

# Erweiterung der Wissensbasis zum Flugverhalten des Rotmilans mittels GPS-gestützten Telemetrie-Daten in Hessen

Abschlussbericht

Studie im Auftrag des HMWVW



TB Raab GmbH  
Technisches Büro für Biologie Mag. Dr. Rainer Raab



Mag. Dr. Rainer Raab, Rainhard Raab, BSc, Mag. Katharina Raab,  
Mag. Johannes Wessely, PhD, Eike Julius, MSc, MSc, Dr. Maximilian Raab

Qualitätssicherung:  
Dr. Marc Reichenbach (ARSU GmbH)

Deutsch-Wagram, im Oktober 2024

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	23
2	Einführung und Zielsetzung.....	28
2.1	Anlass und Zielsetzung der aktuellen Studie .....	28
2.2	Vorhabensbeschreibung .....	28
3	Material und Methoden.....	30
3.1	Untersuchungsgebiet .....	31
3.2	Datengrundlage.....	36
3.2.1	Satelliten-Telemetrie .....	36
3.2.2	Übersicht der verschiedenen Datengrundlagen.....	56
3.2.3	Landnutzungstypen.....	57
3.2.4	Grenzlinienanteil der landwirtschaftlichen Parzellen.....	58
3.2.5	Geländeform .....	58
3.2.6	Wetterdaten .....	58
3.2.7	Zuordnung der Tageszeit .....	62
3.2.8	Betriebsdaten Windenergie-Anlagen.....	62
3.2.9	Klassifizierung Flugaktivität .....	63
3.2.10	Kalibrierung der Flughöhe aus Barometerdaten .....	63
3.3	Methodik der Datenauswertung.....	69
3.3.1	Aktionsräume der besenderten Rotmilane.....	69
3.3.2	Flugaktivität & Flughöhe im Tages- /Jahresverlauf sowie in Abhängigkeit von Wetter und Geländeform .....	70
3.3.3	Aktionsraumgröße in Abhängigkeit von Wetterparametern.....	71
3.3.4	Einfluss von Landnutzung auf die Raumnutzung sowie die Flughöhe .....	71
3.3.5	Flugverhalten im Umfeld des Windparks .....	72
4	Ergebnisse .....	74
4.1	Aktionsräume der besenderten Rotmilane.....	74
4.2	Flugaktivität der Milane im Tages- und Jahresverlauf.....	119
4.3	Flugaktivität und Flughöhe in Abhängigkeit von Wetter und Geländeform .....	123
4.4	Aktionsraumgröße in Abhängigkeit von Wetterparametern.....	133
4.5	Einfluss von Landnutzung auf die Raumnutzung, Flugaktivität und Flughöhe .....	135
4.6	Flugverhalten im Umfeld der Windparks.....	138
5	Winterhalbjahr 2021/2022 .....	181
6	Diskussion.....	190
6.1	Aktionsräume der besenderten Rotmilane.....	190

6.2	Flugaktivität und Flughöhe im Tages- und Jahresverlauf.....	192
6.3	Flugverhalten & Aktionsraumgröße in Abhängigkeit von Wetter & Geländeform ..	193
6.4	Einfluss der Landnutzung auf das Flugverhalten .....	197
6.5	Flugverhalten im Umfeld des Windparks .....	197
6.6	Übertragbarkeit der Ergebnisse von HEUCK <i>et al.</i> (2019) innerhalb Hessens .....	199
7	Fazit .....	200
8	Literatur .....	203
9	Daten / Geodaten .....	208
10	Anhang.....	210
10.1	Kartendarstellung der potenziell kollisionskritischen Flugbewegungen ohne vollständige Betriebsdaten (Rotorstellung und Rotordrehzahl) .....	210
10.2	Kapitel zum Vergleich der Copernicus-Wetterdaten .....	225
10.3	Anhang Flughöhendatenauswertung .....	226

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Übersicht über den Bruterfolg der zwölf betrachteten Individuen im Zeitraum von 2019 bis 2022.....	37
<b>Tabelle 2:</b> Übersicht über die Todesursachen besendeter Jungvögel der in dieser Studie untersuchten Brutvögel. ....	38
<b>Tabelle 3:</b> Einstellungen der Sendertaktung bei HEUCK <i>et al.</i> (2019).....	52
<b>Tabelle 4:</b> Übersicht der für die Auswertung herangezogenen besenderten Rotmilane. Die zwei im Jahr 2021 besenderten Rotmilane, die zu früh für eine Auswertung verstorben waren, sind nicht angeführt. Beim Rotmilan Hülshof_01 lag ein Senderausfall vor (Stand 07.06.2024). Mortalität kann daher aktuell nicht zweifelsfrei ausgeschlossen werden, wobei zumindest eine Kollision mit WEA aufgrund ihres Fehlens am Ort des Senderausfalls äußerst unwahrscheinlich ist. Die Vögel der grau eingefärbten Spalten wurden aus der Studie von HEUCK <i>et al.</i> (2019) übernommen. ....	54
<b>Tabelle 5:</b> Übersicht der Anzahl an Datensätzen sowohl für den Gesamtzeitraum als auch getrennt für die Balz-, Brut-, Aufzucht- und Nachbrutzeit. Insgesamt liegen von den zwölf betrachteten Individuen 5.303.512 Ortungspunkte vor, ein Großteil davon mit rund 3,7 Millionen Datensätzen entstammt dem Jahr 2022. Phasen: Balzzeit 15. März bis 14. April, Brutzeit 15. April bis 19. Mai, Aufzuchtzeit 20. Mai bis 30. Juni, Nachbrutzeit 1. Juli bis 30. September. Zugwege zum Winterhalbjahr (1. Oktober bis 14 März) finden sich in Kapitel 5, während dieser Zeitraum ansonsten nicht in der vorliegenden Studie ausgewertet wurde.....	55
<b>Tabelle 6:</b> Übersicht der verfügbaren Telemetrie-Datengrundlage für die verschiedenen durchgeführten Analysen. Die Datensätze wurden von den zwölf ausgewerteten Rotmilan Brutvögeln gewonnen bzw. für einzelne Auswertungen ergänzt um Daten aus der Studie von HEUCK <i>et al.</i> (2019).....	56
<b>Tabelle 7:</b> Auswahlkriterien des Basis-DLM für die untersuchten Landnutzungstypen ..	57
<b>Tabelle 8:</b> Abstand vom Horst zur nächsten Wetterstation / WEA, aufgegliedert nach den betrachteten Wetterparametern. Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe bezieht sich auf die Gondelhöhe der WEA in der die Windgeschwindigkeit gemessen wurde. Dunkelgrau hervorgehoben sind Distanzen von mehr als 30 km für bereits bei Auswertungen zur Flugaktivität gesetzten Filtern. Für den Vogel RK_1246 ergibt sich daher eine Reduktion der Daten für ebendiese Auswertung auf Bereiche abseits des Brutplatzes in weniger als 30 km Distanz zu den geforderten Datenquellen. Hellgrau eingefärbt sind jene Werte, welche für die Betrachtung der Flughöhe in maximal 30 km Entfernung zum Ortungspunkt gefordert sind.....	60
<b>Tabelle 9:</b> Übersicht der Datenquellen für herangezogene Wetterparameter der DWD-Wetterstationen.....	61
<b>Tabelle 10:</b> Seehöhe der DWD-Wetterstationen.....	61
<b>Tabelle 11:</b> Wetterstationen, deren Luftdruckmessungen in dieser Studie berücksichtigt wurden.....	65

- Tabelle 12:** Ergebnisse der Aktionsraumanalysen für die einzelnen Milane, getrennt nach Brutphänologie sowie über die vier betrachteten Phasen zusammen für die Jahre 2019 bis 2022. Dargestellt sind die Ergebnisse der AKDE 95%-Methode für die Aktionsraumgröße in Hektar für 5 Minuten-Daten sowie die Anzahl der Ortungspunkte (getrennt durch /). Der Gesamtwert wurde mithilfe der AKDE 95%-Methode aus den Daten aller Phasen gemeinsam berechnet. Phasen, in denen von dem Vogel nicht ausreichend Daten für eine Bewertung vorliegen, sind grau eingefärbt; Phasen, in denen der Nachwuchs bereits verstorben war, sind rot dargestellt, anderenfalls grün gefärbt. ....77
- Tabelle 13:** Vergleich der Aktionsraumgrößen nach Geschlecht für die vier Brutphasen für die aktuelle Telemetriestudie mit HEUCK *et al.* (2019). Es wurden ausschließlich Brutphasen berücksichtigt, in denen der Nachwuchs nicht verstorben war. Balzzeit 15. März bis 14. April, Brutzeit 15. April bis 19. Mai, Aufzuchtzeit 20. Mai bis 30. Juni, Nachbrutzeit 1. Juli bis 30. September. Die Gesamtschau aus beiden Studien ist grau markiert.....79
- Tabelle 14:** Größe der „minimalen konvexen Hülle“ um die Übernachtungspunkte der einzelnen Individuen, getrennt nach Jahr und Brutphänologie. Die Übernachtungspunkte der Rotmilane Noah und Isolde sind nicht bekannt, weil die Sender nicht darauf eingestellt waren, in der Nacht zu senden. Phasen, in denen von dem Vogel nicht ausreichend Daten für eine Bewertung vorliegen, sind grau eingefärbt, jene in denen der Nachwuchs bereits verstorben war, sind rot dargestellt, anderenfalls sind diese grün gefärbt.....80
- Tabelle 15:** Modellstatistiken linearer Regressionen mit der Aktionsraumgröße (AKDE 95%) je betrachteter Phase der Brutphänologie als abhängiger Variable und der Fläche der einzelnen Landnutzungstypen in einem Radius von 1.500 m um den Horst und einem Mindestabstand von 200 m als erklärende Variablen (z- transformiert). Das Maß der Grenzlinien der Landwirtschaftsflächen um den Horst wurde ebenfalls z- transformiert. Die p-Werte wurden mittels der „Bonferroni“ Methode korrigiert, um für multiples Testen aufzukommen.....107
- Tabelle 16:** Tabelle der Aktionsraumgrößen (AKDE 95%) und Anteile der Landnutzungskategorien Acker, Grünland und Wald sowie die Grenzlinien der Ackerflächen im 200 m bis 1.500 m Radius um den Horststandort pro Vogelindividuum, Jahr und Phase der Brutphänologie. Bei dunkelgrau markierten Vögeln war in dieser Phase der Nachwuchs verstorben.....109
- Tabelle 17:** Relativer Anteil [%] der 5 min-Ortungspunkte beziehungsweise mittlere Anzahl der Punkte pro Hektar innerhalb der angegebenen Distanzen zum Horst, differenziert nach Brutphänologie sowie Geschlecht. Zusätzlich wurden gewichtete Mittel der Prozentsätze und Dichten über die ersten drei Phasen (Phase = kombiniert) berechnet. Hierbei wurden die Werte der einzelnen Phasen der Brutphänologie nach deren Dauer gewichtet. Es wurden nur Phasen berücksichtigt, in denen der Nachwuchs nicht verstorben war. Zur besseren Übersicht wurden die Werte der Männchen grau hervorgehoben. Für die Vergleichbarkeit mit der Studie von HEUCK *et al.* (2019) sind die Originaldaten von deren Studie in den folgenden Auswertungen ebenfalls enthalten. Der erste Ausdruck gibt jeweils das Ergebnis für die Daten aus beiden Studien gemeinsam an, der Klammer-Ausdruck verwendet nur die Daten aus HEUCK *et al.*

(2019); Balz 15. März bis 14. April, Brut bis 19. Mai, Aufzucht bis 30. Juni, Nachbrutzeit bis 30. September.....115

**Tabelle 18:** Relativer Anteil [%] der 5 min-Ortungen (**100 m Radius um den Horst ausgenommen**) und mittlere Anzahl der Punkte pro Hektar innerhalb der jeweiligen Distanzen zum Horst, differenziert nach Brutphänologie sowie Geschlecht. Zusätzlich wurden gewichtete Mittel der Prozentsätze und Dichten über die ersten drei Phasen („kombiniert“) berechnet. Die Werte der einzelnen Phasen der Brutphänologie wurden nach deren Dauer gewichtet. Es wurden nur Brutphasen berücksichtigt, in denen der Nachwuchs nicht verstorben war. Zur Übersicht wurden die Werte der Männchen grau hervorgehoben. Für die Vergleichbarkeit mit HEUCK *et al.* (2019) sind die Originaldaten von deren Studie in den folgenden Auswertungen enthalten. Der erste Ausdruck gibt jeweils das Ergebnis für die Daten aus beiden Studien gemeinsam an, der Klammer-Ausdruck verwendet nur die Daten aus HEUCK *et al.* (2019); Balz 15. März bis 14. April, Brut bis 19. Mai, Aufzucht bis 30. Juni, Nachbrutzeit bis 30. September. ....117

**Tabelle 19:** Korrelationskoeffizient  $|R|$  linearer Regressionen zwischen den Umweltvariablen sowie der Horstdistanz, basierend auf dem Datensatz des binomialen Modells zur Flugaktivität (N= 249.663, 12 Individuen).....123

**Tabelle 20:** Variance Inflation Factors (VIFs) aller verwendeten Umweltvariablen in den drei berechneten Modellen.....123

**Tabelle 21:** Modellstatistiken eines generalisierten linearen gemischten Modells (GLGM) zur Flugaktivität, eines linearen gemischten Modells (LGM) zur kontinuierlichen Flughöhe und eines GLGMs zur kategorisierten Flughöhe (über/unter 80 m). Erklärend waren jeweils Horstdistanz (z-standardisiert) sechs Wettervariablen (z-standardisiert) und eine kategorisierte Geländeform. Vogel-ID und das Untersuchungsjahr wurden als Random-Effekt betrachtet. Die Effektstärken der acht Hangexpositionen geben den Unterschied zur Kategorie „Kein Hang“ an. Für das GLGM Flugaktivität wurde fliegend ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK *et al.* (2019) angesetzt, für die Flughöhenmodelle wurden bereits Geschwindigkeiten des Vogels ab 3 km/h vergleichbar zu MERCKER *et al.* (2023) als fliegend angenommen (siehe Kapitel 3.2.9).....126

**Tabelle 22:** Ortungspunkten im Flug, differenziert nach Brutphänologie. Der Wert „Gesamt“ wurde aus allen Ortungspunkten im Flug berechnet. Für „Alle Phasen kombiniert“ wurden die Werte der Brutphasen nach deren Länge gewichtet. Balzzeit 15. März bis 14. April (30 Tage), Brutzeit 15. April bis 19. Mai (34 Tage), Aufzuchtzeit 20. Mai bis 30. Juni (41 Tage), Nachbrutzeit 1. Juli bis 30. September (91 Tage). 5 Minuten-Barometer-Datensatz. ....129

**Tabelle 23:** Modellstatistik eines linearen gemischten Modells mit der täglichen Aktionsraumgröße als abhängige und fünf Wettervariablen (z-standardisiert) als erklärenden Variablen sowie der Vogel-ID und dem Untersuchungsjahr als Random-Effekt;  $R^2 = 0.238$  (Gesamtmodell), marginal  $R^2 = 0.175$  (Umweltvariablen). ....133

**Tabelle 24:** Jacobs-Index und p-Werte (dargestellt als Jacobson-Index/p-Wert) der verschiedenen Landnutzungstypen über den gesamten Untersuchungszeitraum sowie differenziert nach Monaten. Die Index-Werte sind Mittelwerte der verschiedenen Rotmilane und Jahre. Negative Werte bedeuten eine unterproportionale Nutzung des

Landnutzungstypen, positive eine überproportionale Nutzung. Signifikante über- oder unterproportionale Nutzungen sind fett dargestellt (N = 144.765).....	135
<b>Tabelle 25:</b> Anteil der Flugaktivität in den Höhenklassen 0-40 m, 40-80 m, 80-250 m und 250 m plus in Abhängigkeit von dem Landnutzungstyp für die 5 Minuten-Barometerdaten. ....	135
<b>Tabelle 26:</b> Modellstatistiken eines generalisierten linearen gemischten Modells (GLGM) zur kategorisierten Flugaktivität (Flug/nicht Flug), eines linearen gemischten Modells (LGM) zur kontinuierlichen Flughöhe und eines GLGMs zur kategorisierten Flughöhe (über/unter 80m). Erklärend waren jeweils Horstdistanz (z-transformiert) und eine kategorisierte Landnutzung (daher eine gemeinsame Beurteilung von Grünland und Wald bei der erklärten Varianz). Vogel-ID und das Untersuchungsjahr wurden als Radom-Effekt betrachtet. In dem Model der kategorisierten Flughöhe wurde Jahr als Random-Effekt entfernt, da die Datengrundlage nicht ausreichend war. Die Effektstärken der zwei Landnutzungskategorien geben den Unterschied zur Kategorie „Acker“ an. Daher wird „Acker“ in der Tabelle nicht angeführt, da sich dessen Nutzung per Definition der Nutzung von „Acker“ entspricht. Datenpunkte, denen keine der drei Landnutzungskategorien zugeordnet werden konnte, wurden ausgeschlossen. Aufgrund der geringen R <sup>2</sup> -Werte ist der Erklärungswert dieser Modelle als gering einzustufen. Eine detaillierte Betrachtung entfällt daher. Für das GLGM Flugaktivität wurde fliegend ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK <i>et al.</i> 2019 angesetzt, für die Flughöhenmodelle wurden bereits Geschwindigkeiten des Vogels ab 3 km/h, vergleichbar zu MERCKER <i>et al.</i> 2023, als fliegend angenommen (siehe Kapitel 3.2.9). ....	136
<b>Tabelle 27:</b> Dichte an Ortungspunkten je Quadratkilometer für Klassen der Flughöhe (Rotorbereich, über Rotor, unter Rotor) für verschiedene Ringpuffer im Vergleich. Der Bereich von 250 bis 400 m dient als Bezugswert für das Meideverhalten im Nahbereich, da für die Ringpuffer von 250 bis 400 m keine Verhaltensänderung mehr festgestellt werden konnte. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.....	149
<b>Tabelle 28:</b> Relative Häufigkeit der Klassen der Flughöhe (Rotorbereich, über Rotor, unter Rotor) für verschiedene Ringpuffer im Vergleich. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m. ....	150
<b>Tabelle 29:</b> Ergebnisse der Ringpufferanalyse und Ermittlung der Meidung des 50 bzw. 100 m Nahbereichs um die Anlage im Vergleich zu dem 250 bis 400 m Nahbereich. Einzuordnen ist diese Analyse im Bereich der meso- avoidance. Die macro- und micro-avoidance (diese wirken zudem multiplikativ bei der Ermittlung des Meideverhaltens) sind in dieser Auswertung nicht berücksichtigt. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m. ....	150
<b>Tabelle 30:</b> Potenziell kollisionskritische Flugereignisse im Nahbereich der WEA mit Betriebsdaten zu Rotorstellung und -drehzahl. Flüge, deren Flug-Nr. fett hervorgehoben ist, haben zumindest einen Ortungspunkt innerhalb des Rotorradius plus 5 m mit Flughöhe innerhalb des Wertebereichs aus „Rotorbereich (von I bis)“ und	

werden daher in den Abbildung 87 bis Abbildung 107 dargestellt. Die Flughöhe bezieht sich auf den Punkt mit minimaler 3D Distanz zum Rotor. Flüge mit weniger als 10 m minimaler 3D Distanz wurden für „Rotordurchflug“ als „knapp“ eingestuft und bei der Risiko-Wertung auf „mittel“, sofern sich der Rotor mit mehr als einer Umdrehung pro Minute bewegt hat. Die Risiko-Wertung „hoch“ kam mangels Durchflugs bei einem drehenden Rotor nicht zur Anwendung. Die Zeit innerhalb der Rotorkugel beschreibt die Aufenthaltsdauer innerhalb der Kugel mit Radius entsprechend der Rotorlänge um den Mastmittelpunkt auf Nabenhöhe. Die Zeit im Rotorbereich wird hingegen unter Berücksichtigung der konkreten Rotorstellung berechnet, wobei auch die Verschiebung des Nabenmittelpunkts um die Exzentrizität der Anlage mit pauschal 6 m berücksichtigt wurde. Der exakte Wert kann je nach Anlagentyp leicht abweichen. Ausgewertet wurden nur Verbindungslinien, die den 2-D Rotorradius der Anlage (ohne Berücksichtigung der Flughöhe) + 5 m Puffer gekreuzt haben, wobei die exakte Distanz erst ab der zweiten aufgezeichneten Sekunde innerhalb dieses Bereichs berechnet wurde. Von den Distanzen wurden jeweils 0,62 m abgezogen, um die Körpergröße des Vogels zu berücksichtigen. ....154

**Tabelle 31:** Relativer Anteil [%] der 5 min-Ortungen (100 m Radius um den Horst ausgenommen) innerhalb der jeweiligen Distanzen zum Horst, nach Brutphänologie sowie Geschlecht. Es wird das nach der jeweiligen Tagesanzahl der Phasen gewichtete Mittel dieser Prozentsätze über die ersten drei Phasen (15. März bis 30. Juni) sowie jener Wert für die Nachbrutzeit (1. Juli bis 30. September) gezeigt. Dargestellt ist die Gesamtschau der vorliegenden Datenlage inklusive der Telemetriedaten der besenderten Rotmilane (Noah, Isolde, Max & Tristan) aus HEUCK *et al.* (2019); in Klammer der relative Anteil ausschließlich ermittelte über jene Rotmilane; Balz 15. März bis 14. April, Brut bis 19. Mai, Aufzucht bis 30. Juni, Nachbrut bis 30. September. Es wurden keine Phasen berücksichtigt, in denen der Nachwuchs verstorben war. ....192

**Tabelle 32:** Verwendete Datenquellen .....208

**Tabelle 33:** Vergleich Copernicus / DWD an sieben verschiedenen Standorten in Hessen (1/2013 bis 3/2022). Es sind die Abweichungen der Luftdruckdaten zwischen sieben DWD-Wetterstationen und den zugehörigen Copernicus-Daten in Hektopascal (hPa) und Metern (m) angegeben.....225

**Tabelle 34:** Übersicht der 5 Minuten Barometerdaten-Ortungspunkte der besenderten Rotmilane nach Rotmilan-Individuum (ID) und Jahr. Dargestellt sind die absolute Anzahl an Ortungspunkten und der daraus resultierende Anteil der Ortungspunkte je Flughöhenklasse (< 80 m, 80 bis 250 m und > 250 m). Für RK\_1137 & RK\_1138 liegen nur 1 bzw. 17 Ortungspunkte aus 2022 mit Barometermessung vor, wobei keiner dieser Verortungen die Anforderungen an die Höhenkalibrierung aus Kapitel 3.2.10 erfüllt. ....226

**Tabelle 35:** Übersicht der 5 Minuten Barometerdaten-Ortungspunkte der besenderten Rotmilane nach Rotmilan-Individuum (ID), zusammengefasst über alle Betrachtungsjahre (Zeitraum 2019 bis 2022). Dargestellt sind die absolute Anzahl an Ortungspunkten und der daraus resultierende Anteil der Ortungspunkte je Flughöhenklasse (< 80 m, 80 bis 250 m und > 250 m). Der Mittelwert bzw. Median wurde über die Einzelwerte der 12 besenderten Individuen berechnet.....226

**Tabelle 36:** Darstellung der Anzahl an 5 Minuten Barometerdaten-Ortungspunkten, deren Anteil in den drei Flughöhenklasse (< 80 m, 80 bis 250 m und > 250 m) und der Mittelwert bzw. Median der prozentuellen Nutzung der Flughöhenklassen über die Flughöhenklassen-Anteile der besenderten Individuen (Median bzw. Mittelwert Individuen) getrennt nach Jahren.....227

**Tabelle 37:** Auswertung der absoluten Anzahl an 5 Minuten Barometerdaten-Ortungspunkten und der daraus resultierende Anteil der Ortungspunkte je Flughöhenklasse (< 80 m, 80 bis 250 m und > 250 m) für Rotmilan-Brutvögel. Bei Verlust der Brut- bzw. der ausgeflogenen Jungvögel wurden die Ortungspunkte dieser Phase und aller folgenden Phasen bis inklusive der Nachbrutzeit nicht eingerechnet (angelehnt an SPATZ *et al.* 2019).....227

## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Fangstandorte der elf in Hessen als Altvögel besenderten Rotmilane, die in die Auswertung einbezogen wurden. Sowohl in Gemünden als auch in Hinkelhof konnten beide Altvögel desselben Horstes besendert werden. Bei zwei der ausgewerteten Vögel handelt es sich um Noah und Isolde aus HEUCK *et al.* (2019), deren bisher nicht ausgewertete Senderdaten für den Zeitraum ab 2019 analysiert wurden. Zwei weitere brütende Rotmilane wurden 2021 in Hessen besendert und sind in der Karte dargestellt, haben aber nicht ausreichend lange gelebt, um für die Auswertung geeignet zu sein (Söhrewald\_01 und Neu\_Eichenberg\_01). Der zwölfte in dieser Studie ausgewertete Vogel Binaced\_52 wurde im Winterquartier in Spanien besendert und brütete ebenfalls in Hessen (siehe Abbildung 2).....32
- Abbildung 2:** Darstellung der Horststandorte der im Rahmen dieser Telemetrie-Studie untersuchten Rotmilane und darüber abgedeckte Naturräume Hessens. Das Hessisch-Fränkische Bergland ist ein Landschaftsraum, der über Bayern verbunden ist. Der im Jahr 2022 in Hessen an der Grenze zu Thüringen brütende Rotmilan (Binaced\_52) wurde im Winterquartier in Spanien besendert.....33
- Abbildung 3:** Abdeckung der zehn Horststandorte der zwölf Sendervögel (zweimal Männchen und Weibchen desselben Brutpaares besendert) durch die Wetterdaten der WEA bzw. des DWD für die verschiedenen Naturräume Hessens. Es wurde nur jene Flächen violett eingefärbt, für die DWD-Daten zu allen verwendeten Parametern aus maximal 30 km Entfernung vorliegen, wobei nicht alle Wetterstationen jeden in dieser Studie betrachteten Parameter lieferten. Exakte Entfernungsangaben zwischen DWD-Stationen und Horst bzw. WEA und Horst liefert Tab. 8. ....34
- Abbildung 4:** Übersicht der räumlichen Verteilung von Sendervögeln und bestehender Windenergie-Anlagen (WEA). ....35
- Abbildung 5:** Vorliegende Ortungspunkte von Februar 2019 bis Ende September 2022 des Sendervogels Isolde für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA. ....39
- Abbildung 6:** Vorliegende Ortungspunkte von Januar 2019 bis Ende September 2022 des Sendervogels Noah für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA. Anmerkung: Es wurde ein Geofence ohne WEA angelegt, der bereits Bestandteil der Ausgangsuntersuchung war.....40
- Abbildung 7:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Ende September 2022 des Sendervogels Söhrewald\_03 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA.....41
- Abbildung 8:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Ende September 2022 des Sendervogels Weiße\_Hütte\_01 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA (in diesem Fall nicht vorhanden).....42

- Abbildung 9:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Anfang September 2022 des Sendervogels Wahmbeck\_01 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA (in diesem Fall nicht vorhanden).....43
- Abbildung 10:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Mitte August 2021 des Sendervogels Gemünden\_01 für die Phasen Aufzuchtzeit 20. Mai bis 30. Juni, und Nachbrutzeit 1. Juli bis 30. September gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA.....44
- Abbildung 11:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Ende September 2022 des Sendervogels Gemünden\_02 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA.....45
- Abbildung 12:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Ende September 2022 des Sendervogels Gersrod\_01 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA. ....46
- Abbildung 13:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Mitte Januar 2022 des Sendervogels Hülshof\_01 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA. ....47
- Abbildung 14:** Vorliegende Ortungspunkte von Dezember 2021 bis Ende September 2022 des Sendervogels Binaced\_52 sind für die Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt, ebenso im Umfeld vorhandene WEA (in diesem Fall nicht vorhanden).....48
- Abbildung 15:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2022 bis Ende September 2022 des Sendervogels Hinkelhof\_01 sind für die Aufzuchtzeit (20. Mai bis 30. Juni) und Nachbrutzeit (1. Juli bis 30. September) gemeinsam dargestellt, ebenso im Umfeld vorhandene WEA.....49
- Abbildung 16:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2022 bis Ende September 2022 des Sendervogels Hinkelhof\_02 sind für die Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt, ebenso im Umfeld vorhandene WEA. ....50
- Abbildung 17:** Grafische Darstellung der Abweichung zwischen GPS-Höhe und Barometerhöhe auf Individuenebene vor Kalibrierung.....67
- Abbildung 18:** Abweichung der Höhenmessung von der Referenzhöhe von fünf Sendern und den zugehörigen Vogel-IDs im Test. Dargestellt sind für jeden Sender die im GPS gemessene Höhe (schwarz), die barometrisch ohne Korrektur gemessene Höhe (rot), die barometrische Höhe nach Korrektur der Luftdruck-, und Temperaturschwankungen (blau) und die barometrische Höhe nach „Moving Window“ Kalibrierung (grün). Einige Ausreißer der GPS-Daten sind nicht mit dargestellt. Die Linie markiert den Median;die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen, die gestrichelte Linie kennzeichnet den Bereich, in dem die mittleren 95% der Daten liegen. Der Test wurde zwischen 26.05.2021 und 06.06.2021 durchgeführt. ..68

- Abbildung 19:** Die Ringpufferanalyse ermittelte die Kategorien „unter Rotorkante“, „über Rotorkante“ und im „Rotorbereich“ über dem „Gefahrenbereich - Seehöhe“ und nicht über dem „Gefahrenbereich – Höhe über Grund“. Der Gefahrenbereich Seehöhe entsprach der tatsächlichen Höhe der WEA. Dieser Parameter wurde gewählt, damit der Gefahrenbereich nicht durch das umliegende topografisch bewegte Gelände verzerrt wird. ....73
- Abbildung 20:** Ergebnisse der Aktionsraumanalysen für einzelne Milane, getrennt nach Brutphänologie für die Jahre 2019 bis 2022. Dargestellt sind die Ergebnisse der AKDE 95% Methode für 5 Minuten-Daten, Aktionsräume größer als 3.000 ha sind hier auch dargestellt. Balzzeit: 15. März bis 14. April, Brutzeit: 15. April bis 19. Mai, Aufzuchtzeit: 20. Mai bis 30. Juni, Nachbrutzeit: 1. Juli bis 30. September.....76
- Abbildung 21:** Horstbindung anhand der letzten Tagespunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den RK\_1137 „Isolde“ (weiblich) in den Jahren 2019 bis 2022. Aufgrund der Sendereinstellungen von Isolde wurden keine Übernachtungspunkte aufgezeichnet. Es sind die letzten Tagespunkte in der Karte dargestellt. ....81
- Abbildung 22:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1137 „Isolde“ (weiblich) in den Jahren 2019 bis 2022; erfolgreiche Brut in den Jahren 2019-2022. 82
- Abbildung 23:** Horstbindung anhand der letzten Tagespunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1138 „Noah“ (männlich) in den Jahren 2019 bis 2022. Es sind die letzten Tagespunkte in der Karte dargestellt. ....83
- Abbildung 24:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1138 „Noah“ (männlich) in den Jahren 2019 bis 2022; erfolgreiche Brut in den Jahren 2019, 2020. In den Jahren 2021 und 2022 verstarb der Nachwuchs in der Aufzuchtzeit. ....84
- Abbildung 25:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1244 „Söhrewald\_03“ (weiblich) in den Jahren 2021 und 2022. ....85
- Abbildung 26:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1244 „Söhrewald\_03“ (weiblich) in den Jahren 2021 und 2022 mit größerer Abdeckung. ....86
- Abbildung 27:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1244 „Söhrewald\_03“ (weiblich) in den Jahren 2021, 2022, erfolgreiche Brut im Jahr 2021. Im Jahr 2022 verstarb der Nachwuchs in der Aufzuchtzeit. ....87
- Abbildung 28:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1245 „Weiße\_Hütte\_01“ (weiblich) in den Jahren 2021 und 2022. ....88
- Abbildung 29:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1245 „Weiße\_Hütte\_01“ (weiblich) in den Jahren 2021, 2022. Im Jahr 2021 verstarb der

Nachwuchs in der Nachbrutzeit. Im Jahr 2022 verstarb der Nachwuchs in der Aufzuchtzeit. ....	89
<b>Abbildung 30:</b> Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK_1246 „Wahmbeck_01“ (männlich) in den Jahren 2021. ....	90
<b>Abbildung 31:</b> Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK_1246 „Wahmbeck_01“ (männlich) in den Jahren 2021, 2022. In den Jahren 2021 und 2022 verstarb der Nachwuchs in der Aufzuchtzeit. ....	91
<b>Abbildung 32:</b> Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den RK_1257 „Gemünden_01“ (weiblich) im Jahr 2021. ....	92
<b>Abbildung 33:</b> Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK_1257 „Gemünden_01“ (weiblich) im Jahr 2021, erfolgreiche Brut im Jahr 2021. Gemünden_01 wurde am 17.08.2021 Opfer von Prädation. ....	93
<b>Abbildung 34:</b> Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den RK_1258 „Gemünden_02“ (männlich) in den Jahren 2021 und 2022. ....	94
<b>Abbildung 35:</b> Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK_1258 „Gemünden_02“ (männlich) in den Jahren 2021, 2022; erfolgreiche Brut im Jahr 2021. Im Jahr 2022 verstarb der Nachwuchs in der Nachbrutzeit. ....	95
<b>Abbildung 36:</b> Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK_1277 „Gersrod_01“ (männlich) in den Jahren 2021 und 2022. ....	96
<b>Abbildung 37:</b> Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK_1277 „Gersrod_01“ (männlich) in den Jahren 2021, 2022, erfolgreiche Brut in den Jahren 2021 und 2022. ....	97
<b>Abbildung 38:</b> Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK_1285 „Hülshof_01“ (weiblich) im Jahr 2021. ....	98
<b>Abbildung 39:</b> Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK_1285 „Hülshof_01“ (weiblich) im Jahr 2021 mit großräumigem Kartenausschnitt. ....	99
<b>Abbildung 40:</b> Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK_1285 „Hülshof_01“ (weiblich) in dem Jahr 2021 (Senderausfall, letzter Datensatz 10.01.2022). Im Jahr 2021 verstarb der Nachwuchs in der Nachbrutzeit. ....	100

<b>Abbildung 41:</b> Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK_1455 „Binaced_52“ (Geschlecht noch ausständig) im Jahr 2022.....	101
<b>Abbildung 42:</b> Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK_1455 „Binaced_52“ (Geschlecht noch ausständig) in dem Jahr 2022. Im Jahr 2022 verstarb der Nachwuchs in der Nachbrutzeit.....	102
<b>Abbildung 43:</b> Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK_1658 „Hinkelhof_01“ (weiblich) im Jahr 2022.....	103
<b>Abbildung 44:</b> Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK_1658 „Hinkelhof_01“ (weiblich) in dem Jahr 2022; erfolgreiche Brut im Jahr 2022. ....	104
<b>Abbildung 45:</b> Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK_1659 „Hinkelhof_02“ (männlich) im Jahr 2022.....	105
<b>Abbildung 46:</b> Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK_1659 „Hinkelhof_02“ (männlich) in dem Jahr 2022; erfolgreiche Brut im Jahr 2022.....	106
<b>Abbildung 47:</b> Beispielhafte Darstellung des Grenzlinienanteils der landwirtschaftlichen Parzellen (aus INVEKOS) im 30 m Radius um die erfassten Telemetriepunkte des Brutpaares Gemünden_01 und Gemünden_02. Die Farbe der einzelnen Telemetriepunkte visualisiert die Längen der (weiß dargestellten) Grenzlinien im Umkreis von 30 m. ....	108
<b>Abbildung 48:</b> Prozentualer Anteil der Ortungen für die Balzzeit (15. März bis 14. April), Brutzeit (15. April bis 19. Mai) und die Aufzuchtzeit (20. Mai bis 30. Juni) in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich   Ortungspunkte/Individuen männlich). ....	112
<b>Abbildung 49:</b> Prozentualer Anteil der Ortungspunkte für die Balzzeit (15. März bis 14. April) in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich   Ortungspunkte/Individuen männlich). Pro Jahr und Geschlecht müssen mindestens 100 Ortungspunkte aufgezeichnet sein, um in dieser Grafik als Linie abgebildet zu sein. ....	112
<b>Abbildung 50:</b> Prozentualer Anteil der Ortungen für die Brutzeit (15. April bis 19. Mai) in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich   Ortungspunkte/Individuen männlich). Pro Jahr und Geschlecht müssen mindestens 100 Ortungspunkte aufgezeichnet sein, um in dieser Grafik als Linie abgebildet zu sein. ....	113
<b>Abbildung 51:</b> Prozentualer Anteil der Ortungen für die Aufzuchtzeit (20. Mai bis 30. Juni) in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der	

Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich   Ortungspunkte/Individuen männlich).....	113
<b>Abbildung 52:</b> Prozentualer Anteil der Ortungen für die Nachbrutzeit (1. Juli bis 30. September) in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich   Ortungspunkte/Individuen männlich).....	114
<b>Abbildung 53:</b> Prozentualer Anteil der Ortungspunkte in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich   Ortungspunkte/Individuen männlich). .....	114
<b>Abbildung 54:</b> Flugaktivität in Abhängigkeit von der Tageszeit. Dargestellt wurde der prozentuelle Anteil der Ortungen im Flug (ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK <i>et al.</i> 2019) an der gesamten Ortungszahl jeder vollen Stunde. ....	119
<b>Abbildung 55:</b> Flugaktivität im Jahresverlauf. Dargestellt ist der tägliche Anteil an Ortungen im Flug (ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK <i>et al.</i> (2019) im Zeitraum des 15. März bis zu dem 30. September. Zusätzlich ist eine Glättungskurve dargestellt.....	119
<b>Abbildung 56:</b> Flugaktivität in Abhängigkeit von der Tageszeit während unterschiedlicher Brutphänologie. Dargestellt ist der prozentuelle Anteil der Ortungen im Flug (ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK <i>et al.</i> 2019) an der gesamten Ortungszahl jeder vollen Stunde. Die hellgrauen Bereiche markieren die Zeiträume der Sonnenaufgänge und Sonnenuntergänge innerhalb der jeweiligen Phase der Brutphänologie.....	120
<b>Abbildung 57:</b> Boxplot der Flughöhen im Tagesverlauf. Gestrichelte Linien kennzeichnen 90 % Bereich. ....	121
<b>Abbildung 58:</b> Boxplots der Flughöhen im Tagesverlauf für die Balz- und die Brutzeit. Gestrichelte Linien kennzeichnen den Bereich in dem 90 % der Daten liegen. ....	121
<b>Abbildung 59:</b> Boxplots der Flughöhen im Tagesverlauf für die Aufzucht- und die Nachbrutzeit. Gestrichelte Linien kennzeichnen den Bereich in dem 90 % der Daten liegen. ....	122
<b>Abbildung 60:</b> Verteilung der Flugaktivität (Anzahl der Ortungspunkt im Flug (ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK <i>et al.</i> 2019, grün) über die Häufigkeit der jeweiligen Ausprägungen von sechs Wetterparametern sowie der Horstdistanz (Anzahl aller Ortungspunkte, rot) sowie der prozentuelle Anteil von Ortungspunkten im Flug an allen Ortungspunkten (blau). Luftschichtungsklassen; sehr stabil (1), stabil (2), indifferent-stabil (3), indifferent-labil (4), labil (5). ....	127
<b>Abbildung 61:</b> Anzahl bzw. Anteil der Flugaktivität über 80 m an den Ortungspunkten im Flug (ab 3 km/h entsprechend MERCKER <i>et al.</i> 2023) in Abhängigkeit von Wetterfaktoren und der Entfernung zum Horst. Luftschichtungsklassen; sehr stabil (1), stabil (2), indifferent-stabil (3), indifferent-labil (4), labil (5). ....	128
<b>Abbildung 62:</b> Histogramm der Flughöhen in 25 m mit Angaben der jeweiligen prozentualen Anteile der Häufigkeit (oben) bzw. der 1 m Klassen (unten) für die Barometerhöhen im 5 min Ortungsintervall. Flugpunkte werden ab 3 km/h Geschwindigkeit vergleichbar mit MERCKER <i>et al.</i> (2023) angenommen, abweichend zu	

- den 10 km/h bei HEUCK *et al.* (2019). Die Trennlinie beschreibt die Höhe von 80 m. Die Auswertung basiert auf Barometerdaten. .... 129
- Abbildung 63:** Histogramm der Flughöhen in 25 m-Klassen mit Angaben der jeweiligen prozentualen Anteile der Häufigkeit für die Balzzeit (oben) und die Brutzeit (unten) für die Barometerhöhen im 5 min-Ortungsintervall. Die schwarze vertikale Linie markiert eine Flughöhe von 80 m. .... 130
- Abbildung 64:** Histogramm der Flughöhen in 25 m-Klassen mit Angaben der jeweiligen prozentualen Anteile der Häufigkeit für die Aufzuchtzeit (oben) und die Nachbrutzeit (unten) für die Barometerhöhen im 5 min-Ortungsintervall. Die schwarze vertikale Linie markiert eine Flughöhe von 80 m. .... 131
- Abbildung 65:** Datenpunkte der Flughöhe in Abhängigkeit von sechs Wettervariablen sowie der Horstdistanz und Kategorien der Geländeform. Dargestellt wurden die Ortungspunkte im Flug denen alle Umweltvariable (zumindest eine der beiden Windgeschwindigkeiten: auf Kabinenhöhe und/oder Bodenhöhe) zugeordnet werden konnten (N = 46.404). .... 132
- Abbildung 66:** Darstellung zu Median und Perzentile der Flughöhen des Rotmilans in den verschiedenen Windgeschwindigkeitsklassen (ähnlich Abb. 3 in der Verwaltungsvorschrift Naturschutz/Windenergie 2020). Oben: Gondelhöhe, (N = 37.459). Werte unter null für das 5 % Perzentile ergaben sich aus der Schwankungsbreite der Messdaten. Die schwarz gestrichelte, horizontale Linie markiert eine Flughöhe von 80 m. .... 133
- Abbildung 67:** Datenpunkte der täglichen Aktionsraumgröße (100 % MCP (Minimum-Convex-Polygon-Methode)) in Abhängigkeit von fünf Wettervariablen. Die Werte der Wettervariablen sind tägliche Mittelwerte über alle Ortungspunkte (N = 328.669). Aktionsräume größer als 20.000 ha sind nicht dargestellt. .... 134
- Abbildung 68:** Flughöhenverteilung aus den 5 Minuten-Barometerdaten in 10 m Klassen für die vier Landnutzungstypen Siedlung (N = 4.417), Ackerland (N = 15.176), Wald (N = 14.534) und Grünland (N = 17.894). .... 137
- Abbildung 69:** Vergleich der Flugaktivität in Abhängigkeit der Wetterparameter sowie der Horstdistanz für Bereiche außerhalb des 1 km Radius um WEA zur Ermittlung der erwarteten Anzahl an Ortungspunkten und der tatsächlichen Verteilung der Ortungspunkte im 1 km Radius um WEA für die Wetterparameter Niederschlag, Sonnenscheindauer, Temperatur, Windgeschwindigkeit und Luftschichtung anhand der 5 min Barometerdaten. Luftschichtungsklassen; sehr stabil (1), stabil (2), indifferent-stabil (3), indifferent-labil (4), labil (5). .... 138
- Abbildung 70:** Darstellung der Windenergieanlagen mit Telemetrienachweis der zwölf für diese Studie besenderten Rotmilane innerhalb eines WEA-Umkreises von 400 m, die für die Ringpufferanalyse herangezogen wurden (blau). Weitere WEA (orange) wiesen keine Ortungen im 400 m Nahbereich auf und werden somit nicht miteinbezogen. . 140
- Abbildung 71:** Darstellung der Funktionsweise der Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Söhrewald. Es ist deutlich erkennbar, dass Flüge auf Rotorhöhe (rot) zumeist den 50 m Ringpuffer der Windenergieanlage (WEA in blau) umflogen. Flüge unter Rotorhöhe wurden grau dargestellt, jene über der Rotoroberkante grün. Der

Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m. ....141

**Abbildung 72:** Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Alte Höhe (WEA in blau). Flüge auf Rotorhöhe wurden rot, Flüge unter Rotorhöhe grau dargestellt und jene über der Rotoroberkante grün. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m. ....142

**Abbildung 73:** Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Gemünden (WEA in blau). Flüge auf Rotorhöhe wurden rot, Flüge unter Rotorhöhe grau dargestellt und jene über der Rotoroberkante grün. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m. ....143

**Abbildung 74:** Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Hülshof (WEA in blau). Flüge auf Rotorhöhe wurden rot, Flüge unter Rotorhöhe grau dargestellt und jene über der Rotoroberkante grün. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m. ....144

**Abbildung 75:** Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Ramholz (WEA in blau). Flüge auf Rotorhöhe wurden rot, Flüge unter Rotorhöhe grau dargestellt und jene über der Rotoroberkante grün. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m. ....145

**Abbildung 76:** Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Ulrichstein (WEA in blau). Flüge auf Rotorhöhe wurden rot, Flüge unter Rotorhöhe grau dargestellt und jene über der Rotoroberkante grün. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m. ....146

**Abbildung 77:** Ringpufferanalyse für die Kreisringe von 0 bis 50 m, 50 bis 100 m, 100 bis 150 m, 150 bis 200 m, 200 bis 250 m, 250 bis 300 m, 300 bis 350 m und 350 bis 400 m anhand der **Dichte** an Ortungspunkten je Quadratkilometer für den jeweiligen Ringpuffer. Dargestellt sind die Ortungspunkte im Flug **unter Rotorunterkante**. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m. ....147

**Abbildung 78:** Ringpufferanalyse für die Kreisringe von 0 bis 50 m, 50 bis 100 m, 100 bis 150 m, 150 bis 200 m, 200 bis 250 m, 250 bis 300 m, 300 bis 350 m und 350 bis 400 m anhand der **Dichte** an Ortungspunkten je Quadratkilometer für den jeweiligen Ringpuffer. Dargestellt sind die Ortungspunkte im Flug **auf Rotorhöhe**. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m. ....147

**Abbildung 79:** Ringpufferanalyse für die Kreisringe von 0 bis 50 m, 50 bis 100 m, 100 bis 150 m, 150 bis 200 m, 200 bis 250 m, 250 bis 300 m, 300 bis 350 m und 350 bis 400 m anhand der **Dichte** an Ortungspunkten je Quadratkilometer für den jeweiligen Ringpuffer. Dargestellt sind die Ortungspunkte im Flug **über Rotoroberkante**. Der

Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m. .... 148

**Abbildung 80:** Ringpufferanalyse für die Kreisringe von 0 bis 50 m, 50 bis 100 m, 100 bis 150 m, 150 bis 200 m, 200 bis 250 m, 250 bis 300 m, 300 bis 350 m und 350 bis 400 m anhand der Dichte an Ortungspunkten je Quadratkilometer für den jeweiligen Ringpuffer. Dargestellt sind die Ortungspunkte im Flug je Ringpuffer als gestapeltes Balkendiagramm und deren Verteilung auf die Kategorien „unter Rotorkante“, „über Rotorkante“ und im „Rotorbereich“. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.....148

**Abbildung 81:** Ringpufferanalyse für die Kreisringe von 0 bis 50 m, 50 bis 100 m, 100 bis 150 m, 150 bis 200 m, 200 bis 250 m, 250 bis 300 m, 300 bis 350 m und 350 bis 400 m anhand des **prozentuellen** Anteils an Ortungspunkten je Ringpuffer und deren Verteilung auf die Kategorien „unter Rotorkante“, „über Rotorkante“ und im „Rotorbereich“. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.....149

**Abbildung 82:** Anteil der Flüge im Nahbereich von Windenergieanlagen mit Betriebsdaten bezüglich Kollisionsrisiko..... 152

**Abbildung 83:** Tageszeitliche Verteilung der 237 mit Sekundendaten erfassten Flüge auf, unter und über Rotorhöhe. Ausgewählt nach einem 5 m Puffer um den Rotorradius der hessischen Windenergieanlagen. .... 152

**Abbildung 84:** Tageszeitliche Verteilung der 120 mit Sekundendaten erfassten Flüge auf, unter und über Rotorhöhe. Ausgewählt nach einem 5 m Puffer um den Rotorradius der hessischen Windenergieanlagen und Windparks Söhrewald, Gemünden, Alte-Höhe und Ulrichstein, für die Betriebsdaten zu Rotorstellung und -drehzahl zur Verfügung gestellt wurden.....153

**Abbildung 85:** Schematische Darstellung des Rotorbereichs auf Höhe des Vogelfluges als Erklärung für die nachfolgenden Kartendarstellungen. Da der Vogel die WEA nicht auf Nabenhöhe quert, ist der Rotorbereich auf Höhe des Vogelfluges (rote Linie) kürzer als der Rotordurchmesser der Anlage (graue Linie). Die minimale Distanz zwischen Vogelflug und Rotorbereich (vgl. Tabelle 30) wird dreidimensional bestimmt. Während in den Kartendarstellungen (Abbildung 87 bis Abbildung 107) die Distanz zwischen der Linie des Fluges und dem Rotor angegeben wird, nimmt die Tabelle 30 für den Vogel eine Körpergröße entsprechend einem Radius von 0,62 m um die Linie des Vogelfluges an.....153

**Abbildung 86:** Windparks mit ausgewerteten potenziell kollisionskritischen Flügen (im Rotorradius auf Rotorhöhe – jeweils mit 5 m Sicherheitspuffer). Die Kartendarstellungen zu den WPs Söhrewald, Gemünden, Alte Höhe und Ulrichstein finden sich nachfolgend. Die Kartendarstellungen zu den WPs Hülshof und Ramholz mit fehlenden Informationen zu Rotorstellung und Rotordrehzahl finden sich im Anhang. .... 159

**Abbildung 87:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1138 am 24.05.2019 um 17:33 (Flugnummer 16). Der Flug fand in 160 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der

- WEA lag bei 97 m, deren Oberkante bei 179 m. Der Rotordurchmesser beträgt 82 m (weiß). Bei diesem Flug wurden nur 5 Punkte aufgezeichnet, unmittelbar davor gab es keine Telemetrie-Nachweise, daher startet die Flugdarstellung im Bereich der WEA.  
.....160
- Abbildung 88:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 05.09.2021 um 12:38 (Flugnummer 86). Der Flug fand in 124 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Rotmilan drehte in sicherer Entfernung zur Anlage nach links ab. Der Rotor drehte sich nicht.....161
- Abbildung 89:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 25.03.2022 um 16:50 (Flugnummer 93). Der Flug fand in 83 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Vogel flog knapp unterhalb des Rotors und an dessen Rand entlang, zuvor erfolgte eine Ausweichbewegung.....162
- Abbildung 90:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 11.06.2022 um 11:10 (Flugnummer 106). Der hervorgehobene Flugabschnitt erfolgte in 87 m über Gelände. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Rotmilan unterflog zuerst die Anlage von Osten kommend, um sich danach in die Höhe zu schrauben.....163
- Abbildung 91:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 11.06.2022 um 11:10 (Flugnummer 107). Der hervorgehobene Flugabschnitt erfolgte in 143 m über Gelände. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Rotmilan unterflog zuerst die Anlage von Osten kommend, um sich danach in die Höhe zu schrauben.....164
- Abbildung 92:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 13.06.2022 um 09:31 (Flugnummer 114). Der Flug fand in 80 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß).....165
- Abbildung 93:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 14.06.2022 um 09:31 (Flugnummer 115). Der Flug fand in 190 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß).....166
- Abbildung 94:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 14.06.2022 um 18:22 (Flugnummer 116). Der Flug fand in 186 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß), wobei der vom Rotor durchstrichene Bereich auf Flughöhe des Vogels (rot) 64 m entsprach. Der Vogel umflog die WEA sehr nah.....167
- Abbildung 95:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 25.06.2022 um 10:15 (Flugnummer 121). Der Flug fand 137 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Aufgrund der Lage der Punkte ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Flugkurve den Rotorbereich nicht gekreuzt hat. Eine Ausweichreaktion war erkennbar.  
.....168

- Abbildung 96:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 26.06.2022 um 17:42 (Flugnummer 126). Der Flug fand in 202,5 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Rotmilan umflog den Rotorbereich der WEA.....169
- Abbildung 97:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 21.08.2022 um 11:42 (Flugnummer 152). Der Flug fand in 180 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der vom Rotorblatt durchstrichene Bereich auf Flughöhe wurde durch den Vogel gemieden. ....170
- Abbildung 98:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 22.08.2022 um 14:51 (Flugnummer 153). Der Flug fand in 121 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Rotorbereich wurde parallel zum Rotor umflogen. ....171
- Abbildung 99:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 12.03.2022 um 12:15 (Flugnummer 155). Der Flug fand in 136 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Rotorbereich wurde umflogen. ....172
- Abbildung 100:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 18.03.2022 um 13:40 (Flugnummer 159). Der Flug fand in 110 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Rotorbereich wurde parallel zum Rotor umflogen.....173
- Abbildung 101:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 23.3.2022 um 13:30 (Flugnummer 165). Der Flug fand in 92 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Es ist anzunehmen, dass der Vogel als Reaktion auf den Rotor abdrehte. ....174
- Abbildung 102:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 27.03.2022 um 13:13 (Flugnummer 166). Der Flug fand in 194 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Es ist anzunehmen, dass der Vogel als Reaktion auf den Rotor abdrehte; gewann an Flughöhe und querte knapp außerhalb des Rotorbereichs.....175
- Abbildung 103:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 02.06.2022 um 12:25 (Flugnummer 179). Der Flug fand in 93 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Vogel umflog den Rotorbereich der stillstehenden Anlage.....176
- Abbildung 104:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 20.06.2022 um 15:00 (Flugnummer 182). Der Flug fand in 175 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Vogel umflog den Rotorbereich der stillstehenden Anlage.....177

- Abbildung 105:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 23.06.2022 um 10:11 (Flugnummer 183). Der Flug fand in 172 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Vogel umflog den Rotorbereich der stillstehenden Anlage. ....178
- Abbildung 106:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 17.07.2022 um 11:47 (Flugnummer 186). Der Flug fand in 95 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Vogel durchflog den Rotorbereich der stillstehenden Anlage. Es ist davon auszugehen, dass kein Kollisionsrisiko bestanden hatte.....179
- Abbildung 107:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 27.7.2022 um 11:34 (Flugnummer 187). Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Vogel drehte in 192 m Höhe ab und befand sich somit außerhalb des Gefahrenbereichs.....180
- Abbildung 108:** Telemetrie-Daten für RK\_1137, „Isolde“ für die Winterhalbjahre Anfang 2019 bis Ende 2022. Zugwege von Deutschland nach Spanien. Aufgrund von Senderproblemen gibt es den ersten Telemetrienachweis erst am 23.2.2019.....181
- Abbildung 109:** Telemetrie-Daten für RK\_1138, „Noah“ für die Winterhalbjahre Anfang 2019 bis Ende 2022. Zugwege von Deutschland zur Iberischen Halbinsel.....182
- Abbildung 110:** Telemetrie-Daten für RK\_1244, „Söhrenwald\_03“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland nach Spanien. ....183
- Abbildung 111:** Telemetrie-Daten für RK\_1245, „Weiße\_Hütte\_01“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland nach Spanien. ....184
- Abbildung 112:** Telemetrie-Daten für RK\_1246, „Wahmbeck\_01“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland zur Iberischen Halbinsel. ....185
- Abbildung 113:** Telemetrie-Daten für RK\_1258, „Gemünden\_02“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland nach Spanien. ....186
- Abbildung 114:** Telemetrie-Daten für RK\_1277, „Gersrod\_01“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland nach Spanien. ....187
- Abbildung 115:** Telemetrie-Daten für RK\_1285, „Hülshof\_01“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland an die Grenze von Spanien. Der letzte Telemetrie-Nachweis war am 10.1.2022. Eine Kollision mit einer WEA konnte ausgeschlossen werden. ....188
- Abbildung 116:** Telemetrie-Daten für RK\_1455, „Binaced\_52“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Binaced\_52 wurde in Spanien besendert, daher ist hier nur der Rückweg nach Deutschland zu sehen. ....189
- Abbildung 117:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 12.07.2021 um 11:30. Der Flug fand in 79 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 55 m, deren Oberkante bei 109 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel fliegt nah an die Anlage heran und dreht dann ab und umfliegt den Rotorbereich anschließend. ....210

- Abbildung 118:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 31.07.2021 um 14:51. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 55 m, deren Oberkante bei 109 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel fliegt sehr nah an die Anlage heran und dreht dann ab und umfliegt den Rotorbereich anschließend.....211
- Abbildung 119:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 31.07.2021 um 14:51. Der Flug fand in 58 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 55 m, deren Oberkante bei 109 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel fliegt sehr nah an die Anlage heran und dreht dann ab und umfliegt den Rotorbereich anschließend. Im Vergleich zu der vorangehenden Abbildung ist nun der Flug bei Wiedereintritt in den Rotorbereich im Fokus.....212
- Abbildung 120:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 31.07.2021 um 14:53. Der Flug fand in 54,5 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 43 m, deren Oberkante bei 97 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel drehte zuerst ab und durchflog dann die Anlage auf Rotorhöhe. Ob die Anlage in Betrieb war, ist nicht bekannt. ....213
- Abbildung 121:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 31.07.2021 um 15:04. Der Flug fand in 86 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 43 m, deren Oberkante bei 97 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel flog an der Anlage vorbei. ....214
- Abbildung 122:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 4.08.2021 um 14:55. Der Flug fand in 54,9 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 55 m, deren Oberkante bei 109 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel drehte direkt vor der Anlage knapp unter Rotorhöhe ab und flog in sicherem Abstand weiter. ....215
- Abbildung 123:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 14.06.2022. Die Dauer des rot markierten Flugabschnittes betrug 3 Sekunden. Der Flug fand gemessen an den Barometerdaten in 540 m Seehöhe, bzw. 185 m über Gelände statt. Die Höhe basierend auf den GPS-Sekundendaten liegt nicht im Rotorbereich. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß), wobei der vom Rotor durchstrichene Bereich auf Flughöhe des Vogels (rot) nur mehr 66 m entspricht.....216
- Abbildung 124:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Kein Ausweichverhalten erkennbar. Rotorstellung unbekannt.....217
- Abbildung 125:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Der Rotorradius auf Flughöhe wird konsequent vermieden. Es bestand zweifelsfrei kein Kollisionsrisiko. ....218
- Abbildung 126:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Die Rotorstellung ist nicht bekannt. ....219
- Abbildung 127:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Der Rotorradius auf Flughöhe wird konsequent vermieden. Es ist davon auszugehen, dass de facto kein Kollisionsrisiko bestanden hatte. ....220

- Abbildung 128:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Der Rotorradius auf Flughöhe wird konsequent vermieden. Es ist davon auszugehen, dass de facto kein Kollisionsrisiko bestanden hatte. ....221
- Abbildung 129:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Die Rotorstellung war nicht bekannt. ....222
- Abbildung 130:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Die Rotorstellung war nicht bekannt. ....223
- Abbildung 131:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Der lange potenziell kollisionskritische Flugabschnitt resultierte aus der Tatsache, dass der nächste aufgezeichnete Telemetrie punkt außerhalb der Karte aufgezeichnet worden war...224

## 1 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Telemetriestudie zum Flugverhalten des Rotmilans war es, die Ergebnisse einer früheren Studie von HEUCK *et al.* (2019) aus dem Vogelschutzgebiet Vogelsberg hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf andere Landschaftsräume Hessens zu prüfen. Der Wissensstand zum Rotmilan sollte auf der Basis einer größeren Zahl an besenderten Individuen in den Themenfeldern Aktionsraumgröße und Raumnutzung sowie Flugaktivität und Flughöhe unter Berücksichtigung von Wetter, Jahres- und Tageszeit sowie Landnutzung erweitert werden. Das Meide- bzw. Ausweichverhalten im Nahbereich von Windenergieanlagen (WEA) sowie als neue Fragestellung die Horstbindung in der Nachbrutzeit wurden ebenfalls untersucht. Die Horststandorte der in der vorliegenden Studie untersuchten zwölf besenderten Vögel, verteilten sich über die Nordhälfte Hessens. Insgesamt liegen von den betrachteten Individuen 5.303.512 Ortungspunkte vor, ein Großteil davon, mit rund 3,7 Millionen Datensätzen, entstammt dem Jahr 2022.

Die Auswertungen erfolgten so weit als möglich sowohl für den Gesamtzeitraum als auch getrennt für die Balz-, Brut-, Aufzucht- und Nachbrutzeit, entsprechend der Vorgehensweise von HEUCK *et al.* (2019). Für die Analyse der räumlichen Ausdehnung der Flugaktivität in Relation zur Entfernung zum Brutplatz war eine Differenzierung zwischen Flugpunkten und Ruhepunkten erforderlich. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen von HEUCK *et al.* (2019) wurde in gleicher Weise eine Schwelle von mindestens 10 km/h für die Unterscheidung von Flug- und Ruhepunkten herangezogen. Einzig für die Bestimmung der Flughöhen wurde eine Schwelle von 3 km/h gewählt, weil diese die kreisenden Nahrungsflüge und kleinräumige Flüge über dem Horst mit größerer Wahrscheinlichkeit erkennt. Die Temperatur wurde in der vorliegenden Studie auf Basis der Informationen der DWD-Wetterstationen stets in 2 m Höhe über Gelände gewonnen. Dies ist durch die größere räumliche Ausdehnung des Untersuchungsraumes über zahlreiche Landschaftsräume in Hessen mit einer entsprechend großen Anzahl an WEA unterschiedlicher Höhen bedingt. Im Gegensatz dazu war es in der Heuck-Studie möglich, die Temperatur auf Gondelhöhe der WEA zu messen.

Um zusätzliche Erkenntnisse zu potenziell kollisionskritischen Flügen gewinnen zu können, wurden, neben den analog zu HEUCK *et al.* (2019) verwendeten 5 Minuten-Datensätzen, die Sekundendatensätze für die Fragestellungen zum Flugverhalten im WP-Umfeld (Kapitel 4.6) ergänzend ausgewertet. Anhand von Sekundendaten kann das Ausweichverhalten des Rotmilans gegenüber WEA dokumentiert werden. Über die beauftragten Fragestellungen hinausgehend wurden außerdem Windgeschwindigkeitsdaten nicht nur im Gondelbereich, sondern auch in Bodennähe gewonnen und ausgewertet. Hierzu werden erste Beschreibungen und Bewertungen, jedoch keine abschließenden Schlussfolgerungen zur windabhängigen Flugaktivität des Rotmilans bezogen auf die Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe abgeleitet.

Im Rahmen der Aktionsraumanalyse wurde mithilfe der Kernel-Methode die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Rotmilanen rund um den Horst berechnet. Die Flugaktivität wurde mit einer Verschneidung von Raumnutzungsdaten und Landnutzungsdaten ausgewertet und mithilfe von Jakobs-Indices nach Monaten differenziert errechnet. Die Flugaktivität wurde im tages- und jahreszeitlichen Verlauf analysiert und zusätzlich nach Brutphänologie (Balzzeit: 15. März bis 14. April, Brutzeit: 15. April bis 19. Mai, Aufzuchtzeit: 20. Mai bis 30. Juni, Nachbrutzeit: 1. Juli bis 30. September) differenziert. Ob das Flugverhalten der Rotmilane vom Wetter bzw. der

Geländeform abhängt, wurde mit Hilfe von Regressionsmodellen untersucht. Um das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Individuen zu berücksichtigen, wurden gemischte Modelle aufgestellt. Mit den täglichen Aktionsraumgrößen wurde ein lineares gemischtes Modell zu den Abhängigkeiten von Wetterparametern (Windgeschwindigkeit, Sonnenschein, Temperatur auf Bodenhöhe, Niederschlag, Luftschichtung) erstellt. Zusätzlich wurden Modelle zur Untersuchung der Flughöhe mit den Landschaftstypen als erklärende Variablen gerechnet. Der Einfluss von Wetter und Geländeform wurde neben der Flugaktivität auch in Bezug auf die Flughöhe untersucht. Hierfür wurden ein kontinuierliches lineares gemischtes Modell und ein kategorielles generalisiertes lineares Modell erstellt. Für die Ringpufferanalyse wurde die Frequentierung des Rotmilans in verschiedenen Pufferzonen rund um die WEA ausgewertet, um daraus ein Meideverhalten ableiten zu können. Weiterhin wurden die Wetterverhältnisse während der Flüge im Nahbereich der WEA analysiert, um zu klären, wie sich diese auf das Flugverhalten auswirken.

Wird die Größe des Aktionsraumes betrachtet, so zeigt sich, dass diese in Abhängigkeit vom Geschlecht variierte und mit fortschreitender Brutphänologie zunahm. Bei der Betrachtung der Brutvögel mit lebendem Nachwuchs zeigte sich anhand der Aktionsraumgrößen, dass Männchen zur Balz-, Brut- und Aufzuchtzeit größere Flächen nutzten als weibliche Rotmilane. Der Anteil der Ortungspunkte im Flug (> 10 km/h) war für den Zeitraum von der Balz bis zum Ende der Aufzuchtphase bei Weibchen deutlich geringer als bei den männlichen Brutvögeln. In der Nachbrutzeit kehrten sich die geschlechterspezifischen Unterschiede um. So zeigten die Männchen im Median kleinere Aktionsräume als die Weibchen.

Anhand der Aktionsraumgrößen bei weiblichen Brutvögeln mit verstorbenem Nachwuchs zeigte sich keine Horst- und Revierbindung mehr, während bei männlichen Brutvögeln während des gesamten Sommerhalbjahres zumindest noch eine starke Bindung zum Revier bestand. Horstbindung beschreibt dabei, dass die Vögel sich im unmittelbaren Nahbereich des Horstes verstärkt aufhalten. Revierbindung bezieht sich hingegen nicht auf den konkreten Horststandort sondern darauf, dass insbesondere männliche Rotmilane ein gewisses Revier für sich beanspruchen, welches deutlich über den Nahbereich des Horstes hinausgehen kann und somit eine Größe von mehreren Quadratkilometern erreichen kann. Betrachtet man die nicht erfolgreichen Bruten, bei denen der Nachwuchs vor Ende der Nachbrutzeit verstorben war, so war die Aktionsraumgröße der Weibchen in der Nachbrutzeit (AKDE 95 %) um ein Vielfaches größer als bei den Männchen. Es bestand somit bei Weibchen im Gegensatz zu Männchen nach dem Verlust des Nachwuchses keine Revierbindung.

In der vorliegenden Studie wurden die relativen Anteile der Ortungspunkte in Abhängigkeit von der Horstdistanz, der Brutphänologie und dem Geschlecht untersucht. Im Zeitraum von der Balz bis zum Ende der Aufzuchtzeit (ab 15. März bis 30. Juni) wurden die ausgewerteten Vögel durchschnittlich zu 74 % im 1.000 m Radius um den Horststandort verortet, davon die weiblichen Brutvögel durchschnittlich zu 89 %, die männlichen Vögel zu 60 %. Grundsätzlich war der Anteil der Ortungspunkte innerhalb des 1.000 m Radius um den Horst in der Nachbrutzeit deutlich geringer. Zudem verbrachten die Rotmilane in den vier Phasen der Brutphänologie deutlich über 90 % ihrer Zeit in einem Radius von 3.500 m um den Horst.

Die Auswertung bezüglich der Flugaktivität und Flughöhe brütender hessischer Rotmilane kam zu nahezu identischen Ergebnissen wie HEUCK *et al.* (2019). So zeigte sich in beiden Studien,

dass die Flugaktivität im Tagesverlauf bis zu den Mittagsstunden zunahm und anschließend wieder abfiel. Die Flugaktivität fand im Wesentlichen im Zeitraum von 9 bis 19 Uhr statt und wies besonders hohe Anteile im Zeitraum von 13 bis 16 Uhr auf. Im Zeitraum von 21 bis 5 Uhr fand kaum Flugaktivität statt. In diesem Nachtzeitraum lag die Flugaktivität des Rotmilans im niedrigen einstelligen Prozentbereich. Der Verlauf ist einer Glockenkurve sehr ähnlich. Über den Jahresverlauf zeigten sich verringerte Flugaktivitäten während der Brut und insbesondere in der Nachbrutzeit und demgegenüber ein vermehrtes Flugaufkommen während der Balzzeit und der Aufzuchtzeit. Die Boxplots der Flughöhenverteilung im Tagesverlauf zeigen in den Morgenstunden (bis 8 h) rund 90 % der Flugaktivität unter 100 m Flughöhe. Sowohl der Median als auch die Streuung der Flughöhen nahmen von 9 bis 16 Uhr zu und fielen anschließend bis 19 Uhr ab.

Auf Rotorhöhe moderner Windkraftanlagen (80 m bis 250 m) wurden zwischen 24,95 % (Brutzeit) und 16,00 % (Nachbrutzeit) der 5 Minuten-Barometer-Ortungspunkte im Flug aufgenommen, wobei insgesamt 19,06 % der Ortungspunkte im Flug im Bereich von 80 bis 250 m verortet wurden. Bei HEUCK *et al.* (2019) wurde ein Wert von 19,9 % erhoben, aus MERCKER *et al.* (2023) ergibt sich ein Anteil von 17,4 % (dies beinhaltet auch Jungvögel und Nichtbrüter). PFEIFFER & MEYBURG (2022) ermittelten für Männchen mit 23,8 % und Weibchen mit 14 % geschlechterspezifische Werte.

Wird der Einfluss der Umweltparameter betrachtet, so schien die Windgeschwindigkeit auf **Bodenhöhe** für die Entscheidung des Vogels, ob er fliegt oder nicht, besonders bedeutsam. So nahm die Flugaktivität mit der Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe zu. Bei Windstille auf **Gondelhöhe** wurde bei etwa 10 % der diesbezüglichen Ortungspunkte geflogen. Bei Windgeschwindigkeiten zwischen 1 m/s und 11 m/s auf Gondelhöhe lag der Anteil der Ortungspunkte im Flug zwischen 23 und 26 %. Am häufigsten kamen Windgeschwindigkeiten auf Gondelhöhe im Bereich von 2 bis 6 m/s vor. Bei Windstille auf Gondelhöhe lag der Anteil der Flüge über 80 m bei rund 15 % und stieg bis zu einer Windgeschwindigkeit (Gondelhöhe) von 2 m/s auf über 30 % an. Mit weiter zunehmender Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe nahm der Anteil der Flugbewegungen über 80 m kontinuierlich auf ca. 15 % bei 9 m/s ab. Die absolute Anzahl an Flugbewegungen über 80 m Höhe war bei 3 m/s am höchsten und nahm dann kontinuierlich ab, wobei über 11 m/s nur noch wenige Flüge über 80 m Höhe vorkamen.

Das HMWVW führte 2020 eine vertiefende Datenauswertung der Flughöhen und Windstärken bei WEA durch, basierend auf der Datengrundlage von HEUCK *et al.* (2019). Die vertiefende Auswertung der 5 Minuten-Datensätze ergab, dass oberhalb von ca. 80 m die Flugaktivität mit höheren Windgeschwindigkeiten abnimmt (HMUKLV / HMWEVW 2020). In der vorliegenden Studie zeigt eine an diese Auswertungen des HMUKLV / HMWEVW (2020) angelehnte Perzentil-Analyse der Flughöhen des Rotmilans einen deutlichen, kontinuierlichen Abfall der Flughöhe mit zunehmender Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe im Bereich von 2 m/s bis ca. 10 m/s. Für das 85 %-Perzentil zeigt sich diese Abnahme in einem Rückgang von 150 m auf 100 m. Wird das 95 %-Perzentil herangezogen, so nimmt die Flughöhe mit ca. 275 m bei 2 m/s auf 150 m bei ca. 10 m/s ab. Lediglich im Bereich von Windstille bis ca. 2,5 m/s kam es zu einer Zunahme der Flugaktivität mit zunehmender Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe. Bei Betrachtung der Flugaktivität des Rotmilans zeigte sich, dass diese mit zunehmender Temperatur auf Bodenhöhe und Sonnenscheindauer anstieg. Bei Temperaturen unter null Grad Celsius (°C) auf Bodenhöhe war der Anteil an Ortungspunkten im Flug deutlich niedriger,

als im Bereich von 5 °C bis 15 °C und nimmt bis ca. 30 °C weiter zu. Der übliche Wertebereich der Temperatur im Sommerhalbjahr lag für die erfassten Datensätze im Bereich von 10 °C bis 25 °C, während Werte unter 0 °C und über 30 °C kaum vorkamen. Betrachtet man den Effekt der Sonnenscheindauer auf die Flugaktivität, so betrug der Anteil der Flugpunkte an den Ortungspunkten bei keinem Sonnenschein nur rund 10 %, während bei durchgängigem Sonnenschein rund 30 % der Punkte im Flug erfasst wurden. In einem Großteil der Zeit gab es keinen Niederschlag und bei Niederschlag gab es weniger als die Hälfte an Flugaktivität bei den besenderten Brutvögeln des Rotmilans. HEUCK *et al.* (2019) argumentierten, dass Sonnenscheindauer, Temperatur auf Gondelhöhe sowie eine labile Luftschichtung die Entstehung von guter Thermik begünstigen können und dies einen positiven Einfluss auf die Flugaktivität des Rotmilans haben könnte. Tatsächlich konnte in dieser Studie ebenfalls ein deutlich positiver Einfluss der Sonnenscheindauer und der Temperatur auf die Flugaktivität des Rotmilans festgestellt werden. Für die Luftschichtungsklassen „sehr stabil“ und „stabil“ zeigte sich in der vorliegenden Studie ein deutlicher Rückgang der Flugaktivität. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit HEUCK *et al.* (2019).

Das statistische Modell (LGM) zur Analyse der kontinuierlichen Flughöhe zeigt, dass ein nur geringer, vernachlässigbarer linearer Zusammenhang zwischen der Flughöhe und den untersuchten Umweltvariablen vorliegt (vgl. Tabelle 21). Demgegenüber weist das Modell zur kategorisierten Flughöhe (GLGM) mit einem Anteil von 13,5 % der durch die Umweltparameter erklärten Varianz einen etwas höheren Anteil auf. Verglichen mit HEUCK *et al.* 2019 verbesserte sich der Erklärungswert beider Modelle deutlich (dort 2,1 % bzw. 3,3 %). Insbesondere die Parameter Sonnenscheindauer (25,32 %), Temperatur (18,18 %) und Horstdistanz (17,40 %) haben einen höheren Anteil an der durch die Umweltparameter im GLGM-Modell erklärten Varianz. Diese drei Parameter zeigen eine signifikante ( $p < 0,001$ ) Zunahme der Fluganteile über 80 m Höhe mit steigender Temperatur und Sonnenscheindauer, aber auch mit zunehmender Horstdistanz. Für die drei genannten Parameter Sonnenscheindauer, Temperatur und Horstdistanz, die einen deutlichen Effekt auf den Anteil der Flugaktivität auf potentieller Rotorhöhe aufweisen, zeigte sich ebenfalls ein gleichgerichteter Effekt auf den Anteil an Ortungspunkten im Flug. Somit verstärken sich die Auswirkung auf die Flugaktivität und die Flughöhenverteilung für diese drei Parameter wechselseitig.

Entsprechend HEUCK *et al.* (2019) nutzte der Rotmilan auch in der aktuellen Studie Offenland tendenziell öfter als bewaldete Flächen. Grünlandbereiche werden mit Ausnahme des März gegenüber Ackerflächen bevorzugt. Der Anteil der Ortungen in 80 bis 250 m Höhe an den Flugpunkten lag über Ackerflächen und Grünland mit 17,5 % bzw. 17,8 % unter dem Durchschnittswert von 19,1 %, der Wert für Wald mit 20,0 % leicht darüber, über Siedlungsgebiet mit 27,2 % deutlich darüber. Im Zusammenspiel mit der deutlichen Meidung von Waldflächen (Jakobsindex 0,7 im Vergleich zu 1,2 bzw. 1,3 für Acker und Grünlandflächen) ergeben sich in Summe für den Rotmilan deutlich weniger Flüge auf Rotorhöhe für Waldstandorte.

Beim Ausweichverhalten wird zwischen der Mikro-, Meso- und Makroskala unterschieden (BAND 2012; COOK *et al.* 2014). Anhand der Ringpufferanalyse wurde die Mesoskala (meso-avoidance) untersucht, die das Abstandhalten zu einzelnen WEA in einer Distanz von 50 m berücksichtigt, wohingegen die Mikro-Skala das Ausweichverhalten gegenüber einzelnen Rotorblättern erklärt. In der vorliegenden Studie wurden anhand von mehr als 100.000

Ortungspunkten im 400 m Radius um WEA jeweils 50 m breite Ringpuffer untersucht. Vergleicht man den 0 bis 50 m bzw. den 50 bis 100 m breiten Ringpuffer mit dem 250 bis 400 m Bereich, so zeigte sich eine deutliche Meidung des 50 m Nahbereichs um den Turm, die mit zunehmender Entfernung deutlich geringer ausfiel. Die zwei-dimensionale Nutzung durch die besenderten Rotmilane nahm im 0 bis 50 m Bereich gegenüber dem 250 bis 400 m Bereich um 39 % ab. Zusätzlich reduzierte sich der Anteil der Flüge auf Rotorhöhe um 28 %, wodurch sich in dieser Studie ein drei-dimensionales meso-Meideverhalten von 56 % ergab. Die Flughöhenänderung im Nahbereich der WEA legt nahe, dass Vogelindividuen die Rotorblätter als Gefahr erkennen. Offensichtlich weichen sie dem Rotor aus, indem sie ihre Flughöhe bereits außerhalb des kritischen Kollisionsrisikoradius anpassen, um die Anlage in sicherer Höhe zu überfliegen.

Die Auswertung lieferte 237 mit GPS-Sekundendaten erfasste Flugsegmente innerhalb des Rotorradius plus 5 m Sicherheitspuffer um WEA, wobei in 51 Fällen deren Flughöhe der Nabenhöhe des Rotors +/- Rotorradius +/- 5 m Sicherheitspuffer entspricht. 121 der identifizierten Flugsegmente verliefen unter Rotorhöhe und weitere 65 entsprechend über Rotorhöhe. Die tageszeitliche Verteilung dieser Flugsegmente ähnelt der tageszeitlichen Verteilung der Flugaktivität deutlich mit den höchsten Werten im Zeitraum von 12 bis 15 Uhr und keinen Flügen auf Rotorhöhe vor 9:00 bzw. nach 19:00 Uhr. Von den 237 Flugsegmenten konnten 120 mithilfe von Betreiberdaten zu Rotorstellung und Rotordrehzahl ausgewertet werden, darunter 21 der 51 Flüge auf Rotorhöhe. In einem Fall ist ein Durchflug durch einen stehenden Rotor aufgezeichnet worden. Durchflüge bei sich drehendem Rotor wurden nicht festgestellt. In vier Fällen hielt der Rotmilan weniger als 10 m Abstand zum Rotor. In der Gesamtbetrachtung der Erkenntnisse dieser Studie lässt sich der Rückschluss ziehen, dass die WEA durch den Rotmilan wahrgenommen und aktiv vermieden wurden, wobei die besenderten Rotmilane spätestens im Nahbereich ausgewichen sind. Bei einem Teil der kollisionskritischen Flüge ist eine Flugbahnänderung im Nahbereich der WEA deutlich ersichtlich, die ein aktives Ausweichverhalten indiziert. Trotz dieses aktiven Ausweichverhaltens konnten einzelne Kollisionen bei bereits mehr als 2.000 in Europa besenderten Rotmilanen (LIFE EUROKITE), in der Schlagopferkartei von DÜRR & LANGGEMACH (2022) sowie in anderen Studien, beispielsweise GRÜNKORN *et al.* (2016), belegt werden.

Die Ergebnisse zur Aktionsraumgröße aus der Studie von HEUCK *et al.* (2019) sind im Wesentlichen auf den ausgewerteten Raum Hessen übertragbar, wobei einige zusätzliche und vertiefende Erkenntnisse gewonnen wurden. Eine zusätzliche Erkenntnis war, dass bei weiblichen Rotmilanen mit verstorbenen Jungtieren keine Horst- und Revierbindung gegeben war. Die Ergebnisse der tages- und jahreszeitlichen Flugdaten-Auswertungen sind übertragbar. Dies gilt in eingeschränktem Umfang für die temperaturabhängigen Daten, da in der vorliegenden Studie die Temperaturdaten auf Bodenhöhe und nicht – wie in der Heuck-Studie - auf Gondelhöhe ermittelt wurden. Die Flughöhenauswertung zeigte in der vorliegenden Studie mit HEUCK *et al.* (2019) vergleichbare Ergebnisse. Bezüglich der Nahauswertung um Windparks konnte im Rahmen der Ringpufferanalyse mithilfe der gesammelten Daten nun ein deutliches 3D-Meide-, sowie Ausweichverhalten abgeleitet werden, welches bei HEUCK *et al.* (2019) auf Grundlage der geringen Anzahl an Windparkflügen noch nicht belegbar war.

## 2 Einführung und Zielsetzung

### 2.1 Anlass und Zielsetzung der aktuellen Studie

Von HEUCK *et al.* (2019) wurde in den Jahren 2016 bis 2018 eine Studie zur „Untersuchung des Flugverhaltens von Rotmilanen in Abhängigkeit von Wetter und Landnutzung unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Windenergieanlagen im Vogelschutzgebiet Vogelsberg“ durchgeführt. In dieser Studie wurden sechs Rotmilane besendert und die gewonnenen Telemetriedaten auf Aktionsräume, Flugaktivität, Flughöhe sowie Einfluss von Landnutzung und Flugaktivität im Umfeld von Windparks ausgewertet.

In Hessen kommt der Rotmilan häufig und flächenhaft mit mindestens 1.300 bis 1.800 Brutpaaren vor (KREUZINGER *et al.* 2023). Ziel der vorliegenden Telemetriestudie zum Flugverhalten des Rotmilans ist es daher, die Ergebnisse der Studie von HEUCK *et al.* (2019) hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf andere Landschaftsräume Hessens zu prüfen. Die Wissensbasis zum Rotmilan soll dabei analog zu HEUCK *et al.* (2019) in den Themenfeldern Aktionsraumgröße, Raumnutzung, Flugaktivität und Flughöhe unter Berücksichtigung von Wetter, Jahres- und Tageszeit, sowie Landnutzung erweitert werden. Das Meide- bzw. Ausweichverhalten im WEA-Nahbereich wird ebenfalls beschrieben.

### 2.2 Vorhabensbeschreibung

Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr, Wohnen und ländlichen Raum wurde das Flugverhalten von besenderten adulten Rotmilanen in Hessen im Hinblick auf die folgenden Aspekte untersucht:

- Prozentualer Anteil der Ortungspunkte in Abhängigkeit zur Horstdistanz in der Balz-, Brut-, Aufzucht- und Nachbrutzeit
- Horstbindung in der Nachbrutzeit
- Flughöhe, Flugaktivität und Aktionsräume der Rotmilane in Abhängigkeit von Wetter, Geländeform und Landnutzung
- Flugverhalten im Windpark-Bereich.

Methodisch orientiert sich das Vorhaben eng an der Studie von HEUCK *et al.* (2019) zum Thema „Untersuchungen des Flugverhaltens von Rotmilanen in Abhängigkeit von Wetter und Landnutzung unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Windenergie-Anlagen im Vogelschutzgebiet Vogelsberg“.

Im vorliegenden Telemetrie-Projekt sollten entsprechende Erhebungen an weiteren Sendertieren auch außerhalb des Vogelsbergs erfolgen. Hierfür wurden in der aktuellen Telemetriestudie zehn hessische Brutvögel neu besendert. Zusätzlich konnten die Daten von zwei mit noch funktionierenden Sendern ausgestatteten Vögeln aus der Studie von HEUCK *et al.* (2019) genutzt werden. Insgesamt wurden somit die Telemetriedaten von zwölf hessischen Brutvögeln des Rotmilans in dieser Studie betrachtet. Außerdem wurden die Ergebnisse weiterer Studien, beispielsweise jene von SPATZ *et al.* (2019), in der 13 adulte Rotmilane verteilt über Hessen besendert werden konnten, für die Diskussion der Ergebnisse herangezogen.

Der methodische Ansatz der Vogelsberg-Studie beruhte auf einer intensiven Abstimmung mit Fachbehörden und Experten (HEUCK *et al.* 2019). Durch die Beibehaltung dieser Methodik war die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der vorliegenden Studie aus den Jahren 2021/2022 mit den seinerzeit gewonnenen Ergebnissen gewährleistet. Lediglich in wenigen Punkten weichen die Studien voneinander ab. So umfasst die vorliegende Studie, anders als bei HEUCK *et al.* (2019), keine im Projekt integrierte Horstbaum- und Revierkartierung sowie keine Analyse des Einflusses landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsereignisse auf die Flugaktivität der Vögel. Der Bruterfolg der in dieser Studie ausgewerteten Rotmilane konnte aufgrund von Erhebungen des TB Raab im Zusammenhang mit der Besenderung von Nestlingen über das LIFE EUROKITE Projekt für die Jahre 2021 und 2022 ermittelt werden.

Zudem wurden für einzelne Analysen, wie zum Beispiel die Abhängigkeit der Aktionsraumgröße von der Brutphänologie (Kapitel 3.3.1) bzw. von Wetterparametern (Kapitel 3.3.3) und der Flughöhe von der Landnutzung (Kapitel 3.3.4), im Vergleich zu HEUCK *et al.* (2019) ergänzende Auswertungen vorgenommen. Als zusätzliche Untersuchungsparameter wurden die Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe sowie der Grenzlinienanteil der landwirtschaftlichen Flächen und die Horstbindung in der Nachbrutzeit (Kapitel 3.3.1) einbezogen, da hierüber ggf. ergänzende Erkenntnisse über das Flugverhalten dieser Vogelart zu erwarten waren.

Eine Vertiefung gegenüber der Heuck-Studie stellt die wesentlich detailliertere Untersuchung der Flüge des Rotmilans im Nahbereich von WEA dar. Diese Flüge wurden unter Einbeziehung der Rotorstellung ausgewertet (Kapitel 3.3.5). In der vorliegenden Studie lag eine Stichprobe von 237 Flügen mit GPS-Sekundendaten im 5 m Puffer um den Rotorradius von WEA, davon 120 Flügen mit bekannter Rotorstellung und Rotordrehzahl vor. In der HEUCK-Studie wurden 28 Flüge im Rotorbereich betrachtet. Die größere Stichprobe beruhte darauf, dass infolge der verbesserten Soft- und Hardware der Sender mehr Sekundendaten erhoben werden konnten, eine größere Anzahl an Sendertieren vorlag und die benötigten Windparkdaten (z. B. Rotordrehzahl und -ausrichtung) durch einige Betreiberfirmen bereitgestellt werden konnten.

### 3 Material und Methoden

Das folgende Kapitel gliedert sich in drei Teile. Im Abschnitt 3.1 wird zunächst das Untersuchungsgebiet im Überblick charakterisiert. Die im Rahmen dieser Studie gewonnene Datenbasis sowie die Vorgehensweise und Bearbeitung dieser Daten werden in Abschnitt 3.2 beschrieben und beinhalten die Themengebiete:

- ❖ Durchgeführte Besenderung und daraus erhaltene Datensätze
- ❖ Naturräumliche Daten
  - Landnutzungstypen mittels ATKIS Basis-DLM
  - Grenzlinienanteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen (Invekos)
  - Geländeform über das Digitale Geländemodell DGM25
- ❖ Datenbasis zur Analyse des Flugverhaltens
  - Witterungsdaten von nahegelegenen Wetterstationen des DWD (Temperatur, Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe, Niederschlag, Sonnenscheindauer, Luftschichtung und Luftdruck)
  - Betriebsdaten der Windenergie-Anlage zur Analyse kollisionskritischer Flüge (Rotorstellung und Rotordrehzahl) und der Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe

Abschnitt 3.3 stellt die Methodik der Datenauswertung und der statistischen Analysen in Bezug auf die Aspekte Aktionsräume, Flugaktivität und Flughöhe, Einfluss der Witterung sowie bestimmter Habitatparameter und Flugverhalten in der Nähe von WEA dar.

### 3.1 Untersuchungsgebiet

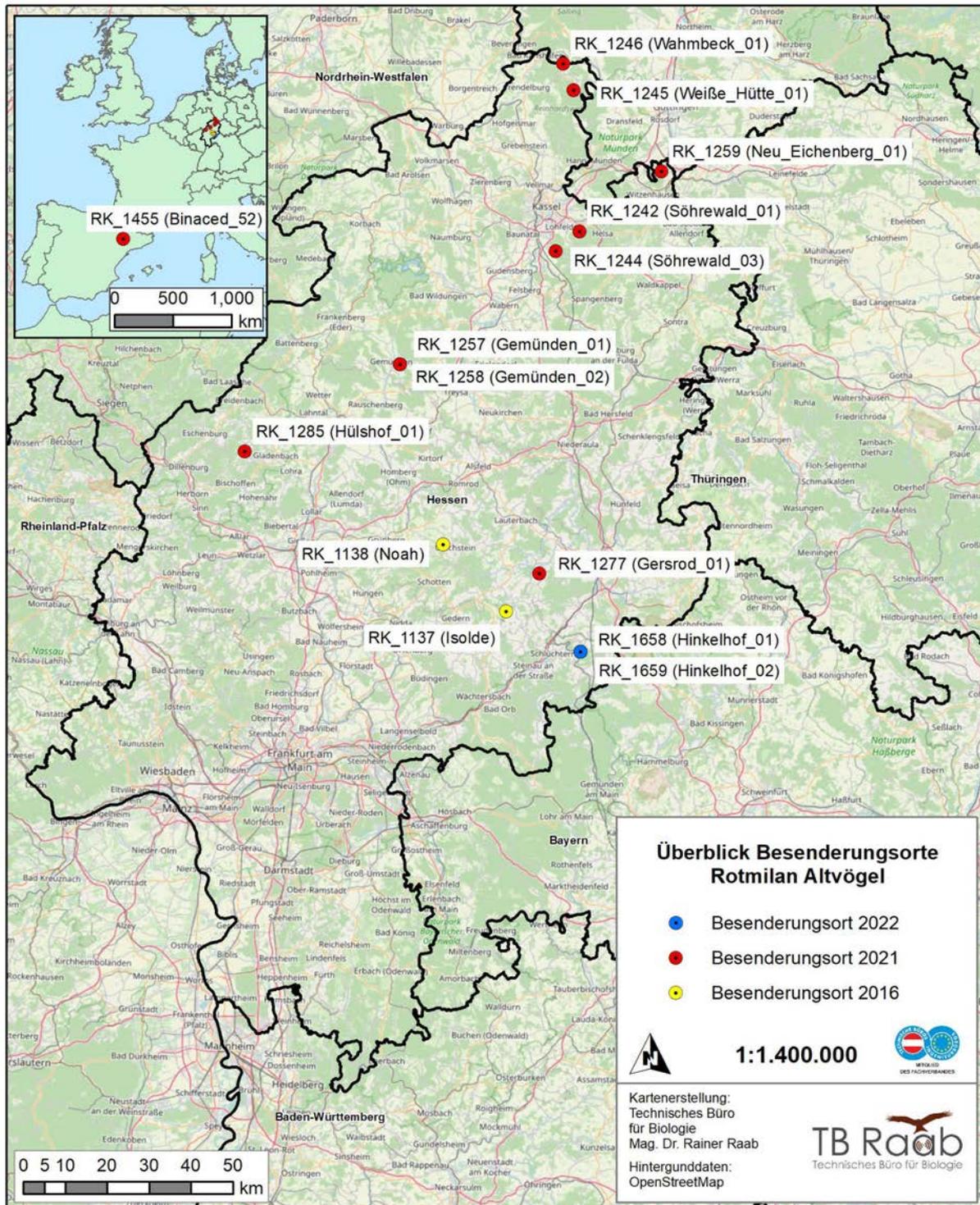
Das Land Hessen weist eine Vielzahl an Naturräumen auf und ist durch wald- und grünlandreiche Mittelgebirge, Hügellandschaften und dazwischenliegenden Talsenken geprägt. Auf über 40 % seiner Fläche ist es bewaldet. Die landwirtschaftliche Betriebsgröße ist mit 51 ha vergleichsweise gering<sup>1</sup>, was den Strukturreichtum der Landschaft erhöht.

Die Horststandorte der in der vorliegenden Studie untersuchten zwölf Sender-Vögel verteilen sich über die Nordhälfte Hessens (Abbildung 1). Damit wurde die Anzahl der untersuchten hessischen Naturräume gegenüber der Studie von HEUCK *et al.* (2019) deutlich erweitert. Während diese den Naturraum Osthessisches Bergland abgedeckt hat, konnten die besenderten Vögel der vorliegenden Telemetriestudie auch den Naturräumen Weser-Leine-Bergland, Westhessisches Berg- und Senkenland, Westerwald, Hessisch-Fränkisches Bergland und Osthessisches Bergland zugeordnet werden (Abbildung 2). Die Abdeckung dieser Naturräume durch die verwendeten Wetterdaten von Wetterstationen und Windenergieanlagen war in weiten Bereichen gegeben (vgl. Abbildung 3).

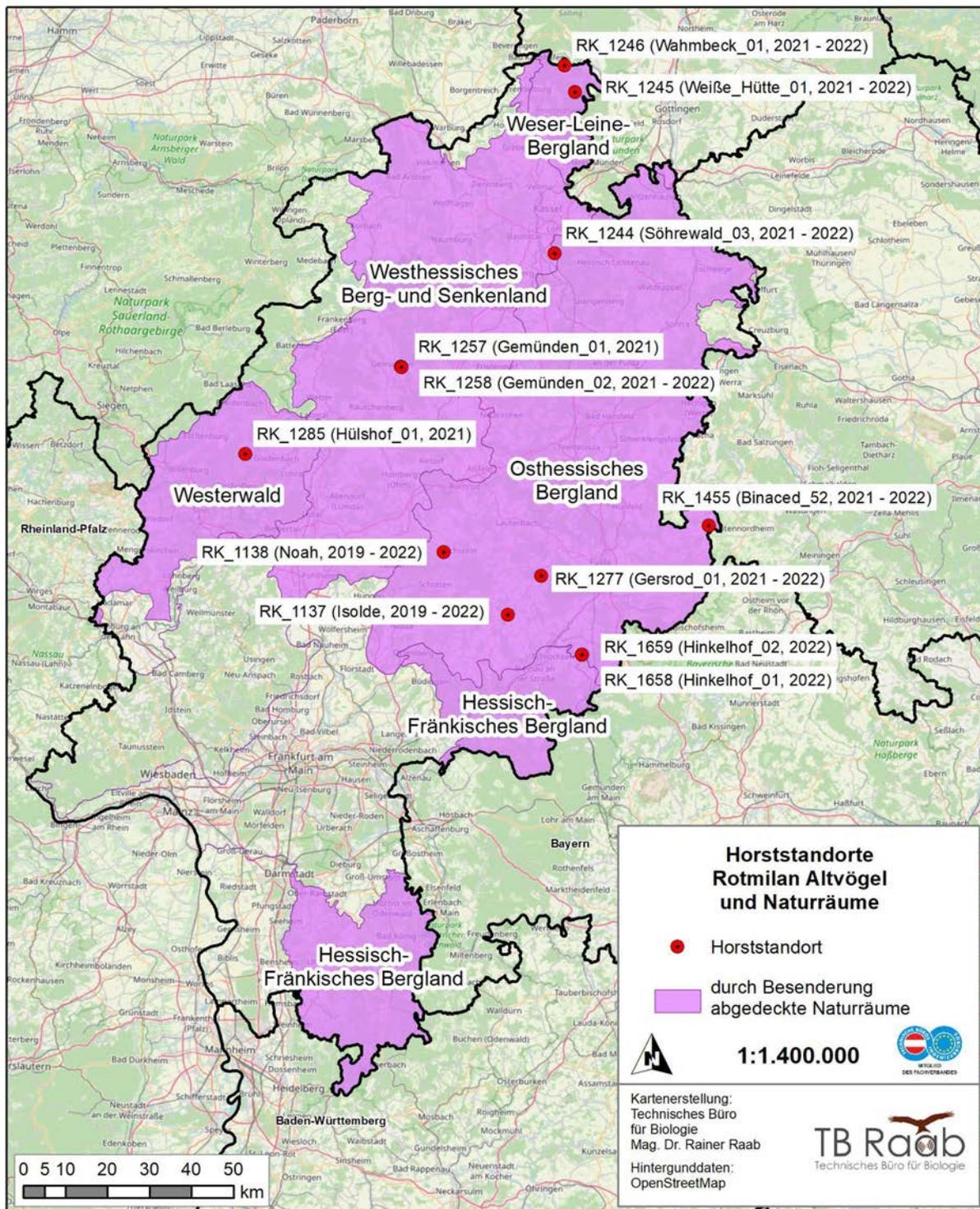
Die Standorte der bestehenden WEA wurden für Hessen und angrenzende Bereiche eingelezen. Sofern vorhanden wurden Angaben zu Nabenhöhe und Rotordurchmesser übernommen. Der Datensatz zu den WEA wurden aus zwei hessischen Quellen ermittelt. Der Datensatz des Digitalen Basis-Landschaftsmodell (BKG) enthält eine genaue Verortung der WEA, aber keine Eigenschaften wie Nabenhöhe und Rotordurchmesser. Diese sind im Datensatz „Länderinformationssystem für Anlagen“ (LIS-A) enthalten, weshalb eine Kombination beider Datensätze erforderlich war. Etwaige Widersprüche dieser Datensätze wurden aufgeklärt. Die so ermittelten 1.125 WEA sind in Abbildung 4 dargestellt. Anhand der räumlichen Verteilung der aktuell in Hessen vorhandenen WEA lässt sich erkennen, dass die Besendertorte einen Großteil der für die Windenergienutzung bedeutsamsten Naturräume Hessens abdecken (siehe Abb. 2).

Bei den beiden nördlichsten sowie dem südlichsten der im Jahr 2021 besenderten Rotmilane und dem zusätzlich in Binaced (Spanien) besenderte Rotmilan, der in Hessen nahe der Grenze zu Thüringen brütete, waren keine hessischen WEA im Umkreis von 6 km vorhanden. Es verblieben somit insgesamt sieben Vögel mit WEA im 6 km Umkreis, wovon bei den Vögeln Gemünden 01 und 02, Hinkelhof 01 und 02, Hülshof 01 und Noah WEA nahe dem 1 km Umkreis zu finden waren.

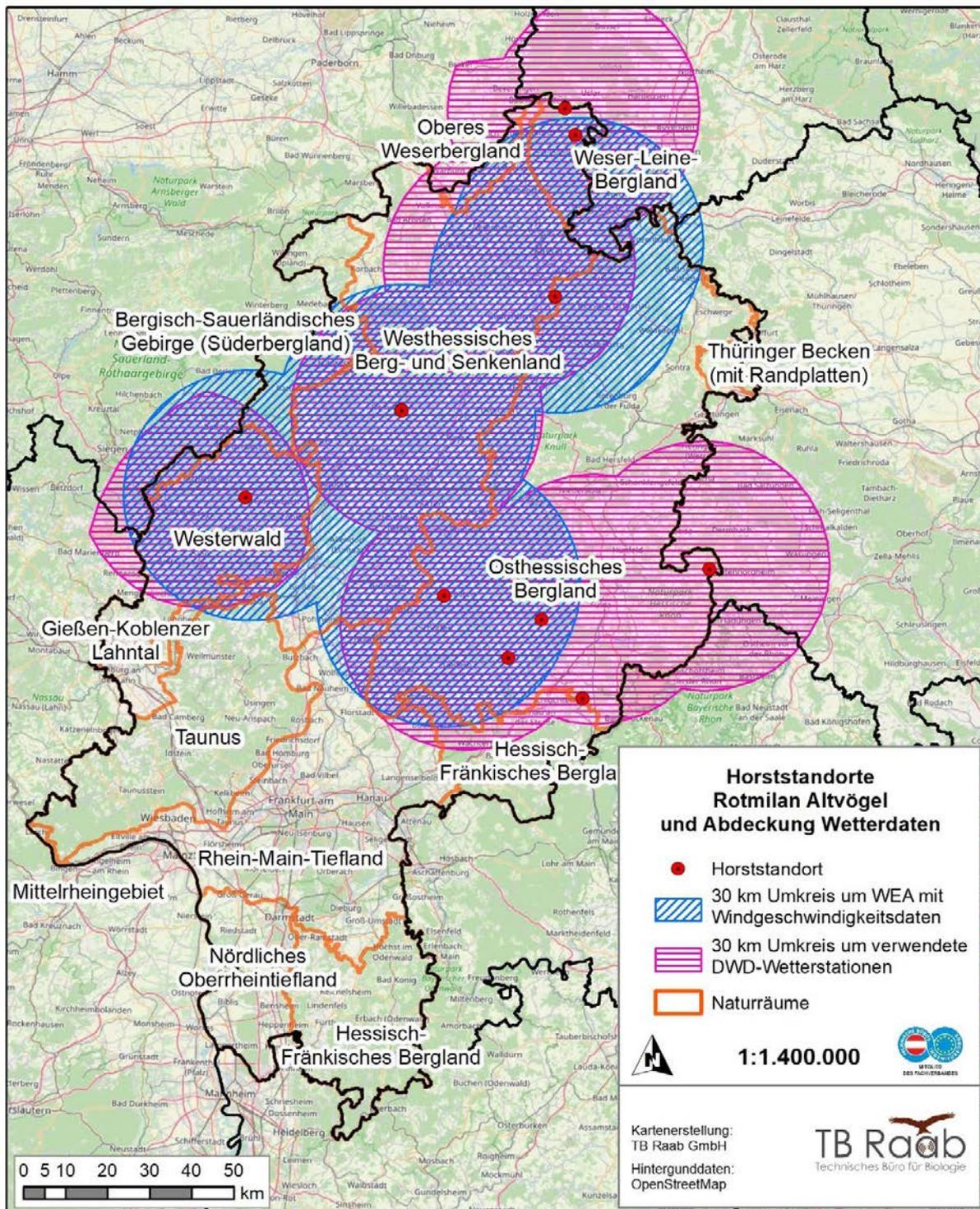
<sup>1</sup> <https://statistik.hessen.de/pressemitteilungen/pm-3-2021-ergebnisse-der-landwirtschaftszaehlung-2020#:~:text=Das%20ist%20%C3%BCber%20ein%20Drittel,Siedlungs%2D%20und%20Verkehrsf%C3%A4che%2>



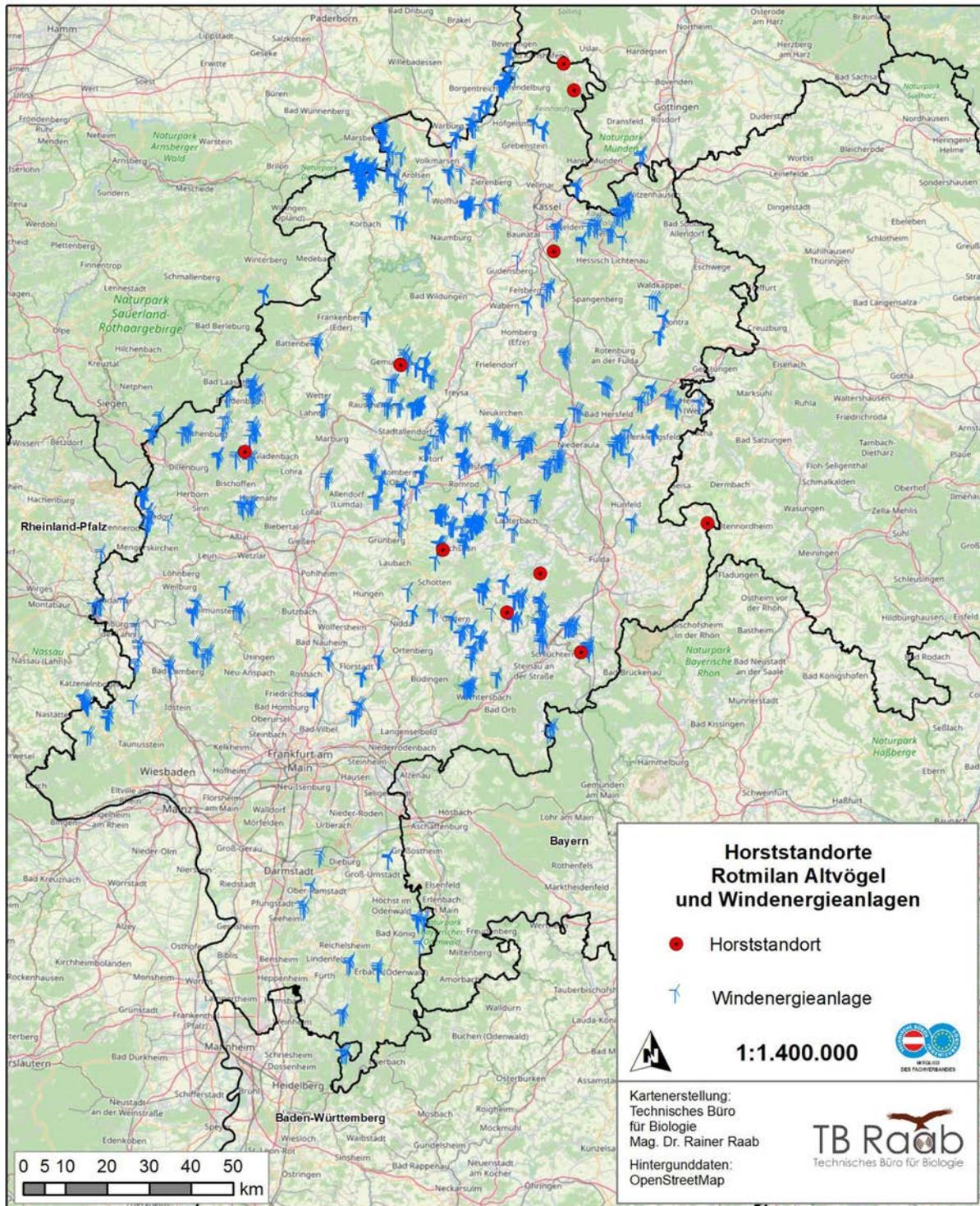
**Abbildung 1:** Fangstandorte der elf in Hessen als Altvögel besenderten Rotmilane, die in die Auswertung einbezogen wurden. Sowohl in Gemünden als auch in Hinkelhof konnten beide Altvögel desselben Horstes besendert werden. Bei zwei der ausgewerteten Vögel handelt es sich um Noah und Isolde aus HEUCK *et al.* (2019), deren bisher nicht ausgewertete Senderdaten für den Zeitraum ab 2019 analysiert wurden. Zwei weitere brütende Rotmilane wurden 2021 in Hessen besendert und sind in der Karte dargestellt, haben aber nicht ausreichend lange gelebt, um für die Auswertung geeignet zu sein (Söhrewald\_01 und Neu\_Eichenberg\_01). Der zwölfte in dieser Studie ausgewertete Vogel Binaced\_52 wurde im Winterquartier in Spanien besendert und brütete ebenfalls in Hessen (siehe Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Darstellung der Horststandorte der im Rahmen dieser Telemetrie-Studie untersuchten Rotmilane und darüber abgedeckte Naturräume Hessens. Das Hessisch-Fränkische Bergland ist ein Landschaftsraum, der über Bayern verbunden ist. Der im Jahr 2022 in Hessen an der Grenze zu Thüringen brütende Rotmilan (Binaced\_52) wurde im Winterquartier in Spanien besendert.



**Abbildung 3:** Abdeckung der zehn Horststandorte der zwölf Sendervögel (zweimal Männchen und Weibchen desselben Brutpaares besendert) durch die Wetterdaten der WEA bzw. des DWD für die verschiedenen Naturräume Hessens. Es wurde nur jene Flächen violett eingefärbt, für die DWD-Daten zu allen verwendeten Parametern aus maximal 30 km Entfernung vorliegen, wobei nicht alle Wetterstationen jeden in dieser Studie betrachteten Parameter lieferten. Exakte Entfernungsangaben zwischen DWD-Stationen und Horst bzw. WEA und Horst liefert Tab. 8.



**Abbildung 4:** Übersicht der räumlichen Verteilung von Sendervögeln und bestehender Windenergie-Anlagen (WEA).

## 3.2 Datengrundlage

### 3.2.1 Satelliten-Telemetrie

#### *Besenderung*

Geplant war die Telemetrie-Untersuchung von mindestens zehn Bruttieren des Rotmilans. Der Brutstandort der Sendertiere sollte möglichst eine Entfernung von maximal 3 km zu bestehenden Anlagenstandorten besitzen. Drei Brutvögel wurden im Auftrag der Windenergie Reinhardswald Verwaltungsgesellschaft mbH besendert, zwei Tiere im Auftrag des Landes Hessen für die gegenständliche Studie, zwei Tiere im Auftrag von iTerra, ein Tier im Auftrag von PNE, ein Tier auf eigene Kosten des TB Raab und drei Tiere über das LIFE EUROKITE Projekt, zwei davon finanziert von der Landes Energie Agentur (LEA). Insgesamt wurden somit zwölf Brutvögel neu besendert. Davon wurden neun brütende Rotmilane im Juni 2021 in Hessen gefangen und besendert. Im Dezember 2021 wurden außerdem weitere Rotmilane in Spanien im Rahmen von LIFE EUROKITE besendert. Dazu wurden zuvor die typischen Überwinterungsgebiete hessischer Rotmilane in Spanien ermittelt, um mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit jene Vögel zu besendern, die nach Hessen zurückkehren und deren Aktivitätsdaten folglich für dieses Projekt genutzt werden können. Hierüber konnte für die vorliegende Untersuchung ein hessischer Brutvogel (RK\_1455) gewonnen werden. Zwei weitere brütende Rotmilane wurden 2022 in Hinkelhof im Rahmen von LIFE EUROKITE mit finanzieller Unterstützung der LEA besendert und konnten für den Zeitraum von 12.6.2022 bis 3.10.2022 ausgewertet werden (siehe Abbildung 1).

Zudem konnten die Daten der zwei noch lebenden und mit funktionierenden Sendern ausgestatteten Vögel Noah und Isolde aus der Studie von HEUCK *et al.* (2019) einbezogen werden, wodurch Daten aus den Jahren 2019 bis 2022 und hierüber zusätzlich bis zu acht weitere Brutsaisons für die Auswertung zur Verfügung standen. Für beide Vögel standen größere Mengen an Datenpunkten auch innerhalb vorhandener Windparks zur Verfügung (siehe Abbildung 5 und Abbildung 6). Im Ergebnis konnten somit trotz der drei Todesfälle (zwei davon so früh, dass die Daten nicht in der Studie ausgewertet wurden) insgesamt zwölf brütende Rotmilane (Abbildung 5 bis Abbildung 16) ausgewertet werden (siehe Tabelle 1). Auffällig war die aus Tabelle 2 ersichtliche hohe Mortalitätsrate der besenderten Jungvögel der in dieser Studie untersuchten Brutvögel durch Prädation.

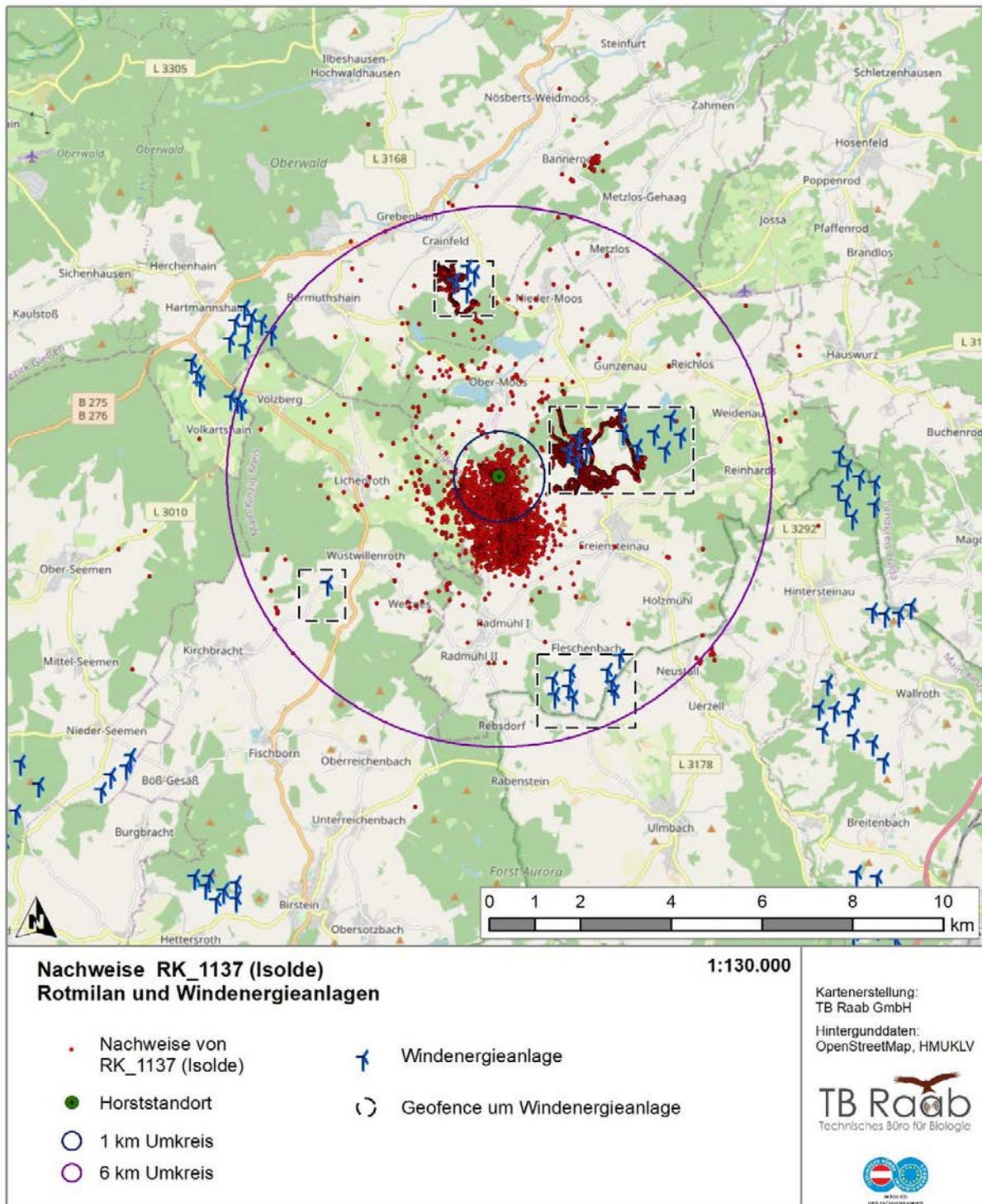
Beginnend mit Abbildung 5 werden bis zu Abbildung 16 die Telemetriedaten der besenderten Brutvögel abgebildet, welche die Datengrundlage für diese Studie darstellen. Es werden zudem die Geofences rund um die einzelnen Windenergieanlagen dargestellt. Innerhalb der Geofences wurde die Senderfrequenz auf eine sekundliche Taktung erhöht, um sicherzustellen, dass Flugbewegungen möglichst genau aufgezeichnet wurden.

**Tabelle 1:** Übersicht über den Bruterfolg der zwölf betrachteten Individuen im Zeitraum von 2019 bis 2022.

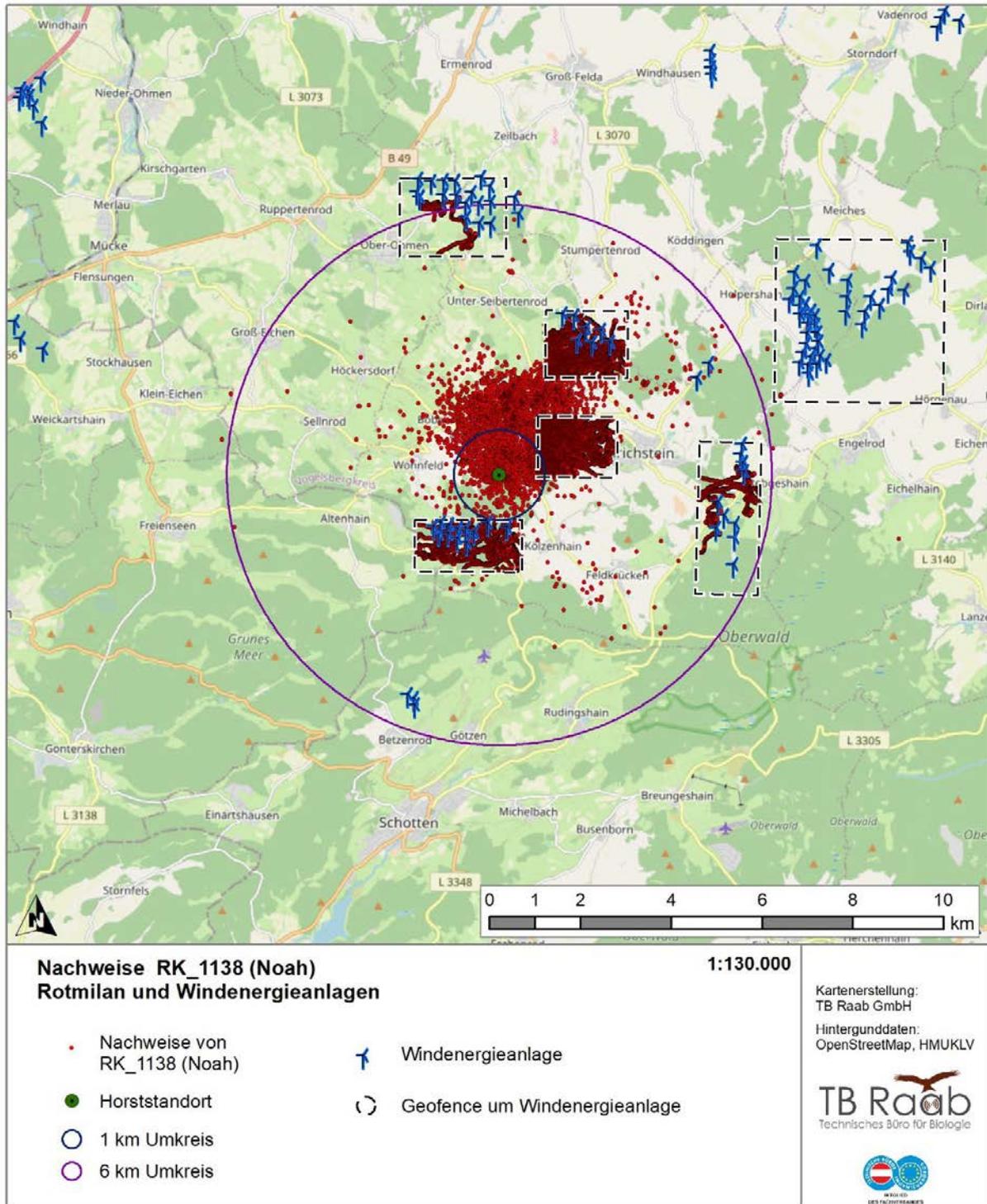
Brutvogel Name	Brutvogel Code	Brut erfolgreich	Jungenaufzucht erfolgreich	Anmerkung	Nachwuchs verstorben in
<b>2019</b>					
Isolde	RK_1137	ja	ja	mind. 1 Juv., nicht besendert	
Noah	RK_1138	ja	ja	mind. 1 Juv., nicht besendert	
<b>2020</b>					
Isolde	RK_1137	ja	ja	mind. 1 Juv., nicht besendert	
Noah	RK_1138	ja	ja	mind. 1 Juv., nicht besendert	
<b>2021</b>					
Isolde	RK_1137	ja	ja	mind. 1 Juv., nicht besendert	
Noah	RK_1138	ja	tlw.	Jungenaufzucht bis 10.6.	Aufzuchtzeit
Söhrewald_03	RK_1244	ja	ja	2 Juv. (nicht besendert, da zu klein)	
Weißer_Hütte_01	RK_1245	ja	ja	1 Juv. besendert (RK_1251, am 2.8.2021 gestorben)	Nachbrutzeit
Wahmbeck_01	RK_1246	ja	tlw.	1 Juv. besendert (RK_1250, am 22.6.2022 gestorben)	Aufzuchtzeit
Gemünden_01	RK_1257	ja	ja	mind. 1 Juv., nicht besendert	
Gemünden_02	RK_1258	ja	ja	mind. 1 Juv., nicht besendert	
Gersrod_01	RK_1277	ja	ja	mind. 1 Juv., nicht besendert, da Wildgatter	
Hülshof_01	RK_1285	ja	tlw.	mind. 1 Juv., nicht besendert, Jungenaufzucht bis 4.7.	Nachbrutzeit
<b>2022</b>					
Isolde	RK_1137	ja	ja	2 Juv. besendert (RK_1714 & RK_1715, leben noch)	
Noah	RK_1138	ja	tlw.	Jungenaufzucht bis 14.6.	Aufzuchtzeit
Söhrewald_03	RK_1244	ja	tlw.	Jungenaufzucht bis 25.6. (Brutversuche an zwei verschiedenen Plätzen)	Aufzuchtzeit
Weißer_Hütte_01	RK_1245	ja	tlw.	Jungenaufzucht bis 6.6.	Aufzuchtzeit
Wahmbeck_01	RK_1246	ja	tlw.	1 Juv. besendert (RK_1719, gestorben am 28.6.2022)	Aufzuchtzeit
Gemünden_02	RK_1258	ja	ja	1 Juv. besendert (RK_1718, gestorben am 7.8.2022)	Nachbrutzeit
Gersrod_01	RK_1277	ja	ja	mind. 1 Juv., nicht besendert, da Wildgatter	
Binaced_52	RK_1455	ja	nein	2 Juv. besendert: RK_1716, gestorben am 8.7.2022 RK_1717, gestorben am 25.6.2022	Nachbrutzeit
Hinkelhof_01	RK_1658	ja	Ja	1 Juv. besendert (RK_1870) und erfolgreich ausgeflogen, 2. Juv. wurde vor Besenderung prädiert	
Hinkelhof_02	RK_1659	ja	ja	1 Juv. besendert (RK_1870) und erfolgreich ausgeflogen, 2. Juv. wurde vor Besenderung prädiert	

**Tabelle 2:** Übersicht über die Todesursachen besonderer Jungvögel der in dieser Studie untersuchten Brutvögel.

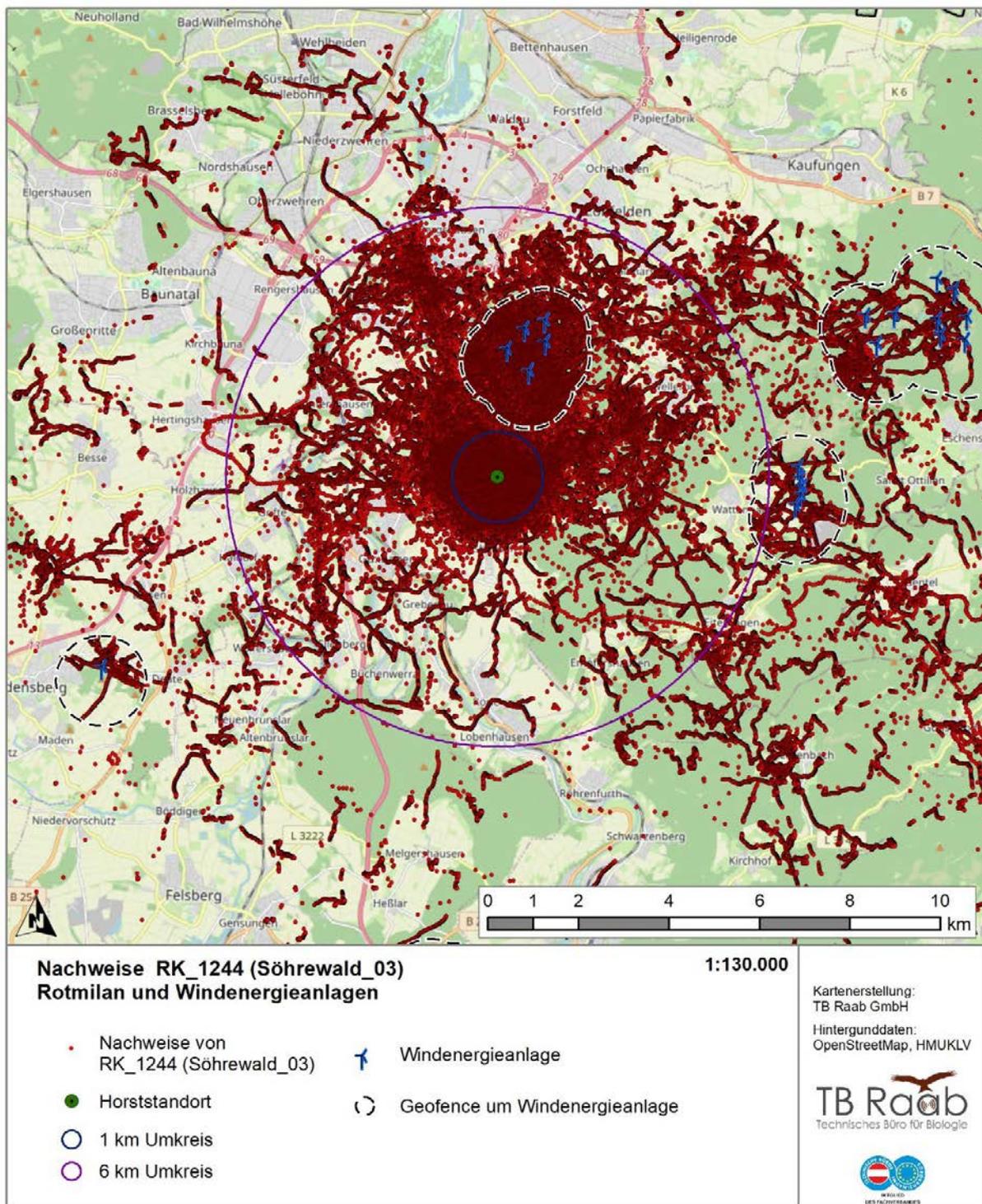
Jungvogel Name	Jungvogel Code	Eltern	Todeszeit punkt	Todesursache	Kollision mit WEA ausgeschlossen
<b>Geboren 2021</b>					
Wahmbeck_02	RK_1250	Wahmbeck_01	22.6.2022	Unbekannt	ja
Weißer_Hütte_02	RK_1251	Weißer_Hütte_01	2.8.2021	Trauma, Kollision im Straßenverkehr	ja
<b>Geboren 2022</b>					
Tann_01	RK_1716	Binaced_52	8.7.2022	Prädation	ja
Tann_02	RK_1717	Binaced_52	25.6.2022	Prädation	ja
Gemünden_03	RK_1718	Gemünden_02	7.8.2022	Prädation	ja
Wahmbeck_03	RK_1719	Wahmbeck_01	28.6.2022	Prädation	ja



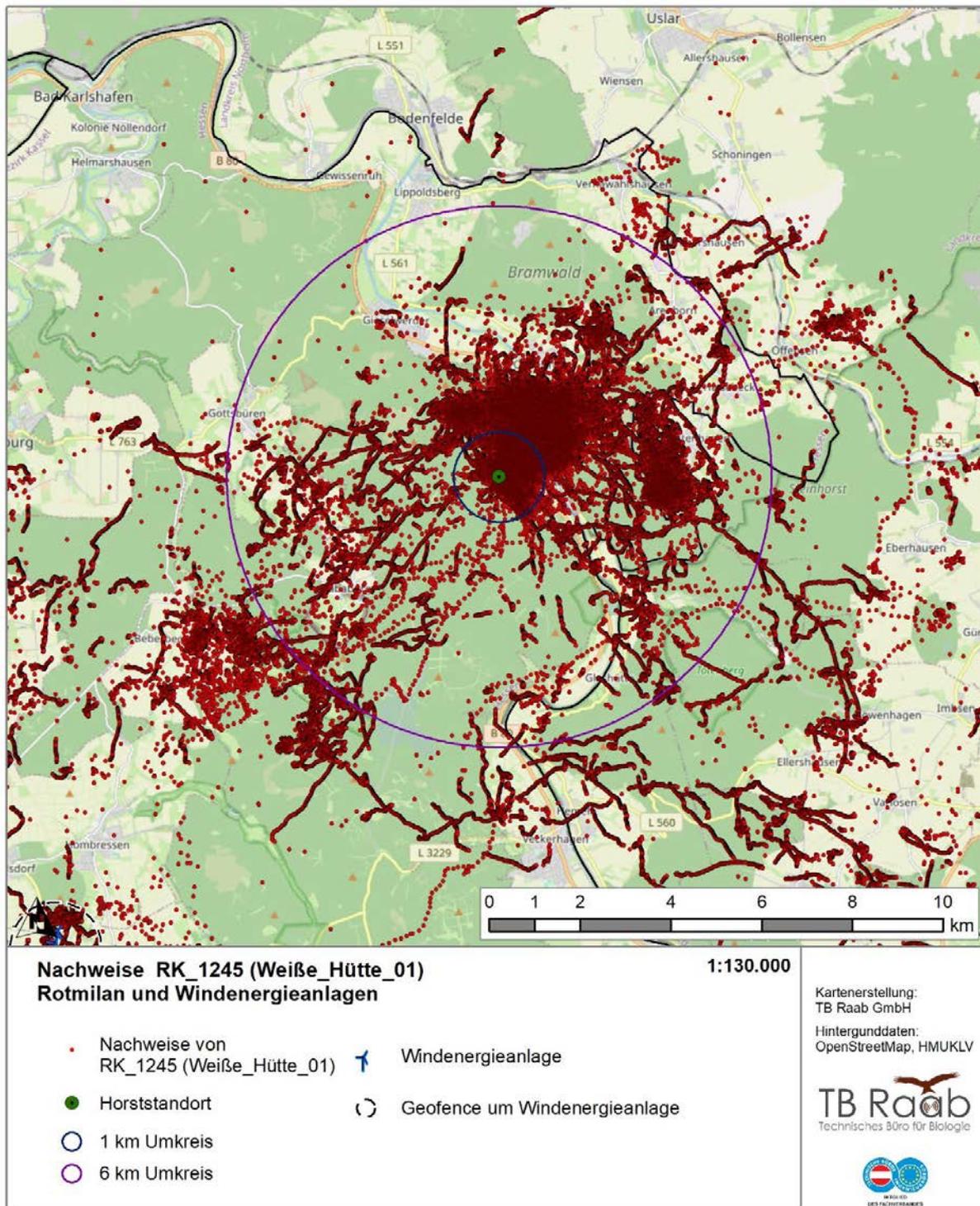
**Abbildung 5:** Vorliegende Ortungspunkte von Februar 2019 bis Ende September 2022 des Sendervogels Isolde für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA.



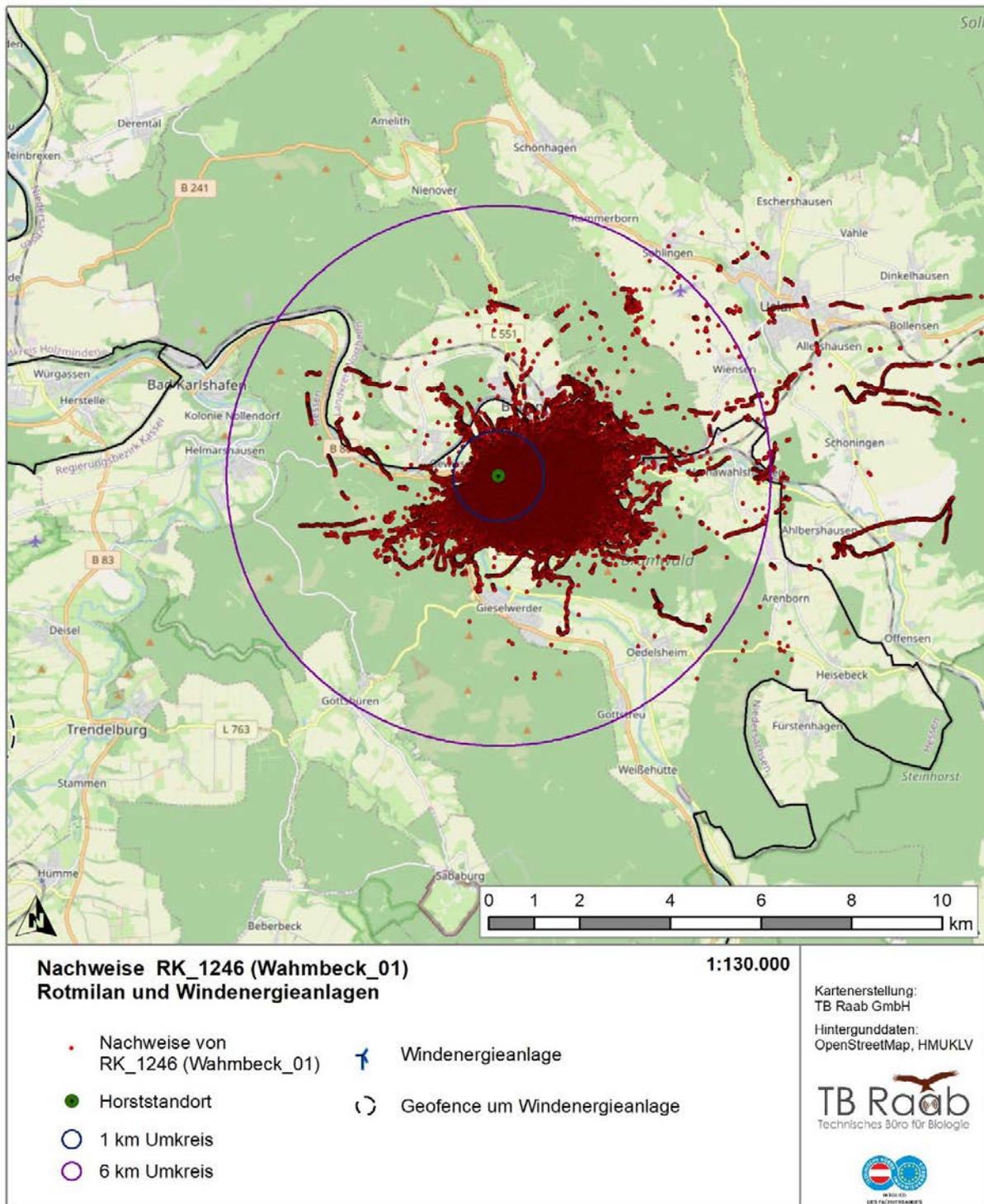
**Abbildung 6:** Vorliegende Ortungspunkte von Januar 2019 bis Ende September 2022 des Sendervogels Noah für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA. Anmerkung: Es wurde ein Geofence ohne WEA angelegt, der bereits Bestandteil der Ausgangsuntersuchung war.



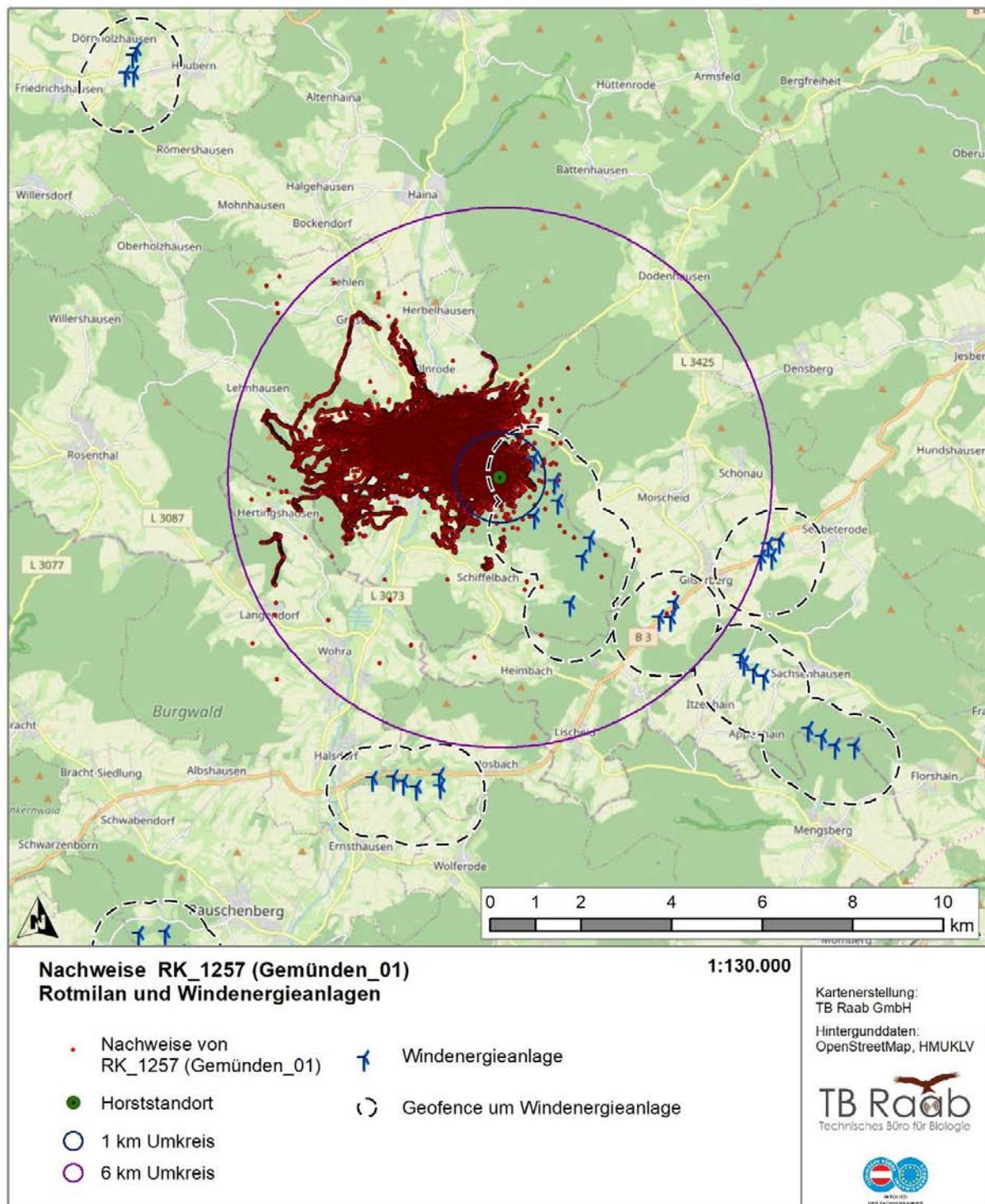
**Abbildung 7:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Ende September 2022 des Sendervogels Söhrewald\_03 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA.



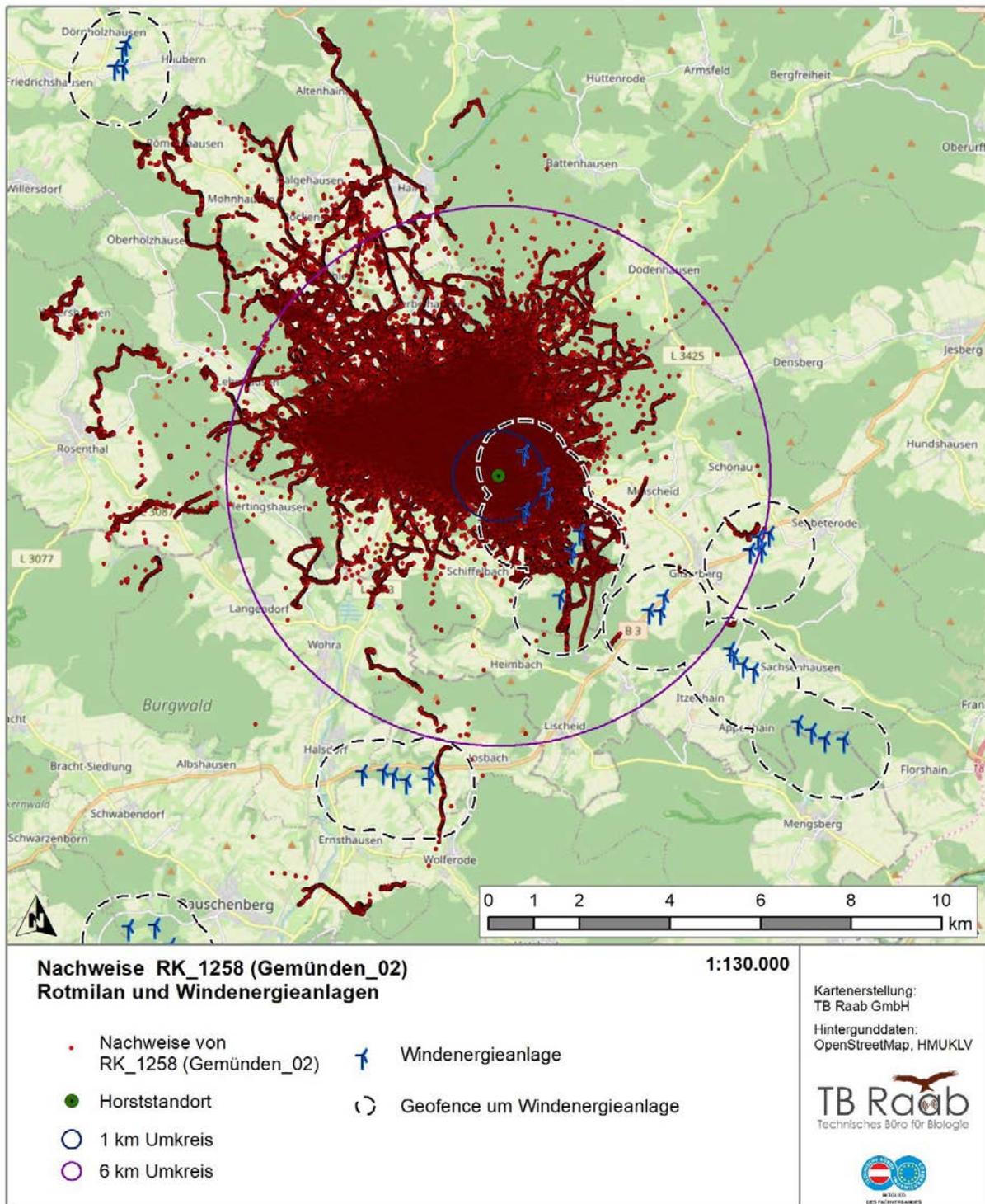
**Abbildung 8:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Ende September 2022 des Sendervogels Weiße\_Hütte\_01 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA (in diesem Fall nicht vorhanden).



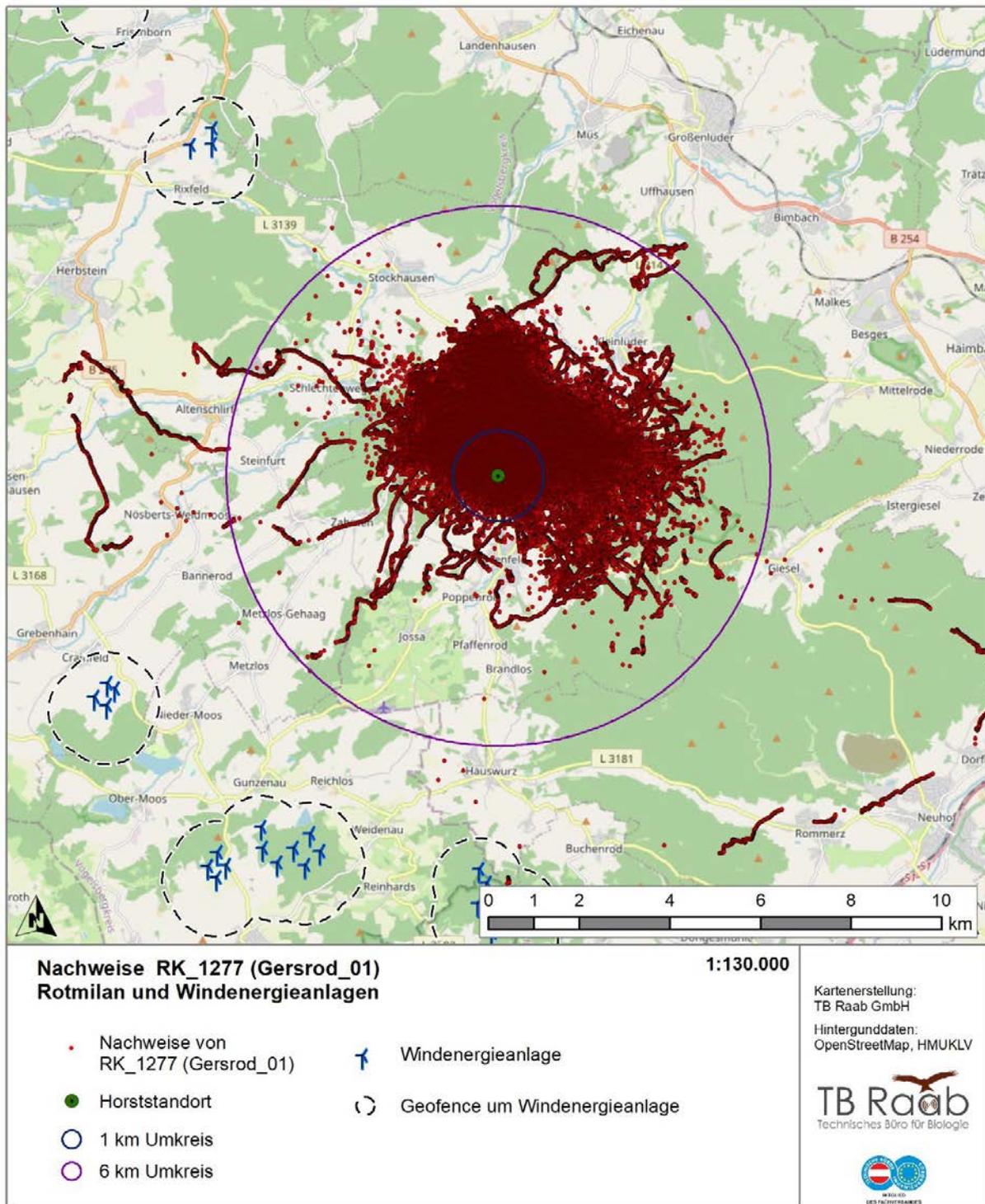
**Abbildung 9:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Anfang September 2022 des Sendervogels Wahmbeck\_01 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA (in diesem Fall nicht vorhanden).



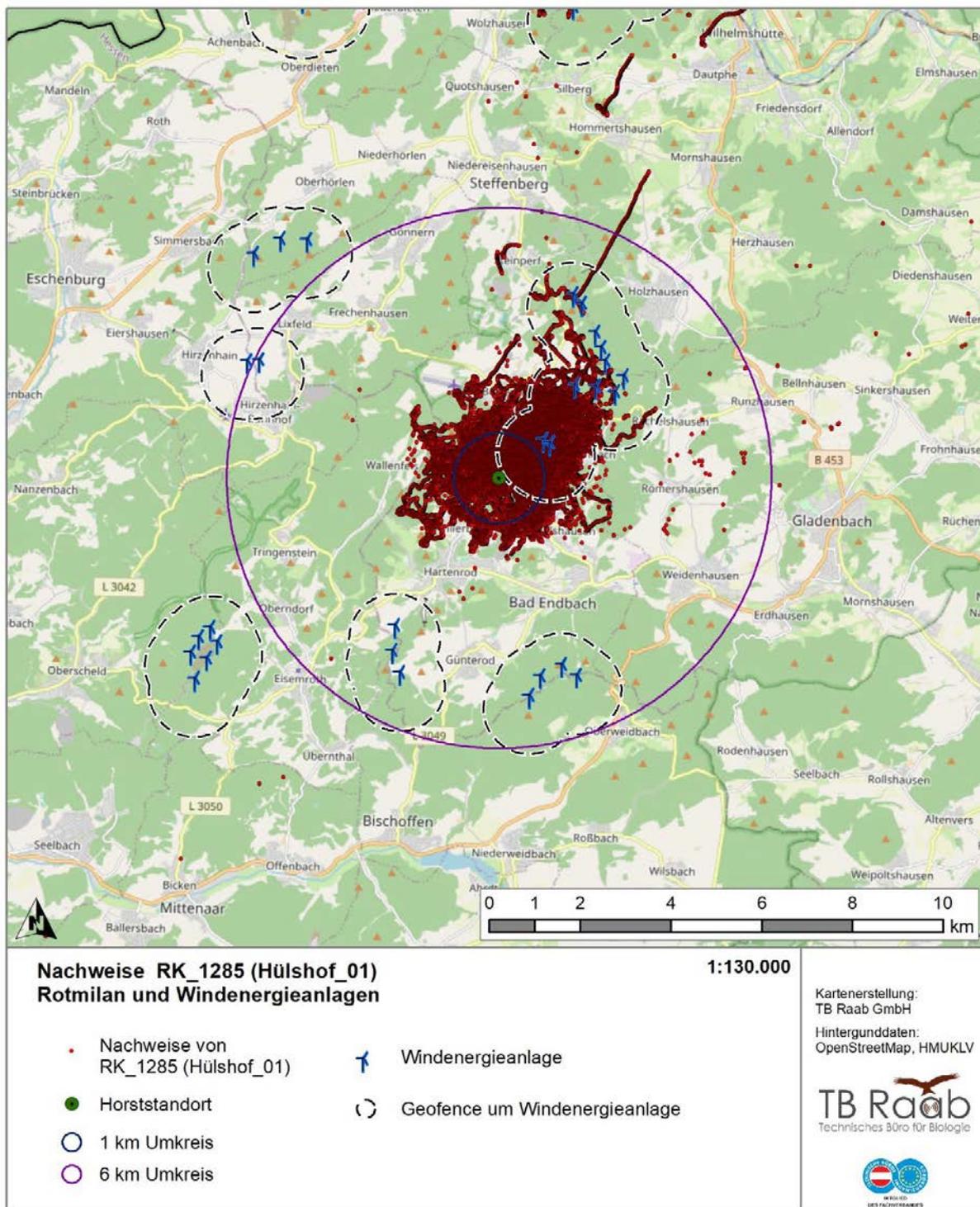
**Abbildung 10:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Mitte August 2021 des Sendervogels Gemünden\_01 für die Phasen Aufzuchtzeit 20. Mai bis 30. Juni, und Nachbrutzeit 1. Juli bis 30. September gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA.



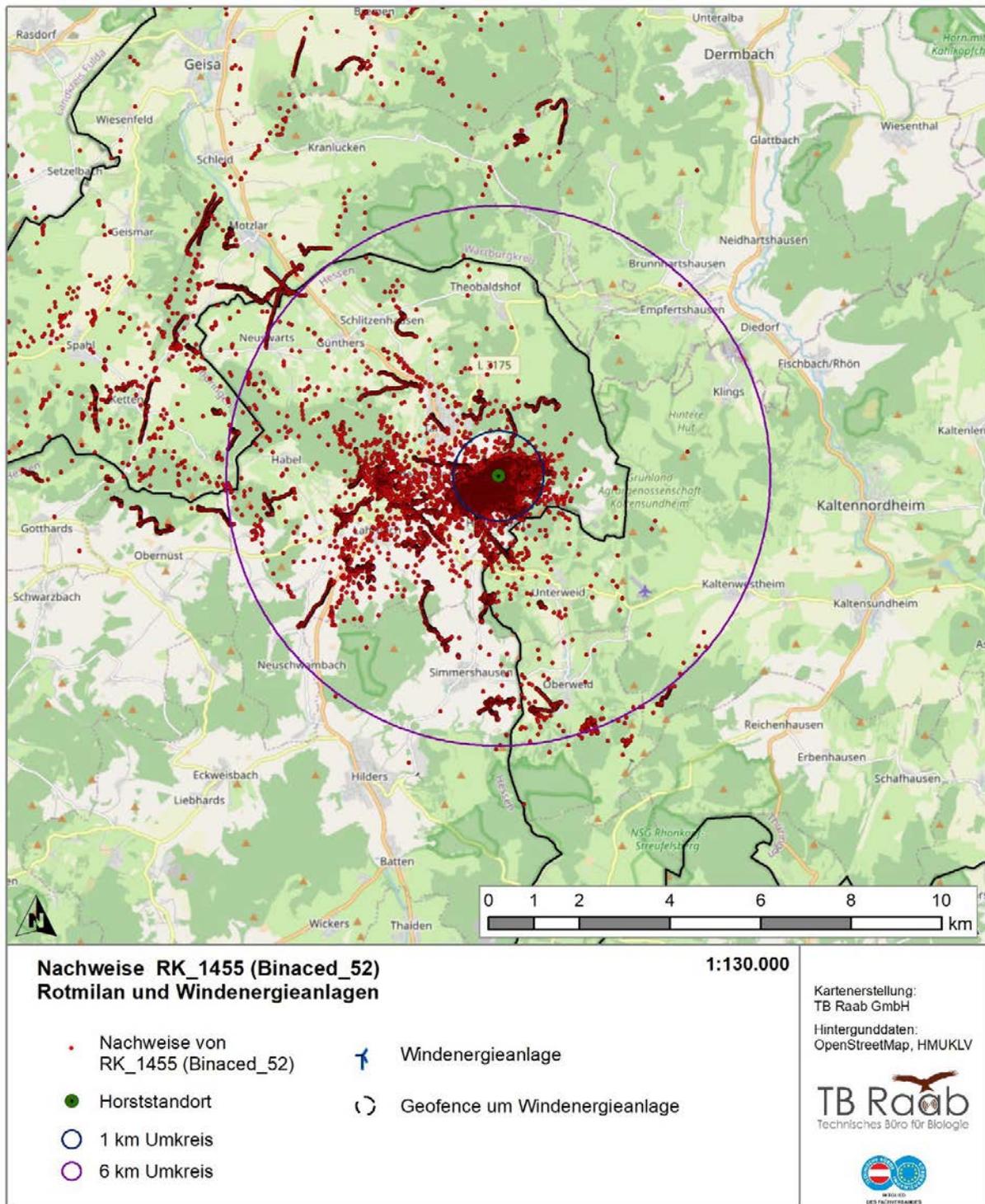
**Abbildung 11:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Ende September 2022 des Sendervogels Gemünden\_02 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA.



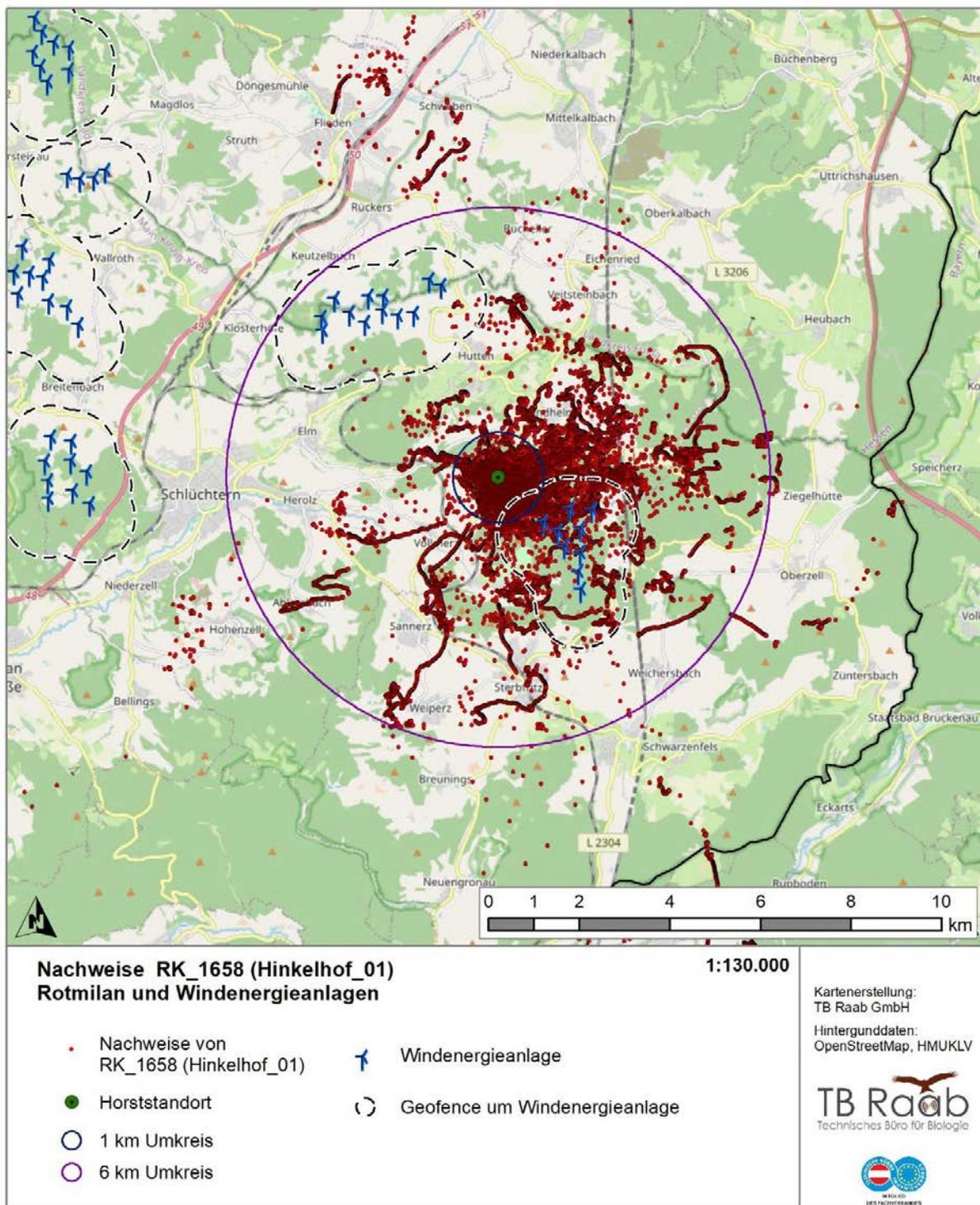
**Abbildung 12:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Ende September 2022 des Sendervogels Gersrod\_01 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA.



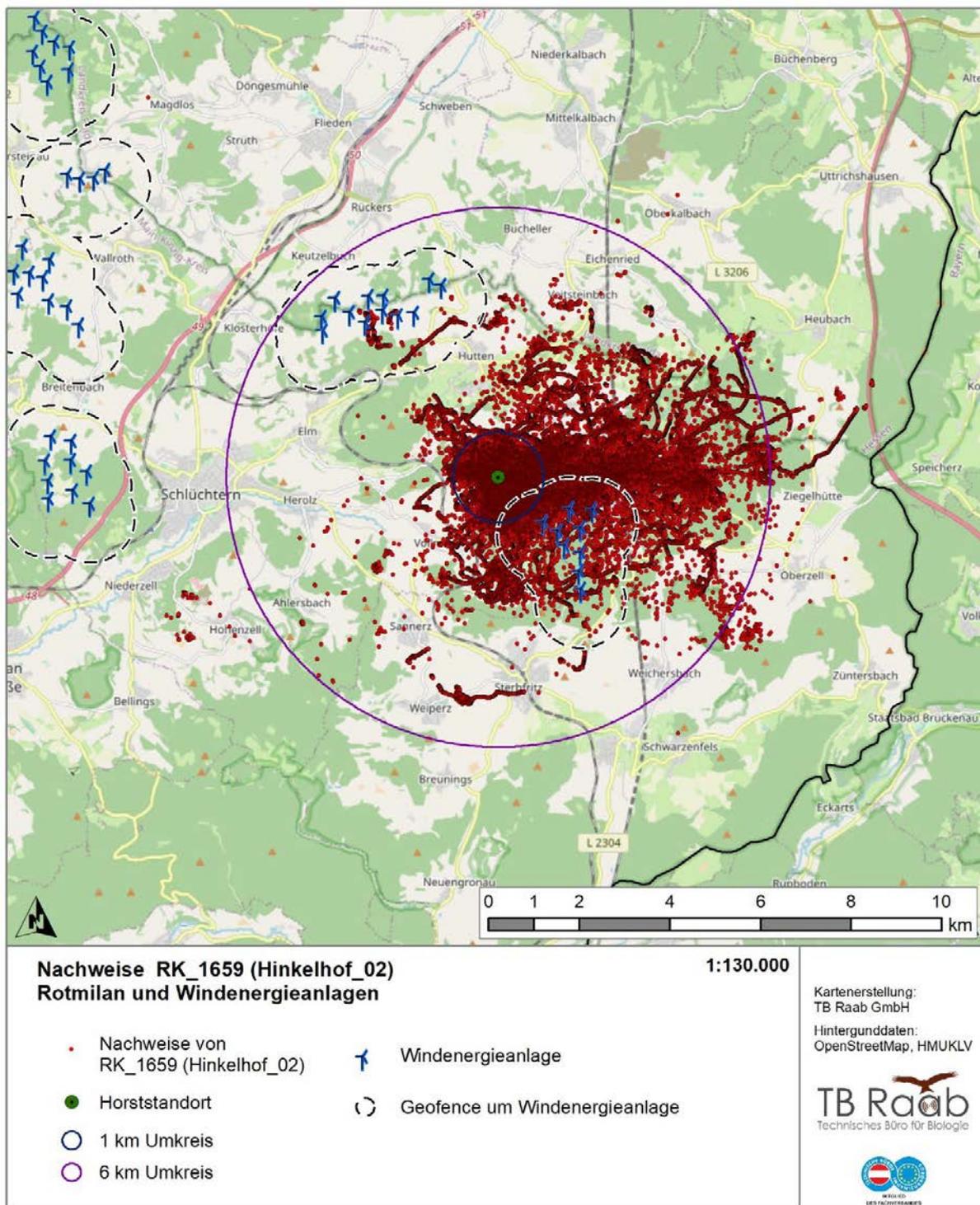
**Abbildung 13:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2021 bis Mitte Januar 2022 des Sendervogels Hülshof\_01 für die Phasen Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt sowie im Umfeld vorhandene WEA.



**Abbildung 14:** Vorliegende Ortungspunkte von Dezember 2021 bis Ende September 2022 des Sendervogels Binaced\_52 sind für die Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt, ebenso im Umfeld vorhandene WEA (in diesem Fall nicht vorhanden).



**Abbildung 15:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2022 bis Ende September 2022 des Sendervogels Hinkelhof\_01 sind für die Aufzuchtzeit (20. Mai bis 30. Juni) und Nachbrutzeit (1. Juli bis 30. September) gemeinsam dargestellt, ebenso im Umfeld vorhandene WEA.



**Abbildung 16:** Vorliegende Ortungspunkte von Juni 2022 bis Ende September 2022 des Sendervogels Hinkelhof\_02 sind für die Balzzeit, Brutzeit, Aufzuchtzeit, Nachbrutzeit (15. März bis 30. September) gemeinsam dargestellt, ebenso im Umfeld vorhandene WEA.

### *Sendertyp*

Die Besenderung von zehn adulten Rotmilanen im Jahr 2021 und 2022 erfolgte unter Verwendung von solarbetriebenen Sendern der Firma Anitra (<https://anitracking.com/>). Hierbei wurde der Sendertyp „M-8s-elevated“ verwendet. HEUCK *et al.* (2019) setzten den Sendertyp OT-20B-2GC von Ornitela für die Besenderung ein, so auch für Noah und Isolde. Diese beiden Vögel wurden für den Zeitraum von 2016 bis 2018 bei HEUCK *et al.* (2019) ausgewertet und wurden für die Jahre 2019 bis 2022 auch in der vorliegenden Studie herangezogen. Beide Sender liefern qualitativ vergleichbare Ergebnisse, wobei sich Dank der großen Solarpaneele die Anitra Sender für die Erfassung von Sekundendaten als besonders leistungsstark erwiesen. Dies ermöglichte die Erfassung von umfangreichen Sekundendaten zur Analyse des Flugverhaltens, insbesondere im Nahbereich von WEA, ergänzend zu dem 5 Minuten-Ortungsintervall. Die Verortung erfolgt bei beiden Sendertypen über ein GPS-Modul, diese verfügen zudem u.a. über Sensoren zur Luftdruck- und Beschleunigungsmessung. Für beide Sendertypen ist eine automatische Weiterleitung der Senderdaten auf die Movebank eingerichtet worden ([www.movebank.org](http://www.movebank.org)). Die Movebank ist eine freie Online-Datenbank zur Tierverfolgung, bereitgestellt vom Max-Planck-Institute of Animal Behavior. Zudem wurden die Positions- und Messdaten auf der Anitra-Plattform und als lokale Kopie in Form einer PostGIS-Datenbank gespeichert.

### *Sendereinstellungen*

Im Unterschied zu Ornitela ermöglichte die Anitra-Software die räumliche Steuerung der Taktrate bei der Datenaufnahme anhand von einer beliebig großen Anzahl an Geofences (in diesem Fall über den Abstand zu als Punktkoordinaten übermittelten WEA). So konnten anstelle von definierten größeren rechteckigen Geofences (räumlich festgelegte Bereiche um bestimmte WEA, in denen eine erhöhte Ortungsfrequenz erfolgen soll) alle WEA im Aktionsraum des Vogels einzeln zur Steuerung der Sendertaktung einbezogen werden. Die Anitra-Software ermöglichte es sowohl aufgrund der Entfernung zur WEA als auch aufgrund von der Geschwindigkeit des Vogels eine unterschiedliche Taktung zu veranlassen. Folgende Einstellung wurden für die Erfassungsperiode 2021 vorgenommen:

- Außerhalb des 1.000 m Radius von WEA: prinzipiell 5 min Taktung, sekundliche Taktung bei Geschwindigkeit größer 5 km/h und einem Akku-Level über 75 %,
- Innerhalb des 1.000 m Radius von WEA: prinzipiell 5 min Taktung, sekundliche Taktung bei Geschwindigkeiten größer als 5 km/h und einem Akku-Level über 50 %.

Anzumerken ist hier, dass die Schwelle für die Aufzeichnung von Sekundendaten mit 5 km/h bewusst niedriger angesetzt ist als die 10 km/h Grenze für die Bestimmung der Flugaktivität aus 5 Minuten-Intervallen. Grund dafür ist, dass mit den Sekundendaten Flüge möglichst vollständig erfasst werden sollen, auch wenn der Vogel sich gerade in einem Richtungswechsel befindet, bei dem seine Geschwindigkeit in der Luft unter 10 km/h sinken kann.

Zur Erfassung des Flugverhaltens im Nahbereich von Windenergieanlagen wurden für die beiden verwendeten Sendertypen Geofences festgelegt (in der Regel Windpark-Bereiche, in denen eine automatisierte Erhöhung der Taktfrequenz erfolgt). Für die Erfassungsperiode 2022 ist in Abstimmung mit dem Auftraggeber eine Anpassung dieser Einstellung erfolgt, um die Zuverlässigkeit der Datenlieferung im Nahbereich von WEA zu gewährleisten, ohne dabei

die Langlebigkeit der Sender zu gefährden. Hierzu wurden nach intensivem Austausch mit dem Hersteller folgende Randbedingungen formuliert:

- Die Akkus dürfen nicht über einen längeren Zeitraum weitgehend vollgeladen bleiben, da dies zu einer Verringerung ihrer Lebensdauer führt. Es bedarf daher weiterhin einer Obergrenze, ab der auch außerhalb des 1.000 m Radius von WEA ein Übergang in eine Sekundentaktung erfolgt.
- Andererseits soll eine Sekundentaktung außerhalb von 1.000 m um WEA nicht dazu führen, dass der Ladezustand zu sehr absinkt und keine Sekundentaktung mehr möglich ist, wenn der Vogel in den 1.000 m Radius um die WEA hineinfliegt. Zur Sicherstellung einer Sekundentaktung innerhalb des 1.000 m Radius um WEA soll daher das dafür vorgesehene Fenster des Ladezustands vergrößert werden.
- Eine Veränderung der Sendertaktung auf beispielsweise 10 oder 5 Sekunden-Intervalle außerhalb der 1.000 m Radien um WEA würde nicht zu einer proportionalen Energieeinsparung führen, da das GPS-Modul bis zu einem Intervall von 15 Sekunden durchgängig Strom verbraucht.

Auf dieser Grundlage wurde für die Erfassungsperiode 2022 folgende Einstellung der Sendertaktung vorgesehen:

- Außerhalb des 1.000 m Radius von WEA: prinzipiell 5 min Taktung, sekundliche Taktung bei Geschwindigkeit größer 5 km/h und einem Akku-Level über 85 %,
- Innerhalb des 1.000 m Radius von WEA: prinzipiell 5 min Taktung, sekundliche Taktung bei Geschwindigkeiten größer als 5 km/h und einem Akku-Level über 40 %.

Dies entsprach annähernd den Sendereinstellungen von HEUCK *et al.* (2019). Dort erfolgte bei einem Ladezustand von über 75 % eine 5 min-Taktung und bei einem Ladezustand von über 50 % eine 20 min-Taktung. Im Geofencebereich (Windparknahbereich) erfolgte die Aufnahme in Sekundentaktung, sofern der Ladezustand über 50 % lag (siehe Tabelle 3).

**Tabelle 3:** Einstellungen der Sendertaktung bei HEUCK *et al.* (2019).

Ladezustand der Sender [%]	Ortungsintervall [min.]	Geofence-Aufnahme
75 – 100 %	5	Ja
50 – 75 %	20	Ja
25 – 50 %	120	Nein
0 – 25 %	480	Nein

Zur Herstellung der Vergleichbarkeit werden grundsätzlich für alle Auswertungen die gleichen Sendertaktungen wie bei HEUCK *et al.* (2019) verwendet (i.d.R. 5 min-Datensatz, abgesehen vom Flugverhalten im WEA-Nahbereich oder bei dezidiertem Verwendung von GPS-Sekundendaten). Auch wurde geprüft, inwieweit die größere Menge an Sekundendaten innerhalb und außerhalb von Windparks für zusätzliche oder erweiterte Auswertungen verwendet werden kann. Dabei hat sich gezeigt, dass die größere Menge an Sekundendaten in Kombination mit den Geofences um WEA zu einer größeren Anzahl an dokumentierten Flugbewegungen im Nahbereich von WEA führt. Hierdurch und durch die Bereitstellung von Daten zu Rotorstellung und Rotordrehzahl durch einige Betreiberfirmen war es auch möglich, diese Flugbewegungen vertiefend im Hinblick auf das Ausweichverhalten gegenüber dem Rotor zu analysieren.

Bei HEUCK *et al.* (2019) wurde die Sekundentaktung innerhalb von statischen rechteckigen Geofences ausgelöst, die für einzelne Windparks festgelegt werden mussten (Abbildung 5 und Abbildung 6). Bei der Anitra Software konnte der konkrete Abstand des besenderten Vogels zur Windenergie-Anlage berücksichtigt werden. Somit war eine genauere Steuerung der Lage des Sekundenbursts mit der Anitra Software möglich und es konnte jede vorhandene WEA für die Auslösung des Sekundenbursts verwendet werden (vgl. Abbildung 7 bis Abbildung 16).

#### *Senderdaten*

Die insgesamt zwölf auszuwertenden Sendervögel (siehe Abbildung 1 bzw. Tabelle 4) setzen sich aus fünf Männchen sowie sechs Weibchen zusammen. Für den in Spanien besenderten hessischen Brutvogel konnte das Geschlecht nicht bestimmt werden. Aufgrund des Verhaltens, das aus den Telemetriedaten ersichtlich war, war zu vermuten, dass es sich um ein Weibchen handelte. In geschlechtsspezifische Auswertungen wurde der Vogel dennoch mangels Sicherheit dieser Annahme nicht einbezogen. Insgesamt lagen von den zwölf betrachteten Individuen 5.303.512 Ortungspunkte vor, ein Großteil davon mit rund 3,7 Millionen Datensätzen entstammt dem Jahr 2022 (Tabelle 5).

Ausgewertet wurden die Daten für den Zeitraum von Juni 2021 bis Oktober 2022, wobei nicht jeder Vogel den gesamten Zeitraum abdeckt und je nach Auswertung eine weitere Eingrenzung der verwendeten Daten erforderlich war (siehe Tabelle 6). Die Flugaktivitäten der besenderten und in Hessen brütenden Tiere im Nahbereich des Horstes wurden hierbei, wo im Einzelfall erforderlich, nicht nur innerhalb der Grenzen von Hessen, sondern auch für angrenzende Bundesländer ausgewertet. Die Auswertungen erfolgten so weit wie möglich sowohl für den Gesamtzeitraum als auch getrennt für die Balz-, Brut-, Aufzucht- und Nachbrutzeit entsprechend der Vorgehensweise von HEUCK *et al.* (2019).

#### *Methode der Aggregation auf 5 Minuten-Intervalle*

Für die 5 Minuten-Daten wurde jede Stunde in 5 Minuten-Intervalle unterteilt. Falls in einem dieser Intervalle ein Flugpunkt aufgezeichnet wurde, wurde der erste Punkt für die Auswertung herangezogen.

**Tabelle 4:** Übersicht der für die Auswertung herangezogenen besenderten Rotmilane. Die zwei im Jahr 2021 besenderten Rotmilane, die zu früh für eine Auswertung verstorben waren, sind nicht angeführt. Beim Rotmilan Hülshof\_01 lag ein Senderausfall vor (Stand 07.06.2024). Mortalität kann daher aktuell nicht zweifelsfrei ausgeschlossen werden, wobei zumindest eine Kollision mit WEA aufgrund ihres Fehlens am Ort des Senderausfalls äußerst unwahrscheinlich ist. Die Vögel der grau eingefärbten Spalten wurden aus der Studie von HEUCK *et al.* (2019) übernommen.

\* Für den in Spanien besenderten hessischen Brutvogel (Binaced\_52) konnte das Geschlecht nicht bestimmt werden. Die Aktionsraumgröße deutet auf ein Weibchen mit Bruterfolg im Jahr 2022 hin, da während der Brutzeit ein sehr kleiner Aktionsraum genutzt wurde (5 ha), welcher während der Aufzuchtzeit leicht anstieg (33 ha) und die Größe des Aktionsraums mit Versterben der beiden Jungvögel (25.6.2022, 8.7.2022) deutlich zunahm.

Name	Code	Geschlecht	Status (Stand 24.10.2022)	Besenderungs- datum	Besenderungs- ort	Letzter Datensatz
Tristan	RK_1136	Männlich	Tot	22.06.2016	Deutschland	30.01.2017
Ronja	RK_1139	Weiblich	Tot	20.06.2016	Deutschland	01.07.2016
Neptun	RK_1140	Männlich	Tot	28.06.2016	Deutschland	22.10.2017
Max	RK_1141	Männlich	Tot	23.06.2016	Deutschland	07.03.2020
Isolde	RK_1137	Weiblich	lebend	22.06.2016	Deutschland	02.10.2022
Noah	RK_1138	Männlich	lebend	22.06.2016	Deutschland	02.10.2022
Söhrewald_03	RK_1244	Weiblich	lebend	11.06.2021	Deutschland	03.10.2022
Weißer_Hütte_01	RK_1245	Weiblich	lebend	12.06.2021	Deutschland	02.10.2022
Wahmbeck_01	RK_1246	Männlich	lebend	12.06.2021	Deutschland	03.09.2022
Gemünden_01	RK_1257	Weiblich	Tot (Prädation)	15.06.2021	Deutschland	17.08.2021
Gemünden_02	RK_1258	Männlich	lebend	15.06.2021	Deutschland	02.10.2022
Gersrod_01	RK_1277	Männlich	lebend	22.06.2021	Deutschland	02.10.2022
Hülshof_01	RK_1285	Weiblich	Senderausfall	27.06.2021	Deutschland	10.01.2022
Binaced_52	RK_1455	--- *	lebend	12.12.2021	Spanien	02.10.2022
Hinkelhof_01	RK_1658	Weiblich	lebend	12.06.2022	Deutschland	03.10.2022
Hinkelhof_02	RK_1659	Männlich	lebend	12.06.2022	Deutschland	03.10.2022

Eine Übersicht der erfassten Datensätze, aufgeschlüsselt nach Jahr und Zeitraum ist in Tabelle 5 ersichtlich. Der Betrachtung der Nachbrutzeit kam hierbei eine besondere Bedeutung zu, da HEUCK *et al.* (2019) von einer geringen Horstbindung in dieser Phase ausgingen, wohingegen SPATZ *et al.* (2019) von einer starken Horstbindung über das gesamte Sommerhalbjahr, d.h. bis September, sprachen. Daher wurden in dieser Studie die Horst- und die Revierbindung in der Nachbrutzeit differenziert für männliche und weibliche Tiere betrachtet. Dies erfolgte durch die Aufnahme der Übernachtungspunkte (Horstbindung) sowie durch die Untersuchung der Veränderung der Lage und Ausdehnung des Aktionsraumes (Revierbindung). Da die Horst- und Revierbindung vom Bruterfolg abhängig sein kann, wurde dieser in Tabelle 1 dargestellt und bei den Auswertungen entsprechend berücksichtigt.

**Tabelle 5:** Übersicht der Anzahl an Datensätzen sowohl für den Gesamtzeitraum als auch getrennt für die Balz-, Brut-, Aufzucht- und Nachbrutzeit. Insgesamt liegen von den zwölf betrachteten Individuen 5.303.512 Ortungspunkte vor, ein Großteil davon mit rund 3,7 Millionen Datensätzen entstammt dem Jahr 2022. Phasen: Balzzeit 15. März bis 14. April, Brutzeit 15. April bis 19. Mai, Aufzuchtzeit 20. Mai bis 30. Juni, Nachbrutzeit 1. Juli bis 30. September. Zugwege zum Winterhalbjahr (1. Oktober bis 14 März) finden sich in Kapitel 5, während dieser Zeitraum ansonsten nicht in der vorliegenden Studie ausgewertet wurde.

Jahr		RK_1137	RK_1138	RK_1244	RK_1245	RK_1246	RK_1257	RK_1258	RK_1277	RK_1285	RK_1455	RK_1658	RK_1659	Summe:
2019	Balzzeit	68	117											185
	Brutzeit	48	3.622											3.670
	Aufzuchtzeit	320	32.595											32.915
	Nachbrutzeit	2.355	64.786											67.141
	Winter	231	2.238											2.469
	Gesamt	3.022	103.358											106.380
2020	Balzzeit	10	396											406
	Brutzeit	1	10.325											10.326
	Aufzuchtzeit	230	39.923											40.153
	Nachbrutzeit	8.798	48.037											56.835
	Winter	1.768	1.247											3.015
	Gesamt	10.807	99.928											110.735
2021	Balzzeit	1	86											87
	Brutzeit	7	92											99
	Aufzuchtzeit	532	3.313	4.754	4.663	4.214	3.683	3.685	2.093	834				27.771
	Nachbrutzeit	679	1.120	127.902	32.150	172.817	140.459	162.080	149.557	145.632				933.396
	Winter	297	236	68.865	30.917	112.418		85.259	122.097	32.778	253			453.120
	Gesamt	1.516	4.847	201.521	67.730	289.449	144.142	252.024	273.747	179.244	253			1.414.473
2022	Balzzeit	1	42	33.311	24.060	100.170		86.882	83.582		10.632			338.680
	Brutzeit	3	102	34.916	8.686	146.692		179.165	209.730		3.556			382.850
	Aufzuchtzeit	292	959	130.567	88.683	243.223		258.719	261.828		25.455	12.532	50.582	1.072.840
	Nachbrutzeit	1.682	1.553	178.473	152.472	158.694		255.357	220.823		37.549	55.204	48.161	1.109.968
	Winter	61	76	81.698	44.286	209.767		96.377	128.987	51	7.650	523	110	569.586
	Gesamt	2.039	2.732	458.965	318.187	858.546		876.500	904.950	51	84.842	68.259	98.853	3.673.924
	Summe:	17.384	210.865	660.486	385.917	1.147.995	144.142	1.128.524	1.178.687	179.295	85.095	68.259	98.853	5.303.512

### 3.2.2 Übersicht der verschiedenen Datengrundlagen

Die verwendeten Datengrundlagen für die Auswertung sind Tabelle 6 zu entnehmen. Die verfügbare Datengrundlage ermöglichte hierbei aufgrund der guten Abdeckung des Sommerhalbjahres mit 5 Minuten-Daten und der zahlreichen Sekundendaten im WEA-Nahbereich eine umfangreiche Erweiterung der Wissensbasis. Für die Auswertung der Aktionsraumgröße und der Raumnutzung, in Abhängigkeit von der Horstdistanz wurden ausschließlich Brutvögel herangezogen, deren Nachwuchs in der jeweiligen Phase nicht verstorben war (siehe Tabelle 1). Für die übrigen Auswertungen, so z.B. für die Auswertung des windabhängigen Flugverhaltens und der tageszeitlichen Flugaktivität wurden die zwölf ausgewählten Vögel unabhängig vom Bruterfolg verwendet.

**Tabelle 6:** Übersicht der verfügbaren Telemetrie-Datengrundlage für die verschiedenen durchgeführten Analysen. Die Datensätze wurden von den zwölf ausgewerteten Rotmilan Brutvögeln gewonnen bzw. für einzelne Auswertungen ergänzt um Daten aus der Studie von HEUCK *et al.* (2019).

Auswertung	Dateneigenschaften	Anzahl Datensätze	Fehlende Rotmilane
Aktionsraumgröße	auf 5 Minuten-Intervalle reduzierte Daten aus den vier untersuchten Phasen zur Tageszeit von 12 Individuen (6 w, 5 m, 1 u)	383.159 davon 258.680 deren Nachwuchs nicht verstorben war	
Raumnutzung in Abhängigkeit der Horstdistanz	auf 5 Minuten-Intervalle reduzierte Daten aus den vier untersuchten Phasen zur Tageszeit; Gesamtschau inklusive der Daten aus HEUCK <i>et al.</i> (2019) von Noah, Isolde, Tristan und Max. von 13 Individuen (6 w, 7 m).	298.756 Nachwuchs nicht verstorben, davon 56.106 aus HEUCK <i>et al.</i> (2019)	Binaced_52
Flugaktivität im Tages- und Jahresverlauf	auf 5 Minuten-Intervalle reduzierte Daten aus den vier untersuchten Phasen zur Tageszeit.	376.780 von 12 Individuen (6 w, 5 m, 1 u)	
Aktionsraumgröße in Abhängigkeit von Wetterparametern	auf 5 Minuten-Intervalle reduzierte Daten aus den vier untersuchten Phasen zur Tageszeit, für die Messungen zu Windgeschwindigkeit (Bodenhöhe), Niederschlag, Sonnenscheindauer und Temperatur aus weniger als 30 km Entfernung vorliegen.	328.669 von 12 Individuen (6 w, 5 m, 1 u)	
Flugaktivität in Abhängigkeit von Wetter und Geländeform	auf 5 Minuten-Intervalle reduzierte Daten aus den vier untersuchten Phasen zur Tageszeit mit barometrischer Höhenmessung, für die ein Höhenmodell (DGM25) vorliegt und für die Messungen zu Windgeschwindigkeit (Gondel- und / oder Bodenhöhe), Niederschlag, Sonnenscheindauer und Temperatur aus weniger als 30 km Entfernung vorliegen.	249.663 von 12 Individuen (6 w, 5 m, 1 u)	
Flughöhe 5 Minuten Barometerdaten	auf 5 Minuten-Intervalle reduzierte Daten aus den vier untersuchten Phasen zur Tageszeit mit barometrischer Höhenmessung, für die ein Höhenmodell (DGM25) vorliegt. Für die Flughöhenbestimmung wurden das Qualitätskriterium entsprechend dem „Moving-Window“ Prinzip aus Kapitel 3.2.10 angewendet. Es wurden nur Flugpunkte (> 3 km/h) berücksichtigt.	56.109 von 12 Individuen (6 w, 5 m, 1 u)	
Flughöhe in Abhängigkeit von Wetter und Geländeform	auf 5 Minuten-Intervalle reduzierte Daten aus den vier untersuchten Phasen zur Tageszeit mit barometrischer Höhenmessung, für die ein Höhenmodell (DGM25) vorliegt und für die Messungen zu Luftdruck (Seehöhe), Windgeschwindigkeit (Gondel- und / oder Bodenhöhe), Niederschlag, Sonnenscheindauer und Temperatur aus weniger als 30 km Entfernung vorliegen; es wurden nur Flugpunkte (> 3 km/h) berücksichtigt.	46.404 von 12 Individuen (6 w, 5 m, 1 u) davon 36.404 von 9 Individuen (5 w, 4 m) mit Wind- geschwindigkeit auf Gondelhöhe	

Flughöhe in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe	auf 5 Minuten-Intervalle reduzierte Daten aus den vier untersuchten Phasen zur Tageszeit mit barometrischer Höhenmessung, für die ein Höhenmodell (DGM25) vorliegt und für die Messungen zu Luftdruck (Seehöhe), Windgeschwindigkeit (Gondelhöhe) aus weniger als 30 km Entfernung vorliegen; es wurden nur Flugpunkte (> 3 km/h) berücksichtigt. Für die Flughöhenbestimmung wurden das Qualitätskriterium entsprechend dem „Moving-Window“ Prinzip aus Kapitel 3.2.10 angewendet.	37.459 von 9 Individuen (5 w, 4 m)	Binaced_52 Hinkelhof_01 Hinkelhof_02
Flughöhe im Hinblick auf die Landnutzung	auf 5 Minuten-Intervalle reduzierte Daten aus den vier untersuchten Phasen zur Tageszeit mit barometrischer Höhenmessung, für die ein Höhenmodell (DGM25) vorliegt und für die Messungen zu Luftdruck (Seehöhe) aus weniger als 30 km Entfernung vorliegen; es wurden nur Flugpunkte (> 3 km/h) berücksichtigt, für die eine der vier Landnutzungskategorien Wald, Grünland, Siedlung oder Ackerland zutreffend ist.	56.109 davon 52.021 über jeweils einem der 4 Landnutzungstypen von 12 Individuen (6 w, 5 m, 1 u)	
Flugverhalten und Aktionsraumgröße in Abhängigkeit von der Landnutzung	auf 5 Minuten-Intervalle reduzierte Daten aus den vier untersuchten Phasen zur Tageszeit, im Abstand von 200 bis 1.500 m zu dem Horststandort, für die eine der vier Landnutzungskategorien Wald, Grünland, Siedlung oder Ackerland zutreffend ist.	144.765 von 12 Individuen (6 w, 5 m, 1 u)	
Flugverhalten im WP-Umfeld (Ringpufferanalyse)	Datenpunkte im Flug zur Tageszeit im 400 m Nahbereich von Windenergie-Anlagen in Hessen (alle Intervalle).	113.247 von 11 Individuen (6 w, 5 m)	Binaced_52
Flugverhalten im WP-Umfeld (Wetterverhältnis während Flug)	mit Sekundendaten erfasste Flüge im Rotorbereich (plus 5 m Sicherheitspuffer) der Anlagen. Teilweise sind Betreiberdaten (Rotorstellung und Drehzahl) bekannt.	Gesamt 237 – 8 Individuen 120 mit Betreiberdaten – 3 Indiv. (2 m, 1 w)	Wahmbeck_01 Gemünden_01 Gersrod_01 Binaced_52

### 3.2.3 Landnutzungstypen

Zur Ermittlung des Einflusses der Verteilung von Wald, Grünland, Siedlungen und Ackerland auf die Flugaktivität der Vögel, d.h. auf die Aktionsraumgröße sowie auf die Flughöhenverteilung, wurde als Grundlage das ATKIS Basis-DLM verwendet. In Tabelle 7 sind die Auswahlkriterien für die Landnutzungstypen dokumentiert. Für das Bundesland Hessen liegt das ATKIS Basis-DLM landesweit vor. Um die angrenzenden Bereiche aus Niedersachsen und Thüringen abzudecken, wurde das ATKIS Basis-DLM auch dort bezogen.

**Tabelle 7:** Auswahlkriterien des Basis-DLM für die untersuchten Landnutzungstypen

Landnutzungstyp	Auswahlkriterien Basis-DLM [Objektart]
Wald	'AX_WALD'
Grünland	'AX_Landwirtschaft' und Veg_Vegeta = '1020 Grünland'
Ackerland	'AX_Landwirtschaft' und Veg_Vegeta = '1010 Ackerland'
Siedlung	'AX_FlaecheBesondererFunktionalerPraegung' 'AX_FlaecheGemischterNutzung' 'AX_Friedhof' 'AX_IndustrieUndGewerbeflaeche' 'AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche' 'AX_Wohnbauflaeche'

### 3.2.4 Grenzlinienanteil der landwirtschaftlichen Parzellen

Die Kleinstrukturiertheit der Landschaft wurde über den Grenzlinienanteil der landwirtschaftlichen Parzellen (aus INVEKOS) im 30 m Radius um die erfassten Telemetriepunkte ermittelt. Zusätzlich wurden Durchschnittswerte dieses Grenzlinienanteils in den Ringpuffern von 200 bis 1.500 m Horstdistanz berechnet. Auf dieser Grundlage wurde überprüft, ob die Größe der Bewirtschaftungsschläge mit entsprechend unterschiedlichem Grenzlinienanteil einen Einfluss auf die Raumnutzung nahrungssuchender Rotmilane hat.

Alternative Methoden, wie die Ermittlung der Kleinstrukturiertheit aus dem High Resolution Layer von Copernicus zu „Small Woody Features“ bzw. die Ableitung aus Orthophotos, wurden geprüft. Da Grenzlinien nicht nur Gehölze, sondern z. B. auch Säume sein können, wurde die Fixierung auf „Small Woody Features“ als nicht ausreichend erachtet. Kleinstrukturiertheit führt auch zu einem entsprechenden Nutzungsmosaik, das insgesamt ein höheres Nahrungsangebot bietet. Dies wird allein über Gehölzreihen nicht hinreichend abgebildet. Die Ableitung von Grenzlinien aus „Digitalen Farbbild Orthophotos (DOP20)“ mit einer räumlichen Auflösung von 20 m funktionierte mittels Farberkennung und legte daher ein besonderes Augenmerk auf unterschiedliche Bodenverhältnisse und Vegetationshöhen. Dies führte potenziell zu sehr diversen Strukturen, auch innerhalb von Monokulturen. Farbliche Unterschiede in Orthophotos ließen somit nicht zwingend auf eine unterschiedliche Landnutzung bzw. auf potenzielle Unterschiede im Nahrungsangebot schließen. Für diese Studie wurde somit die Ermittlung der Kleinstrukturiertheit über den Grenzlinienanteil der landwirtschaftlichen Parzellen (aus INVEKOS) gewählt.

### 3.2.5 Geländeform

Für die Entstehung von Hangaufwinden, die einen Einfluss auf die räumliche Verteilung der Rotmilanflugaktivität haben können, ist die Geländeform von Bedeutung. Als Datengrundlage lag das Digitale Geländemodell DGM25 vor. Das Digitale Geländemodell DGM25 ist ein Rasterdatensatz mit einem regelmäßigen Raster in einer horizontalen Auflösung von 25 m. Die Genauigkeit der Lage und Höhenwerte liegt zwischen einem und drei Metern. Aus dem DGM25 konnte die Hangneigung sowie die Exposition abgeleitet werden. Hieraus wurden der Geländeform, analog zu HEUCK *et al.* (2019), neun Kategorien zugeordnet: kein Hang (Hangneigung weniger als 5 Grad) und Hang (Neigung mindestens 5 Grad) in einer der Himmelsrichtungen N, NO, O, SO, S, SW, W oder NW. Für das Bundesland Hessen liegt das DGM25 landesweit vor. Um die angrenzenden Bereiche aus Thüringen abzudecken, wurde das DGM25 auch hier landesweit bezogen. Das Niedersächsische DGM25 wurde für die über die hessische Landesgrenze hinausgehenden Flächen im Umkreis von 6 km um die Besenderungsorte der Altvögel beschafft.

### 3.2.6 Wetterdaten

Die Analyse der Witterungseinflüsse auf die Flugaktivität basiert auf Messdaten von Wetterparametern. Die entsprechenden Daten (Niederschlagshöhe, Sonnenscheindauer, Luftschichtung, Windgeschwindigkeit und Temperatur) wurden, anders als in der Studie von HEUCK *et al.* (2019), in der nur Daten von einer einzigen Wetterstation verwendet wurden, aufgrund der großen geografischen Streuung der Besenderungsorte von mehreren jeweils möglichst nahegelegenen Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) übernommen (siehe Tabelle 8). Die Sichtweite wird im Folgenden zwar ebenfalls als Datenquelle

dargestellt, wurde in der vorliegenden Studie aber nicht weiter betrachtet, da diese lediglich auf Boden- und nicht auf Gondelhöhe bekannt war. Für die Analyse der Wetterdaten wurden analog zu HEUCK *et al.* (2019) nur Ortungspunkte verwendet, die im 30 km Umkreis der Wetterstationen (beziehungsweise der Windenergieanlagen für die Windgeschwindigkeiten auf Gondelhöhe) lagen. Weiter entfernte Datenpunkte wurden für entsprechende Analysen ausgeschlossen. Daten zur Windgeschwindigkeit wurden eigens von den Windenergieanlagen (WEA) erhoben, um die relevanten Flughöhen abzudecken und lokal relevante Daten zur Flugauswertung im Nahbereich der WEAs zu haben. Für jeden Brutvogel wurde die nächstgelegene Wetterstation zugeordnet, für die im jeweiligen Untersuchungszeitraum auch tatsächlich Daten des jeweiligen Parameters vorhanden waren. Tabelle 8 stellt die Entfernungen zwischen den Horsten und den nächstgelegenen DWD-Stationen bzw. WEA-Standorten dar, welche den benötigten Wetterparameter bereitstellen. Kartografisch ist dies in Abb. 3 aufbereitet. Messungen zu Windgeschwindigkeit (Gondel- und / oder Bodenhöhe), Niederschlag, Sonnenscheindauer und Temperatur müssen in weniger als 30 km Entfernung zu dem jeweiligen Ortungspunkt vorliegen, damit der Datensatz bei den Auswertungen zur Wetterabhängigkeit der Flugaktivität miteinbezogen wird. Selbst Individuen, deren Horststandort knapp über 30 km von einer Wetterstation mit benötigten Daten entfernt war, flossen somit in die Auswertung ein, sofern der Vogel beim jeweiligen Ortungspunkt die Mindestdistanz unterschritt. Die Auswertungen zur Flughöhe in Abhängigkeit der Wetterparameter fordern als weitere Kriterien zusätzlich das Vorliegen des Luftdrucks und der Luftschichtung in bis zu 30 km Entfernung. Einzelne Auswertungen setzen zudem auch die Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe voraus, welche für 9 von insgesamt 12 besenderte Individuen vorlag.

Hierbei ist anzumerken, dass die Wetterstationen des DWDs unterschiedlich ausgestattet sind. Häufig vorhanden und somit näher gelegen waren Stationen mit Messwerten zu Niederschlagshöhe und Temperatur (siehe Tabelle 8). Die Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe wurde an WEA erhoben (für Standorte siehe Abbildung 3). In Tabelle 9 findet sich die Auswahl der Wetterstationen, sowie unter dem Punkt „Windgeschwindigkeit (Gondelhöhe)“ die Entfernung zu der nächstgelegenen WEA mit vorhandenen Windgeschwindigkeitsdaten. Bezüglich der Windgeschwindigkeit wurden zwei verschiedene Parameter, jene auf Bodenhöhe anhand der Daten der DWD-Wetterstationen und jene auf Gondelhöhe, anhand der Daten der WEA, untersucht. In Bezug auf die Abhängigkeit der Flughöhe > 80 m von der Windgeschwindigkeit wurde neben einer reinen Verteilungsdarstellung auch statistisch geprüft, ob die Verteilung signifikant von der erwarteten Verteilung abweicht. Die Seehöhe der verwendeten Wetterstationen findet sich in Tabelle 10.

Während bei HEUCK *et al.* (2019) die Temperatur der WEA herangezogen wurde, wird abweichend für die vorliegende Studie die Messung der Wetterstationen verwendet, welche entsprechend Abbildung 3 flächendeckend für die relevanten Bereiche vorliegt. Wegen dieser methodischen Abweichung sind die temperaturabhängigen Untersuchungsergebnisse nicht vollumfänglich mit der HEUCK-Studie vergleichbar.

**Tabelle 8:** Abstand vom Horst zur nächsten Wetterstation / WEA, aufgegliedert nach den betrachteten Wetterparametern. Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe bezieht sich auf die Gondelhöhe der WEA in der die Windgeschwindigkeit gemessen wurde. Dunkelgrau hervorgehoben sind Distanzen von mehr als 30 km für bereits bei Auswertungen zur Flugaktivität gesetzten Filtern. Für den Vogel RK\_1246 ergibt sich daher eine Reduktion der Daten für ebendiese Auswertung auf Bereiche abseits des Brutplatzes in weniger als 30 km Distanz zu den geforderten Datenquellen. Hellgrau eingefärbt sind jene Werte, welche für die Betrachtung der Flughöhe in maximal 30 km Entfernung zum Ortungspunkt gefordert sind.

Vogel_ID	Temperatur	Luftdruck	Luftschichtung	Niederschlagshöhe
RK_1137	Hoherodskopf/Vogelsberg (12.8 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (12.8 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (12.8 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (12.8 km)
RK_1138	Hoherodskopf/Vogelsberg (8.8 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (8.8 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (8.8 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (8.8 km)
RK_1244	Schauenburg-Elgershausen (13.6 km)	Schauenburg-Elgershausen (13.6 km)	Göttingen (43.1 km)	Schauenburg-Elgershausen (13.6 km)
RK_1245	Wesertal-Lippoldsberg (5.8 km)	Göttingen (26.6 km)	Göttingen (26.6 km)	Wesertal-Lippoldsberg (5.8 km)
RK_1246	Wesertal-Lippoldsberg (2.1 km)	Göttingen (31.3 km)	Göttingen (31.3 km)	Wesertal-Lippoldsberg (2.1 km)
RK_1257	Gilserberg-Moischaid (3.7 km)	Neu-Ulrichstein (24.4 km)	Neu-Ulrichstein (24.4 km)	Gilserberg-Moischaid (3.7 km)
RK_1258	Gilserberg-Moischaid (3.7 km)	Neu-Ulrichstein (24.4 km)	Neu-Ulrichstein (24.4 km)	Gilserberg-Moischaid (3.7 km)
RK_1277	Fulda-Horas (13.5 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (17.9 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (17.9 km)	Fulda-Horas (13.5 km)
RK_1285	Dillenburg (15.5 km)	Gießen/Wettenberg (22.7 km)	Gießen/Wettenberg (22.7 km)	Eschenburg-Eibelshausen (10.3 km)
RK_1455	Tann/Rhön (1.6 km)	Meiningen (25 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (59.5 km)	Tann/Rhön (1.6 km)
RK_1658	Fulda-Horas (24 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (32.9 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (32.9 km)	Fulda-Horas (24 km)
RK_1659	Fulda-Horas (24 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (32.9 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (32.9 km)	Fulda-Horas (24 km)
Vogel_ID	Sichtweite	Sonnenscheindauer	Windgeschwindigkeit (Bodenhöhe)	Windgeschwindigkeit (Gondelhöhe)
RK_1137	Hoherodskopf/Vogelsberg (12.8 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (12.8 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (12.8 km)	WP AlteHöhe/Ulrichstein (20.3 km)
RK_1138	Hoherodskopf/Vogelsberg (8.8 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (8.8 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (8.8 km)	WP AlteHöhe/Ulrichstein (1.4 km)
RK_1244	Schauenburg-Elgershausen (13.6 km)	Schauenburg-Elgershausen (13.6 km)	Schauenburg-Elgershausen (13.6 km)	WP Söhrewald (2.1 km)
RK_1245	Göttingen (26.6 km)	Göttingen (26.6 km)	Göttingen (26.6 km)	WP Niestetal (25.8 km)
RK_1246	Göttingen (31.3 km)	Göttingen (31.3 km)	Göttingen (31.3 km)	WP Niestetal (32.3 km)
RK_1257	Neu-Ulrichstein (24.4 km)	Neu-Ulrichstein (24.4 km)	Frankenberg-Geismar (14.9 km)	WP Gemünden (0.8 km)
RK_1258	Neu-Ulrichstein (24.4 km)	Neu-Ulrichstein (24.4 km)	Frankenberg-Geismar (14.9 km)	WP Gemünden (0.6 km)
RK_1277	Hoherodskopf/Vogelsberg (17.9 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (17.9 km)	Hoherodskopf/Vogelsberg (17.9 km)	WP Ulrichstein (22.3 km)
RK_1285	Gießen/Wettenberg (22.7 km)	Dillenburg (15.5 km)	Gießen/Wettenberg (22.7 km)	WP Hülshof (1.1 km)
RK_1455	Wasserkuppe (16.6 km)	Wasserkuppe (16.6 km)	Wasserkuppe (16.6 km)	WP Ulrichstein (60.9 km)
RK_1658	Hoherodskopf/Vogelsberg (32.9 km)	Wasserkuppe (28.2 km)	Wasserkuppe (28.2 km)	WP AlteHöhe/Ulrichstein (40.2 km)
RK_1659	Hoherodskopf/Vogelsberg (32.9 km)	Wasserkuppe (28.2 km)	Wasserkuppe (28.2 km)	WP AlteHöhe/Ulrichstein (40.2 km)

**Tabelle 9:** Übersicht der Datenquellen für herangezogene Wetterparameter der DWD-Wetterstationen.

Parameter	Gießen/Wettenberg	Göttingen	Hoherodskopf/Vogelsberg	Neu-Ulrichstein	Schauenburg-Elgershausen	Wasserkuppe	Dillenburg	Fulda-Horas	Gilserberg-Moisscheid	Tann/Rhön	Wesertal-Lippoldsberg	Frankenberg-Geismar	Eschenburg-Eibelshausen	Anzahl Wetterstationen
Sichtweite (Bodenhöhe)	x	x	x	x	x	x								6
Temperatur (Bodenhöhe)			x		x		x	x	x	x	x			7
Sonnenscheindauer		x	x	x	x	x	x							6
Windgeschwindigkeit (Bodenhöhe)	x	x	x		x	x						x		6
Niederschlagshöhe			x		x			x	x	x	x		x	7
Luftschichtung	x	x	x	x										4

**Tabelle 10:** Seehöhe der DWD-Wetterstationen.

Stations ID	Stationsname	Stationshöhe in m
979	Dillenburg	314
1526	Fulda-Horas	242
1639	Gießen/Wettenberg	203
1645	Gilserberg-Moisscheid	340
1691	Göttingen	167
4978	Tann/Rhön	395
5279	Wesertal-Lippoldsberg	176
5371	Wasserkuppe	921
7396	Hoherodskopf/Vogelsberg	743
7410	Neu-Ulrichstein	350
15207	Schauenburg-Elgershausen	317
15490	Eschenburg-Eibelshausen	298
5851	Frankenberg-Geismar	392

### Qualität der Wetterdaten

Ein Vorteil der Verwendung von DWD-Daten ist die Korrektur von Fehlerwerten, die durch den DWD vor der Bereitstellung durchgeführt wird. Auch die Berechnung der Luftschichtungsklassen erfolgte über den DWD. Durch die gesetzten Grenzen an maximal zulässigen Abständen von 30 km zu der nächstgelegenen Wetterstation bzw. Windenergieanlage wird – bezogen auf die laut der HEUCK-Studie durch die DWD-Stationen zu betrachtenden Witterungsparameter - eine mit der HEUCK-Studie vergleichbare Qualität der Wetterdaten sichergestellt. Bezüglich der im Vergleich zu HEUCK *et al.* (2019) zusätzlichen Verwendung der Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe ist festzuhalten, dass diese keine negativen

Auswirkungen auf die übrigen Untersuchungen besitzt. Dies ist sichergestellt, weil mit Ausnahme der multivariaten Modelle keine Interaktion zwischen den verschiedenen Windgeschwindigkeiten besteht. Der zusätzliche Faktor beeinträchtigt den Erklärungswert der Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe somit nicht.

#### *Verwendung der Wetterdaten*

In der Studie von HEUCK *et al.* (2019) wurden die Daten der Wetterstationen zu Niederschlagshöhe, Sonnenscheindauer, Temperatur und Daten der WEA zu Windgeschwindigkeit zu stündlichen Werten aggregiert. Um der zum Teil großen Distanz zwischen Ortungspunkten und Wetterstation bzw. WEA Rechnung zu tragen, werden auch in der vorliegenden Telemetriestudie die 10 Minuten-Daten (konkret handelt es sich hierbei um die Parameter Niederschlagshöhe, Sonnenscheindauer, Windgeschwindigkeit und Temperatur) auf Stundendaten aggregiert. Sowohl in der vorliegenden Studie als auch bei der HEUCK-Studie wurden nur Wetterdaten verwendet, wenn der Flugpunkt innerhalb des 30 km-Radius der dazugehörigen Wetterstation aufgezeichnet wurde. Hierdurch soll möglichen kleinräumigen Unterschieden Rechnung getragen werden, da z.B. die Wahrscheinlichkeit, dass es nicht nur an der Wetterstation, sondern auch im Aktionsraum des jeweiligen Rotmilans geregnet hat, innerhalb einer Stunde deutlich größer ist als innerhalb von nur zehn Minuten. Hierzu wurden entsprechend der Methodik aus HEUCK *et al.* (2019) dem Moving Window-Prinzip folgend, jedem 10-Minuten-Zeitfenster die Summe bzw. der Mittelwert der Messwerte der sechs zeitlich nächstgelegenen 10-Minuten-Zeitfenster zugeordnet. Die Luftschichtung und die Sichtweite lagen bereits auf Stunden aggregiert vor. Alle Angaben zur Uhrzeit beziehen sich auf die Mitteleuropäische Sommerzeit (MESZ). Datensätze, die in anderen Zeitformaten vorlagen, wurden transformiert.

### **3.2.7 Zuordnung der Tageszeit**

Sonnenaufgang und Sonnenuntergang sind abhängig von der Jahreszeit und dem Ort (hier die geographische Breite und Länge). Für jeden Ortungspunkt wurde das Azimut (der horizontale Winkel) zur Sonne basierend auf den Koordinaten und Datum berechnet. Die Differenzierung zwischen der Tages- und Nachtzeit erfolgte anhand des Azimuts. Als Grenzwert wurde hier ein Wert von -9 Grad angenommen. Dieser Wert liegt zwischen der bürgerlichen Dämmerung (-6 Grad) und der nautischen Dämmerung (-12 Grad). Für die Analysen wurden keine Ortungspunkte in der Nacht verwendet (abgesehen von der Ermittlung der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit).

### **3.2.8 Betriebsdaten Windenergie-Anlagen**

Relevante Betriebsdaten für die Darstellung des Ausweichverhaltens in WEA-Nähe sind die Rotorstellung (Gondelposition) und die Rotordrehzahl der WEA zum Zeitpunkt von potenziell kollisionskritischen Flügen besonderer Rotmilane. Diese Daten erlauben es, das kleinräumige Ausweichverhalten des Rotmilans möglichst genau zu analysieren. Darüber hinaus wurde auch die an WEA gemessene Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe als maßgeblicher Parameter in die Auswertungen zur Wetterabhängigkeit des Flugverhaltens einbezogen.

### 3.2.9 Klassifizierung Flugaktivität

Für die Analyse der räumlichen Ausdehnung der Flugaktivität in Relation zur Entfernung zum Brutplatz ist eine Differenzierung zwischen Flugpunkten und Ruhepunkten erforderlich. Dies wurde anhand der von den Telemetriedatensendern bereitgestellten Geschwindigkeitsdaten durchgeführt. Zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen von HEUCK *et al.* (2019) wurde für die Analysen zur Flugaktivität in gleicher Weise eine Schwelle von mindestens 10 km/h für die Unterscheidung von Flug- und Ruhepunkten herangezogen. Für die Auswertungen zur Flughöhe wurde diese Schwelle entsprechend MERCKER *et al.* (2023) auf 3 km/h gesetzt, um kreisende Flugbewegungen mit langsamen Geschwindigkeiten miteinzubeziehen.

### 3.2.10 Kalibrierung der Flughöhe aus Barometerdaten

Im Folgenden wird die Methodik der in dieser Studie durchgeführten Flughöhenkalibrierung beschrieben. Durch die dargelegten methodischen Anpassungen im Vergleich zu HEUCK *et al.* (2019) wurde den Unterschieden zur HEUCK-Studie Rechnung getragen. Aus den folgenden zwei Gründen waren im Vergleich zur HEUCK-Studie methodische Anpassungen erforderlich: Zum einen kam es durch die größere Abdeckung unterschiedlicher Naturräume zum Vorliegen einer größeren Temperaturspanne, die ein Abrücken von der Annahme einer Standardatmosphäre nötig machte. Zum anderen bestanden größere Entfernungen zu den Wetterstationen, was eine Anpassung bei der Kalibrierung der Barometer-Daten durch die GPS-Messungen erforderlich machte.

In diesem Kapitel werden folgende Aspekte betrachtet, wobei sich die Methodik an HEUCK *et al.* (2019) anlehnt:

- Genauigkeit der GPS-Messungen und der Barometer-Rohdaten,
- Korrektur der barometrischen Höhenmessungen in Bezug auf witterungsbedingte Luftdruckschwankungen,
- Korrektur der Barometerhöhe anhand der GPS-Ortungen
- Stationärer Sendertest

#### *Genauigkeit der GPS-Messungen und der Barometer-Rohdaten*

Für einen optimalen Empfang der Sender gilt es, eine gute Verbindung zu den Satelliten herzustellen. So führt eine dichte Bewaldung bei sitzenden Tieren zu schlechterem Empfang, während im Flug ein besserer Empfang zu erwarten ist. Hohe Sendefrequenzen verbessern die Erfassungsgenauigkeit. GPS-Ortungen im 1 Sekunden-Intervall sind somit exakter als jene im 5 Minuten-Ortungsintervall. Barometermessungen sind hingegen unabhängig vom Erfassungsintervall. Diese sind bezüglich der Höhenmessung genauer als die 5 min GPS-Daten. Daher eignen sich die Barometerdaten für Auswertungen sehr gut, um eine möglichst lückenlose Erfassung der Flugaktivität zu erreichen. Daher und um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit HEUCK *et al.* (2019) zu gewährleisten, wurden angelehnt an deren Methodik vorrangig die kalibrierten Barometerwerte herangezogen. Negative Werte bei den Flughöhen lassen sich durch Messungenauigkeiten erklären.

Bei PFEIFFER & MEYBURG (2022) wurden für alle Logger zuerst Tests an einem Ort mit bekannter Position und Höhe durchgeführt, bevor diese dann am Vogel angebracht wurden.

Dadurch wurden die Funktionalität und Messgenauigkeit für GPS-Sekundendaten überprüft. Das Ergebnis war, dass die GPS-Mittelwerte der Höhenmessungen recht genau waren und bei allen getesteten Geräten diese von der Referenzhöhe um maximal 1,6 m abwichen. Die Streuung der GPS-Einzelmessungen war jedoch groß, und es gab Ausreißer von mehreren 100 m. Insbesondere bei einzelnen Standortfixierungen oder der ersten Fixierung einer kontinuierlichen 1-Hz-Messsequenz betrug die Standardabweichung (SD) 48 m. Mit zunehmendem zeitlichem Abstand vom Messbeginn wurde die Streuung der Höhenmesswerte für die 1-Hz-Sequenzen immer kleiner. Die SD betrug für alle Testfixes ab der 11. Sekunde nach Beginn einer 1-Hz-Sequenz nur 5 m (PFEIFFER & MEYBURG 2022). Um aus den in dieser Studie sehr zahlreich vorhandenen Sekundendaten weitere Schlüsse in Bezug auf das Flugverhalten im WEA-Nahbereich zu ziehen, werden in Kapitel 4.6 „Flugverhalten im Umfeld der Windparks“ die Sekundendaten ausgewertet.

#### *Korrektur der barometrischen Höhenmessungen in Bezug auf witterungsbedingte Luftdruckschwankungen*

Bei der Berechnung der barometrischen Höhe aus den Messdaten des Sender-Altimeters wird standardmäßig die internationale Standardatmosphäre angesetzt (Temperatur 15 °C = 288,15 K, Luftdruck  $p_0 = 1013,25$  hPa, Temperaturgradient 0,65 K pro 100 m). Die Berechnung der Flughöhe erfolgt dabei anhand der Höhenformel:

$$h = \frac{T_h}{0,0065 \frac{\text{K}}{\text{m}}} \cdot \left( 1 - \left( \frac{p_h}{p_0} \right)^{0,1902632} \right)$$

Mit  $h$  als Flughöhe [m],  $T_h$  als Temperatur auf Flughöhe [K],  $P_h$  als Luftdruck auf Flughöhe (hPa) und  $P_0$  als Luftdruck auf Seehöhe.

In der vorliegenden Studie wurde die Temperatur auf Flughöhe anhand der von der nächstgelegenen DWD-Station gemessenen Temperatur bestimmt, wobei diese mittels des Temperaturgradienten der internationalen Standardatmosphäre von der Seehöhe der Wetterstation auf die vom Sender gemessene GPS-Höhe umgerechnet wurde. Bei HEUCK *et al.* (2019) wurde die Temperatur auf Flughöhe nach Abstimmung mit dem DWD standardmäßig mit 15 °C entsprechend der internationalen Standardatmosphäre angenommen (E-Mail von C. Heuck vom 28.02.2024). Bei Heuck *et al.* lagen die Temperaturdaten vom Vogelsberg zumeist im Bereich von 14 bis 22 Grad (Originaldaten Heuck verschnitten mit DWD-Daten), sodass 15 Grad eine gute Näherung darstellen und die Vorgehensweise von HEUCK *et al.* (2019) gerechtfertigt ist. Aufgrund der verschiedenen Landschaftsräume Hessens kommt es hingegen in der vorliegenden Studie zu größeren Temperaturschwankungen, sodass durch die Verwendung der Temperaturdaten der Wetterstationen, trotz deren Entfernung zum Ortungspunkt des Vogels, genauere Ergebnisse erzielt werden konnten als mit der pauschalen Annahme von 15 °C. Dies rechtfertigt die zuvor beschriebene Berechnungsmethode, wobei dieser methodische Unterschied die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit denjenigen von HEUCK *et al.* (2019) nicht beeinträchtigt.

Der Luftdruck auf Flughöhe wurde vom Barometer des Senders erfasst. Der Luftdruck auf Seehöhe wurde anhand der Daten der nächstgelegenen Wetterstation berechnet. Während bei HEUCK *et al.* (2019) die Wetterstation Hoherodskopf als Datenquelle diente, wurden in der

vorliegenden Studie Luftdruckdaten von sechs Wetterstationen (siehe Tabelle 11) verwendet, um den betrachteten Landschaftsräumen gerecht zu werden. Die Entfernungen der Horste zu der jeweils nächstgelegenen Wetterstation mit Luftdruckmessung können Tabelle 8 entnommen werden. Diese Tabelle macht deutlich, dass bei den meisten Sendertieren Entfernungen bis maximal 33 km bis zu den nächsten Wetterstationen vorlagen, während sie in der HEUCK-Studie lediglich ca. 8 km bis rund 12 km betragen. Als Konsequenz einer größeren Entfernung zu Wetterstationen können sich ungenauere Berechnungen ergeben, weshalb die Methodik der Auswertung in der vorliegenden Studie angepasst wurde (Details dazu im weiteren Verlauf dieses Kapitels). Zusätzlich zu der geschilderten Methodik wurde auch eine Verwendung von Copernicus-Daten anstelle von Daten der Wetterstationen geprüft, aber zugunsten der Vergleichbarkeit mit HEUCK *et al.* (2019) verworfen. Wie aus Tabelle 33 ersichtlich besteht eine gute Übereinstimmung der Luftdruckwerte gemessen an der jeweils nächstgelegenen Wetterstation mit den flächigen Daten des Copernicus Satelliten. Im Durchschnitt unterschieden sich die, mit diesen Datenquellen für rund 500.000 Ortungspunkte berechneten Höhen, um ca. einen Meter, wobei die Standardabweichung ca. 4 m betrug. Die beiden Datenquellen lieferten somit vergleichbare Ergebnisse. Daher wurde die Methodik von HEUCK *et al.* (2019) beibehalten. Mehr Informationen dazu finden sich im Anhang (Kapitel 10.2).

**Tabelle 11:** Wetterstationen, deren Luftdruckmessungen in dieser Studie berücksichtigt wurden.

Name Wetterstation	Identifikationscode
Gießen/Wettenberg	1639
Göttingen	1691
Hoherodskopf/Vogelsberg	7396
Neu-Ulrichstein	7410
Schauenburg-Elgershausen	15207
Meiningen	3231

### *Korrektur der Barometerhöhe anhand der GPS-Ortungen*

Die Genauigkeit von Barometern war laut dem Datenblatt des Herstellers bei der Feststellung der relativen Veränderung des Luftdrucks (hier 0,1 hPa – ca. 1 m) deutlich besser als bei Feststellung des absoluten Luftdrucks. Während das Barometer somit eine Veränderung der Flughöhe sehr genau erfassen kann, ist die Bestimmung der absoluten Höhe stärker von der Umweltsituation abhängig (bis zu 3 hPa). Da diese Abweichung aber für eine konkrete Umweltsituation annähernd konstant ist, gilt es die Abweichung des Barometers über den Median der GPS-Höhen zu ermitteln. Während das GPS bei einzelnen Messungen im 5 min Intervall sehr ungenau ist, ist der Fehler dieser Messungen dennoch normalverteilt (vgl.

Abbildung 17), weshalb sich über den Median bei Nutzung mehrerer Messpunkte die richtige Höhe bestimmen ließ. Da der Vogel jedoch nicht konstant an einem Ort ist, sondern im Verlauf der Zeit seine Höhe verändert, kann die tatsächliche Flughöhe über das GPS allein nicht ermittelt werden. Berechnet man aus der GPS-Messung und der Barometerhöhe jedoch die Differenz (als GPS-Höhe minus Barometerhöhe) für mehrere Punkte, so erreicht man, dass auch diese Differenz entsprechend dem Fehler der GPS-Ortungen normalverteilt um die tatsächliche Abweichung der Barometerhöhe von der realen Flughöhe des Vogels ist.

Dieser Ansatz wird für jeden Ortungspunkt einzeln als „Moving Window“ mit 15 Ortungspunkten in beide Richtungen gebildet, um jeweils 31 Ortungspunkten für die Bildung des Medians der Differenzen von GPS- und Barometerhöhe zur Verfügung zu haben. Der

normalverteilte Fehler wurde behandelt, indem für die 31 betrachteten Punkte der Median der Differenzen angesetzt wurde. Im Ergebnis erhält man eine Annäherung an den durch die konkrete Umweltsituation verursachten Messfehler des Senders bzw. der Höhenberechnung. Diese Korrekturmethode behandelt auch Ungenauigkeiten in den Daten (wie z.B. bei hoher Entfernung der Luftdruckmessung des DWD bzw. aufgrund der zeitlichen Auflösung) und erreicht somit selbst bei ungenauen Wetterdaten eine gute Kalibrierung der Flughöhe über die Kombination aus Barometer- und GPS-Messung. Der Median der Differenzen entsprach dabei dem Korrekturfaktor für den jeweiligen Ortungspunkt, welcher zu der ermittelten Barometer-Flughöhe addiert wurde. Diese Kalibrierung ersetzte die senderspezifische Kalibrierung bei HEUCK *et al.* (2019). Die in der Studie von HEUCK *et al.* (2019) angewandte Methodik ist adäquat, weil die DWD-Wetterdaten in ca. 8 km bis rund 12 km vorlagen. Für die vorliegende Studie musste demgegenüber eine adaptierte methodische Vorgehensweise gewählt werden, welche Robustheit gegenüber stärkeren Schwankungen zwischen der gemessenen und der tatsächlichen Umweltsituation aufweist. So zeigt der stationäre Sendertest (Abbildung 18) dieser Studie, dass die „Moving Window“ Methode eine geringere Streuung um den Median bewirkt, während ein senderspezifischer Korrekturfaktor lediglich eine Verschiebung des Wertebereichs erreichen kann, die Streuung jedoch nicht reduziert.

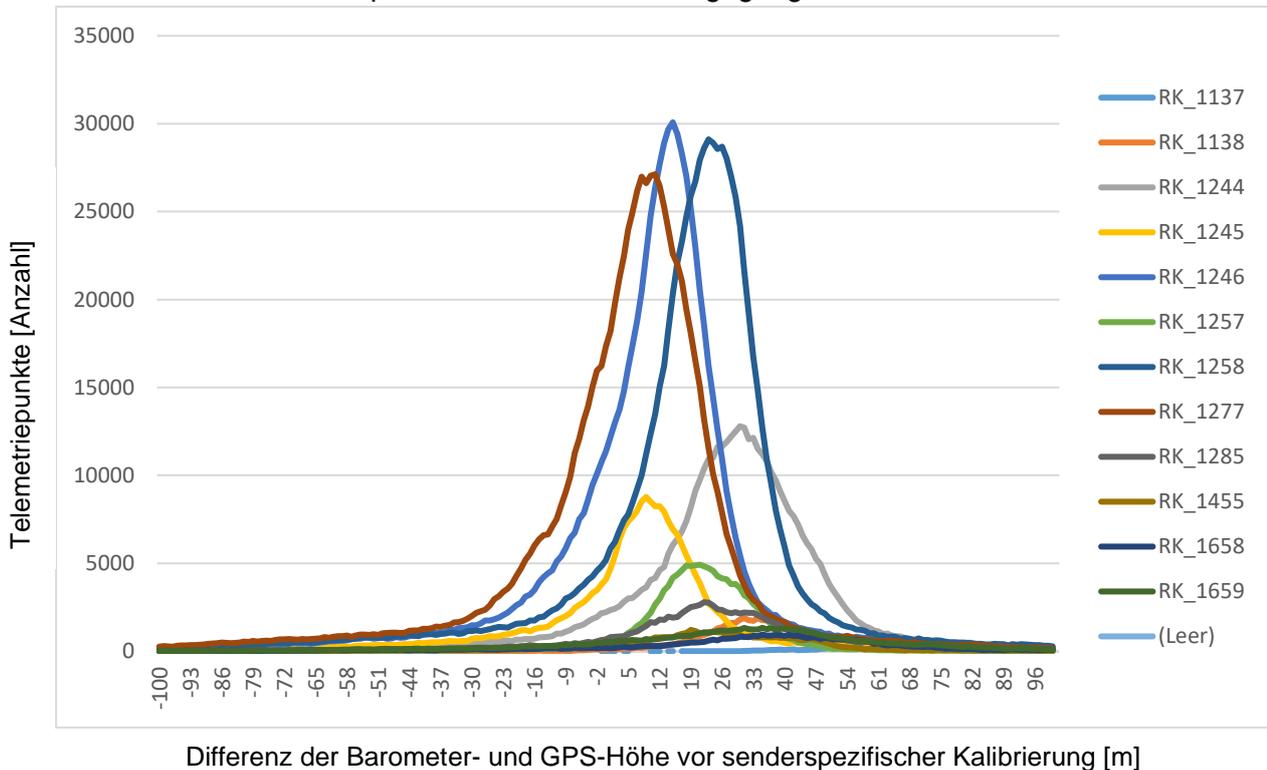
Während HEUCK *et al.* (2019) für die Kalibrierung anhand des GPS-Medians alle Ortungspunkte des Vogels nutzten, wurde bei der „Moving Window“ Methode jeweils ein Datensatz von 31 Ortungspunkte für die Bestimmung des GPS-Medians und somit für die Bestimmung des Korrekturfaktors für einen konkreten Ortungspunkt verwendet. Dadurch ergibt sich, dass eine höhere Anforderung an die Qualität dieser ausgewählten GPS-Datensätze besteht.

Ergänzend zu der beim stationären Sendertest angewendeten Methodik war es für die direkt am Vogel erhobenen umfangreichen Daten möglich, fehlerhafte Werte in einem aufeinanderfolgenden Zeitintervall auszusondern. Um die erforderliche Datenqualität sicherzustellen, wurde für alle 31 Punkte innerhalb des „Moving Window“ geprüft, ob die Veränderung der GPS-Höhe zur GPS-Höhe des vorgehenden Ortungspunktes von der Veränderung der Barometer-Höhe zur Barometer-Höhe des vorgehenden Ortungspunktes um mehr als 100 m abweicht. Nur jene Ortungspunkte, die innerhalb des „Moving Window“ bei keinem einzigen Datensatz einen solch großen Messfehler aufweisen, wurden in den finalen Datensatz aufgenommen, welcher in den Auswertungen zur Flughöhe einbezogen wurde. Da dieses strenge Kriterium bei der Flughöhenkalibrierung die Stichprobe um ca. 50 % reduziert, wurden für die Auswertungen zur Flugaktivität sowie beim stationären Sendertest der jeweilig vollständige Datensatz verwendet.

In Abbildung 17 zeigt sich, dass die Differenz der beiden Höhenwerte für alle betrachteten Individuen um deren Median annähernd normalverteilt sind. Eine leichte Verschiebung mit tendenziell stärkerer Abweichung nach unten bzw. nach oben konnte für einzelne Individuen zwar nicht ausgeschlossen werden, insgesamt erschien die Annahme einer größtenteils durch Messfehler des GPS verursachten Normalverteilung um den Median der Abweichung jedoch gerechtfertigt. Die Verschiebung des Medians der mittels Luftdrucks kalibrierten Barometerdaten an den Median der GPS-Daten (innerhalb des „Moving Window“), ermöglichte somit die Eichung der Barometerwerte, ohne den größeren Messfehler des GPS zu übernehmen.

### Stationärer Sendertest

Die Abbildung 18 zeigt die Ergebnisse eines stationären Sendertests für fünf in dieser Studie verwendete Sender am Betriebsgelände der TB Raab GmbH in Deutsch Wagram (Österreich). Da der stationäre Sendertest dieser Studie in Österreich erfolgte, wurde für den stationären Test auf den mit den Daten der Wetterstationen vergleichbaren Luftdruck-Datensatz des Copernicus Programms zurückgegriffen (vgl. Tabelle 33 im Anhang). In Kapitel 10.2. wird auf die Belastbarkeit der Copernicus-Daten weiter eingegangen.



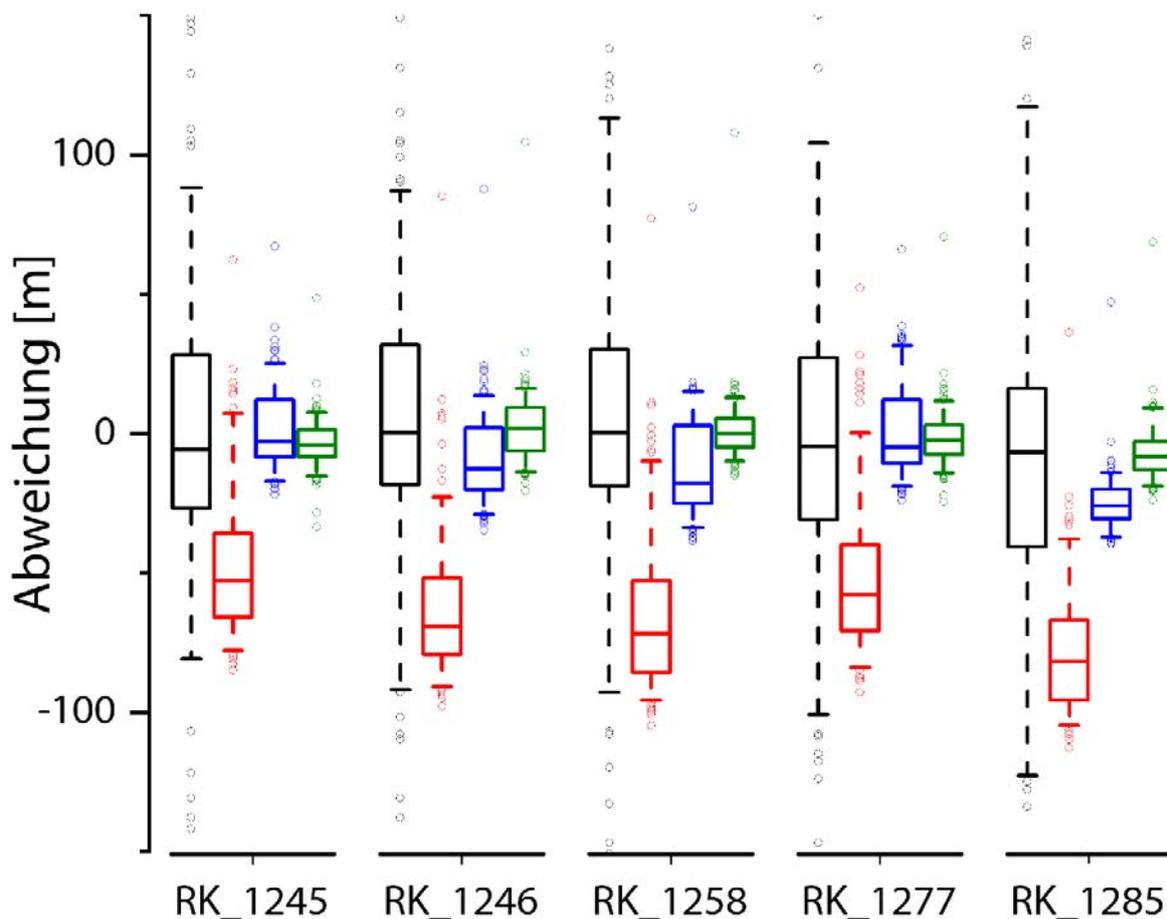
**Abbildung 17:** Grafische Darstellung der Abweichung zwischen GPS-Höhe und Barometerhöhe auf Individuenebene vor Kalibrierung.

Die nächstgelegene Wetterstation zum Ort des stationären Sendertests war die Wetterstation Stammersdorf in ca. 13 km Entfernung, diese lieferte die Temperatur für die Kalibrierung. Dieser stationäre Sendertest der Barometerkalibrierung hat wie bei HEUCK *et al.* (2019) nachgewiesen, dass die gewählte Methodik die Genauigkeit der GPS-Verortungen bei der 5 Minuten-Taktung deutlich übertrifft. Dort wurde festgestellt, dass die Abweichung der Testsender-Daten von der Referenzhöhe bei 50 % der Ortungspunkte bei maximal 1,3 m und bei 95 % der Daten bei maximal 3,88 m lag. Daher ist durch die Kombination der beiden Korrektur- und Kalibrierungsverfahren eine hohe Genauigkeit der Höhendaten erreicht worden, die über die alleinige Flughöhenmessung per GPS (5 min Daten) nicht erreicht wurde. Es ist in diesem Zusammenhang grundsätzlich anzumerken, dass eine geringe ermittelte Abweichung der Höhendaten in einem stationären Test nicht unbedingt auf nachfolgende, über einen viel längeren Zeitraum am Vogel erhobene Telemetriedaten, übertragen werden kann. Wie in diesem Kapitel ausgeführt, hängt ersichtlich die Genauigkeit der Barometerkalibrierung sehr von der Genauigkeit des verwendeten Luftdruck- und Temperaturwertes (bei HEUCK *et al.* (2019) einheitlich mit 15°C angenommen) ab; die Genauigkeit ist somit deutlich

besser, wenn eine Wetterstation mit Luftdruck- und Temperaturmessung in unmittelbarer Nähe liegt. Diese Voraussetzung war bei HEUCK *et al.* (2019) gegeben.

Beim stationären Sendertest erfolgte die Kalibrierung der Daten entsprechend dem „Moving Window“-Prinzip. Durch diese Methode wurde eine geringere Streuung der Messfehler im stationären Sendertest erreicht. Dieses angestrebte Resultat gelang, obwohl - anders als bei den direkt am Vogel erhobenen Daten - fehlerhafte Messungen aufgrund des geringen Datenumfangs für den stationären Sendertest beibehalten wurden.

Durch die dargelegten methodischen Anpassungen wurde den Unterschieden zur Studie von HEUCK *et al.* (2019) – größere Temperaturschwankungen infolge unterschiedlicher Naturräume sowie größere Entfernungen zu den Wetterstationen – Rechnung getragen. Damit ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der vorliegenden Studie mit der Studie von HEUCK *et al.* (2019) gewährleistet.



**Abbildung 18:** Abweichung der Höhenmessung von der Referenzhöhe von fünf Sendern und den zugehörigen Vogel-IDs im Test. Dargestellt sind für jeden Sender die im GPS gemessene Höhe (schwarz), die barometrisch ohne Korrektur gemessene Höhe (rot), die barometrische Höhe nach Korrektur der Luftdruck-, und Temperaturschwankungen (blau) und die barometrische Höhe nach „Moving Window“ Kalibrierung (grün). Einige Ausreißer der GPS-Daten sind nicht dargestellt. Die Linie markiert den Median; die Box entspricht dem Bereich, in dem die mittleren 50 % der Daten liegen, die gestrichelte Linie kennzeichnet den Bereich, in dem die mittleren 95% der Daten liegen. Der Test wurde zwischen 26.05.2021 und 06.06.2021 durchgeführt.

### 3.3 Methodik der Datenauswertung

#### 3.3.1 Aktionsräume der besenderten Rotmilane

Der Aktionsraum ist das von einem Individuum regelmäßig genutzte Gebiet. Aktionsraumgrößen wurden im vorliegenden Projekt mit Hilfe der Kernel-Methode (Kernel density method) bestimmt. Hierbei wurde aus den Ortungspunkten eine Dichtefunktion berechnet, welche die Wahrscheinlichkeit angab, ein Individuum in einem bestimmten Bereich anzutreffen. Um die vorhandene räumliche und zeitliche Autokorrelation nicht außer Acht zu lassen, wurde für 50%, 75% sowie für 95% der Punkte die sogenannte „Autocorrelated Kernel Density Estimation“ (AKDE) Methode verwendet (FLEMING & CALABRESE 2017), welche das Problem der Autokorrelation minimierte. Für die Auswertung des Horstbezugs in der Nachbrutzeit wurde jeweils das „Minimum convex polygon“ (MCP) um die Übernachtungspunkte berechnet. Bei den Auswertungen zur Aktionsraumgröße wurde zwischen jenen Rotmilanen unterschieden, die in den verschiedenen Phasen (mit Ausnahme der Balz) durchgehend noch lebenden Nachwuchs hatten und jenen, deren Jungvögel bereits verstorben waren oder während der Phase verstarben.

Ergänzend wurde in dieser Studie die Abhängigkeit der berechneten Aktionsraumgröße von der Landnutzung gemäß den ATKIS-Daten und dem Grenzlinienanteil der landwirtschaftlichen Parzellen analysiert. Hierfür wurden für die Aktionsräume der Individuen die oben angegebenen Anteile berechnet. Des Weiteren wurde mit Hilfe von linearen Regressionen untersucht, ob die einzelnen Maße die Aktionsraumgröße beeinflussen. Hierfür wurde für die signifikanten Werte überprüft, ob es sich um einen negativen oder positiven Einfluss handelt. Der Zusammenhang zwischen Aktionsraumgröße und Landnutzung sowie dem Grenzlinienanteil der landwirtschaftlichen Parzellen wurde mit Hilfe von einzelnen linearen Modellen je Phase der Brutphänologie untersucht. Hierbei wurde als erklärende Variable der Anteil der einzelnen Landnutzungsklassen in einem 1.500 m Radius um den Horst verwendet (z-transformiert) sowie der Grenzlinienanteil der landwirtschaftlichen Parzellen (z-transformierte Grenzlinienlängen). Die z-Transformation standardisiert und normalisiert Daten, um die Vergleichbarkeit zu erhöhen und einen einheitlichen Wertebereich für die weitere Datenverarbeitung zu erreichen. Punkte in einem 200 m Radius um den Horst sowie Nachtpunkte wurden entfernt. Um die Nutzung der einzelnen Landnutzungstypen zu ermitteln, wurde zusätzlich der prozentuale Anteil eben dieser in einem Umkreis um den Horst bestimmt (Angebot) und der Verteilung der Landnutzungstypen im Aktionsraum (Nachfrage) gegenübergestellt. Der Radius des Kreises wurde als maximal zurückgelegte Distanz vom Horst definiert und war somit jeweils von den einzelnen Individuen abhängig. Der 200 m Nahbereich um den Horst wurde wieder ausgenommen. Mithilfe dieser Vorgehensweise wurde der sogenannte Jacobs Index (JACOBS 1974) ermittelt. Dieser ist ein Maß für den unter- oder überproportionalen Aufenthalt über bestimmten Landnutzungstypen.

#### *Raumnutzung in Abhängigkeit der Horstdistanz*

In Abbildung 48 bis Abbildung 52 wurde der prozentuelle Anteil an Ortungen in Abhängigkeit zur Horstdistanz und der Brutzeitphänologie dargestellt. Für Tabelle 17 und Tabelle 18 wurden ausschließlich Daten jener Individuen ausgewertet, deren Nachwuchs in der entsprechenden Brutzeitphase nicht verstorben war. Die Tabelle 17 stellt den relativen Anteil [%] der 5 Minuten-

Ortungspunkte beziehungsweise die mittlere Anzahl der Punkte pro Hektar innerhalb der angegebenen Distanzen zum Horst, nach Brutphase sowie Geschlecht differenziert, dar. Die Tabelle 18 nimmt für die bereits in Tabelle 17 durchgeführte Auswertung den 100 m Nahbereich um den Horststandort aus.

### **3.3.2 Flugaktivität & Flughöhe im Tages- /Jahresverlauf sowie in Abhängigkeit von Wetter und Geländeform**

#### *Flugaktivität (Flug/kein Flug)*

Die Flugaktivität wurde im Tages- und Jahresverlauf dargestellt, zudem getrennt nach Brutphänologie. Ob das Flugverhalten der Rotmilane vom Wetter, der Geländeform bzw. der Entfernung zum Horst abhängt, wurde mit Hilfe von Regressionsmodellen multivariat untersucht. Dabei wurden ein generalisiertes lineares gemischtes Model (GLGM) berechnet, welches die Vogelidentität sowie das Jahr als Random-Effekte berücksichtigt. Da es sich bei der abhängigen Variablen (Flugaktivität) um eine kategoriale Variable mit zwei Stufen (fliegend vs. sitzend) handelte, wurde mit einer Binomialverteilung gerechnet (vgl. KORNER-NIEVERGELT *et al.* 2015). Die unabhängigen (erklärenden) Variablen wurden, sofern sie kontinuierlich sind, z-transformiert. Um bei der Analyse der Abhängigkeit der Flugaktivität von den Wetterbedingungen eine Verzerrung durch die geringe Flugaktivität in den Nachtstunden zu vermeiden, wurde ausschließlich die Tageszeit (Sonnenlicht) analysiert. Zudem wurden ausschließlich Ortungspunkte verwendet, welchen Daten aller in der jeweiligen Auswertung relevanten Wetterparameter (gemessen in maximal 30 km Entfernung) zugewiesen werden konnten. Dies gilt sowohl für die DWD-Wetterdaten als auch für die Betriebsdaten zur Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe von WEA (siehe Tabelle 8 und 9).

#### *Flughöhe*

Der Einfluss von Wetter, Geländeform bzw. von der Entfernung zum Horst wurde in Bezug auf die Flughöhe der besenderten Rotmilane untersucht. Hierfür wurden zwei Modelle unter Annahme einer Binomialverteilung berechnet. Mithilfe eines linearen gemischten Modells (LGM) wurde die kontinuierliche Flughöhe der kalibrierten 5-min Barometerdaten betrachtet. Dieser Modelltyp nimmt an, dass alle verwendeten Parameter voneinander unabhängig sind. Mittels GLGM wurde eine kategoriale Flughöhe (unter / über 80 m) eruiert. Die erklärenden Variablen entsprechen jenen der Untersuchung der Flugaktivität (GLGM).

#### *Modellberechnung*

Die Modellberechnungen erfolgten nach HEUCK *et al.* (2019) mit dem R-Paket lme4 (BATES *et al.* 2015). Dabei wurden für die Umweltvariablen (Wettervariablen und Geländeform) die Effektstärke mit Standardfehler berechnet, wobei die Umweltvariablen zuvor mit der Funktion „scale“ skaliert wurden. Diese Funktion subtrahiert je Umweltparameter den Mittelwert von allen Einzelwerten und dividiert den verbleibenden Wert durch die Standardabweichung. Mit dem Paket Multcomp (HOTHORN *et al.* 2008) wurde die Signifikanz der Zusammenhänge bewertet. Als signifikant angesehen wurden Zusammenhänge mit einem p-Wert < 0,001. Mit dem Paket MuMin (BARTON 2016) wurde der Bestimmtheitsmaß der R<sup>2</sup>-Werte berechnet. Der R<sup>2</sup>-Wert gibt den Anteil der durch das Modell erklärten Varianz an der Gesamtvarianz in den Daten der abhängigen Variable an (R<sup>2</sup> = 1 entspricht 100%). Weiterhin wurde für jedes Modell

der marginale  $R^2$ - Wert berechnet, der den Anteil der Varianz angibt, der durch die erklärenden (Umwelt-)Variablen bestimmt wird und somit nicht auf Unterschiede zwischen den Vögeln bzw. Jahren zurückzuführen ist, die als „Zufallseffekte“ abgebildet sind. Mit dem Paket hier.part (WALSH & NALLY 2013) wurden die jeweiligen prozentualen Anteile der erklärenden Variablen an der durch das Modell erklärten Varianz ( $R^2$ ) berechnet. Die Bedeutung der betrachteten Einflussfaktoren auf das Flugverhalten des Rotmilans ergibt sich unter gemeinsamer Betrachtung von p-Wert,  $R^2$ - Wert und Effektstärke. Ausschließlich jene Parameter, die sowohl statistisch signifikant sind (p-Wert < 0,001), einen bedeutenden Anteil an der Varianz der Daten erklären (marg.  $R^2$ - Wert des Modells multipliziert mit dem Anteil der erklärten Varianz des Parameters möglichst groß) und deren Effektstärke bedeutend ist (möglichst groß), wirken sich auf das Flugverhalten der Art in ökologisch bedeutsamer Weise aus. Die Effektstärke gibt an, wie stark der Zusammenhang zwischen den unabhängigen Variablen (Parameter wie Horstdistanz, Wettervariablen und Geländeform) und den abhängigen Variablen (Flugaktivität und Flughöhe) ist. Dabei indiziert nach Cohen eine Effektstärke von 0,1 einen geringen Effekt, 0,3 einen mittleren und ab 0,5 einen starken Effekt (Cohen, 1988). Für die Berechnung des Standardfehlers wurde ein Konfidenzniveau von 95 % angesetzt.

#### *Angebot-Nachfrage-Grafiken*

Zur Visualisierung der Zusammenhänge zwischen Flugverhalten und Wetterbedingungen wurden Angebot-Nachfrage-Grafiken erstellt. Hierbei war das Angebot die Menge aller Ortungspunkte des 5 Minuten-Datensatzes bei gewissen Wetterbedingungen (siehe Kapitel 4.3). Dem gegenüber stand die Anzahl der Ortungspunkte im Flug bei diesen Wetterbedingungen. Um die über- oder unterproportionale Flugaktivität bei diesen Wetterbedingungen darzustellen, wurde jeweils der prozentuelle Anteil an Flugpunkten an der Gesamtmenge aller Ortungspunkte berechnet. Analog wurde eine zweite Grafik erstellt, um den Einfluss der Wetterparameter auf die Flughöhe darzustellen. Hierfür bildeten alle Punkte mit einer Flughöhe über 80 Metern die Nachfrage, während die Menge aller Ortungspunkte im Flug das Angebot repräsentierte.

### **3.3.3 Aktionsraumgröße in Abhängigkeit von Wetterparametern**

Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen Aktionsraumgröße und Wetterbedingungen wurden die täglichen Aktionsraumgrößen für die besenderten Individuen als 100 % „Multi Convex Polygon“ (MCP) berechnet. Als erklärende Variable wurden die mittleren Wetterbedingungen der Ortungspunkte des Tages für das jeweils betreffende Individuum berechnet. Für die statistische Untersuchung wurde ein lineares gemischtes Model analog zu den obigen Modellen berechnet, sodass Vogelidentität und Jahr als Random-Faktor in das Modell eingingen. Die erklärenden Variablen (durchschnittliche tägliche Wetterbedingungen) sowie die abhängige Variable (tägliche Aktionsraumgröße) wurden jeweils z-transformiert.

### **3.3.4 Einfluss von Landnutzung auf die Raumnutzung sowie die Flughöhe**

Durch räumliches Verschneiden der Raumnutzungsdaten mit den Landnutzungsdaten wurde die Nutzungsintensität der einzelnen Landnutzungstypen bestimmt. Um den Effekt der Horstdistanz zu minimieren, wurden Punkte in einem 200 m Radius um den Horst sowie Nachtpunkte entfernt. Als Maß zur Untersuchung der Präferenzen des Aufenthalts über den

einzelnen Landnutzungstypen wurden für jeden Vogel die jeweiligen Jacobs-Indices berechnet. In einem weiteren Schritt wurden für jeden Landnutzungstyp die Mittelwerte der Jacobs-Indices über alle ausgewerteten Vögel und Jahre gebildet. Um den Einfluss der Veränderung der Struktur der einzelnen Landnutzungstypen über das Jahr einzubeziehen, wurde der Jacobs-Index zusätzlich nach Monaten differenziert berechnet. Mittelwerte wurden bei einem p-Wert (t-Test)  $< 0,01$  als signifikant nicht-proportional eingestuft. Zusätzlich wurden die Modelle zur Untersuchung der Flughöhen mit den Landschaftstypen als erklärende Variablen gerechnet. Somit ließ sich feststellen, ob die Flughöhe signifikant von der überflogenen Landnutzung beeinflusst wurde. Bei den Modellen wurde die Horstdistanz miteinbezogen.

### 3.3.5 Flugverhalten im Umfeld des Windparks

#### *Wetterverhältnisse während Flugereignissen in Windpark-Geofences*

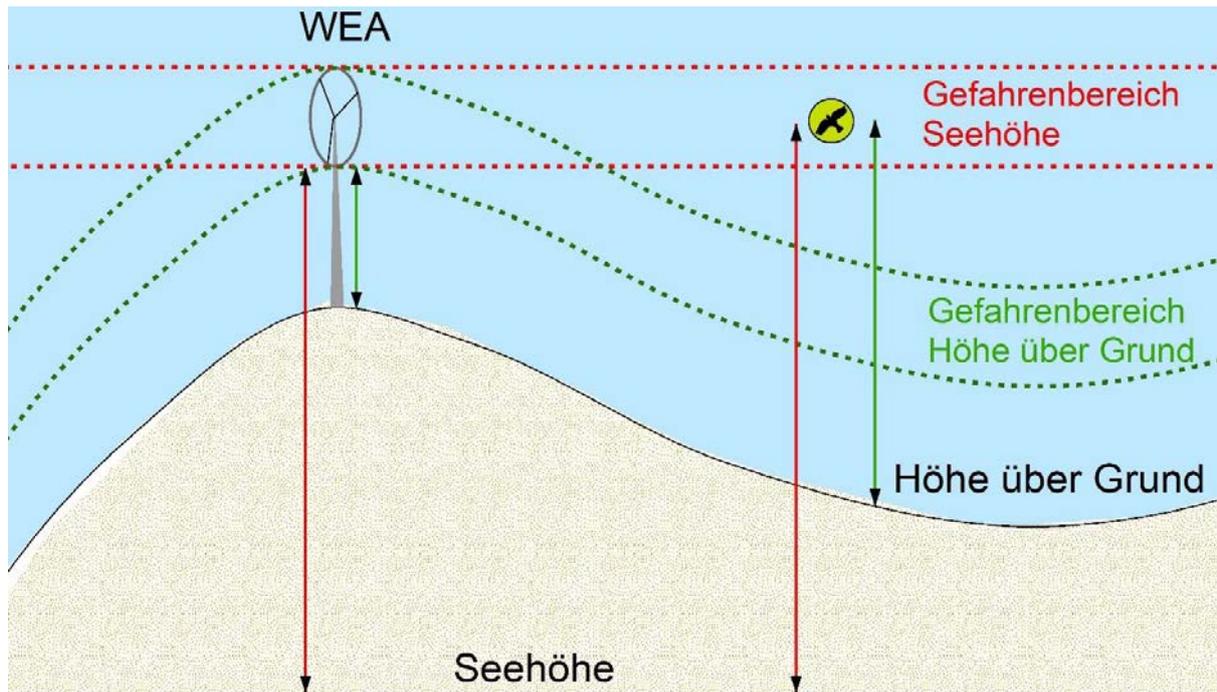
Ziel der Auswertung der Wetterverhältnisse während Flugereignissen im WEA-Nahbereich war es, wetterabhängige Unterschiede in der Nutzung (Frequentierung) von WEA-nahen Bereichen zu der sonstigen Raumnutzung der Rotmilane festzustellen. Dafür wurden alle Ortungsdaten auf 5 min-Intervalle reduziert und die erhobenen Ortungen in den Windpark-Geofences (im aktuellen Projekt einheitlich mit 1.000 m-Radius um WEA definiert) mit den ebenfalls auf 5 min-Daten reduzierten Ortungspunkten außerhalb des 1 km-Radius um WEA verglichen. Die Methodik erfolgte abweichend von HEUCK *et al.* (2019) ohne Einbeziehung der Sekundendaten im WEA-Nahbereich, um einen potenziellen Einfluss des wetterabhängigen Ladezustandes der Sender zu vermeiden.

#### *Flugereignisse im Nahbereich der WEA-Rotorblätter*

Für eine Detailanalyse des Flugverhaltens in WEA-Nähe wurden wie bei HEUCK *et al.* (2019) die Sekunden-Daten genutzt (vgl. Kap. 2.4). Als Nahbereich wurde ein Zylinder um jede WEA gewählt, dessen Radius dem Rotorradius der Anlage zuzüglich eines Puffers von 5 m zur Berücksichtigung des mittleren Messfehlers der GPS-Ortungen bei gutem Satellitenempfang entsprach (PFEIFFER & MEYBURG 2022). Die Höhe des Zylinders betrug die jeweilige Nabenhöhe plus/minus dem Rotorradius und ebenfalls einem Puffer von 5 m (HEUCK *et al.* 2019).

#### **Ringpuffer-Analyse**

Um ein potenzielles Meideverhalten (geringere Nutzung des WEA-Nahbereichs) des Rotmilans gegenüber Windparks zu untersuchen, wurde die Nutzungsintensität verschiedener Ringpuffer um die WEAs berechnet. Dafür wurde, wie aus Abbildung 19 ersichtlich, die Seehöhe und nicht die Höhe über Grund verwendet. Der Höhenvergleich zwischen Windenergieanlage und Telemetriepunkt (GPS-Höhenmessung, alle Ortungspunkte) erfolgte über die absolute Höhe über null (Seehöhe) und nicht über die Flughöhe über dem Gelände. Die Einbeziehung der Geländehöhe hätte dazu geführt, dass die kategoriale Einstufung, ob der Vogel auf Rotorhöhe fliegt, gerade für den Bereich des Rotors selbst, durch das Geländemodell verzerrt wird (Abbildung 19). Der Rotorbereich wurde individuell für jede Anlage aufgrund der Anlagenparameter bestimmt. Innerhalb aller Windpark-Geofences wurden 50 m Puffer um die WEA gelegt und die relative Häufigkeit der Ortungspunkte in diesen berechnet. Ausgewählt wurden WEA im Umkreis von 30 km um die Horste. Die Ergebnisse wurden grafisch als Säulendiagramm dargestellt. In einem weiteren Schritt wurde die gleiche Analyse mit nach Höhe differenzierten Ortungsdaten durchgeführt.



**Abbildung 19:** Die Ringpufferanalyse ermittelte die Kategorien „unter Rotorkante“, „über Rotorkante“ und im „Rotorbereich“ über dem „Gefahrenbereich - Seehöhe“ und nicht über dem „Gefahrenbereich – Höhe über Grund“. Der Gefahrenbereich Seehöhe entsprach der tatsächlichen Höhe der WEA. Dieser Parameter wurde gewählt, damit der Gefahrenbereich nicht durch das umliegende topografisch bewegte Gelände verzerrt wird.

### Potenziell kollisionskritische Flüge im WEA-Rotorbereich

Durch die Einrichtung von 1 km-Geofences um sämtliche Windenergieanlagen wurde eine hohe Datendichte für Flüge in WEA-Nähe erreicht, die weitergehende Auswertungsmöglichkeiten eröffnete, z.B. inwieweit das dreidimensionale Flugverhalten des Rotmilans in der Nähe von WEA von Faktoren wie Rotorstellung und Rotordrehzahl beeinflusst wurde. Mithilfe der Betreiberdaten zu Rotorstellung und Rotordrehzahl konnten potenziell kollisionskritische Flüge im WEA-Nahbereich ausgewertet werden. Sofern die Rotorstellung und die Rotordrehzahl nicht von den Windparkbetreibern zur Verfügung gestellt wurden, wurden diese, falls Betriebsdaten der WEA zu Windrichtung und Windgeschwindigkeit vorlagen, näherungsweise berechnet und für Flüge auf Rotorhöhe im Anhang dargestellt. Für die Auswertung der potenziell kollisionskritischen Flüge, wurden jene mit Sekundendaten erfassten Flüge ermittelt, die den Radius (Rotor + 5 m Sicherheitspuffer) um WEA im 2-D Raum (Höhe unberücksichtigt) querten. Von diesen Flügen wurden jene Flüge als potenziell kollisionskritisch ausgewählt, deren Flughöhe der Nabenhöhe des Rotors +/- Rotorradius zuzüglich 5 m Sicherheitspuffer entspricht. Jene Flüge wurden dann auf Basis der Betreiberdaten in einer Einzelfallbetrachtung in Form von Kartendarstellungen analysiert und individuell bewertet. Die Flüge, welche nicht auf Rotorhöhe stattfanden, wurden tabellarisch dargestellt und ausgewertet.

## 4 Ergebnisse

Von den zwölf neu besenderten Brutvögeln waren drei 2021 verstorben. Von diesen waren zwei bereits kurz nach Besenderung im Juni 2021 verstorben und deckten somit die Brutphänologie nicht ausreichend ab, um in die Auswertung einbezogen zu werden. Der dritte Todesfall ist auf den 17.08.2021 datiert, somit konnten die Daten dieses Vogels (Gemünden\_01) in einen Teil der Auswertungen einbezogen werden. Zwei der drei Rotmilane starben an Prädation, der Dritte starb an einer Vergiftung durch Abfälle einer Mülldeponie. Von den zwölf neu besenderten Brutvögeln flossen somit zehn in diese Studie maßgeblich ein. Zwei weitere bereits von HEUCK *et al.* (2019) besenderte Brutvögel (Noah und Isolde) ergänzen diesen Datensatz um die damals noch nicht ausgewerteten Senderdaten der Jahre 2019, 2020, 2021 und 2022 auf somit insgesamt zwölf in dieser Studie ausgewertete Brutvögel. Beginnend mit Abbildung 5 bis zu Abbildung 16 sind die Telemetriedaten der besenderten Brutvögel abgebildet, welche die Datengrundlage für diese Studie darstellten.

### 4.1 Aktionsräume der besenderten Rotmilane

Die Aktionsraumanalyse, differenziert nach unterschiedlicher Brutphänologie, zeigte zwei deutliche Ergebnisse (vgl. Abbildung 20 und Tabelle 15):

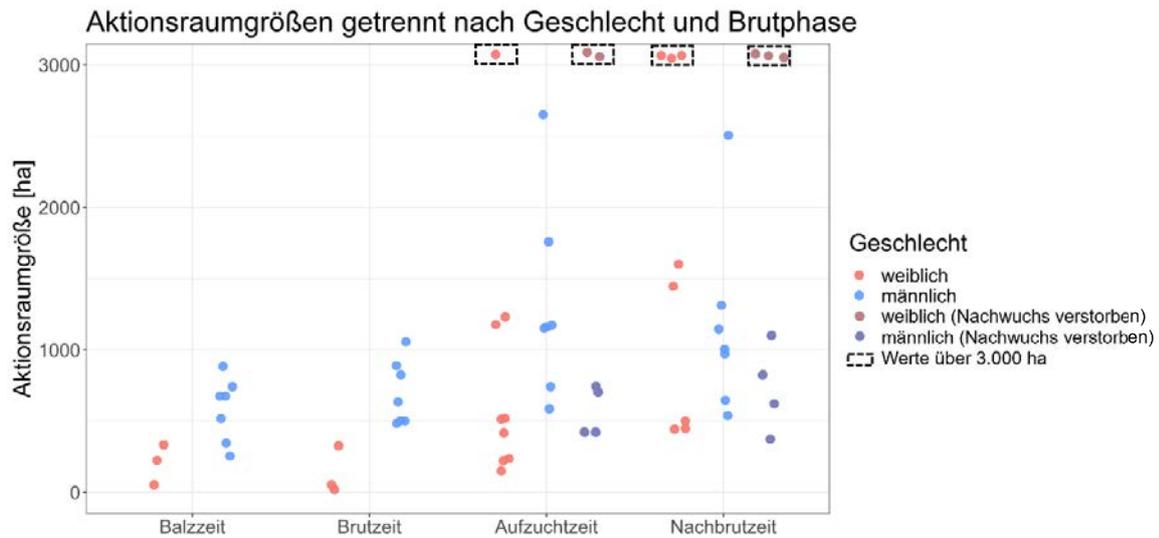
- Die Aktionsraumgrößen stiegen von der Balz- und Brutzeit zur Nachbrutzeit deutlich an.
- Männchen zeigten tendenziell größere Aktionsräume in der Balz-, Brut- und Aufzuchtphase als Weibchen, sofern der Nachwuchs nicht verstorben war.

In der vorliegenden Studie variierte die Größe des Aktionsraumes zwischen den Geschlechtern und nahm mit fortschreitender Brutphänologie zu. Die stärkere Bindung der Weibchen an den Horst und somit die geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Brutpflege waren deutlich zu erkennen. Dieser Unterschied war insbesondere während der Brutzeit und der Aufzuchtzeit sichtbar und schwächte sich während der Nachbrutzeit ab. Bei der Betrachtung der Brutvögel mit lebendem Nachwuchs lag der Median der Aktionsraumgrößen bei Weibchen zur Balzzeit bei 2,7 km<sup>2</sup> und zur Brutzeit bei 0,4 km<sup>2</sup>, während Männchen mit 6,8 km<sup>2</sup> (Balz) und 6,2 km<sup>2</sup> (Brut) entsprechend größere Flächen nutzten. In der Aufzuchtzeit bestand beim Median mit 4,7 km<sup>2</sup> bei Weibchen zu 9,9 km<sup>2</sup> bei Männchen weiterhin ein großer Unterschied. In der Nachbrutzeit kehrten sich die geschlechterspezifischen Unterschiede um. So zeigten die Männchen mit Aktionsraumgrößen von im Median 8,3 km<sup>2</sup> kleinere Aktionsräume als die Weibchen mit 14,5 km<sup>2</sup>, wobei einzelne weibliche Tiere durch besonders große Aktionsräume auffielen (siehe

**Tabelle 13).** Auffällig ist zudem die große Varianz der Aktionsräume der Weibchen, wobei die größten Aktionsräume von Weibchen mit lebendem Nachwuchs bei 5.606 ha in der Aufzuchtzeit bzw. 5.829 ha in der Nachbrutzeit auftraten. Für die drei betrachteten weibliche Rotmilane mit verstorbenem Nachwuchs (RK\_1245/2022, RK\_1244/2022 und RK\_1285/2021) ergaben sich Aktionsräume von 203 km<sup>2</sup>, 4.873 km<sup>2</sup> und 19.032 km<sup>2</sup> in der Nachbrutzeit (AKDE 95 %), welche um ein Vielfaches größer waren als bei den Männchen mit 4 km<sup>2</sup>, 6 km<sup>2</sup>, 8 km<sup>2</sup> und 11 km<sup>2</sup>. Es bestand somit bei Weibchen im Gegensatz zu Männchen keine Revierbindung mehr nach dem Verlust des Nachwuchses (vgl. Tabelle 12). Diese geringere Horstbindung zeigt sich anhand Tabelle 14, welche die Größe der „Minimalen Konvexen Hülle“ (MCP) um die Übernachtungspunkte zeigt (siehe auch Abbildung 38). Bei der „Minimum-Convex-Polygon“-Methode wurde mithilfe der Telemetriedaten eine äußere Aktionsraumgrenze ermittelt. Diese Methode ergab für die Übernachtungspunkte von RK\_1285 (Hülshof\_01) während der Nachbrutzeit im Jahr 2021 fast 200.000 ha (vgl. Tabelle 14).

Das Geschlecht des Rotmilans RK\_1455 (Binaced\_52) war unbekannt. Auf Grund der Aktionsraumgröße wird allerdings vermutet, dass es sich um ein Weibchen handelte mit einem Bruterfolg im Jahr 2022, da während der Brutzeit ein sehr kleiner Aktionsraum genutzt wurde (5 ha), welcher während der Aufzuchtzeit leicht anstieg (33 ha). Beide Jungtiere von Binaced\_52 verstarben in der Nachbrutzeit (25.6.2022, 8.7.2022) und die Größe des Aktionsraums nahm deutlich zu, aber weniger stark, als dies bei den zuvor genannten Weibchen festgestellt wurde.

In Abbildung 20 sind die Veränderungen der Aktionsraumgrößen, die eine Größe von weniger als 3.000 ha aufwiesen, über die Brutphänologie dargestellt. Es zeigt sich, dass die Weibchen in der Balz- und Brutzeit einen kleineren Aktionsraum als Männchen haben. Während der Aufzucht- und Nachbrutzeit vergrößert sich der Aktionsraum von Weibchen und Männchen weiter. Über 3.000 ha große Aktionsräume sind während der Brut- und Balzphase nicht festgestellt worden, wohl aber in der Aufzucht- und Nachbrutzeit. Entsprechend Tabelle 12 wies Isolde als einziger der ausgewerteten Vögel (Nachwuchs war nicht verstorben) bereits in der Aufzuchtphase (im Jahr 2022) mit 5.606 ha einen größeren Aktionsraum auf. Dagegen wiesen in der Nachbrutzeit drei weibliche Rotmilane größere Aktionsräume als 3.000 ha auf und auch ansonsten waren in der Nachbrutzeit Aktionsräume über 1.000 ha die Regel. Dabei lag der Anteil der Ortungspunkte im Flug (> 10 km/h) für den Zeitraum von der Balz bis zum Ende der Aufzuchtphase bei Weibchen mit 15,2 % deutlich niedriger als bei den männlichen Brutvögeln (42,2 %). In der Nachbrutzeit fiel der Unterschied mit 17,6 % bei Weibchen und 23,6 % bei Männchen deutlich kleiner aus. Diese Differenz zwischen den Geschlechtern ist bei erfolgreicher Brut auf die stärkere Horstbindung des Weibchens zurückzuführen.



**Abbildung 20:** Ergebnisse der Aktionsraumanalysen für einzelne Milane, getrennt nach Brutphänologie für die Jahre 2019 bis 2022. Dargestellt sind die Ergebnisse der AKDE 95% Methode für 5 Minuten-Daten, Aktionsräume größer als 3.000 ha sind hier auch dargestellt. Balzzeit: 15. März bis 14. April, Brutzeit: 15. April bis 19. Mai, Aufzuchtzeit: 20. Mai bis 30. Juni, Nachbrutzeit: 1. Juli bis 30. September.

**Tabelle 12:** Ergebnisse der Aktionsraumanalysen für die einzelnen Milane, getrennt nach Brutphänologie sowie über die vier betrachteten Phasen zusammen für die Jahre 2019 bis 2022. Dargestellt sind die Ergebnisse der AKDE 95%-Methode für die Aktionsraumgröße in Hektar für 5 Minuten-Daten sowie die Anzahl der Ortungspunkte (getrennt durch /). Der Gesamtwert wurde mithilfe der AKDE 95%-Methode aus den Daten aller Phasen gemeinsam berechnet. Phasen, in denen von dem Vogel nicht ausreichend Daten für eine Bewertung vorliegen, sind grau eingefärbt; Phasen, in denen der Nachwuchs bereits verstorben war, sind rot dargestellt, anderenfalls grün gefärbt.

Brutzeitphänologie		AKDE 95% [ha] / Anzahl der Ortungspunkte				
		RK_1257 Gemünden_01 (weiblich)	RK_1285 Hülshof_01 (weiblich)	RK_1455 Binaced_52 (ausständig)	RK_1658 Hinkelhof_01 (weiblich)	RK_1659 Hinkelhof_02 (männlich)
Aufzuchtzeit	2021	520/3.432	151/778	-/0	-/0	-/0
Nachbrutzeit	2021	501/9.852	1.903.175/13.284	-/0	-/0	-/0
Balzzeit	2022	-/0	-/0	1.235/4.586	-/0	-/0
Brutzeit	2022	-/0	-/0	5/3.375	-/0	-/0
Aufzuchtzeit	2022	-/0	-/0	33/8.069	1.178/3.819	2.652/3.937
Nachbrutzeit	2022	-/0	-/0	958/12.085	1.447/6.493	2.506/11.138
Gesamt	2021	530	1.833.976	-	-	-
Gesamt	2022	-	-	1.178	19.358.840	3.233
		RK_1244 Söhrewald_03 (weiblich)	RK_1245 Weiße_Hütte_01 (weiblich)	RK_1246 Wahmbeck_01 (männlich)	RK_1258 Gemünden_02 (männlich)	RK_1277 Gersrod_01 (männlich)
Aufzuchtzeit	2021	418/4.406	237/4.321	425/3.921	587/3.435	1.152/1.953
Nachbrutzeit	2021	5.829/17.285	3.515/14.318	622/16.575	1.313/16.549	973/17.516
Balzzeit	2022	224/5.438	53/5.445	675/5.397	884/5.419	676/4.337
Brutzeit	2022	52/7.116	19/6.905	502/6.032	1.058/7.071	889/6.553
Aufzuchtzeit	2022	61.542/9.285	25.847/8.318	423/8.787	1.162/8.930	1.173/8.863
Nachbrutzeit	2022	487.264/17.462	20.338/18.266	371/13.382	1.004/16.652	646/16.632
Gesamt	2021	4.082	2.817	575	925	1.090
Gesamt	2022	123.181	13.862	603	1.252	952
		RK_1137 Isolde (weiblich)	RK_1138 Noah (männlich)			
Balzzeit	2019	334/68	345/116			
Brutzeit	2019	327/48	483/316			
Aufzuchtzeit	2019	1.231/320	742/728			
Nachbrutzeit	2019	443/1.654	540/854			
Balzzeit	2020	-/10	255/90			
Brutzeit	2020	-/1	825/533			
Aufzuchtzeit	2020	514/148	1.759/1.955			
Nachbrutzeit	2020	4.403/1.528	1.146/1.088			
Balzzeit	2021	-/1	742/54			
Brutzeit	2021	-/7	635/92			
Aufzuchtzeit	2021	222/245	710/345			
Nachbrutzeit	2021	1.602/678	1.104/239			
Balzzeit	2022	-/1	518/40			
Brutzeit	2022	-/3	501/101			
Aufzuchtzeit	2022	5.606/291	738/958			
Nachbrutzeit	2022	448/1.681	828/1.549			
Gesamt	2019	527	912			
Gesamt	2020	4.300	969			
Gesamt	2021	434	897			
Gesamt	2022	1.084	782			



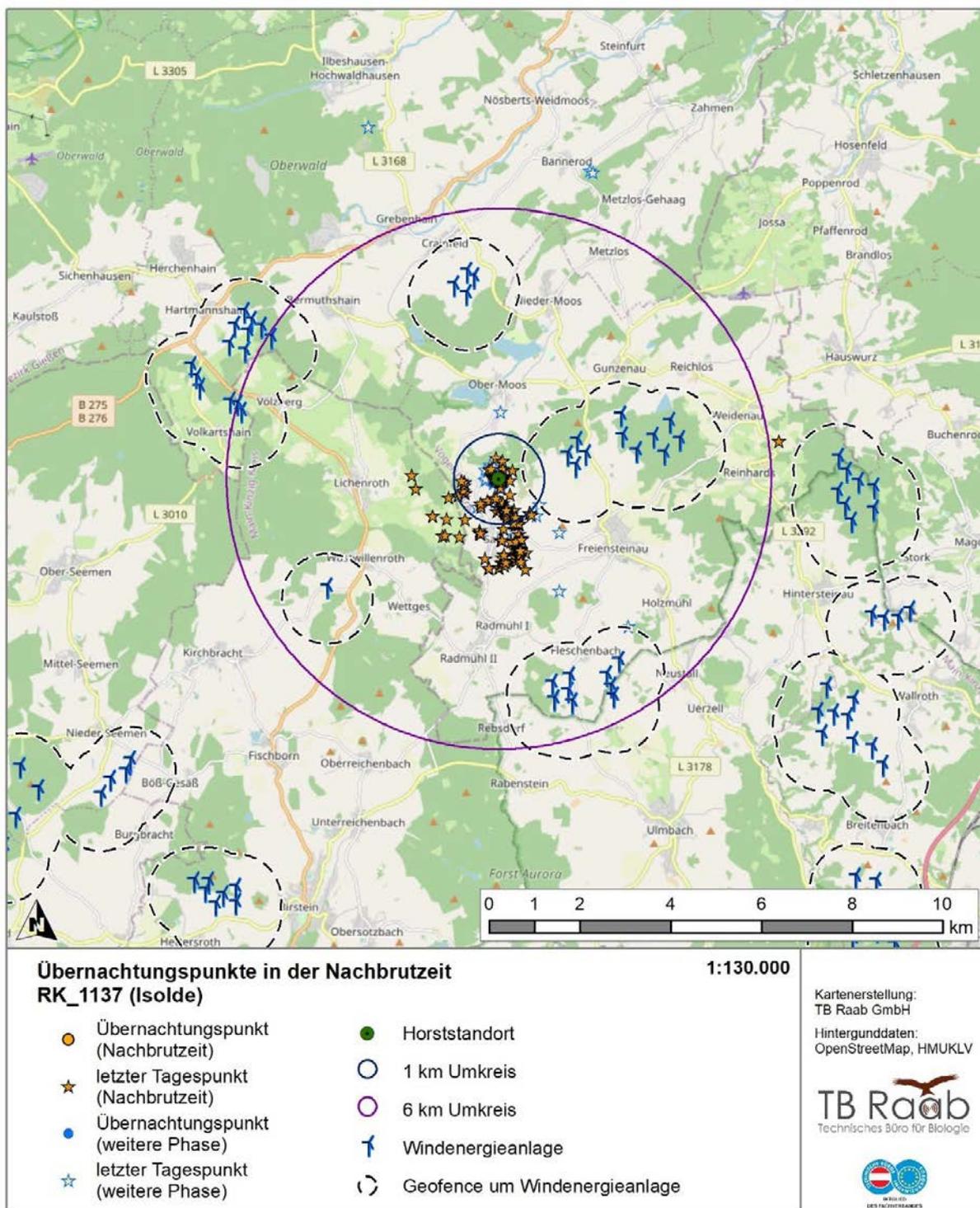
**Tabelle 13:** Vergleich der Aktionsraumgrößen nach Geschlecht für die vier Brutphasen für die aktuelle Telemetriestudie mit HEUCK *et al.* (2019). Es wurden ausschließlich Brutphasen berücksichtigt, in denen der Nachwuchs nicht verstorben war. Balzzeit 15. März bis 14. April, Brutzeit 15. April bis 19. Mai, Aufzuchtzeit 20. Mai bis 30. Juni, Nachbrutzeit 1. Juli bis 30. September. Die Gesamtschau aus beiden Studien ist grau markiert.

<b>Männchen (erfolgreich)</b>		Balzzeit	Brutzeit	Aufzuchtzeit	Nachbrutzeit
Stichprobengröße (Anzahl Jahre)	TB RAAB	6	7	6	7
	HEUCK	3	3	3	6
	gesamt	9	10	9	13
Median (km <sup>2</sup> )	TB RAAB	6,8	6,4	11,6	10,0
	HEUCK	7,9	6,1	6,3	7,0
	gesamt	6,8	6,2	9,9	8,3
Mittelwert (km <sup>2</sup> )	TB RAAB	6,3	7,0	11,0	11,6
	HEUCK	9,4	7,3	7,4	6,6
	gesamt	7,3	7,1	9,8	9,3
Minimum (km <sup>2</sup> )	TB RAAB	2,6	4,8	5,9	5,4
	HEUCK	5,7	5,7	6,1	3,1
	gesamt	2,6	4,8	5,9	3,1
Maximum (km <sup>2</sup> )	TB RAAB	8,8	10,6	17,6	25,1
	HEUCK	14,8	10,1	9,9	8,8
	gesamt	14,8	10,6	17,6	25,1

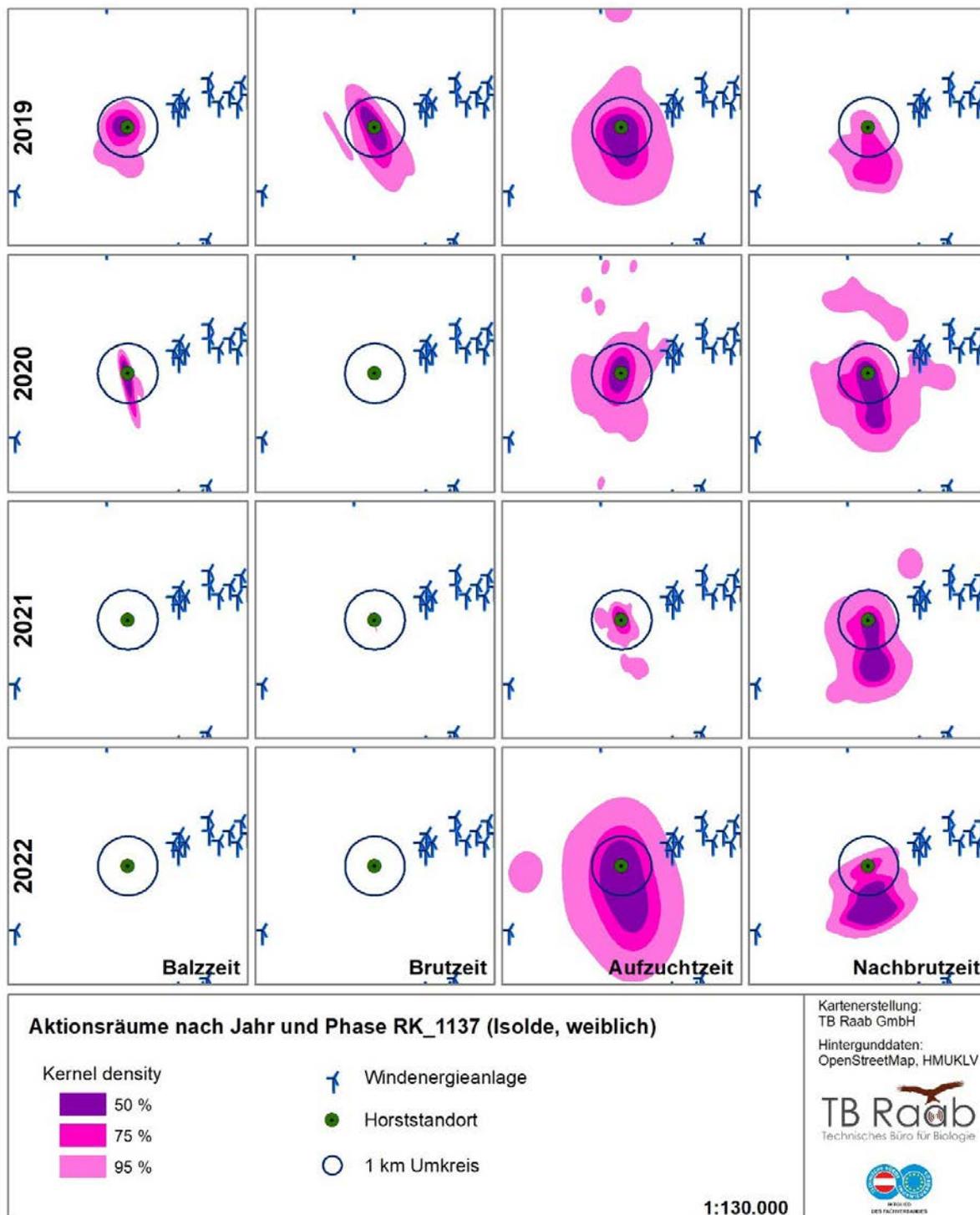
<b>Weibchen (erfolgreich)</b>		Balzzeit	Brutzeit	Aufzuchtzeit	Nachbrutzeit
Stichprobengröße (Anzahl Jahre)	TB RAAB	3	3	9	8
	HEUCK	1	1	1	3
	gesamt	4	4	10	11
Median (km <sup>2</sup> )	TB RAAB	2,2	0,5	5,1	15,2
	HEUCK	3,2	0,1	2,8	5,2
	gesamt	2,7	0,4	4,7	14,5
Mittelwert (km <sup>2</sup> )	TB RAAB	2,0	1,3	11,2	21,5
	HEUCK	3,2	0,1	2,8	8,8
	gesamt	2,3	1,0	10,4	18,0
Minimum (km <sup>2</sup> )	TB RAAB	0,5	0,2	1,5	4,4
	HEUCK	3,2	0,1	2,8	4,3
	gesamt	0,5	0,1	1,5	4,3
Maximum (km <sup>2</sup> )	TB RAAB	3,3	3,3	56,1	58,3
	HEUCK	3,2	0,1	2,8	16,9
	gesamt	3,3	3,3	56,1	58,3

**Tabelle 14:** Größe der „minimalen konvexen Hülle“ um die Übernachtungspunkte der einzelnen Individuen, getrennt nach Jahr und Brutphänologie. Die Übernachtungspunkte der Rotmilane Noah und Isolde sind nicht bekannt, weil die Sender nicht darauf eingestellt waren, in der Nacht zu senden. Phasen, in denen von dem Vogel nicht ausreichend Daten für eine Bewertung vorliegen, sind grau eingefärbt, jene in denen der Nachwuchs bereits verstorben war, sind rot dargestellt, anderenfalls sind diese grün gefärbt.

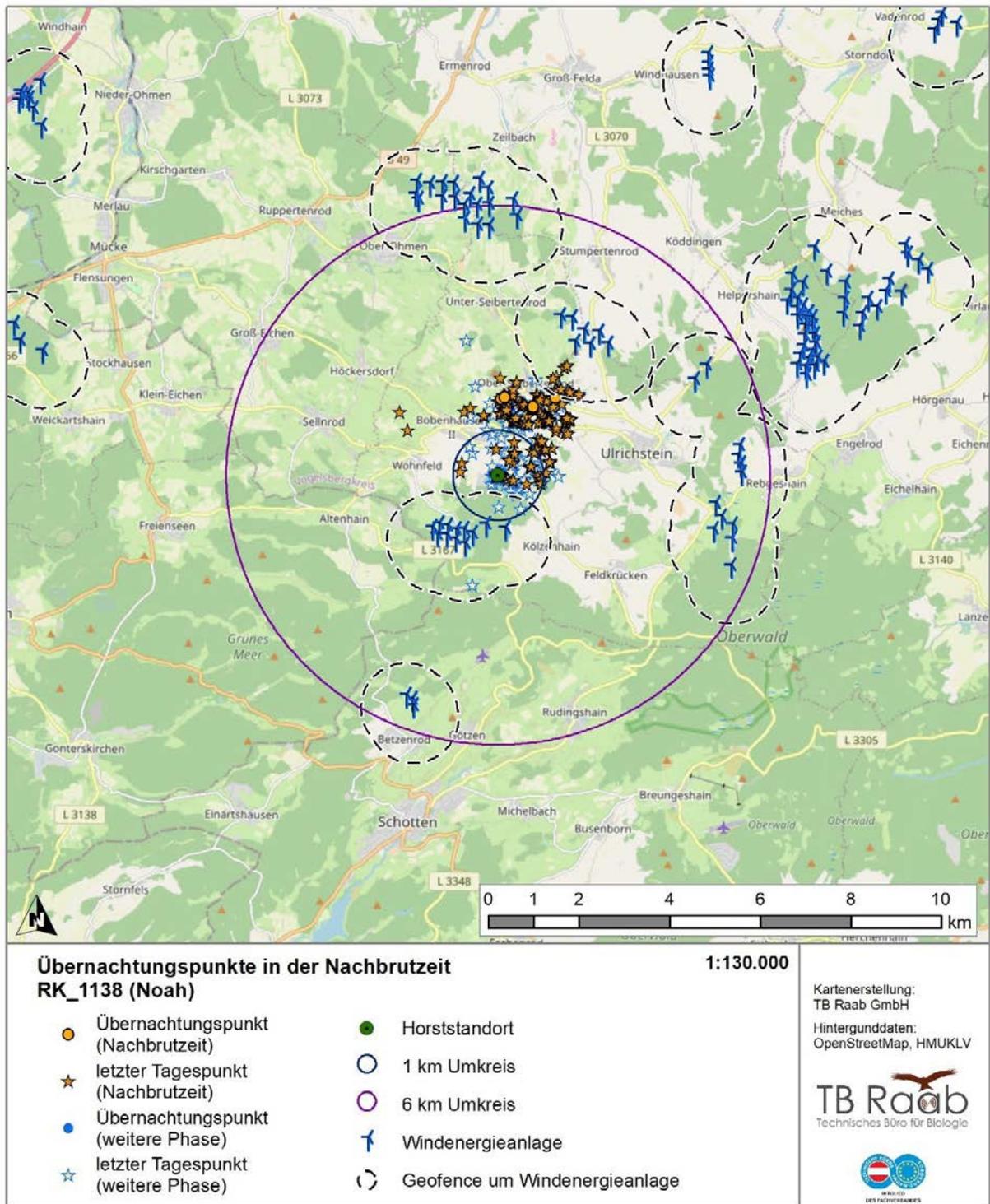
Brutphänologie	MCP der Übernachtungspunkte [ha]				
	RK_1257 Gemünden_01 (weiblich)	RK_1285 Hülshof_01 (weiblich)	RK_1455 Binaced_52 (ausständig)	RK_1658 Hinkelhof_01 (weiblich)	RK_1659 Hinkelhof_02 (männlich)
Aufzuchtzeit 2021	8,7	2			
Nachbrutzeit 2021	183,1	170.867			
Balzzeit 2022			3,4		
Brutzeit 2022			0,9		
Aufzuchtzeit 2022			1,2	33,7	2.141
Nachbrutzeit 2022			889,5	1.214,3	2.007,2
	RK_1244 Söhrewald_03 (weiblich)	RK_1245 Weiße_Hütte_01 (weiblich)	RK_1246 Wahmbeck_01 (männlich)	RK_1258 Gemünden_02 (männlich)	RK_1277 Gersrod_01 (männlich)
Aufzuchtzeit 2021	6,5	83,2	4,2	59,3	52,6
Nachbrutzeit 2021	9.028	11.594	1.172	880,2	940,6
Balzzeit 2022	9,9	53,9	216,4	237,1	4,9
Brutzeit 2022	36,6	1,6	14,5	12,2	193,4
Aufzuchtzeit 2022	55.541	13.482	21,5	10,5	215,8
Nachbrutzeit 2022	221.980	14.191	139,1	78,1	119,7



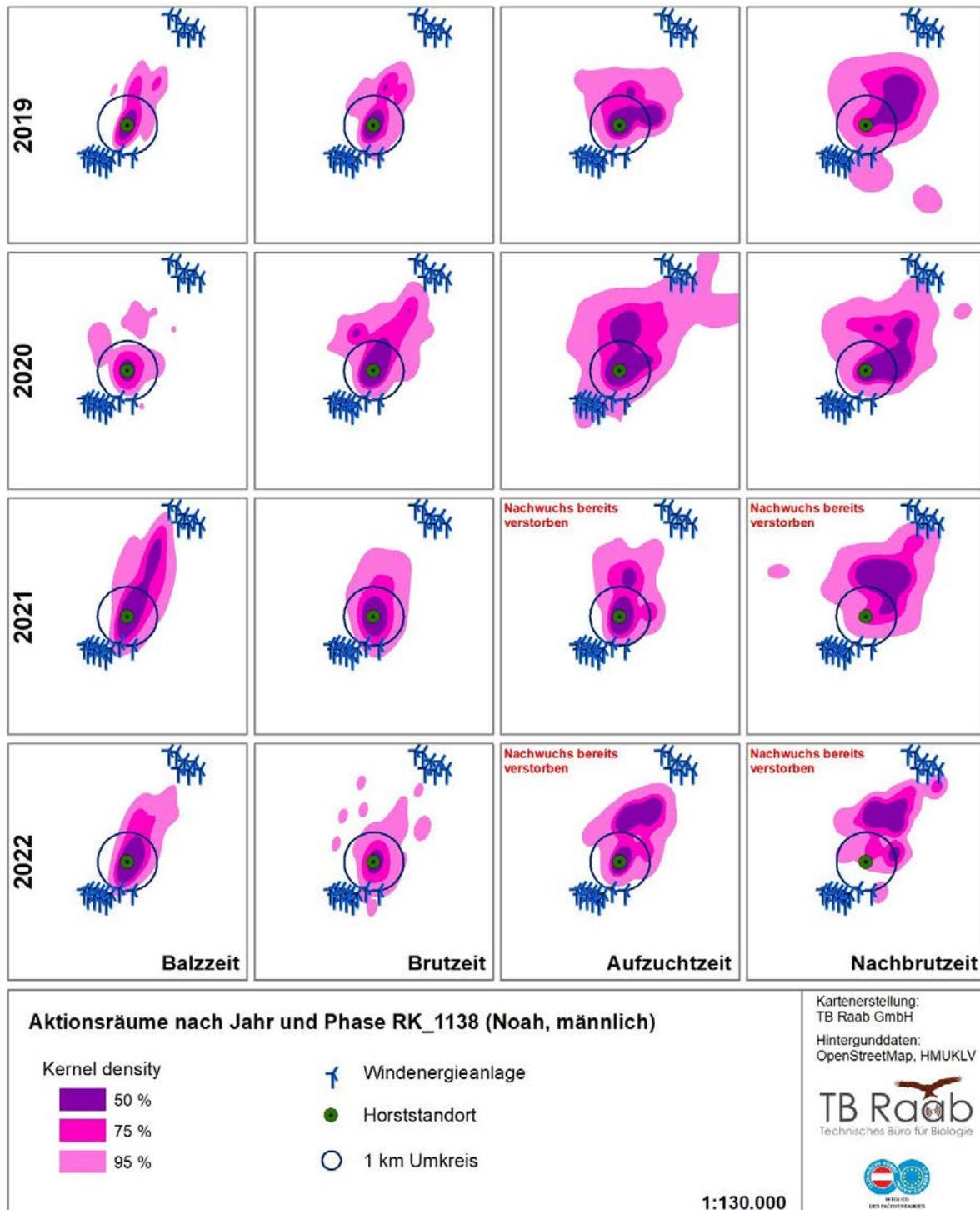
**Abbildung 21:** Horstbindung anhand der letzten Tagespunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den RK\_1137 „Isolde“ (weiblich) in den Jahren 2019 bis 2022. Aufgrund der Sendereinstellungen von Isolde wurden keine Übernachtungspunkte aufgezeichnet. Es sind die letzten Tagespunkte in der Karte dargestellt.



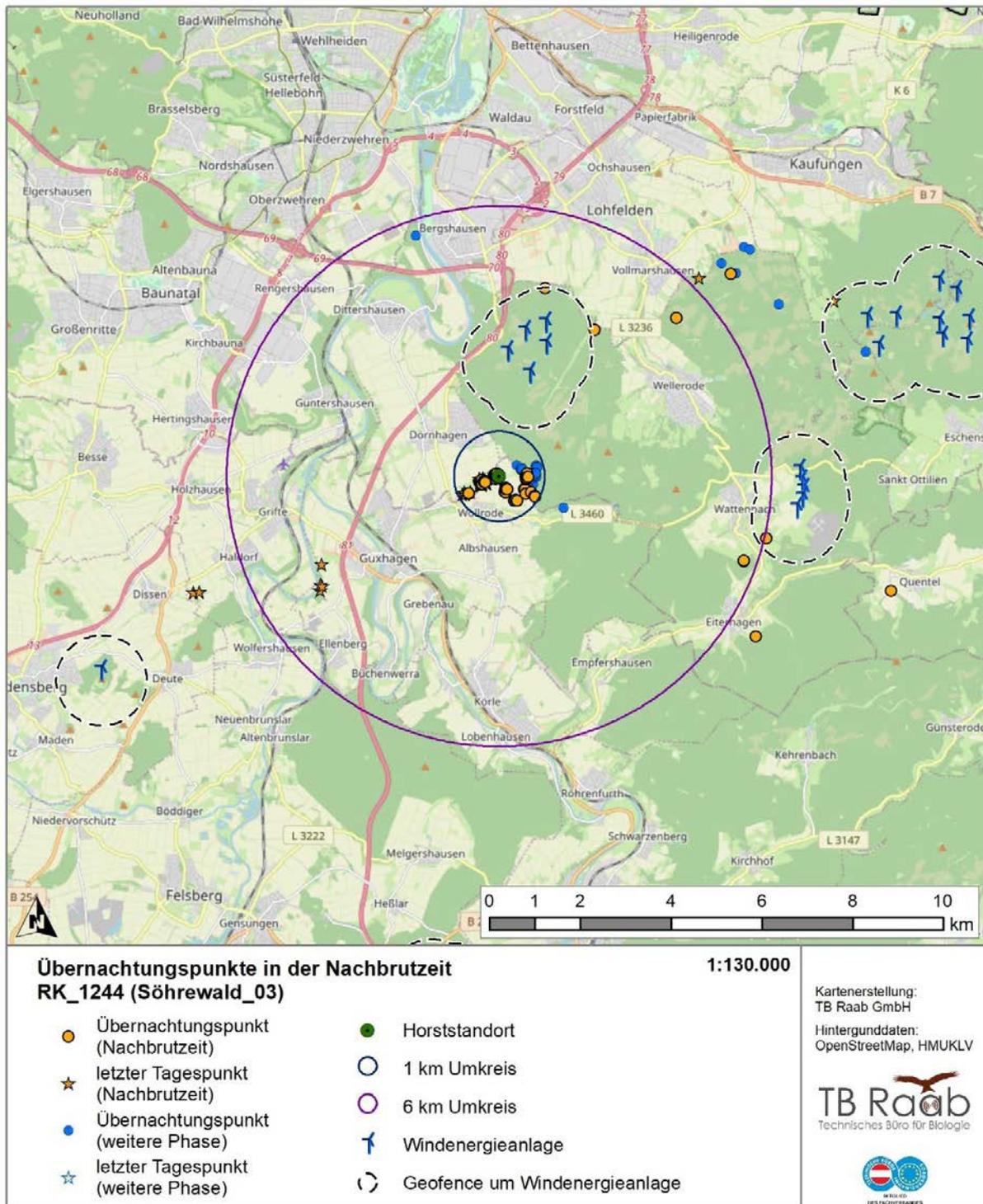
**Abbildung 22:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1137 „Isolde“ (weiblich) in den Jahren 2019 bis 2022; erfolgreiche Brut in den Jahren 2019-2022.



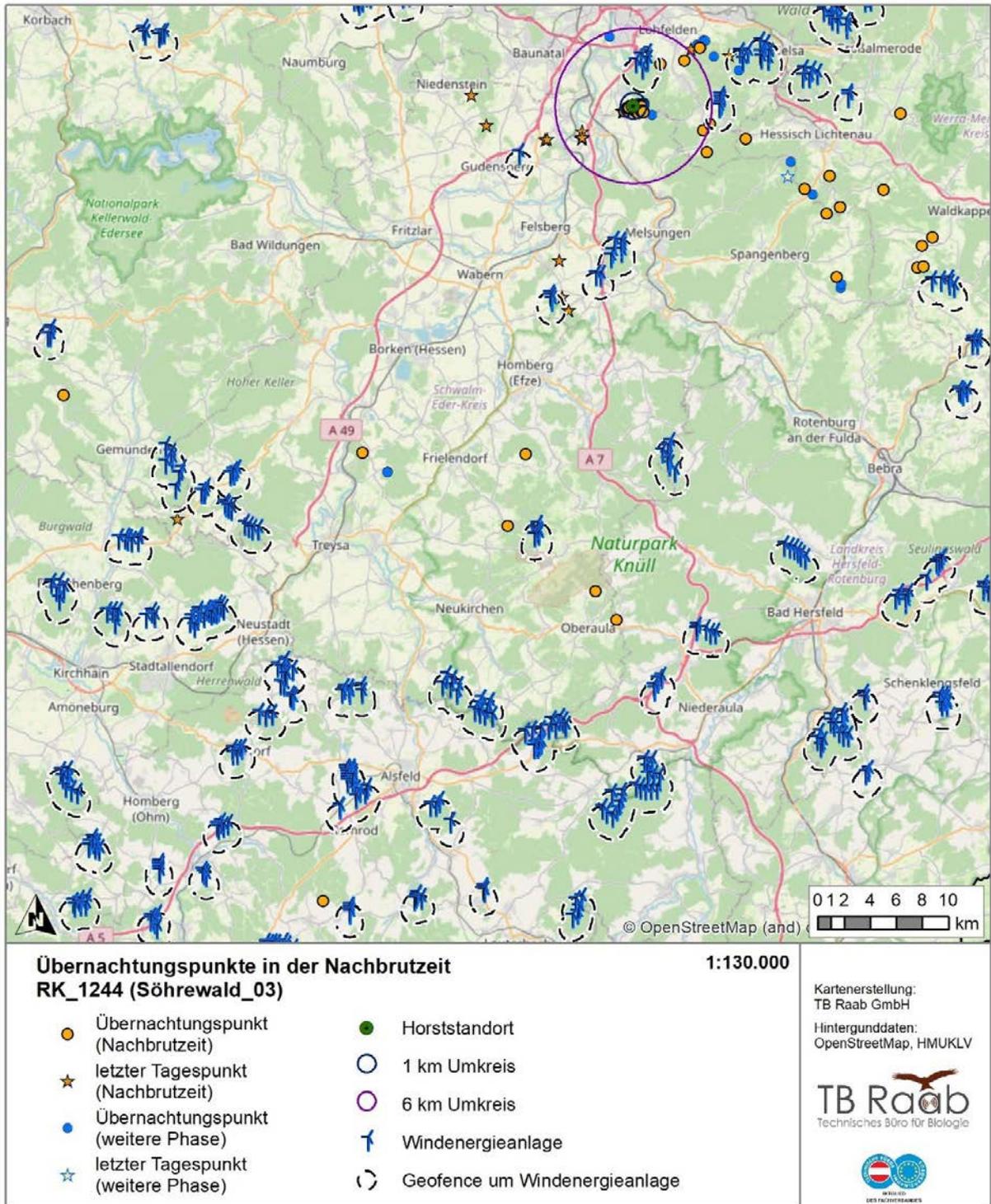
**Abbildung 23:** Horstbindung anhand der letzten Tagespunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1138 „Noah“ (männlich) in den Jahren 2019 bis 2022. Es sind die letzten Tagespunkte in der Karte dargestellt.



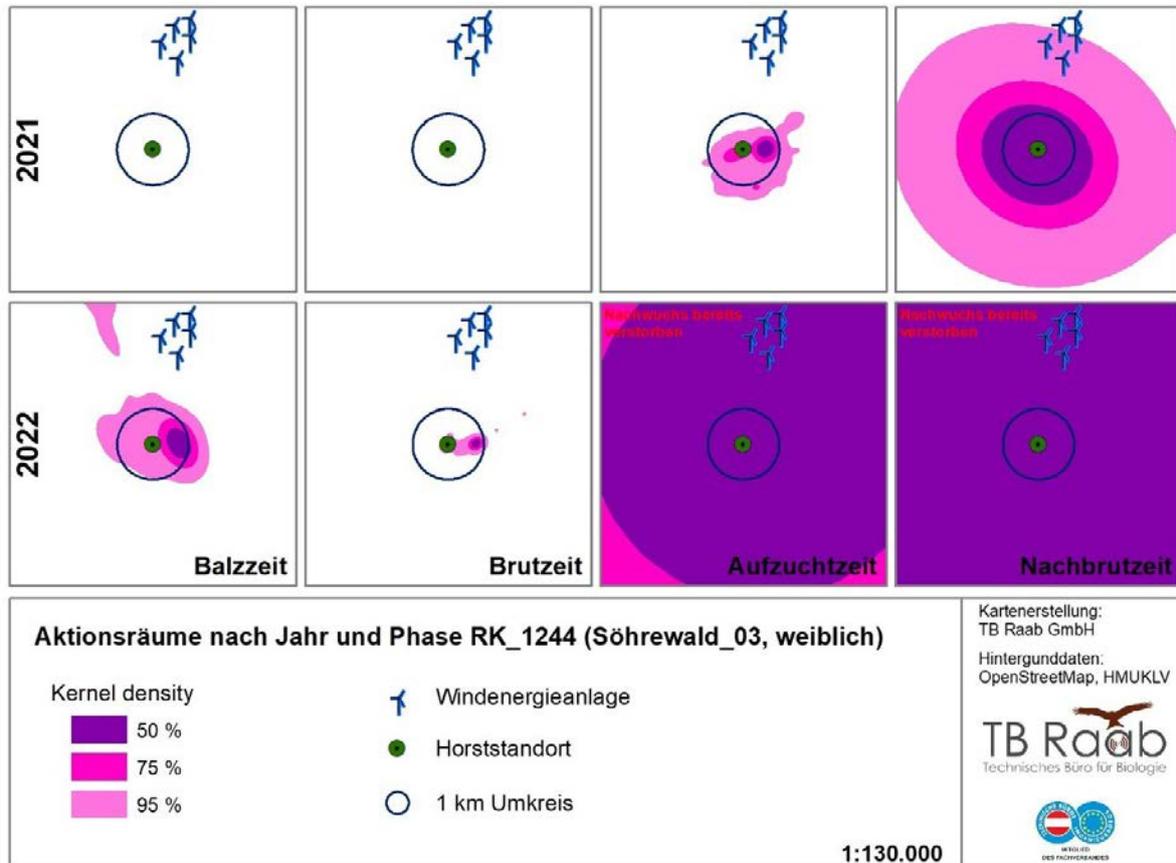
**Abbildung 24:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1138 „Noah“ (männlich) in den Jahren 2019 bis 2022; erfolgreiche Brut in den Jahren 2019, 2020. In den Jahren 2021 und 2022 verstarb der Nachwuchs in der Aufzuchtzeit.



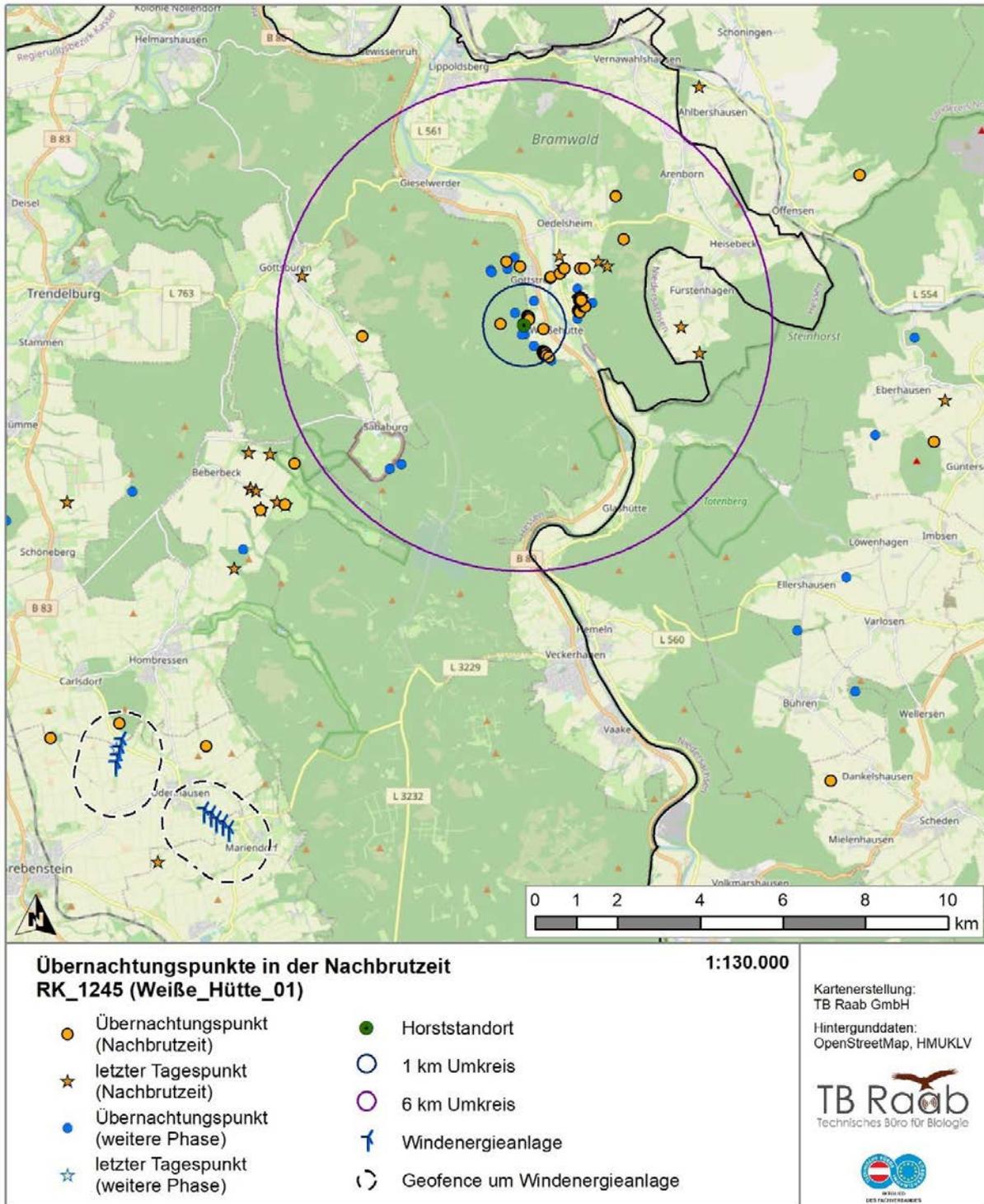
**Abbildung 25:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1244 „Söhrewald\_03“ (weiblich) in den Jahren 2021 und 2022.



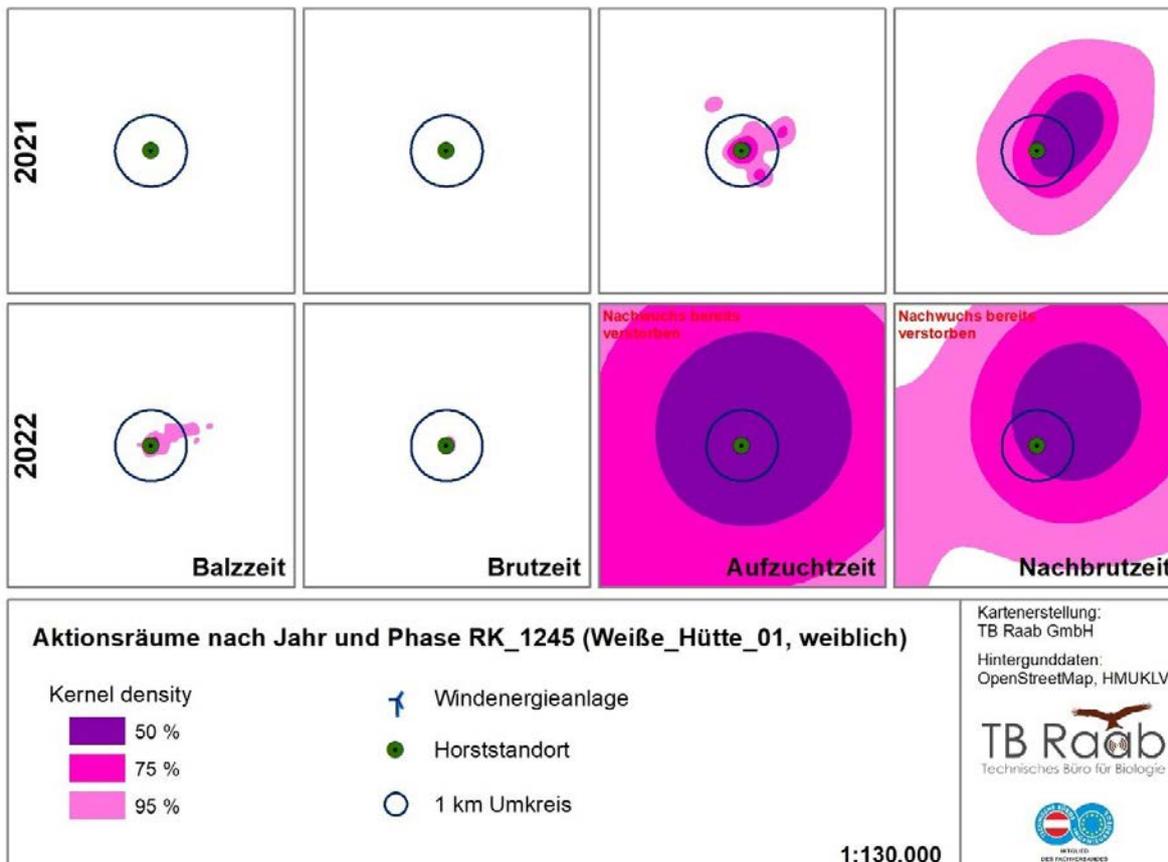
**Abbildung 26:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1244 „Söhrewald\_03“ (weiblich) in den Jahren 2021 und 2022 mit größerer Abdeckung.



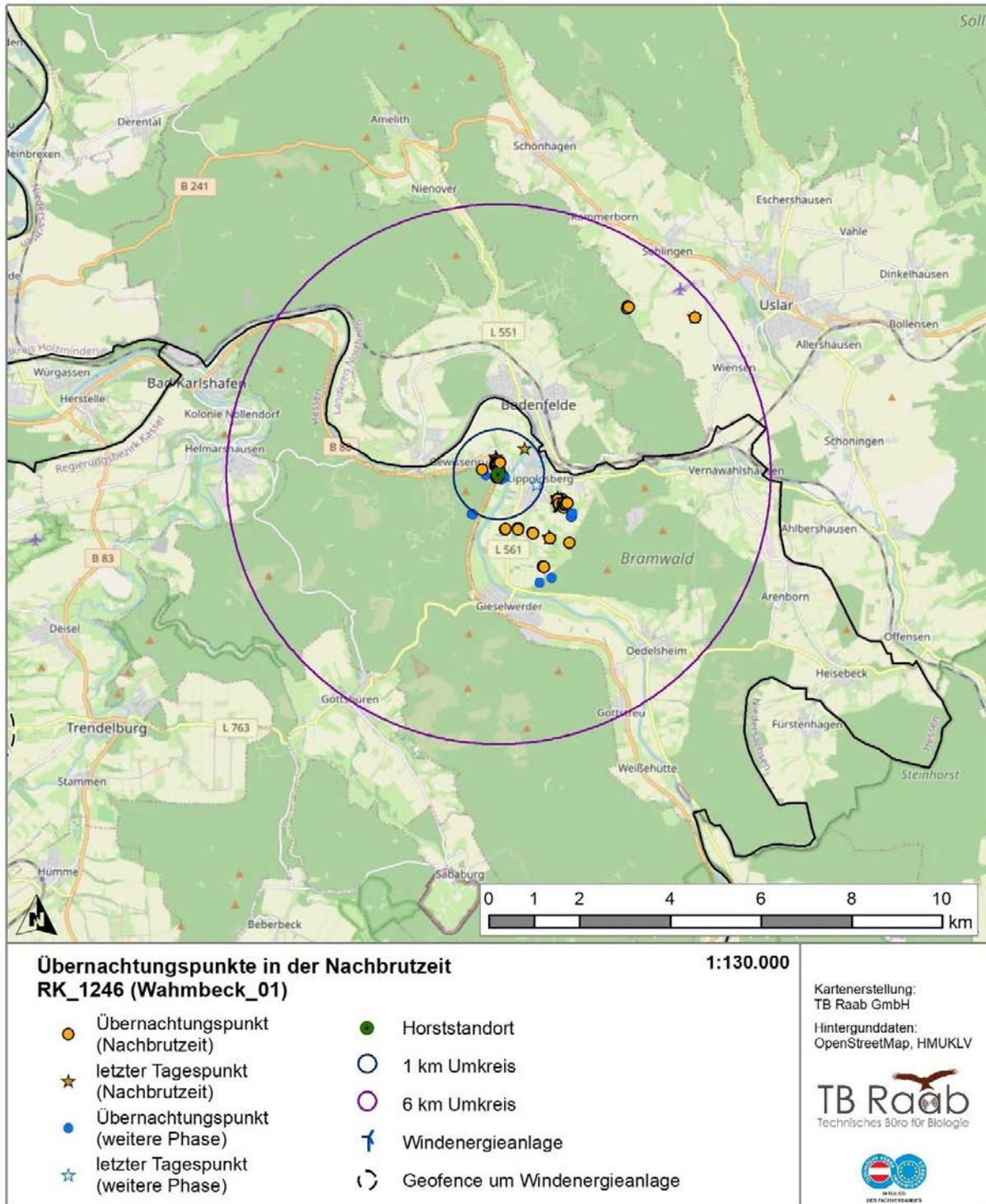
**Abbildung 27:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1244 „Söhrenwald\_03“ (weiblich) in den Jahren 2021, 2022, erfolgreiche Brut im Jahr 2021. Im Jahr 2022 verstarb der Nachwuchs in der Aufzuchtzeit.



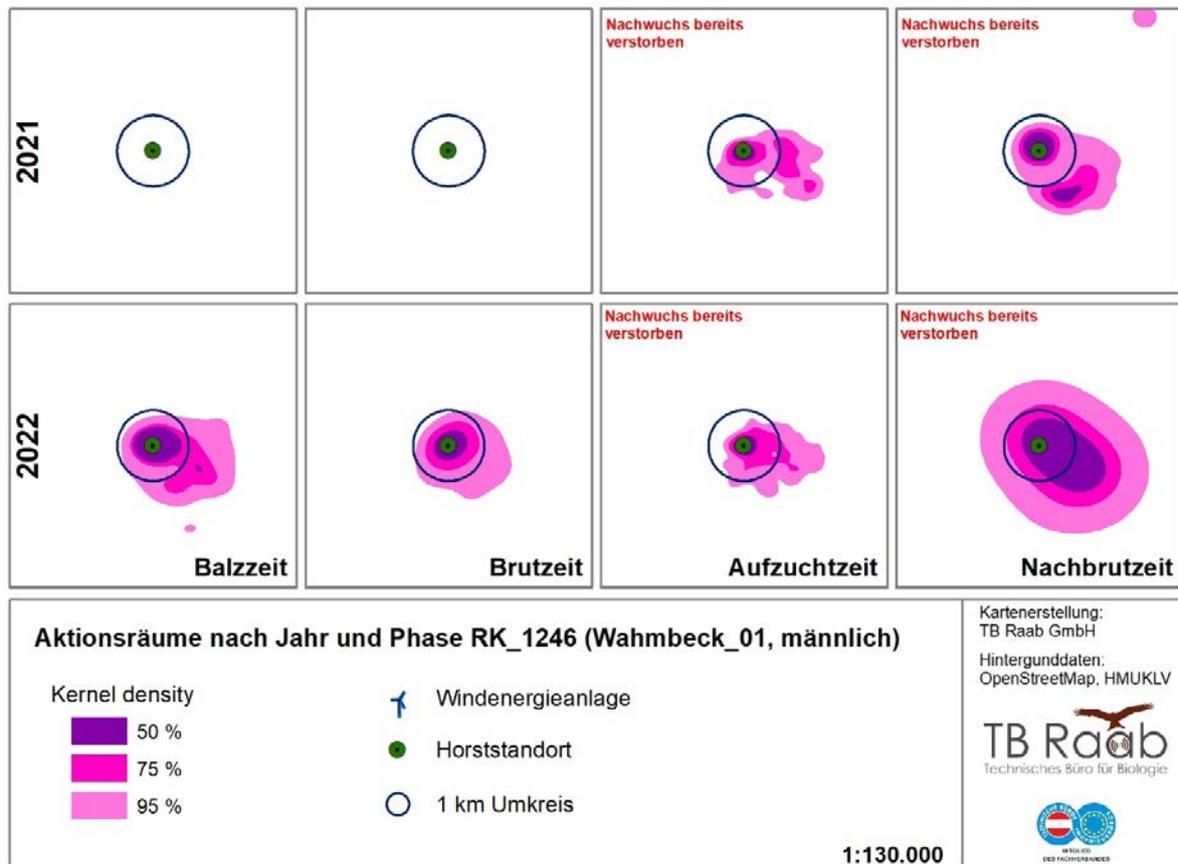
**Abbildung 28:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1245 „Weiße\_Hütte\_01“ (weiblich) in den Jahren 2021 und 2022.



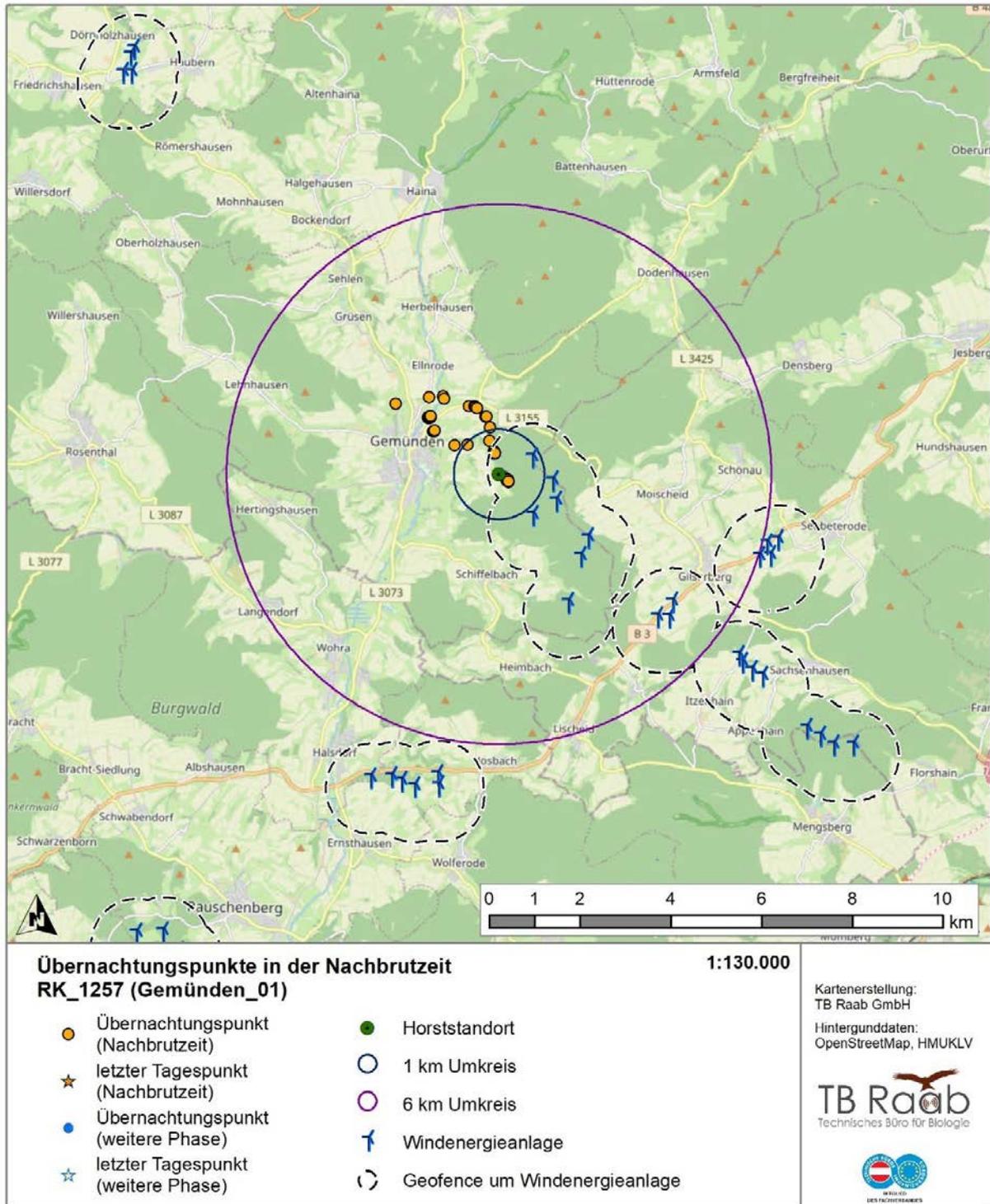
**Abbildung 29:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1245 „Weiße\_Hütte\_01“ (weiblich) in den Jahren 2021, 2022. Im Jahr 2021 verstarb der Nachwuchs in der Nachbrutzeit. Im Jahr 2022 verstarb der Nachwuchs in der Aufzuchtzeit.



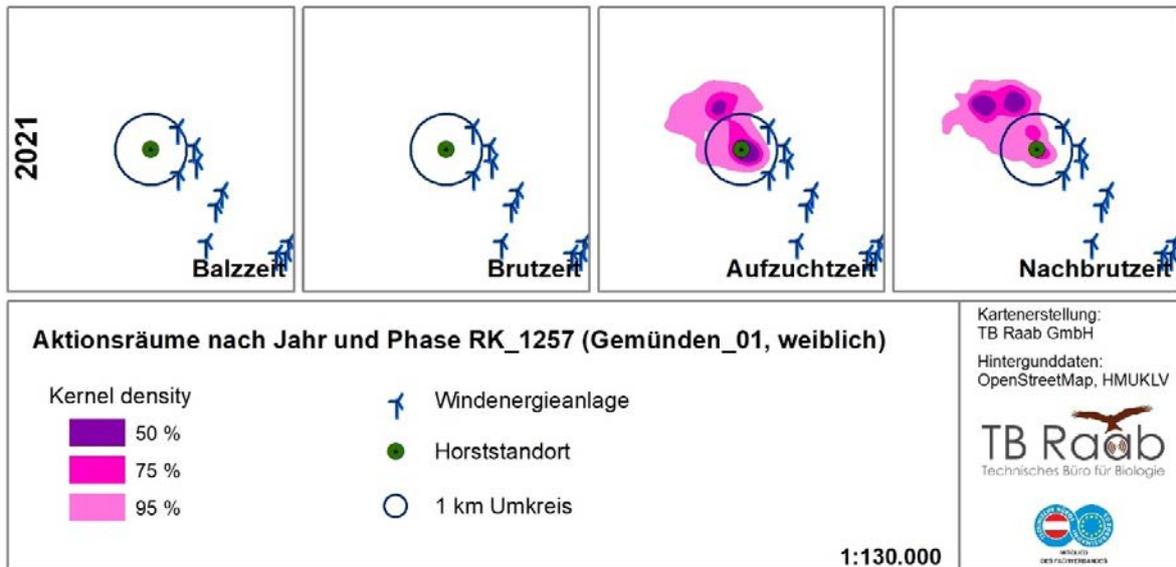
**Abbildung 30:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1246 „Wahmbeck\_01“ (männlich) in den Jahren 2021.



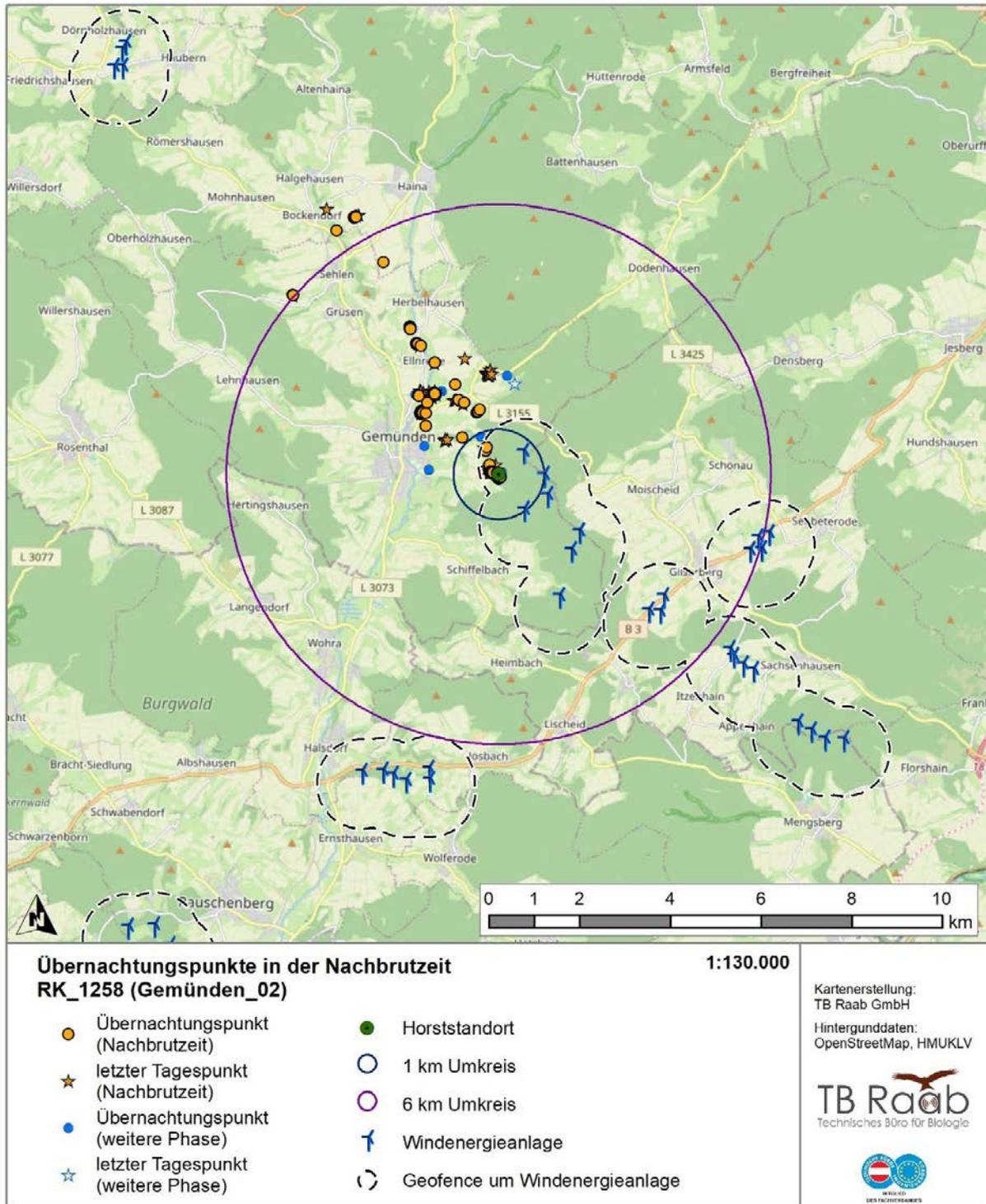
**Abbildung 31:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1246 „Wahmbeck\_01“ (männlich) in den Jahren 2021, 2022. In den Jahren 2021 und 2022 verstarb der Nachwuchs in der Aufzuchtzeit.



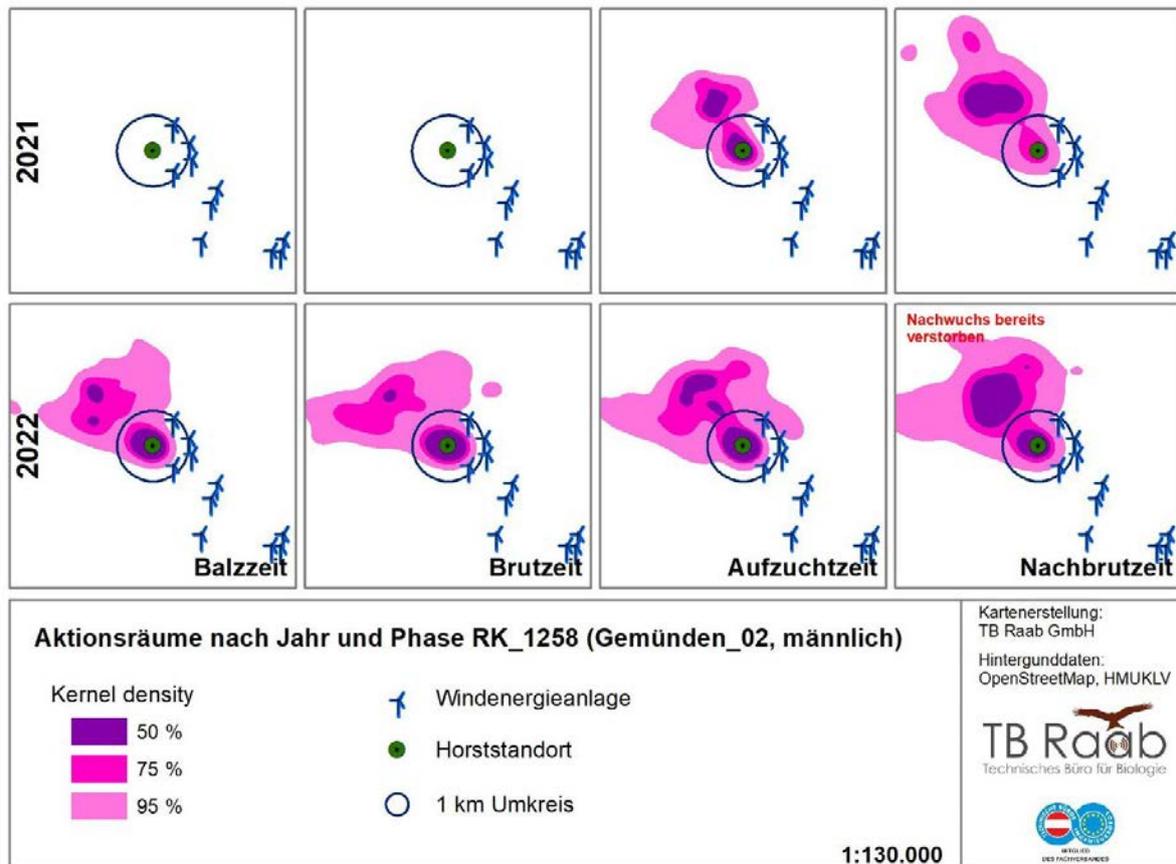
**Abbildung 32:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den RK\_1257 „Gemünden\_01“ (weiblich) im Jahr 2021.



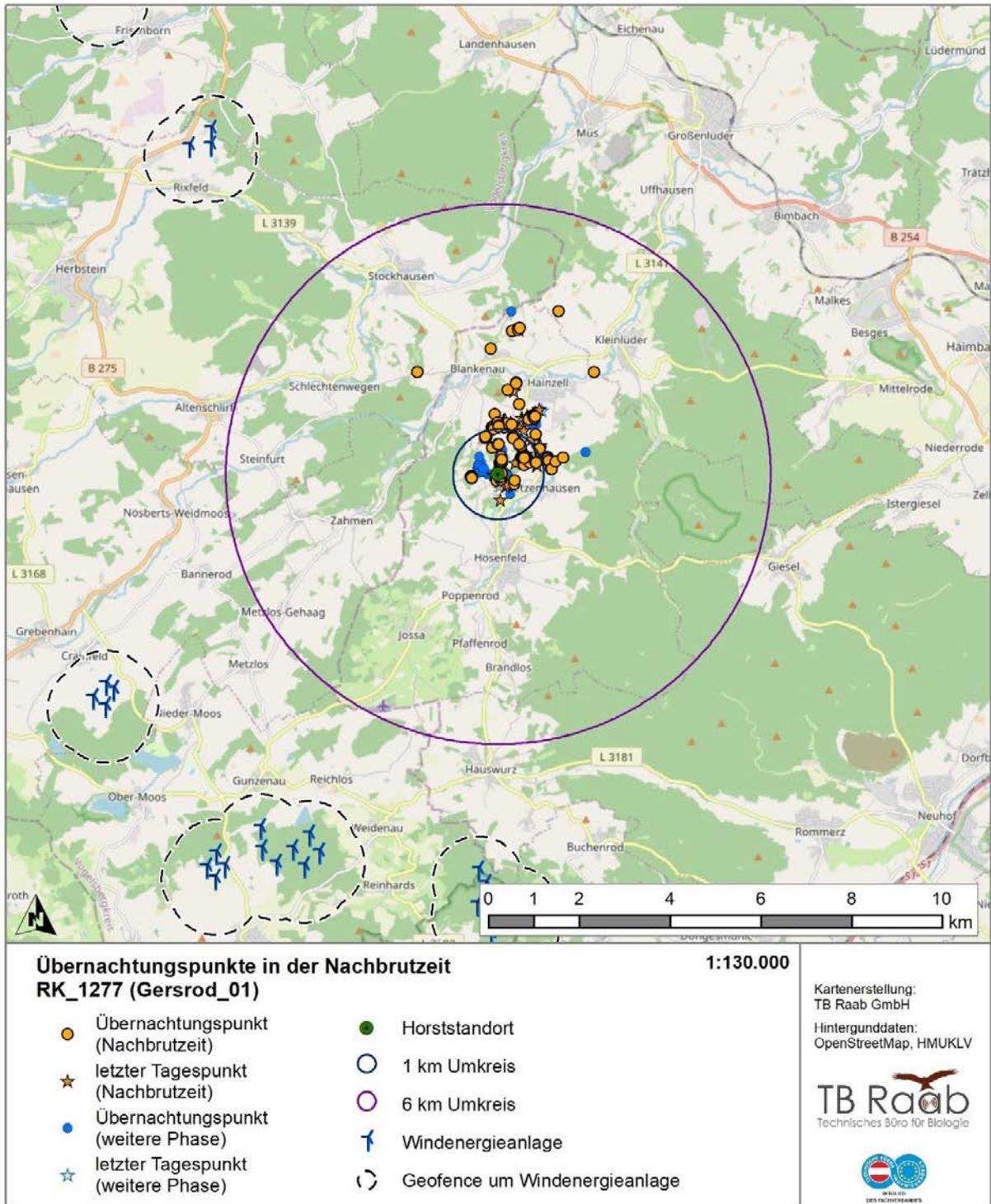
**Abbildung 33:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1257 „Gemünden\_01“ (weiblich) im Jahr 2021, erfolgreiche Brut im Jahr 2021. Gemünden\_01 wurde am 17.08.2021 Opfer von Prädation.



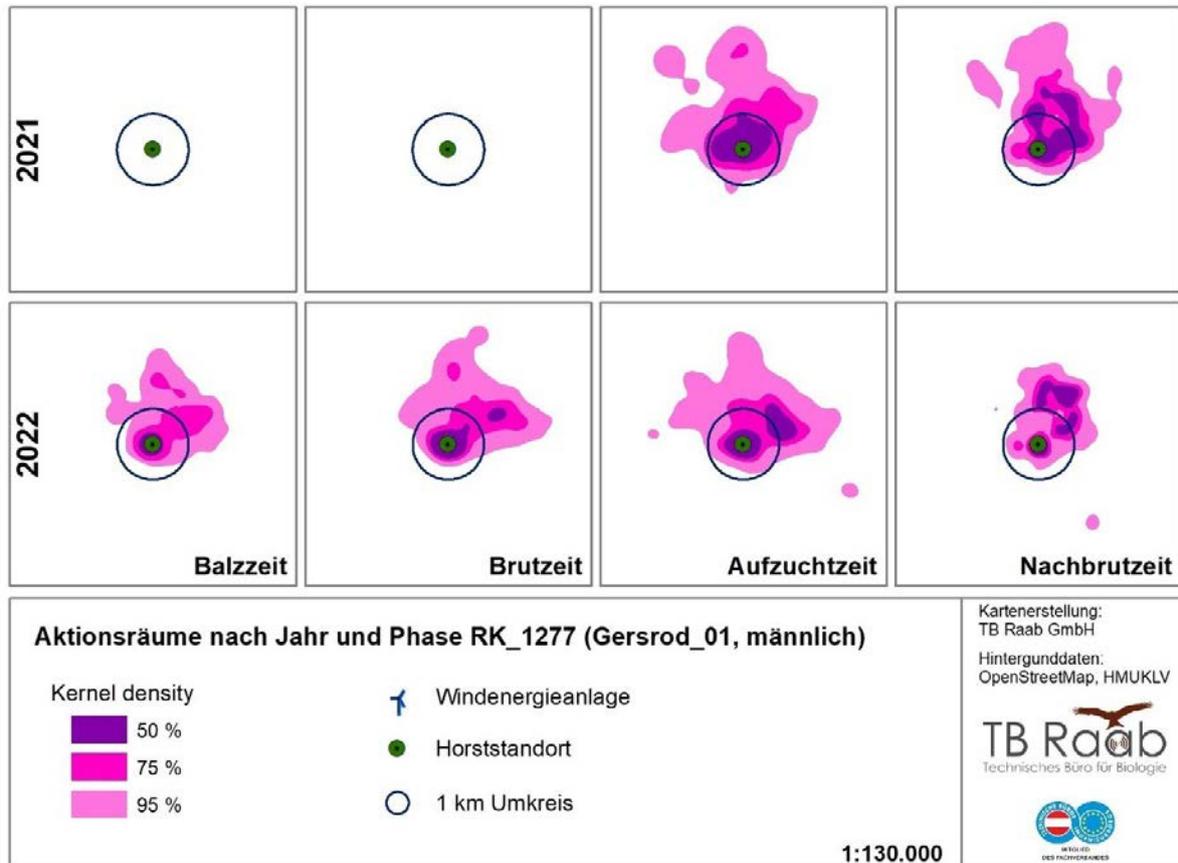
**Abbildung 34:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den RK\_1258 „Gemünden\_02“ (männlich) in den Jahren 2021 und 2022.



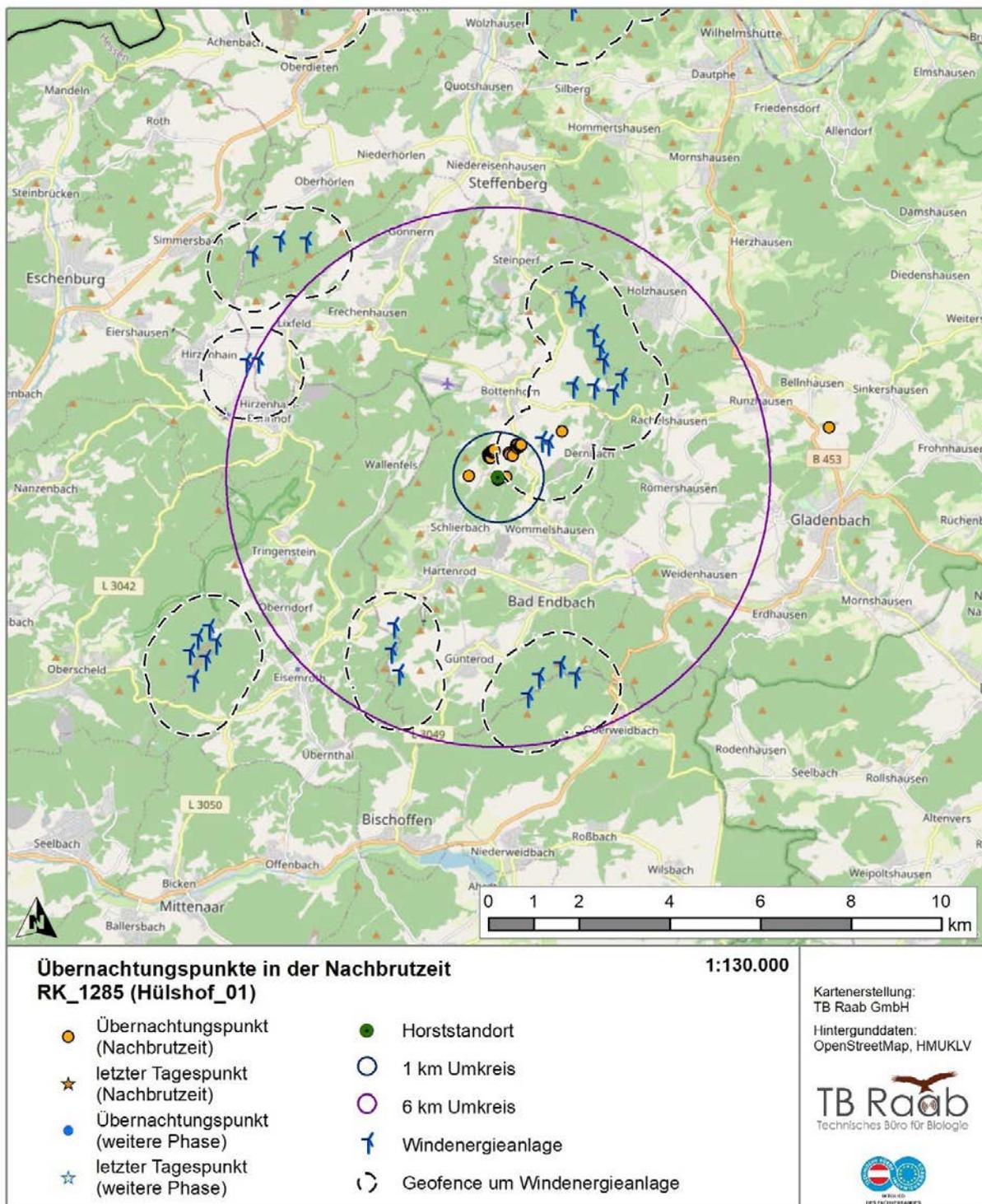
**Abbildung 35:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1258 „Gemünden\_02“ (männlich) in den Jahren 2021, 2022; erfolgreiche Brut im Jahr 2021. Im Jahr 2022 verstarb der Nachwuchs in der Nachbrutzeit.



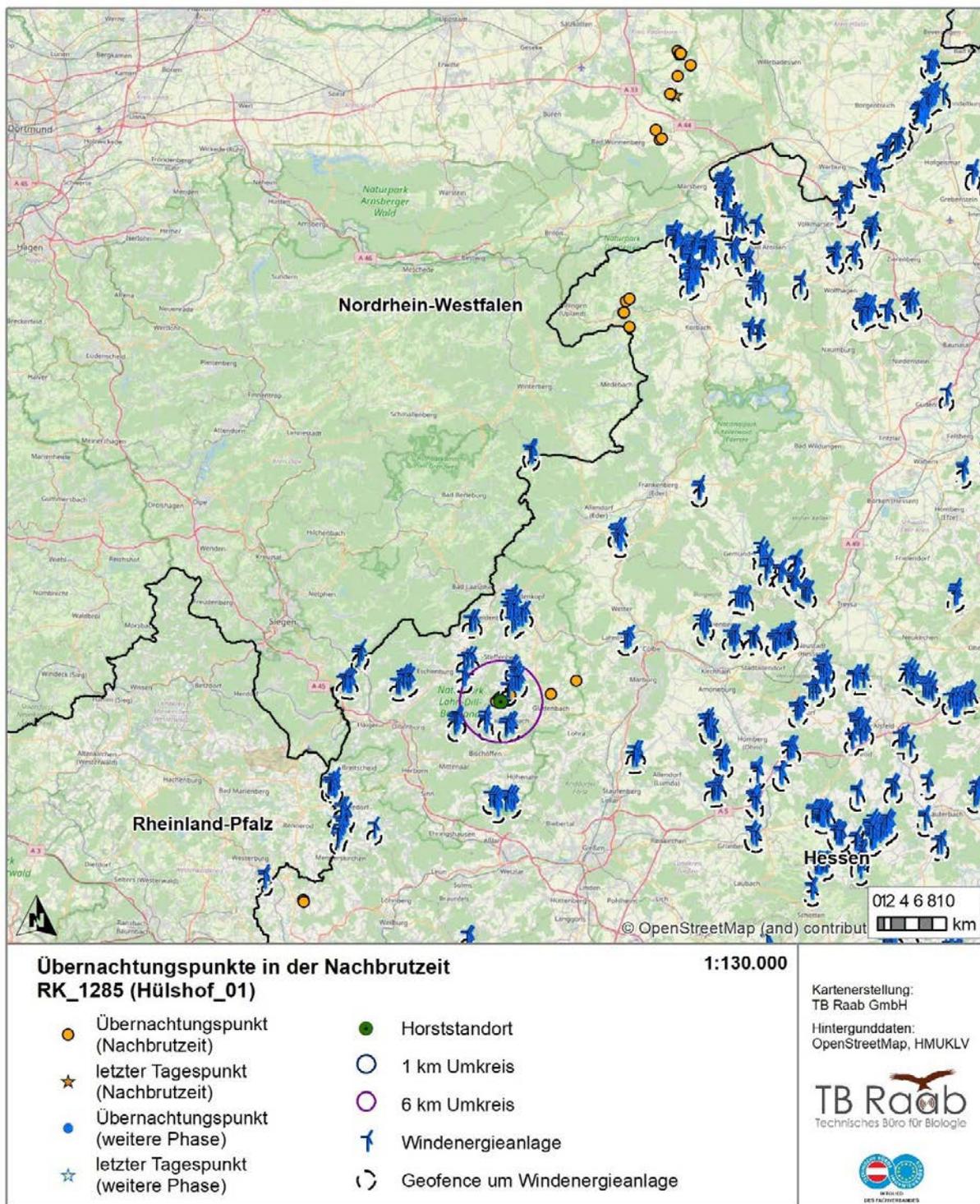
**Abbildung 36:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1277 „Gersrod\_01“ (männlich) in den Jahren 2021 und 2022.



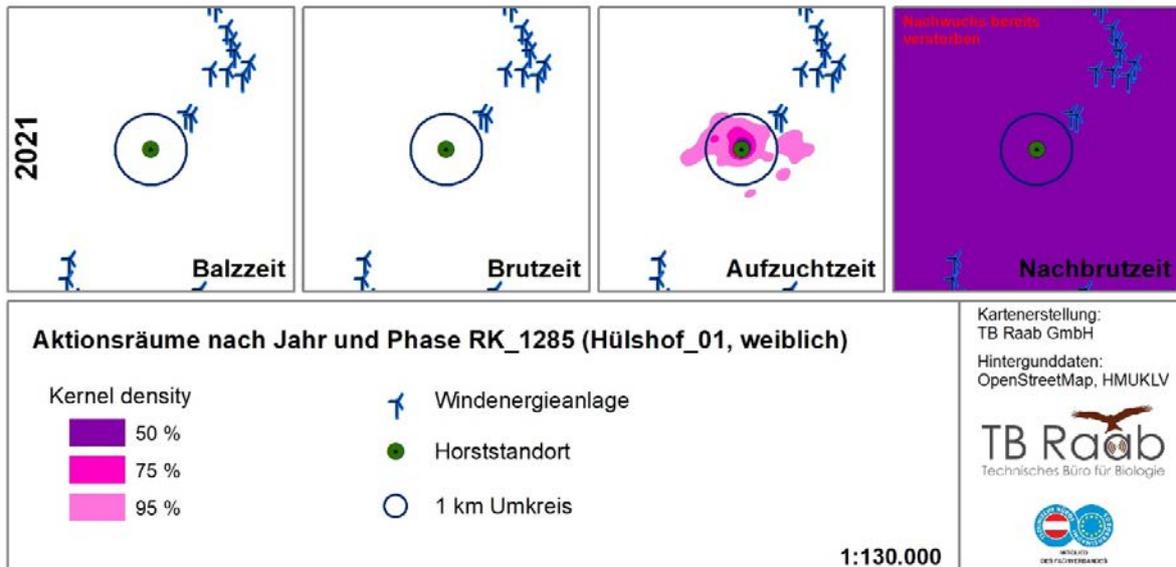
**Abbildung 37:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1277 „Gersrod\_01“ (männlich) in den Jahren 2021, 2022, erfolgreiche Brut in den Jahren 2021 und 2022.



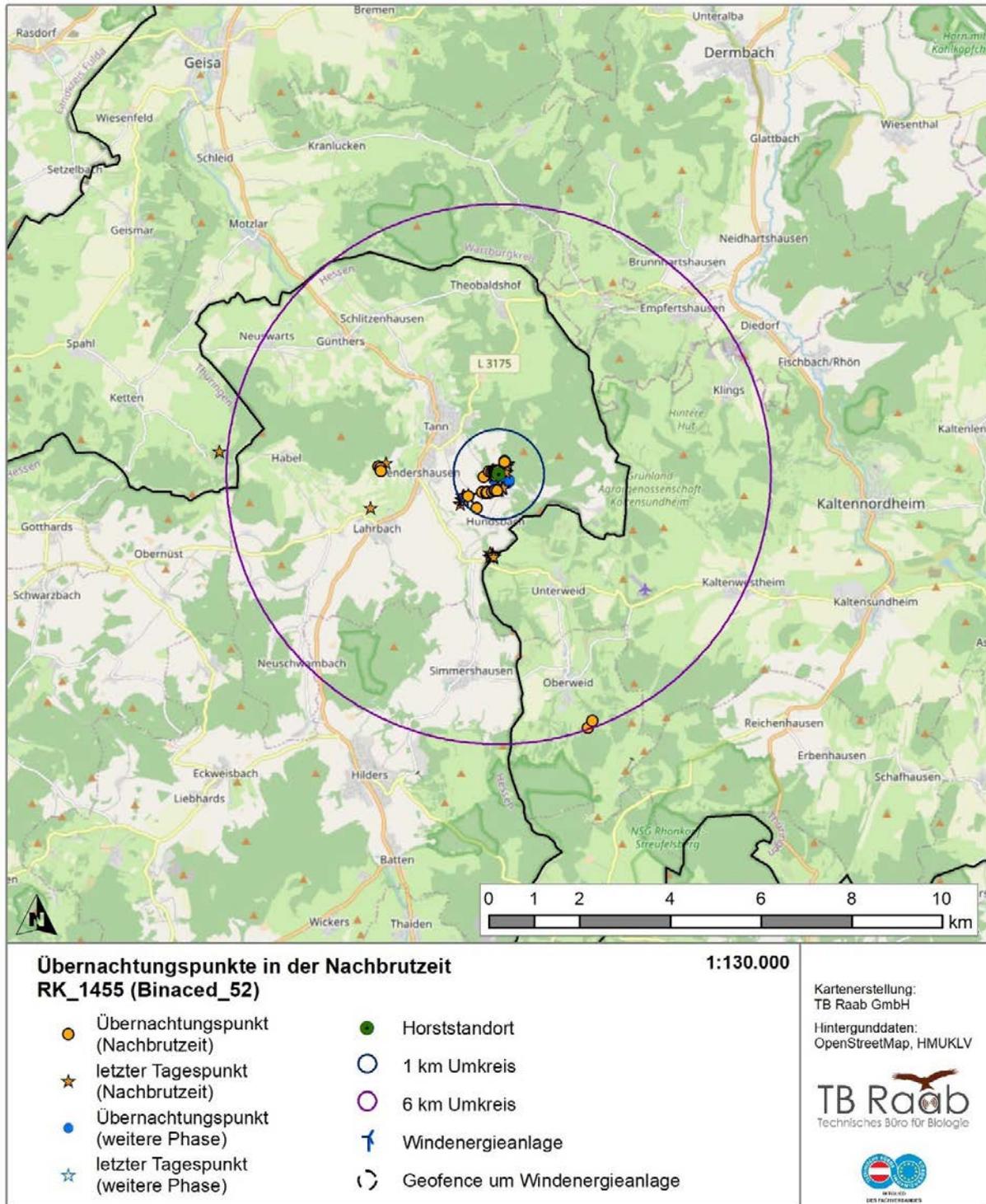
**Abbildung 38:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1285 „Hülshof\_01“ (weiblich) im Jahr 2021.



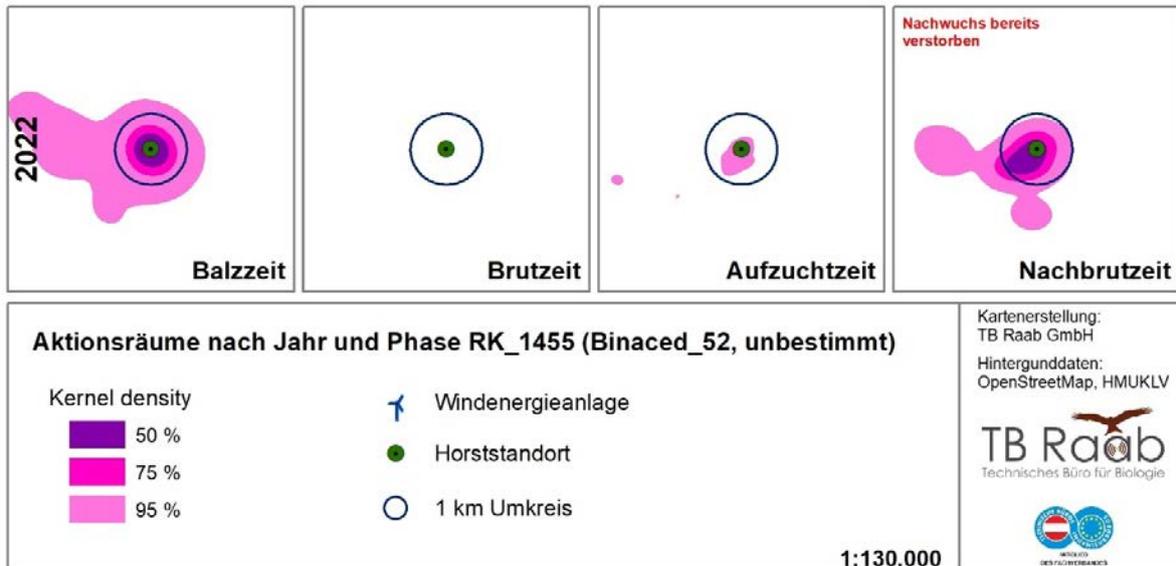
**Abbildung 39:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1285 „Hülshof\_01“ (weiblich) im Jahr 2021 mit großräumigem Kartenausschnitt.



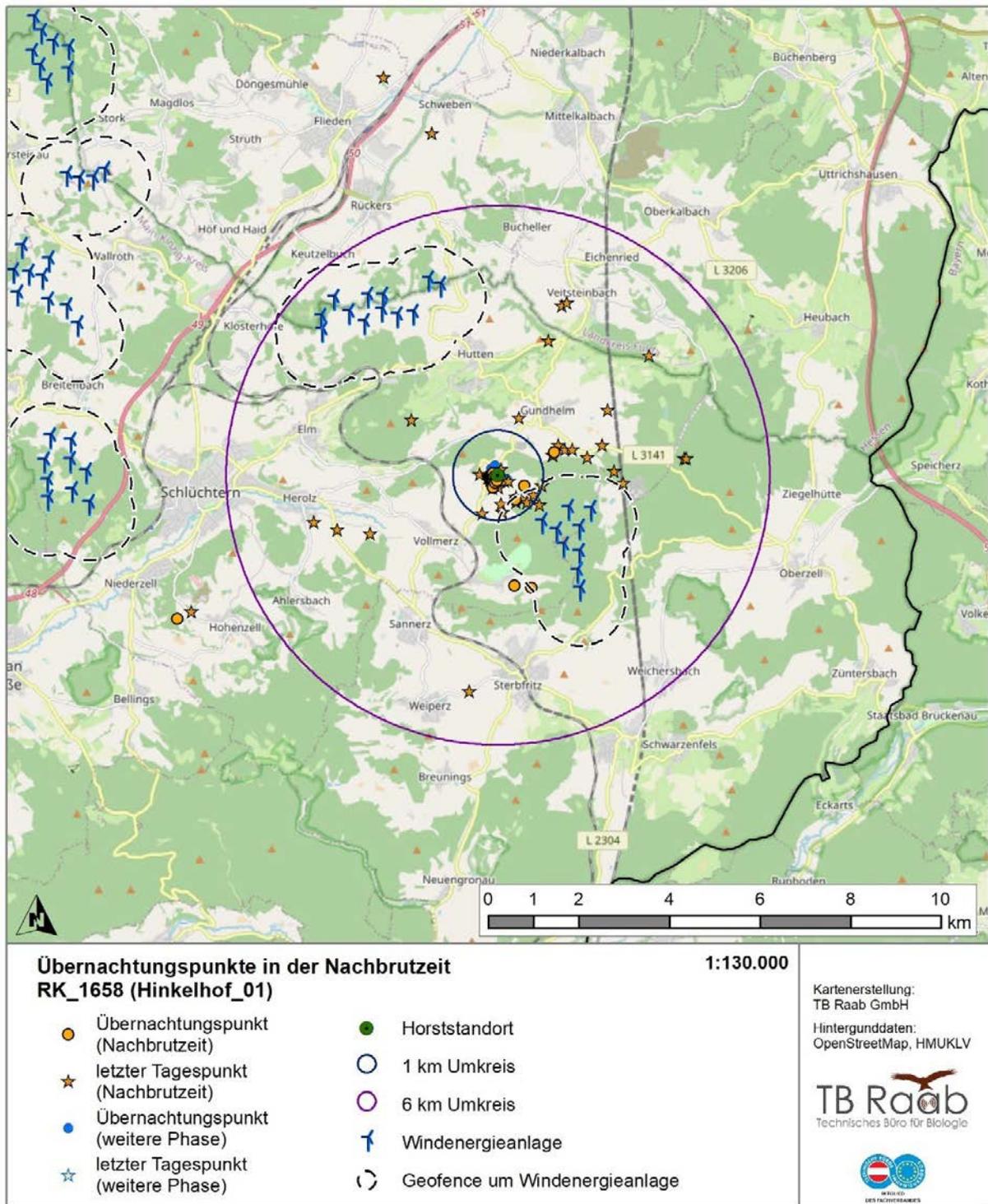
**Abbildung 40:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1285 „Hülshof\_01“ (weiblich) in dem Jahr 2021 (Senderausfall, letzter Datensatz 10.01.2022). Im Jahr 2021 verstarb der Nachwuchs in der Nachbrutzeit.



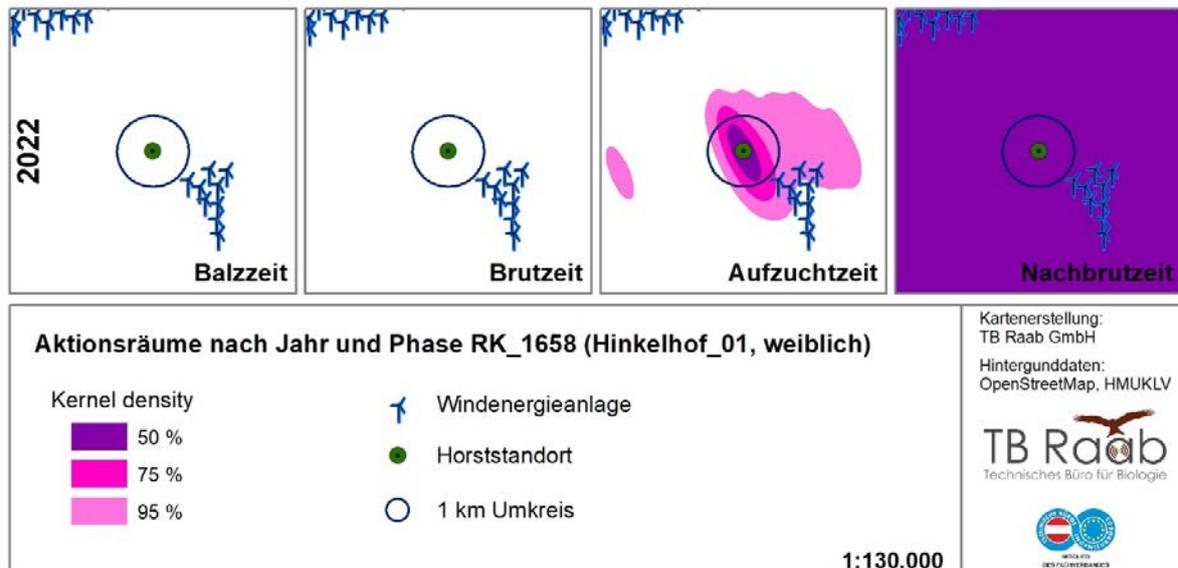
**Abbildung 41:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1455 „Binaced\_52“ (Geschlecht noch ausständig) im Jahr 2022.



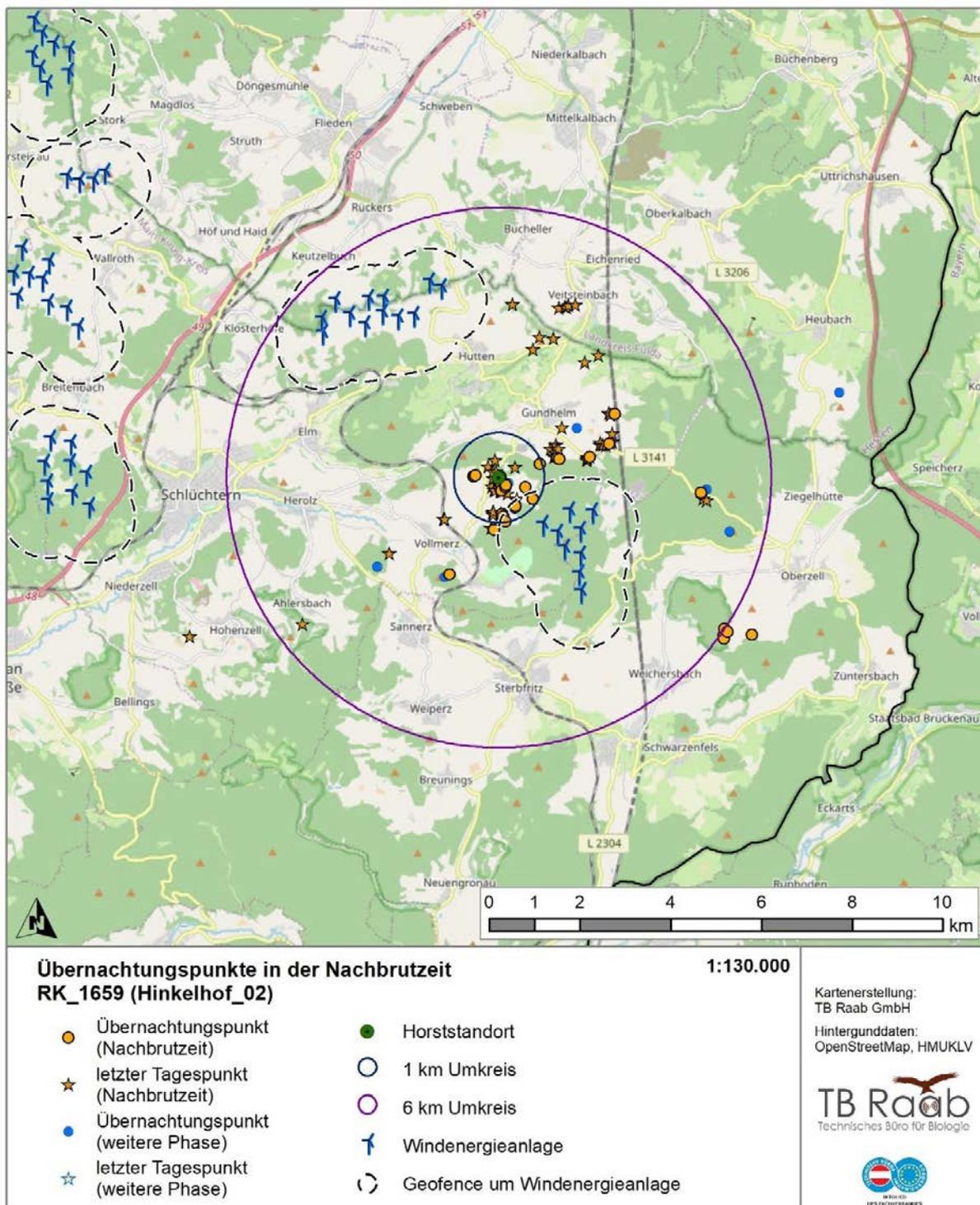
**Abbildung 42:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1455 „Binaced\_52“ (Geschlecht noch ausständig) in dem Jahr 2022. Im Jahr 2022 verstarb der Nachwuchs in der Nachbrutzeit.



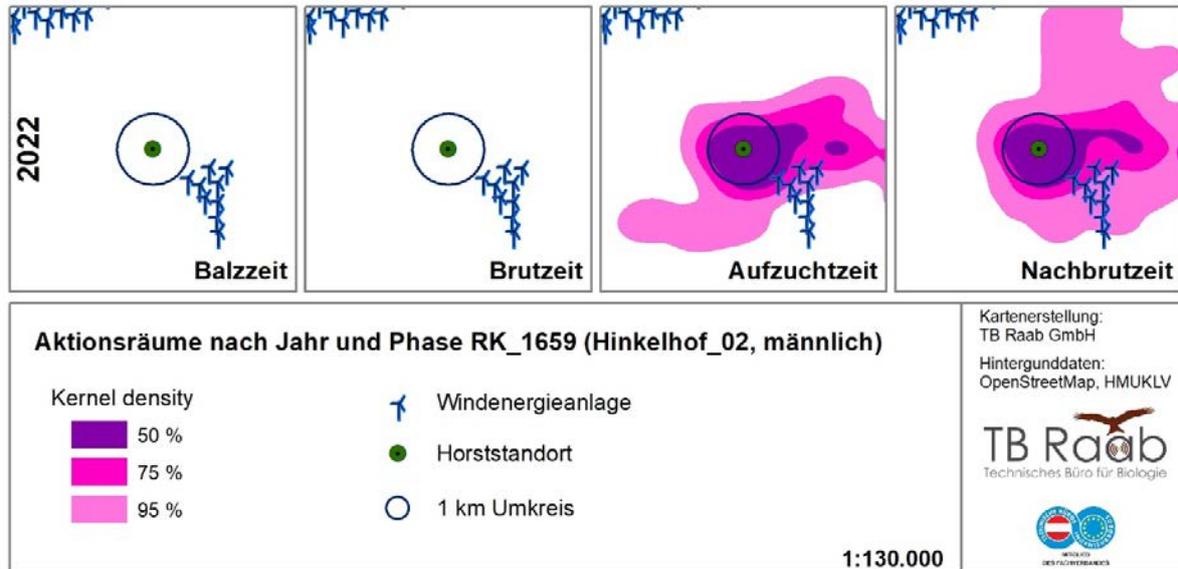
**Abbildung 43:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1658 „Hinkelhof\_01“ (weiblich) im Jahr 2022.



**Abbildung 44:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1658 „Hinkelhof\_01“ (weiblich) in dem Jahr 2022; erfolgreiche Brut im Jahr 2022.



**Abbildung 45:** Horstbindung anhand der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit von 1. Juli bis 30. September für den Vogel RK\_1659 „Hinkelhof\_02“ (männlich) im Jahr 2022.



**Abbildung 46:** Darstellung der Horstbindung anhand der 50 %, 75 % und 95 % Kernel Density der auf 5 min-Intervalle reduzierten Telemetriedaten von RK\_1659 „Hinkelhof\_02“ (männlich) in dem Jahr 2022; erfolgreiche Brut im Jahr 2022.

### Aktionsraumgröße in Abhängigkeit von der Landnutzung

Bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen Aktionsraumgröße und Landnutzung sowie Grenzlinienanteil der landwirtschaftlichen Parzellen ergab sich kein signifikanter ( $p < 0,001$ ) Zusammenhang (Tabelle 15). In den für das Modell verwendeten Daten (siehe Tabelle 16) ist kein eindeutiger Trend ersichtlich.

Abbildung 47 zeigt beispielhaft die Grenzlinienlänge der landwirtschaftlichen Parzellen. Es zeigt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Grenzlinienlänge und der Nutzungsintensität des betrachteten Individuums. Während in Abbildung 47 die Grenzlinienlänge im 30 m Umkreis um die Telemetriepunkte hervorgehoben wird, wertet Tabelle 16 die Gesamtlänge dieser Grenzlinien im 200 m bis 1.500 m Radius um den Horst aus.

**Tabelle 15:** Modellstatistiken linearer Regressionen mit der Aktionsraumgröße (AKDE 95%) je betrachteter Phase der Brutphänologie als abhängiger Variable und der Fläche der einzelnen Landnutzungstypen in einem Radius von 1.500 m um den Horst und einem Mindestabstand von 200 m als erklärende Variablen (z- transformiert). Das Maß der Grenzlinien der Landwirtschaftsflächen um den Horst wurde ebenfalls z- transformiert. Die p-Werte wurden mittels der „Bonferroni“ Methode korrigiert, um für multiples Testen aufzukommen.

Phase	Landnutzungstyp	Effektstärke $\pm$ Standardfehler	p-Wert	R <sup>2</sup>
Balzzeit	Acker	-80,7 + 91	1	0,07
Balzzeit	Grünland	7,8 + 103	1	< 0,001
Balzzeit	Wald	50,4 + 111	1	0,02
Balzzeit	Grenzlinienanteil der Ackerflächen	-67,2 + 108	1	0,04
Brutzeit	Acker	-123 + 92	0,84	0,15
Brutzeit	Grünland	79 + 106	1	0,05
Brutzeit	Wald	30,7 + 118	1	0,007
Brutzeit	Grenzlinienanteil der Ackerflächen	-4,5 + 116	1	< 0,001
Aufzuchtzeit	Acker	197 + 491	1	0,01
Aufzuchtzeit	Grünland	506 + 355	0,70	0,12
Aufzuchtzeit	Wald	-423 + 299	0,71	0,12
Aufzuchtzeit	Grenzlinienanteil der Ackerflächen	365 + 291	0,92	0,09
Nachbrutzeit	Acker	877 + 572	0,60	0,15
Nachbrutzeit	Grünland	-747 + 419	0,39	0,19
Nachbrutzeit	Wald	327 + 383	1	0,05
Nachbrutzeit	Grenzlinienanteil der Ackerflächen	-410 + 365	1	0,09



**Abbildung 47:** Beispielhafte Darstellung des Grenzlinienanteils der landwirtschaftlichen Parzellen (aus INVEKOS) im 30 m Radius um die erfassten Telemetriepunkte des Brutpaares Gemünden\_01 und Gemünden\_02. Die Farbe der einzelnen Telemetriepunkte visualisiert die Längen der (weiß dargestellten) Grenzlinien im Umkreis von 30 m.

**Tabelle 16:** Tabelle der Aktionsraumgrößen (AKDE 95%) und Anteile der Landnutzungskategorien Acker, Grünland und Wald sowie die Grenzlinien der Ackerflächen im 200 m bis 1.500 m Radius um den Horststandort pro Vogelindividuum, Jahr und Phase der Brutphänologie. Bei dunkelgrau markierten Vögeln war in dieser Phase der Nachwuchs verstorben.

Name	Code	Jahr	AKDE 95% [ha]	Ackerfläche [%]	Grünlandfläche [%]	Waldfläche [%]	Grenzlinien Acker [m]
<b>Balzzeit</b>							
Isolde	RK_1137	2019	334	25,72	48,16	19,87	192.079
Isolde	RK_1137	2020	116	25,72	48,16	19,87	192.079
Noah	RK_1138	2019	345	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2020	255	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2021	742	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2022	518	7,07	55,26	32,73	128.397
Söhrewald_03	RK_1244	2022	224	44,72	7,23	35,39	107.394
Weißer_Hütte_01	RK_1245	2022	53	16,42	12,58	62,62	74.188
Wahmbeck_01	RK_1246	2022	675	29,42	21,85	20,76	125.173
Gemünden_02	RK_1258	2022	884	14,79	15,91	67,82	90.760
Gersrod_01	RK_1277	2022	676	21,99	44,90	21,1	167.227
Binaced_52	RK_1455	2022	1.235	12,39	37,95	41,54	109.657
<b>Brutzeit</b>							
Isolde	RK_1137	2019	327	25,72	48,16	19,87	192.079
Isolde	RK_1137	2021	5	25,72	48,16	19,87	192.079
Noah	RK_1138	2019	483	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2020	825	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2021	635	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2022	501	7,07	55,26	32,73	128.397
Söhrewald_03	RK_1244	2022	52	44,72	7,23	35,39	107.394
Weißer_Hütte_01	RK_1245	2022	19	16,42	12,58	62,62	74.188
Wahmbeck_01	RK_1246	2022	502	29,42	21,85	20,76	125.173
Gemünden_02	RK_1258	2022	1.058	14,79	15,91	67,82	90.760
Gersrod_01	RK_1277	2022	889	21,99	44,9	21,10	167.227
Binaced_52	RK_1455	2022	5	12,39	37,95	41,54	109.657
<b>Aufzuchtzeit</b>							
Isolde	RK_1137	2019	1.231	25,72	48,16	19,87	192.079
Isolde	RK_1137	2020	514	25,72	48,16	19,87	192.079
Isolde	RK_1137	2021	222	25,72	48,16	19,87	192.079
Isolde	RK_1137	2022	5.606	25,72	48,16	19,87	192.079
Noah	RK_1138	2019	742	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2020	1.759	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2021	710	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2022	738	7,07	55,26	32,73	128.397
Söhrewald_03	RK_1244	2021	418	30,45	7,34	55,14	85.961
Söhrewald_03	RK_1244	2022	61.542	44,72	7,23	35,39	107.394
Weißer_Hütte_01	RK_1245	2021	237	16,42	12,58	62,62	74.187
Weißer_Hütte_01	RK_1245	2022	25.847	16,42	12,58	62,62	74.188

Name	Code	Jahr	AKDE 95% [ha]	Ackerfläche [%]	Grünlandfläche [%]	Waldfläche [%]	Grenzl意思nien Acker [m]
Wahmbeck_01	RK_1246	2021	425	29,42	21,85	20,76	125.173
Wahmbeck_01	RK_1246	2022	423	29,42	21,85	20,76	125.173
Gemünden_01	RK_1257	2021	520	16,06	19,90	60,62	106.573
Gemünden_02	RK_1258	2021	587	16,06	19,90	60,62	106.573
Gemünden_02	RK_1258	2022	1.162	14,79	15,91	67,82	90.760
Gersrod_01	RK_1277	2021	1.152	19,50	46,15	22,44	164.928
Gersrod_01	RK_1277	2022	1.173	21,99	44,90	21,10	167.227
Hülshof_01	RK_1285	2021	151	15,40	29,85	46,94	155.567
Binaced_52	RK_1455	2022	33	12,39	37,95	41,54	109.657
Hinkelhof_01	RK_1658	2022	1.178	12,10	42,03	40,27	113.003
Hinkelhof_02	RK_1659	2022	2.652	12,10	42,08	40,21	113.121
<b>Nachbrutzeit</b>							
Isolde	RK_1137	2019	443	25,72	48,16	19,87	192.079
Isolde	RK_1137	2020	4.403	25,72	48,16	19,87	192.079
Isolde	RK_1137	2021	1.602	25,72	48,16	19,87	192.079
Isolde	RK_1137	2022	448	25,72	48,16	19,87	192.079
Noah	RK_1138	2019	540	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2020	1.146	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2021	1.104	7,07	55,26	32,73	128.397
Noah	RK_1138	2022	828	7,07	55,26	32,73	128.397
Söhrewald_03	RK_1244	2021	5.829	30,45	7,34	55,14	85.961
Söhrewald_03	RK_1244	2022	487.264	44,72	7,23	35,39	107.394
Weißer_Hütte_01	RK_1245	2021	3.515	16,42	12,58	62,62	74.187
Weißer_Hütte_01	RK_1245	2022	20.338	16,42	12,58	62,62	74.188
Wahmbeck_01	RK_1246	2021	622	29,42	21,85	20,76	125.173
Wahmbeck_01	RK_1246	2022	371	29,42	21,85	20,76	125.173
Gemünden_01	RK_1257	2021	501	16,06	19,90	60,62	106.573
Gemünden_02	RK_1258	2021	1.313	16,06	19,90	60,62	106.573
Gemünden_02	RK_1258	2022	1.004	14,79	15,91	67,82	90.760
Gersrod_01	RK_1277	2021	973	19,5	46,15	22,44	164.928
Gersrod_01	RK_1277	2022	646	21,99	44,90	21,10	167.227
Hülshof_01	RK_1285	2021	1.903.175	15,40	29,85	46,94	155.567
Binaced_52	RK_1455	2022	958	12,39	37,95	41,54	109.657
Hinkelhof_01	RK_1658	2022	1.447	12,10	42,03	40,27	113.003
Hinkelhof_02	RK_1659	2022	2.506	12,10	42,08	40,21	113.121

### *Raumnutzung in Abhängigkeit der Horstdistanz*

Für die Auswertung der Raumnutzung in Abhängigkeit von der Horstdistanz wurden die Tagespunkte in 5 Minuten-Intervallen während der vier Brutzeit-Phasen berücksichtigt. Datensätze außerhalb dieses Zeitraums wurden nicht berücksichtigt. Die Brutzeit-Phasen decken den Zeitraum von 15. März bis 30. September ab, in dem die maximale Distanz eines Rotmilans von dessen Brutplatz 204,4 km betrug. Die Distanz von 204,4 km wurde bei

RK\_1658 am 30. September 2022 um 16:30 gemessen, wobei der weibliche Vogel um 9:35 desselben Tages noch 104,4 km von dessen Brutplatz entfernt war. RK\_1658 befand sich demnach am Zug ins Winterquartier.

Mit fortschreitender Brutphänologie zeigten sich zunehmende Aktivitätsanteile der Brutvögel in größerer Entfernung zum Horst (vgl. Abbildung 49 bis Abbildung 52). Außerdem ließ sich eine stärkere Horstbindung der weiblichen Rotmilane erkennen, welche allerdings im fortschreitenden Verlauf der Brutphänologie abnahm. Im Zeitraum von der Balz bis zum Ende der Aufzuchtzeit (ab 15. März bis 30. Juni) wurden die ausgewerteten Brutvögel mit lebendem Nachwuchs durchschnittlich zu 74,2 % (88,7 % w, 59,7 % m) im 1.000 m Radius um den Horststandort verortet (vgl. Abbildung 48). In der Nachbrutzeit war der Anteil der Ortungspunkte innerhalb des 1.000 m Radius um den Horst mit 48,4 % bei Weibchen und 36,7 % bei Männchen wesentlich kleiner (vgl. Abbildung 52). Die geschlechterspezifischen Werte können Tabelle 17 entnommen werden. Für die Auswertung zur Abhängigkeit der Raumnutzung von der Entfernung zum Horst wurden wie bei HEUCK *et al.* (2019) alle Ortungspunkte berücksichtigt und somit wurden weder Ortungspunkte, bei denen der Vogel gesessen ist noch die kleinräumige Flugaktivität im Nahbereich um den Horst ausgeschlossen. Betrachtet man den Zeitraum von der Balz bis zum Ende der Aufzuchtphase (Phasen kombiniert), so verbrachten weibliche Rotmilane mit noch lebendem Nachwuchs mit 56,6 % der Ortungen mehr als die Hälfte der Zeit im 500 m Nahbereich um den Horst. Männliche Rotmilane erreichten einen vergleichbaren Anteil im 1.000 m Bereich mit 59,7 %. In der Nachbrutzeit verbrachten die weiblichen Rotmilane mit lebendem Nachwuchs noch mehr als die Hälfte ihrer Zeit (57,0 %) im 1.200 m Radius um den Brutplatz, während dies für männliche Vögel erst ab einer Entfernung von 1.500 m (58,5 %) zutraf (siehe Tabelle 17).

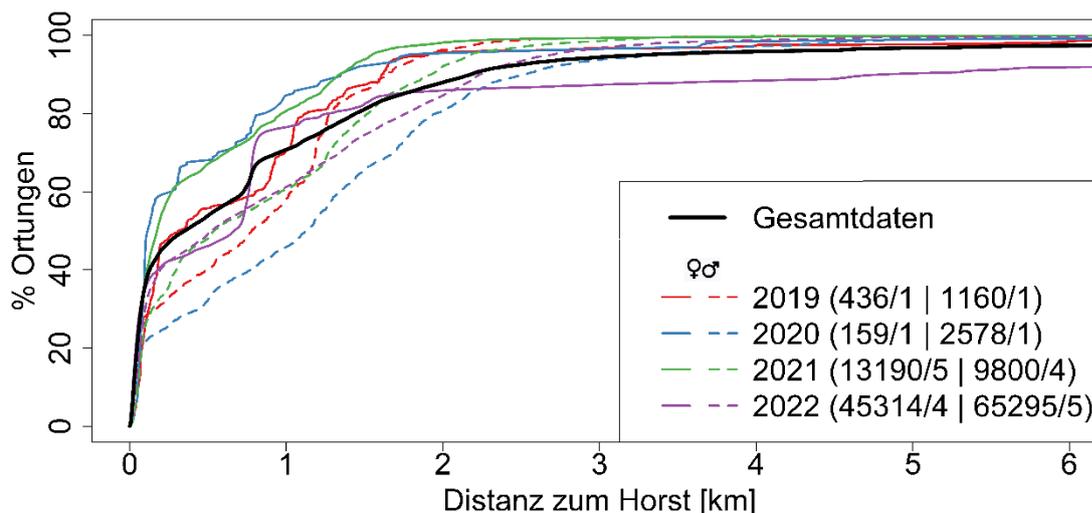
In der Studie von Pfeiffer & Meyburg (2015) und dieser Studie nachempfunden in Anlage 9 der Studie von HEUCK *et al.* (2019) wurde für eine vergleichbare Auswertung der 100 m Radius um den Horst ausgenommen. Bei Anwendung dieser Methodik (vgl. Tabelle 18, 100 m Radius um den Horst ausgenommen) liegen im Zeitraum von der Balz bis zum Ende der Aufzuchtphase (Phasen kombiniert) nur 28,6 % der Ortungspunkte von weiblichen Rotmilanen mit noch lebendem Nachwuchs im 500 m Nahbereich um den Horst. Der prozentuale Unterschied wird geringer, je größer der betrachtete Umkreis gefasst ist (vgl. Tabelle 17 und Tabelle 18). Bei einem Radius von 1.000 m konnten bei weiblichen Rotmilanen 88,7 % bzw. 81,9 % (100 m Radius ausgenommen) der Ortungspunkte aufgezeichnet werden. Auch bei den männlichen Rotmilanen ist der prozentuale Unterschied der Ortungspunkte innerhalb des betrachteten Umkreises mit dem Ausschluss des 100 m Radius um den Horst deutlich geringer. Mit 81,9 % bei den Weibchen und 45,7 % Anteil bei den Männchen im 1.000 m Radius ergibt sich bei Mittelwertbildung über die Geschlechter für den Bereich von 100 m bis 1.000 m um den Horst ein Anteil der Ortungen von mehr als 60 % (63,8 %) an allen Ortungen außerhalb des 100 m Radius.

Für die Bewertung der Horstbindung eines Brutpaares wird der Mittelwert der geschlechterspezifisch ermittelten Werte angesetzt. Im Zeitraum von der Balz bis zum Ende der Aufzuchtphase lagen bei einem durchschnittlichen Rotmilan-Brutpaar rund die Hälfte (51,1 %) der Ortungen innerhalb des 500 m-Nahbereichs um den Horst. Zirka drei Viertel (74,2 %) lagen innerhalb von 1.000 m, ca. 78 % innerhalb von 1.200 m, ca. 85 % innerhalb von 1.500 m, 91,4 % innerhalb von 2.000 m und 98,4 % innerhalb von 3.500 m um den Horst.

Während der Nachbrutzeit waren die relativen Anteile der Ortungen eines durchschnittlichen Brutpaares innerhalb des 500 m-Horstnahbereiches mit ca. 21 % deutlich geringer. Zirka 43 % lagen dagegen innerhalb von 1.000 m, ca. 51 % innerhalb von 1.200 m, ca. 65 % innerhalb von 1.500 m, ca. 84 % innerhalb von 2.000 m und ca. 94 % innerhalb von 3.500 m.

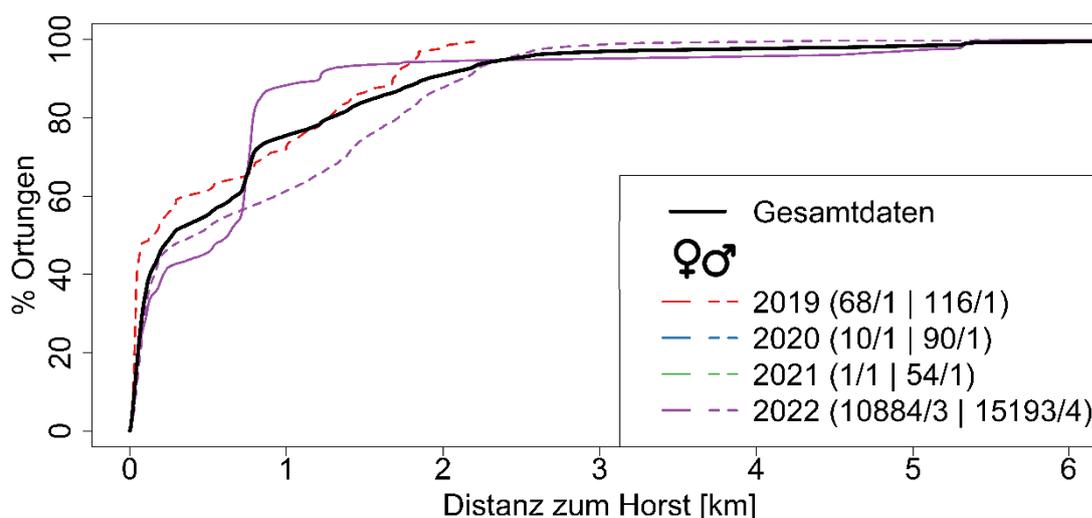
Die Punktdichte pro ha schwankte je nach Anzahl der Individuen und der Datensätze und nahm bei beiden Geschlechtern erwartungsgemäß mit der Entfernung zum Horst ab (Tabelle 17 und Tabelle 18).

### Balz-, Brut- und Aufzuchtzeit

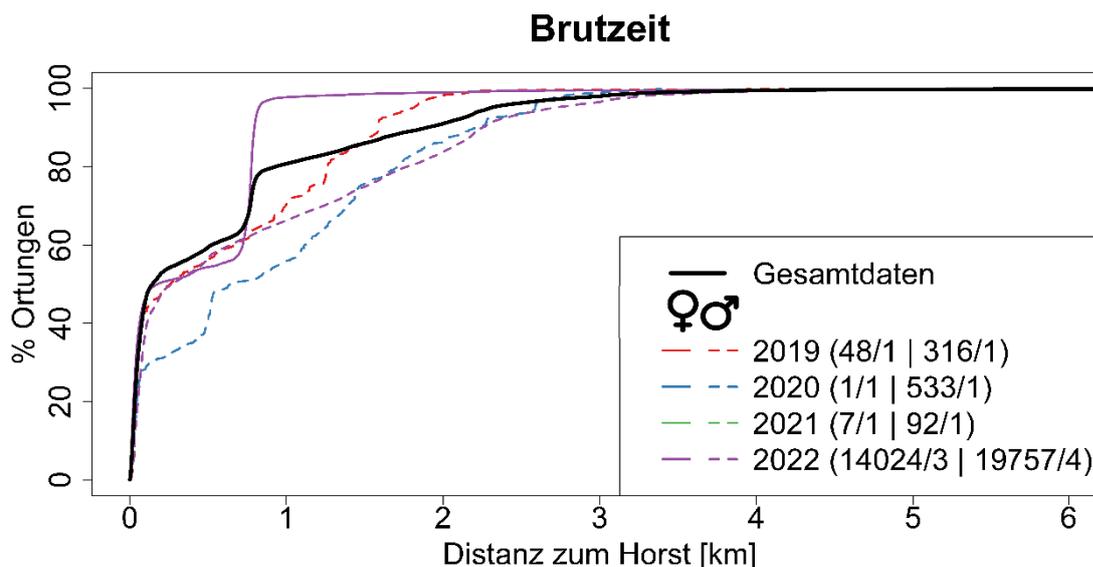


**Abbildung 48:** Prozentualer Anteil der Ortungen für die Balzzeit (15. März bis 14. April), Brutzeit (15. April bis 19. Mai) und die Aufzuchtzeit (20. Mai bis 30. Juni) in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich | Ortungspunkte/Individuen männlich).

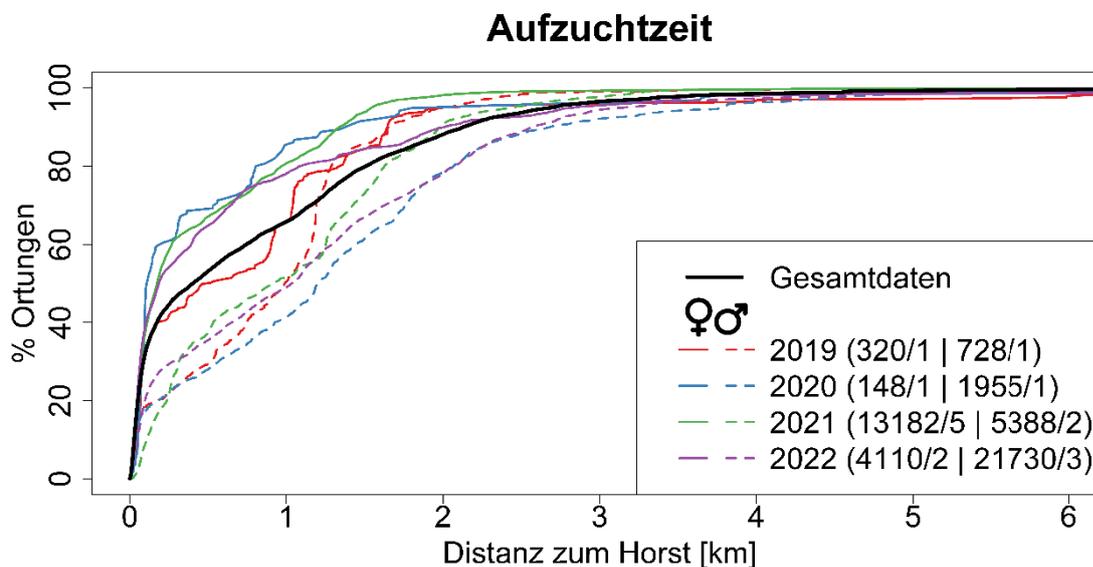
### Balzzeit



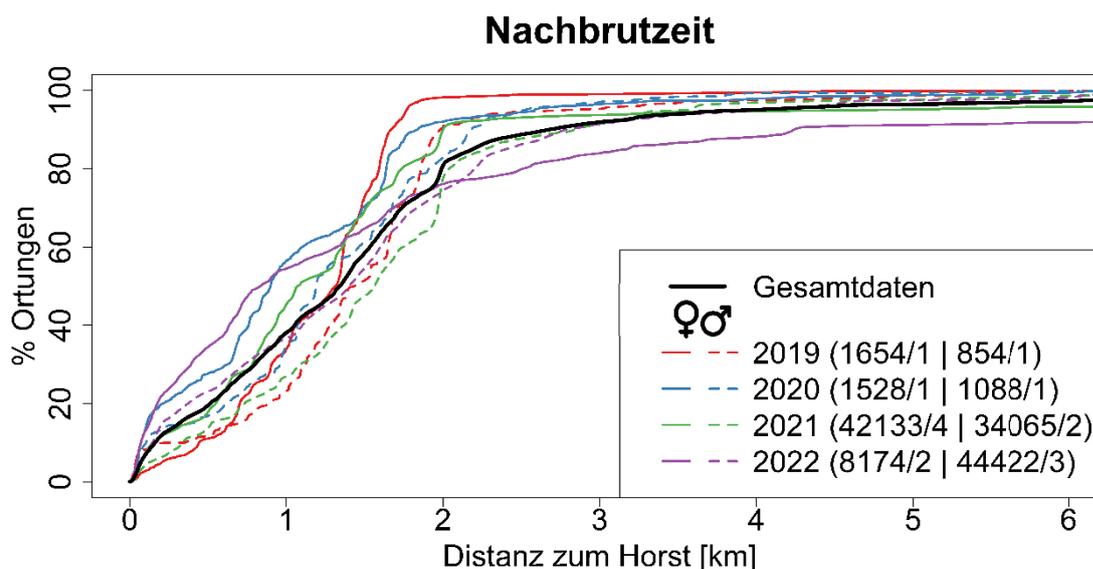
**Abbildung 49:** Prozentualer Anteil der Ortungspunkte für die Balzzeit (15. März bis 14. April) in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich | Ortungspunkte/Individuen männlich). Pro Jahr und Geschlecht müssen mindestens 100 Ortungspunkte aufgezeichnet sein, um in dieser Grafik als Linie abgebildet zu sein.



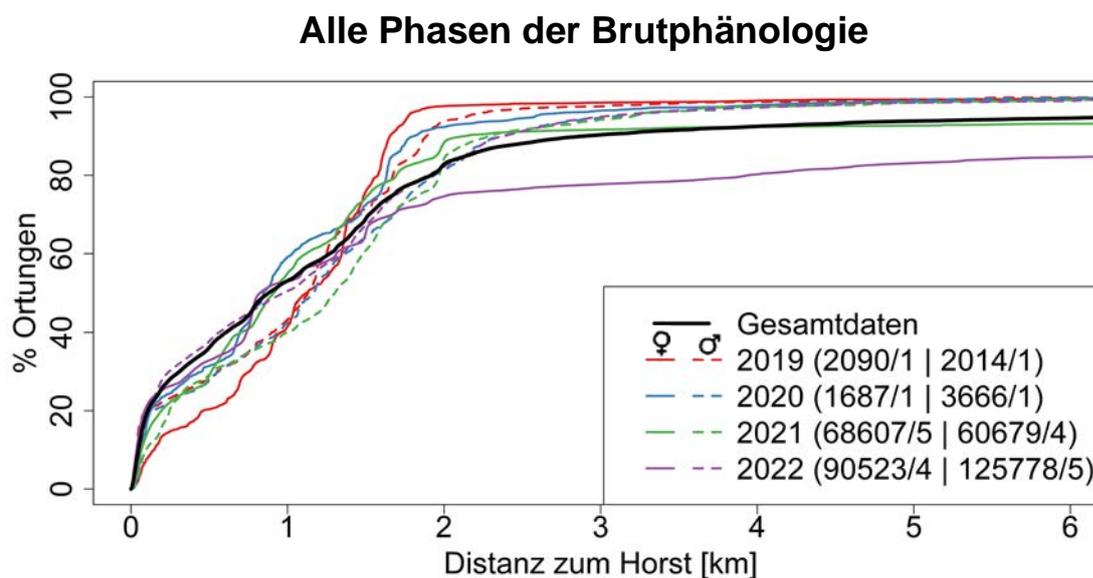
**Abbildung 50:** Prozentualer Anteil der Ortungen für die Brutzeit (15. April bis 19. Mai) in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich | Ortungspunkte/Individuen männlich). Pro Jahr und Geschlecht müssen mindestens 100 Ortungspunkte aufgezeichnet sein, um in dieser Grafik als Linie abgebildet zu sein.



**Abbildung 51:** Prozentualer Anteil der Ortungen für die Aufzuchtzeit (20. Mai bis 30. Juni) in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich | Ortungspunkte/Individuen männlich).



**Abbildung 52:** Prozentualer Anteil der Ortungen für die Nachbrutzeit (1. Juli bis 30. September) in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich | Ortungspunkte/Individuen männlich).



**Abbildung 53:** Prozentualer Anteil der Ortungspunkte in Abhängigkeit zur Horstdistanz. Die Anzahl der Ortungspunkte sowie die Anzahl der Individuen sind in der Legende dargestellt (Ortungspunkte/Individuen weiblich | Ortungspunkte/Individuen männlich).

**Tabelle 17:** Relativer Anteil [%] der 5 min-Ortungspunkte beziehungsweise mittlere Anzahl der Punkte pro Hektar innerhalb der angegebenen Distanzen zum Horst, differenziert nach Brutphänologie sowie Geschlecht. Zusätzlich wurden gewichtete Mittel der Prozentsätze und Dichten über die ersten drei Phasen (Phase = kombiniert) berechnet. Hierbei wurden die Werte der einzelnen Phasen der Brutphänologie nach deren Dauer gewichtet. Es wurden nur Phasen berücksichtigt, in denen der Nachwuchs nicht verstorben war. Zur besseren Übersicht wurden die Werte der Männchen grau hervorgehoben. Für die Vergleichbarkeit mit der Studie von HEUCK *et al.* (2019) sind die Originaldaten von deren Studie in den folgenden Auswertungen ebenfalls enthalten. Der erste Ausdruck gibt jeweils das Ergebnis für die Daten aus beiden Studien gemeinsam an, der Klammer-Ausdruck verwendet nur die Daten aus HEUCK *et al.* (2019); Balz 15. März bis 14. April, Brut bis 19. Mai, Aufzucht bis 30. Juni, Nachbrutzeit bis 30. September.

Geschlecht	Phase	Distanz [m]	Prozent [%]	Dichte [Punkte / ha]	N	Anzahl Individuen
weiblich	Balzzeit	500	46,8 (80,5)	67,2 (3,2)	11.276 (313)	3 (1)
		1.000	88,2 (85,6)	31,7 (0,9)		
		1.200	89,6 (88,5)	22,3 (0,6)		
		1.500	93,6 (95,2)	14,9 (0,4)		
		2.000	94,5 (97,4)	8,5 (0,2)		
		3.500	95,5 (100)	2,8 (0,1)		
männlich	Balzzeit	500	51,3 (42,0)	111,1 (8,5)	17.015 (1.597)	5 (3)
		1.000	61,4 (59,4)	33,2 (3,0)		
		1.200	66,7 (76,0)	25,1 (2,7)		
		1.500	76,5 (90,4)	18,4 (2,0)		
		2.000	88,6 (94,9)	12,0 (1,2)		
		3.500	99,3 (98,3)	4,4 (0,4)		
weiblich	Brutzeit	500	54,9 (97,7)	99,6 (2,1)	14.240 (172)	3 (1)
		1.000	97,7 (100)	44,3 (0,5)		
		1.200	98,1 (100)	30,9 (0,4)		
		1.500	98,6 (100)	19,9 (0,2)		
		2.000	99,0 (100)	11,2 (0,1)		
		3.500	99,6 (100)	3,7 (0,0)		
männlich	Brutzeit	500	54,1 (40,3)	164,6 (17,2)	23.921 (3.360)	5 (2)
		1.000	66,3 (67,3)	50,5 (7,2)		
		1.200	70,8 (79,0)	37,4 (5,9)		
		1.500	77,1 (89,0)	26,1 (4,2)		
		2.000	85,7 (95,0)	16,3 (2,5)		
		3.500	98,9 (99,9)	6,1 (0,9)		
weiblich	Aufzuchtzeit	500	65,2 (60,3)	198 (49,5)	23.865 (6.396)	6 (1)
		1.000	81,4 (83,9)	61,8 (17,1)		
		1.200	85,8 (89,7)	45,3 (12,7)		
		1.500	92,9 (95,1)	31,4 (8,6)		
		2.000	97,2 (99,0)	18,5 (5)		
		3.500	99,3 (99,7)	6,2 (1,7)		

Geschlecht	Phase	Distanz [m]	Prozent [%]	Dichte [Punkte / ha]	N	Anzahl Individuen
männlich	Aufzuchtzeit	500	34,2 (30,3)	161,6 (28,1)	37.075 (7.274)	5 (2)
		1.000	52,9 (69,2)	62,5 (16,0)		
		1.200	61,3 (80,1)	50,2 (12,9)		
		1.500	72,6 (90,7)	38,1 (9,3)		
		2.000	83,7 (95,4)	24,7 (5,5)		
		3.500	97,5 (99,6)	9,4 (1,9)		
weiblich	Nachbrutzeit	500	23,0 (34,4)	175,9 (39,5)	60.055 (9.035)	5 (1)
		1.000	48,4 (52,9)	92,6 (15,2)		
		1.200	57,0 (70,0)	75,6 (14,0)		
		1.500	71,7 (81,3)	60,9 (10,4)		
		2.000	89,7 (92,9)	42,9 (6,7)		
		3.500	94,8 (95,9)	14,8 (2,3)		
männlich	Nachbrutzeit	500	18,7 (18,2)	265,1 (71,5)	111.309 (30880)	7 (3)
		1.000	36,7 (48,1)	130,2 (47,3)		
		1.200	45,1 (61,0)	110,9 (41,7)		
		1.500	58,5 (76,4)	92,2 (33,4)		
		2.000	79,0 (86,9)	70,0 (21,4)		
		3.500	93,5 (91,2)	27,0 (7,3)		
weiblich	kombiniert (ohne Nachbrutzeit)	500	56,6 (78,4)	128,6 (20,8)	49.381 (6.881)	6 (1)
		1.000	88,7 (89,6)	47,5 (7,1)		
		1.200	90,9 (92,7)	34,0 (5,2)		
		1.500	94,9 (96,7)	22,9 (3,5)		
		2000	97,0 (98,9)	13,3 (2,0)		
		3500	98,3 (99,9)	4,4 (0,7)		
männlich	kombiniert (ohne Nachbrutzeit)	500	45,6 (36,9)	148,1 (18,9)	78.011 (19.718)	7 (3)
		1000	59,7 (65,8)	50,2 (9,4)		
		1200	65,6 (78,6)	38,3 (7,7)		
		1500	75,2 (90,1)	28,6 (5,6)		
		2000	85,8 (95,1)	18,3 (3,3)		
		3500	98,5 (99,3)	6,9 (1,1)		

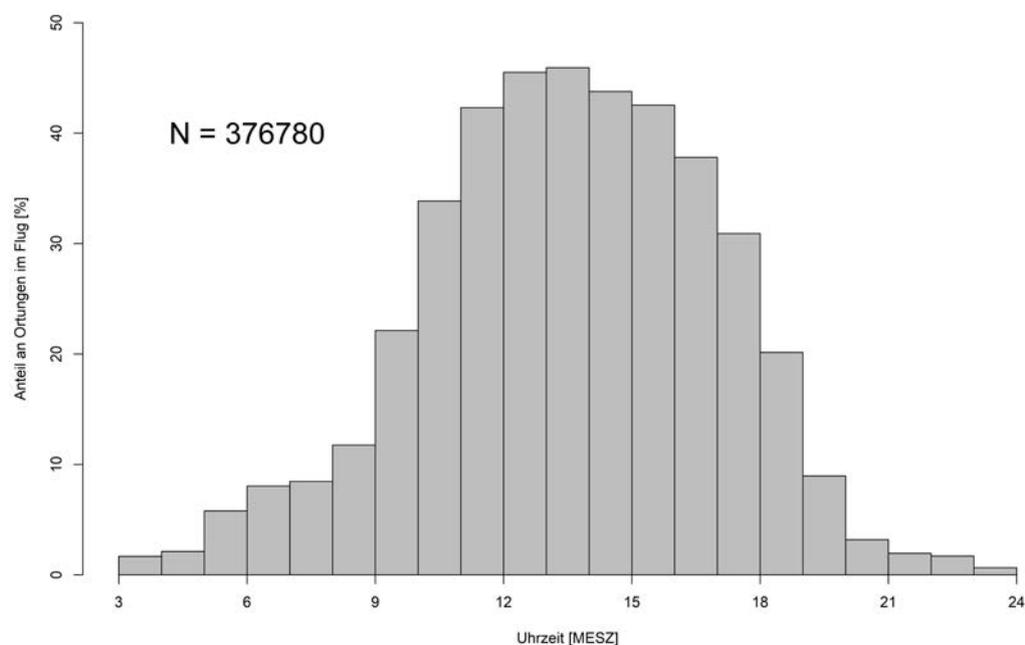
**Tabelle 18:** Relativer Anteil [%] der 5 min-Ortungen (**100 m Radius um den Horst ausgenommen**) und mittlere Anzahl der Punkte pro Hektar innerhalb der jeweiligen Distanzen zum Horst, differenziert nach Brutphänologie sowie Geschlecht. Zusätzlich wurden gewichtete Mittel der Prozentsätze und Dichten über die ersten drei Phasen („kombiniert“) berechnet. Die Werte der einzelnen Phasen der Brutphänologie wurden nach deren Dauer gewichtet. Es wurden nur Brutphasen berücksichtigt, in denen der Nachwuchs nicht verstorben war. Zur Übersicht wurden die Werte der Männchen grau hervorgehoben. Für die Vergleichbarkeit mit HEUCK *et al.* (2019) sind die Originaldaten von deren Studie in den folgenden Auswertungen enthalten. Der erste Ausdruck gibt jeweils das Ergebnis für die Daten aus beiden Studien gemeinsam an, der Klammer-Ausdruck verwendet nur die Daten aus HEUCK *et al.* (2019); Balz 15. März bis 14. April, Brut bis 19. Mai, Aufzucht bis 30. Juni, Nachbrutzeit bis 30. September.

Geschlecht	Phase	Distanz [m]	Prozent [%]	Dichte [Punkte / ha]	N	Anzahl Individuen
weiblich	Balzzeit	500	24,6 (29,9)	24,9 (0,3)	7.960 (87)	3 (1)
		1.000	83,3 (48,3)	21,1 (0,1)		
		1.200	85,3 (58,6)	15,0 (0,1)		
		1.500	90,9 (82,8)	10,2 (0,1)		
		2.000	92,3 (90,8)	5,8 (0,1)		
		3.500	93,7 (100)	1,9 (0,0)		
männlich	Balzzeit	500	30,1 (31,2)	45,5 (5,9)	11.864 (1.348)	5 (2)
		1.000	44,6 (51,9)	16,8 (2,2)		
		1.200	52,3 (71,6)	13,7 (2,1)		
		1.500	66,3 (88,6)	11,1 (1,7)		
		2.000	83,6 (94,0)	7,9 (1,0)		
		3.500	99,0 (98,0)	3,1 (0,3)		
weiblich	Brutzeit	500	15,1 (80,0)	14,5 (0,2)	7.557 (20)	3 (1)
		1.000	95,8 (100)	23,1 (0,1)		
		1.200	96,5 (100)	16,1 (0,0)		
		1.500	97,4 (100)	10,4 (0,0)		
		2.000	98,2 (100)	5,9 (0,0)		
		3.500	99,2 (100)	1,9 (0,0)		
männlich	Brutzeit	500	30,1 (30,2)	60,1 (11)	15.715 (2.873)	5 (2)
		1.000	48,7 (61,7)	24,4 (5,6)		
		1.200	55,5 (75,5)	19,3 (4,8)		
		1.500	65,2 (87,2)	14,5 (3,5)		
		2.000	78,3 (94,2)	9,8 (2,2)		
		3.500	98,3 (99,8)	4,0 (0,7)		
weiblich	Aufzuchtzeit	500	42,8 (32,8)	79,1 (15,6)	14.531 (3.736)	6 (1)
		1.000	69,4 (72,4)	32,1 (8,6)		
		1.200	76,8 (82,4)	24,7 (6,8)		
		1.500	88,1 (91,6)	18,2 (4,8)		
		2.000	95,3 (98,2)	11,0 (2,9)		
		3.500	98,9 (99,4)	3,7 (1,0)		
männlich	Aufzuchtzeit	500	21,5 (23,9)	85,2 (20,2)	31.069 (6.657)	5 (2)
		1.000	43,9 (66,3)	43,4 (14,1)		
		1.200	53,8 (78,3)	36,9 (11,5)		
		1.500	67,3 (89,9)	29,6 (8,5)		
		2.000	80,6 (95,0)	19,9 (5,0)		
		3.500	97,0 (99,5)	7,8 (1,7)		

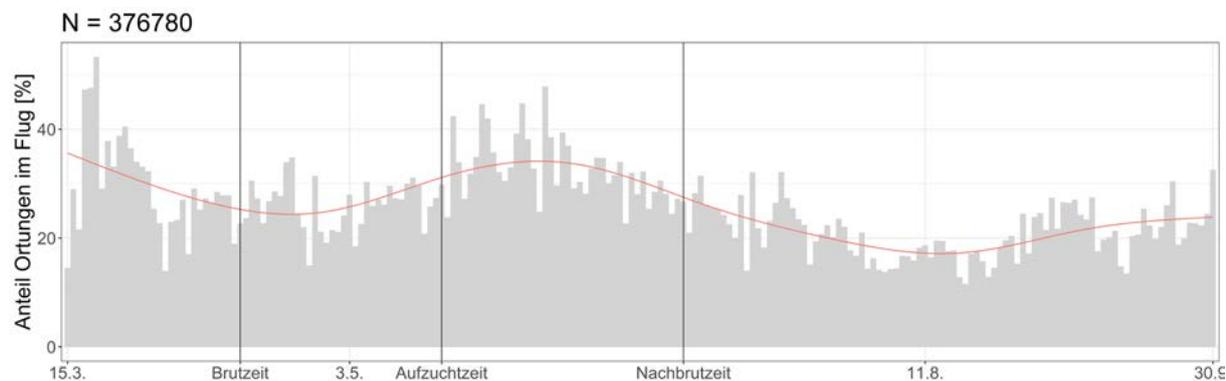
Geschlecht	Phase	Distanz [m]	Prozent [%]	Dichte [Punkte / ha]	N	Anzahl Individuen
weiblich	Nachbrutzeit	500	14,4 (17,9)	98,6 (16,4)	54.009 (7.218)	5 (1)
		1.000	42,7 (41,0)	73,3 (9,4)		
		1.200	52,2 (62,4)	62,3 (10,0)		
		1.500	68,5 (76,5)	52,1 (7,8)		
		2.000	88,6 (91,1)	38,1 (5,2)		
		3.500	94,3 (94,9)	13,2 (1,8)		
männlich	Nachbrutzeit	500	13,8 (14,1)	183,8 (52,8)	104.921 (29.405)	7 (3)
		1.000	32,9 (45,5)	109,8 (42,6)		
		1.200	41,7 (59,1)	96,8 (38,4)		
		1.500	56,0 (75,2)	83,1 (31,3)		
		2.000	77,7 (86,3)	64,9 (20,2)		
		3.500	93,1 (90,7)	25,4 (6,9)		
weiblich	kombiniert (ohne Nachbrutzeit)	500	28,6 (47,3)	42,6 (6,2)	30.048 (3.843)	6 (1)
		1.000	81,9 (74,4)	26,0 (3,4)		
		1.200	85,6 (81,3)	19,1 (2,7)		
		1.500	92,0 (91,8)	13,4 (1,9)		
		2000	95,4 (96,7)	7,9 (1,2)		
		3500	97,5 (99,8)	2,6 (0,4)		
männlich	kombiniert (ohne Nachbrutzeit)	500	26,8 (28,0)	65,7 (13,0)	58.648 (10,878)	7 (3)
		1000	45,7 (60,7)	29,6 (7,9)		
		1200	53,9 (75,5)	24,5 (6,6)		
		1500	66,1 (88,7)	19,4 (4,9)		
		2000	80,7 (94,5)	13,2 (2,9)		
		3500	98,0 (99,2)	5,2 (1,0)		

## 4.2 Flugaktivität der Milane im Tages- und Jahresverlauf

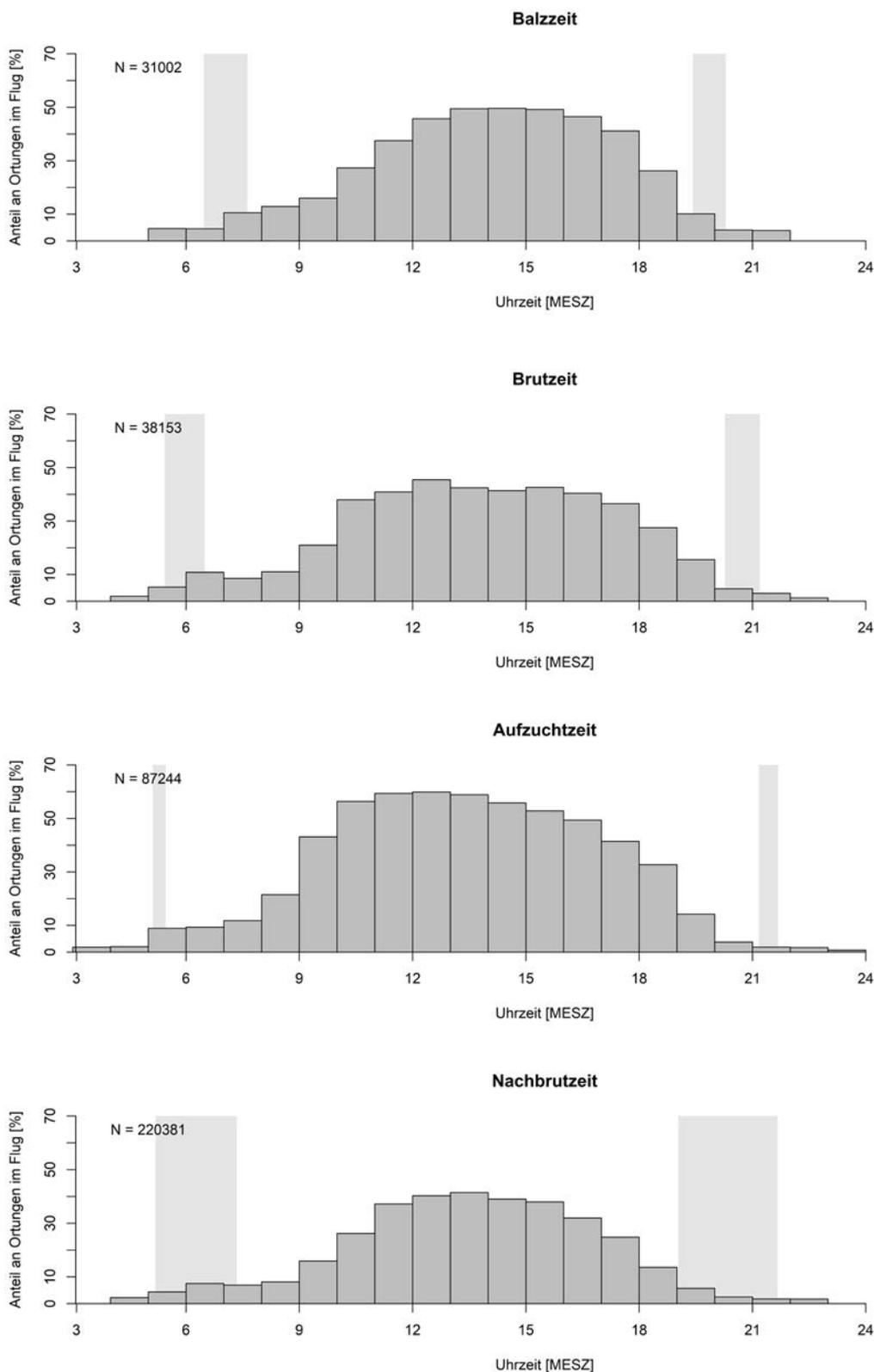
Die tagesphänologische Verteilung der Flugaktivität der Milane ähnelte sehr stark einer Glockenkurve mit einem Maximum zur Mittagszeit (Abbildung 54). Im Zeitraum von 21 bis 5 Uhr lag die Flugaktivität des Rotmilans im niedrigen einstelligen Prozentbereich. Über den Jahresverlauf zeigte sich verringerte Flugaktivität während der Brut und insbesondere in der Nachbrutzeit (Abbildung 55). In den unterschiedlichen Phasen der Brutphänologie ergab sich ein vermehrtes Flugaufkommen während der Balzzeit und der Aufzuchtzeit (Abbildung 55). Über die Brutphasen hinweg gab es darüber hinaus im tageszeitlichen Verlauf der Flugaktivität kaum Unterschiede (siehe Abbildung 56). Die Boxplots der Flughöhenverteilung im Tagesverlauf zeigen, dass sowohl der Median als auch die Streuung der Daten von 9 bis 16 Uhr zunahm und anschließend bis 19 Uhr wieder abfiel (Abbildung 57). Weiterhin wird deutlich, dass in den Morgenstunden (bis 8 h) rund 90 % der Flugaktivität unter 100 m Flughöhe stattfand. Die Unterschiede bei der tageszeitlichen Abhängigkeit der Flughöhe für die vier Phasen waren äußerst gering (vgl. Abbildung 58 und Abbildung 59).



**Abbildung 54:** Flugaktivität in Abhängigkeit von der Tageszeit. Dargestellt wurde der prozentuelle Anteil der Ortungen im Flug (ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK *et al.* 2019) an der gesamten Ortungszahl jeder vollen Stunde.



**Abbildung 55:** Flugaktivität im Jahresverlauf. Dargestellt ist der tägliche Anteil an Ortungen im Flug (ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK *et al.* (2019) im Zeitraum des 15. März bis zu dem 30. September. Zusätzlich ist eine Glättungskurve dargestellt.



**Abbildung 56:** Flugaktivität in Abhängigkeit von der Tageszeit während unterschiedlicher Brutphänologie. Dargestellt ist der prozentuelle Anteil der Ortungen im Flug (ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK *et al.* 2019) an der gesamten Ortungszahl jeder vollen Stunde. Die hellgrauen Bereiche markieren die Zeiträume der Sonnenaufgänge und Sonnenuntergänge innerhalb der jeweiligen Phase der Brutphänologie.

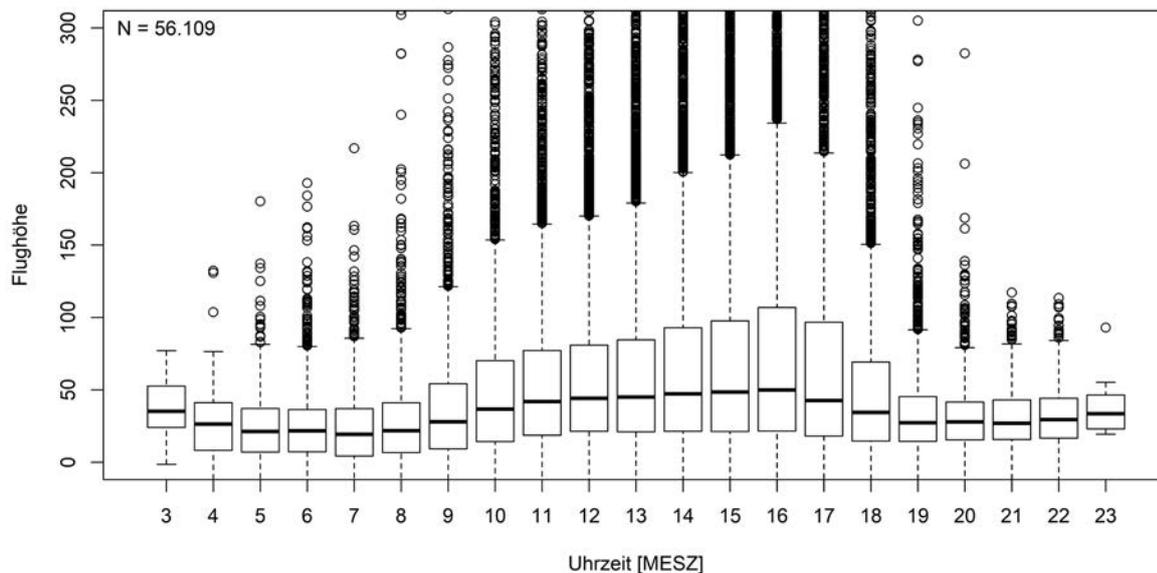


Abbildung 57: Boxplot der Flughöhen im Tagesverlauf. Gestrichelte Linien kennzeichnen 90 % Bereich.

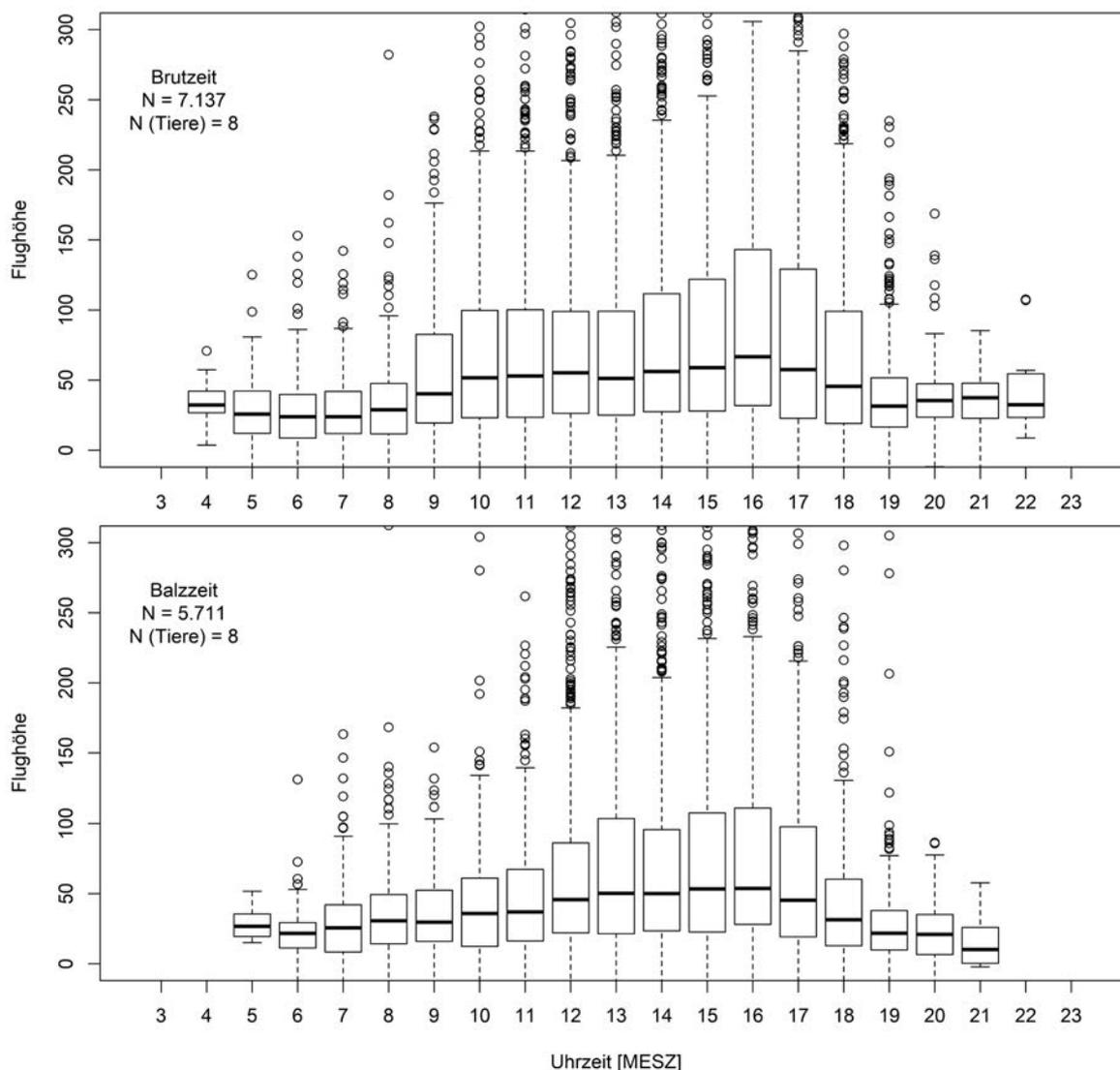
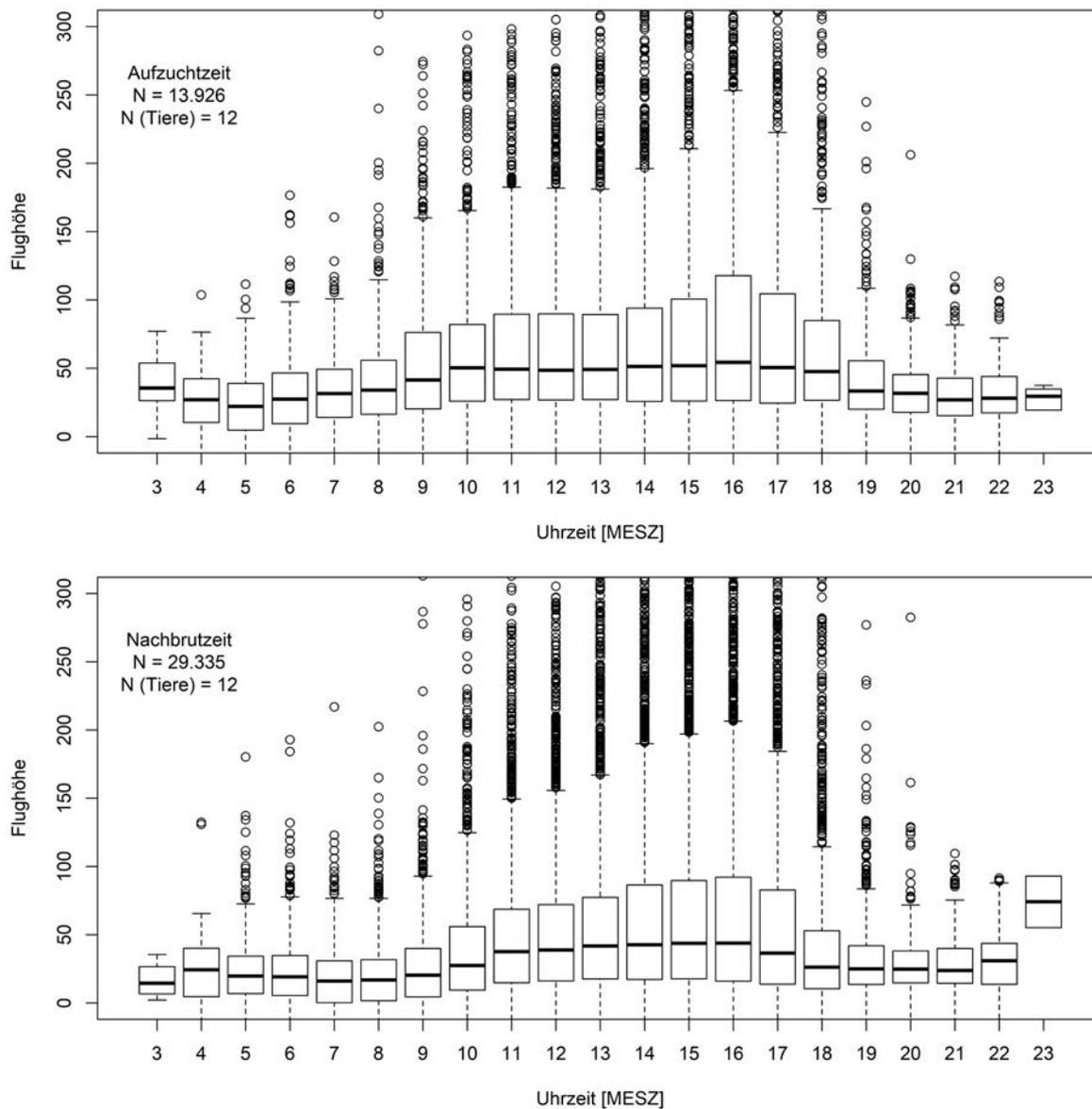


Abbildung 58: Boxplots der Flughöhen im Tagesverlauf für die Balz- und die Brutzeit. Gestrichelte Linien kennzeichnen den Bereich in dem 90 % der Daten liegen.



**Abbildung 59:** Boxplots der Flughöhen im Tagesverlauf für die Aufzucht- und die Nachbrutzeit. Gestrichelte Linien kennzeichnen den Bereich in dem 90 % der Daten liegen.

### 4.3 Flugaktivität und Flughöhe in Abhängigkeit von Wetter und Geländeform

#### Kollinearität der erklärenden Variablen

Bei der Interpretation von Modellstatistiken war zunächst auf Kollinearität zwischen den erklärenden Variablen zu achten. Zu einer Fehleinschätzung der Einflüsse der einzelnen Variablen kommt es nach DORMANN *et al.* (2013) ab einem Korrelationskoeffizienten von  $|R| > 0,7$ . Basierend auf dem Datensatz des binomialen Modells zur Flugaktivität konnten keine beeinträchtigenden Korrelationen zwischen den Variablen gefunden werden (maximales R in Tabelle 19 von 0,63). Zudem wurde die Kollinearität der Modellparameter mittels „Variance Inflation Factors“ (VIF; FOX & MONETTE 1992) berechnet. Bei Werten von  $VIF < 10$  kann der Einfluss der Kollinearität vernachlässigt werden (DORMANN *et al.* 2013). Alle berechneten VIFs waren  $< 3$  (Tabelle 20).

**Tabelle 19:** Korrelationskoeffizient  $|R|$  linearer Regressionen zwischen den Umweltvariablen sowie der Horstdistanz, basierend auf dem Datensatz des binomialen Modells zur Flugaktivität (N= 249.663, 12 Individuen).

	Sonnenscheindauer	Temperatur	Niederschlag	Windgeschwindigkeit Bodenhöhe	Windgeschwindigkeit Gondelhöhe	Luftschichtung	Geländeform	Horstdistanz
Sonnenscheindauer		0,38	0,13	0,01	0,20	0,41	0,04	0,04
Temperatur Bodenhöhe			0,05	0,06	0,13	0,25	0,09	0,10
Niederschlag				0,04	0,05	0,02	0,03	0,05
Windgeschwindigkeit Bodenhöhe					0,63	0,25	0,03	0,05
Windgeschwindigkeit Gondelhöhe						0,36	0,04	0,05
Luftschichtung							0,08	0,02
Geländeform								0,09
Horstdistanz								

**Tabelle 20:** Variance Inflation Factors (VIFs) aller verwendeten Umweltvariablen in den drei berechneten Modellen.

Umweltvariable	GLGM Flugaktivität	LGM Flughöhe	GLGM Flughöhe
Sonnenscheindauer	1,35	1,43	1,31
Temperatur Bodenhöhe	1,20	1,31	1,20
Niederschlag	1,03	1,03	1,03
Windgeschwindigkeit Bodenhöhe	2,36	2,41	2,79
Windgeschwindigkeit Gondelhöhe	2,33	2,54	2,66
Luftschichtung	1,63	1,05	1,04
Hang Neigung	1,06	1,09	1,06
Horstdistanz	1,07	1,59	1,79

### *Flugaktivität & Flughöhe anhand Horstdistanz, Wetter und Geländeform*

Ob das Flugverhalten (Flugaktivität und Flughöhe) der Rotmilane vom Wetter, der Geländeform bzw. der Entfernung zum Horst abhängt, wurde mit Hilfe von Regressionsmodellen multivariat untersucht. Die methodische Beschreibung zu den Modellen findet sich in Kapitel 3.3.2, die Ergebnisse werden in Tabelle 21 dargestellt.

#### **Flugaktivität**

Das statistische (GLGM) Modell zur Untersuchung der Flugaktivität (fliegend / sitzend) erklärte 27,2 % der Varianz der Flugaktivitätsdaten ( $R^2 = 0,272$ ) bzw. 20,2 % der Varianz über Wetterdaten, Entfernung zum Horst und Geländeform (marginal  $R^2 = 0,202$ ). Als relevant für die Flugaktivität stellten sich insbesondere die beiden Wetterparameter Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe und Sonnenscheindauer dar, wobei diese einen Großteil am Anteil der erklärten Varianz mit 31,36 % bzw. 27,40 % aufwiesen. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe (Effektstärke: 0,66) und Sonnenscheindauer (Effektstärke: 0,24) nimmt die Flugaktivität signifikant zu. Die Ergebnisse zeigten, dass die Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe einen maßgeblichen Einfluss auf die Flugaktivität des Rotmilans hatte, während dies auf die Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe nicht zutraf. Bei Windstille auf Gondelhöhe betrug der Anteil an Ortungen im Flug zirka 10 %, während dieser bei Windgeschwindigkeiten auf Gondelhöhe über 1 m/s bei knapp unter 25 % lag. Absolut betrachtet, fand ein Großteil der Flugaktivität jedoch im Bereich von 1 bis 8 m/s statt. Während der relative Anteil an Ortungspunkten im Flug mit zunehmender Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe anstieg, entfiel, absolut betrachtet, der Großteil der Flugaktivität auf Windgeschwindigkeiten auf Bodenhöhe von unter 6 m/s. Die Horstdistanz zeigte einen positiven signifikanten Zusammenhang mit der Zunahme der Flugaktivität und hatte einen Einfluss von 13,23 % an der erklärten Varianz. So betrug der Anteil der Ortungspunkte im Flug bis 200 m Distanz zum Horst nur ca. 5 %, während im Bereich von 200 m bis 2.000 m dieser Wert bei rund 25 % bzw. für den Bereich von 2.000 m bis 5.000 m über 25 % lag (vgl. Tabelle 21 und Abbildung 60). Im Vergleich zu HEUCK *et al.* (2019) wurden in der vorliegenden Modellierung die Parameter Distanz zum Horst sowie Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe ergänzend betrachtet. Aufgrund der höheren Anzahl an Ortungspunkten und der beiden zusätzlichen Parameter verbesserte sich die Vorhersage des Modells von marg.  $R^2 = 0,123$  (HEUCK *et al.* 2019) auf marg.  $R^2 = 0,202$ . Aus Abbildung 60 wird ersichtlich, dass bei Vorliegen von Niederschlag und/oder den Luftschichtungsklassen „stabil“ und „sehr stabil“ sich bei den besenderten Rotmilanen kaum Flugaktivität zeigte. Durch den Niederschlag, die Luftschichtung sowie die Hanglagen konnte nur ein geringer Anteil an der Varianz erklärt werden (vgl. Tabelle 21).

## Flughöhe

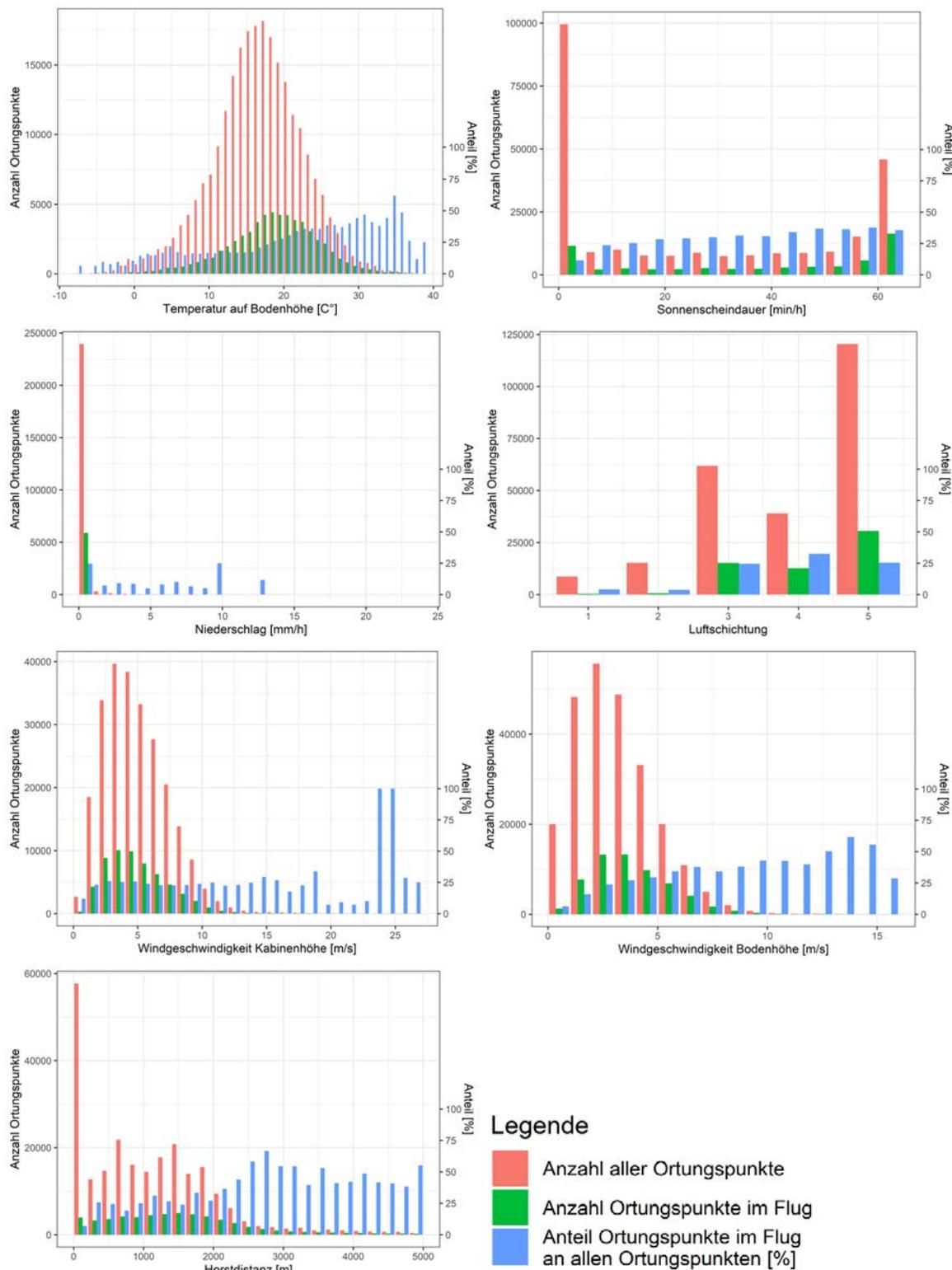
83,47 % der aufgenommenen Ortungspunkte im Flug wiesen eine Flughöhe von weniger als 100 m auf, 77,54 % eine Flughöhe von weniger als 80 m und 75,54 % eine Flughöhe von weniger als 75 m (vgl. Tabelle 22 sowie Abbildung 62). Die Flughöhen unterschieden sich nach Brutphänologie (Anteile der Ortungspunkte im Flug unter 100 m: die Balzzeit 82,68 %, die Brutzeit 76,25 %, die Aufzuchtzeit 81,29 % und die Nachbrutzeit 86,41 %, vergleiche Abbildung 60 und Abbildung 63). Auf Rotorhöhe moderner Windkraftanlagen (80 bis 250 m) wurden zwischen 24,95 % (Brutzeit) und 16,00 % (Nachbrutzeit) der Ortungspunkte im Flug aufgenommen (Tabelle 22), wobei insgesamt 19,06 % der Ortungspunkte im Flug im Bereich von 80 bis 250 m verortet wurden.

Das statistische (LGM) Modell zur Analyse der kontinuierlichen Flughöhe erklärt 12,3 % der Varianz der Flugaktivitätsdaten ( $R^2 = 0,123$ ) und zeigt, dass ein vernachlässigbarer linearer Zusammenhang zwischen der Flughöhe und den untersuchten Umweltparametern vorliegt, da nur 6,9 % der Varianz über Wetterdaten, Entfernung zum Horst und Geländeform (marginal  $R^2 = 0,069$ ) erklärt werden können. Demgegenüber erklärt das Modell zur kategorisierten Flughöhe (GLGM) 16,8 % der Varianz der Flugaktivitätsdaten ( $R^2 = 0,168$ ), wovon 13,5 % der Varianz durch die Umweltparameter erklärt werden können (vgl. Tabelle 21). Verglichen mit HEUCK *et al.* 2019 verbesserte sich der Erklärungswert beider Modelle deutlich (dort 2,1 % bzw. 3,3 %). Bei HEUCK *et al.* (2019) lagen die Temperaturdaten vom Vogelsberg zumeist im Bereich von 14 bis 22 Grad (Originaldaten Heuck verschnitten mit DWD-Daten). Aufgrund der verschiedenen Landschaftsräume Hessens kommt es hingegen in der vorliegenden Studie zu größeren Temperaturschwankungen, sodass durch die Verwendung der Temperaturdaten der Wetterstationen, im Gegensatz zur Verwendung einer standardisierten Temperatur von 15 Grad wie bei HEUCK *et al.* (2019), genauere Ergebnisse erzielt werden konnten. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit denjenigen von HEUCK *et al.* (2019) wird dadurch nicht beeinträchtigt. Insbesondere die Parameter Sonnenscheindauer (25,32 %), Temperatur (18,18 %) und Horstdistanz (17,40 %) haben einen hohen Anteil an der durch die Umweltparameter im GLGM-Modell erklärten Varianz. Diese drei Parameter zeigen eine signifikante ( $p < 0,001$ ) Zunahme der Fluganteile über 80 m Höhe mit steigender Temperatur, Sonnenscheindauer und Horstdistanz. Im 200 m Umkreis zum Horst beträgt der Anteil der Flüge der in dieser Studie besenderten Rotmilane über 80 m unter 10 %, während der Anteil im Bereich 200 m bis 2.000 m bei ca. 25 % liegt. Ab 2.000 m kommt es zu einer weiteren Zunahme und entspricht ab 3.000 m ca. 50 % (siehe Abbildung 61).

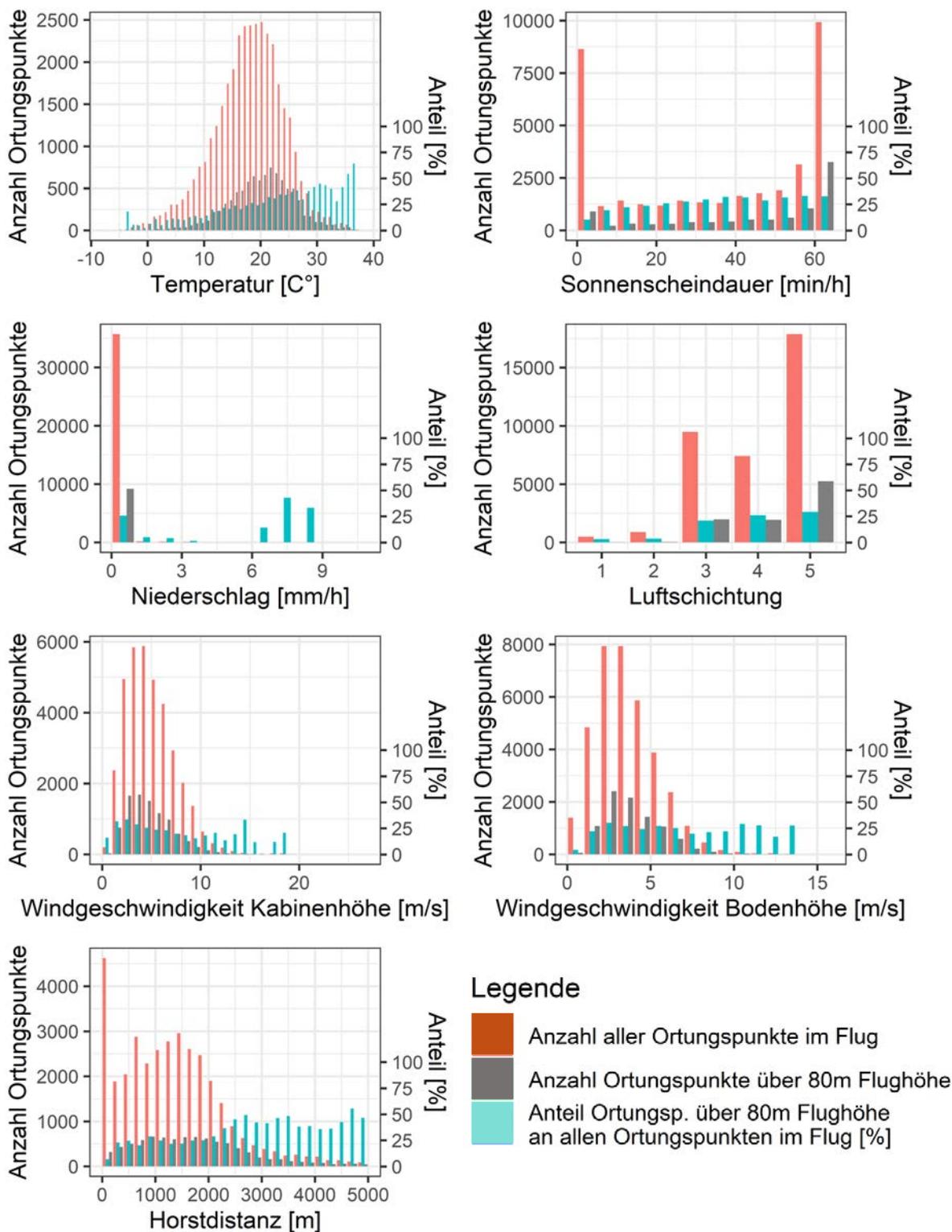
Der Parameter Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe zeigt in Abbildung 61 und Abbildung 66 einen deutlichen Zusammenhang mit der Flughöhe. Während sich für Windgeschwindigkeiten auf Gondelhöhe unter 1 m/s kaum Flüge über 80 m Höhe erfassen lassen, bei ohnehin geringer Flugaktivität, zeigt sich ein Maximalwert des Anteils an Flugaktivität über 80 m Höhe im Bereich von 2 bis 3 m/s. Ab Windgeschwindigkeiten größer 3 m/s kommt es zu einem deutlichen und kontinuierlichen Rückgang des Anteils an Flugaktivität über 80 m Höhe.(vgl. Abbildung 61 und Abbildung 66).

**Tabelle 21:** Modellstatistiken eines generalisierten linearen gemischten Modells (GLGM) zur Flugaktivität, eines linearen gemischten Modells (LGM) zur kontinuierlichen Flughöhe und eines GLGMs zur kategorisierten Flughöhe (über/unter 80 m). Erklärend waren jeweils Horstdistanz (z-standardisiert) sechs Wettervariablen (z-standardisiert) und eine kategorisierte Geländeform. Vogel-ID und das Untersuchungsjahr wurden als Random-Effekt betrachtet. Die Effektstärken der acht Hangexpositionen geben den Unterschied zur Kategorie „Kein Hang“ an. Für das GLGM Flugaktivität wurde fliegend ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK *et al.* (2019) angesetzt, für die Flughöhenmodelle wurden bereits Geschwindigkeiten des Vogels ab 3 km/h vergleichbar zu MERCKER *et al.* (2023) als fliegend angenommen (siehe Kapitel 3.2.9).

Umweltvariablen	GLGM Flugaktivität N = 249.663, R <sup>2</sup> = 0,272 marg. R <sup>2</sup> = 0,202			LGM Flughöhe N = 36.404, R <sup>2</sup> = 0,123 marg. R <sup>2</sup> = 0,069			GLGM Flughöhe N = 36.404, R <sup>2</sup> = 0,168 marg. R <sup>2</sup> = 0,135		
	Effektstärke +- Standardfehler	p-Wert	Anteil an erklärter Varianz	Effektstärke +- Standardfehler	p-Wert	Anteil an erklärter Varianz	Effektstärke +- Standardfehler	p-Wert	Anteil an erklärter Varianz
Horstdistanz	0,28 ± 0,005	< 0,001	13,23 %	0,11 ± 0,005	< 0,001	17,66 %	0,28 ± 0,013	< 0,001	17,40 %
Niederschlag	-0,20 ± 0,012	< 0,001	2,80 %	-0,01 ± 0,005	0,100	1,49 %	-0,14 ± 0,027	< 0,001	3,23 %
Windgeschwindigkeit Bodenhöhe	0,66 ± 0,008	< 0,001	31,36%	0,06 ± 0,006	< 0,001	4,93%	0,32 ± 0,023	< 0,001	8,17 %
Windgeschwindigkeit Gondelhöhe	-0,26 ± 0,008	< 0,001	4,63%	-0,09± 0,008	< 0,001	10,37 %	-0,29 ± 0,023	< 0,001	10,08 %
Temperatur	0,20 ± 0,006	< 0,001	9,99 %	0,11 ± 0,006	< 0,001	22,42 %	0,22 ± 0,016	< 0,001	18,18 %
Sonnenscheindauer	0,32 ± 0,006	< 0,001	27,40 %	0,08 ± 0,006	< 0,001	25,84 %	0,22 ± 0,016	< 0,001	25,32 %
Luftschichtung	0,24 ± 0,007	< 0,001	6,62 %	0,03 ± 0,006	< 0,001	5,93 %	0,19 ± 0,019	< 0,001	8,41 %
Hang N	-1,65 ± 0,441	0,002	3,97 %	-1,54 ± 0,436	0,029	11,34 %	-1,15 ± 1,344	0,393	9,19 %
Hang NO	-1,66 ± 0,441	0,001		-1,49 ± 0,436	0,029		-1,05 ± 1,344	0,433	
Hang O	-1,65 ± 0,441	0,002		-1,38 ± 0,436	0,029		-0,86 ± 1,344	0,520	
Hang SO	-1,77 ± 0,441	<0,001		-1,45 ± 0,436	0,029		-1,00 ± 1,344	0,456	
Hang S	-1,94 ± 0,441	<0,001		-1,59 ± 0,436	0,029		-1,36 ± 1,344	0,313	
Hang SW	-1,83 ± 0,441	<0,001		-1,59 ± 0,436	0,029		-1,31 ± 1,344	0,331	
Hang W	-1,57 ± 0,441	0,003		-1,59 ± 0,436	0,029		-1,29 ± 1,344	0,338	
Hang NW	-1,54 ± 0,441	0,004		-1,58 ± 0,436	0,029		-1,17 ± 1,344	0,384	
Grün: statistisch signifikant für p<=0.001									
Gelb: statistisch signifikant für p<=0.01									
Orange: statistisch nicht signifikant									

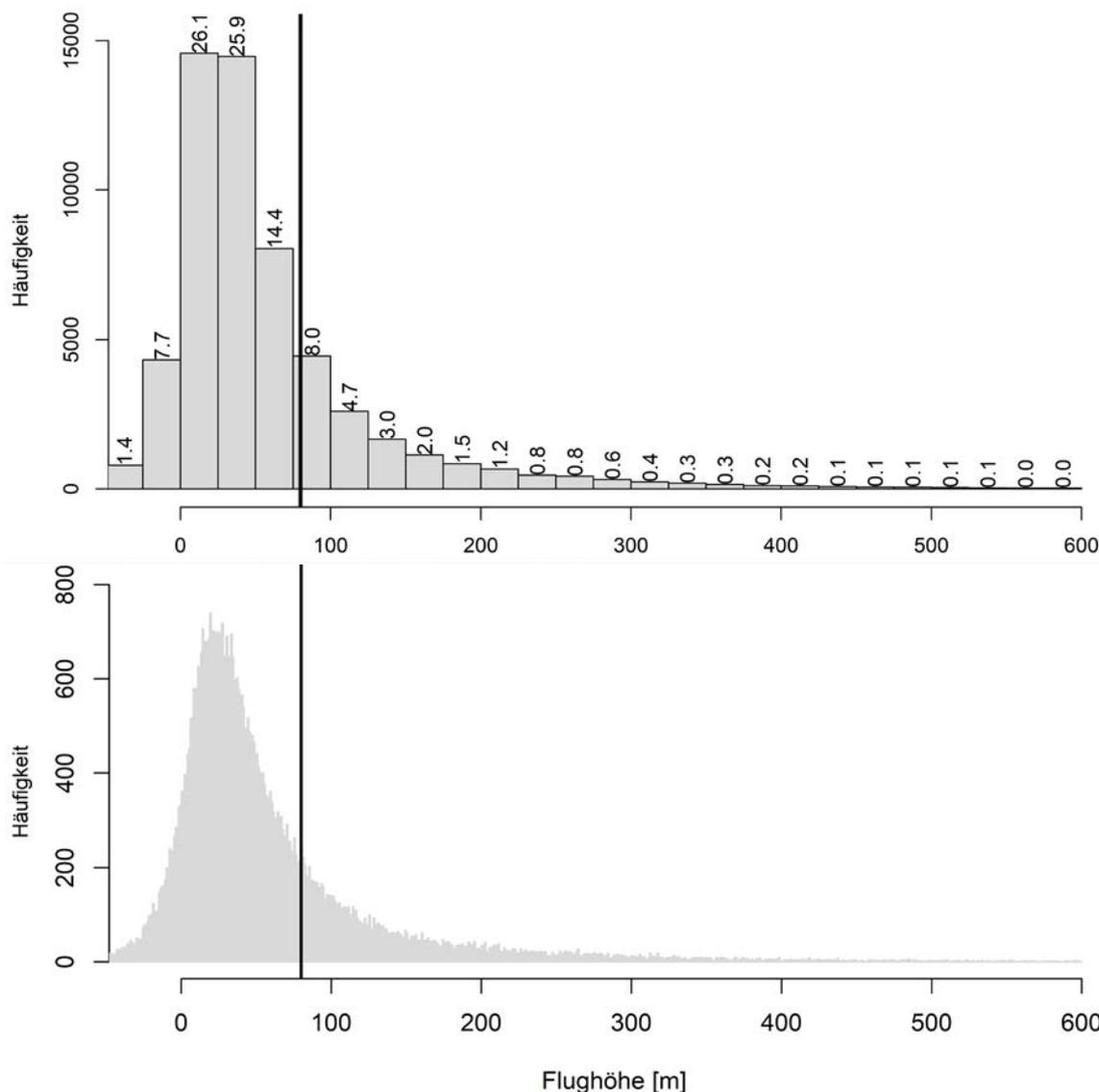


**Abbildung 60:** Verteilung der Flugaktivität (Anzahl der Ortungspunkte im Flug (ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK *et al.* 2019, grün) über die Häufigkeit der jeweiligen Ausprägungen von sechs Wetterparametern sowie der Horstdistanz (Anzahl aller Ortungspunkte, rot) sowie der prozentuelle Anteil von Ortungspunkten im Flug an allen Ortungspunkten (blau). Luftschichtungsklassen; sehr stabil (1), stabil (2), indifferent-stabil (3), indifferent-labil (4), labil (5).



**Abbildung 61:** Anzahl bzw. Anteil der Flugaktivität über 80 m an den Ortungspunkten im Flug (ab 3 km/h entsprechend MERCKER *et al.* 2023) in Abhängigkeit von Wetterfaktoren und der Entfernung zum Horst. Luftschichtungsklassen; sehr stabil (1), stabil (2), indifferent-stabil (3), indifferent-labil (4), labil (5).

N = 56.109

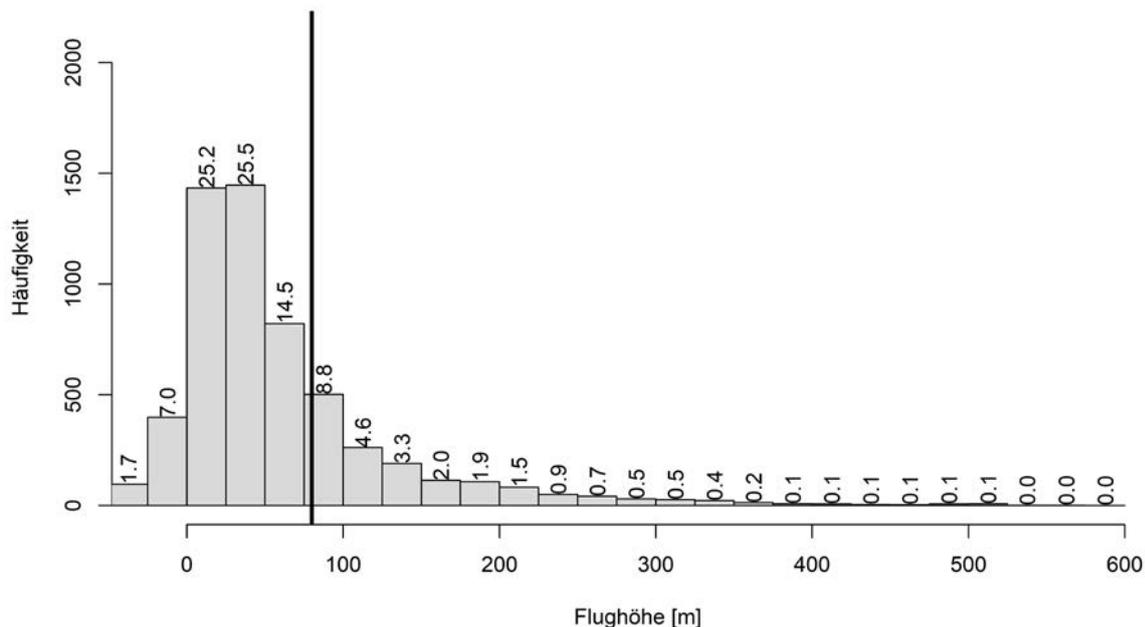


**Abbildung 62:** Histogramm der Flughöhen in 25 m mit Angaben der jeweiligen prozentualen Anteile der Häufigkeit (oben) bzw. der 1 m Klassen (unten) für die Barometerhöhen im 5 min Ortungsintervall. Flugpunkte werden ab 3 km/h Geschwindigkeit vergleichbar mit MERCKER *et al.* (2023) angenommen, abweichend zu den 10 km/h bei HEUCK *et al.* (2019). Die Trennlinie beschreibt die Höhe von 80 m. Die Auswertung basiert auf Barometerdaten.

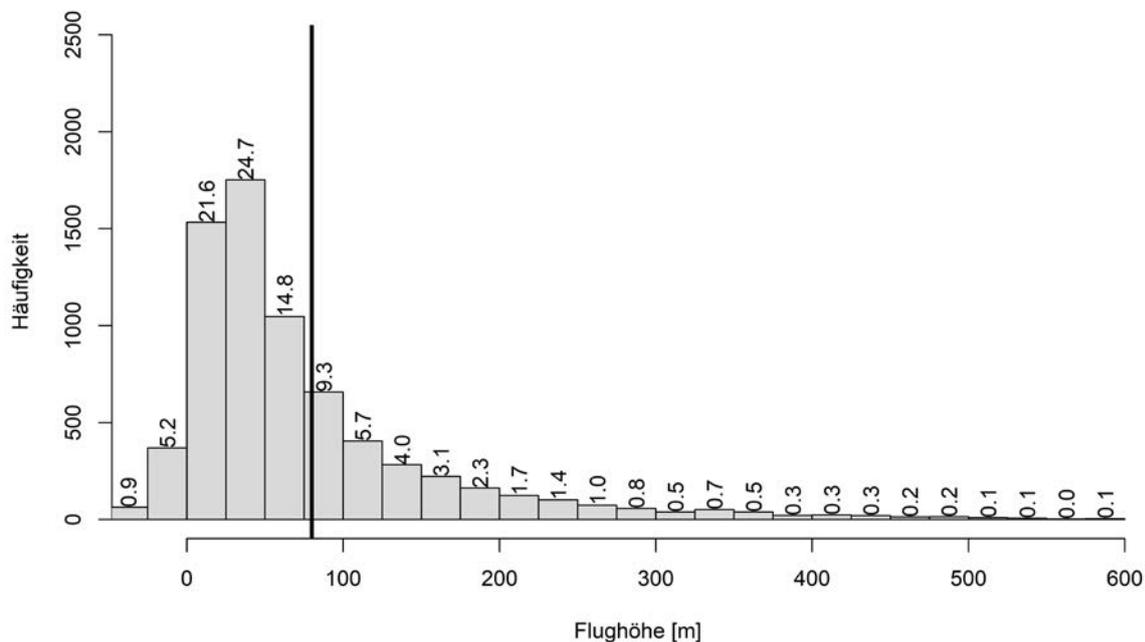
**Tabelle 22:** Ortungspunkten im Flug, differenziert nach Brutphänologie. Der Wert „Gesamt“ wurde aus allen Ortungspunkten im Flug berechnet. Für „Alle Phasen kombiniert“ wurden die Werte der Brutphasen nach deren Länge gewichtet. Balzzeit 15. März bis 14. April (30 Tage), Brutzeit 15. April bis 19. Mai (34 Tage), Aufzuchtzeit 20. Mai bis 30. Juni (41 Tage), Nachbrutzeit 1. Juli bis 30. September (91 Tage). 5 Minuten-Barometer-Datensatz.

Brutphänologie	< 80 m	80 bis 250 m	> 250 m	N
Phasen kombiniert (gewichtet)	76,98 %	19,50 %	3,51 %	56.109
Balzzeit	75,89 %	20,92 %	3,19 %	5.711
Brutzeit	69,48 %	24,95 %	5,56 %	7.137
Aufzuchtzeit	74,57 %	21,72 %	3,71 %	13.926
Nachbrutzeit	81,23 %	16,00 %	2,76 %	29.335
<b>Gesamt</b>	<b>77,54 %</b>	<b>19,06 %</b>	<b>3,40 %</b>	<b>56.109</b>

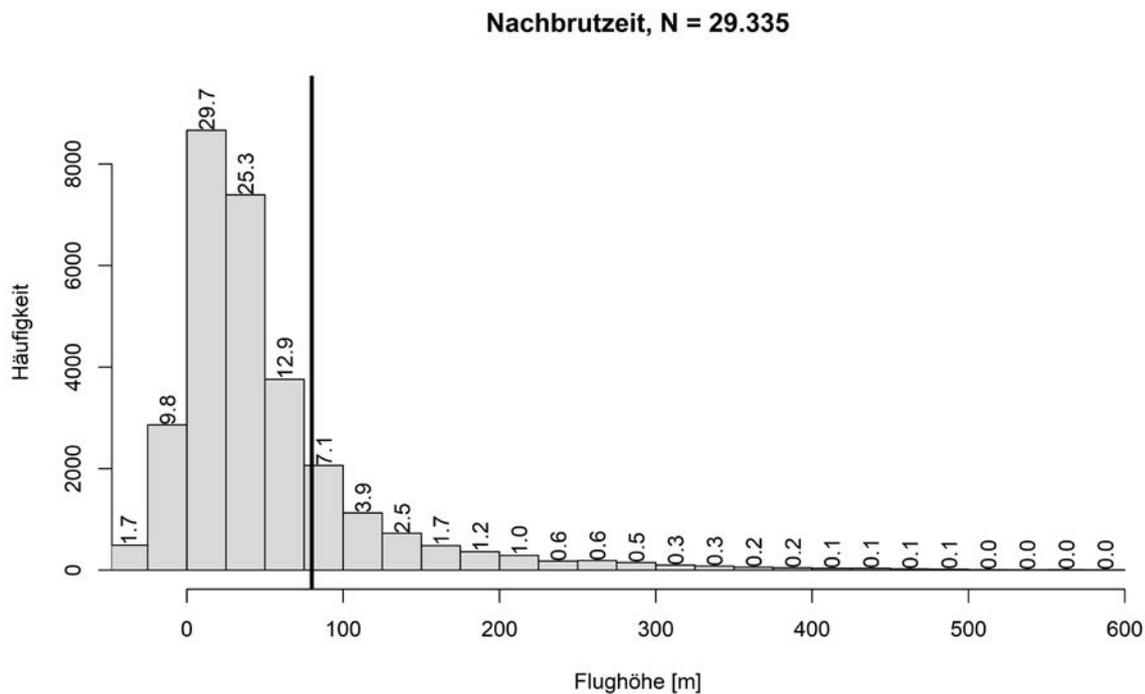
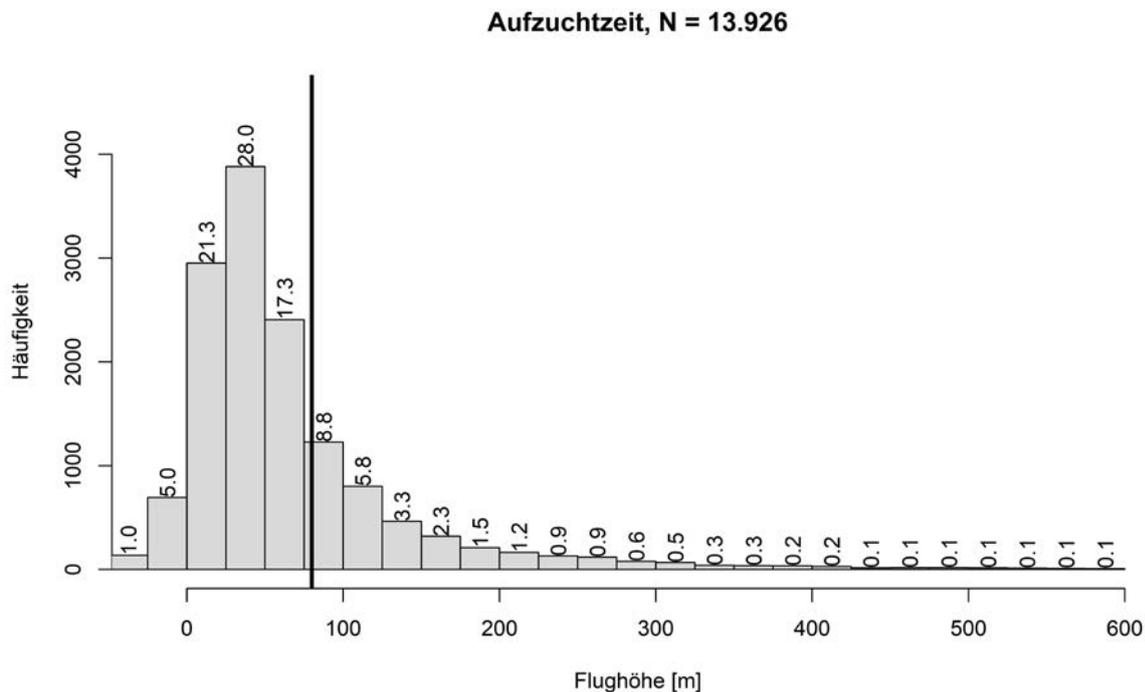
**Balzzeit, N = 5.711**



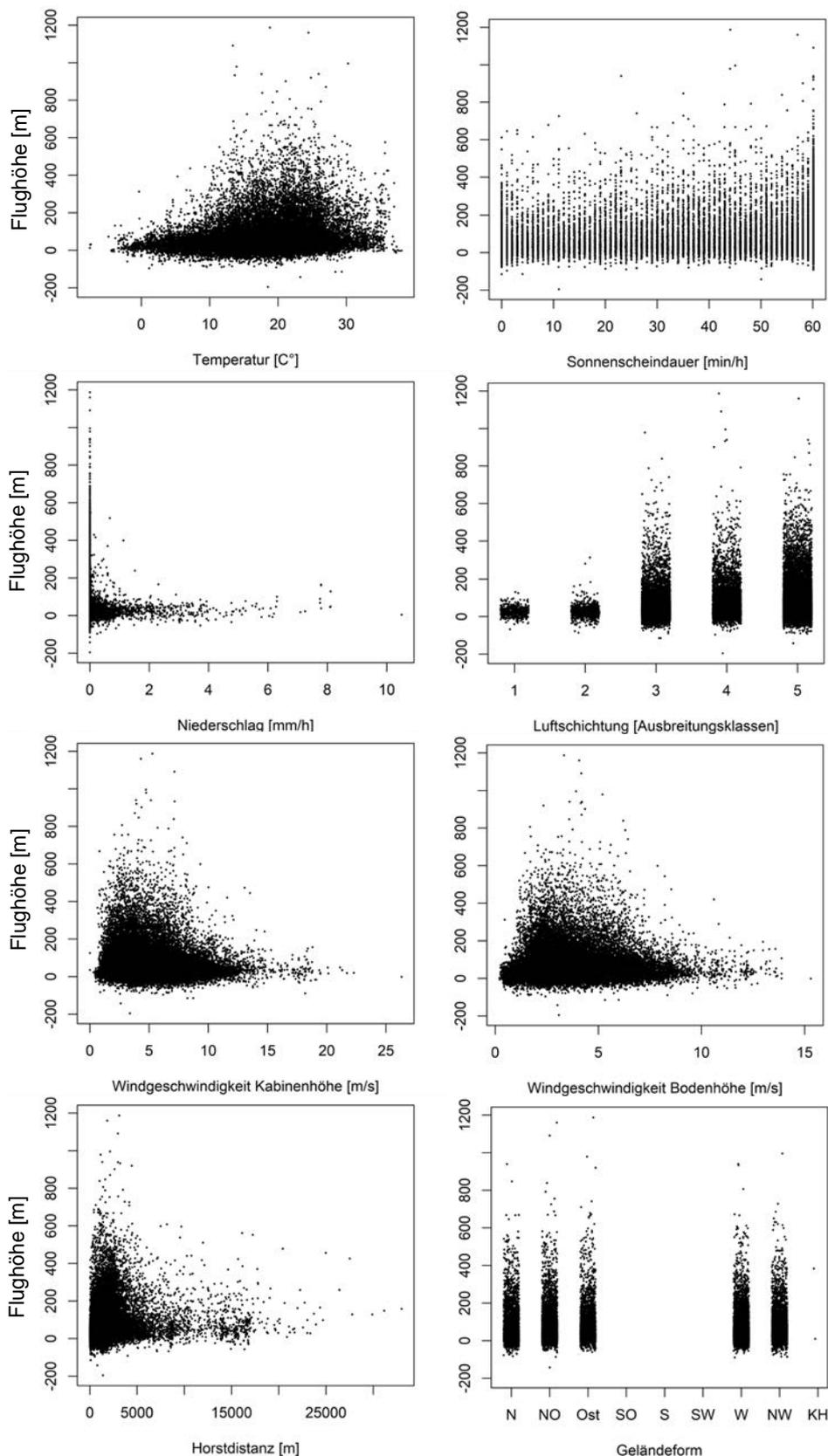
**Brutzeit, N = 7.137**



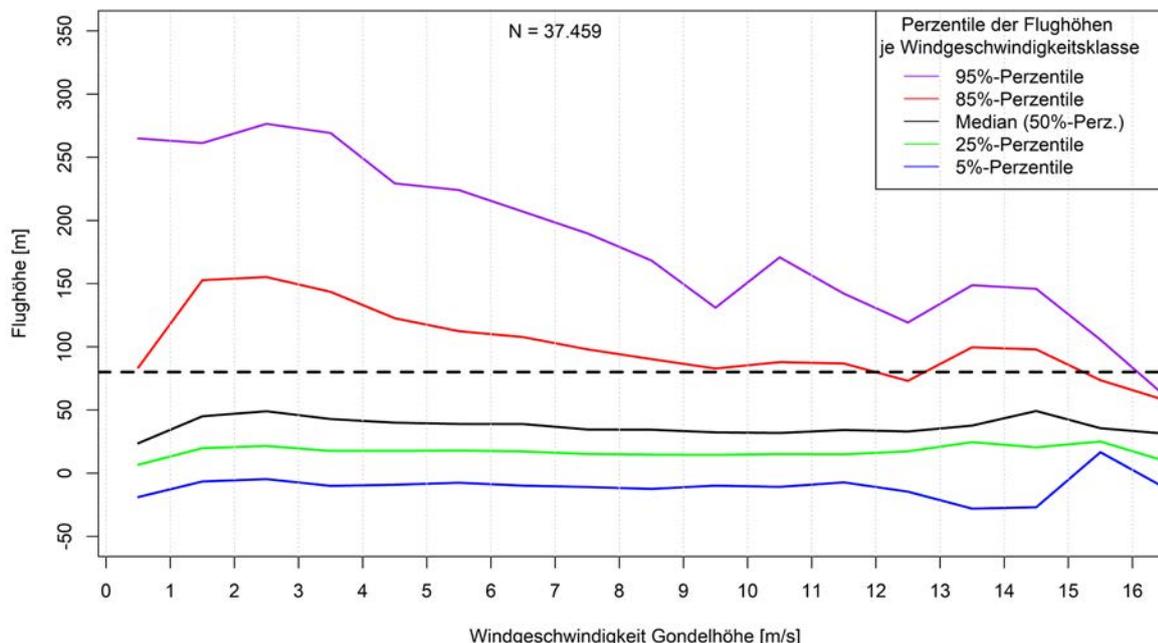
**Abbildung 63:** Histogramm der Flughöhen in 25 m-Klassen mit Angaben der jeweiligen prozentualen Anteile der Häufigkeit für die Balzzeit (oben) und die Brutzeit (unten) für die Barometerhöhen im 5 min-Ortungsintervall. Die schwarze vertikale Linie markiert eine Flughöhe von 80 m.



**Abbildung 64:** Histogramm der Flughöhen in 25 m-Klassen mit Angaben der jeweiligen prozentualen Anteile der Häufigkeit für die Aufzuchtzeit (oben) und die Nachbrutzeit (unten) für die Barometerhöhen im 5 min-Ortungsintervall. Die schwarze vertikale Linie markiert eine Flughöhe von 80 m.



**Abbildung 65:** Datenpunkte der Flughöhe in Abhängigkeit von sechs Wettervariablen sowie der Horstdistanz und Kategorien der Geländeform. Dargestellt wurden die Ortungspunkte im Flug denen alle Umweltvariable (zumindest eine der beiden Windgeschwindigkeiten: auf Kabinenhöhe und/oder Bodenhöhe) zugeordnet werden konnten (N = 46.404).



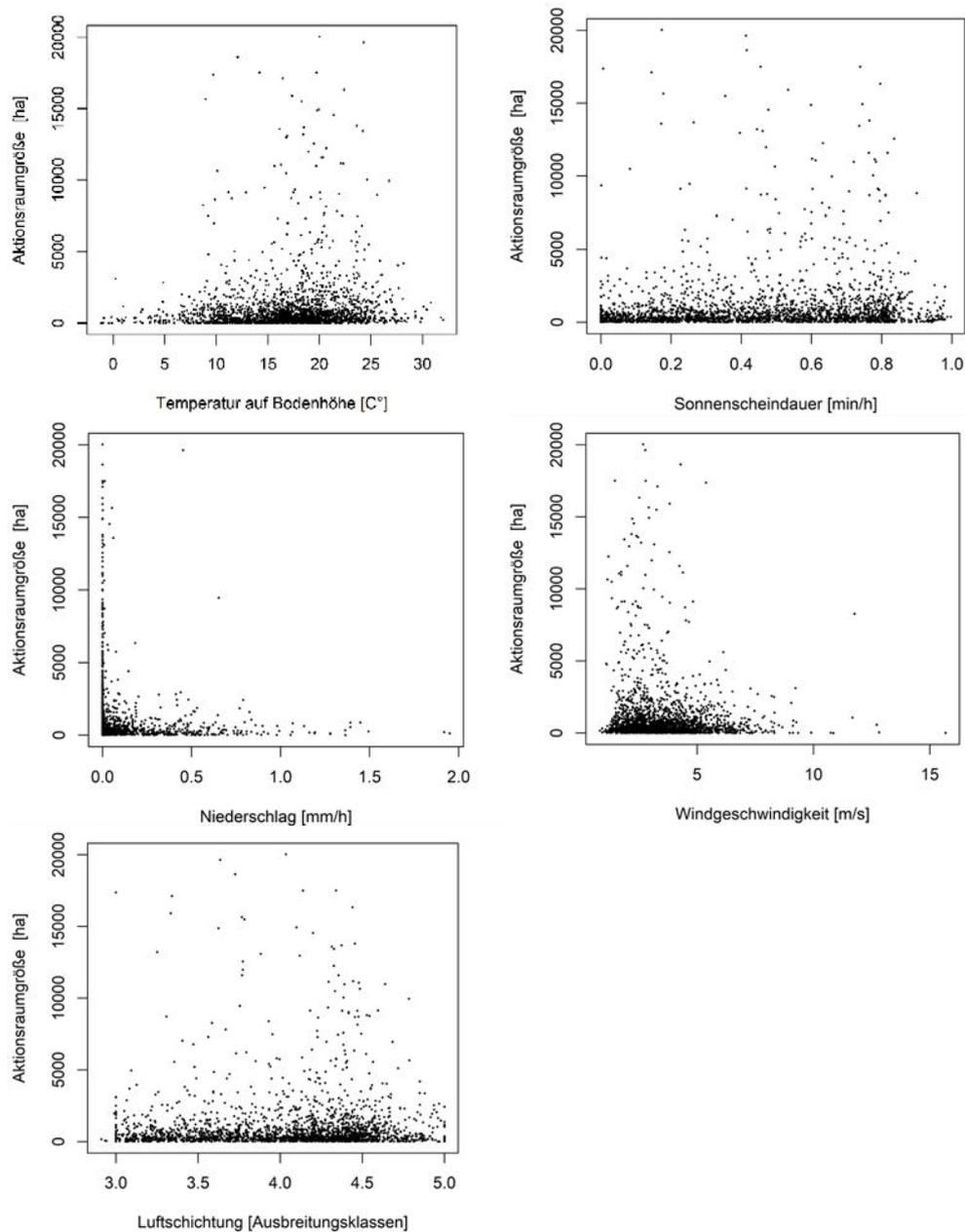
**Abbildung 66:** Darstellung zu Median und Perzentile der Flughöhen des Rotmilans in den verschiedenen Windgeschwindigkeitsklassen (ähnlich Abb. 3 in der Verwaltungsvorschrift Naturschutz/Windenergie 2020). Oben: Gondelhöhe, (N = 37.459). Werte unter null für das 5 % Perzentile ergaben sich aus der Schwankungsbreite der Messdaten. Die schwarz gestrichelte, horizontale Linie markiert eine Flughöhe von 80 m.

#### 4.4 Aktionsraumgröße in Abhängigkeit von Wetterparametern

Das Modell (Tabelle 23) erklärte 23,8 % der Varianz der Aktionsraumgrößen, die Umweltvariablen erklären 17,5 % der Daten (marginal  $R^2$ ). Der Unterschied zwischen beiden Werten wurde durch die Vogel-ID und das Jahr erklärt. Die Temperatur auf Bodenhöhe allein erklärte 31,9 % der erklärten Varianz und wies als einziger Parameter einen signifikanten p-Wert auf. Die Effektstärken der einzelnen Variablen spiegelten sich auch im Punktdiagramm wider (Abbildung 67). Aus der Auswertung kann die positive Korrelation der Temperatur mit der Aktionsraumgröße beschrieben werden, bezüglich der Kausalität kann hier keine klare Aussage getroffen werden.

**Tabelle 23:** Modellstatistik eines linearen gemischten Modells mit der täglichen Aktionsraumgröße als abhängige und fünf Wettervariablen (z-standardisiert) als erklärenden Variablen sowie der Vogel-ID und dem Untersuchungsjahr als Random-Effekt;  $R^2 = 0.238$  (Gesamtmodell), marginal  $R^2 = 0.175$  (Umweltvariablen).

Wettervariable	Effektstärke $\pm$ Standardfehler	p-Wert	Prozent der erklärten Varianz
Niederschlag	-0,04 $\pm$ 0,024	0,55	9,7
Windgeschwindigkeit	-0,01 $\pm$ 0,039	1	32,5
Temperatur	0,10 $\pm$ 0,025	<0,001	31,9
Sonnenscheindauer	0,03 $\pm$ 0,028	0,88	18,0
Luftschichtung	0,01 $\pm$ 0,037	1	7,9



**Abbildung 67:** Datenpunkte der täglichen Aktionsraumgröße (100 % MCP (Minimum-Convex-Polygon-Methode)) in Abhängigkeit von fünf Wettervariablen. Die Werte der Wettervariablen sind tägliche Mittelwerte über alle Ortungspunkte (N = 328.669). Aktionsräume größer als 20.000 ha sind nicht dargestellt.

#### 4.5 Einfluss von Landnutzung auf die Raumnutzung, Flugaktivität und Flughöhe

Die als Maß für den unter- oder überproportionalen Aufenthalt über bestimmten Landnutzungstypen berechneten Werte des „Jacobs-Index“ sind in Tabelle 27 dargestellt. Über den gesamten Untersuchungszeitraum (März bis September) zeigte sich eine signifikant unterproportionale Nutzung von Wald sowie eine signifikante überproportionale Nutzung von Äckern und Grünland. Bei der zeitlich differenzierten Betrachtung ergab sich dieses Muster für Grünland sowie für Wald von Juni bis September. Über Wald wurde weniger geflogen, wenn die Brutplatzbindung nachlässt. Wenn der Horst im Wald lag, wurde während der Brutzeit natürlich auch entsprechend über Wald geflogen. Die überproportionale Nutzung von Äckern war erst im September signifikant.

Das statistische Modell zur Untersuchung der Flugaktivität (Flug/nicht Flug) erklärt 6,8 % (marg. R<sup>2</sup>) der Flugaktivität durch die Landnutzungskategorien. Die statistischen Modelle zur Analyse der kontinuierlichen Flughöhe sowie der kategorisierten Flughöhe (über/unter 80 m) erklärten einen geringen Anteil der Varianz (2,1 % und 2,9 %). Aufgrund des niedrigen R<sup>2</sup> konnte mit diesen Modellen kein tatsächlicher Einfluss erklärt werden (vgl. Tabelle 26). Deutlich umfangreichere Analysen zu den Habitatpräferenzen des Rotmilans finden sich in MERCKER *et. al* (2023). Daher unterblieb eine weitere Betrachtung in der vorliegenden Studie.

In Abbildung 68 wurde die Flughöhenverteilung für die vier Landnutzungstypen Siedlung, Ackerland, Wald und Grünland dargestellt. Diese Auswertung erfolgte für die vier Phasen der Brutphänologie auf Basis der 5 Minuten-Barometerdaten. Der Anteil der Flugaktivität im 80 bis 250 m Bereich lag über Ackerflächen und Grünland mit 17,5 % bzw. 17,8 % unter dem Durchschnittswert von 19,1 % (vgl. Tabelle 22), der Wert für Wald mit 20,0 % leicht darüber, über Siedlungsgebiet mit 27,2 % deutlich darüber (siehe Tabelle 25)

**Tabelle 24:** Jacobs-Index und p-Werte (dargestellt als Jacobson-Index/p-Wert) der verschiedenen Landnutzungstypen über den gesamten Untersuchungszeitraum sowie differenziert nach Monaten. Die Index-Werte sind Mittelwerte der verschiedenen Rotmilane und Jahre. Negative Werte bedeuten eine unterproportionale Nutzung des Landnutzungstypen, positive eine überproportionale Nutzung. Signifikante über- oder unterproportionale Nutzungen sind fett dargestellt (N = 144.765).

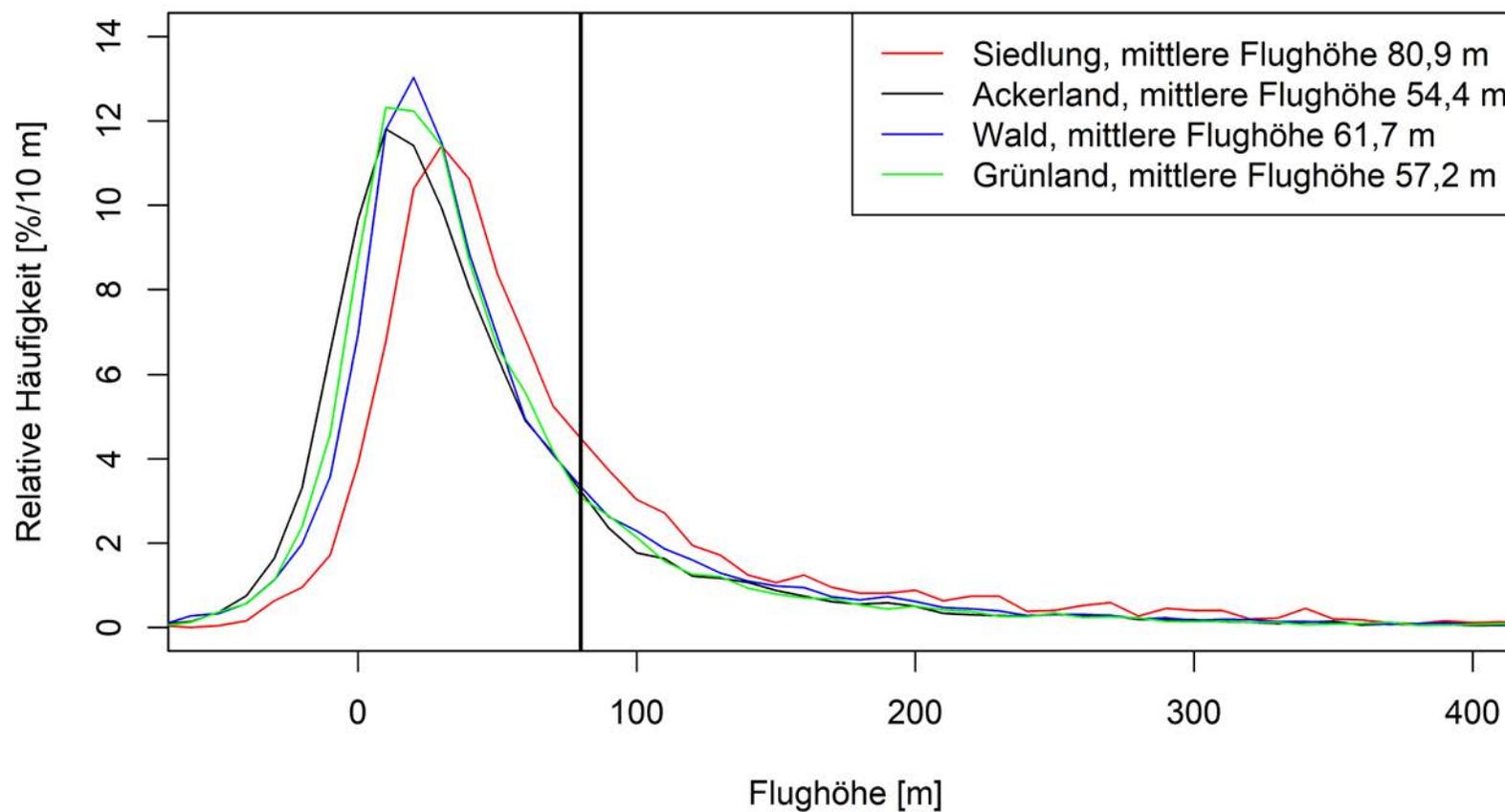
Monate	Acker	Grünland	Wald
gesamte Saison	<b>0,2/0,03</b>	<b>0,3/&lt; 0,01</b>	<b>-0,3/&lt; 0,01</b>
März	0,1/0,59	-0,1/0,56	-0,1/0,63
April	-0,2/0,29	0,1/0,59	0/0,89
Mai	0/0,78	0,2/0,18	-0,2/0,17
Juni	0,1/0,08	<b>0,3/&lt; 0,01</b>	<b>-0,2/0,03</b>
Juli	0,1/0,41	<b>0,3/&lt; 0,01</b>	<b>-0,3/&lt; 0,01</b>
August	0,1/0,19	<b>0,4/&lt; 0,01</b>	<b>-0,6/&lt; 0,01</b>
September	<b>0,3/0,01</b>	<b>0,3/&lt; 0,01</b>	<b>-0,5/&lt; 0,01</b>

**Tabelle 25:** Anteil der Flugaktivität in den Höhenklassen 0-40 m, 40-80 m, 80-250 m und 250 m plus in Abhängigkeit von dem Landnutzungstyp für die 5 Minuten-Barometerdaten.

Flughöhe [m]	Siedlung	Ackerland	Wald	Grünland
< 40	36,0 %	55,8 %	51,3 %	53,9 %
40-80	31,1 %	23,5 %	24,7 %	25,1 %
80-250	27,2 %	17,5 %	20,0 %	17,8 %
> 250	5,7 %	3,2 %	3,5 %	3,1 %

**Tabelle 26:** Modellstatistiken eines generalisierten linearen gemischten Modells (GLGM) zur kategorisierten Flugaktivität (Flug/nicht Flug), eines linearen gemischten Modells (LGM) zur kontinuierlichen Flughöhe und eines GLGMs zur kategorisierten Flughöhe (über/unter 80m). Erklärend waren jeweils Horstdistanz (z-transformiert) und eine kategorisierte Landnutzung (daher eine gemeinsame Beurteilung von Grünland und Wald bei der erklärten Varianz). Vogel-ID und das Untersuchungsjahr wurden als Radom-Effekt betrachtet. In dem Model der kategorisierten Flughöhe wurde Jahr als Random-Effekt entfernt, da die Datengrundlage nicht ausreichend war. Die Effektstärken der zwei Landnutzungskategorien geben den Unterschied zur Kategorie „Acker“ an. Daher wird „Acker“ in der Tabelle nicht angeführt, da sich dessen Nutzung per Definition der Nutzung von „Acker“ entspricht. Datenpunkte, denen keine der drei Landnutzungskategorien zugeordnet werden konnte, wurden ausgeschlossen. Aufgrund der geringen R<sup>2</sup>-Werte ist der Erklärungswert dieser Modelle als gering einzustufen. Eine detaillierte Betrachtung entfällt daher. Für das GLGM Flugaktivität wurde fliegend ab 10 km/h vergleichbar zu HEUCK *et al.* 2019 angesetzt, für die Flughöhenmodelle wurden bereits Geschwindigkeiten des Vogels ab 3 km/h, vergleichbar zu MERCKER *et al.* 2023, als fliegend angenommen (siehe Kapitel 3.2.9).

Landnutzungs-variablen	GLGM Flugaktivität N = 295.598; R <sup>2</sup> = 0,136; marg. R <sup>2</sup> = 0,068			LGM Flughöhe N = 34.017; R <sup>2</sup> = 0,065; marg. R <sup>2</sup> = 0,021			GLGM Flughöhe N = 34.017; R <sup>2</sup> = 0,049; marg. R <sup>2</sup> = 0,029		
	Effektstärke +- Standardfehler	p-Wert	erklärte Varianz	Effektstärke +- Standardfehler	p-Wert	erklärte Varianz	Effektstärke +- Standardfehler	p-Wert	erklärte Varianz
Horstdistanz	0,24 ± 0,004	< 0,001	35,95 %	6,84 ± 0,467	< 0,001	18,41 %	0,18 ± 0,012	< 0,001	19,52 %
Grünland	-0,17 ± 0,011	< 0,001	57,11 %	2,60 ± 1,160	0,136	79,89 %	0,07 ± 0,033	0,203	77,53 %
Wald	-1,01 ± 0,014	< 0,001		1,66 ± 1.185	0,634		0,09 ± 0,033	0,025	
Grenzlinien (Äcker)	-0,16 ± 0,006	< 0,001	6,94 %	-0,02 ± 0,007	0,036	1,69 %	-0,001 ± 0,0001	< 0,001	2,94 %

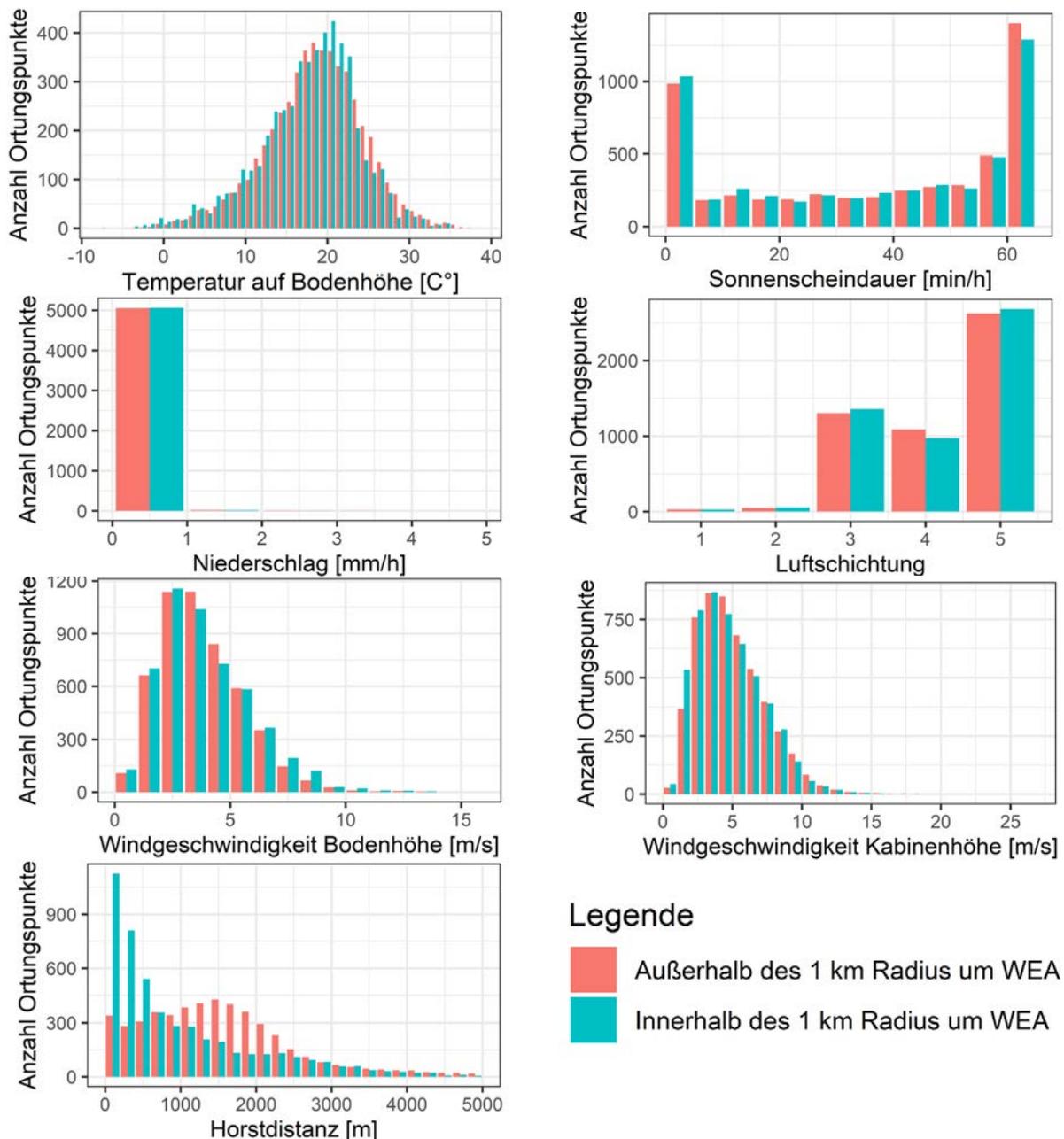


**Abbildung 68:** Flughöhenverteilung aus den 5 Minuten-Barometerdaten in 10 m Klassen für die vier Landnutzungstypen Siedlung (N = 4.417), Ackerland (N = 15.176), Wald (N = 14.534) und Grünland (N = 17.894).

## 4.6 Flugverhalten im Umfeld der Windparks

### Wetterverhältnisse während der Flugereignissen in Windpark-Geofences

Hinsichtlich des Einflusses von Wetterparametern auf die Flugaktivität in WEA-Nähe zeigen sich im Vergleich zum Bereich außerhalb eines 1 km Radius um die WEA keine relevanten Differenzen (Abbildung 69). Auffallend sind lediglich die Unterschiede bei der Anzahl Ortungspunkte in < 1.000 m Horstdistanz, die vor allem mit Horsten im näheren Umfeld der Windparks erklärt werden.

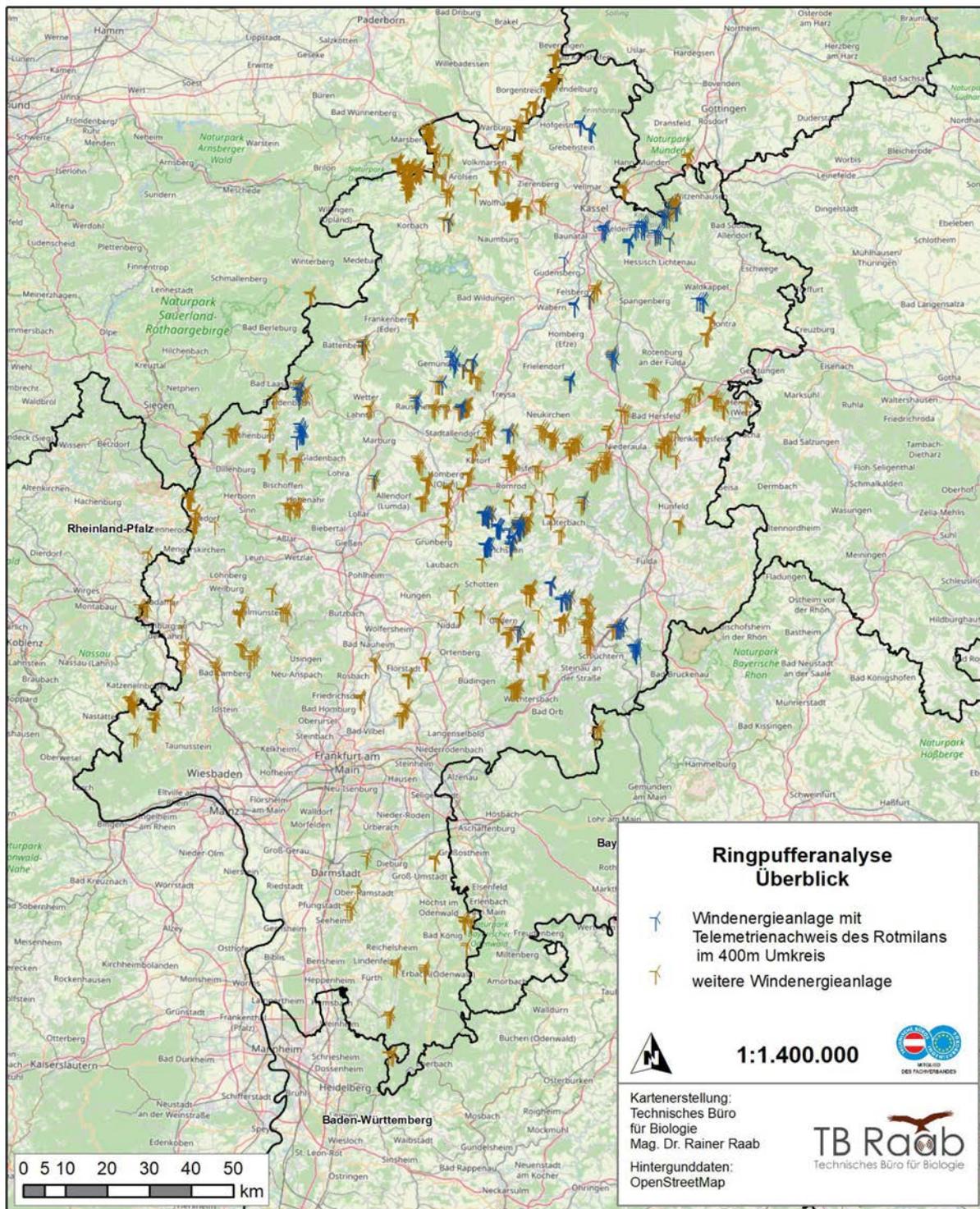


**Abbildung 69:** Vergleich der Flugaktivität in Abhängigkeit der Wetterparameter sowie der Horstdistanz für Bereiche außerhalb des 1 km Radius um WEA zur Ermittlung der erwarteten Anzahl an Ortungspunkten und der tatsächlichen Verteilung der Ortungspunkte im 1 km Radius um WEA für die Wetterparameter Niederschlag, Sonnenscheindauer, Temperatur, Windgeschwindigkeit und Luftschichtung anhand der 5 min Barometerdaten. Luftschichtungsklassen; sehr stabil (1), stabil (2), indifferent-stabil (3), indifferent-labil (4), labil (5).

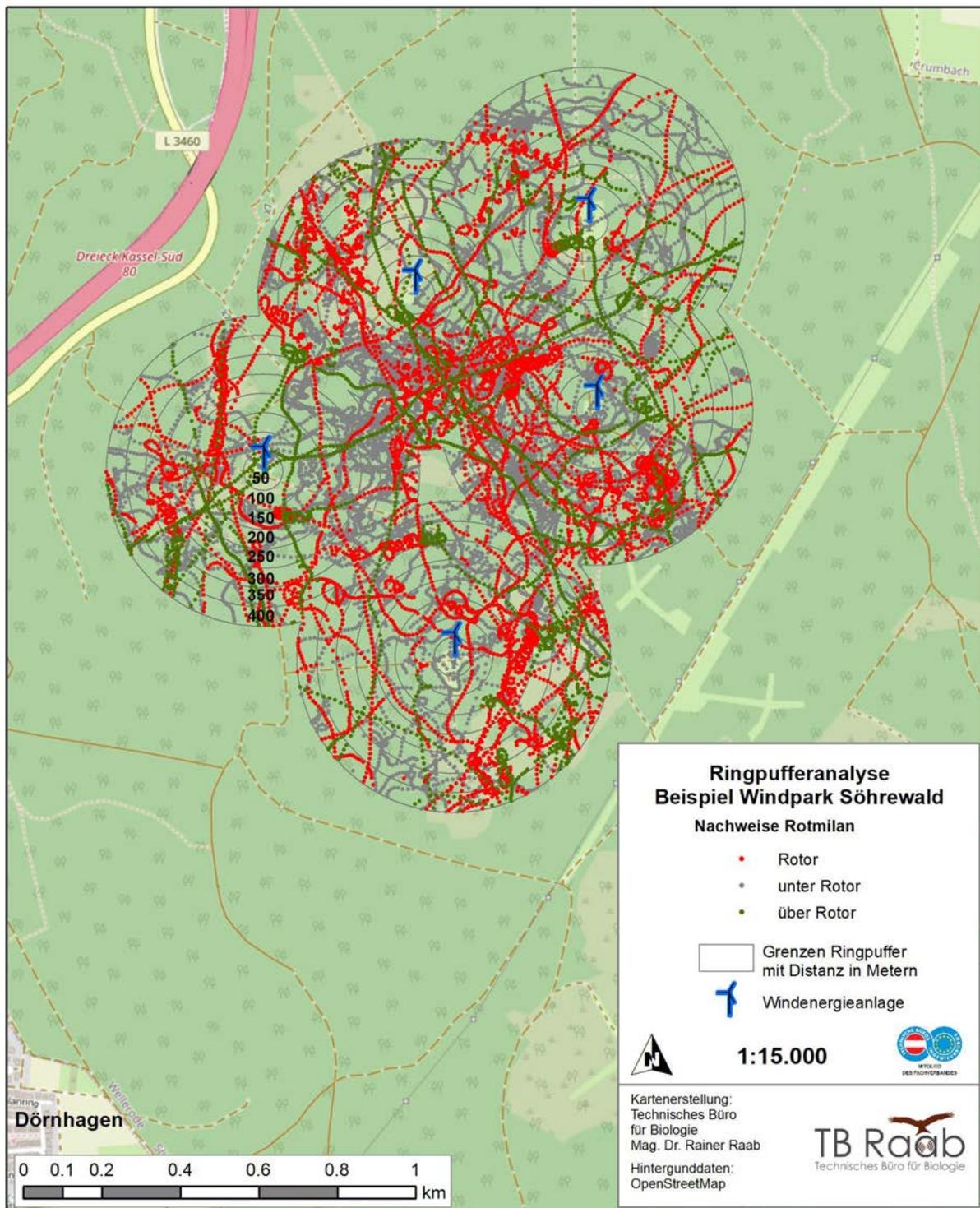
### *Ringpuffer-Analyse*

In Abbildung 70 sind die in die Auswertung einbezogenen Windenergieanlagen Hessens dargestellt, während Abbildung 71 bis Abbildung 76 die Funktionsweise der Ringpufferanalyse anhand der Windparks Söhrewald, Alte Höhe, Gemünden, Hülshof, Ramholz und Ulrichstein veranschaulichen. Das Innere von Windparks wird teils intensiv von Rotmilanen befliegen. Teilweise ist auch eine Konzentration der Flugaktivität in den Bereichen zwischen den WEA erkennbar, auch der Nahbereich wird aufgesucht. Die nachstehende Analyse zeigt, inwieweit die besenderten Rotmilane die Nähe von WEA bzw. den Rotorbereich (Rotorunterkante bis Rotoroberkante) mieden und bis zu welcher Entfernung eine solche Meidungsreaktion reichte. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.

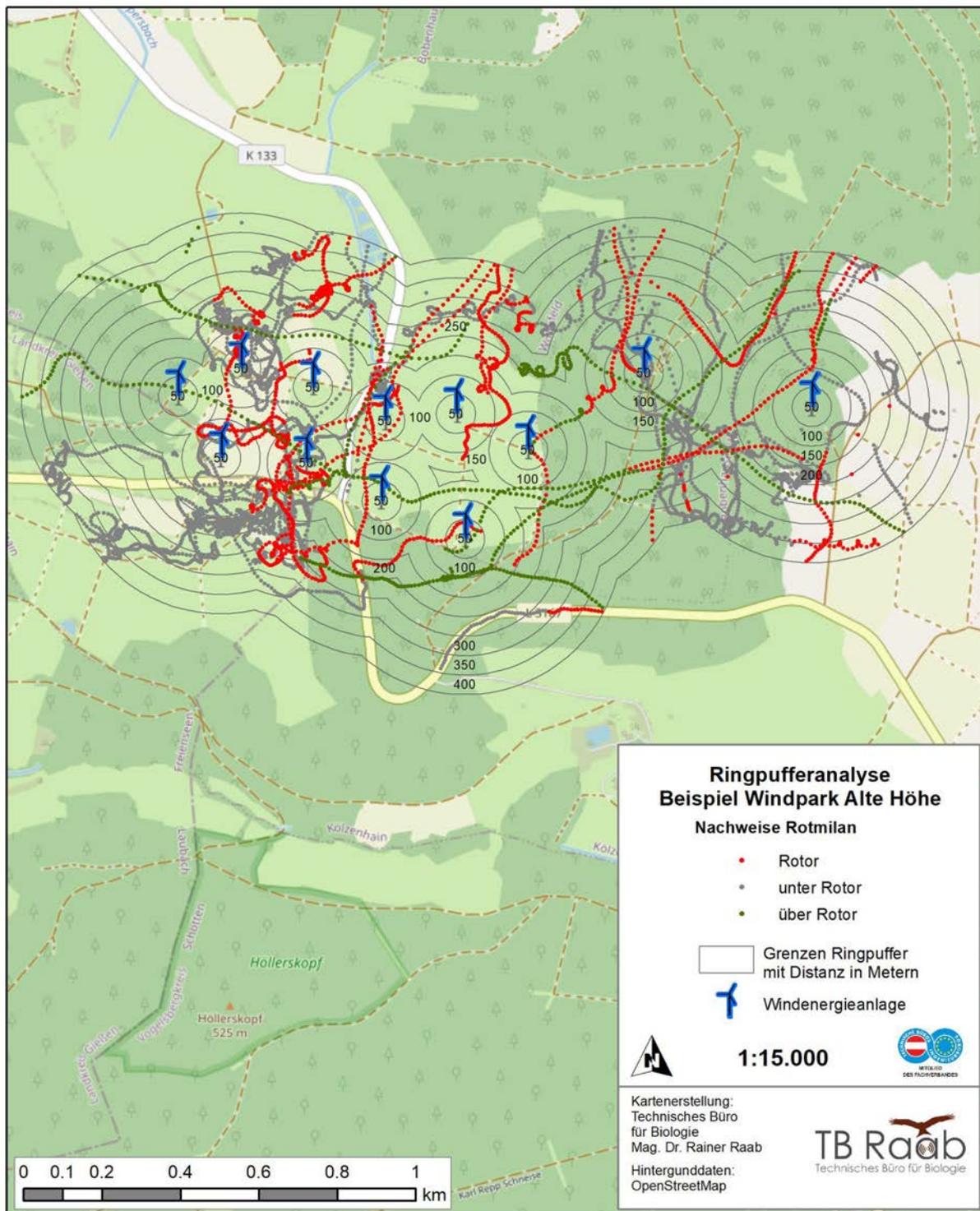
In der vorliegenden Studie wurden anhand von mehr als 100.000 Ortungspunkten im 400 m Radius um WEA jeweils 50 m breite Ringpuffer untersucht. In Abbildung 77 bis Abbildung 80 und Tabelle 27 wurde die Dichte der Ortungspunkte im jeweiligen Ringpuffer um die Anlagen dargestellt, normiert auf die Fläche im jeweiligen Ringpuffer. Dabei lag im 50 m Ring um den Mast, somit in dem vom Rotorradius üblicherweise vollständig umfassten Bereich, eine deutlich verringerte Nutzung vor. Auch im Radius von 50 - 100 m um die WEA war noch eine reduzierte Nutzung feststellbar. Außerhalb dieser 100 m Zone war keine niedrigere Flugaktivität feststellbar. Aufgrund der aufgezeichneten Ortungspunkte wird deutlich, dass die Anzahl an Ortungspunkten unter und auf Rotorhöhe im 100 m Nahbereich abnimmt, während diese über Rotorhöhe konstant bleibt, bzw. leicht zunahm (Tabelle 26 sowie Abbildung 77 bis Abbildung 80). Während im Bereich von 250 m bis 400 m Radius um die WEA 32,4 % der Flüge auf Rotorhöhe (anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage, nicht für den pauschalen Bereich von 80 bis 250 m) stattfanden, reduzierte sich dieser Wert im 50 m Radius auf 23,7 %. Der relative Anteil der Flüge über der Rotorhöhe stieg demgegenüber von 14,8 % auf 25 % an, während die relative Nutzung unterhalb der Rotorhöhe annähernd konstant blieb (vgl. Abbildung 81). Im 50 m Puffer war somit ein gewisser Anteil der Flüge aus der Rotorhöhe in den Bereich darüber verschoben, was ein vertikales Ausweichverhalten nach oben indiziert. Das horizontale Ausweichverhalten war jedoch stärker ausgeprägt. Die zwei-dimensionale Nutzung durch die besenderten Rotmilane nahm im 0 bis 50 m Bereich gegenüber dem 250 bis 400 m Bereich um 39 % ab. Zusätzlich reduzierte sich der Anteil der Flüge auf Rotorhöhe um 28 %, wodurch sich ein drei-dimensionales meso-Meideverhalten (Bedeutung: Meideverhalten im 50 m Umkreis um eine WEA, sowohl nach horizontaler Umgehung (2-D) als auch nach Höhe (3-D) ausgewertet) von 56 % ergab. Meideverhalten bedeutet, dass besenderte Rotmilane zu 56 % weniger häufig im 50 m Umkreis von WEA auf Rotorhöhe geortet wurden als bei einer gleichmäßigen Verteilung zu erwarten wäre.



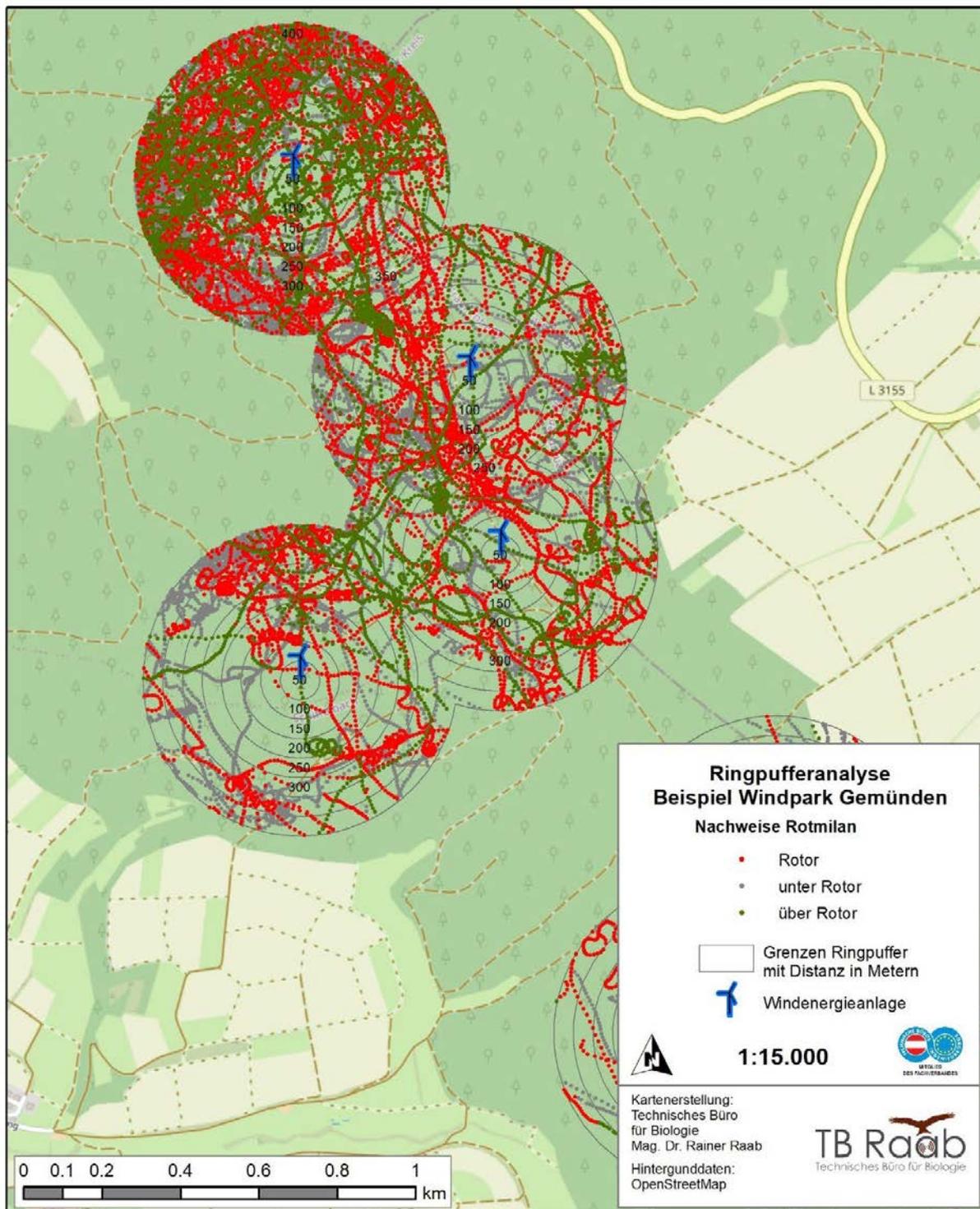
**Abbildung 70:** Darstellung der Windenergieanlagen mit Telemetrienachweis der zwölf für diese Studie besenderten Rotmilane innerhalb eines WEA-Umkreises von 400 m, die für die Ringpufferanalyse herangezogen wurden (blau). Weitere WEA (orange) wiesen keine Ortungen im 400 m Nahbereich auf und werden somit nicht miteinbezogen.



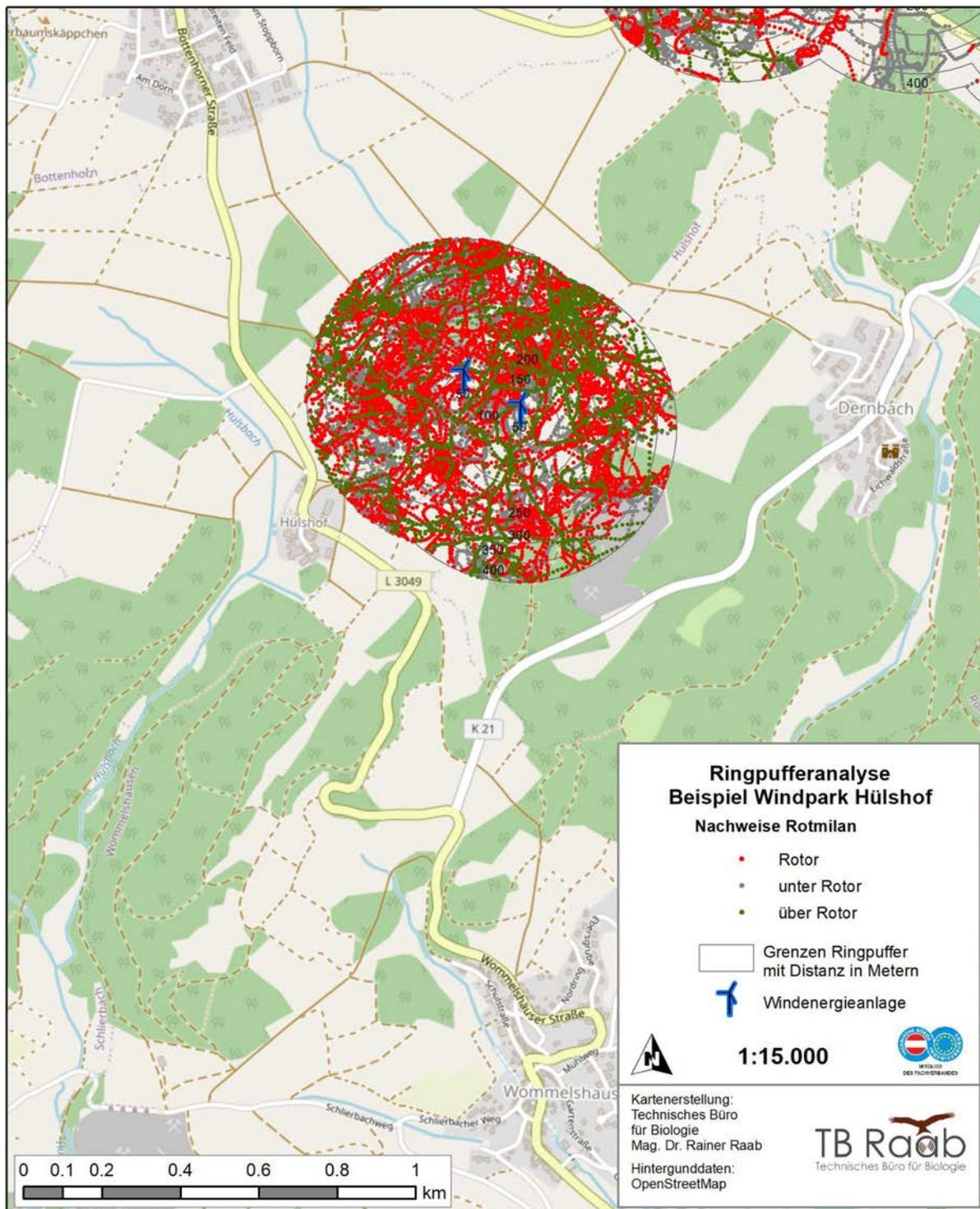
**Abbildung 71:** Darstellung der Funktionsweise der Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Söhrewald. Es ist deutlich erkennbar, dass Flüge auf Rotorhöhe (rot) zumeist den 50 m Ringpuffer der Windenergieanlage (WEA in blau) umflogen. Flüge unter Rotorhöhe wurden grau dargestellt, jene über der Rotoroberkante grün. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.



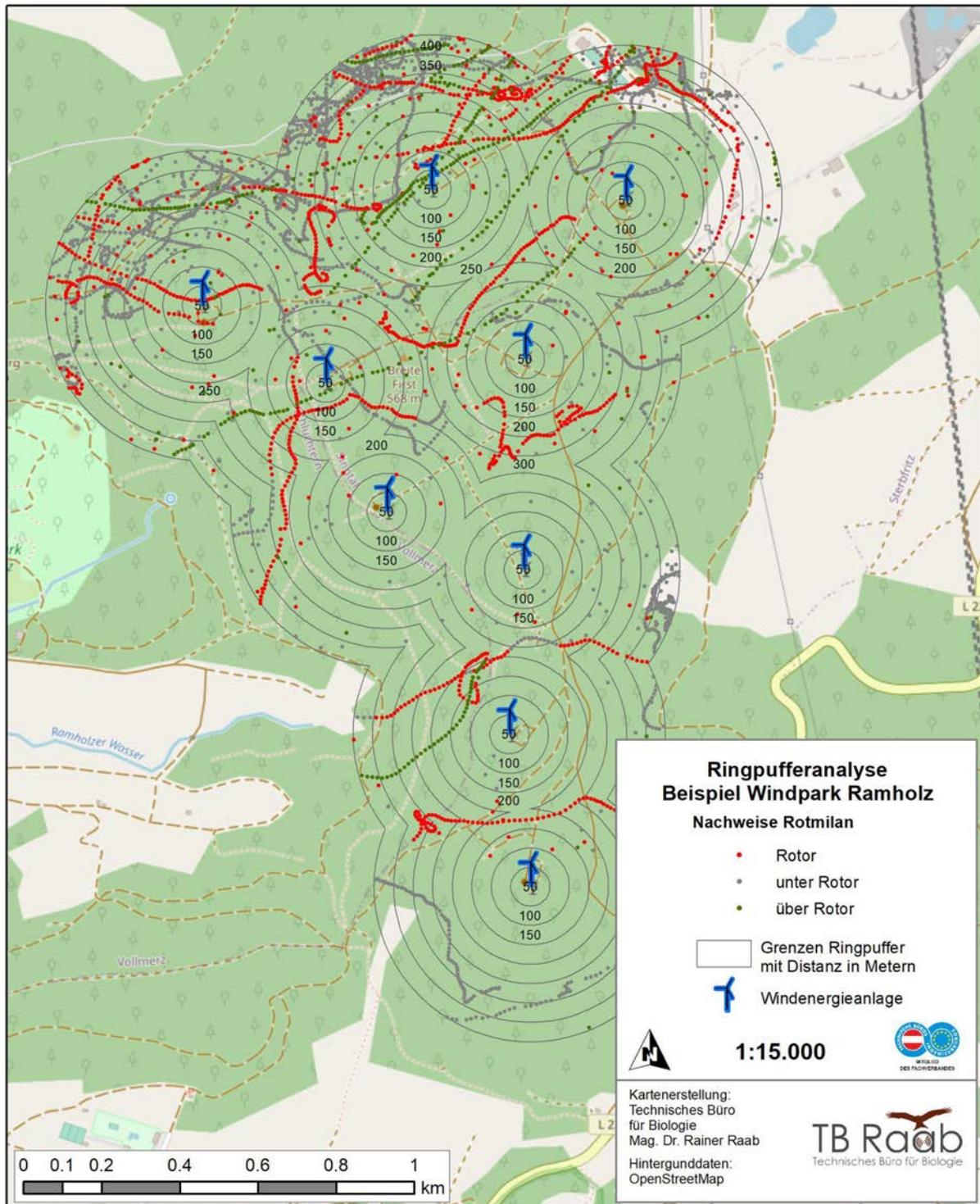
**Abbildung 72:** Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Alte Höhe (WEA in blau). Flüge auf Rotorhöhe wurden rot, Flüge unter Rotorhöhe grau dargestellt und jene über der Rotoroberkante grün. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.



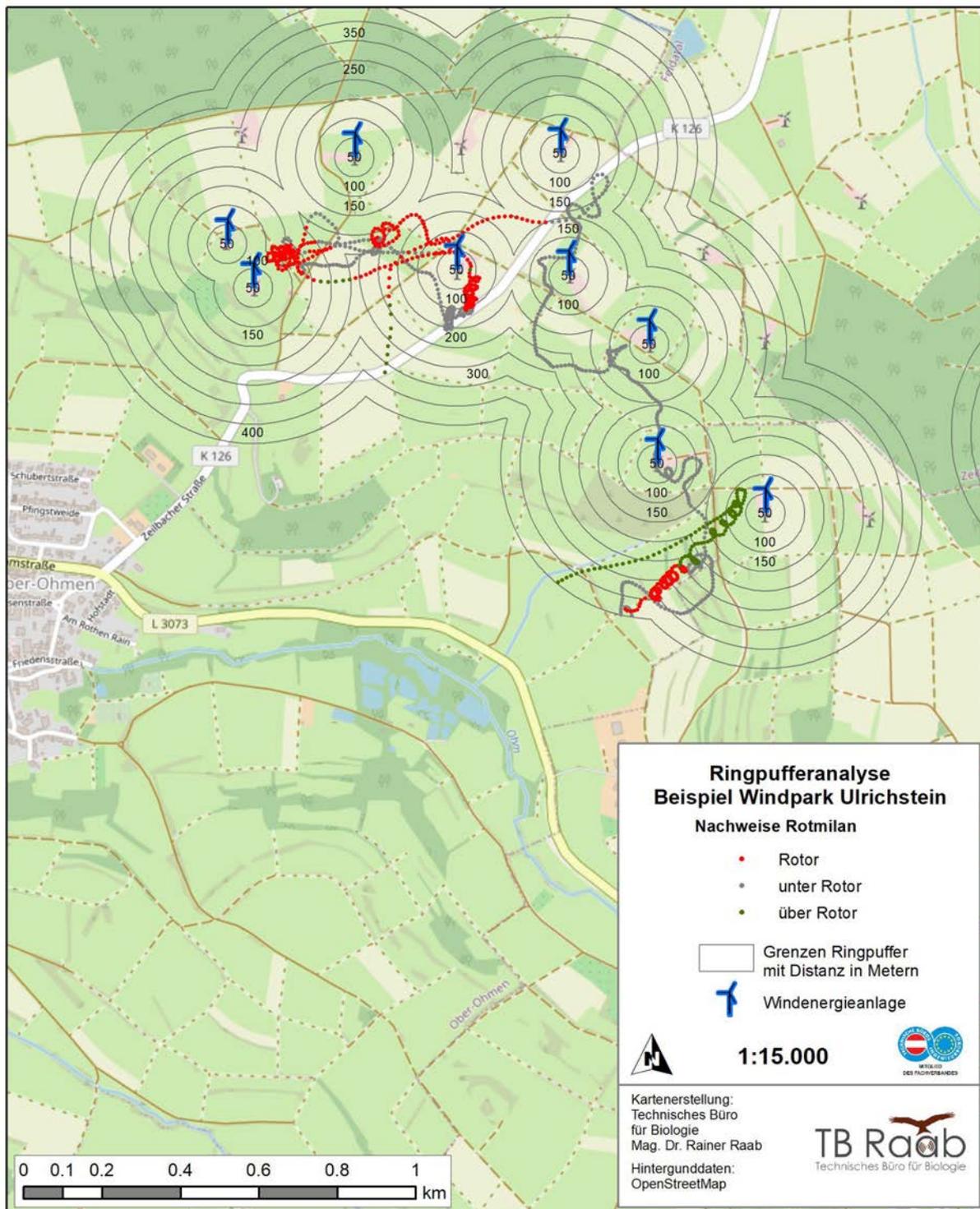
**Abbildung 73:** Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Gemünden (WEA in blau). Flüge auf Rotorhöhe wurden rot, Flüge unter Rotorhöhe grau dargestellt und jene über der Rotoroberkante grün. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.



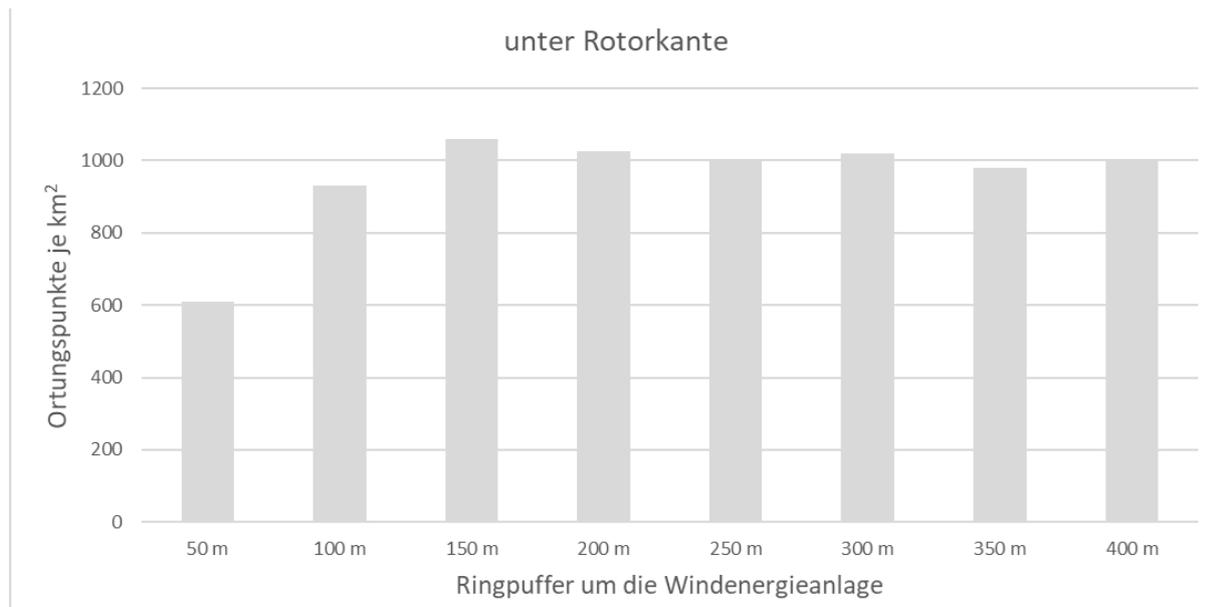
**Abbildung 74:** Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Hülshof (WEA in blau). Flüge auf Rotorhöhe wurden rot, Flüge unter Rotorhöhe grau dargestellt und jene über der Rotoroberkante grün. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.



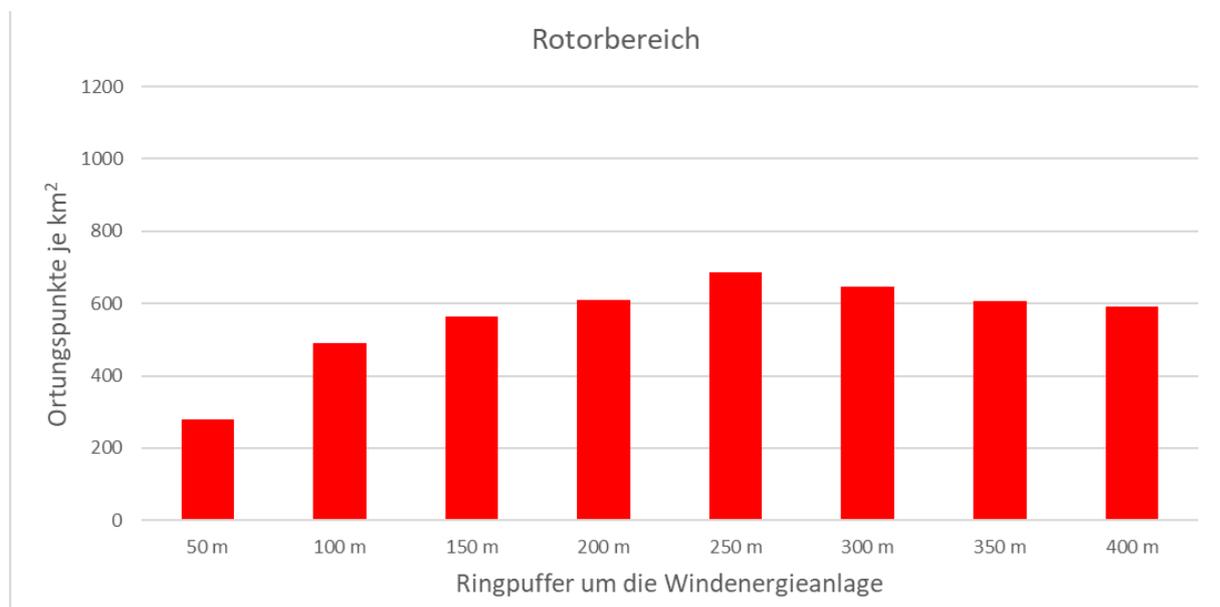
**Abbildung 75:** Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Ramholz (WEA in blau). Flüge auf Rotorhöhe wurden rot, Flüge unter Rotorhöhe grau dargestellt und jene über der Rotoroberkante grün. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.



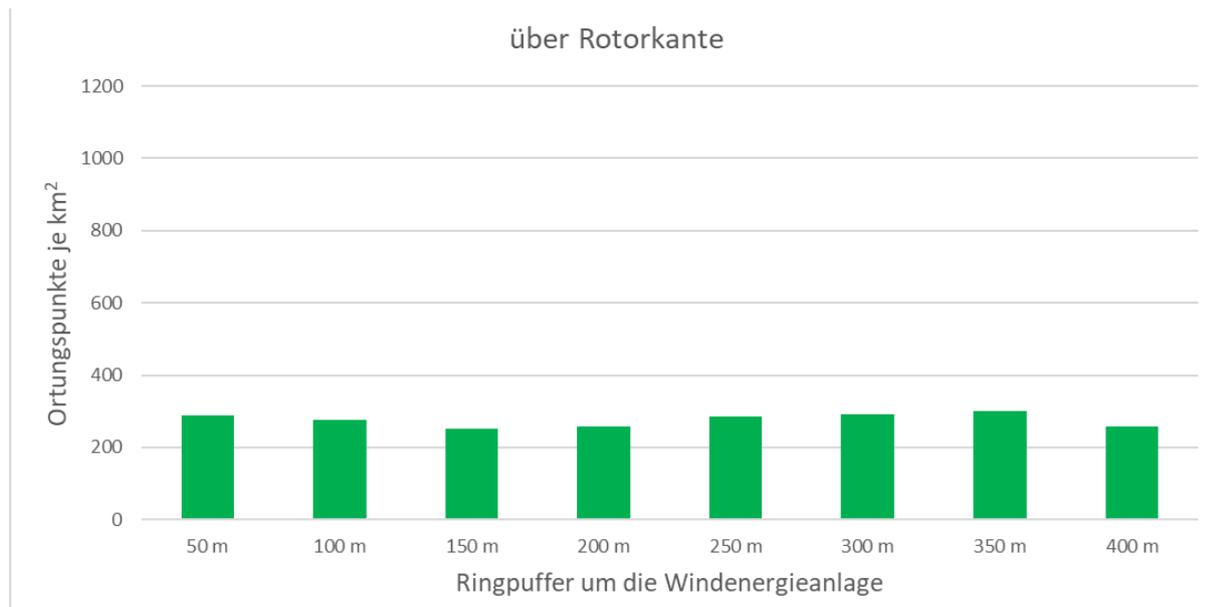
**Abbildung 76:** Ringpufferanalyse am Beispiel des Windparks Ulrichstein (WEA in blau). Flüge auf Rotorhöhe wurden rot, Flüge unter Rotorhöhe grau dargestellt und jene über der Rotoroberkante grün. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Rotorbereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.



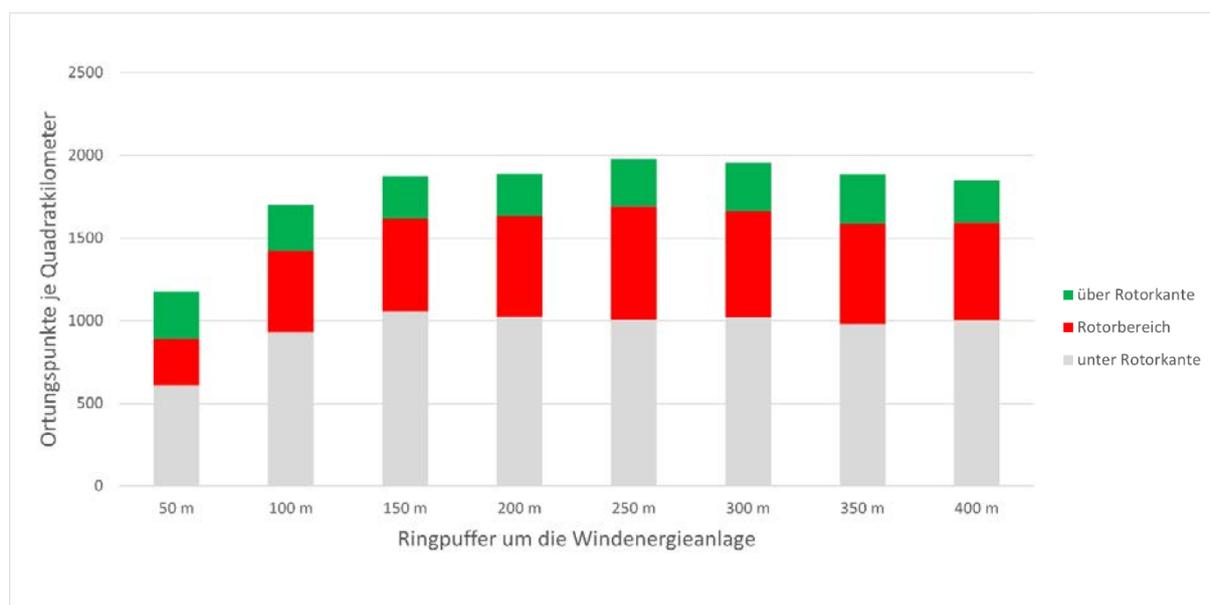
**Abbildung 77:** Ringpufferanalyse für die Kreisringe von 0 bis 50 m, 50 bis 100 m, 100 bis 150 m, 150 bis 200 m, 200 bis 250 m, 250 bis 300 m, 300 bis 350 m und 350 bis 400 m anhand der **Dichte** an Ortungspunkten je Quadratkilometer für den jeweiligen Ringpuffer. Dargestellt sind die Ortungspunkte im Flug **unter Rotorunterkante**. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.



**Abbildung 78:** Ringpufferanalyse für die Kreisringe von 0 bis 50 m, 50 bis 100 m, 100 bis 150 m, 150 bis 200 m, 200 bis 250 m, 250 bis 300 m, 300 bis 350 m und 350 bis 400 m anhand der **Dichte** an Ortungspunkten je Quadratkilometer für den jeweiligen Ringpuffer. Dargestellt sind die Ortungspunkte im Flug **auf Rotorhöhe**. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.



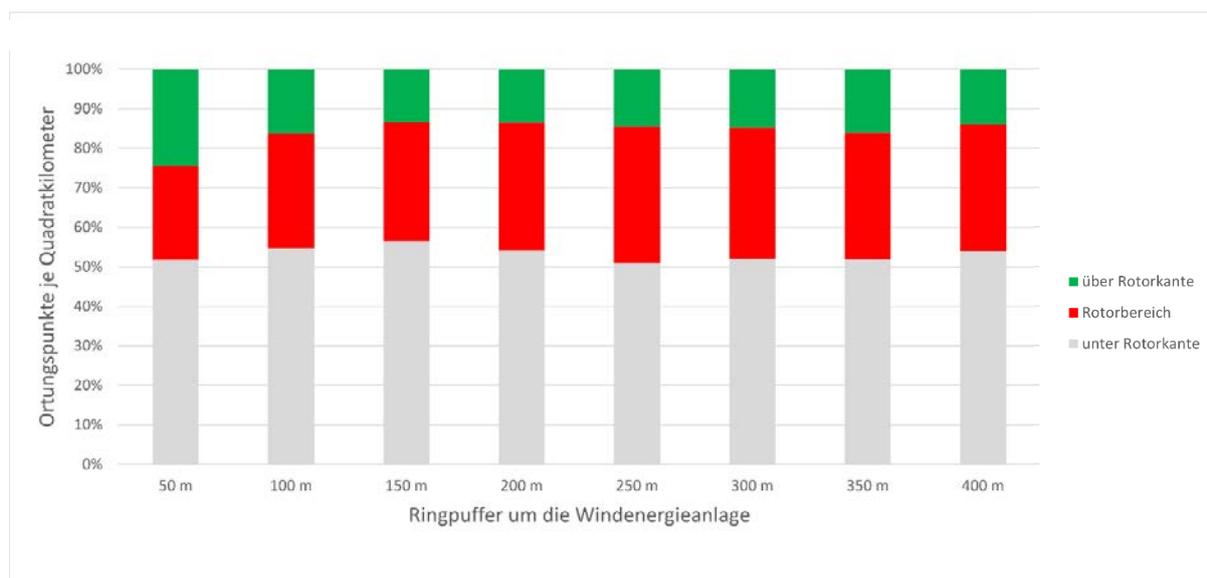
**Abbildung 79:** Ringpufferanalyse für die Kreise von 0 bis 50 m, 50 bis 100 m, 100 bis 150 m, 150 bis 200 m, 200 bis 250 m, 250 bis 300 m, 300 bis 350 m und 350 bis 400 m anhand der **Dichte** an Ortungspunkten je Quadratkilometer für den jeweiligen Ringpuffer. Dargestellt sind die Ortungspunkte im Flug **über Rotoroberkante**. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.



**Abbildung 80:** Ringpufferanalyse für die Kreise von 0 bis 50 m, 50 bis 100 m, 100 bis 150 m, 150 bis 200 m, 200 bis 250 m, 250 bis 300 m, 300 bis 350 m und 350 bis 400 m anhand der Dichte an Ortungspunkten je Quadratkilometer für den jeweiligen Ringpuffer. Dargestellt sind die Ortungspunkte im Flug je Ringpuffer als gestapeltes Balkendiagramm und deren Verteilung auf die Kategorien „unter Rotorkante“, „über Rotorkante“ und im „Rotorbereich“. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.

**Tabelle 27:** Dichte an Ortungspunkten je Quadratkilometer für Klassen der Flughöhe (Rotorbereich, über Rotor, unter Rotor) für verschiedene Ringpuffer im Vergleich. Der Bereich von 250 bis 400 m dient als Bezugswert für das Meideverhalten im Nahbereich, da für die Ringpuffer von 250 bis 400 m keine Verhaltensänderung mehr festgestellt werden konnte. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.

Ringpuffer	unter Rotor	Rotor	über Rotor	Gesamtergebnis
250 m - 400 m	1.000,8	614,8	283,9	1.899,5
0 m - 50 m	609,9	278,7	289,5	1.178,1
50 m - 100 m	931,2	491,9	275,2	1.698,2
100 m - 150 m	1.058,1	562,9	252,3	1.873,2
150 m - 200 m	1.025,1	608,7	256,8	1.890,6
200 m - 250 m	1.005,8	685,5	285,1	1.976,4
250 m - 300 m	1.018,1	645,7	290,9	1.954,7
300 m - 350 m	979,0	606,6	302,2	1.887,8
350 m - 400 m	1.000,4	592,1	257,2	1.849,7
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>7.627,5</b>	<b>4.471,9</b>	<b>2.209,2</b>	<b>14.308,7</b>



**Abbildung 81:** Ringpufferanalyse für die Kreisinge von 0 bis 50 m, 50 bis 100 m, 100 bis 150 m, 150 bis 200 m, 200 bis 250 m, 250 bis 300 m, 300 bis 350 m und 350 bis 400 m anhand des **prozentuellen** Anteils an Ortungspunkten je Ringpuffer und deren Verteilung auf die Kategorien „unter Rotorkante“, „über Rotorkante“ und im „Rotorbereich“. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.

**Tabelle 28:** Relative Häufigkeit der Klassen der Flughöhe (Rotorbereich, über Rotor, unter Rotor) für verschiedene Ringpuffer im Vergleich. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.

Relativer Anteil an Ortungspunkten pro Quadratkilometer in Abhängigkeit von der Flughöhe				
Ringpuffer	Rotor	über Rotor	unter Rotor	Gesamtergebnis
250 m - 400 m	32,4 %	14,9 %	52,7 %	100,0%
0 m - 50 m	23,7 %	24,6 %	51,8 %	100,0%
50 m - 100 m	29,0 %	16,2 %	54,8 %	100,0%
100 m - 150 m	30,0 %	13,5 %	56,5 %	100,0%
150 m - 200 m	32,2 %	13,6 %	54,2 %	100,0%
200 m - 250 m	34,7 %	14,4 %	50,9 %	100,0%
250 m - 300 m	33,0 %	14,9 %	52,1 %	100,0%
300 m - 350 m	32,1 %	16,0 %	51,9 %	100,0%
350 m - 400 m	32,0 %	13,9 %	54,1 %	100,0%
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>31,3 %</b>	<b>15,4 %</b>	<b>53,3 %</b>	<b>100,0%</b>

**Tabelle 29:** Ergebnisse der Ringpufferanalyse und Ermittlung der Meidung des 50 bzw. 100 m Nahbereichs um die Anlage im Vergleich zu dem 250 bis 400 m Nahbereich. Einzuordnen ist diese Analyse im Bereich der meso-avoidance. Die macro- und micro- avoidance (diese wirken zudem multiplikativ bei der Ermittlung des Meideverhaltens) sind in dieser Auswertung nicht berücksichtigt. Der Rotorbereich wurde anhand der tatsächlichen Rotorhöhe der Anlage berechnet und nicht für den potenziellen Bereich moderner WEA mit 80 bis 250 m.

Ringpufferanalyse	Einheit	0-50 m	0-100 m	250-400 m
Gesamt	Ortungen / km <sup>2</sup>	1.178	1.698	1.917
	Meidung 2 D	-39 %	-11 %	
davon auf Rotorhöhe	Ortungen / km <sup>2</sup>	279	492	632
	Prozent	24 %	29 %	33 %
	Meidung Höhe	-28 %	-12 %	
meso-avoidance	Meidung 3D	-56 %	-22 %	

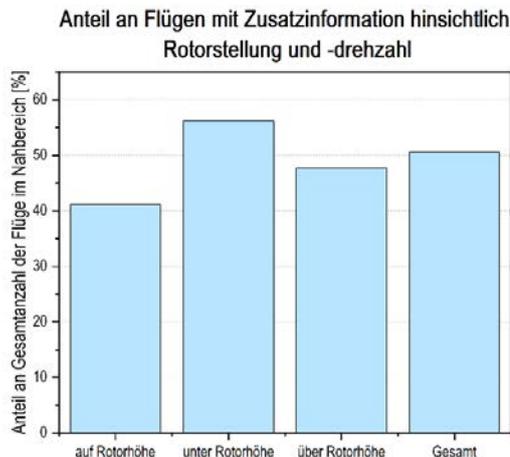
### *Flugereignisse im Nahbereich der WEA-Rotorblätter*

Für vier Rotmilane wurden Telemetriedaten im Nahbereich eines Windparks mit bekannter Datenlage erfasst und auf kollisionskritische Flüge ausgewertet (RK\_1138 / Alte Höhe & Ulrichstein, RK\_1244 / Söhrewald, RK\_1258 / Gemünden, RK\_1285 / Hülshof, siehe Tabelle 31).

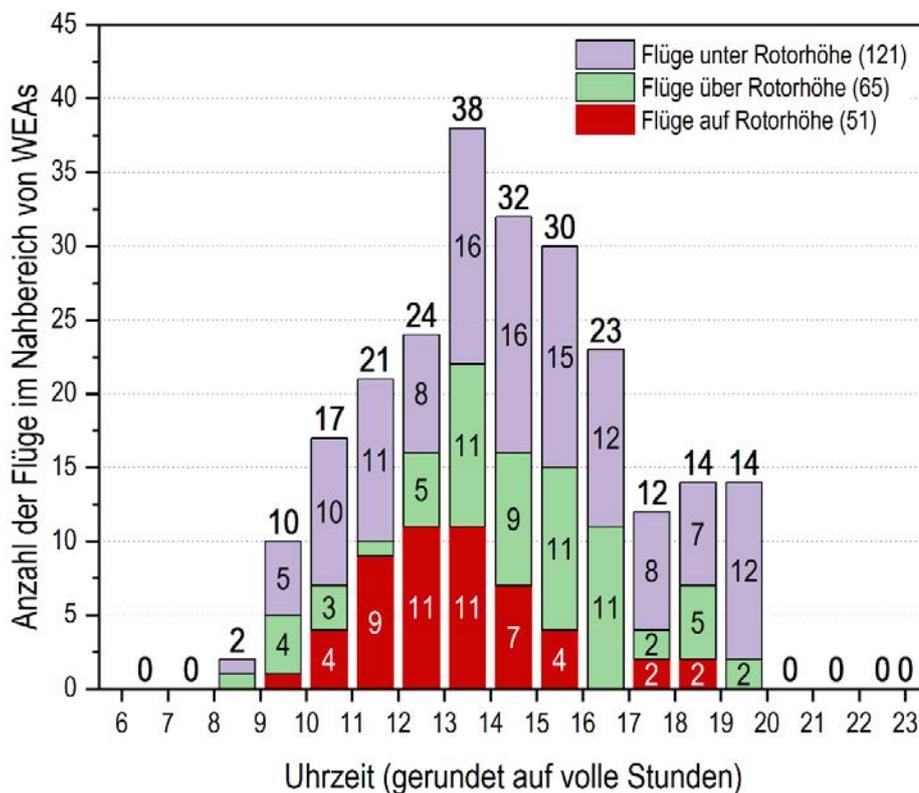
Für die Auswertung der potenziell kollisionskritischen Flüge werden zuerst jene Flüge, die mit GPS-Sekundendaten erfasst wurden, ermittelt, die den Rotorradius von WEA plus 5 m Sicherheitspuffer durchflogen haben. Dabei wurden entsprechend HEUCK *et al.* (2019) Flüge immer dann in mehrere Flüge getrennt, wenn der Vogel den Rotorradius verlassen und später wieder durchflogen hat. Die Auswertung lieferte 237 derartige Flugsegmente. Von diesen Flügen wurden anschließend jene Flugsegmente als potenziell kollisionskritisch ausgewählt, deren Flughöhe der Nabenhöhe des Rotors +/- Rotorradius +/- 5 m Sicherheitspuffer entspricht. Dies trifft auf 51 der 237 Flugsegmente zu. Entsprechend Abbildung 83 verliefen 121 Flüge unter Rotorhöhe und 65 Flüge über der Rotorhöhe.

Von den 237 aufgezeichneten Flügen im Nahbereich von WEA konnten 120 mithilfe von Betreiberdaten zu Rotorstellung und Rotordrehzahl exakt geprüft werden. Dabei gab es einen Durchflug durch einen sich nicht drehenden Rotor und vier Flüge mit weniger als 10 m Abstand zu einem sich drehenden Rotor. Ein Durchflug durch einen sich drehenden Rotor konnte nicht nachgewiesen werden. Von den 51 ermittelten Flugsegmenten auf Rotorhöhe (für mindestens einen Flugpunkt im Rotorradius plus 5 m um die Anlage) konnten 21 mithilfe von Betriebsdaten zu Rotorstellung und -Drehzahl ausgewertet werden. Da besonders die Flugsegmente auf Rotorhöhe kollisionskritisch sein können und ein Ausweichverhalten erwarten lassen, werden nur diese 21 Flüge im Folgenden als Kartendarstellungen (Abbildung 87 bis Abbildung 107) gezeigt. Betriebsdaten zur Rotorstellung und Rotordrehzahl lagen für die Windparks Alte-Höhe, Ulrichstein-Platte, Söhrewald und Gemünden vor. Die Auswertungen zu den Windparks Hülshof und Ramholz finden sich mangels ausreichend sicherer Datengrundlage im Anhang. Für diese WEA wurden keine Betriebsdaten zu Rotorstellung und Rotordrehzahl zur Verfügung gestellt und es hat sich gezeigt, dass eine Annäherung dieser Werte über die Windrichtung bzw. die Windgeschwindigkeit eine erhebliche Unschärfe mit sich bringt. Die tageszeitliche Verteilung der Flüge mit 5 m gepuffertem Rotorradius um die WEA aus Abbildung 83 ähnelt der tageszeitlichen Verteilung der Flugaktivität aus Abbildung 54 stark; so finden sich die höchsten Werten im Zeitraum von 11 bis 15 Uhr und keine Flüge auf Rotorhöhe vor 9:00 bzw. nach 19:00.

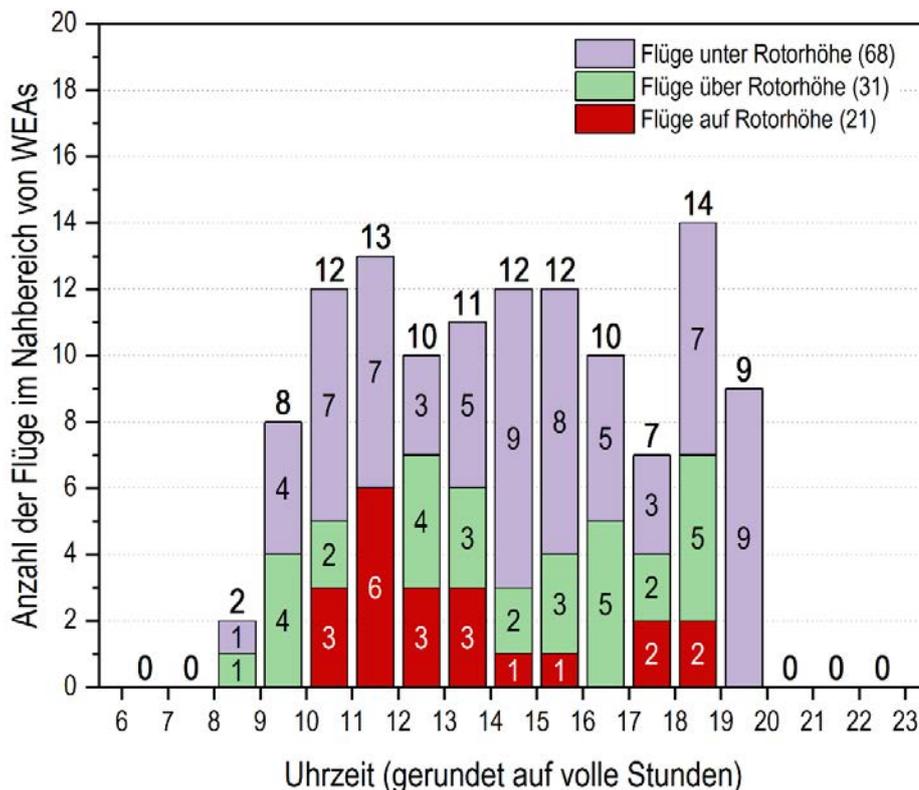
Die Berücksichtigung der vertikalen Einschränkung durch den Rotorbereich bei der jeweiligen tatsächlichen Flughöhe des Vogels ist durch die Länge des roten Balkens entlang der Ausrichtung der Rotorstellung zum jeweiligen Flugzeitpunkt verdeutlicht. Abbildung 85 erklärt die Bedeutung des roten Balkens in Abbildung 87 bis Abbildung 107. Der zu dem Rotor nächstgelegene Punkt auf Rotorhöhe wurde in Abbildung 87 bis Abbildung 107 gelb (für geringe Distanzen) bzw. grün (für mittlere Distanzen) hervorgehoben, wobei die dabei gemessene GPS-Höhe aus den Sekundendaten des Individuums in Bezug auf den Mastfuß der WEA angegeben wurde. Basierend auf dem hervorgehobenen Punkt wurden für den jeweils dargestellten Flug die Rotorstellung, die Rotordrehzahl und der Rotorbereich auf Flughöhe des Vogels ermittelt.



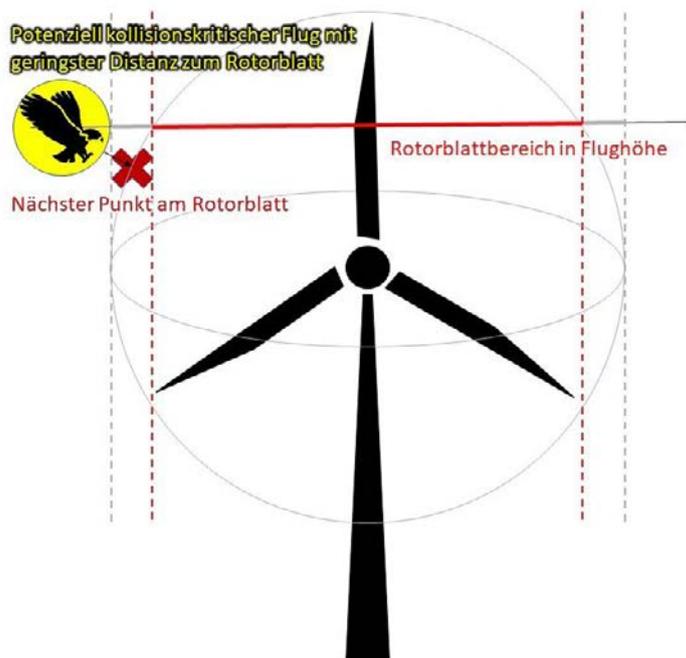
**Abbildung 82:** Anteil der Flüge im Nahbereich von Windenergieanlagen mit Betriebsdaten bezüglich Kollisionsrisiko.



**Abbildung 83:** Tageszeitliche Verteilung der 237 mit Sekundendaten erfassten Flüge auf, unter und über Rotorhöhe. Ausgewählt nach einem 5 m Puffer um den Rotorradius der hessischen Windenergieanlagen.



**Abbildung 84:** Tageszeitliche Verteilung der 120 mit Sekundendaten erfassten Flüge auf, unter und über Rotorhöhe. Ausgewählt nach einem 5 m Puffer um den Rotorradius der hessischen Windenergieanlagen und Windparks Söhrewald, Gemünden, Alte-Höhe und Ulrichstein, für die Betriebsdaten zu Rotorstellung und -drehzahl zur Verfügung gestellt wurden.



**Abbildung 85:** Schematische Darstellung des Rotorbereichs auf Höhe des Vogelfluges als Erklärung für die nachfolgenden Kartendarstellungen. Da der Vogel die WEA nicht auf Nabenhöhe quert, ist der Rotorbereich auf Höhe des Vogelfluges (rote Linie) kürzer als der Rotordurchmesser der Anlage (graue Linie). Die minimale Distanz zwischen Vogelflug und Rotorbereich (vgl. Tabelle 30) wird dreidimensional bestimmt. Während in den Kartendarstellungen (Abbildung 87 bis Abbildung 107) die Distanz zwischen der Linie des Fluges und dem Rotor angegeben wird, nimmt die Tabelle 30 für den Vogel eine Körpergröße entsprechend einem Radius von 0,62 m um die Linie des Vogelfluges an.

**Tabelle 30:** Potenziell kollisionskritische Flugereignisse im Nahbereich der WEA mit Betriebsdaten zu Rotorstellung und -drehzahl. Flüge, deren Flug-Nr. fett hervorgehoben ist, haben zumindest einen Ortungspunkt innerhalb des Rotorradius plus 5 m mit Flughöhe innerhalb des Wertebereichs aus „Rotorbereich (von | bis)“ und werden daher in den Abbildung 87 bis Abbildung 107 dargestellt. Die Flughöhe bezieht sich auf den Punkt mit minimaler 3D Distanz zum Rotor. Flüge mit weniger als 10 m minimaler 3D Distanz wurden für „Rotordurchflug“ als „knapp“ eingestuft und bei der Risiko-Wertung auf „mittel“, sofern sich der Rotor mit mehr als einer Umdrehung pro Minute bewegt hat. Die Risiko-Wertung „hoch“ kam mangels Durchflugs bei einem drehenden Rotor nicht zur Anwendung. Die Zeit innerhalb der Rotorkugel beschreibt die Aufenthaltsdauer innerhalb der Kugel mit Radius entsprechend der Rotorlänge um den Mastmittelpunkt auf Nabenhöhe. Die Zeit im Rotorbereich wird hingegen unter Berücksichtigung der konkreten Rotorstellung berechnet, wobei auch die Verschiebung des Nabenmittelpunkts um die Exzentrizität der Anlage mit pauschal 6 m berücksichtigt wurde. Der exakte Wert kann je nach Anlagentyp leicht abweichen. Ausgewertet wurden nur Verbindungslinien, die den 2-D Rotorradius der Anlage (ohne Berücksichtigung der Flughöhe) + 5 m Puffer gekreuzt haben, wobei die exakte Distanz erst ab der zweiten aufgezeichneten Sekunde innerhalb dieses Bereichs berechnet wurde. Von den Distanzen wurden jeweils 0,62 m abgezogen, um die Körpergröße des Vogels zu berücksichtigen.

Flug-Nr.	Vogel / Wind-park	Rotorbereich (von   bis)		Flughöhe [m]	vertik. Distanz [ +/- m]	horizon. Distanz [m]	min. 3D Distanz [m]	Rotor-durchflug	Rotordrehzahl [U/min]	Risiko-Wertung	Rotor-kugel [sec]	Rotor-bereich [sec]	Ortun-gen [Anz.]
<b>16</b>		<b>97</b>	<b>179</b>	<b>159,8</b>	0,0	12,7	12,7	nein	6,7	gering	2,7	0,0	5
18		97	179	47,3	-49,2	14,8	51,5	nein	6,4	gering	0,0	0,0	8
30		97	179	45,2	-54,2	23,7	59,4	nein	12,6	gering	0,0	0,0	4
31		97	179	13,7	-85,0	36,1	92,6	nein	12,6	gering	0,0	0,0	5
32	RK_1138 / Alte Höhe & Ulrichstein	97	179	71,4	-25,2	17,1	30,7	nein	6,9	gering	0,0	0,0	6
33		97	179	6,8	-90,0	14,9	91,3	nein	14,5	gering	0,0	0,0	11
34		97	179	20,8	-75,7	24,8	79,8	nein	6,6	gering	0,0	0,0	14
35		97	179	75,4	-23,7	13,2	27,3	nein	12,7	gering	0,0	0,0	8
36		97	179	44,2	-52,2	9,2	53,1	nein	13,9	gering	0,0	0,0	11
37		97	179	48,9	-48,8	14,1	50,9	nein	14,2	gering	0,0	0,0	6
38		97	179	18,9	-78,2	16,4	80,0	nein	14,2	gering	0,0	0,0	17
39		97	179	6,9	-89,5	30,1	94,6	nein	14,2	gering	0,0	0,0	7
40		97	179	7,9	-90,2	32,1	95,9	nein	14,2	gering	0,0	0,0	5
41		97	179	9,9	-87,2	31,7	93,0	nein	14,2	gering	0,0	0,0	8
42		97	179	30,9	-68,3	32,5	75,9	nein	14,2	gering	0,0	0,0	4
43		97	179	35,9	-61,5	46,1	77,1	nein	14,2	gering	0,0	0,0	5
44		97	179	45,2	-53,8	20,1	57,6	nein	12,2	gering	0,0	0,0	10
45		97	179	11,7	-86,9	32,5	92,9	nein	8,8	gering	0,0	0,0	4
50		97	179	24,7	-74,6	30,2	80,6	nein	15,8	gering	0,0	0,0	3
51		97	179	23,7	-73,4	13,4	74,7	nein	13,8	gering	0,0	0,0	10

Flug-Nr.	Rotorbereich (von   bis)		Flughöhe [m]	vertik. Distanz [+/- m]	horizon. Distanz [m]	min. 3D Distanz [m]	Rotor-durchflug	Rotordrehzahl [U/min]	Risiko-Wertung	Rotor-kugel [sec]	Rotor-bereich [sec]	Ortungen [Anz.]
53	97	179	4,7	-92,5	19,8	94,7	nein	14,3	gering	0,0	0,0	11
54	97	179	37,7	-61,3	25,2	66,4	nein	15,1	gering	0,0	0,0	4
55	97	179	33,2	-63,2	51,8	82,0	nein	15,1	gering	0,0	0,0	2
72	97	179	0,7	-97,0	25,4	100,4	nein	10,6	gering	0,0	0,0	5
73	97	179	5,7	-91,4	18,6	93,4	nein	8,4	gering	0,0	0,0	12
74	97	179	25,7	-70,8	9,3	71,5	nein	11,9	gering	0,0	0,0	8
76	97	179	-3,3	-99,7	23,9	102,7	nein	11,3	gering	0,0	0,0	10
77	97	179	-2,3	-98,7	48,4	108,2	nein	11,3	gering	0,0	0,0	2
78	97	179	30,2	-66,3	17,9	68,8	nein	13,8	gering	0,0	0,0	9
79	97	179	63,7	-32,9	3,5	33,1	nein	11,2	gering	0,0	0,0	8
85	97	179	250,8	71,8	23,7	75,8	nein	9,3	gering	0,0	0,0	4
<b>86</b>	<b>84</b>	<b>196</b>	<b>123,7</b>	0,0	56,4	56,4	nein	0,0	gering	0,0	0,0	5
89	84	196	273,3	77,1	10,1	77,8	nein	6,0	gering	0,0	0,0	12
90	84	196	336,9	140,6	55,2	NA	nein	4,5	gering	0,0	0,0	1
91	84	196	212,9	28,0	23,3	36,7	nein	6,3	gering	0,0	0,0	8
92	84	196	220,2	30,4	26,5	40,6	nein	0,3	gering	0,0	0,0	9
<b>93</b>	<b>84</b>	<b>196</b>	<b>83,2</b>	-15,2	38,6	41,7	nein	7,2	gering	0,0	0,0	6
94	84	196	59,4	-27,1	9,7	28,9	nein	7,2	gering	0,0	0,0	9
95	84	196	53,4	-33,9	14,3	37,0	nein	2,1	gering	0,0	0,0	12
96	84	196	51,3	-37,6	35,0	51,6	nein	0,0	gering	0,0	0,0	6
97	84	196	207,0	23,9	23,0	33,5	nein	0,0	gering	0,0	0,0	6
98	84	196	51,7	-38,9	34,4	52,2	nein	6,6	gering	0,0	0,0	6
99	84	196	58,4	-25,0	0,2	25,0	nein	6,3	gering	0,0	0,0	10
100	84	196	45,7	-39,9	17,7	43,9	nein	6,0	gering	0,0	0,0	6
101	84	196	66,9	-24,7	29,9	NA	nein	6,6	gering	0,0	0,0	1
102	84	196	39,7	-49,8	24,9	55,9	nein	2,4	gering	0,0	0,0	15
103	84	196	43,8	-39,8	50,6	64,7	nein	2,4	gering	0,0	0,0	3
104	84	196	57,7	-26,1	58,4	NA	nein	2,4	gering	0,0	0,0	1
105	84	196	73,7	-10,3	52,7	53,8	nein	2,4	gering	0,0	0,0	3

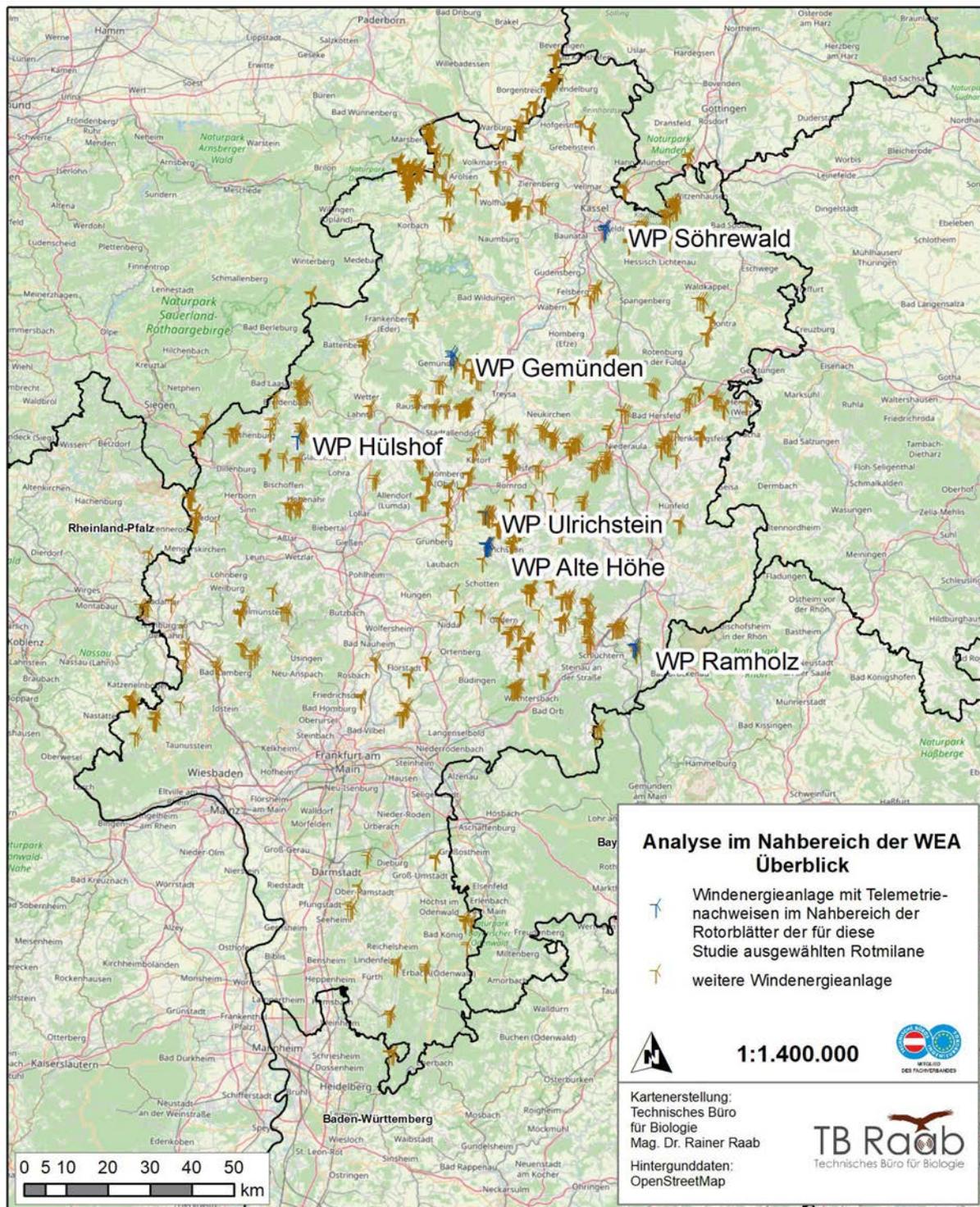
RK\_1244 / Söhrewald

Flug-Nr.	Rotorbereich (von   bis)		Flughöhe [m]	vertik. Distanz [+/- m]	horizon. Distanz [m]	min. 3D Distanz [m]	Rotor-durchflug	Rotordrehzahl [U/min]	Risiko-Wertung	Rotor-kugel [sec]	Rotor-bereich [sec]	Ortun-gen [Anz.]
<b>106</b>	<b>84</b>	<b>196</b>	<b>86,7</b>	0,0	49,1	49,1	nein	2,4	gering	0,0	0,0	4
<b>107</b>	<b>84</b>	<b>196</b>	<b>142,7</b>	0,0	19,6	19,6	nein	2,4	gering	21,3	0,0	32
108	84	196	242,2	46,2	53,4	70,8	nein	0,9	gering	0,0	0,0	4
109	84	196	252,2	57,1	47,8	74,7	nein	0,9	gering	0,0	0,0	3
110	84	196	259,2	64,5	35,3	73,7	nein	0,9	gering	0,0	0,0	7
111	84	196	263,0	68,0	42,2	80,3	nein	0,9	gering	0,0	0,0	14
112	84	196	249,0	57,3	34,8	67,3	nein	6,9	gering	0,0	0,0	5
113	84	196	265,0	71,8	26,6	76,7	nein	6,9	gering	0,0	0,0	21
<b>114</b>	<b>84</b>	<b>196</b>	<b>80,2</b>	-15,5	50,2	52,7	nein	1,5	gering	0,0	0,0	6
<b>115</b>	<b>84</b>	<b>196</b>	<b>190,0</b>	13,5	17,9	22,7	nein	5,4	gering	0,0	0,0	2
<b>116</b>	<b>84</b>	<b>196</b>	<b>185,7</b>	9,9	13,1	16,7	nein	5,4	gering	0,0	0,0	8
117	84	196	75,7	-11,7	9,8	15,5	nein	3,6	gering	0,0	0,0	9
120	84	196	35,4	-51,8	44,1	68,3	nein	12,5	gering	0,0	0,0	6
<b>121</b>	<b>84</b>	<b>196</b>	<b>139,4</b>	0,0	3,3	3,3	knapp	5,7	mittel	6,7	0,0	10
<b>126</b>	<b>84</b>	<b>196</b>	<b>202,5</b>	11,4	14,8	18,9	nein	8,1	gering	0,0	0,0	7
127	84	196	67,4	-20,9	47,8	52,3	nein	0,6	gering	0,0	0,0	5
128	84	196	85,7	-4,2	7,2	8,6	knapp	1,2	mittel	0,0	0,0	29
129	84	196	30,9	-59,1	36,4	69,7	nein	0,0	gering	0,0	0,0	5
131	84	196	28,9	-54,8	10,4	55,9	nein	3,0	gering	0,0	0,0	16
132	84	196	72,2	-16,8	62,4	64,8	nein	6,6	gering	0,0	0,0	5
133	84	196	47,4	-36,3	16,1	39,9	nein	7,8	gering	0,0	0,0	11
134	84	196	34,2	-49,2	19,5	53,1	nein	12,8	gering	0,0	0,0	29
135	84	196	49,9	-41,2	35,3	54,5	nein	11,9	gering	0,0	0,0	3
139	84	196	52,2	-32,1	12,5	34,7	nein	3,0	gering	0,0	0,0	11
140	84	196	59,6	-30,8	18,2	36,0	nein	2,4	gering	0,0	0,0	5
141	84	196	27,0	-56,9	12,6	58,4	nein	6,0	gering	0,0	0,0	14
142	84	196	29,9	-56,2	17,9	59,1	nein	9,3	gering	0,0	0,0	8
143	84	196	31,4	-53,6	64,1	NA	nein	9,3	gering	0,0	0,0	1

Flug-Nr.	Rotorbereich (von   bis)		Flughöhe [m]	vertik. Distanz [+/- m]	horizon. Distanz [m]	min. 3D Distanz [m]	Rotor-durchflug	Rotordrehzahl [U/min]	Risiko-Wertung	Rotor-kugel [sec]	Rotor-bereich [sec]	Ortun-gen [Anz.]
144	84	196	32,8	-50,6	11,4	52,0	nein	7,5	gering	0,0	0,0	19
148	84	196	287,2	90,9	36,5	98,1	nein	0,0	gering	0,0	0,0	8
149	84	196	47,7	-41,0	54,6	66,8	nein	5,7	gering	0,0	0,0	5
150	84	196	256,0	60,6	12,7	62,0	nein	9,8	gering	0,0	0,0	3
151	84	196	258,0	63,2	25,8	65,4	nein	9,8	gering	0,0	0,0	4
<b>152</b>	<b>84</b>	<b>196</b>	<b>180,3</b>	3,7	4,6	6,1	knapp	2,4	mittel	0,0	0,0	9
<b>153</b>	<b>84</b>	<b>196</b>	<b>120,5</b>	-1,7	21,4	21,5	nein	5,7	gering	10,7	0,0	14
<b>155</b>	<b>82,5</b>	<b>199,5</b>	<b>135,9</b>	0,0	53,4	53,4	nein	8,0	gering	3,4	0,0	12
156	82,5	199,5	279,9	80,1	6,7	80,4	nein	8,0	gering	0,0	0,0	8
157	82,5	199,5	315,9	115,8	8,2	116,2	nein	8,0	gering	0,0	0,0	14
158	82,5	199,5				> 150	nein	10,0	null	0,0	0,0	16
<b>159</b>	<b>82,5</b>	<b>199,5</b>	<b>109,9</b>	0,0	53,3	53,3	nein	10,0	gering	0,0	0,0	6
160	82,5	199,5	223,5	27,9	28,4	40,1	nein	11,0	gering	0,0	0,0	18
161	82,5	199,5	319,9	122,3	37,1	128,0	nein	11,0	gering	0,0	0,0	13
162	82,5	199,5				> 150	nein	11,0	null	0,0	0,0	13
163	82,5	199,5				> 150	nein	11,0	null	0,0	0,0	4
164	82,5	199,5				> 150	nein	11,0	null	0,0	0,0	16
<b>165</b>	<b>82,5</b>	<b>199,5</b>	<b>91,9</b>	-4,5	10,2	11,4	nein	4,0	gering	4,6	0,0	20
<b>166</b>	<b>82,5</b>	<b>199,5</b>	<b>194,2</b>	0,8	0,3	1,1	knapp	7,0	mittel	3,4	0,0	11
167	82,5	199,5	56,8	-28,4	29,4	41,1	nein	0,0	gering	0,0	0,0	21
168	82,5	199,5	62,8	-19,8	71,1	NA	nein	0,0	gering	0,0	0,0	1
169	82,5	199,5	291,7	95,8	43,0	105,2	nein	0,0	gering	0,0	0,0	2
170	82,5	199,5	312,9	112,9	12,5	113,6	nein	0,0	gering	0,0	0,0	15
171	82,5	199,5				> 150	nein	11,0	null	0,0	0,0	10
172	82,5	199,5	33,9	-55,2	30,5	63,2	nein	8,0	gering	0,0	0,0	3
173	82,5	199,5	44,1	-44,5	27,6	52,6	nein	8,0	gering	0,0	0,0	10
174	82,5	199,5				> 150	nein	11,0	null	0,0	0,0	6
175	82,5	199,5	76,9	-21,9	26,9	NA	nein	8,0	gering	0,0	0,0	1

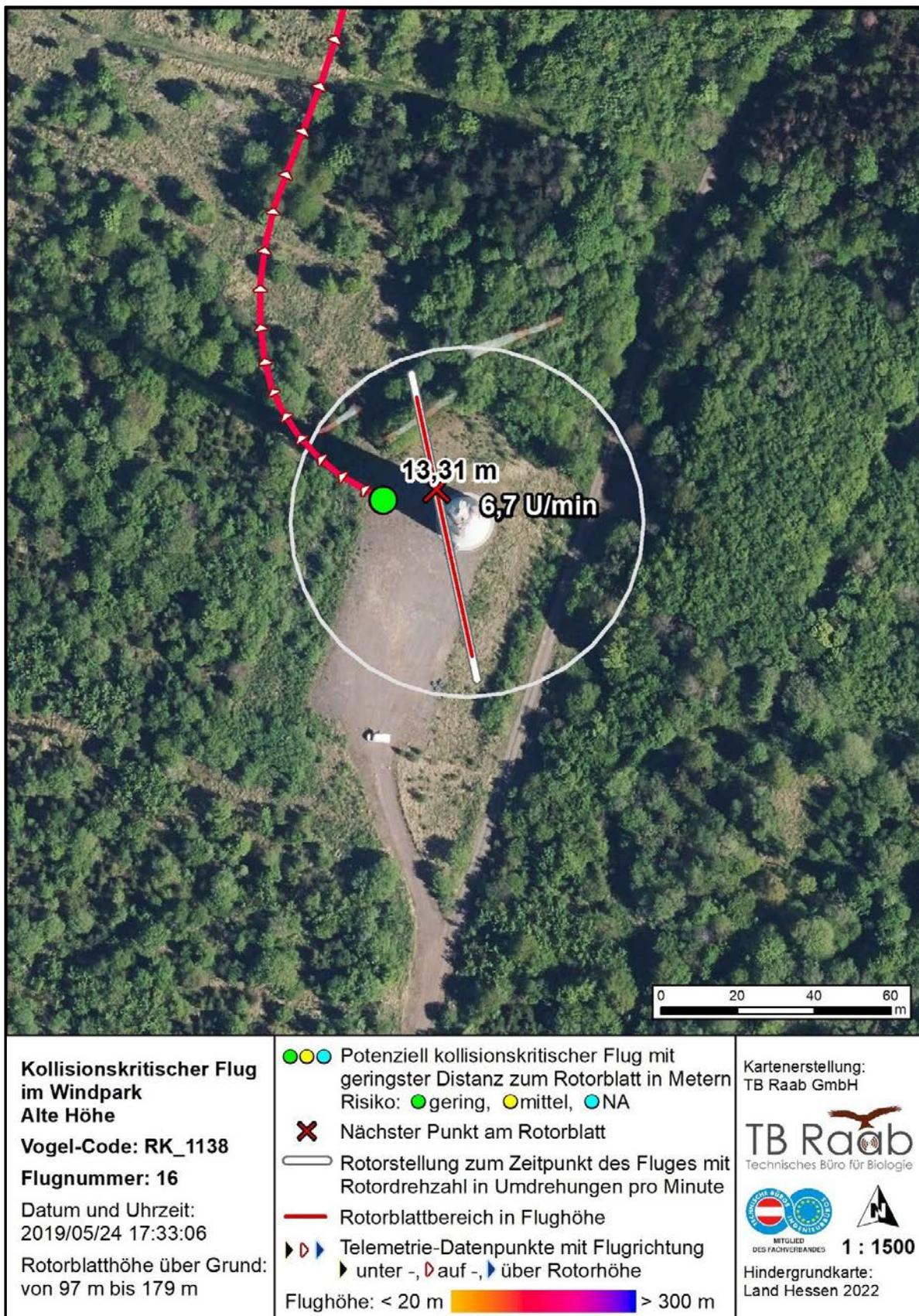
RK\_1258 / Gemünden

Flug-Nr.	Rotorbereich (von   bis)		Flughöhe [m]	vertik. Distanz [+/- m]	horizon. Distanz [m]	min. 3D Distanz [m]	Rotor-durchflug	Rotordrehzahl [U/min]	Risiko-Wertung	Rotor-kugel [sec]	Rotor-bereich [sec]	Ortungen [Anz.]
176	82,5	199,5	175,9	0,0	59,0	59,0	nein	10,0	gering	0,0	0,0	2
177	82,5	199,5				> 150	nein	11,0	null	0,0	0,0	10
178	82,5	199,5				> 150	nein	11,0	null	0,0	0,0	6
<b>179</b>	<b>82,5</b>	<b>199,5</b>	<b>93,3</b>	-8,5	32,8	34,1	nein	0,0	gering	0,0	0,0	6
180	82,5	199,5	36,9	-47,4	15,7	50,1	nein	8,0	gering	0,0	0,0	27
181	82,5	199,5	49,5	-33,9	8,1	35,0	nein	8,0	gering	0,0	0,0	14
<b>182</b>	<b>82,5</b>	<b>199,5</b>	<b>174,6</b>	2,9	10,0	10,6	nein	0,0	gering	5,6	0,0	7
<b>183</b>	<b>82,5</b>	<b>199,5</b>	<b>171,9</b>	1,2	42,1	42,1	nein	0,0	gering	0,0	0,0	5
184	82,5	199,5	60,9	-25,8	44,0	51,3	nein	8,0	gering	0,0	0,0	14
185	82,5	199,5	62,9	-31,3	36,7	46,6	nein	10,0	gering	0,0	0,0	4
<b>186</b>	<b>82,5</b>	<b>199,5</b>	<b>95,2</b>	0,0	0,0	0,0	<b>ja</b>	0,0	gering	8,3	0,3	13
<b>187</b>	<b>82,5</b>	<b>199,5</b>	<b>192,3</b>	8,0	33,8	34,9	nein	8,0	gering	0,0	0,0	4
188	82,5	199,5				> 150	nein	11,0	null	0,0	0,0	9
189	82,5	199,5	243,6	43,8	16,8	47,1	nein	9,0	gering	0,0	0,0	8

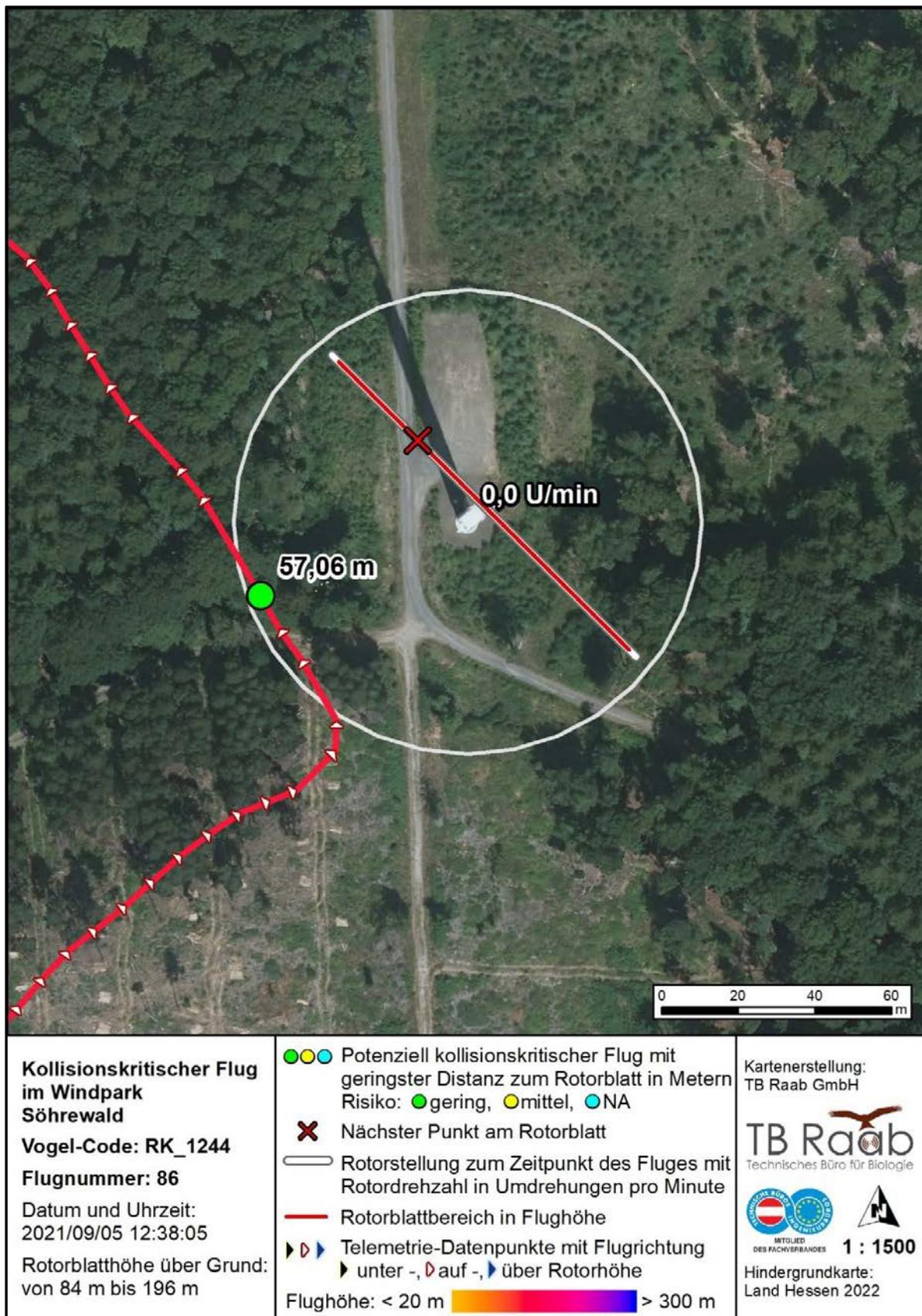


**Abbildung 86:** Windparks mit ausgewerteten potenziell kollisionskritischen Flügen (im Rotorradius auf Rotorhöhe – jeweils mit 5 m Sicherheitspuffer). Die Kartendarstellungen zu den WPs Söhrewald, Gemünden, Alte Höhe und Ulrichstein finden sich nachfolgend. Die Kartendarstellungen zu den WPs Hülshof und Ramholz mit fehlenden Informationen zu Rotorstellung und Rotordrehzahl finden sich im Anhang.

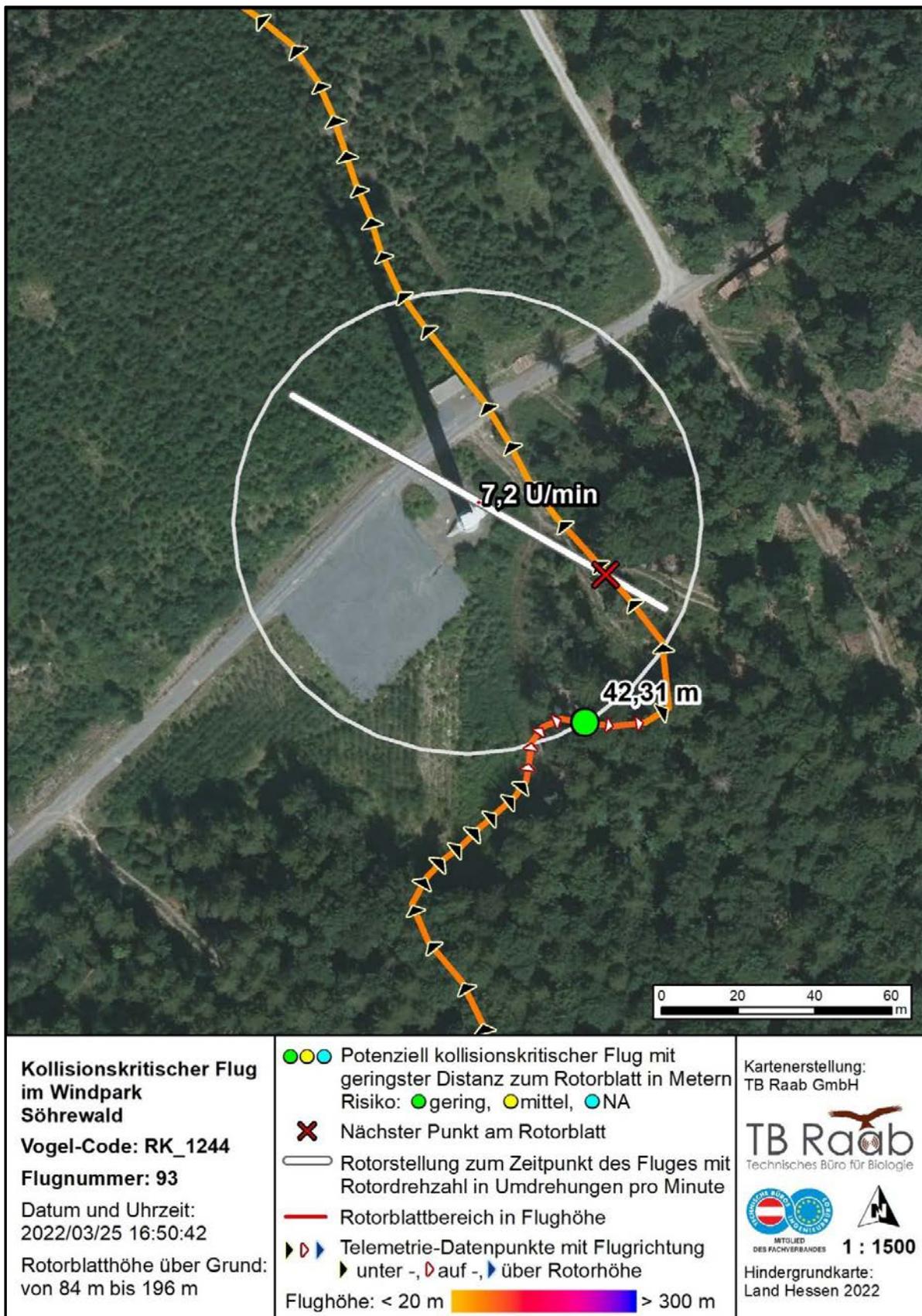
Bei den folgenden Abbildungen werden jeweils die Datenpunkte als Pfeil gezeigt, wobei die Farbe angibt, ob der Vogel über (blau), unter (schwarz), oder auf Rotorhöhe (rot) flog. Der Kreis entspricht dem Rotorkreisdurchmessers der Anlage inklusive Sicherheitspuffer (weiß).



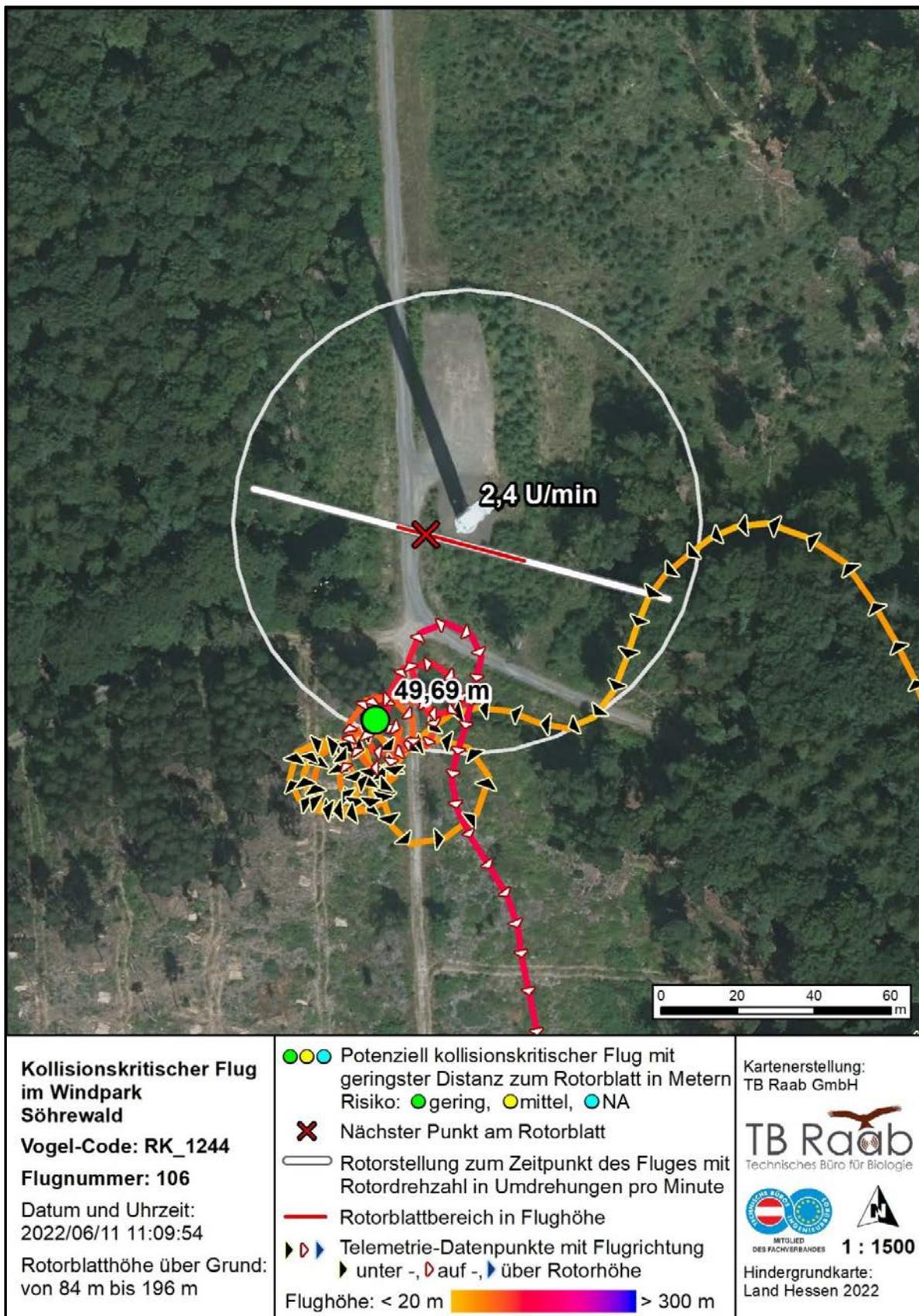
**Abbildung 87:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1138 am 24.05.2019 um 17:33 (Flugnummer 16). Der Flug fand in 160 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 97 m, deren Oberkante bei 179 m. Der Rotordurchmesser beträgt 82 m (weiß). Bei diesem Flug wurden nur 5 Punkte aufgezeichnet, unmittelbar davor gab es keine Telemetrie-Nachweise, daher startet die Flugdarstellung im Bereich der WEA.



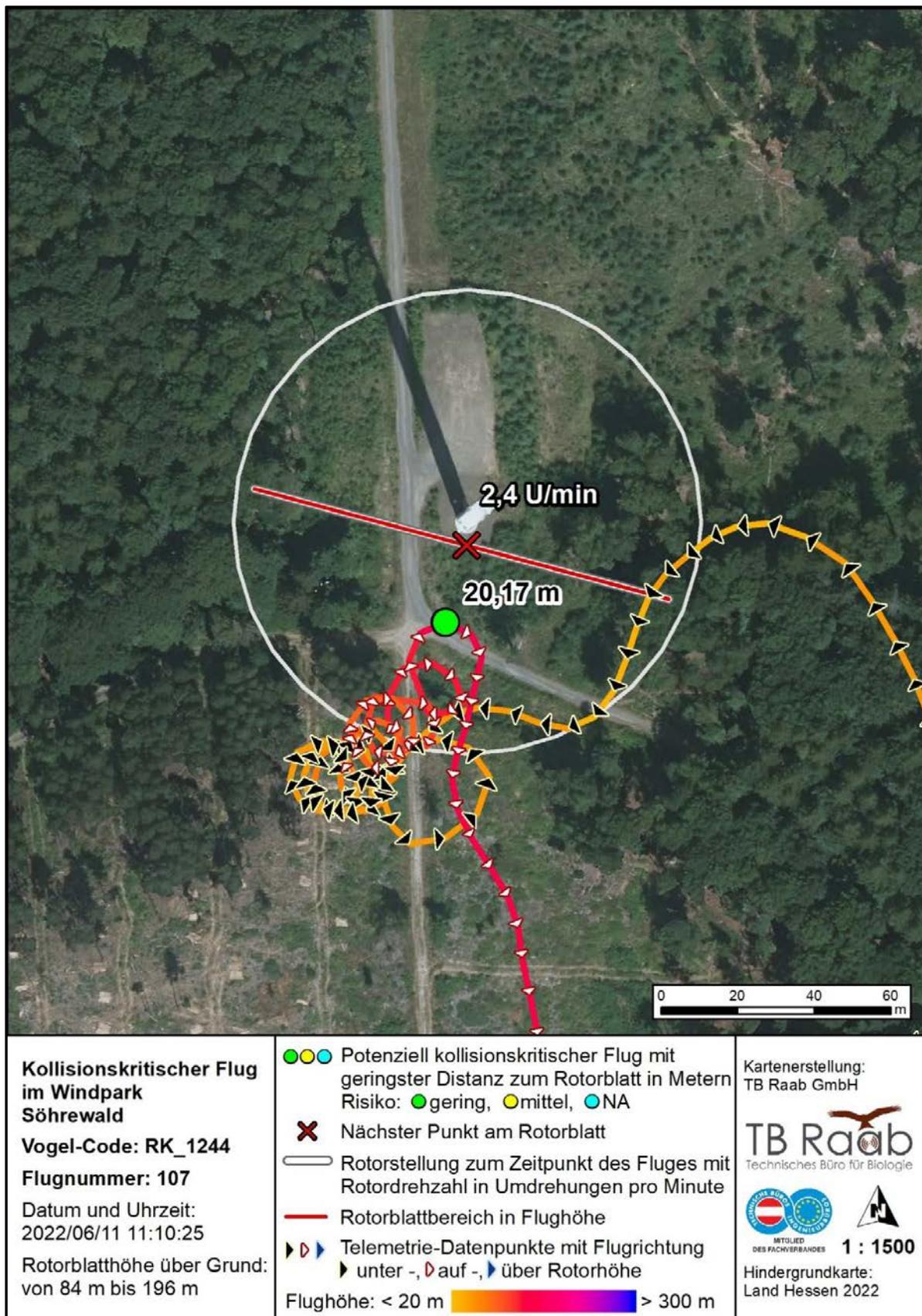
**Abbildung 88:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 05.09.2021 um 12:38 (Flugnummer 86). Der Flug fand in 124 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Rotmilan drehte in sicherer Entfernung zur Anlage nach links ab. Der Rotor drehte sich nicht.



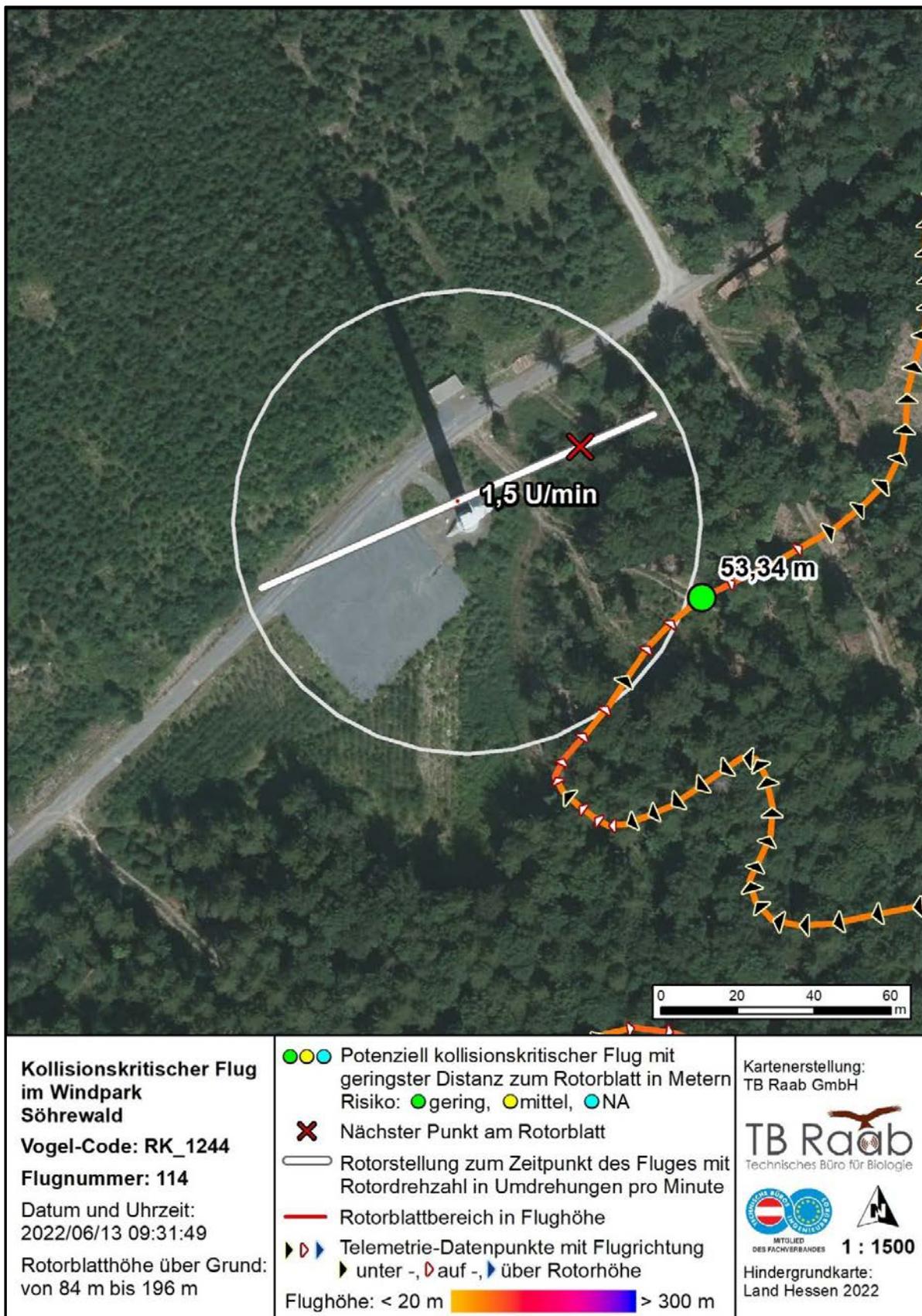
**Abbildung 89:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 25.03.2022 um 16:50 (Flugnummer 93). Der Flug fand in 83 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Vogel flog knapp unterhalb des Rotors und an dessen Rand entlang, zuvor erfolgte eine Ausweichbewegung.



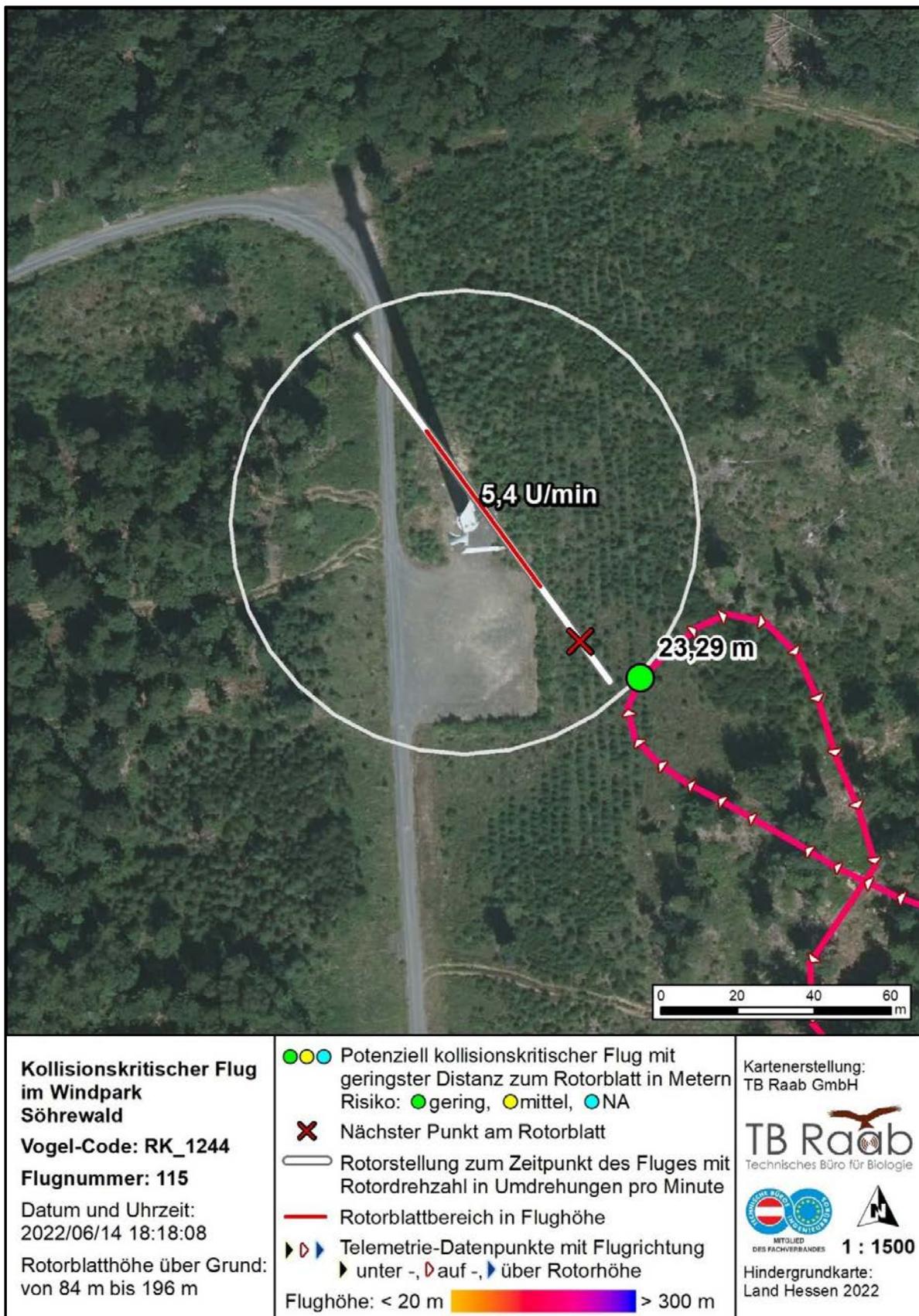
**Abbildung 90:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 11.06.2022 um 11:10 (Flugnummer 106). Der hervorgehobene Flugabschnitt erfolgte in 87 m über Gelände. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Rotmilan unterflog zuerst die Anlage von Osten kommend, um sich danach in die Höhe zu schrauben.



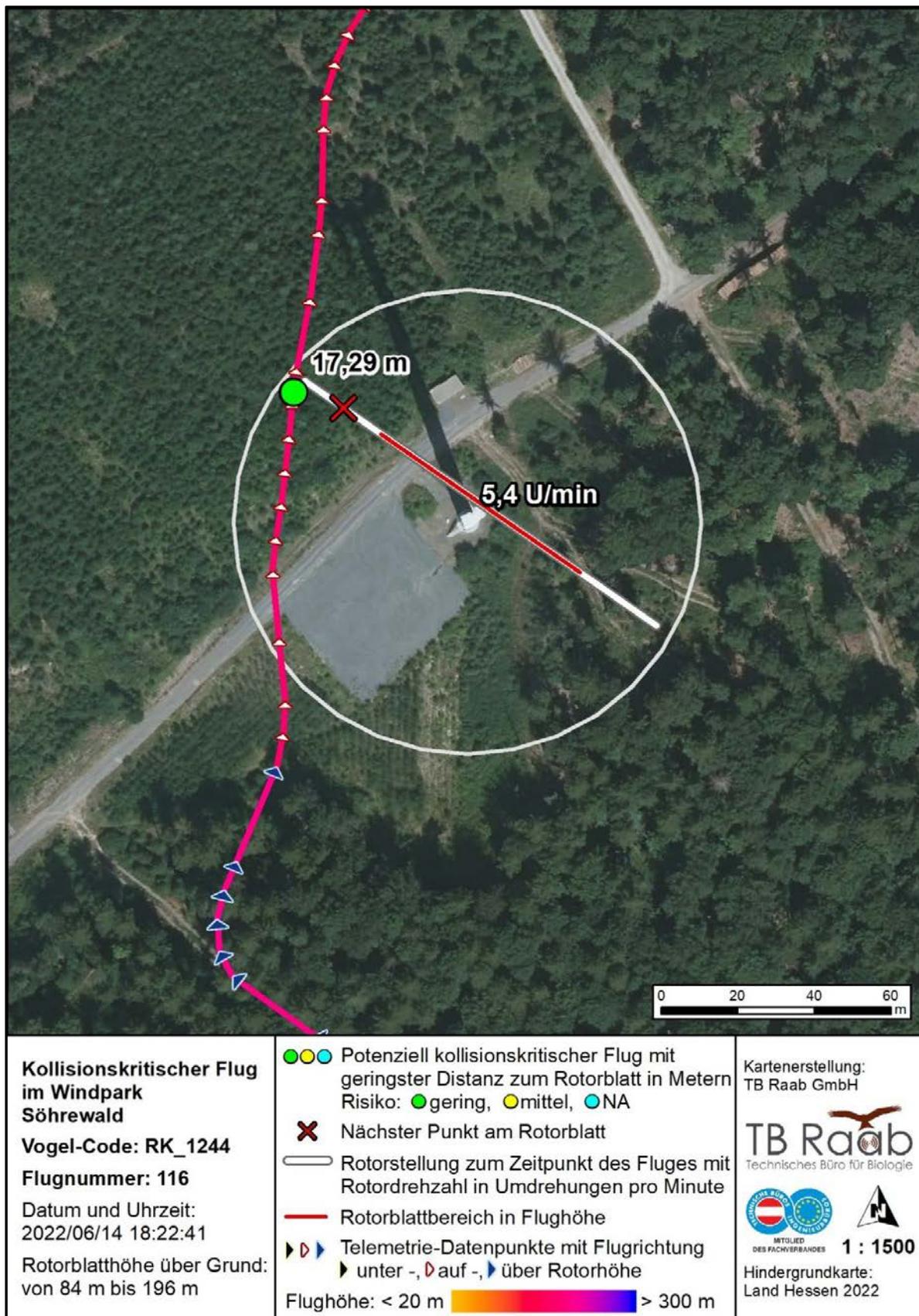
**Abbildung 91:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 11.06.2022 um 11:10 (Flugnummer 107). Der hervorgehobene Flugabschnitt erfolgte in 143 m über Gelände. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Rotmilan unterflog zuerst die Anlage von Osten kommend, um sich danach in die Höhe zu schrauben.



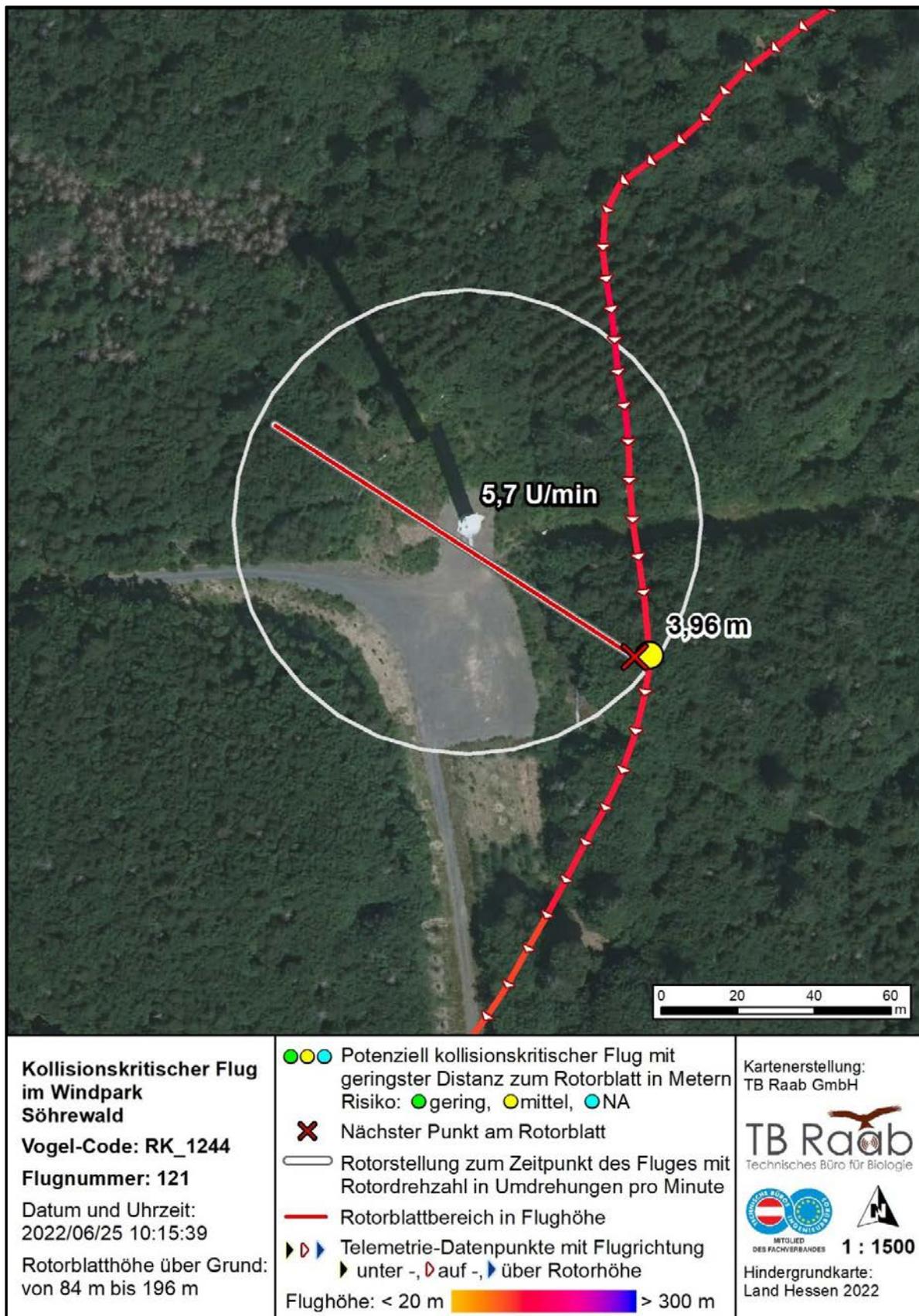
**Abbildung 92:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 13.06.2022 um 09:31 (Flugnummer 114). Der Flug fand in 80 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß).



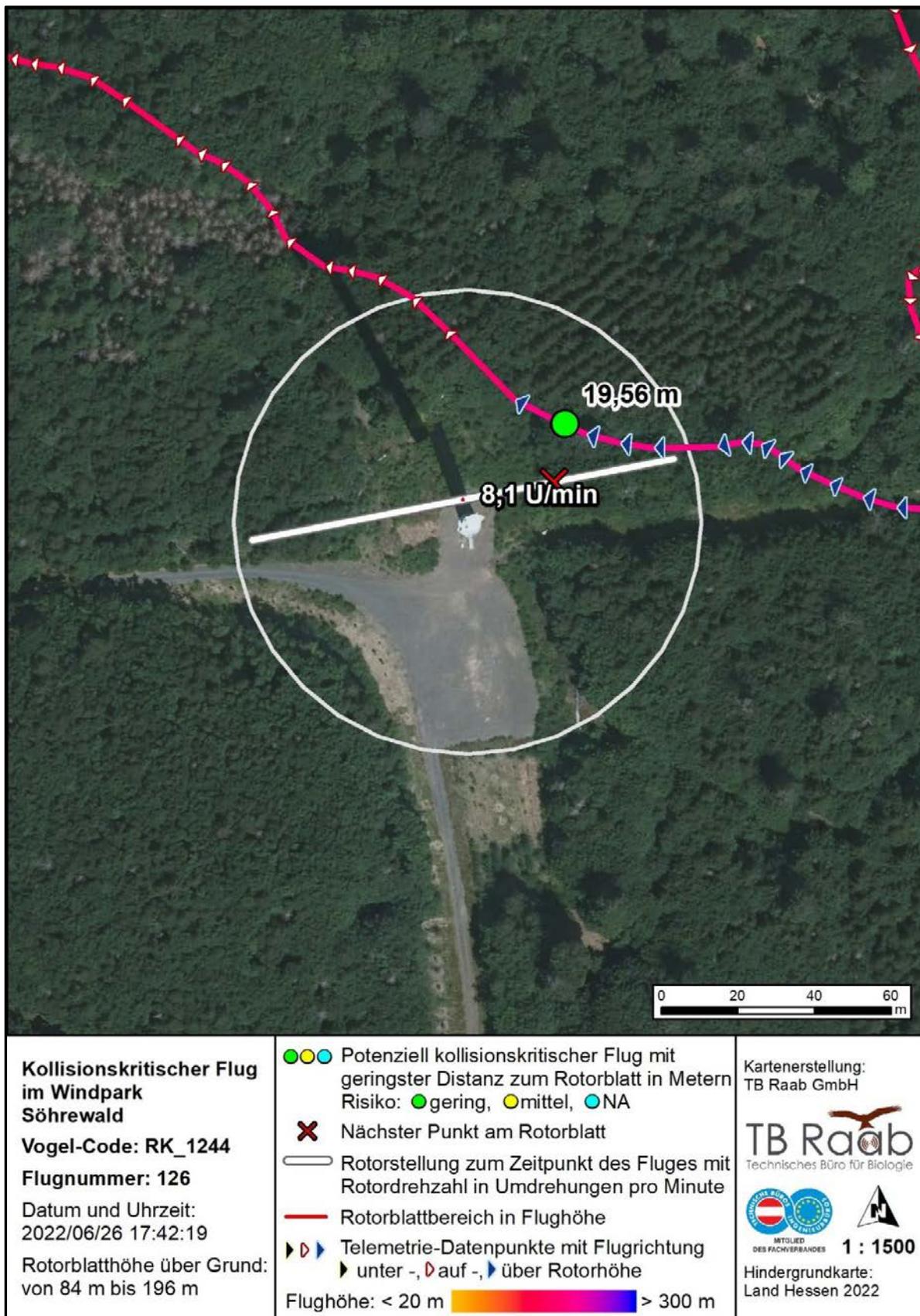
**Abbildung 93:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 14.06.2022 um 09:31 (Flugnummer 115). Der Flug fand in 190 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß).



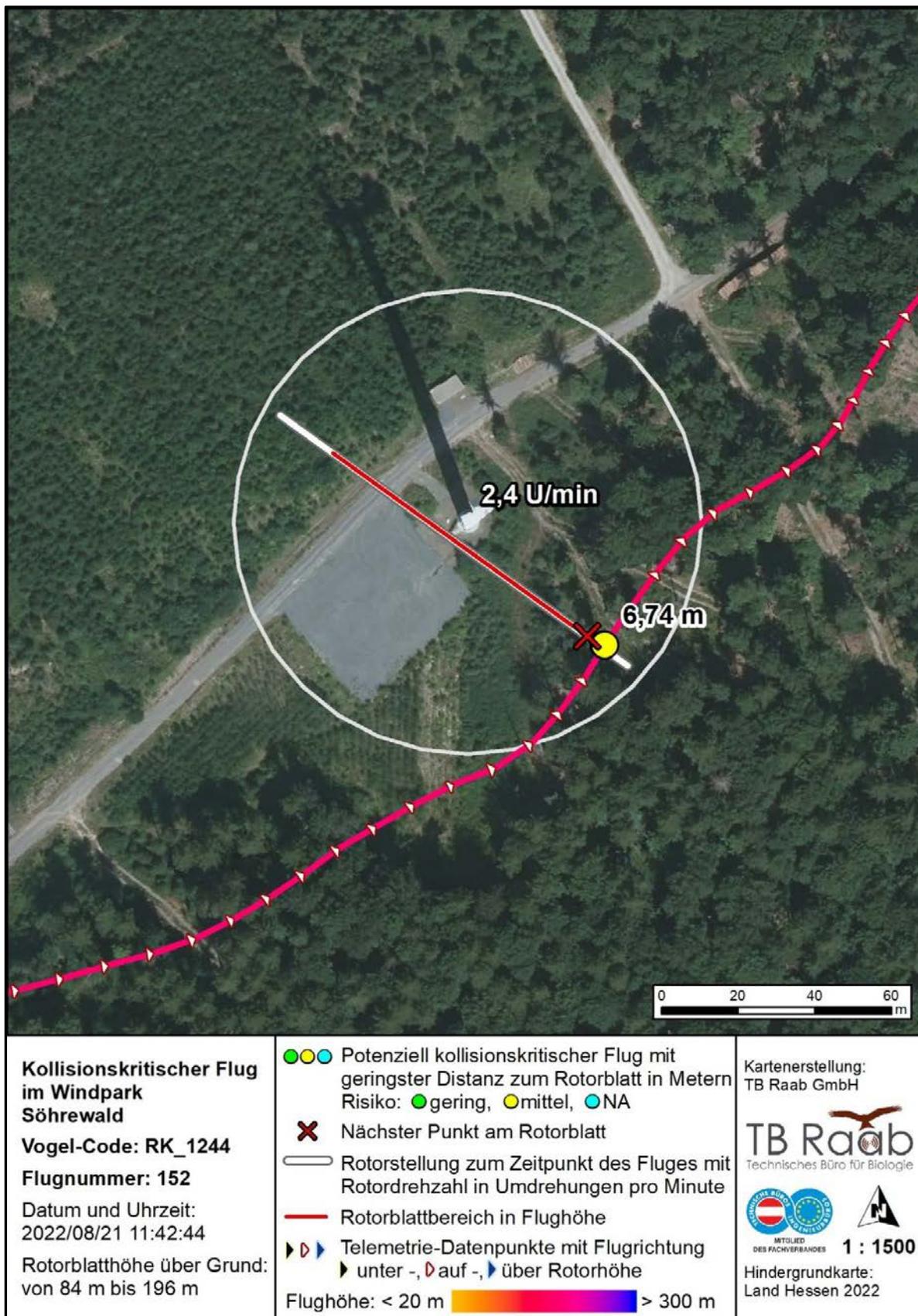
**Abbildung 94:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 14.06.2022 um 18:22 (Flugnummer 116). Der Flug fand in 186 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß), wobei der vom Rotor durchstrichene Bereich auf Flughöhe des Vogels (rot) 64 m entsprach. Der Vogel umflog die WEA sehr nah.



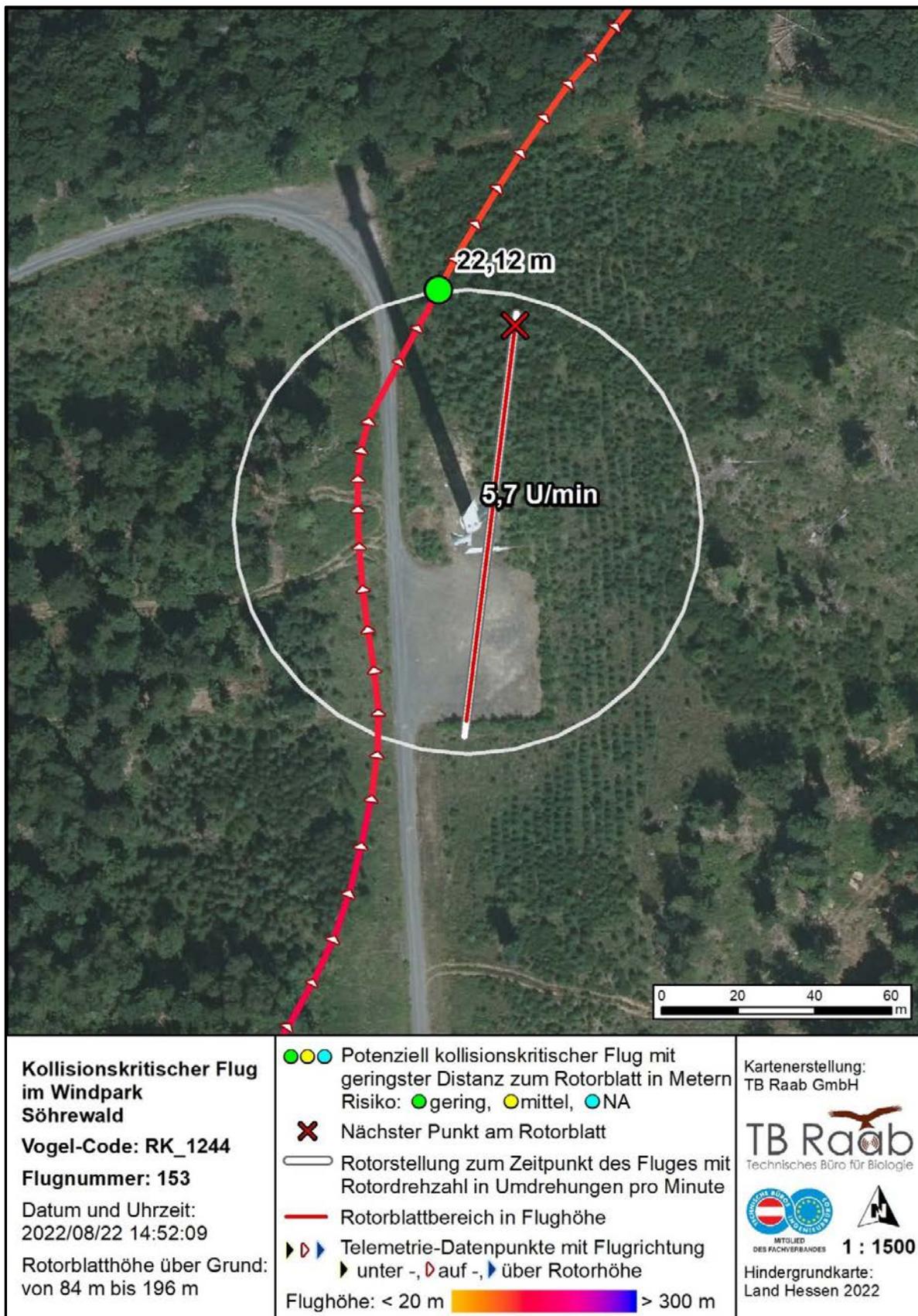
**Abbildung 95:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 25.06.2022 um 10:15 (Flugnummer 121). Der Flug fand 137 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Aufgrund der Lage der Punkte ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Flugkurve den Rotorbereich nicht gekreuzt hat. Eine Ausweichreaktion war erkennbar.



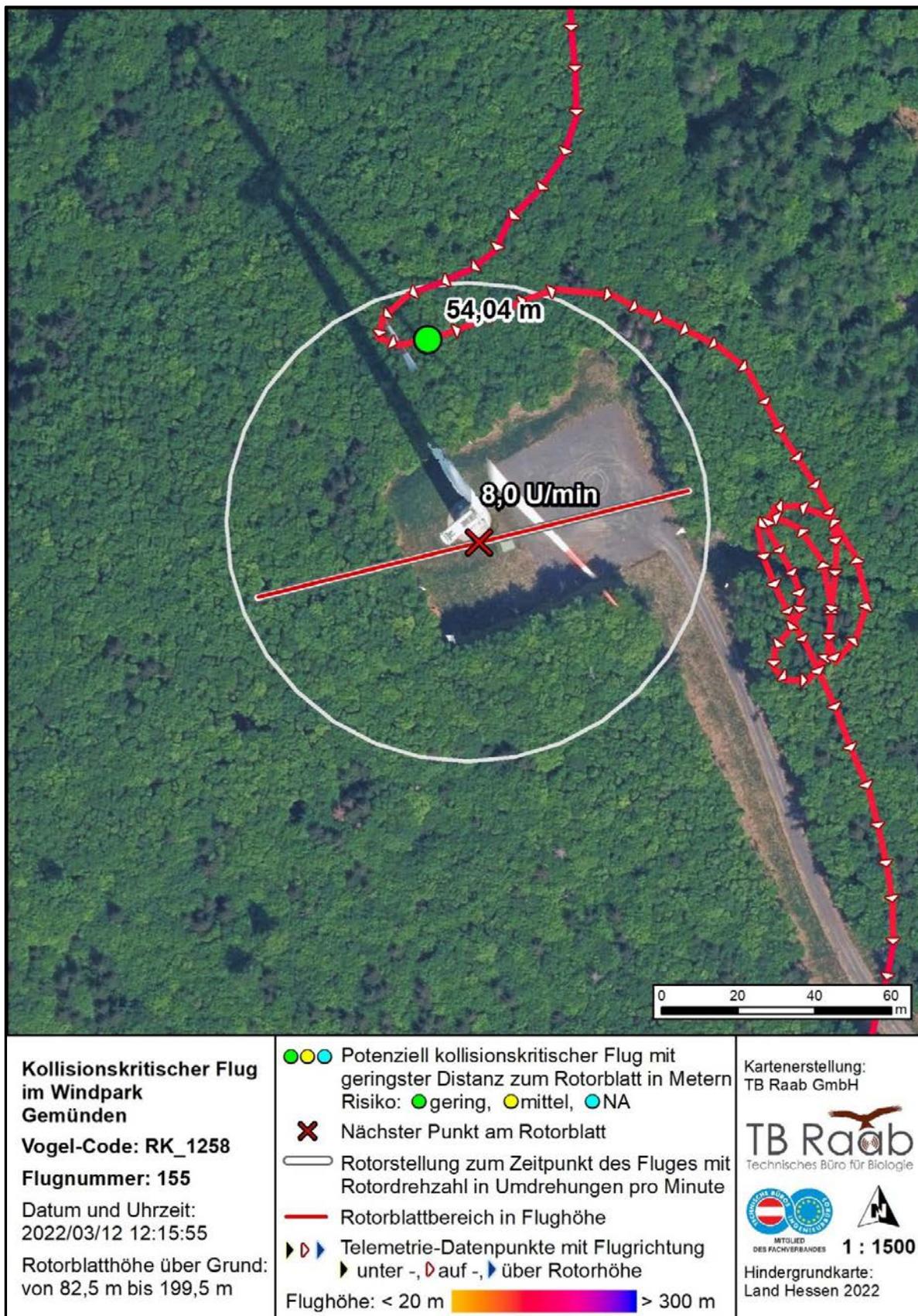
**Abbildung 96:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 26.06.2022 um 17:42 (Flugnummer 126). Der Flug fand in 202,5 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Rotmilan umflog den Rotorbereich der WEA.



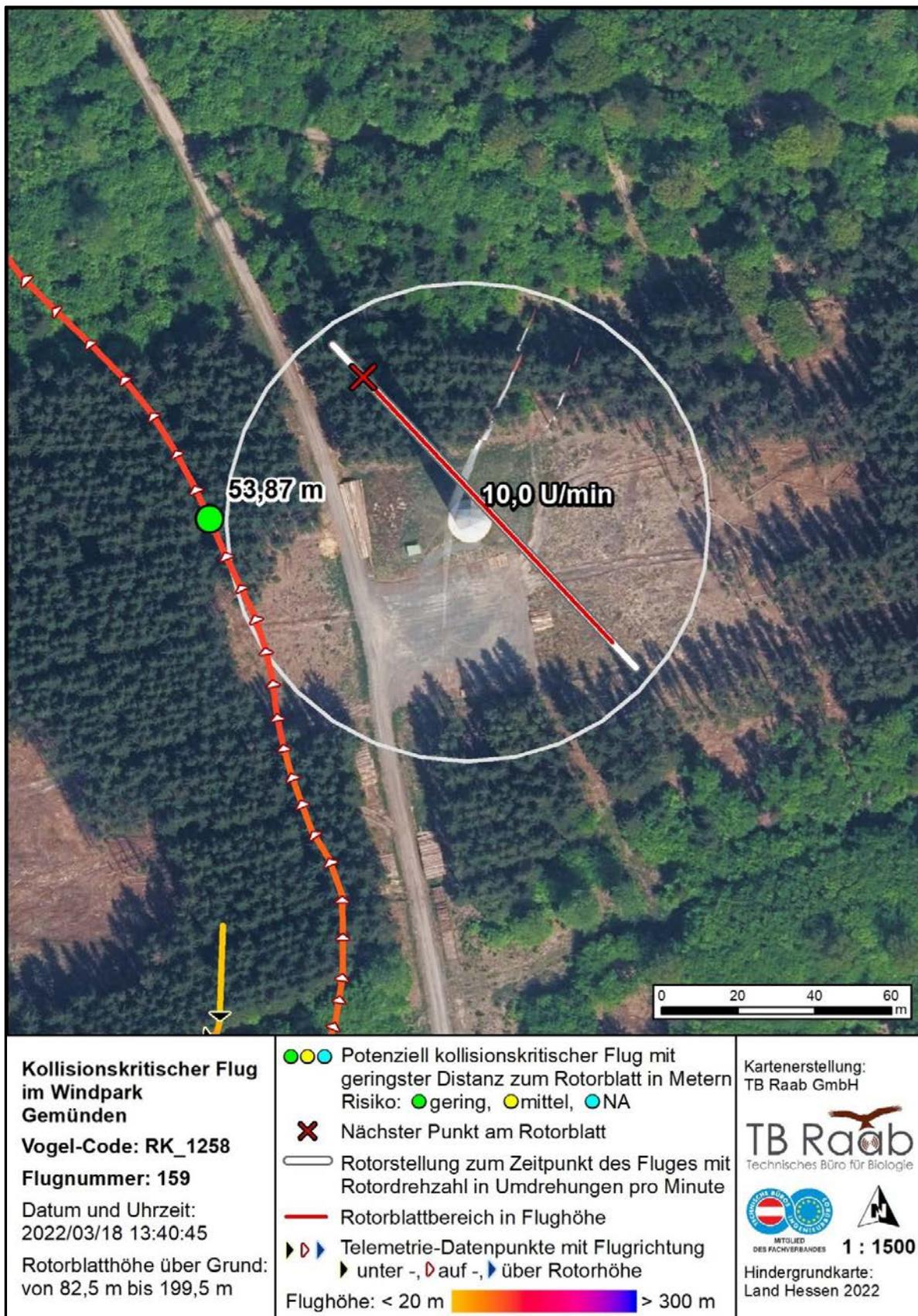
**Abbildung 97:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 21.08.2022 um 11:42 (Flugnummer 152). Der Flug fand in 180 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der vom Rotorblatt durchstrichene Bereich auf Flughöhe wurde durch den Vogel gemieden.



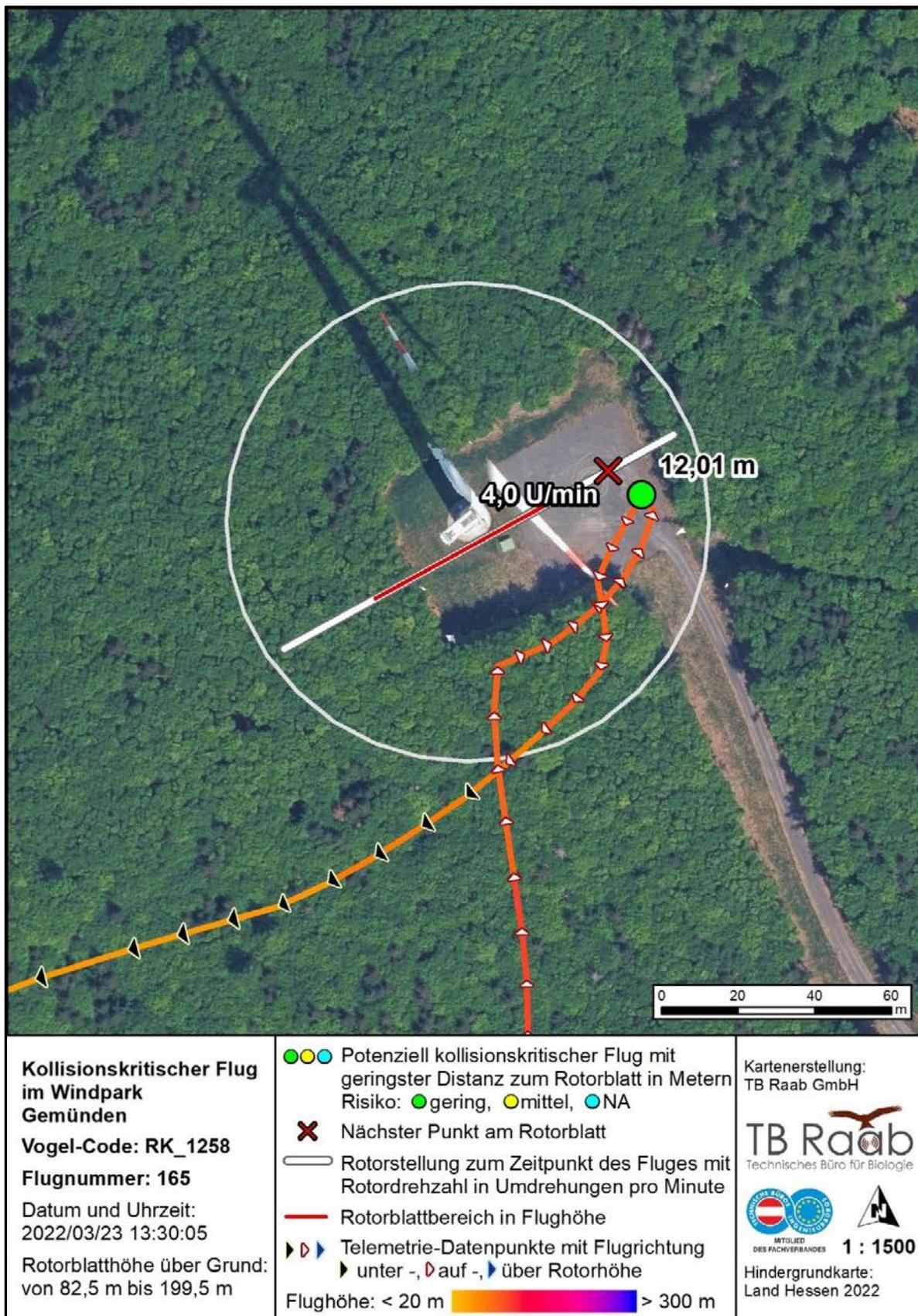
**Abbildung 98:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 22.08.2022 um 14:51 (Flugnummer 153). Der Flug fand in 121 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß). Der Rotorbereich wurde parallel zum Rotor umflogen.



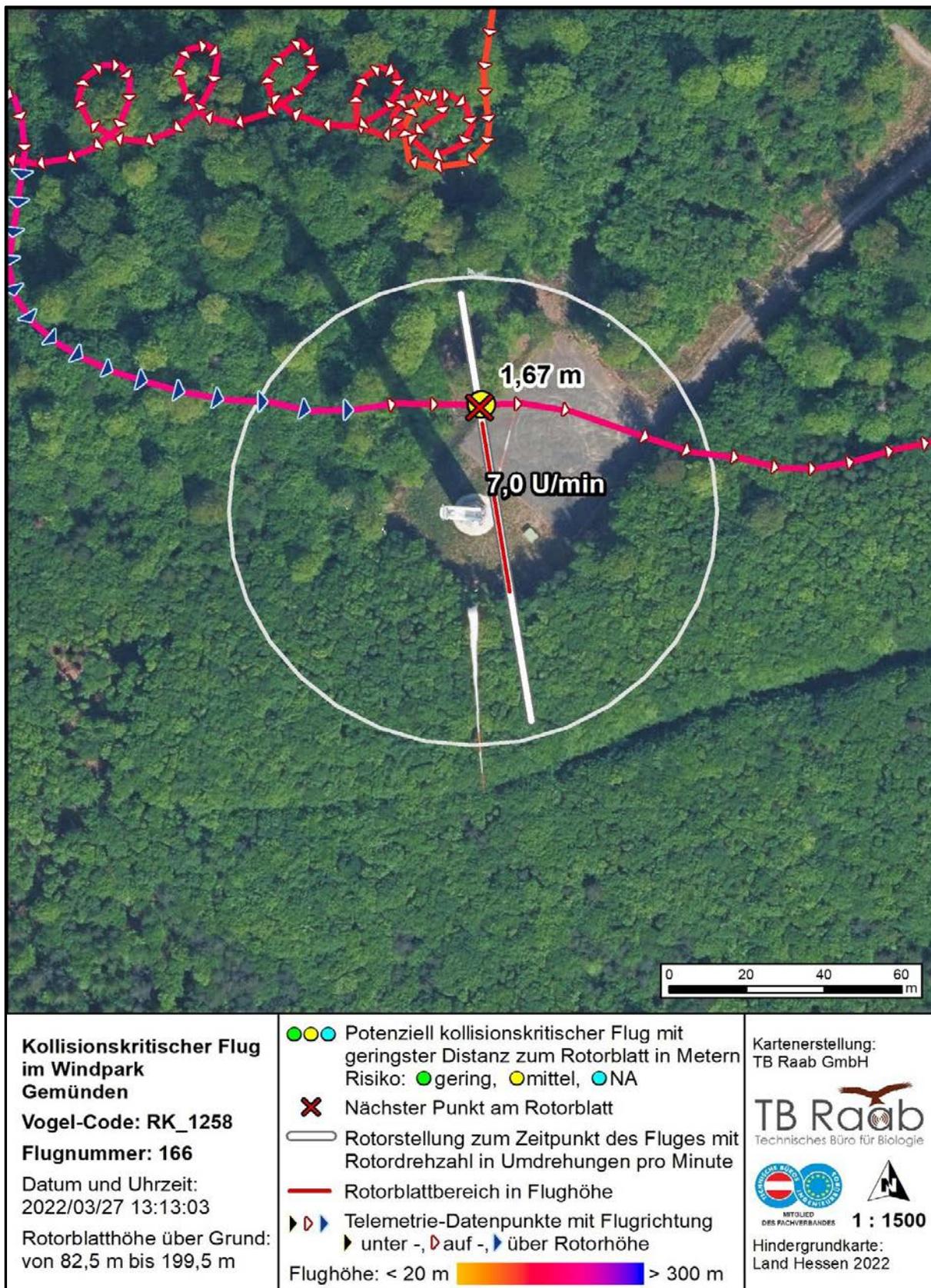
**Abbildung 99:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 12.03.2022 um 12:15 (Flugnummer 155). Der Flug fand in 136 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Rotorbereich wurde umflogen.



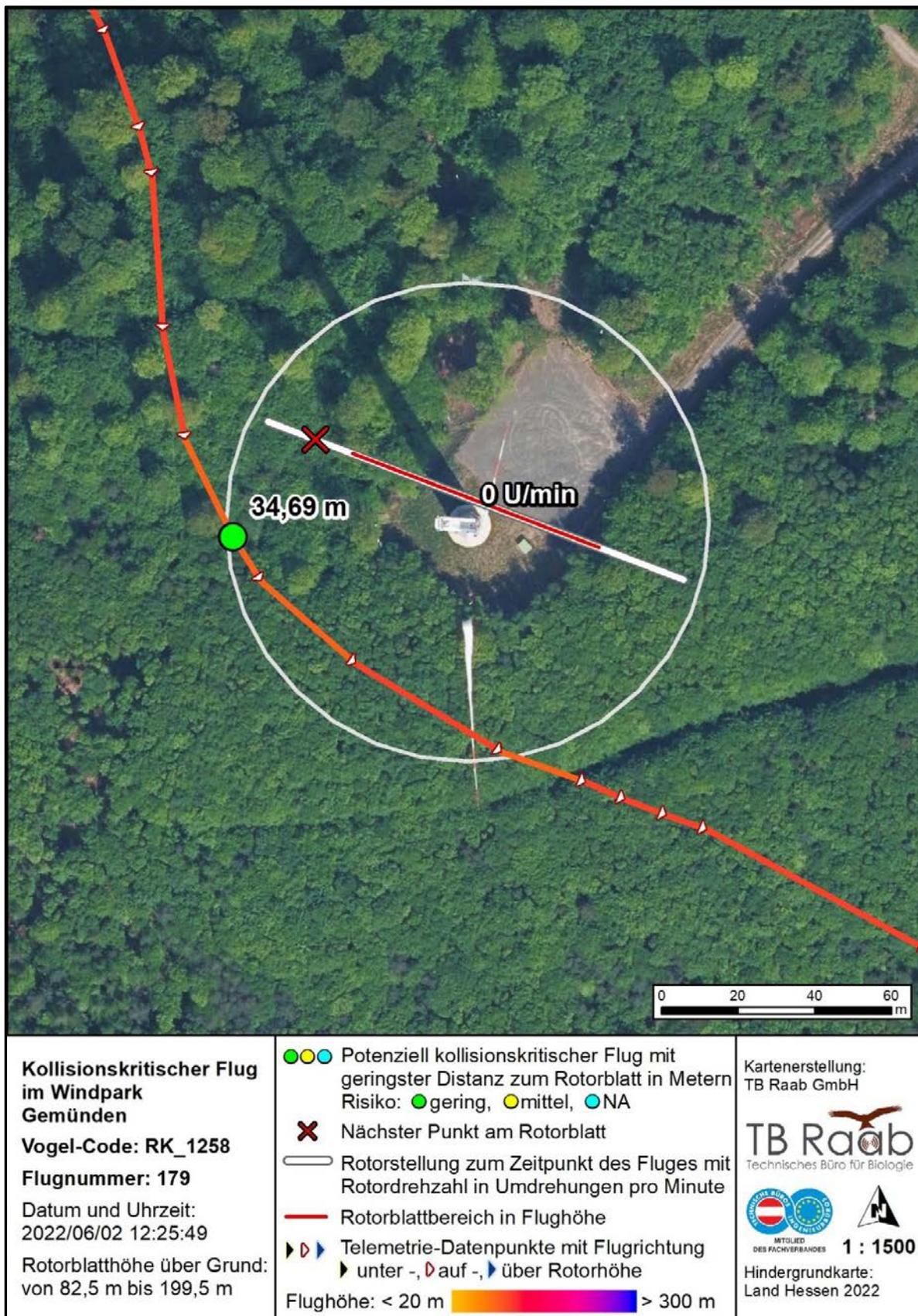
**Abbildung 100:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 18.03.2022 um 13:40 (Flugnummer 159). Der Flug fand in 110 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Rotorbereich wurde parallel zum Rotor umflogen.



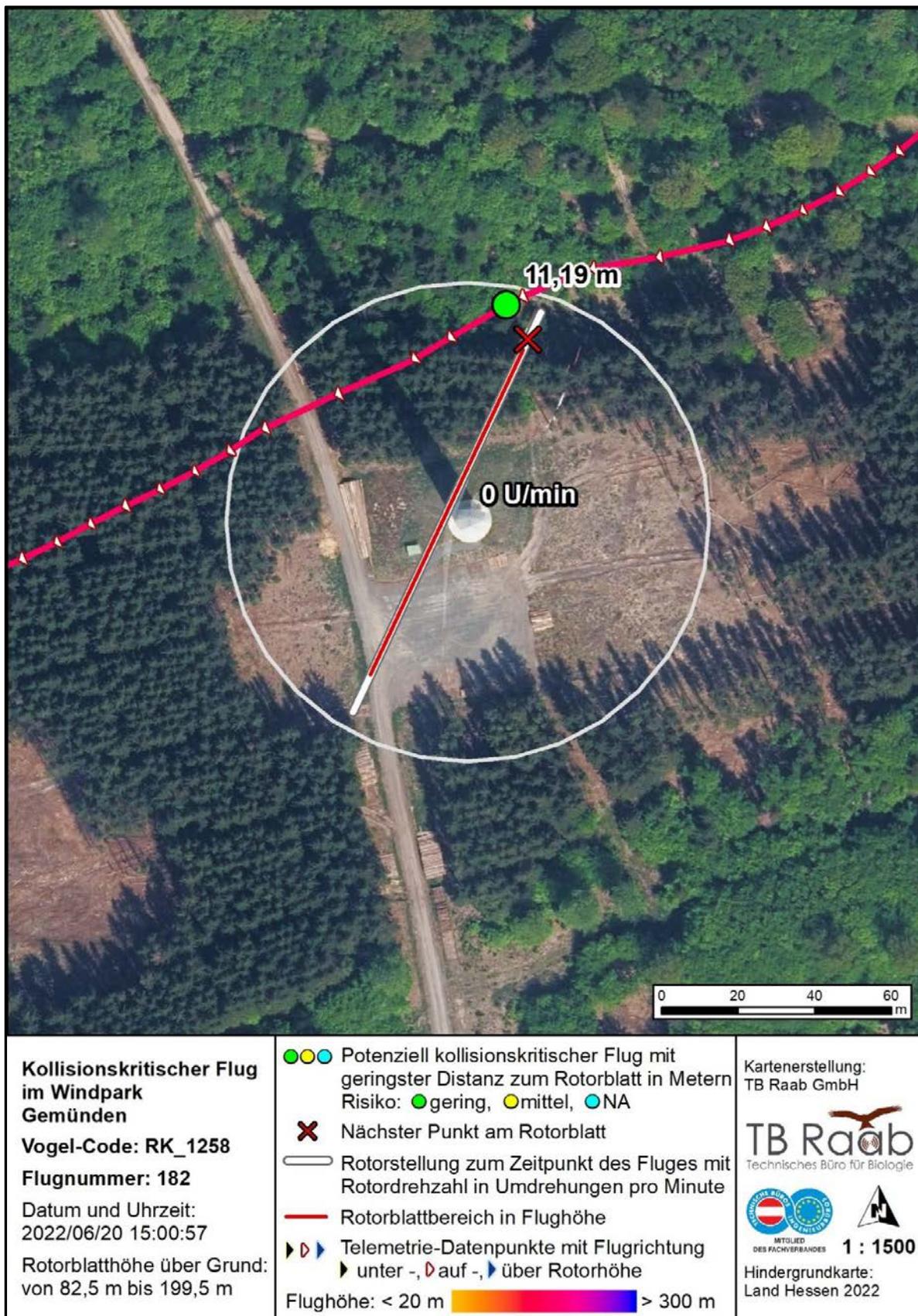
**Abbildung 101:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 23.3.2022 um 13:30 (Flugnummer 165). Der Flug fand in 92 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Es ist anzunehmen, dass der Vogel als Reaktion auf den Rotor abdrehte.



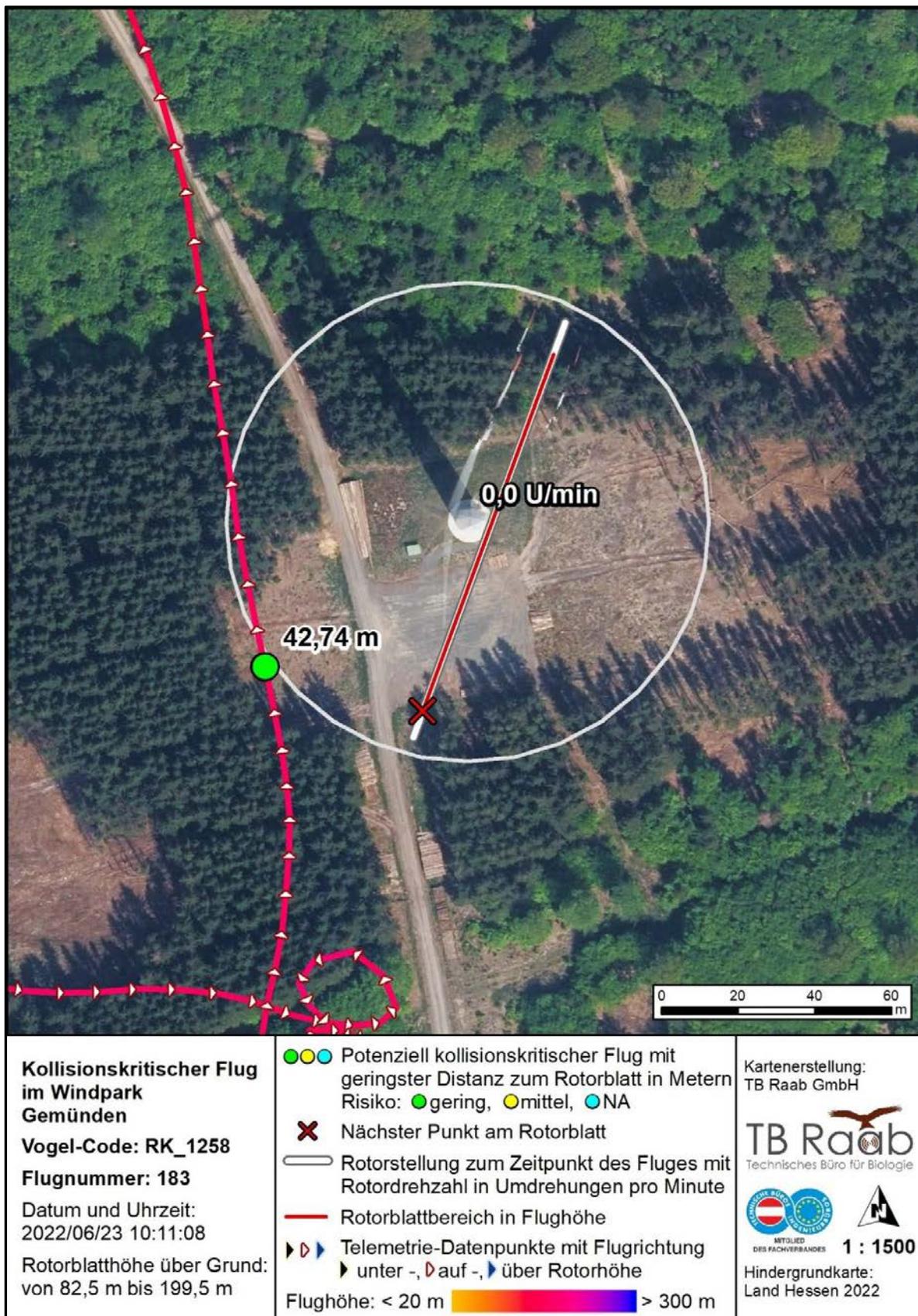
**Abbildung 102:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 27.03.2022 um 13:13 (Flugnummer 166). Der Flug fand in 194 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Es ist anzunehmen, dass der Vogel als Reaktion auf den Rotor abdrehte; gewann an Flughöhe und querte knapp außerhalb des Rotorbereichs.



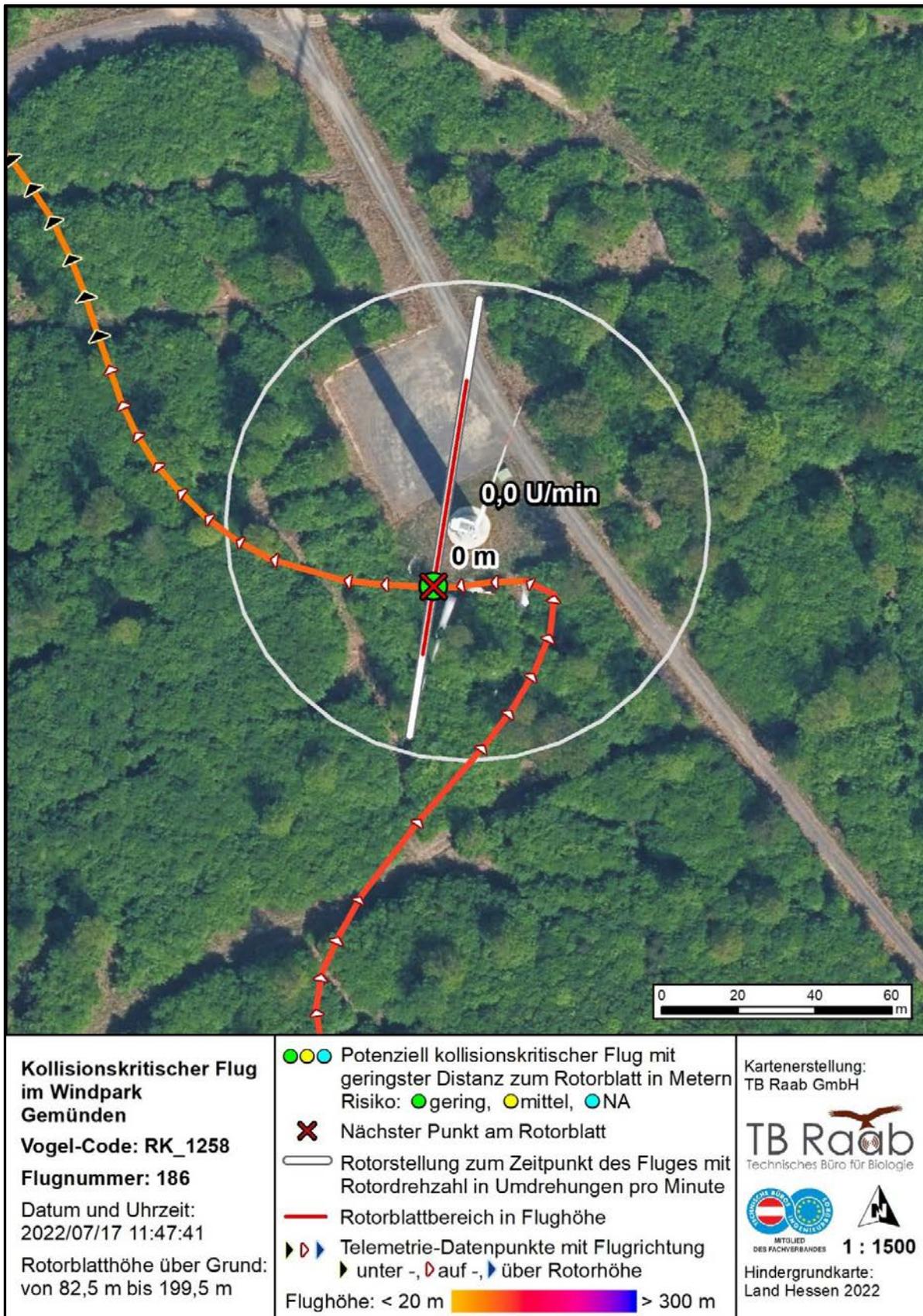
**Abbildung 103:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 02.06.2022 um 12:25 (Flugnummer 179). Der Flug fand in 93 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Vogel umflog den Rotorbereich der stillstehenden Anlage.



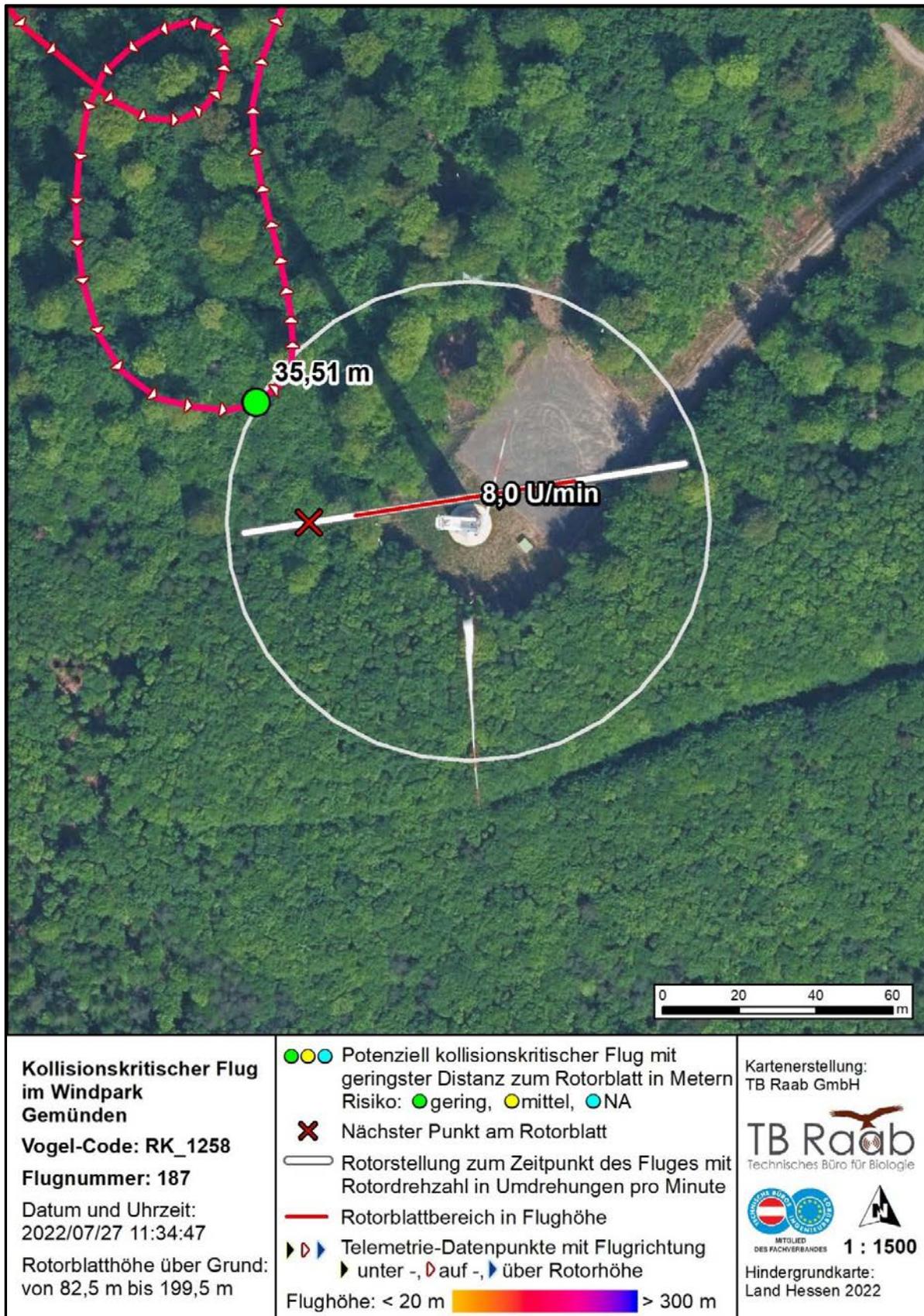
**Abbildung 104:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 20.06.2022 um 15:00 (Flugnummer 182). Der Flug fand in 175 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Vogel umflog den Rotorbereich der stillstehenden Anlage.



**Abbildung 105:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 23.06.2022 um 10:11 (Flugnummer 183). Der Flug fand in 172 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Vogel umflog den Rotorbereich der stillstehenden Anlage.



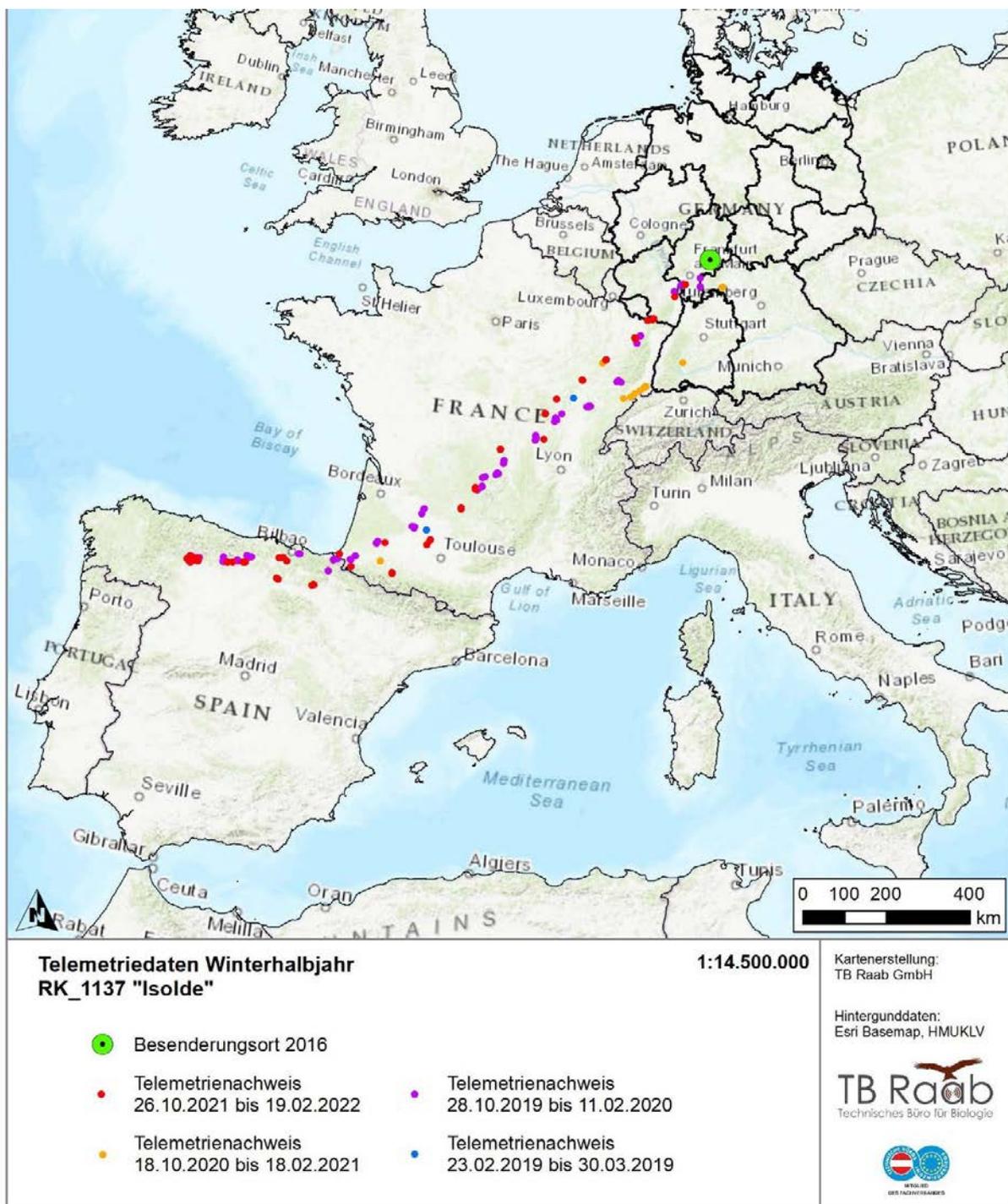
**Abbildung 106:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 17.07.2022 um 11:47 (Flugnummer 186). Der Flug fand in 95 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Vogel durchflog den Rotorbereich der stillstehenden Anlage. Es ist davon auszugehen, dass kein Kollisionsrisiko bestanden hatte.



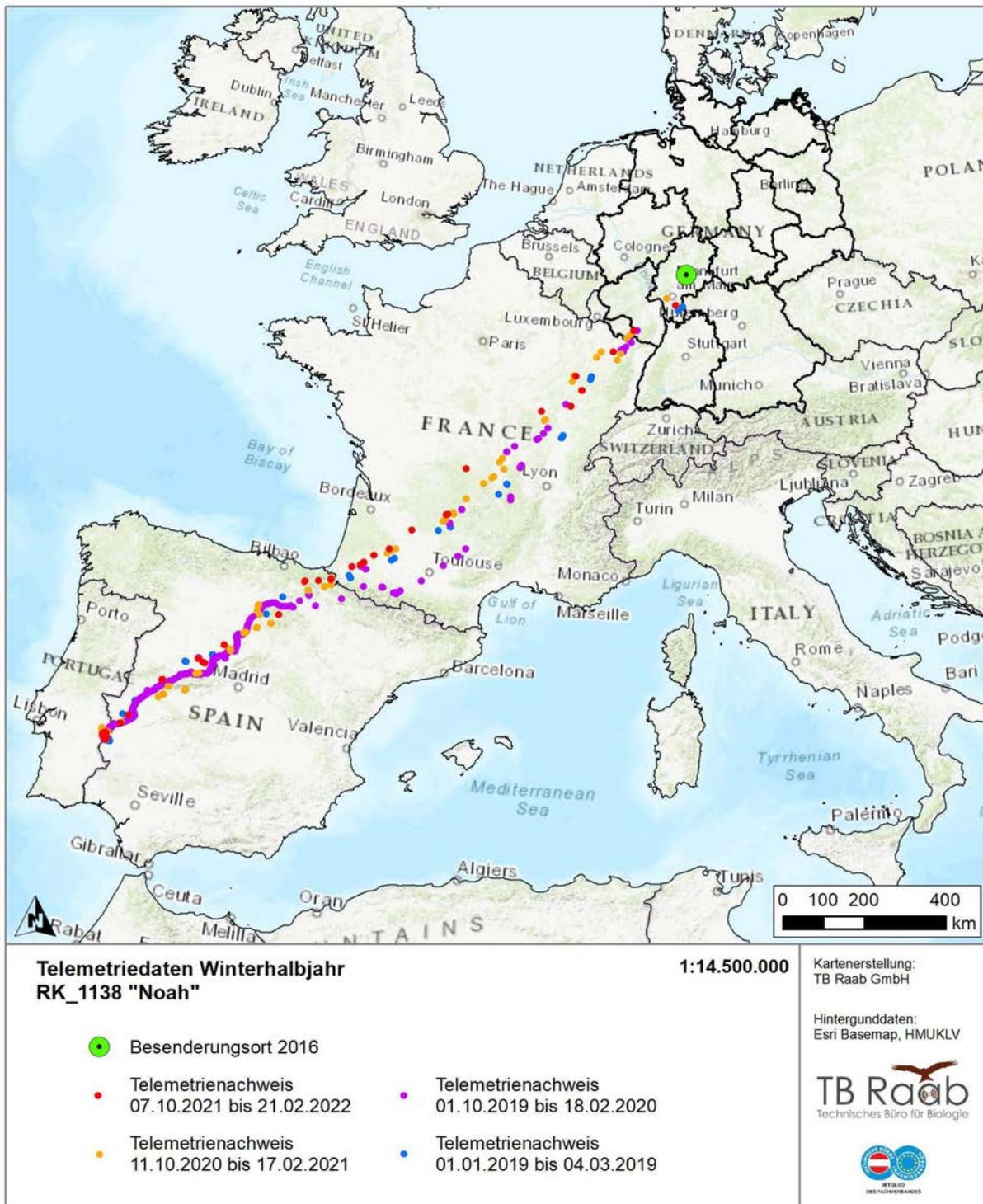
**Abbildung 107:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1258 am 27.7.2022 um 11:34 (Flugnummer 187). Die Rotorunterkante der WEA lag bei 82,5 m, deren Oberkante bei 199,5 m. Der Rotordurchmesser beträgt 117 m (weiß). Der Vogel drehte in 192 m Höhe ab und befand sich somit außerhalb des Gefahrenbereichs.

## 5 Winterhalbjahr 2021/2022

Acht Rotmilane dieser Studie sind während der Wintermonate nach Spanien, Frankreich oder Portugal gezogen und haben somit den Winter nicht in Deutschland verbracht. Kein Rotmilan hat den Winter in Hessen verbracht. Der Zugbeginn dieser Rotmilane (falls nicht vorher verstorben) startete im Oktober (01.10 bis 26.10). Die Wiederkehr nach Deutschland startete frühestens im Februar und spätestens im März (15.02 bis 01.03). Für die einzelnen Zugwege siehe Abbildung 108 bis Abbildung 118.



**Abbildung 108:** Telemetrie-Daten für RK\_1137, „Isolde“ für die Winterhalbjahre Anfang 2019 bis Ende 2022. Zugwege von Deutschland nach Spanien. Aufgrund von Senderproblemen gibt es den ersten Telemetrienachweis erst am 23.2.2019.



**Abbildung 109:** Telemetrie-Daten für RK\_1138, „Noah“ für die Winterhalbjahre Anfang 2019 bis Ende 2022. Zugwege von Deutschland zur Iberischen Halbinsel.



**Abbildung 110:** Telemetrie-Daten für RK\_1244, „Söhrewald\_03“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland nach Spanien.



**Abbildung 111:** Telemetrie-Daten für RK\_1245, „Weiße\_Hütte\_01“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland nach Spanien.



**Abbildung 112:** Telemetrie-Daten für RK\_1246, „Wahmbeck\_01“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland zur Iberischen Halbinsel.



**Abbildung 113:** Telemetrie-Daten für RK\_1258, „Gemünden\_02“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland nach Spanien.



**Abbildung 114:** Telemetrie-Daten für RK\_1277, „Gersrod\_01“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland nach Spanien.



**Abbildung 115:** Telemetrie-Daten für RK\_1285, „Hülshof\_01“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Zugweg von Deutschland an die Grenze von Spanien. Der letzte Telemetrie-Nachweis war am 10.1.2022. Eine Kollision mit einer WEA konnte ausgeschlossen werden.



**Abbildung 116:** Telemetrie-Daten für RK\_1455, „Binaced\_52“ für das Winterhalbjahr 2021 bis 2022. Binaced\_52 wurde in Spanien besendert, daher ist hier nur der Rückweg nach Deutschland zu sehen.

## 6 Diskussion

### 6.1 Aktionsräume der besenderten Rotmilane

#### *Aktionsraumgrößen in Abhängigkeit von Brutzeitphase und Geschlecht*

In der vorliegenden Studie variierte die Größe des Aktionsraumes zwischen den Geschlechtern und nahm mit fortschreitender Brutphänologie zu. Bei der Betrachtung der Brutvögel mit lebendem Nachwuchs lag der Median der Aktionsraumgrößen bei Weibchen zur Balzzeit bei 2,7 km<sup>2</sup> und zur Brutzeit bei 0,4 km<sup>2</sup>, während Männchen mit 6,8 km<sup>2</sup> (Balz) und 6,2 km<sup>2</sup> (Brut) entsprechend größere Flächen nutzten. In der Aufzuchtzeit bestand beim Median mit 4,7 km<sup>2</sup> bei Weibchen zu 9,9 km<sup>2</sup> bei Männchen weiterhin ein großer Unterschied. In der Nachbrutzeit kehrten sich die geschlechterspezifischen Unterschiede um. So zeigten die Männchen mit Aktionsraumgrößen von im Median 8,3 km<sup>2</sup> kleinere Aktionsräume als die Weibchen mit 14,5 km<sup>2</sup>, wobei einzelne weibliche Tiere durch besonders große Aktionsräume auffielen. Auffällig ist zudem die große Varianz der Aktionsräume der Weibchen, wobei die größten Aktionsräume von Weibchen mit lebendem Nachwuchs bei 5.606 ha in der Aufzuchtzeit bzw. 5.829 ha in der Nachbrutzeit auftraten. Wie im nachfolgenden Kapitel zur Raumnutzung in Abhängigkeit zur Horstdistanz genauer ausgeführt, nahm der Anteil an Ortungspunkten im Nahbereich des Horstes für beide Geschlechter in der Nachbrutzeit deutlich ab, weshalb für diese Phase eine geringere Horstbindung festzustellen ist.

Anhand der Aktionsraumgrößen bei weiblichen Brutvögel mit verstorbenem Nachwuchs zeigte sich keine Horstbindung mehr, während männliche Brutvögel während des gesamten Sommerhalbjahres eine starke Revierbindung vorwiesen. So wies der weibliche Rotmilan (Hülshof\_01) einen Aktionsraum von mehr als 1.9 Millionen ha und einen Bereich von nahezu 200.000 ha innerhalb des Minimum-Convex-Polygon (MCP) der Übernachtungspunkte in der Nachbrutzeit des Jahres 2021 auf. Der Nachwuchs dieses Vogels war vermutlich am 4.7.2021 bereits verstorben. Vergleichbares traf ebenfalls für die zwei weiblichen Milane RK\_1244 (Söhrewald\_03) und RK\_1245 (Weiße\_Hütte\_01) in der Aufzuchtzeit und Nachbrutzeit im Jahr 2022 zu, allerdings in deutlich abgeschwächter Form. Betrachtet man die acht nicht erfolgreichen Bruten (drei von drei Weibchen, vier von zwei Männchen, einmal war das Geschlecht des Rotmilans unbekannt), bei denen der Nachwuchs vor Ende der Nachbrutzeit verstorben war, so war die Aktionsraumgröße der Weibchen mit 203 km<sup>2</sup>, 4.873 km<sup>2</sup> und 19.032 km<sup>2</sup> in der Nachbrutzeit (AKDE 95 %) um ein Vielfaches größer als bei den Männchen mit 4 km<sup>2</sup>, 6 km<sup>2</sup>, 8 km<sup>2</sup> und 11 km<sup>2</sup>. Es bestand somit bei Weibchen mit verstorbenem Nachwuchs im Gegensatz zu Männchen neben dem Wegfall der Horstbindung auch keine Revierbindung nach dem Verlust des Nachwuchses.

Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen frühere Erkenntnisse bezüglich geschlechterspezifischer und brutphasenabhängiger Aktionsräume (vgl. WALZ (2008), MAMMEN (2013), GSCHWENG *et al.* (2014), PFEIFFER & MEYBURG (2015 und 2021), HEUCK *et al.* (2019), SPATZ *et al.* (2019), KLEIN *et al.* (2021)). So fanden WALZ (2008) bei zwei nebeneinander brütenden Paaren in Baden-Württemberg und SPATZ *et al.* (2019) für 13 hessische Brutvögel heraus, dass sich männliche Brutvögel des Rotmilans von der Phase der Revierbesetzung bis zum Ende der Brut weiter vom Horst entfernen als Weibchen. Für die Aufzuchtzeit lieferten frühere Studien teils unterschiedliche Ergebnisse, was anhand der großen Streuung der Daten für die Aufzuchtzeit in der vorliegenden Studie nachvollziehbar wurde. Generell waren die

Aktionsräume der bei HEUCK *et al.* (2019) betrachteten Rotmilane größer als in den anderen untersuchten Phasen. Während HEUCK *et al.* (2019) von einer geringen Horstbindung in der Nachbrutzeit ausgingen, zeigten SPATZ *et al.* (2019) eine starke Horstbindung über das gesamte Sommerhalbjahr, d.h. bis September.

Zwischen Landnutzung (Acker, Grünland, Wald, Grenzlinienanteil der landwirtschaftlichen Parzellen) und Aktionsraumgröße (AKDE 95%) konnte in der vorliegenden Studie kein statistisch signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. PFEIFFER & MEYBURG (2015) stellten einen Zusammenhang zwischen Aktionsraumgröße und Nahrungsverfügbarkeit bzw. Habitatqualität fest. Andere Studien (vgl. MERCKER *et al.* 2023 und MERCKER *et al.* 2024 (in Vorbereitung) zeigen einen Einfluss der Landnutzung auf die Raumnutzung des Rotmilans, welche in unterschiedlichen Aktionsraumgrößen in Abhängigkeit vom Habitat resultiert. In der aktuellen Studie war der AKDE 95 % für die verschiedenen Vogeljahre der am gleichen Standort brütenden Individuen durch starke jährliche Schwankungen gekennzeichnet, während die verwendeten Landnutzungskategorien (Grünland, Ackerland, Wald und Grenzlinienanteil der landwirtschaftlichen Parzellen) über die ausgewerteten Jahre plausibel als konstant angenommen werden konnten. So nutzte der Rotmilan Isolde in der Aufzuchtzeit 1.231 ha (2019), 514 ha (2020), 222 ha (2021) bzw. 5.606 ha (2022). Besonders große jährliche Schwankungen der Aktionsraumgrößen zeigten sich bei Isolde auch in der Nachbrutzeit. Die Aktionsraumgrößen der Männchen waren im Jahresvergleich deutlich stabiler als jene der Weibchen.

Der Anteil der Ortungspunkte im Flug (> 10 km/h) war für den Zeitraum von der Balz bis zum Ende der Aufzuchtphase bei Weibchen mit 15,2 % deutlich geringer als bei den männlichen Brutvögeln (42,2 %). In der Nachbrutzeit fiel der Unterschied deutlich kleiner aus (17,6 % w & 23,6 % m). PFEIFFER & MEYBURG 2022 ermittelten für März bis Oktober insgesamt 36 % Flugaktivität bei den Männchen und 19 % bei den Weibchen.

#### *Raumnutzung in Abhängigkeit zur Horstdistanz*

In der vorliegenden Studie wurden die räumliche Verteilung der Ortungspunkte in Abhängigkeit von Horstdistanz, Phase der Brutphänologie und Geschlecht untersucht, wobei auch die Originaldaten aus HEUCK *et al.* (2019) aus dem Zeitraum von 2016 bis 2022 einbezogen wurden. Im Zeitraum von der Balz bis zum Ende der Aufzuchtzeit (ab 15. März bis 30. Juni) wurden die ausgewerteten Vögel durchschnittlich zu 74 % im 1.000 m Radius um den Horststandort verortet, davon die sechs weiblichen Brutvögel durchschnittlich zu 89 %, die sieben männlichen Vögel zu 60 %. Grundsätzlich war der Anteil der Ortungspunkte innerhalb des 1.000 m Radius um den Horst in der Nachbrutzeit deutlich geringer (48,4 % bei Weibchen und bei 36,7 % bei Männchen). Zudem wurden für die Rotmilane in der jeweils betrachteten Brutphänologie deutlich über 90 % ihrer Ortungspunkte in einem Radius von 3.500 m um den Horst verortet. Dies bestätigt die Ergebnisse aus HEUCK *et al.* (2019). Ältere Studien von HAGGE *et al.* (2003), MAMMEN *et al.* (2010) und NACHTIGALL & HEROLD (2013) zeigten Anteile der Aufenthaltsdauer im 1 km Radius im Bereich von 60 %.

**Tabelle 31:** Relativer Anteil [%] der 5 min-Ortungen (100 m Radius um den Horst ausgenommen) innerhalb der jeweiligen Distanzen zum Horst, nach Brutphänologie sowie Geschlecht. Es wird das nach der jeweiligen Tagesanzahl der Phasen gewichtete Mittel dieser Prozentsätze über die ersten drei Phasen (15. März bis 30. Juni) sowie jener Wert für die Nachbrutzeit (1. Juli bis 30. September) gezeigt. Dargestellt ist die Gesamtschau der vorliegenden Datenlage inklusive der Telemetriedaten der besenderten Rotmilane (Noah, Isolde, Max & Tristan) aus HEUCK *et al.* (2019); in Klammer der relative Anteil ausschließlich ermittelte über jene Rotmilane; Balz 15. März bis 14. April, Brut bis 19. Mai, Aufzucht bis 30. Juni, Nachbrut bis 30. September. Es wurden keine Phasen berücksichtigt, in denen der Nachwuchs verstorben war.

<b>15. März bis 30. Juni</b>		Geschlecht	500 m	1.000 m	1.200 m	1.500 m	2.000 m	3.500 m
alle Ortungspunkte	Männchen	46% (37%)	60% (66 %)	66% (79%)	75% (90%)	86% (95%)	99% (99%)	
	Weibchen	56% (79%)	89% (90%)	91% (93%)	95% (97%)	97% (99%)	98% (1)	
	Mittelwert	51% (58%)	74% (78%)	78% (86%)	85% (93%)	91% (97%)	98% (1)	
alle Ortungspunkte (außer 100 m Horst)	Männchen	27% (28%)	46% (61%)	54% (76%)	66% (89%)	81% (95%)	98% (99%)	
	Weibchen	29% (47%)	82% (74%)	86% (81%)	92% (92%)	95% (97%)	98% (1)	
	Mittelwert	28% (38%)	64% (68%)	70% (78%)	79% (90%)	88% (96%)	98% (1)	

<b>1. Juli bis 30. Sept.</b>		Geschlecht	500 m	1.000 m	1.200 m	1.500 m	2.000 m	3.500 m
alle Ortungspunkte	Männchen	19% (18%)	37% (48%)	45% (61%)	59% (76%)	79% (87%)	94% (91%)	
	Weibchen	23% (34%)	48% (53%)	57% (70%)	72% (81%)	90% (93%)	95% (96%)	
	Mittelwert	21% (26%)	43% (51%)	51% (66%)	65% (79%)	84% (90%)	94% (94%)	
alle Ortungspunkte (außer 100 m Horst)	Männchen	14% (14%)	33% (46%)	42% (59%)	56% (75%)	78% (86%)	93% (91%)	
	Weibchen	14% (18%)	43% (41%)	52% (62%)	69% (77%)	89% (91%)	94% (95%)	
	Mittelwert	14% (16%)	38% (43%)	47% (61%)	62% (76%)	83% (89%)	94% (93%)	

## 6.2 Flugaktivität und Flughöhe im Tages- und Jahresverlauf

Die Auswertung bezüglich der Flugaktivität brütender hessischer Rotmilane kam zu nahezu identischen Ergebnissen wie HEUCK *et al.* (2019). So zeigte sich in beiden Studien, dass die Flugaktivität (Zeit, in der sich der Rotmilan > 10 km/h bewegte) im Tagesverlauf bis zu den Mittagsstunden zunahm und anschließend wieder abfiel. Die Flugaktivität fand im Wesentlichen im Zeitraum von 9 bis 19 Uhr statt und wies besonders hohe Anteile im Zeitraum von 13 bis 16 Uhr auf. Die Tagesphänologie ähnelt einer Glockenkurve mit nur sehr geringer Flugaktivität im Zeitraum von 21 bis 5 Uhr. Über den Jahresverlauf zeigten sich verringerte Flugaktivitäten während der Brut und insbesondere in der Nachbrutzeit und demgegenüber ein vermehrtes Flugaufkommen während der Balzzeit und der Aufzuchtzeit. Über die Brutphasen hinweg gab es im tageszeitlichen Verlauf hinsichtlich der Flugaktivität kaum Unterschiede. Die Boxplots der Flughöhenverteilung im Tagesverlauf zeigen in den Morgenstunden (bis 8 h) rund 90 % der Flugaktivität unter 100 m Flughöhe. Sowohl der Median als auch die Streuung der Flughöhen nahmen von 9 bis 16 Uhr zu und fielen anschließend bis 19 Uhr ab. Die Unterschiede bei der tageszeitlichen Abhängigkeit der Flughöhe für die vier Brutphasen waren äußerst gering. Bei PFEIFFER & MEYBURG (2022) war in den Mittagsstunden die Flugzeit, wie in der vorliegenden Studie, am höchsten und erreichte bei den Männchen je nach Brutzeitphase 30 % bis 80 %. Im Gegensatz zu den Weibchen verbrachten sie etwa die zweieinhalbfache Zeit fliegend.

### 6.3 Flugverhalten & Aktionsraumgröße in Abhängigkeit von Wetter & Geländeform

#### *Einfluss der Windgeschwindigkeit auf Flugaktivität und Flughöhe*

Bei Windstille auf **Gondelhöhe** wurde nur bei etwa 10 % der Ortungspunkte geflogen. Bei Windgeschwindigkeiten zwischen 1 m/s und 11 m/s auf Gondelhöhe lag der Anteil der Ortungspunkte im Flug zwischen 23 und 26 %. Es gab bei höheren Windgeschwindigkeiten Ausreißer nach oben und unten, allerdings traten diese Windgeschwindigkeiten nicht oft genug auf, um daraus abschließende Schlussfolgerungen ziehen zu können ( $n < 1.000$ ). Am häufigsten kamen Windgeschwindigkeiten auf Gondelhöhe im Bereich von 2 bis 6 m/s vor. Die Windgeschwindigkeit auf **Bodenhöhe** schien für die Entscheidung des Vogels, ob er fliegt oder nicht, besonders bedeutsam. So nahm die Flugaktivität mit der Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe von ca. 8 % bei Windstille (0 bis 1 m/s) auf ca. 25 % bei 2 bis 3 m/s und danach weiter auf 35 % zu. Bei den Windgeschwindigkeiten auf Bodenhöhe lässt sich ein klarer Trend erkennen, dass der Anteil der Flugaktivität mit zunehmender Windgeschwindigkeit ansteigt, während bei Windgeschwindigkeiten auf Gondelhöhe der Anteil relativ konstant bleibt. Dies deckt sich mit der aktuellen Studienlage. Die Ergebnisse von FIEDLER & SCHARF (2021) zeigten bei Windgeschwindigkeiten auf Bodenhöhe (DWD-Daten) um 3 bis 4 m/s die größte Dichte an Ortungspunkten, somit insgesamt gesehen die meiste Flugaktivität, während der Anteil der Flugaktivität an den Ortungspunkten bei Windgeschwindigkeiten im Bereich von 0 bis 6 m/s kontinuierlich zunahm und darüber hinaus aufgrund der geringen Datenlage keine eindeutige Aussage möglich war. PFEIFFER & MEYBURG (2022) haben festgestellt, dass bei einer Zunahme der Windgeschwindigkeit um 2 m/s gemessen in 10 m über Grund (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) die Flugaktivität um rund 8 % zugenommen hat. Bei HEUCK *et al.* (2019) zeigte sich nur ein geringer Einfluss der Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe hinsichtlich der Flugaktivität. Lediglich im Bereich von Windstille bis ca. 2,5 m/s kam es zu einer Zunahme der Flugaktivität mit zunehmender Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe.

Für den Anteil der Ortungspunkte im Flug über 80 m Höhe über Grund war folgender Trend zu erkennen: Bei Windstille auf Gondelhöhe lag der Anteil der Flüge über 80 m bei rund 15 % und stieg bis zu einer Windgeschwindigkeit (Gondelhöhe) von 2 m/s auf über 30 % an. Mit weiter zunehmender Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe nahm der Anteil der Flugbewegungen über 80 m kontinuierlich auf ca. 15 % bei 9 m/s ab. Die absolute Anzahl an Flugbewegungen über 80 m Höhe war bei 3 m/s am höchsten und nahm dann kontinuierlich ab, wobei über 11 m/s nur noch wenige ( $n < 1.000$ ) Flüge über 80 m Höhe vorkamen. Demgegenüber zeigte die ergänzend ausgewertete Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe einen deutlich größeren Unterschied für den Anteil der Flugpunkte über 80 m zwischen Windstille (0 bis 1 m/s) und Zeiträumen mit Wind. So flogen die Rotmilane bei Windstille in nur ca. 5 % der Flugzeiten über 80 m hoch. Der Anteil der Zeiten mit Windstille war aber äußerst gering, weshalb dies absolut nur eine untergeordnete Rolle spielte und der Effekt des abnehmenden Anteils der Flugaktivität mit zunehmender Windgeschwindigkeit tendenziell überwog. Bei Windgeschwindigkeiten von 2 m/s stieg der Anteil auf rund 25 % an. Mit weiter zunehmender Windgeschwindigkeit auf Bodenhöhe nahm der Anteil der Flugbewegungen über 80 m kontinuierlich auf ca. 20 % bei 7 bzw. 8 m/s ab. Zudem kam es laut PFEIFFER & MEYBURG (2022) bei einer Zunahme der Windgeschwindigkeit um 1 m/s zu einer Abnahme der durchschnittlichen Flughöhe beim Rotmilan um nahezu 10 %. Auch FIEDLER & SCHARF

(2021) stellten einen Rückgang der durchschnittlichen Flughöhe des Rotmilans bei höheren Windgeschwindigkeiten auf Bodenhöhe (DWD-Daten) fest.

Das HMUKLV und das HMWEVW führten 2020 eine vertiefende Datenauswertung der Flughöhen und Windstärken bei WEA durch, basierend auf der Datengrundlage von HEUCK *et al.* (2019). Die vertiefende Auswertung der 5 Minuten-Datensätze ergab, dass oberhalb von ca. 80 m die Flugaktivität mit höheren Windgeschwindigkeiten auf Gondelhöhe abnahm. In der vorliegenden Studie zeigt eine an diese Auswertungen des HMUKLV / HMWEVW (2020) angelehnte Perzentil-Analyse der windabhängigen Flughöhen des Rotmilans ebenfalls einen deutlichen, kontinuierlichen Abfall der Flughöhe mit zunehmender Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe im Bereich von 2 m/s bis ca. 10 m/s. Für das 85 %-Perzentil zeigt sich diese Abnahme in einem Rückgang von 150 m auf 100 m. Wird das 95 %-Perzentil herangezogen, so nimmt die Flughöhe mit ca. 275 m bei 2 m/s auf 150 m bei ca. 10 m/s ab. Die Ergebnisse der vertiefenden Datenauswertung der Flughöhen und Windstärken des HMWEVW (2020) wurden durch die vorliegende Studie bestätigt.

#### *Einfluss von Sonnenscheindauer, Temperatur, Niederschlag und Luftschichtung auf Flugaktivität und Flughöhe*

Mit zunehmender Temperatur auf Bodenhöhe und Sonnenscheindauer stieg die Flugaktivität des Rotmilans an. Bei Temperaturen unter null Grad Celsius (°C) auf Bodenhöhe war der Anteil an Ortungspunkten im Flug mit rund 10 % deutlich niedriger, als im Bereich von 5 °C bis 15 °C mit Werten um 15 % und nimmt bis ca. 30 °C auf rund 35 % weiter zu. Der übliche Wertebereich der Temperatur im Sommerhalbjahr lag für die erfassten Datensätze im Bereich von 10 °C bis 25 °C, während Werte unter 0 °C und über 30 °C kaum vorkamen. Betrachtet man den Effekt der Sonnenscheindauer auf die Flugaktivität, so betrug der Anteil der Flugpunkte an den Ortungspunkten bei keinem Sonnenschein rund 10 %, während bei durchgängigem Sonnenschein rund 30 % der Punkte im Flug erfasst wurden. Für die Luftschichtungsklassen „stabil“ und „sehr stabil“ zeigte sich bei den besenderten Rotmilanen kaum Flugaktivität. In einem Großteil der Zeit gab es keinen Niederschlag, wenn jedoch Niederschlag vorherrschte, dann gab es deutlich weniger Flugaktivität (weniger als die Hälfte) bei den besenderten Brutvögeln des Rotmilans. Ein kontinuierlicher Effekt mit ansteigender Niederschlagsmenge [mm/h] konnte nicht festgestellt werden. Niederschlag führte somit generell zu einem starken Rückgang der Flugaktivität. HEUCK *et al.* (2019) argumentierten, dass Sonnenscheindauer, Temperatur auf Gondelhöhe sowie eine labile Luftschichtung die Entstehung von guter Thermik begünstigen können und dies einen positiven Einfluss auf die Flugaktivität des Rotmilans haben könnte. Tatsächlich konnte in dieser Studie ebenfalls ein deutlich positiver Einfluss der Sonnenscheindauer (27,4 % Anteil an erklärter Varianz / Effektstärke 0,32) und der Temperatur (10 % Anteil an erklärter Varianz / Effektstärke 0,20) auf die Flugaktivität des Rotmilans festgestellt werden. Die Luftschichtungsklassen „sehr stabil“ und „stabil“ führten zu einem Rückgang der Flugaktivität.

Während in der Studie von HEUCK *et al.* (2019) 12,3 % an der Varianz der Flugaktivität über die Wetter- und Geländedaten erklärt werden konnten, kommt das um die Horstdistanz erweiterte Modell der aktuellen Studie mit größerer Stichprobe an Telemetriedaten auf 20,2 %. Die insgesamt geringen Anteile an der erklärten Varianz der verwendeten Modelle bei gleichzeitig relevanten Erkenntnissen aus den grafischen Auswertungen legten nahe, dass es weitere entscheidende Einflussgrößen gab, die nicht in der Modellierung abgebildet wurden,

so z.B. nicht lineare Effekte und das unterschiedliche individuelle Verhalten. Ergebnisse dieser Studie zur Flugaktivität und der Flughöhe legten nahe, dass es sich beispielsweise auch um das Geschlecht des Vogels und die Brutphasen sowie Unterschiede zwischen den Jahren handeln könnte. Um die Vergleichbarkeit mit HEUCK *et al.* (2019) zu gewährleisten, wurde für diese Studie dessen Methodik größtenteils beibehalten und nur leicht adaptiert (z.B. durch Ergänzung der Horstdistanz als Parameter in den Modellen). Grundlegende Änderungen, wie die Modelltypen, wurden jedoch vermieden.

Das statistische Modell (LGM) zur Analyse der kontinuierlichen Flughöhe zeigt, dass ein vernachlässigbarer linearer Zusammenhang zwischen der Flughöhe und den untersuchten Parametern vorliegt ( $\text{marginal } R^2 = 0,069$ ). Demgegenüber weist das Modell zur kategorisierten Flughöhe (GLGM) mit einem Anteil von 13,5 % der durch die Umweltparameter erklärten Varianz (Wetterparameter, Horstdistanz, Hanglage) einen höheren Anteil auf. Verglichen mit HEUCK *et al.* (2019) verbesserte sich der Erklärungsbeitrag beider Modelle deutlich (dort 2,1 % bzw. 3,3 %). Insbesondere die Parameter Sonnenscheindauer (25,32 %), Temperatur (18,18 %) und Horstdistanz (17,40 %) haben einen hohen Anteil an der durch die Umweltparameter im GLGM-Modell erklärten Varianz. Diese drei Parameter zeigen eine signifikante ( $p < 0,001$ ) Zunahme der Fluganteile über 80 m Höhe mit steigender Temperatur / Sonnenscheindauer / Horstdistanz. Für die drei genannten Parameter Sonnenscheindauer, Temperatur und Horstdistanz, die einen ausgeprägten Effekt auf den Anteil der Flugaktivität auf potentieller Rotorhöhe aufweisen, zeigte sich ebenfalls ein gleichgerichteter Effekt auf den Anteil an Ortungspunkten im Flug. Somit verstärken sich die Auswirkung auf die Flugaktivität und die Flughöhenverteilung für diese drei Parameter wechselseitig. Der im Vergleich zu HEUCK *et al.* (2019) größere Erklärungsbeitrag von Sonnenscheindauer und Temperatur kann in der vorliegenden Studie durch die größere Anzahl an Individuen und einer größeren Abdeckung unterschiedlicher Naturräume mit der Folge einer größeren Temperaturspanne erklärt werden. Ein weiterer Grund für die besseren Erklärungsbeiträge ist in der Hinzunahme der Horstdistanz begründet, weil diese dazu beiträgt die kausalen Zusammenhänge realistischer abzubilden und somit die Modellqualität insgesamt zu verbessern. Zudem trägt die Standardisierung der Temperatur auf eine Höhe von 2 m über Grund zu einer verbesserten Aussagekraft bei, weil eine konsistente Datenlage die kausalen Zusammenhänge mit größerer statistischer Sicherheit erkennbar macht, indem das Rauschen reduziert wird. Rauschen bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die Varianz in den Daten, die nicht durch die Modellparameter erklärt werden kann.

FIEDLER & SCHARF (2021) zeigten, dass zwischen Flugaktivität und Lufttemperatur auf Bodenhöhe ein geringer positiver Zusammenhang bestand, wobei sich zwischen Flugaktivität und Niederschlagsmenge ein negativer Zusammenhang ergab. Bei höherer Lufttemperatur auf Bodenhöhe war die Flughöhe über dem Boden höher, bei höheren Niederschlagswerten und stärkerem Wind war diese niedriger. Entsprechend PFEIFFER & MEYBURG (2022) wirkte sich bei den Männchen eine höhere Windgeschwindigkeit negativ auf die Flughöhe aus, eine längere Sonnenscheindauer hatte jedoch einen positiven Einfluss auf deren Flughöhe.

#### *Einfluss der Entfernung zum Horst auf die Flugaktivität und die Flughöhe*

Mit zunehmender Entfernung zum Horststandort nimmt der Anteil der Ortungspunkte im Flug an allen Ortungspunkten (Flugaktivität) bei den besenderten Rotmilanen deutlich zu. So beträgt der Anteil der Ortungspunkte im Flug bis 200 m Distanz zum Horst nur ca. 5 %

(N = 56.000), während im Bereich von 200 m bis 2.000 m dieser Wert bei rund 25 % (N zwischen 10.000 und 20.000 für jedes 200 m Intervall) liegt und für den Bereich von 2.000 m bis 3.000 m (N = nimmt von 10.000 auf 1.000 ab) und 3.000 m bis 5.000 m (N < 1000) zwischen 25 % und ca. 50 %, bei durchschnittlich rund 40 %, liegt.

In den beiden Modellen zur Flughöhe zeigte sich die Horstdistanz als bedeutender Parameter, wobei der Anteil der Ortungen im Flug mit einer Höhe von über 80 m ebenfalls deutlich zunahm. Dabei befanden sich nur rund 5 % der Flugpunkte innerhalb von 200 m um den Horst in einer Höhe über 80 m, während im Bereich von 200 bis 2.000 m rund 20 % erreicht wurden. Darüber hinaus nahm die Flugaktivität weiter zu und erreicht im Folgenden ca. 40 %. Absolut gesehen fanden die meisten Flüge über 80 m Höhe im Bereich von 400 m bis 2.000 m um den Horst statt. Je weiter sich der Rotmilan vom Horst entfernt, desto mehr Ortungspunkte werden im Flug aufgezeichnet und desto höher werden diese Ortungen erfasst, allerdings nimmt auch die absolute Flugaktivität mit der Entfernung zum Horst deutlich ab. Bei PFEIFFER & MEYBURG (2022) wird der Unterschied der Flughöhen mit verschiedenen Verhaltenskontexten auf unterschiedlichen Höhen erklärt: während niedrige Flughöhen zwischen 5 m und 60 m für die Futtersuche genutzt werden, werden hohe Flughöhen zur Orientierung sowie zum Energiesparen bei Flügen über weite Distanzen bevorzugt.

#### *Einfluss der Wetterparameter auf die Aktionsraumgröße*

Betrachtet man den Zusammenhang zwischen Aktionsraumgröße und Wetterparametern, so kam die vorliegende Studie mit zu HEUCK *et al.* (2019) vergleichbaren Ergebnissen. In beiden Studien erwies sich die Temperatur (im vorliegenden Fall auf Bodenhöhe, bei HEUCK *et al.* (2019) auf Gondelhöhe) als signifikanter Faktor, wobei der Erklärungswert des Modells durch die Umweltvariablen (marginal  $R^2$ ) von 4,2 % bei HEUCK *et al.* (2019) in der vorliegenden Studie auf 17,5 % zugenommen hat. Auch in der Studie von FIEDLER & SCHARF (2021) waren die Tagesaktionsräume mit zunehmenden Temperaturen auf Bodenhöhe größer, wobei dort ebenfalls ein positiver Effekt auf die Aktionsraumgröße mit zunehmender Windgeschwindigkeit und ein negativer Effekt bei Niederschlag festgestellt wurden. In der Studie von PFEIFFER & MEYBURG (2015) wurde der Unterschied der Aktionsraumgrößen unter anderem mit der Nahrungsverfügbarkeit erklärt. Dort wurde eine negative Korrelation der Aktionsraumgröße mit dem Ernährungszustand der Jungvögel festgestellt.

#### *Flugaktivität und Anteil auf Rotorhöhe*

Auf Rotorhöhe moderner Windkraftanlagen (80 m bis 250 m) wurden zwischen 24,95 % (Brutzeit) und 16,00 % (Nachbrutzeit) der Ortungspunkte im Flug aufgenommen, wobei insgesamt 19,06 % der Ortungspunkte im Flug im Bereich von 80 bis 250 m verortet wurden. Bei HEUCK *et al.* (2019) wurde ein Wert von 19,9 % erhoben wobei, wie in der vorliegenden Studie, barometrische Höhenmessungen von Brutvögeln in Hessen verwendet wurden. Bei MERCKER *et al.* (2023) ergibt sich ein Anteil von 17,4 % auf Basis von GPS-Sekundendaten; dieser beinhaltet neben Brutvögeln auch Daten von Jungvögeln und Nichtbrütern. PFEIFFER & MEYBURG 2022 ermittelten für Männchen mit 23,8 % und Weibchen mit 14 % geschlechter-spezifische Werte. Insgesamt ergibt sich somit hinsichtlich der Flughöhenverteilung in den angeführten Studien ein vergleichbarer Wertebereich für die Flughöhenverteilung bei inhomogener Methodik.

## 6.4 Einfluss der Landnutzung auf das Flugverhalten

Entsprechend HEUCK *et al.* (2019) nutzte der Rotmilan auch in der aktuellen Studie Offenland tendenziell öfter als bewaldete Flächen. Grünlandbereiche wurden mit Ausnahme des März gegenüber Ackerflächen bevorzugt, wobei gerade in den Monaten März bis Mai die Unterschiede zwischen den Landnutzungstypen nur gering waren, während sie von August bis September besonders groß waren. Entsprechend den Ergebnissen verbrachten die Rotmilane mehr Zeit auf Grünland als auf Ackerflächen und die Flugaktivität über Ackerflächen war zugleich höher, als über Grünland, während bei Wald nicht nur weniger Zeit verbracht wurde, sondern auch weniger geflogen wurde.

Über Grünland wurde etwas höher geflogen als über Ackerland, während über Wald und in großer Distanz zum Horst besonders hoch geflogen wurde. Insgesamt war die erklärte Varianz mit zwei bis sieben Prozent aber in allen drei (generalisierten) linearen gemischten Modellen (GLGM Flugaktivität, LGM Flughöhe und GLGM Flughöhe) sehr gering. Anhand der Verteilung der Flughöhen in Abhängigkeit vom Landnutzungstyp ist deutlich erkennbar, dass die mittlere Flughöhe des Rotmilans über Acker- und Grünland niedriger war als im Siedlungsbereich, der Unterschied zu Waldbereichen hingegen besonders groß war. Der Anteil der Flugaktivität im 80 bis 250 m Bereich lag über Ackerflächen und Grünland mit 17,5 % bzw. 17,8 % unter dem Durchschnittswert von 19,1 %, der Wert für Wald mit 20,0 % leicht darüber, über Siedlungsgebiet mit 27,2 % deutlich darüber. Im Zusammenspiel mit der deutlichen Meidung von Waldflächen (Jakobsindex 0,7 im Vergleich zu 1,2 bzw. 1,3 für Acker und Grünlandflächen) ergeben sich in Summe für den Rotmilan deutlich weniger Flüge auf Rotorhöhe für Waldstandorte. FIEDLER & SCHARF (2021) ermittelten ebenfalls, dass der Rotmilan über Siedlungen und Wäldern höher flog als über Grünland und Ackerland. Die individuelle wie auch intraindividuelle Varianz war groß und die durch Wetter- und Landschaftsvariablen erklärte Varianz im Flugverhalten war generell gering. Basierend auf statistischen Analysen einer hohen Anzahl an Tracking-Daten zeigten MERCKER *et al.* (2023), dass die Landnutzung sowie das Habitat beim Rotmilan eine wichtige Rolle für die Nutzungsintensität spielen. Es wurde ebenfalls eine Bevorzugung von Grünland sowie eine geringere Nutzung von Wald ermittelt (vgl. MERCKER *et al.* 2023).

## 6.5 Flugverhalten im Umfeld des Windparks

### *Wetterereignisse während der Flugereignisse in Windpark-Geofences (1.000 m um WEA)*

Bei HEUCK *et al.* (2019) wurden bei hohen Temperaturen im Gondelbereich, hoher Sonnenscheindauer und einer labilen Luftschichtung überproportional viele Ortungspunkte im Windpark-Geofence im Vergleich zur sonstigen Raumnutzung aufgenommen. Da diese Faktoren Zeigerwerte für gute Thermik sind, wurde von HEUCK *et al.* (2019) angenommen, dass die Milane bei guter Witterung größere Distanzen zurücklegen und damit eher in die Windparks gelangen. Diese Interpretation baute darauf auf, dass die Windpark-Geofences alle in größerer Entfernung zu den Horsten lagen. Um die Schlussfolgerungen von HEUCK *et al.* (2019) zu validieren, wurde die Methode dieser Auswertung angepasst. Um die Abhängigkeit der Datenerfassung von der Sonnenscheindauer zu verhindern, wurden anstelle aller Ortungspunkte nur die auf 5 min Daten reduzierten Ortungen verwendet. Auch wurden die erhobenen Ortungspunkte in den Windpark-Geofences (im aktuellen Projekt einheitlich mit 1.000 m Radius um WEA definiert) nicht mehr mit berechneten Erwartungswerten, sondern mit

ebenfalls auf 5 min Daten reduzierten Ortungspunkten außerhalb des 1 km Radius um WEA verglichen. Die Temperatur wurde auf Bodenhöhe statt auf Gondelhöhe ermittelt.

#### *Ringpufferanalyse der Flugereignisse im Umfeld von Windenergie-Anlagen*

Beim Ausweichverhalten wird zwischen der Mikro-, Meso- und Makroskala unterschieden (BAND 2012; COOK *et al.* 2014). Die macro-avoidance beschreibt das großräumige Meideverhalten gegenüber Windparks. Anhand der Ringpufferanalyse wurde die Mesoskala (meso-avoidance) untersucht, die das Abstandhalten zu einzelnen WEAs in einem Abstand von 50 m berücksichtigt. Die daran anschließende „Diskussion der potenziell kollisionskritischen Flüge im Nahbereich der WEA“ behandelt die micro-avoidance, d.h. das kleinräumige Verhalten derjenigen Vögel, die in den Rotorradius eingeflogen sind.

In der vorliegenden Studie wurden anhand von mehr als 100.000 Ortungspunkten im 400 m Radius um WEA jeweils 50 m breite Ringpuffer untersucht. Vergleicht man den 0 bis 50 m bzw. den 50 bis 100 m breiten Ringpuffer mit dem 250 bis 400 m - Bereich, so zeigt sich eine deutliche Meidung (geringere Nutzung pro gleicher Flächengröße) des 50 m Nahbereichs um den Turm, die mit zunehmender Entfernung (wie z.B. bereits im 50 bis 100 m Nahbereich) deutlich geringer ausfiel. Die zwei-dimensionale Nutzung durch die besenderten Rotmilane nahm im 0 bis 50 m Bereich gegenüber dem 250 bis 400 m Bereich um 39 % ab. Zusätzlich reduzierte sich der Anteil der Flüge auf Rotorhöhe um 28 %, wodurch sich ein dreidimensionales meso-Meideverhalten (im 50-m Umkreis um eine WEA, sowohl nach horizontaler Umgehung (2-D) als auch nach Höhe (3-D) ausgewertet) von 56 % ergab. Meideverhalten bedeutet, dass besenderte Rotmilane zu 56% weniger oft im 50 m-Umkreis von WEA auf Rotorhöhe geortet wurden und beinhaltet somit noch kein Ausweichverhalten gegenüber den Rotoren selbst. Die Flughöhenänderung im Nahbereich der WEA lässt vermuten, dass Vogelindividuen die Rotorblätter als Gefahr erkennen. Anscheinend weichen sie dem Rotor aus, indem sie ihre Flughöhe bereits außerhalb des kritischen Kollisionsrisikoradius anpassen, um die Anlage in sicherer Höhe zu über- oder unterfliegen. Bei HEUCK *et al.* (2019) konnten keine Angaben zum potenziellen Meideverhalten des Rotmilans (gemessen an der verbrachten Zeit auf Rotorhöhe im WEA-Nahbereich) gegenüber WEA getroffen werden, da lediglich 28 Flüge im WEA-Nahbereich stattfanden.

#### *Diskussion der potenziell kollisionskritischen Flüge im WEA-Nahbereich*

Die Auswertung lieferte 237 Flugsegmente innerhalb des Rotorradius plus 5 m Sicherheitspuffer um WEA, wobei in 51 Fällen deren Flughöhe der Nabenhöhe des Rotors +/- Rotorradius +/- 5 m Sicherheitspuffer entsprach. 121 der identifizierten Flugsegmente verliefen unter Rotorhöhe und weitere 65 entsprechend über Rotorhöhe. Die tageszeitliche Verteilung dieser Flugsegmente ähnelt stark der tageszeitlichen Verteilung der Flugaktivität mit den höchsten Werten im Zeitraum von 12 bis 15 Uhr und keinen Flügen auf Rotorhöhe vor 9:00 bzw. nach 19:00 Uhr. Von den 237 Flugsegmenten konnten 120 mithilfe von Betreiberdaten zu Rotorstellung und Rotordrehzahl ausgewertet werden, darunter 21 der 51 Flüge auf Rotorhöhe. In einem Fall ist ein Durchflug durch einen stehenden Rotor aufgezeichnet worden. Durchflüge bei sich drehendem Rotor wurden nicht festgestellt. In vier Fällen (alle bei sich drehendem Rotor) hielt der Rotmilan weniger als 10 m Abstand zum Rotor (Flug Nr. 121, 128, 152 und 166). In der Gesamtbetrachtung der Erkenntnisse dieser Studie lässt sich der Rückschluss ziehen, dass die WEA durch den Rotmilan wahrgenommen und aktiv vermieden wurden, wobei die besenderten Rotmilane spätestens im Nahbereich ausgewichen sind. Bei

einem Teil der kollisionskritischen Flüge ist eine Flugbahnänderung im Nahbereich der WEA deutlich ersichtlich, die ein aktives Ausweichverhalten indiziert (vgl. Abbildungen 91, 95, 96, 102, 104, 110). Diese Erkenntnisse bedeuten jedoch nicht, dass Kollisionen mit WEA überhaupt nicht stattfinden, wie einzelne nachgewiesene Kollisionen bei bereits mehr als 3.000 in Europa besenderten Rotmilanen (LIFE EUOKITE, Stand 07.06.2024) und auch die Schlagopferkartei von DÜRR & LANGGEMACH (2022) sowie vorliegende Studien, wie beispielsweise, GRÜNKORN *et al.* (2016) belegen.

Das Ausweichverhalten von Rotmilanen wurde bereits in verschiedenen Studien untersucht. MERCKER *et al.* (2023) quantifizierte das 3D-Meso-Ausweichverhalten des Rotmilans basierend auf einer statistischen Analyse einer großen Menge von GPS- und LRF-Daten aus unterschiedlichen Projekten. Hierbei wurde ab etwa 250 m (5 Rotorblattlängen) ein Ausweichverhalten ermittelt, welches sich ab etwa 75 m bis 100 m (2,0-1,5 Rotorblattlängen) deutlich intensiviert und insgesamt eine Meidung des Rotors (in allen Ausrichtungen) von 98% ergab (meso & micro). In einer schottischen Studie von Urquart & Whitfield (2016) gingen die Autoren von einer „avoidance rate“ (meso & micro) des Rotmilans von 99% aus (SCOTTISH NATURAL HERITAGE 2018). REICHENBACH *et al.* (2023) ermittelten basierend auf IdentiFlight-Kameradaten etwa 98,3 bis 99,1 %.

## **6.6 Übertragbarkeit der Ergebnisse von HEUCK *et al.* (2019) innerhalb Hessens**

Die vorliegende Studie bestätigt die grundsätzliche Übertragbarkeit zahlreicher Erkenntnisse aus HEUCK *et al.* (2019) auf andere Landschaftsräume Hessens. So nahm der Anteil an Ortungspunkten im Nahbereich des Horstes für beide Geschlechter in der Nachbrutzeit deutlich ab, weshalb für diese Phase eine verringerte Horstbindung festzustellen ist. Als zusätzliche Erkenntnis der vorliegenden Studie konnte festgestellt werden, dass bei weiblichen Rotmilanen mit verstorbenen Jungtieren keine Horstbindung mehr bestand.

Die Ergebnisse der tages- und jahreszeitlichen Flugdaten-Auswertungen sind übertragbar. Die Flughöhenauswertung der vorliegenden Studie zeigte mit HEUCK *et al.* (2019) vergleichbare Ergebnisse. So zeigte sich ein deutlicher und kontinuierlicher Abfall der Flughöhe mit zunehmender Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe im Bereich von 2 m/s bis ca. 10 m/s.

### **Zusätzliche Erkenntnis:**

Bezüglich der Nahauswertung um Windparks konnte im Rahmen der Ringpufferanalyse mithilfe der gesammelten Daten nun ein deutliches 3D-Meide- und Ausweichverhalten abgeleitet werden, welches bei HEUCK *et al.* (2019) auf Grundlage der geringen Anzahl an Windparkflügen noch nicht erkennbar war.

## 7 Fazit

In den zwei Untersuchungsjahren 2021 und 2022 konnten von zwölf besenderten adulten Rotmilanen insgesamt 5.303.512 Ortungspunkte erfasst werden. Diese ermöglichen eine Erweiterung der bislang in Hessen vorliegenden Erkenntnisse über das Flugverhalten von Rotmilanen. Zur Erfassung des Flugverhaltens im Nahbereich von Windenergieanlagen wurden Geofences mit erhöhter Ortungsfrequenz festgelegt. Im Nahbereich der WEA (Rotorbereich +/- 5 m Puffer) wurden insgesamt 237 Flüge mit Sekundendaten erfasst. Für 120 davon konnte in Kombination mit den Betriebsdaten zur Rotorstellung und Rotordrehzahl das Ausweichverhalten näher beschrieben werden. Die Auswertung der Ortungsdaten zeigte, dass keines der in dieser Studie besenderten Tiere durch Kollision mit WEA verstorben war (Stand 15.04.2024).

### *Aktionsräume der besenderten Rotmilane*

- Die Größe des Aktionsraumes variierte zwischen den Geschlechtern und der jeweiligen Phase der Brutsaison.
- Es zeigt sich, dass die Weibchen in der Balz- und Brutzeit einen kleineren Aktionsraum als Männchen haben. Während der Aufzucht- und Nachbrutzeit vergrößert sich der Aktionsraum von Weibchen und Männchen weiter. Über 3.000 ha große Aktionsräume sind während der Brut- und Balzphase nicht festgestellt worden, wohl aber in der Aufzucht- und Nachbrutzeit.
- Der Anteil der Ortungspunkte im Flug ( $> 10$  km/h) war für den Zeitraum von der Balz bis zum Ende der Aufzuchtphase bei Weibchen mit 15,2 % deutlich geringer als bei den männlichen Brutvögeln (42,2 %). In der Nachbrutzeit war der Unterschied kleiner (17,6 % w & 23,6 % m).
- Bei der Betrachtung der Brutvögel mit lebendem Nachwuchs lag der Median der Aktionsraumgrößen bei Weibchen zur Balzzeit bei 2,7 km<sup>2</sup> und zur Brutzeit bei 0,4 km<sup>2</sup>, während Männchen mit 6,8 km<sup>2</sup> (Balz) und 6,2 km<sup>2</sup> (Brut) größere Flächen nutzten. In der Aufzuchtzeit bestand beim Median mit 4,7 km<sup>2</sup> bei Weibchen zu 9,9 km<sup>2</sup> bei Männchen weiterhin ein großer Unterschied. In der Nachbrutzeit kehrten sich die geschlechter-spezifischen Unterschiede um. So zeigten die Männchen kleinere Aktionsräume als die Weibchen.
- Bei den Bruten, in denen die Jungenaufzucht nicht erfolgreich war und der Nachwuchs vor Ende der Nachbrutzeit verstorben war, fiel die Aktionsraumgröße der Weibchen in der Nachbrutzeit um ein Vielfaches größer aus als bei den Männchen.
- Im Zeitraum von der Balz bis zum Ende der Aufzuchtzeit (15. März bis 30. Juni) wurden die sechs weiblichen Brutvögel durchschnittlich zu 88,7 % im 1.000 m Radius um den Horststandort verortet. Bei den sieben männlichen Vögeln entsprechen diese Verortungen in dem Zeitraum 59,7 %. Der Anteil der Ortungspunkte innerhalb des 1.000 m Radius um den Horst war in der Nachbrutzeit mit 48,4 % bei Weibchen im Vergleich zu 36,7 % bei Männchen noch wesentlich größer. Da die Jungvögel in dieser Phase der Brutzeit bereits ausgeflogen waren, wurden die Horste nicht mehr so oft aufgesucht.

### *Flugaktivität und Flughöhe im Tages- und Jahresverlauf*

- Die Flugaktivität nahm im Tagesverlauf bis zu den Mittagsstunden zu und fiel anschließend ab 16 Uhr wieder ab. Ein Großteil der Flugaktivität fand im Zeitraum von 9 bis 19 Uhr statt, mit besonders hohen Anteilen im Zeitraum von 13 bis 16 Uhr.
- Über den Verlauf des Sommerhalbjahres zeigte sich verringerte Flugaktivität während der Brut und insbesondere in der Nachbrutzeit und demgegenüber ein vermehrtes Flugaufkommen während der Balzzeit und der Aufzuchtzeit.
- Auf Rotorhöhe moderner Windkraftanlagen (80 bis 250 m) wurden zwischen 24,95 % (Brutzeit) und 16,00 % (Nachbrutzeit) der Ortungspunkte im Flug aufgenommen, wobei insgesamt 19,06 % der Ortungspunkte im Flug im Bereich von 80 bis 250 m verortet wurden. Dieser liegt damit nur sehr geringfügig unter den 19,9 % bei HEUCK *et al.* (2019).

### *Flugverhalten und Aktionsraumgröße in Abhängigkeit von Wetter und Geländeform*

- Bei Windstille auf Gondelhöhe lag der Anteil der Flüge über 80 m bei rund 15 % und stieg bis zu einer Windgeschwindigkeit (Gondelhöhe) von 2 m/s auf über 30 % an. Mit weiter zunehmender Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe nahm der Anteil der Flugbewegungen über 80 m kontinuierlich auf ca. 15 % bei 9 m/s ab. Die absolute Anzahl an Flugbewegungen über 80 m Höhe war bei 3 m/s am höchsten und nahm dann kontinuierlich ab, wobei über 11 m/s nur noch wenige ( $n < 1.000$ ) Flüge über 80 m Höhe vorkamen.
- In der vorliegenden Studie zeigt eine an die Auswertungen des HMUKLV / HMWEVW (2020) angelehnte Perzentil-Analyse der windabhängigen Flughöhen des Rotmilans einen deutlichen, kontinuierlichen Abfall der Flughöhe mit zunehmender Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe im Bereich von 2 m/s bis ca. 10 m/s. Für das 85 %-Perzentil zeigt sich diese Abnahme in einem Rückgang von 150 m auf 100 m. Wird das 95 %-Perzentil herangezogen, so nimmt die Flughöhe mit ca. 275 m bei 2 m/s auf 150 m bei ca. 10 m/s ab.
- Mit zunehmender Temperatur auf Bodenhöhe, Sonnenscheindauer und Horstdistanz stieg die Flugaktivität des Rotmilans an.
- Bei den Luftschichtungsklassen sehr stabil (1) und stabil (2) sowie bei Niederschlag fand nahezu überhaupt keine Flugaktivität über 80 m Flughöhe statt.

### *Einfluss der Landnutzung auf das Flugverhalten*

- Grünlandbereiche werden mit Ausnahme des März gegenüber Ackerflächen bevorzugt.
- Der Anteil der Ortungen in 80 bis 250 m Höhe an den Flugpunkten lag über Ackerflächen und Grünland mit 17,5 % bzw. 17,8 % unter dem Durchschnittswert von 19,1 %, der Wert für Wald mit 20,0 % leicht darüber, über Siedlungsgebiet mit 27,2 % deutlich darüber.

- Im Zusammenspiel mit der deutlichen Meidung von Waldflächen (Jakobsindex 0,7 im Vergleich zu 1,2 bzw. 1,3 für Acker und Grünlandflächen) ergeben sich in Summe für den Rotmilan deutlich weniger Flüge auf Rotorhöhe für Waldstandorte.

#### *Flugverhalten im Umfeld des Windparks*

- Vergleicht man den 0 bis 50 m bzw. den 50 bis 100 m-Ringpuffer mit dem 250 bis 400 m-Bereich, so zeigt sich eine deutliche Meidung des 50 m Nahbereichs um den Turm, während die Meidung im 50 bis 100 m-Nahbereich bereits deutlich geringer ausfällt. Die (zwei-dimensionale) Nutzung ohne Höhengauswertung nimmt im 0 bis 50 m-Bereich gegenüber dem 250 bis 400 m-Bereich um 39 % ab. Zusätzlich reduziert sich der Anteil der Flüge auf Rotorhöhe um 28 %, wodurch sich ein drei-dimensionales Meso-Meideverhalten (50 m Umkreis) für diese Studie von 56 % ergibt.
- Mithilfe von Daten zu der Rotorstellung und zumeist auch der Rotordrehzahl waren 120 Flüge, davon 21 Flugbewegungen auf Rotorhöhe, innerhalb des Nahbereichs der WEA mit Sekundendaten auswertbar. In einem Fall ist ein Durchflug durch einen nicht drehenden Rotor erfolgt. In allen anderen Fällen wurde der Rotorbereich entweder von vornherein gemieden oder es kam zu einer Ausweichreaktion, wobei in vier Fällen die Ausweichbewegung in weniger als 10 m Abstand zum Rotorbereich erfolgte.

#### *Übertragbarkeit der Resultate von HEUCK et al. (2019) auf weitere Landschaftsräume Hessens*

- Die vorliegende Studie bestätigt die Übertragbarkeit zahlreicher Erkenntnisse aus HEUCK et al. (2019) auf andere Landschaftsräume Hessens.
- Die Ergebnisse zur Aktionsraumgröße sind aus der Studie von HEUCK et al. (2019) auf andere Landschaftsräume Hessens übertragbar, wobei die zusätzliche Erkenntnis gewonnen wurde, dass bei weiblichen Rotmilanen mit verstorbenen Jungtieren keine Horstbindung verblieb. Des Weiteren sind die Ergebnisse der tages- und jahreszeitlichen Auswertung übertragbar.
- Die Flughöhenauswertung zeigte mit HEUCK et al. (2019) vergleichbare Ergebnisse. So konnte insbesondere ein deutlicher Zusammenhang der Flughöhe mit der Windgeschwindigkeit auf Gondelhöhe hergestellt werden.
- Im Rahmen der Ringpufferanalyse und der Auswertung von kollisionskritischen Flügen im Rotorbereich konnte mithilfe der gesammelten Daten ein deutliches 3D-Meide- sowie Ausweichverhalten festgestellt werden, welches bei HEUCK et al. (2019) noch nicht nachgewiesen werden konnte.

## 8 Literatur

- AEBISCHER A. & SCHERLER P. (2021): Der Rotmilan. Ein Greifvogel im Aufwind. Haupt Verlag, ISBN: 978-3-258-08249-3. 1-232.
- BAND B (2012): Using a collision risk model to assess bird collision risks for offshore wind farms (Final Report) British Trust for Ornithology (BTO), Bureau Waardenburg bv, University of St. Andrews. 1-62.
- BAUCKS C. (2018): The effect of food supplementation on range use of red kites (*Milvus milvus*) in Switzerland. Doctoral dissertation, Thesis, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna (BOKU), Department for Integrative Biology and Biodiversity Research, Institute of Wildlife Biology and Game Management (IWJ), Vienna Austria.
- BAUER H.G., BEZZEL E., FIEDLER W. (2005): Das Kompendium der Vögel Mitteleuropas. Alles über Biologie, Gefährdung und Schutz. 3 Bände. AULA-Verlag.
- BELLEBAUM J., KORNER-NIEVERGELT F., DÜRR T., MAMMEN U. (2013): Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population. *Journal for Nature Conservation* 21 (6): 394-400.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL (2021): European Red List of Birds. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- CARDIEL I. & VIÑUELA J. (2009): The Red Kite *Milvus milvus* in Spain: distribution, recent population trends and current threats. *Inform.-dienst Naturschutz Niedersachs., Hannover* (29) 3: 181-184.
- COHEN J. (1988): Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. 2. Auflage. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale 1988, ISBN 0-8058-0283-5. COOK A.S.C.P., HUMPHREYS E.M., MASDEN E.A., BURTON N.H.K. (2014): The Avoidance Rates of Collision Between Birds and Offshore Turbines (Scottish Marine and Freshwater Science No. Volume 5 Number 16). British Trust for Ornithology, *BTO Research Report* No. 656, The Nunnery, Thetford (GBR)
- DO-G (DEUTSCHE ORNITHOLOGEN-GESELLSCHAFT) & DDA (DACHVERBAND DEUTSCHER AVIFAUNISTEN) (2011): Positionspapier zur aktuellen Bestandssituation der Vögel der Agrarlandschaft. *Vogelwarte* 49: 340-347.
- DONALD P.F. & GREENWOOD J. J. (2001): Spatial patterns of range contraction in British breeding birds. *Ibis*, 143 (3): 593-601.
- DORMANN C.F., ELITH J., BACHER S., BUCHMANN C., CARL G., CARRÉ G., GARCÍA MARQUÉZ J.R., GRUBER B., LAFOURCADE B., LEITÃO P.J., MÜNKEMÜLLER T., MCCLEAN C., OSBORNE P.E., REINEKING B., SCHRÖDER B., SKIDMORE A.K., ZURELL D., LAUTENBACH S. (2013): Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36: 27-46.
- DÜRR T. (2022): Vogelverluste an Windenergieanlagen in Deutschland. Dokumentation aus der zentralen Datenbank der Staatlichen Vogelschutzwarte im Landesamt für Umwelt Brandenburg, zusammengestellt: Tobias Dürr; Stand vom: 17. Juni 2022.
- EICHHORN M., JOHST K., SEPPELT R., DRECHSLER M. (2012): Model-based estimation of collision risk of predatory birds with wind turbines. *Ecology and Society* 17 (2): 1
- FA WIND (Fachagentur Windenergie an Land) (2019): Rotmilan und Windenergie im Kreis Paderborn - Untersuchung von Bestandsentwicklung und Bruterfolg. 1-48
- FIEDLER W., SCHARF A.K., SCACCO M. (2021). Raumnutzungs- und Flugverhalten von Rotmilanen und Wespenbussarden in Baden-Württemberg unter verschiedenen Witterungs- und Landschaftsbedingungen. *Abschlussbericht an das Land Baden-Württemberg*. Karlsruhe: LUBW.

- FLEMING C.H. & CALABRESE J.M. (2017). A new kernel density estimator for accurate home-range and species-range area estimation. *Methods in Ecology and Evolution* 8: 571–579.
- GRÜNKERN T., BLEW J., COPPACK T., KRÜGER O., NEHLS G., POTJEK A., REICHENBACH M., VON RÖNN J., TIMMERMANN H., WEITKAMP S. (2016): Ermittlung der Kollisionsraten von (Greif)Vögeln und Schaffung planungsbezogener Grundlagen für die Prognose und Bewertung des Kollisionsrisikos durch Windenergieanlagen (PROGRESS). Schlussbericht zum durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des 6. Energieforschungsprogrammes der Bundesregierung geförderten Verbundvorhaben PROGRESS, FKZ 0325300A-D.
- GSCHWENG, M., RIEPL, M., KALKO, E. K. (2014): Rotmilan (*Milvus milvus*) und Windenergie: Problematik und Praxis bei der Erfassung windkraftsensibler Greifvogelarten. *Berichte zum Vogelschutz*, 51, 61-82.
- HAGGE, N., NACHTIGALL, W., HERRMANN, S., STUBBE, M. (2003): Habitatnutzung und Aktionsraumgrößen telemetrierter Rotmilane (*Milvus milvus*) und Schwarzmilane (*Milvus migrans*) im Nordharzvorland. Poster DO-G, Kurzzusammenfassung in: Schleucher, E.: Bericht über die 136. Jahresversammlung 1.-6. Oktober 2003 in Halberstadt: 44-45.
- HALLMANN C. A., FOPPEN R. P., VAN TURNHOUT C. A., DE KROON H., JONGEJANS E. (2014): Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature*, 511(7509), 341-343.
- HEUCK C., SOMMERHAGE M., STELBRINGK P., HÖFS C., GEISLER K., GELPKE C., KOSCHKAR S. (2019): Untersuchung des Flugverhaltens von Rotmilanen in Abhängigkeit von Wetter und Landnutzung unter besonderer Berücksichtigung vorhandener Windenergie-Anlagen im Vogelschutzgebiet Vogelsberg - Abschlussbericht. im Auftrag des Hessischen Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen. 1-116.
- HMUKLV / HMWEVW (2020): Verwaltungsvorschrift (VwV). „Naturschutz/Windenergie“. Gemeinsamer Runderlass des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen. 1-99.
- JACOBS J. (1974): Quantitative measurement of food selection. *Oecologia*, 14: 413-417.
- JENSEN F.P., JACOBSEN E.M., BLEW J., RINGGARD R. (2017): Avoidance behaviour of migrating raptors approaching a Danish offshore windfarm. In: ANONYM (Hrsg.): Conference on Wind Energy and Wildlife Impacts, 6-8 Sept. 2017, Estoril, Portugal, Book of Abstracts: 168-169.
- KARTHÄUSER J., KATZENBERGER J., SUDFELDT C. (2019): Evaluation von Maßnahmen zur Verbesserung des Nahrungsangebotes für den Rotmilan *Milvus milvus* in intensiv genutzten Agrarlandschaften. *Vogelwelt* 139: 71-86.
- KLEIN K., KIEFFER K., REDEL C., LORGÉ P., MAQUET J.-F., HÖFS C., HEUCK C., STELBRINK P. (2021): Studie zur Habitatnutzung besonderer Rotmilane *Milvus milvus* 2019/2020 im Öslinger Hochplateau unter Berücksichtigung eines vorhandenen Windparks. *Regulus Wiss. Berichte* 36: 59-74.
- KOLBE M., NICOLAI B., WINKELMANN R., STEINBORN E. (2019): Totfundstatistik und Verlustursachen beim Rotmilan *Milvus milvus* in Sachsen-Anhalt. *Vogelwelt* 139: 141-153.
- KORNER-NIEVERGELT F., ROTH T, VON FELTEN S., GUÉLAT J., ALMASI B., KORNER-NIEVERGELT P. (2015) Bayesian Data Analysis in Ecology Using Linear Models with R, BUGS, and Stan. *Elsevier Academic Press*, 1-328.
- KREUZIGER J., KORN M., STÜBING S., EICHLER L., GEORGIEV K., WICHMANN L., THORN S. (2023): Rote Liste der bestandsgefährdeten Brutvogelarten Hessens, 11. Fassung, Stand

- Dezember 2021. – Hessische Gesellschaft für Ornithologie und Naturschutz & Staatliche Vogelschutzwarte Hessen, Echzell, Gießen.
- LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VOGELSCHUTZWARTEN (LAG VSW) (2007): Abstandsregelungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogellebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten. Ber. Vogelschutz 44: 151–153.
- LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VOGELSCHUTZWARTEN (LAG VSW) (2014): Abstandsempfehlungen für Windenergieanlagen zu bedeutsamen Vogellebensräumen sowie Brutplätzen ausgewählter Vogelarten (Stand April 2015). Ber. Vogelschutz 51: 15-42.
- LÄNDER-ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VOGELSCHUTZWARTEN (LAG VSW) (2020): Fachliche Empfehlungen für avifaunistische Erfassung und Bewertung bei Windenergieanlagen. Genehmigungsverfahren – Brutvögel. Beschluss 19/02.
- LANGGEMACH T. & DÜRR T. (2022): Informationen über Einflüsse der Windenergienutzung auf Vögel. Stand 17. Juni 2022. Landesamt für Umwelt Brandenburg, Staatliche Vogelschutzwarte.
- LIFE EUROKITE Projekt (LIFE18 NAT/AT/000048): cross-border protection of the Red Kite in Europe by reducing human-caused mortality. Schutzprojekt für den Rotmilan mit finanzieller Unterstützung der europäischen Kommission. Laufzeit: 2019 bis 2027. MADDERS M. & WHITFIELD P. (2006): Upland raptors and the assessment of wind farm impacts Ibis: 148, 43-56.
- MAMMEN U. MAMMEN K., HEINRICHS N., RESETARITZ A. (2010): Rotmilan und Windkraftanlagen. Aktuelle Ergebnisse zur Konfliktminimierung. Abschlussstagung des Projektes „Greifvögel und Windkraftanlagen: Problemanalyse und Lösungsvorschläge“ am 08.10.2010 in Berlin.
- MAMMEN K., MAMMEN U. & RESETARITZ A. (2013): Rotmilan. In: HÖTKER, H., KRONE O. & NEHLS G.: 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, Bergenhäuser, Berlin, Husum: 1-337.
- MÄNNEL T. (2021): Grundlagen und Beispiele für die Anwendung der Probabilistik zur Ermittlung und Bewertung des Kollisionsrisikos Anwendung von Probabilistik zur Bewertung des Kollisionsrisikos windenergieanlagenensibler Vogelarten, WIND, F.
- MERCKER M., LIEDTKE J., LIESENJOHANN T., BLEW J. (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. Pilotstudie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV). Husum: BioConsult SH GmbH & Co. KG und Bionum GmbH – Büro für Biostatistik
- MERCKER M., LIESENJOHANN T., Raab R., BLEW J. (2024 – in Vorbereitung): Fortsetzungsstudie Probabilistik: Fachliche Ausgestaltung einer probabilistischen Berechnungsmethode zur Ermittlung des Kollisionsrisikos von Vögeln an Windenergieanlagen in Genehmigungsverfahren mit Fokus Rotmilan im Auftrag des Bundesamt für Naturschutz (BfN). Husum: BioConsult SH GmbH & Co. KG, Bionum GmbH – Büro für Biostatistik und TB Raab GmbH
- NACHTIGALL W., HEROLD S., TRAPP H., GLEICHNER W. (2013): Der Rotmilan (*Milvus milvus*) in Sachsen und Südbrandenburg. Förderverein für Ökologie und Monitoring von Greifvogel- und Eulenarten Halle, Saale.

- NICOLAI B., MAMMEN U., KOLBE M. (2017): Long-term changes in population and habitat selection of Red Kite *Milvus milvus* in the region with highest population density. *Vogelwelt* 137:194-197.
- PFEIFFER T. & MEYBURG B.-U. (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. & MEYBURG B.-U. (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
- RAAB R., RAAB R., HACKER P. (2022): Ergänzende naturschutzfachliche Stellungnahme Windpark Engelhartstetten Änderungsverfahren. TB Raab GmbH, 1-57.
- REICHENBACH M., AUSSIEKER T. (2021): Windenergie und der Erhalt der Vogelbestände Regelungsvorschläge im Kontext einer gesetzlichen Pauschalausnahme. ARSU GmbH Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH, 1-116.
- REICHENBACH M., STEINKAMP T. & KERSTIN MENKE (2023). "Fachkonzept Habitatpotenzialanalyse. Teilbericht des Projekts: Standardisierung der artenschutzfachlichen Methode im Genehmigungs- und Planungsverfahren." Oldenbrug: ARSU (Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH).
- SANDERSON F. J., DONALD P. F., PAIN D. J., BURFIELD I. J., & VAN BOMMEL F. P. (2006): Long-term population declines in Afro-Paleartic migrant birds. *Biological conservation*, 131(1): 93-105.
- SNH (Scottish Natural Heritage) (2018): Avoidance Rates for the onshore SNH Wind Farm Collision Risk Model. *Scottish Natural Heritage*, September 2010, 1-4.
- SPATZ T., SCHABO D., FARWIG N. & S. RÖSNER (2019): Raumnutzung des Rotmilans *Milvus milvus* im Verlauf der Brutzeit: Eine Analyse mittels GPS-basierter Bewegungsdaten. *Vogelwelt* 139: 161-169.
- STRASSER, C. (2006): Todfundmonitoring und Untersuchung des artspezifischen Verhaltens von Greifvögeln in einem bestehenden Windpark in Sachsen-Anhalt. Unveröffentl. Unveröffentl. Diplom-Arbeit am Fachbereich VI Geographie / Geowissenschaften / Biogeographie der Universität Trier.
- SÜDBECK P., BAUER, H. G., BERTHOLD, P., BOSCHERT, M., BOYE, P., & KNIEF, W. (2005): Das Kriteriensystem der nächsten Roten Liste der Brutvögel Deutschlands. *Berichte zum Vogelschutz*, 42, 137-140.
- URQUHART B. & WHITFIELD D.P. (2016) Derivation of an avoidance rate for red kite *Milvus milvus* suitable for onshore wind farm collision risk modelling. *Natural Research Information Note 7*. Natural Research Ltd, Banchory, UK.
- FOX J., & MONETTE G. (1992). Generalized Collinearity Diagnostics. *Journal of the American Statistical Association*, 87 (417), 178–183.
- WALZ J. (2008): Aktionsraumnutzung und Territorialverhalten von Rot- und Schwarzmilanpaaren (*Milvus milvus*, *M. migrans*) bei Neuansiedlungen in Horstnähe. *Ornithol. Jh. Bad.-Württ.* 24: 21-38.

**R-Packages:**

BARTON, K. (2016). MuMin (Version 1.43.17) [Software]. Verfügbar unter <https://www.rdocumentation.org/packages/MuMin/versions/1.43.17>.

HOTHORN, T., BRETZ, F., & WESTFALL, P. (2008). Multcomp (Version 1.4.17) [Software]. Verfügbar unter <https://www.rdocumentation.org/packages/multcomp/versions/1.4-17>.

WALSH, C., & NALLY, R. M. (2013). Hier.part (Version 1.0.6) [Software]. Verfügbar unter <https://www.rdocumentation.org/packages/hier.part/versions/1.0-6/topics/hier.part>.

## 9 Daten / Geodaten

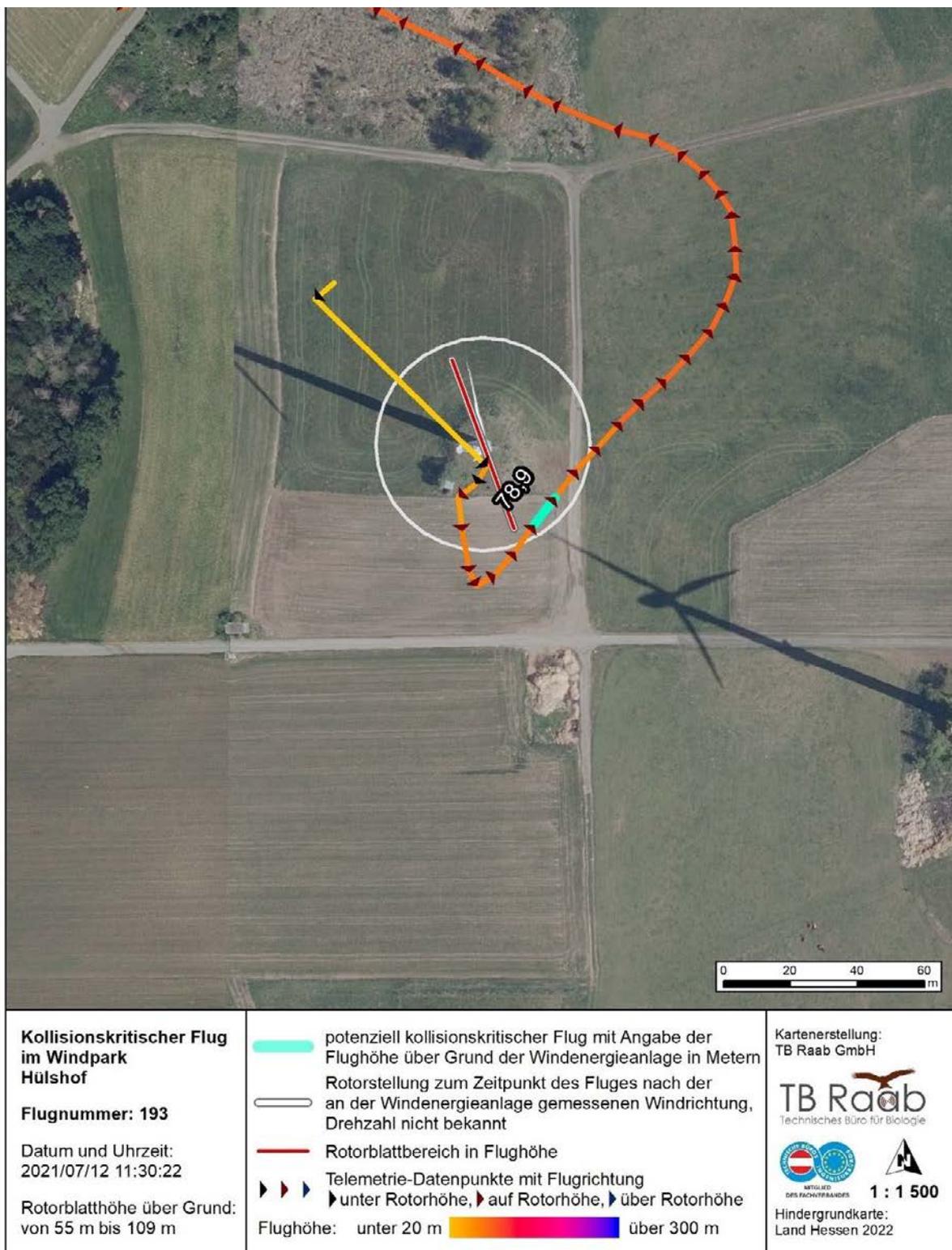
**Tabelle 32:** Verwendete Datenquellen

	Beschreibung	Quelle
DGM25 Thüringen	Digitales Geländemodell mit 25m Auflösung, landesweit	GDI-TH ©2022, Open Data, dl-de-by-2.0
DGM25 Hessen	Digitales Geländemodell mit 25m Auflösung, landesweit	Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG), ©2022, Auftrag: III 1.10-LA-02-02-01- 18-B-0018#014
DGM25 Niedersachsen	Digitales Geländemodell mit 25m Auflösung 6km um Horste	Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN), ©2022, Auftrag: D31970
Basis-DLM Hessen	Digitales Landschaftsmodell, landesweit	Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG), ©2022 lizensfreier Download
Basis-DLM Thüringen	Digitales Landschaftsmodell, landesweit	GDI-TH ©2022, Open Data, dl-de-by-2.0
Basis-DLM Niedersachsen	Digitales Landschaftsmodell, landesweit	Auszug aus den Geodaten des Landesamtes für Geoinformation und Landesvermessung Niedersachsen (LGLN), ©2022, Open Data, dl- de-by-2.0
Wetterdaten Niederschlagshöhe	Aktuelle und historische 10- minütige Stationsmessungen der Niederschlagshöhe in Deutschland, Version: recent, V1	Deutscher Wetter Dienst (DWD) Climate Data Center (CDC) ©2022
Wetterdaten Sonnenscheindauer	Aktuelle und historische 10- minütige Stationsmessungen der Solarstrahlung, der atmosphärischen Gegenstrahlung und der Sonnenscheindauer in Deutschland, Version: recent, V1	Deutscher Wetter Dienst (DWD) Climate Data Center (CDC) ©2022
Wetterdaten Lufttemperatur	Aktuelle und historische 10- minütige Stationsmessungen des Luftdrucks, der Lufttemperatur (in 5cm und 2m Höhe), der Luftfeuchte und des Taupunkts in Deutschland, Version: recent, V1	Deutscher Wetter Dienst (DWD) Climate Data Center (CDC) ©2022
Wetterdaten Windgeschwindigkeit, Windrichtung	Aktuelle und historische 10- minütige Stationsmessungen der mittleren Windgeschwindigkeit und Windrichtung in Deutschland, Version: recent, V1	Deutscher Wetter Dienst (DWD) Climate Data Center (CDC) ©2022
Wetterdaten Luftdruck	Aktuelle und historische stündliche Stationsmessungen des Luftdrucks für Deutschland, Version: recent, V1	Deutscher Wetter Dienst (DWD) Climate Data Center (CDC) ©2022
Wetterdaten Sichtweite	Historische stündliche Stationsmessungen der	Deutscher Wetter Dienst (DWD) Climate Data Center (CDC) ©2022

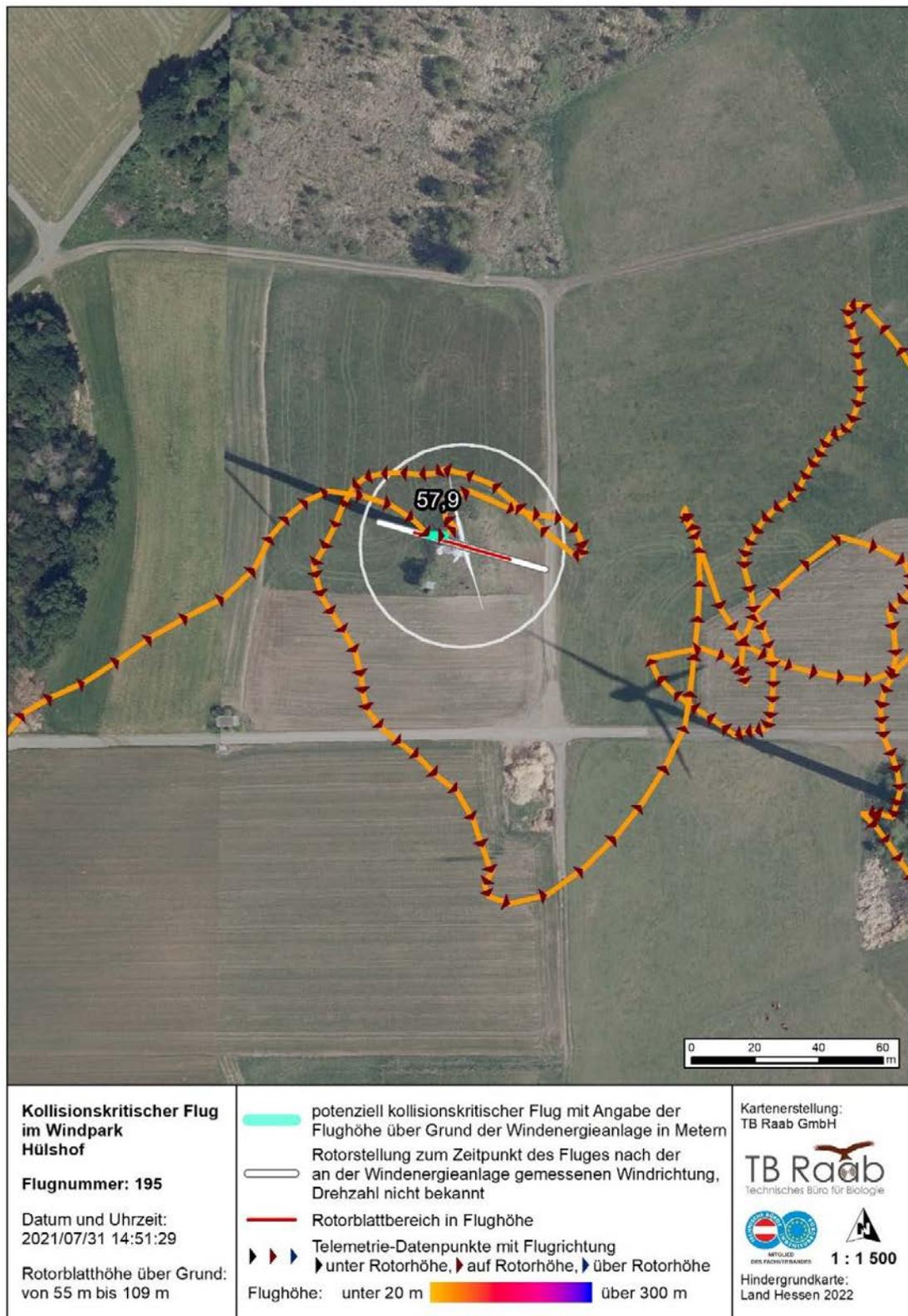
	Sichtweite für Deutschland, Version: recent, V1	
Wetterdaten Luftschichtung		Deutscher Wetter Dienst (DWD)
Standorte Windenergie- Anlagen	Standorte Windenergie- Anlagen mit Eigenschaften, deutschlandweit	LIS-A Daten vom Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und DLM-Daten von der Hessischen Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG), ©2022 lizensfreier Download
Grenzen	Grenzen Bundesländer	GeoBasis-DE / BKG (2022) Open Data, dl-de- by-2.0
Hintergrundkarte	Open Street Map	Open Street Map 2022
Hintergrundkarte	Orthophotos Hessen (DOP20)	Luftbilder Hessen Open Data Geoportal Hessen, 2022
Luftdruckdaten	Luftdruckdaten auf Seehöhe (MSL, ERA5)	Daten des Copernicus Atmosphere Monitoring Service information, 2022'

## 10 Anhang

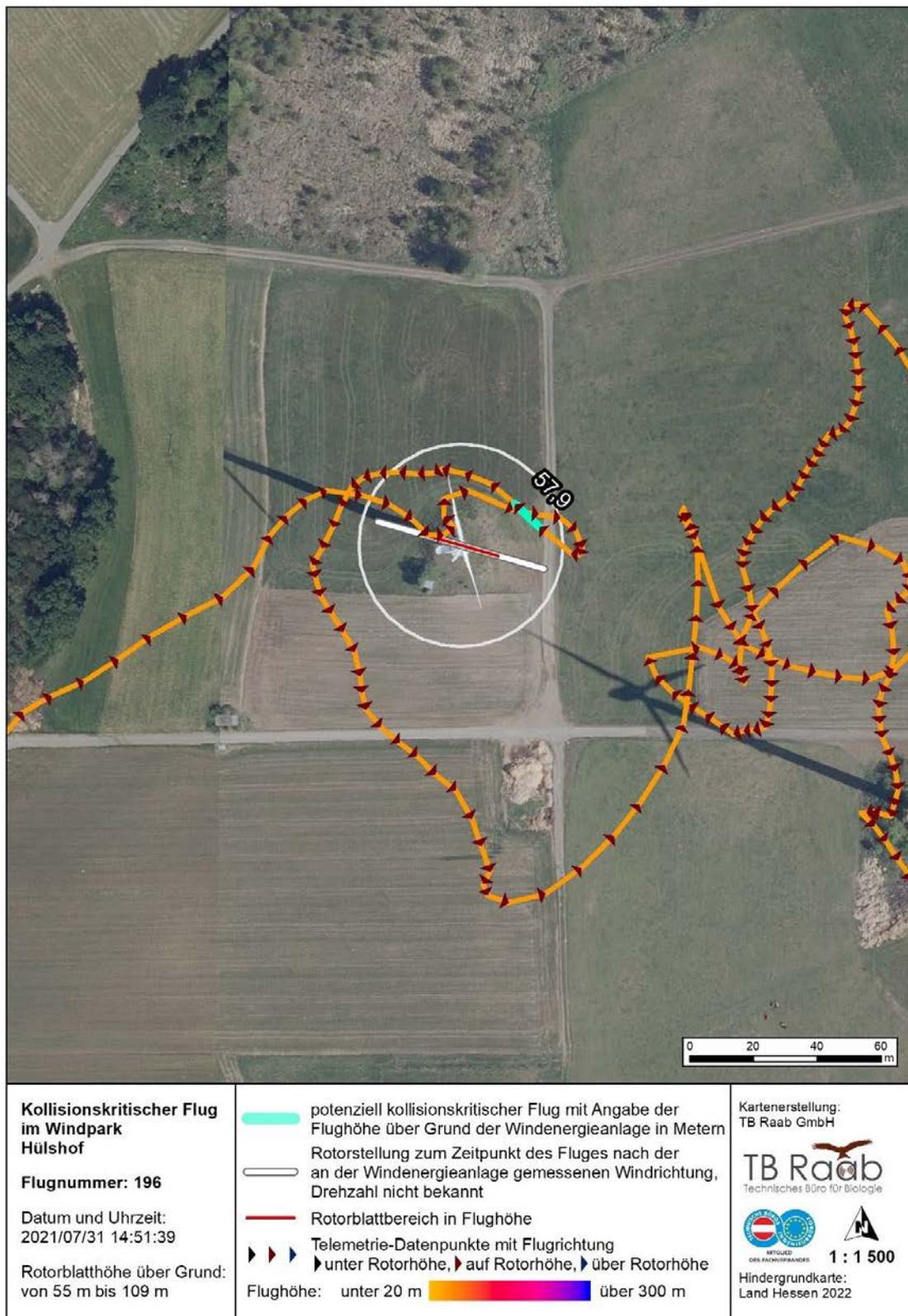
### 10.1 Kartendarstellung der potenziell kollisionskritischen Flugbewegungen ohne vollständige Betriebsdaten (Rotorstellung und Rotordrehzahl)



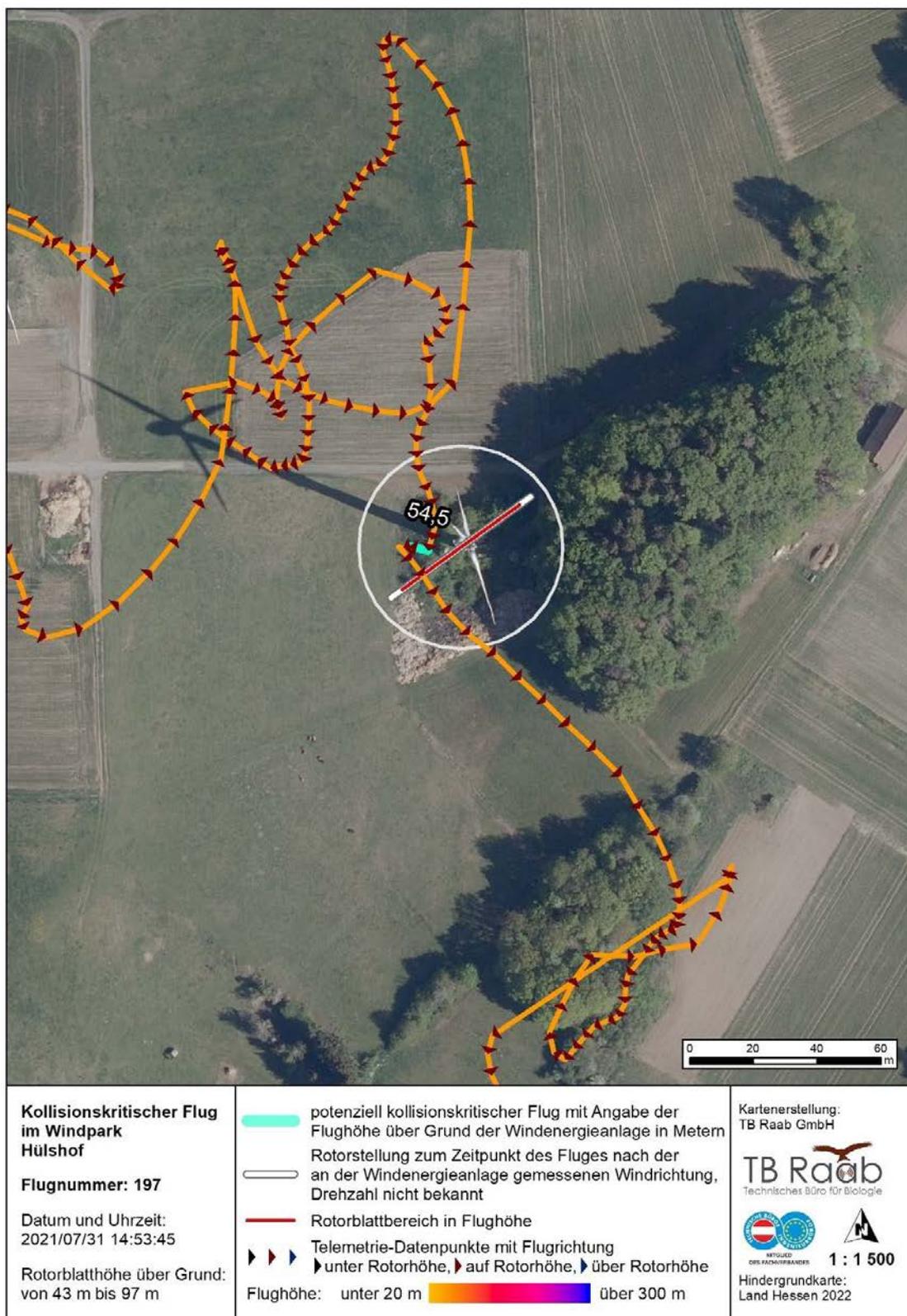
**Abbildung 117:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 12.07.2021 um 11:30. Der Flug fand in 79 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 55 m, deren Oberkante bei 109 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel fliegt nah an die Anlage heran und dreht dann ab und umfliegt den Rotorbereich anschließend.



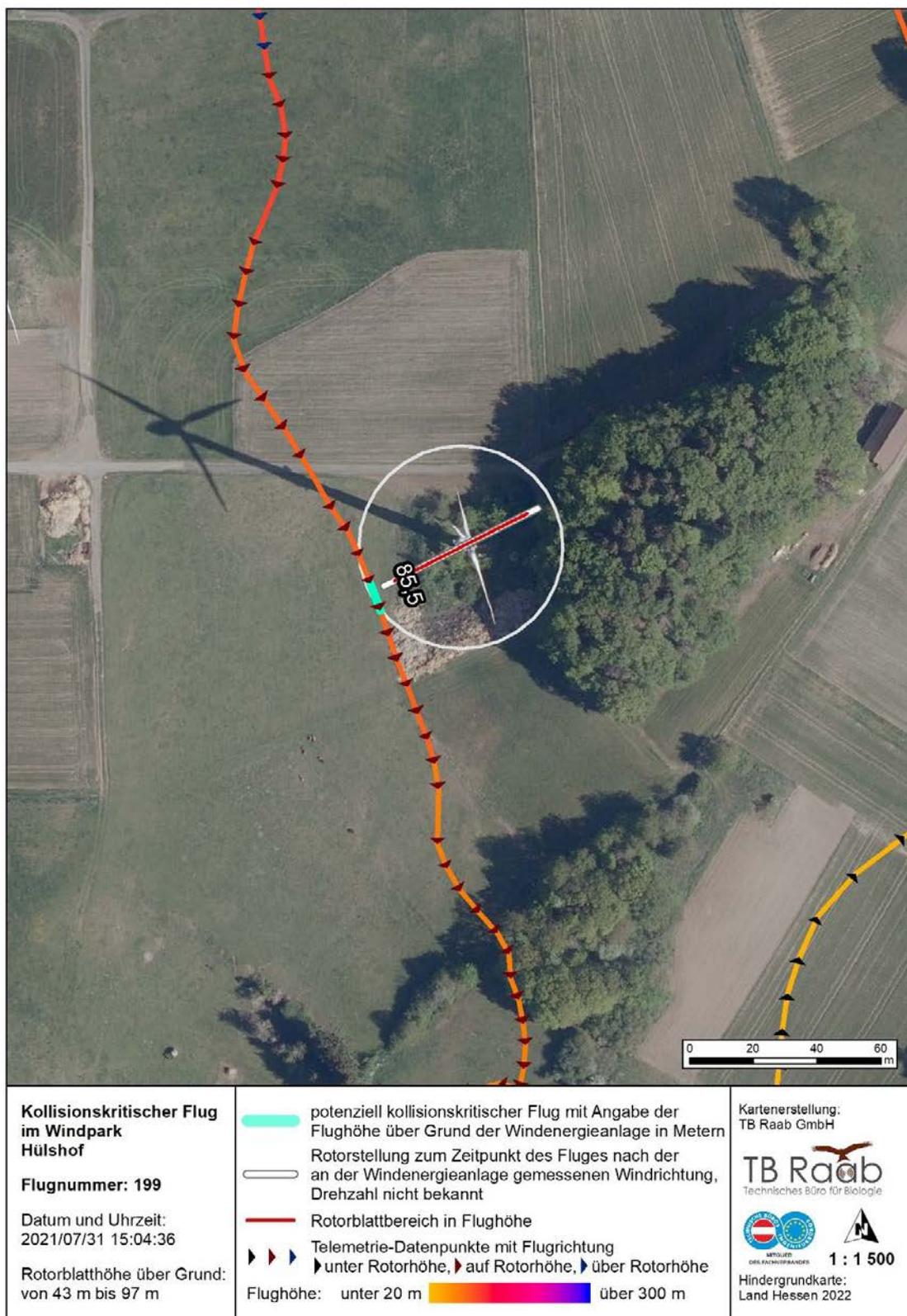
**Abbildung 118:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 31.07.2021 um 14:51. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 55 m, deren Oberkante bei 109 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel fliegt sehr nah an die Anlage heran und dreht dann ab und umfliegt den Rotorbereich anschließend.



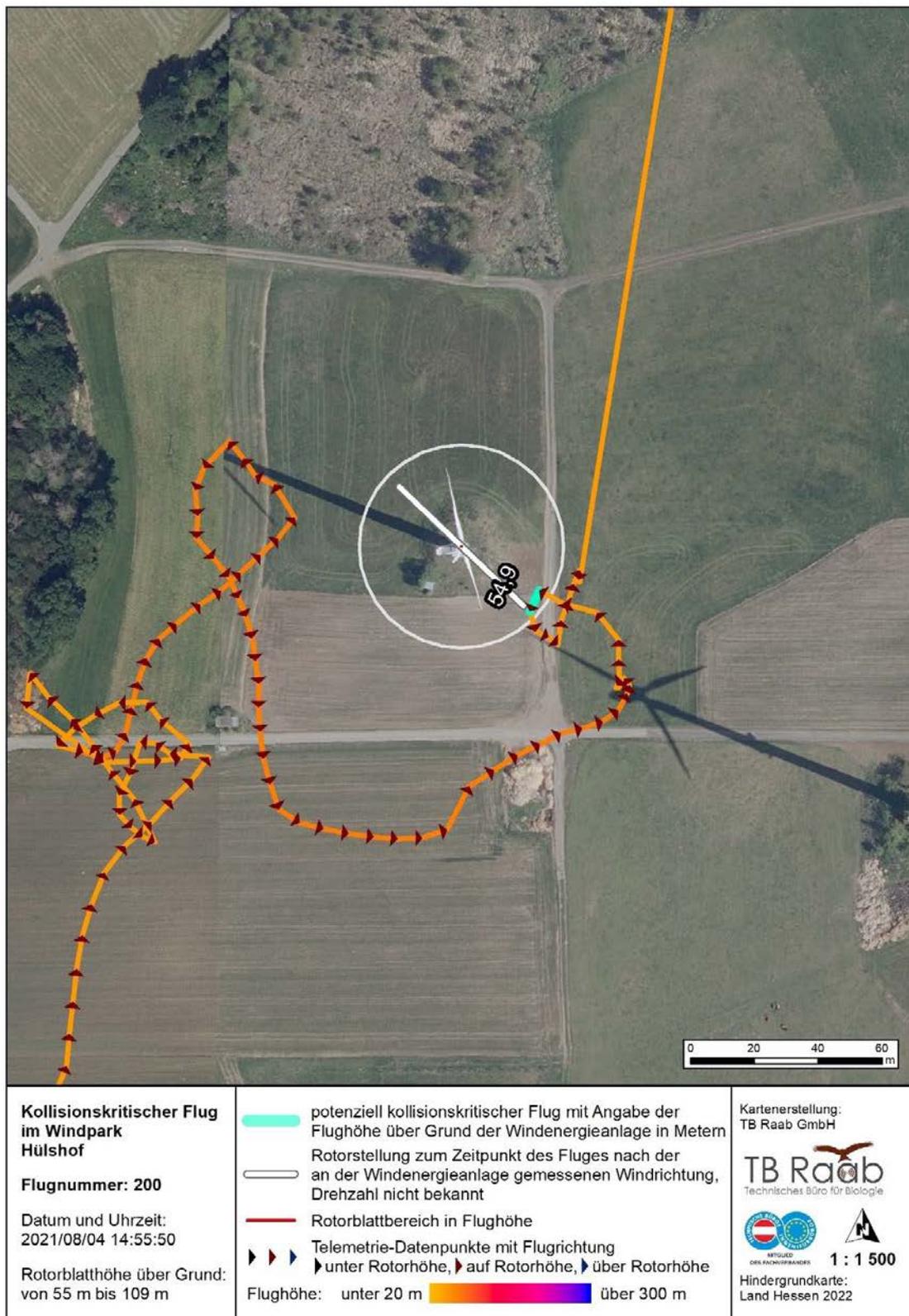
**Abbildung 119:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 31.07.2021 um 14:51. Der Flug fand in 58 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 55 m, deren Oberkante bei 109 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel fliegt sehr nah an die Anlage heran und dreht dann ab und umfliegt den Rotorbereich anschließend. Im Vergleich zu der vorangehenden Abbildung ist nun der Flug bei Wiedereintritt in den Rotorbereich im Fokus.



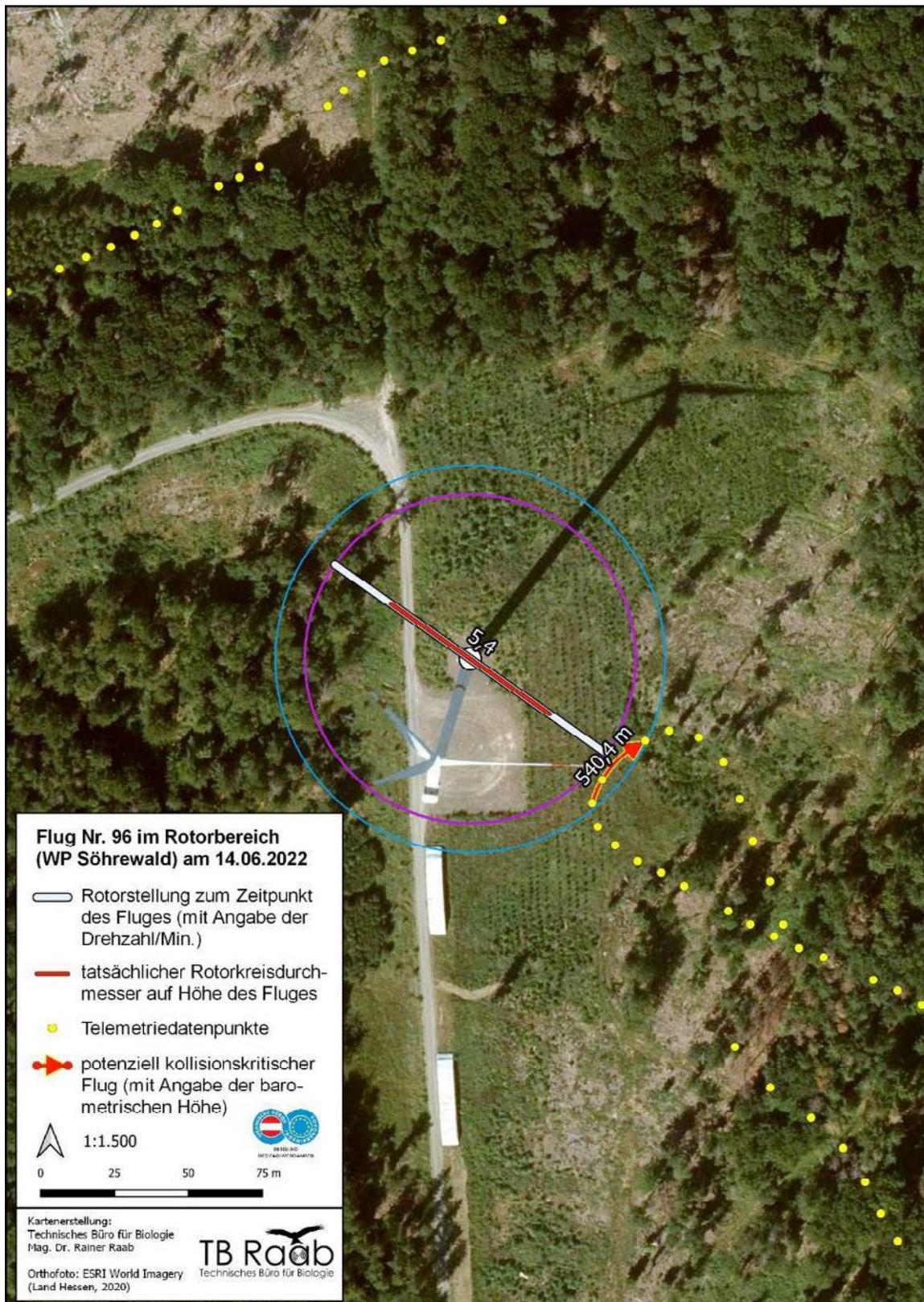
**Abbildung 120:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 31.07.2021 um 14:53. Der Flug fand in 54,5 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 43 m, deren Oberkante bei 97 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel drehte zuerst ab und durchflog dann die Anlage auf Rotorhöhe. Ob die Anlage in Betrieb war, ist nicht bekannt.



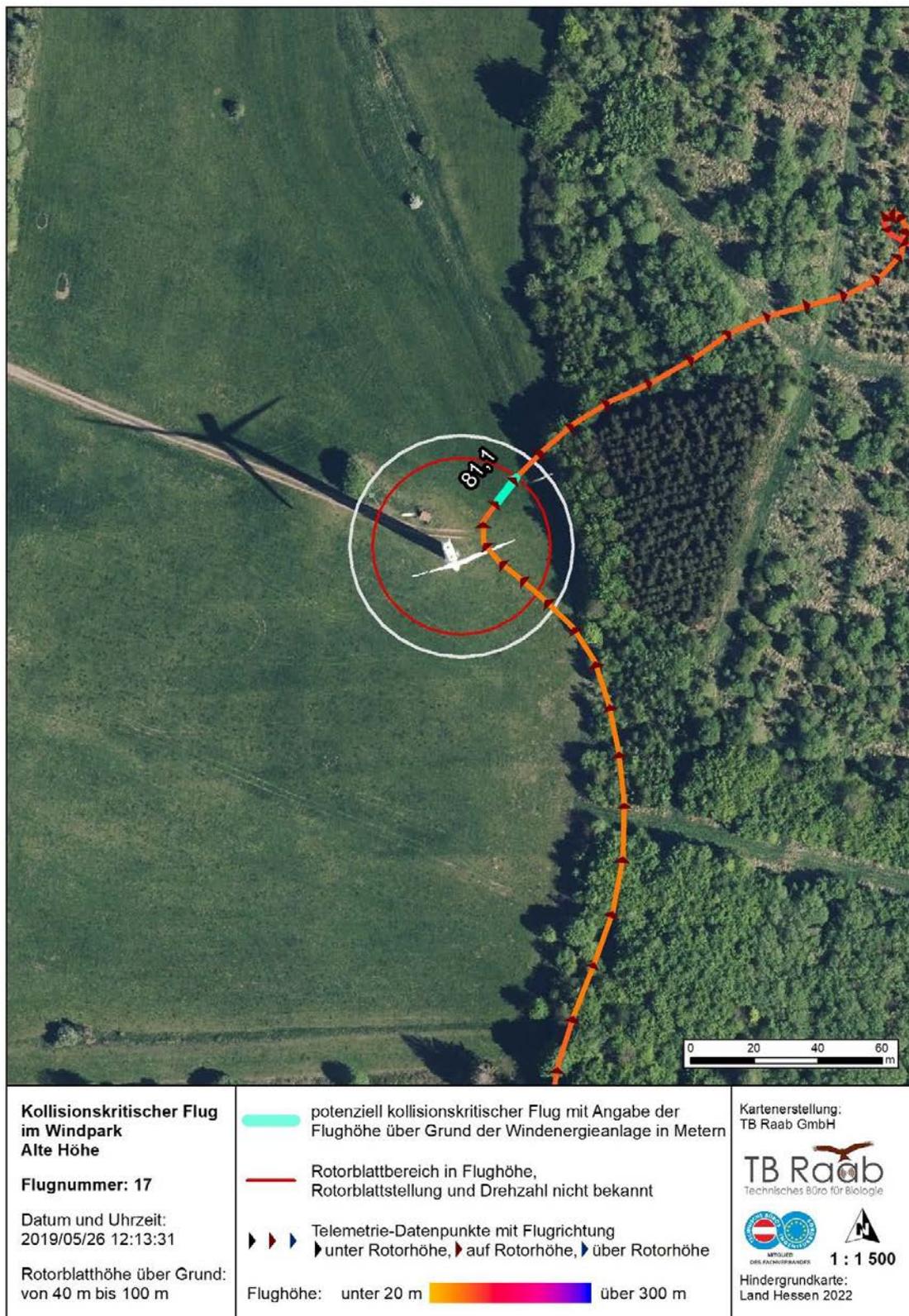
**Abbildung 121:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 31.07.2021 um 15:04. Der Flug fand in 86 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 43 m, deren Oberkante bei 97 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel flog an der Anlage vorbei.



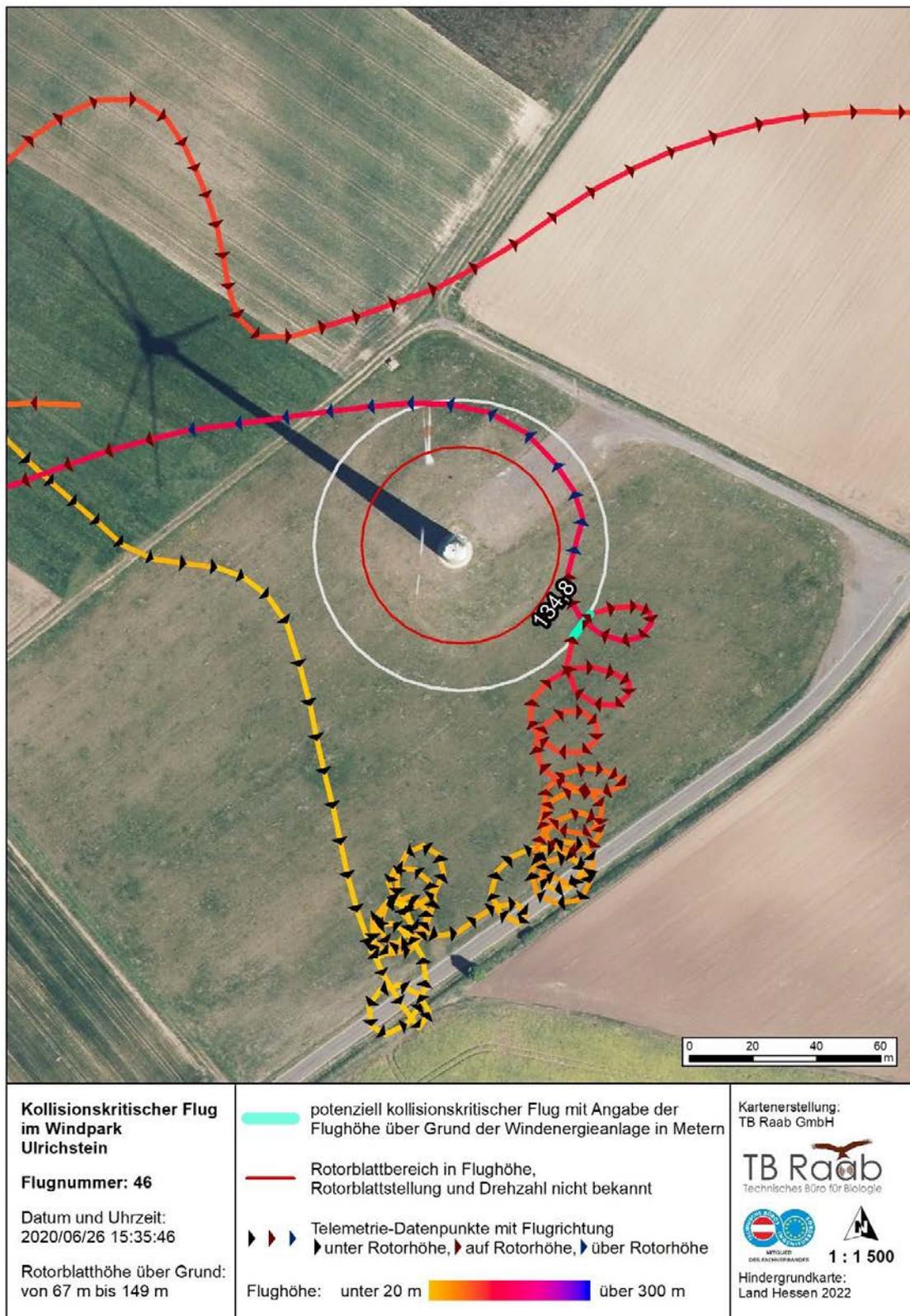
**Abbildung 122:** Potenziell kollisionskritischer Flug am 4.08.2021 um 14:55. Der Flug fand in 54,9 m über Gelände statt. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 55 m, deren Oberkante bei 109 m. Der Rotordurchmesser beträgt 54 m (weiß). Der Vogel drehte direkt vor der Anlage knapp unter Rotorhöhe ab und flog in sicherem Abstand weiter.



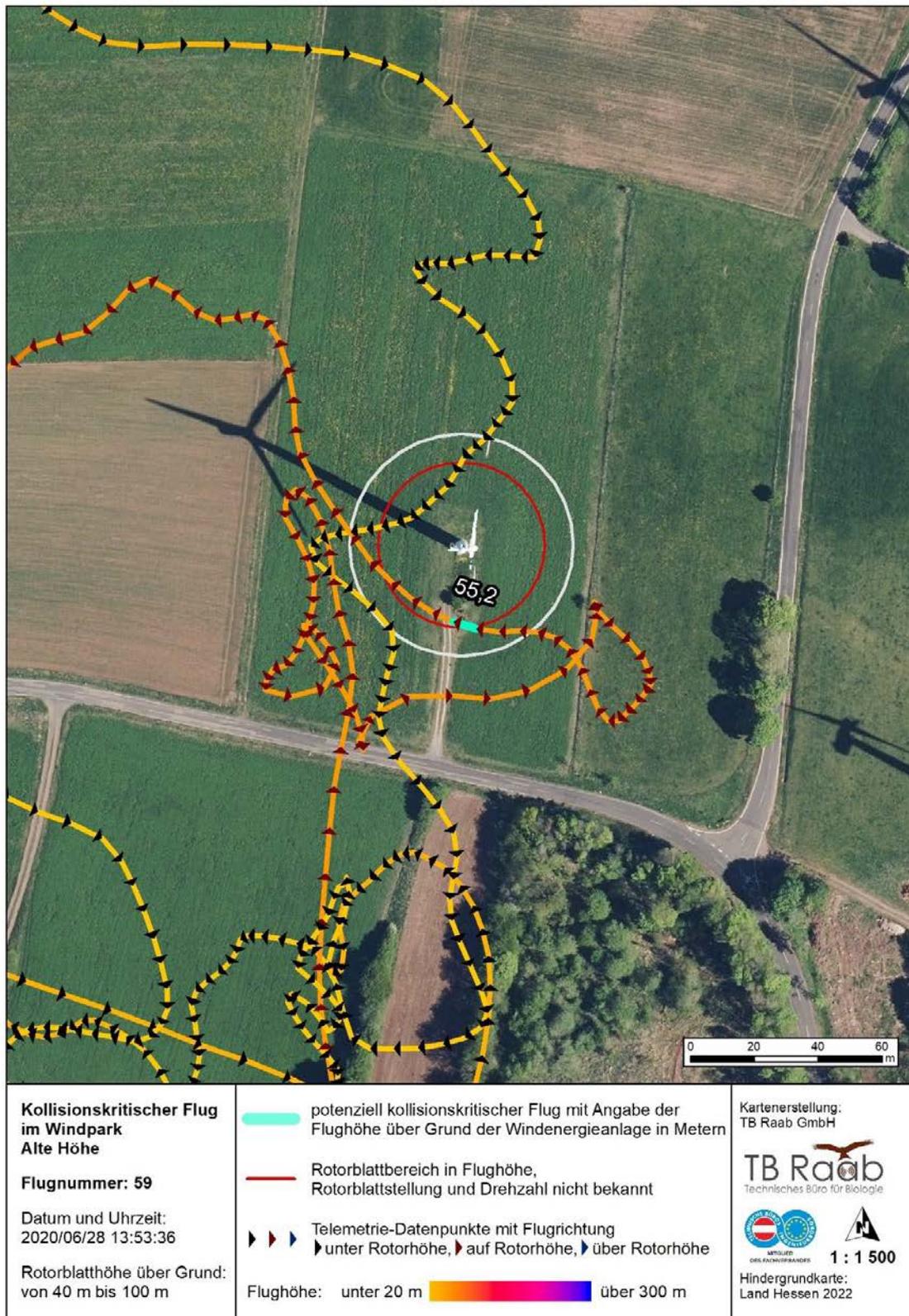
**Abbildung 123:** Potenziell kollisionskritischer Flug von RK\_1244 am 14.06.2022. Die Dauer des rot markierten Flugabschnittes betrug 3 Sekunden. Der Flug fand gemessen an den Barometerdaten in 540 m Seehöhe, bzw. 185 m über Gelände statt. Die Höhe basierend auf den GPS-Sekundendaten liegt nicht im Rotorbereich. Die Rotorunterkante der WEA liegt bei 84 m, deren Oberkante bei 196 m. Der Rotordurchmesser beträgt 112 m (weiß), wobei der vom Rotor durchstrichene Bereich auf Flughöhe des Vogels (rot) nur mehr 66 m entspricht.



**Abbildung 124:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Kein Ausweichverhalten erkennbar. Rotorstellung unbekannt.



**Abbildung 125:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Der Rotorradius auf Flughöhe wird konsequent vermieden. Es bestand zweifelsfrei kein Kollisionsrisiko.



**Abbildung 126:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Die Rotorstellung ist nicht bekannt.



**Abbildung 127:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Der Rotorradius auf Flughöhe wird konsequent vermieden. Es ist davon auszugehen, dass de facto kein Kollisionsrisiko bestanden hatte.



**Abbildung 128:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Der Rotorradius auf Flughöhe wird konsequent vermieden. Es ist davon auszugehen, dass de facto kein Kollisionsrisiko bestanden hatte.



**Abbildung 129:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Die Rotorstellung war nicht bekannt.

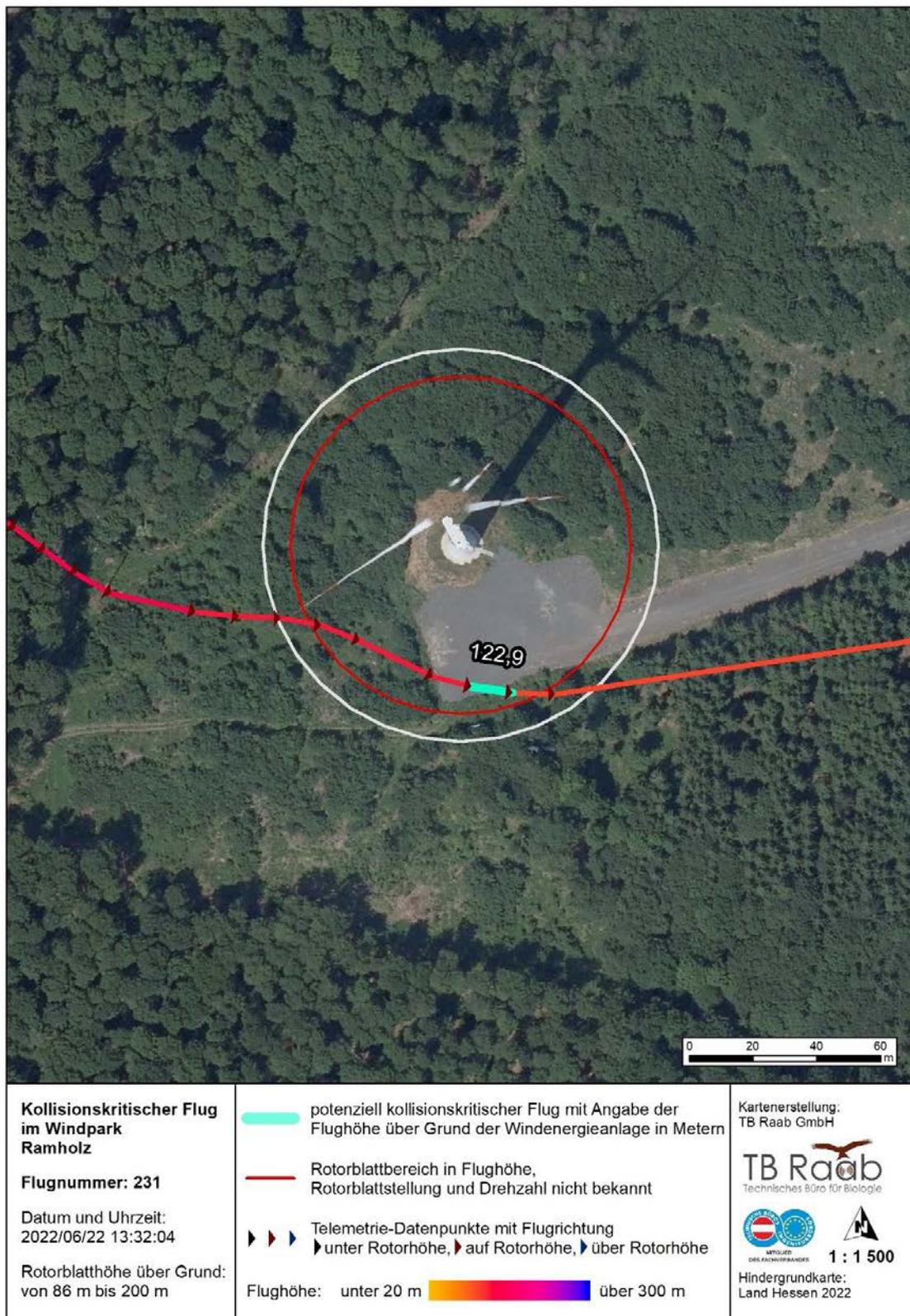
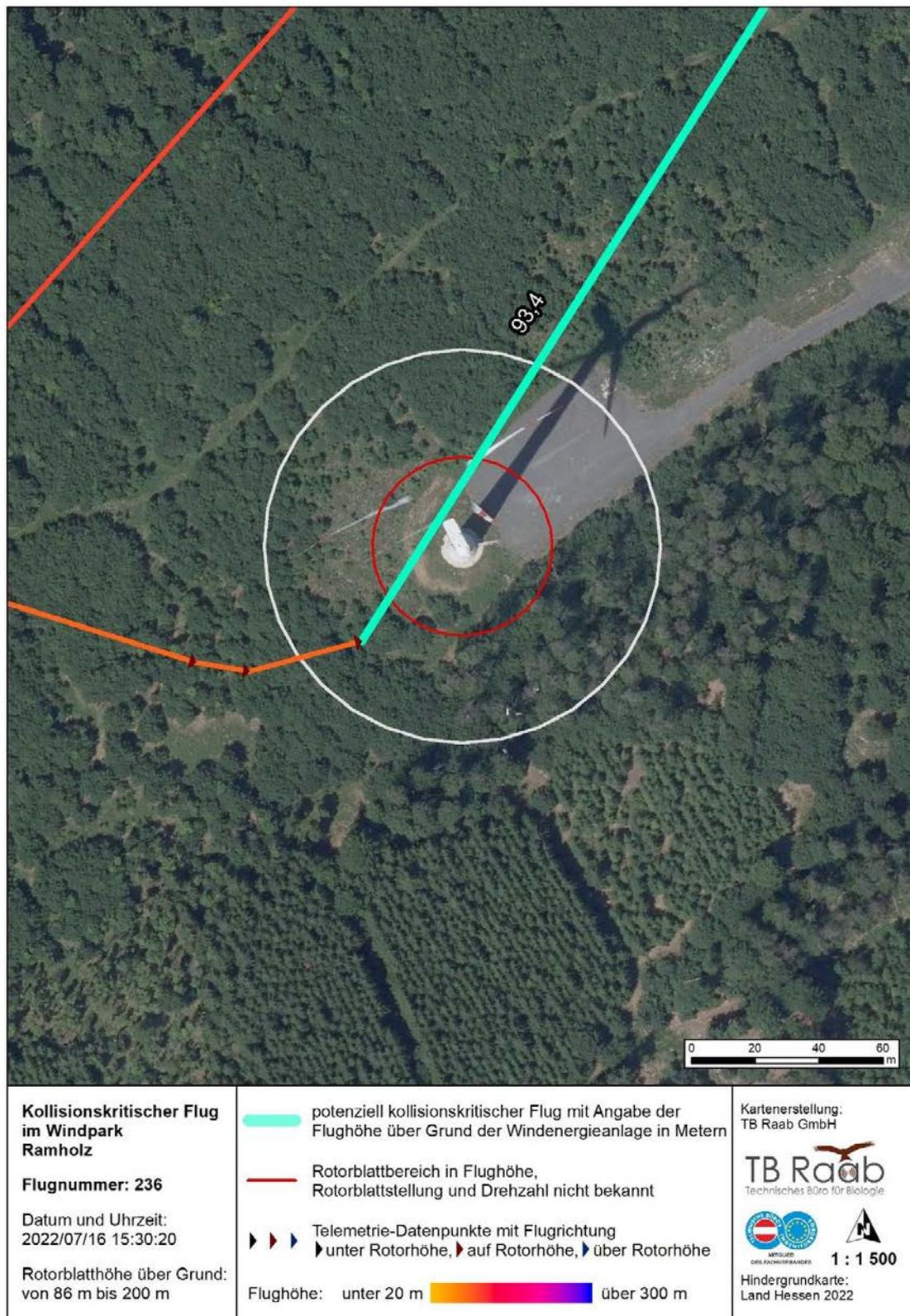


Abbildung 130: Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Die Rotorstellung war nicht bekannt.



**Abbildung 131:** Potenziell kollisionskritischer Flug auf Rotorhöhe. Der lange potenziell kollisionskritische Flugabschnitt resultierte aus der Tatsache, dass der nächste aufgezeichnete Telemetriezeitpunkt außerhalb der Karte aufgezeichnet worden war.

## 10.2 Kapitel zum Vergleich der Copernicus-Wetterdaten

Parallel zu der Auswertung der Wetterdaten mithilfe der DWD-Wetterstationen wurde die Nutzbarkeit von Daten des Copernicus Programms der EU geprüft. Vor diesem Hintergrund zeigt Tabelle 37 die Streuungsmaße für den Vergleich von Luftdruckdaten aus dem Copernicus Programm. Die Abweichungen sind in Hektopascal (hPa) und Metern (m) angegeben. Im Durchschnitt unterscheiden sich die mit den unterschiedlichen Datenquellen für rund 500.000 Datensätze berechneten Höhen um ca. einen Meter, wobei die Standardabweichung ca. 4 m beträgt. Die beiden Datenquellen liefern somit vergleichbare Ergebnisse.

**Tabelle 33:** Vergleich Copernicus / DWD an sieben verschiedenen Standorten in Hessen (1/2013 bis 3/2022). Es sind die Abweichungen der Luftdruckdaten zwischen sieben DWD-Wetterstationen und den zugehörigen Copernicus-Daten in Hektopascal (hPa) und Metern (m) angegeben.

Stations_ ID	hPa				m				Count Datasets
	max	min	average	st_dev	max	min	average	st_dev	
1504	3,29	-8,83	0,07	0,50	27,75	-74,18	0,55	4,19	79.404
1639	2,44	-8,99	-0,03	0,48	20,60	-75,57	-0,27	4,08	79.799
1691	2,93	-9,10	0,13	0,40	24,71	-76,47	1,14	3,39	79.299
2532	1,98	-3,30	-0,21	0,46	16,72	-27,82	-1,75	3,85	6.428
7396	3,43	-10,07	-0,15	0,49	29,00	-84,58	-1,23	4,12	79.399
7410	3,65	-9,18	0,01	0,50	30,86	-77,11	0,07	4,22	79.464
15207	2,22	-8,83	0,10	0,47	18,78	-74,20	0,87	3,93	73.259
<b>Summe</b>									<b>477.052</b>

Obwohl bei der vorliegenden Telemetriestudie in einzelnen Fällen größere Entfernungen (bis zu 32,9 km) zwischen der Wetterstation und den betrachteten Horsten vorlagen als in der Studie von HEUCK *et al.* (2019) (bis zu 19,5 km), erschien es daher nicht erforderlich die Methodik zu verändern und den flächig berechneten Datensatz des Copernicus Programms zu verwenden. Es konnten weiterhin die Daten der nächstgelegenen DWD-Station verwendet werden, um eine methodische Vergleichbarkeit mit der Studie von HEUCK *et al.* (2019) zu gewährleisten.

### 10.3 Anhang Flughöhendatenauswertung

**Tabelle 34:** Übersicht der 5 Minuten Barometerdaten-Ortungspunkte der besenderten Rotmilane nach Rotmilan-Individuum (ID) und Jahr. Dargestellt sind die absolute Anzahl an Ortungspunkten und der daraus resultierende Anteil der Ortungspunkte je Flughöhenklasse (< 80 m, 80 bis 250 m und > 250 m). Für RK\_1137 & RK\_1138 liegen nur 1 bzw. 17 Ortungspunkte aus 2022 mit Barometermessung vor, wobei keiner dieser Verortungen die Anforderungen an die Höhenkalibrierung aus Kapitel 3.2.10 erfüllt.

Jahr	ID	Anzahl Ortungspunkte (absolut)				Anteil Ortungspunkte [%]		
		< 80	80 bis 250	> 250	Summe	< 80	80 bis 250	> 250
2019	RK_1137	65	9	0	74	87,84	12,16	0,00
	RK_1138	273	68	10	351	77,78	19,37	2,85
2020	RK_1137	106	18	1	125	84,80	14,40	0,80
	RK_1138	686	183	59	928	73,92	19,72	6,36
2021	RK_1137	66	9	3	78	84,62	11,54	3,85
	RK_1138	46	16	6	68	67,65	23,53	8,82
	RK_1244	1.705	255	37	1.997	85,38	12,77	1,85
	RK_1245	1.018	153	19	1.190	85,55	12,86	1,60
	RK_1246	1.722	272	33	2.027	84,95	13,42	1,63
	RK_1257	848	187	86	1.121	75,65	16,68	7,67
	RK_1258	1.625	269	57	1.951	83,29	13,79	2,92
	RK_1277	1.431	327	69	1.827	78,33	17,90	3,78
2022	RK_1285	865	262	19	1.146	75,48	22,86	1,66
	RK_1244	4.390	1.173	201	5.764	76,16	20,35	3,49
	RK_1245	4.062	821	154	5.037	80,64	16,30	3,06
	RK_1246	7.264	1.391	143	8.798	82,56	15,81	1,63
	RK_1258	6.500	2.270	464	9.234	70,39	24,58	5,02
	RK_1277	6.175	2.151	454	8.780	70,33	24,50	5,17
	RK_1455	2.228	200	22	2.450	90,94	8,16	0,90
	RK_1658	761	191	20	972	78,29	19,65	2,06
Alle	RK_1659	1.672	471	48	2.191	76,31	21,50	2,19
	Gesamt	43.508	10.696	1.905	56.109	77,54	19,06	3,40

**Tabelle 35:** Übersicht der 5 Minuten Barometerdaten-Ortungspunkte der besenderten Rotmilane nach Rotmilan-Individuum (ID), zusammengefasst über alle Betrachtungsjahre (Zeitraum 2019 bis 2022). Dargestellt sind die absolute Anzahl an Ortungspunkten und der daraus resultierende Anteil der Ortungspunkte je Flughöhenklasse (< 80 m, 80 bis 250 m und > 250 m). Der Mittelwert bzw. Median wurde über die Einzelwerte der 12 besenderten Individuen berechnet.

Jahr (n)	ID	Anzahl Ortungspunkte (absolut)				Anteil Ortungspunkte [%]		
		< 80	80 bis 250	> 250	Summe	< 80	80 bis 250	> 250
3	RK_1137	237	36	4	277	85,56	13,00	1,44
3	RK_1138	1.005	267	75	1.347	74,61	19,82	5,57
2	RK_1244	6.095	1.428	238	7.761	78,53	18,40	3,07
2	RK_1245	5.080	974	173	6.227	81,58	15,64	2,78
2	RK_1246	8.986	1.663	176	10.825	83,01	15,36	1,63
1	RK_1257	848	187	86	1.121	75,65	16,68	7,67
2	RK_1258	8.125	2.539	521	11.185	72,64	22,70	4,66
2	RK_1277	7.606	2.478	523	10.607	71,71	23,36	4,93
1	RK_1285	865	262	19	1.146	75,48	22,86	1,66
1	RK_1455	2.228	200	22	2.450	90,94	8,16	0,90
1	RK_1658	761	191	20	972	78,29	19,65	2,06
1	RK_1659	1.672	471	48	2.191	76,31	21,50	2,19
Alle (21)	Gesamt (Ortungen)	43.508	10.696	1.905	56.109	77,54	19,06	3,40
	Mittelwert (Indiv.)	---	---	---	---	78,69	18,09	3,21
	Median (Indiv.)	---	---	---	---	77,30	19,02	2,48

**Tabelle 36:** Darstellung der Anzahl an 5 Minuten Barometerdaten-Ortungspunkten, deren Anteil in den drei Flughöhenklasse (< 80 m, 80 bis 250 m und > 250 m) und der Mittelwert bzw. Median der prozentuellen Nutzung der Flughöhenklassen über die Flughöhenklassen-Anteile der besenderten Individuen (Median bzw. Mittelwert Individuen) getrennt nach Jahren.

	< 80	80 bis 250	> 250	Summe	Beschreibung
2019 n = 2	338	77	10	425	Ortungspunkte
	79,53	18,12	2,35	---	Anteil an Ortungspunkten [%]
	82,81	15,77	1,42	---	Median $\hat{=}$ Mittelwert Individuen [%]
2020 n = 2	792	201	60	1.053	Ortungspunkte
	75,21	19,09	5,70	---	Mittelwert ungewichtet [%]
	79,36	17,06	3,58	---	Median $\hat{=}$ Mittelwert Individuen [%]
2021 n = 9	9.326	1.750	329	11.405	Ortungspunkte
	81,77	15,34	2,88	---	Anteil an Ortungspunkten [%]
	80,10	16,15	3,75	---	Mittelwert Individuen [%]
	83,29	13,79	2,92	---	Median Individuen [%]
2022 n = 8	33.052	8.668	1.506	43.226	Ortungspunkte
	76,46	20,05	3,48	---	Anteil an Ortungspunkten [%]
	78,20	18,86	2,94	---	Mittelwert Individuen [%]
	77,30	20,00	2,62	---	Median Individuen [%]

**Tabelle 37:** Auswertung der absoluten Anzahl an 5 Minuten Barometerdaten-Ortungspunkten und der daraus resultierende Anteil der Ortungspunkte je Flughöhenklasse (< 80 m, 80 bis 250 m und > 250 m) für Rotmilan-Brutvögel. Bei Verlust der Brut- bzw. der ausgeflogenen Jungvögel wurden die Ortungspunkte dieser Phase und aller folgenden Phasen bis inklusive der Nachbrutzeit nicht eingerechnet (angelehnt an SPATZ *et al.* 2019).

	< 80	80 bis 250	> 250	Summe
Anzahl Ortungspunkte	30.580	7.939	1.489	40.008
Anteil an Ortungspunkten [%]	80,08	16,97	3,06	100,00