standorten, an denen die Flugaktivität gering ist. Dabei ist die zu erwartende Anzahl an notwendigen Abschaltungen maßgeblich durch das tatsächlich vorkommende bzw. zu schützende Artenspektrum beeinflusst.

Dementsprechend ist davon auszugehen, dass an typischen Windparkstandorten mit geringerem Brutbestand auch deutlich geringere Ertragseinbußen infolge bedarfsgerechter Abschaltungen durch Antikollisionssysteme zu erwarten sind. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die für die vorliegende Schätzung verwendete einheitliche Dauer des Startvorgangs nach Beendigung des Abschaltsignals mit 9 min als konservativ anzusehen ist und die Ertragseinbußen bei kürzeren Startvorgängen entsprechend geringer sind.

Hinsichtlich der Zielartenspezifität ergibt sich, dass die Anzahl von Abschaltungen für Rot- und Schwarzmilane an geeigneten Standorten im Vergleich zum Seeadler in der Regel größer ausfällt. Dies ist durch die Biologie bzw. die Jagdstrategien der Arten begründet. So verbringen Rot- und Schwarzmilane als Segelflug-Jäger über 30 % des Tages im Flug (HEUCK *et al.* 2019; PFEIFFER & MEYBURG 2022) und somit deutlich mehr als der Seeadler, der Ansitzjagd betreibt und bei dieser äußerst ökonomischen Jagdstrategie rund 80 % der Zeit mit Warten und lediglich 7 % im Flug verbringt (NADJAFZADEH *et al.* 2015).

Zusätzlich beeinflussen Flugverhalten und Jagdtechnik die Dauer der Abschaltensignale und somit die wirtschaftlichen Auswirkungen. Ausgedehnte Jagdflüge der Rotmilane im Offenland dauern in der Regel länger als zielgerichtete Flüge von Seeadlern zu den Nahrungsgewässern. Es macht somit einen Unterschied, welche Funktionen der Standort für die Zielarten erfüllt.

Nahrungshabitate in geringer Entfernung zum Horst sind in der Regel durch die höchste Flugaktivität gekennzeichnet (REICHENBACH *et al.* 2020).

Auch die Verbreitung der Arten spielt eine Rolle. So machen weitverbreitete kollisionsgefährdete Arten nicht nur generell häufiger einen Einsatz von Antikollisionssystemen notwendig, zusätzlich fällt auch die Anzahl an Individuen am Standort in der Regel höher aus.

Zusammenfassend besitzt der Offenlandstandort sehr gute Jagdbedingungen für Rot- und Schwarzmilane, die diesen Bereich entsprechend intensiv für die Jagd nutzen. Der Komplexstandort ist durch die angrenzenden Gewässerflächen gekennzeichnet und verzeichnet entsprechend häufiger Nahrungsflüge der Seeadler. Die Strukturvielfalt des Komplexstandorts

lockt darüber hinaus größere Anzahlen verschiedener Großvogelarten an, die zu hohen Erfassungsraten in der Kategorie „Protected“ geführt haben könnten.

Die sehr gute Klassifizierungsleistung des IDF-Systems ermöglicht es, zukünftig eventuell auf die Kategorie „Protected“ zu verzichten, um Abschaltungen in hohem Maße nur für die Zielarten zu garantieren. Diese Kategorie soll vor falsch-negativen Klassierungen schützen, bedeutet aber insbesondere am Komplexstandort deutlich größere Ertragseinbußen. Ein Wegfall der Kategorie „Protected“ würde somit aufgrund der Reduzierung unnötiger Abschaltungen einen deutlich wirtschaftlicheren Betrieb ermöglichen, ohne dass damit aufgrund der hohen ermittelten korrekt-positiv Rate die falsch-negativ Rate maßgeblich erhöht würde. Im vorliegenden Fall würde durch eine Beschränkung der Abschaltungen auf tatsächlich identifizierte Milane und Seeadler der Ertragsverlust durch den Einsatz des IDF von ca. 5 % auf ca. 3 % sinken (siehe Abbildung 57) – an einem Standort mit sehr hoher Flugaktivität der Zielarten. Betrachtet man die ermittelten Ertragseinbußen für Milane und Seeadler getrennt, ergeben sich Werte von weit unter 3 % jährlichen Ertragseinbußen (2,48 % bzw. 1,95 % für Milane und 1,23 % bzw. 1,00 % für den Seeadler).

Artspezifisch zugeschnittene Abstandszyklen können die Anzahl an Abschaltungen zusätzlich reduzieren. So wirkt sich der Ausschluss von Rotmilanflügen in unkritischen niedrigen Höhen positiv auf die Häufigkeit von Abschaltereignisse aus (REICHENBACH *et al.* 2020). Durch schnelleres Wechseln in den Trudelbetrieb können die Abstandszyklen zudem weiter verkleinert werden, da weniger Zeit für den Abschaltvorgang benötigt werden und Vögel somit näher an die Anlagen fliegen können, ohne das abgeschaltet werden muss.

Generell besteht auf technischer Seite weiteres großes Optimierungspotenzial. So dauern die Abschaltensignale nur selten deutlich länger als die standardmäßig vorgesehen drei Minuten. Für das Wiederanfahren der Anlagen wird jedoch zum Teil deutlich länger benötigt.

Gleichzeitig sollte bei den Anlagen das erhöhte Aufkommen von Stopp- und Start-Vorgängen hinsichtlich des Verschleißes berücksichtigt werden, um den Wartungsaufwand gering zu halten und die Lebensdauer der WEA zu verlängern.

Aufgrund der unterschiedlichen Konfigurationen (geänderter Abstandszyklen, verlängerte Mindestabschaltdauer von 120 auf 180 Sekunden, zusammengefasste Kategorie „Milane“) können die Ergebnisse des Rotmilans nur eingeschränkt mit denen der Vorgänger-Studie von REICHENBACH *et al.* (2020) verglichen werden.

Insbesondere die Anhebung der unteren Begrenzung des inneren Abstandszyklens (H_{Lmin}) von 0 m auf 70 m für den Rotmilan dürfte zu einer deutlichen Reduktion der Abschaltungen geführt haben. In der Vorgängerstudie wurde der innere Abstandszyklus beispielhaft von 0 m auf 40 m angehoben, wodurch die Anzahl der Abschaltungen nahezu halbiert werden konnte (REICHENBACH *et al.* 2020). Aus wirtschaftlicher Perspektive ist diese Maßnahme insbesondere für den Rotmilan aufgrund der Vielzahl an Flügen unterhalb von 70 m zu begrüßen (HEUCK *et al.* 2019; PFEIFFER & MEYBURG 2022). Aufgrund der geringen Steiggeschwindigkeit der Vögel (REICHENBACH *et al.* 2021) lässt sich die Anhebung auch naturschutzfachlich vertreten.

Die durchschnittliche Dauer der Abschaltsignale, ausgelöst durch den Rotmilan, lag an den sechs von REICHENBACH *et al.* (2020) untersuchten Standorten bei 211 Sekunden und war damit rund 20 Sekunden geringer als an den beiden brandenburgischen Standorten. Die Spannweite der durchschnittlichen Länge umfasst 155 bis 276 Sekunden (REICHENBACH *et al.* 2020). Die Dauer der Abschaltsignale ist somit stark abhängig vom einzelnen Standort.

In der Vorgängerstudie wurden die Zusammenhänge zwischen der Flugaktivität im 350 m-Radius um die Anlagen und der Abschalthäufigkeit untersucht (REICHENBACH *et al.* 2020). Zwar fehlt diese Angabe zur Flugaktivität für die brandenburgischen Standorte; aufgrund des Zusammenhangs zwischen Abschalthäufigkeit und Flugaktivität bei Berücksichtigung des angepassten Abstandszyinders können die Standorte jedoch in die Flugaktivitätsklasse „Sehr hoch“ (~ 35 (Rot)Milanflüge pro Tag im 350 m-Radius) aus REICHENBACH *et al.* (2020) eingestuft werden. In dieser Flugaktivitätsklasse sind allein durch (Rot)Milanflüge Ertragseinbußen von ca. 5 % pro Jahr zu erwarten. Am besonders intensiv durch die Milane genutzten Offenlandstandort liegt der geschätzte Wert hingegen nur bei etwa der Hälfte (2,48 %). Diese Reduktion ist in erster Linie auf den angehobenen inneren Abstandszyinder zurückzuführen.

Es ist daher zu betonen, dass an weniger stark frequentierten Standorten bzw. durch weitere Verbesserungen auf technischer Seite (z. B. Ausschluss der Kategorie „Protected“) deutlich geringere Ertragseinbußen als vorliegend ermittelt zu erwarten sind.

Die wirtschaftlichen Auswirkungen werden stark durch das Leistungsvermögen bzw. die Konfigurationen der Systeme beeinflusst. So führen falsch-positive Klassifizierungen zu unnötigen Abschaltungen. Dieser Effekt wird deutlich beim Vergleich zwischen IDF und BirdScan. Wo das Kamerasystem in der Lage war, die Zielarten mit hoher Sicherheit richtig zu erkennen, konnte das BirdScan-System nur zwischen der Kategorie „large raptor“ und allen anderen Arten unterscheiden, wobei auch Nicht-Greifvögel fälschlicherweise dieser Kategorie zugeordnet worden sind. Die Ertragseinbußen sind dementsprechend um ein Vielfaches höher. Nach Abschluss der Versuche im Zuge der Berichtserstellung 2023 gab Swiss Birdradar Solution AG bekannt, dass die in der Studie erhobenen Daten zeigen, dass mit der Optimierung der Klassifikationsrate auch eine spezifische Klassifikationsklasse für Seeadler eingeführt werden könne. Damit könne der Abschaltradius für Rotmilane wie beim IDF-System verkleinert werden (502 m auf 373 m), womit sich die Abschaltzeiten reduzieren. Die Abschaltzeiten verkleinerten sich weiter, wenn nicht mehr pauschal für alle Großvögel abgeschaltet würde, sondern nur noch für geschützte Arten. Zudem brächte eine verbesserte Klassifikation an sich noch eine weitere Verringerung der Abschaltzeiten.

6.6 Ausblick

Einem verbreiteten Einsatz der beiden hier getesteten Systeme steht derzeit noch die Sorge von Windparkbetreibern um nicht unbeträchtliche und zudem im Vorfeld kaum kalkulierbare Ertragseinbußen entgegen. Wie dargelegt hängen Anzahl und Dauer der bedarfsgerecht ausgelösten Abschaltungen einerseits weitgehend von der örtlichen Flugaktivität der Zielarten, andererseits aber auch von der falsch-positiv Rate des eingesetzten Systems ab.

In der vorliegenden Untersuchung wurden trotz einer örtlich sehr hohen Flugaktivität der Zielarten Rotmilan, Schwarzmilan und Seeadler die Ertragsverluste durch IDF auf eine Größenordnung von ca. 3 % geschätzt (nach Ausschluss der nicht notwendigen fail-safe Kategorie). Beim BirdScan lagen die Werte teilweise aus unglücklichen Gründen deutlich höher. An Standorten mit geringerer Flugaktivität bzw. Brutdichte ist bei beiden Systemen mit deutlich niedrigeren Werten zu rechnen.

Die weiteren Entwicklungsarbeiten sollten bei beiden Systemen daher darauf abzielen, die Klassifizierungsleistungen so weit zu optimieren, dass die Anzahl unnötiger Abschaltungen minimiert wird, ohne dass dabei relevante Abstriche beim Schutzniveau für die Zielarten in Kauf genommen werden müssen. Der „trade off“ zwischen falsch-positiv Rate und falsch-negativ Rate muss daher durch möglichst hohe artspezifische Klassifizierungsleistungen so ausbalanciert werden, dass beide Raten möglichst niedrig sind.

Ist dies gewährleistet, kann der Einsatz von derart optimierten Antikollisionssystemen aus artenschutzrechtlicher Sicht in vielen Fällen deutliche Vorteile gegenüber den weiteren, in Anhang 1 BNatSchG aufgeführten Schutzmaßnahmen aufweisen.

7 Literatur

- ASCHWANDEN, J. & F. LIECHTI (2020): Erprobung des automatischen Vogeldetektionssystems Identiflight auf dem Testfeld des WindForSim im Rahmen der Naturschutzbegleitforschung (NatForWINSSENT). Schweizerische Vogelwarte, Sempach, 38 S.
- BALOTARI-CHIEBAO, F. (2018): Spatial behaviour, habitat use and breeding performance of a long-lived raptor in the context of wind energy. University of Turuk, Turuk.
- BRUNS, E., E. SCHUSTER & J. STREIFFELER (2021): Anforderungen an technische Überwachungs- und Abschaltssysteme an Windenergieanlagen - Abschlussbericht der Workshopreihe "Technische Systeme". BfN-Skripten, 57 S.
<https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript610.pdf>.
- 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.
- HEUCK, C., M. SOMMERHAGE, P. STELBRINGK, C. HÖFS, K. GEISLER, C. GELPKE & S. KOSCHKAR (2019): 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.
- KNE (2019): Anforderungen an eine fachlich valide Erprobung von technischen Systemen zur bedarfsgerechten Betriebsregulierung von Windenergieanlagen.
- KNE (2022): Detektionssysteme zur ereignisbezogenen Abschaltung von Windenergieanlagen zum Schutz von tagaktiven Brutvögeln. 3 Fortschreibung. https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Synopse_Detektionssysteme_zur_ereignisbezogenen_Abschaltung_von_WEA.pdf.
- KRONE, O., A. BERGER & R. SCHULTE (2009): Recording movement and activity pattern of a White-tailed Sea Eagle (*Haliaeetus albicilla*) by a GPS datalogger. Journal of Ornithology (150): 273-280.
- KRONE, O., G. TREU & T. GRÜNKORN (2017): Satellite Tracking of White-Tailed Sea Eagles in Mecklenburg-Western Pomerania and Brandenburg. In: HÖTKER ET AL.: Birds of Prey an Wind Farms, 207-225.
- 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, K., U. MAMMEN & A. RESETARITZ (2013): Rotmilan. In: HÖTKER, H., O. KRONE & G. NEHLS: Greifvögel und Windkraftanlagen: Problemanalyse und Lösungsvorschläge. Schlussbericht für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Michael-Otto-Institut im NABU, Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung, BioConsult SH, Bergenhusen, Berlin, Husum.
- MAMMEN, U. & K. MAMMEN (2020): Einblicke in die Brutbiologie des Schwarzmilans (*Milvus migrans*) mittels GPS-Telemetrie. Ornithologische Jahresberichte des Museum Heineanum: 11 S.

- 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.
- MELUND & LLUR (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume & Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume) (2021): Standardisierung des Vollzugs artenschutzrechtlicher Vorschriften bei der Zulassung von Windenergieanlagen für ausgewählte Brutvogelarten. Arbeitshilfe zur Beachtung artenschutzrechtlicher Belange in Schleswig-Holstein. 101 S.
- MELUR & LLUR (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume & Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume) (2016): Errichtung von Windenergieanlagen (WEA) innerhalb des Potenziellen Beeinträchtigungsbereiches und des Prüfbereiches bei einigen sensiblen Großvogelarten - Empfehlungen für artenschutzfachliche Beiträge im Rahmen der Errichtung von WEA. 38 S.
- 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 (2009): GPS-Satelliten-Telemetrie bei einem adulten Schwarzmilan (*Milvus migrans*): Aufenthaltsraum während der Brutzeit, Zug und Überwinterung. *Populationsökologie Greifvogel- und Eulenarten* 6: 243-284.
- NADJAFZADEH, M., H. HOFER & O. KRONE (2015): Sit-and-wait for large prey: foraging strategy and prey choice of White-tailed eagles. *Journal of Ornithology* (157): 165-178.
- 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.
- 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., S. GREULE, T. STEINKAMP, H. REERS, J. AKILI & L. ROSELIUS (2023a): Fachgutachten zur Ermittlung des Flugverhaltens des Rotmilan im Windparkbereich unter Einsatz von Detektionssystemen in Hessen. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen, 177 S. <https://landesplanung.hessen.de/gutachten/rotmilan/rotmilan-detektionssysteme>.
- 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/>.

- REICHENBACH, M., H. REERS, S. GREULE & J. GRIMM (2023b): IdentiFlight als Schutzmaßnahme für den Seeadler (*Haliaeetus albicilla*) - Untersuchungen zur Wirksamkeit sowie artenschutzrechtliche Einordnung. 121 S. https://www.e3-identiflight.de/wp-content/uploads/2023/05/23-05-03_IdentiFlight-als-Schutzmassnahme-fuer-den-Seeadler_Abschlussbericht-IdentiFlight.pdf.
- SNH (Scottish Natural Heritage) (2018): Avoidance Rates for the onshore SNH Wind Farm Collision Risk Model. 4 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.
- STARK, H. & D. FRÜH (2020): Endbericht Raumnutzungsanalyse Großvögel im Prüfgebiet des geplanten Windparks Dörtenrup, Lkr. Lippe, Nordrhein-Westfalen. 61.
- TIKKANEN, H., F. BALOTARI-CHIEBAO, T. LAAKSONEN, V.-M. PAKANEN & S. RYTKÖNEN (2018): Habitat use of flying subadult White-tailed Eagles (*Haliaeetus albicilla*): implications for land use and wind power plant planning. *Ornis Fenn.* (95): 137-150.
- 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.