

**Statistische Begutachtung des Antikollisionssystems „AVES-Wind Onshore“
vor dem Hintergrund des LfU-AKS Prüfrahmens und in Anlehnung an die
„KNE-Checkliste“**

Dipl.-Math. Dipl.-Biol. Dr. Moritz Mercker

Bionum GmbH – Büro für Biostatistik

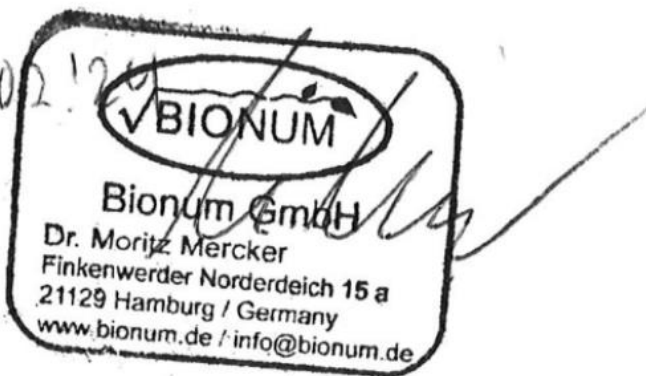
Finkenwerder Norderdeich 15A

21129 Hamburg

www.bionum.de

mmercker@bionum.de

HAMBURG, 14.02.2024

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular stamp. The stamp contains the BIONUM logo and contact information for Dr. Moritz Mercker.

BIONUM
Bionum GmbH
Dr. Moritz Mercker
Finkenwerder Norderdeich 15 a
21129 Hamburg / Germany
www.bionum.de / info@bionum.de

Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG UND ÜBERBLICK	3
2.	ZUSAMMENFASSENDE BEURTEILUNG UND ANMERKUNGEN.....	3
3.	DEFINITION UND BERECHNUNG DES REAKTIONS- UND ERFASSUNGSBEREICHES	4
4.	FELD- UND STATISTISCHE METHODEN	6
1.1	Methodik Feldversuche und Zuordnung AKS vs. LRF.....	6
1.2	Methodik statistische Auswertung	8
5.	ERGEBNISSE	8
1.3	Gesamtrate	8
1.4	Erfassungsrates.....	9
1.5	Erkennungsrate.....	10
6.	RÄUMLICHE ABDECKUNG AM STANDORT.....	11
7.	LITERATUR.....	15

1. EINLEITUNG UND ÜBERBLICK

Mit dem AVES-Wind Onshore System hat die ProTecBird ein innovatives KI-basiertes Antikollisions- und Monitoringsystem entwickelt. Im Rahmen einer Pilotstudie im Jahr 2023 wurde die Leistung dieses Systems bzgl. der automatischen Vogelerfassung und bedarfsgerechten Abschaltung untersucht. Im Rahmen der Studie wurden vielfältige Daten in einem Windpark an zwei Windenergieanlagen vom Typ Nordex (N149) erhoben, die eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Systems möglich machen. Bei den erhobenen Daten handelt es sich u. a. um

- örtlich-zeitliche Laser-Rangefinder (LRF)-Daten von anfliegenden Zielarten und weiteren Vögeln;
- örtlich-zeitliche Kamera-basierte Daten von anfliegenden Zielarten und weiteren Vögeln aus dem AKS; und
- örtlich-zeitliche monokulare Entfernungsmessungen durch das AKS.

Im Rahmen dieses Berichtes werden diese Daten dafür genutzt, die Leistungsfähigkeit des Systems vor dem Hintergrund des jüngst erarbeiteten LfU-AKS-Prüfrahmens (2024) sowie in Anlehnung an die KNE-Checkliste (*Anforderungen an Antikollisionssysteme zum Schutz von Vögeln an Windenergieanlagen – Checkliste für eine qualifizierte Entscheidung über die Anwendbarkeit von Antikollisionssystemen*, 2021) zu prüfen. Hierbei werden u. a. die folgenden Punkte analysiert und/oder diskutiert:

1. die Definition von geeigneten Zielart-spezifischen Erfassungs- und Reaktionsbereichen;
2. die Zielart-spezifische Erfassungsrates (d.h., die Rate, mit der Zielvogelarten tatsächlich als Ziel vom AKS erkannt werden);
3. die Zielart-spezifische Erkennungsrate (d.h., die Rate mit der erfasste Zielarten hinsichtlich ihrer Art korrekt vom AKS klassifiziert werden);
4. die Zielart-spezifische Gesamtrate (d.h., die Rate mit der erfasste Zielarten erfasst und hinsichtlich ihrer Art korrekt vom AKS klassifiziert werden);
5. die Frage, ob sich die Leistung des AKS zwischen den fünf unterschiedlichen beprobten Standorten signifikant unterscheidet;
6. die Positionsgenauigkeit der AKS-basierten Messungen.

Die Ergebnisse zur Falsch-Positiv-Rate (d.h., die Rate, mit der versehentliche Abschaltungen für nicht-Zielarten vom AKS bewirkt werden) werden nachgeliefert.

In dem vorliegenden statistischen Ergebnisbericht wird vorerst der Rotmilan betrachtet und ausgewertet.

2. ZUSAMMENFASSENDE BEURTEILUNG UND ANMERKUNGEN

Die statistischen Analysen der empirischen Daten zeigen, dass für den Rotmilan sowohl die Vorgaben aus dem LfU-AKS-Prüfrahmen sowie die Vorgaben aus der KNE-Checkliste erfüllt sind.

Es wurde der folgende Reaktionsradius berechnet:

Rotmilan: $r_{\text{Reaktion}} = 385 \text{ m}$,

Für die Analysen wurde ein Erfassungsbereich gewählt, der den Reaktionsbereich ringförmig umläuft (vgl. LfU-AKS-Prüfrahmen). Zwecks besserer Übertragbarkeit auf verschiedene mögliche

Situationen in Genehmigungsverfahren werden hier Ringe/Tori verschiedener Ausdehnungen untersucht.

Erfassungs-, Erkennungs- und Gesamtraten wurden wie im LfU-AKS-Prüfrahmen spezifiziert und mit geeigneten Regressionsmodellen analysiert; sie (bzw. deren Konfidenzintervalle) liegen für die o.g. Reaktionsbereiche in allen Fällen über den im LfU-AKS-Prüfrahmen und KNE-Checkliste geforderten Mindestwerten. Zudem wurde untersucht, ob sich die Gesamtrate signifikant zwischen den unterschiedlichen Erfassungsgebieten unterscheidet, was in hohem Maße nicht der Fall ist (in allen Fällen $p > 0,2$, also nicht signifikant).

3. DEFINITION UND BERECHNUNG DES REAKTIONS- UND ERFASSUNGSBEREICHES

Der Reaktionsbereich definiert den projektspezifischen zylindrischen 3D Luftraum um den WEA-Rotormittelpunkt, an dessen Rändern ein Vogel spätestens erfasst und klassifiziert worden sein muss, um eine rechtzeitige Abschaltung der WEA zu gewährleisten. Höhe und Radius des Zylinders (Torus) ergeben sich u.a. aus WEA-spezifischen Maßen sowie horizontalen und vertikalen Flugeschwindigkeiten (vgl. LfU-AKS-Prüfrahmen, an den die folgenden Passagen in hohem Maße angelehnt sind).

Der Erfassungsbereich definiert den 3D Luftraum um das AKS, welcher im Rahmen der AKS-Validierung (empirische Ermittlung der Raten) verwendet wird und für den eine ausreichend hohe und valide bestimmte Gesamtrate gefordert ist. Im Genehmigungsverfahren wird dann überprüft, ob der projektspezifische (zylindrische) Reaktionsbereich durch den (oder einen der untersuchten) Erfassungsbereich(e) geschützt/abgedeckt ist.

Dies ist z. B. der Fall, wenn der Erfassungsbereich den Reaktionsbereich ringförmig so umläuft, dass damit der relevante Luftraum um den Reaktionsbereich überwacht und somit in den Reaktionsbereich eintretende Vögel zuverlässig erfasst und erkannt werden. Diese ringförmige Betrachtung ist für das AVES-Wind Onshore System relevant, da es auf das Erfassen und Erkennen über größere Entfernungen spezialisiert ist und primär das Umfeld des Reaktionsbereiches überwacht.

Es ist ein 3D-Torus vorgegeben, der den Reaktionsbereich ringförmig umläuft und der in die vertikale Achse fortgeführt wird. Dessen Höhe berechnet sich analog zur Höhe des Reaktionsbereichs (oberer/unterer Rotordurchlauf plus eines Puffers in Abhängigkeit von Radius und Flugeschwindigkeiten), wobei hier als Radius der äußere Radius des Torus verwendet wird (nicht der Reaktionsradius). Der dadurch entstehende zusätzliche Puffer in der vertikalen Achse ist dazu notwendig, die Erfassung aller von oben oder unten an den Reaktionsbereich anfliegenden Vögel in ausreichendem Maße zu gewährleisten. Einzige Bedingungen sind, dass der äußere Radius des Torus größer als der Reaktionsradius und der innere Radius kleiner-gleich dem Reaktionsradius ist. Zusätzlich muss bei der Bewertung, ob ein Reaktionsbereich durch einen Erfassungsbereich ausreichend geschützt ist, wenn existent die örtliche Differenz (vertikal und/oder horizontal) des AKS relativ zum WEA-Rotormittelpunkt berücksichtigt werden, sprich der Ausdehnung des Erfassungsbereiches aufgeschlagen werden.

Da es sich im vorliegenden Projekt um ein Mehrkamera-AKS-System handelt, welches die Anzahl der Kameras projektspezifisch anpasst, kamen in dem vorliegenden Feldexperimenten zu den Raten/der Validierung insgesamt vier Kameras zum Einsatz. Der Erfassungsbereich wird entsprechend angepasst (ein „Tortenstück" pro Kamera).

Um eine Anwendung in möglichst vielen Szenarien zu ermöglichen, wird der Erfassungsbereich möglichst groß gewählt. Zusätzlich bzw. ergänzend dazu werden Erfassungsbereiche

unterschiedlicher Ausdehnung betrachtet um die Einschätzung/Übertragung des Schutzgrades für verschiedene projektspezifische Reaktionsbereiche zu erleichtern.

Für die Bestimmung des Reaktionsbereichs wird in einem ersten Schritt die art- und WEA-spezifische Berechnung des Reaktionsradius benötigt. Die Berechnung dieses Radius' (r_{Reaktion}) setzt sich aus vier Hauptkomponenten zusammen

1. aus der mittleren artspezifischen horizontalen Fluggeschwindigkeit (v_{Vogel}),
2. aus der Zeit, die vom AKS-induzierten Abschaltsignal bis hin zum Erreichen des Trudelbetriebs der betrachteten WEA vergeht (t_{Abschalt}),
3. aus dem mittleren örtlichen relativen Messfehler des AKS ($c_{\text{Messfehler}}$) und
4. aus einem Maß $c_{\text{Rotorblatt}}$, welches abgeleitet wird aus dem Rotorradius.

Die finale Formel ergibt sich über

$$r_{\text{Reaktion}} = (v_{\text{Vogel}} \cdot t_{\text{Abschalt}} + c_{\text{Rotorblatt}}) \cdot (1 + c_{\text{Messfehler}})$$

(vgl. LfU-AKS-Prüfrahmen). Hier wurden die folgenden Werte verwendet:

- $v_{\text{Vogel}} = 8,54$ m/s (vgl. LfU-AKS-Prüfrahmen) (hier bezogen auf den Rotmilan)
- t_{Abschalt} : setzt sich additiv aus zwei Unterkomponenten zusammen: der zeitlichen Latenz t_{Latenz} , die den Zeitabstand zwischen dem AKS-induzierten Abschaltsignal und dem Zeitpunkt misst, an dem das Abschaltsignal an der betreffenden WEA ankommt (hier kann es bspw. zu Verzögerungen durch die Priorisierung von Signalen im Kontext der Windparksteuerung kommen), sowie der Dauer t_{Trudel} , die die Anlage im Mittel benötigt, um vom regulären Betrieb in den Trudelbetrieb zu kommen. Beide Werte sind projektspezifisch und es sind im Rahmen der Validierung plausible Annahmen für diese beiden Größen getroffen wurden, nämlich $t_{\text{Trudel}} = 30$ s und $t_{\text{Latenz}} = 2$ s.
- $c_{\text{Rotorblatt}}$: das 0,637-Fache des Rotorradius, also $0,637 \cdot 75$ m
- $c_{\text{Messfehler}}$: definiert den mittleren relativen örtlichen Messfehler des AKS. Relativ deshalb, weil der Fehler naturgemäß mit der Distanz zwischen AKS und Ziel zunimmt, und deshalb der absolute Fehler (bspw. gegeben in Metern) durch die jeweilige Distanz zwischen AKS bzw. WEA und Ziel geteilt wird, um den relativen Messfehler als ein von der Distanz unabhängiges Maß zu erhalten. Dazu wurden von BioConsult SH die Rotmilan-LRF-Punkte von 5 Erfassungstagen vs. den vom AKS zugeordneten Punkten analysiert, im Mittel lag die Abweichung beim Rotmilan bei 20 %. Hier gingen nur LRF-Punkte in die Statistik ein, wenn der Punkt korrekt vom AKS erfasst und erkannt wurde. Insgesamt wurden hier 548 LRF-Punkte mit unterschiedlichen Abständen zwischen AKS und Ziel analysiert.

Daraus ergibt sich ein Reaktionsradius von:

Rotmilan: $r_{\text{Reaktion}} = 385$ m.

Die Höhe des Reaktionsbereiches ergibt sich aus dem oberen und unteren Rotordurchlauf plus eines Puffers. Der Puffer ergibt sich wiederum aus derjenigen Höhenänderung des fliegenden Vogels, die in der Zeit anzunehmen ist, die der Vogel benötigt, um die Länge des Reaktionsradius

zurückzulegen. Die empirischen Messungen legen nahe, dass die untersuchten Vögel artübergreifend etwa 1 m/s vertikale Geschwindigkeiten im Steig- und Sinkflug zeigen (vgl. LfU-AKS-Prüfrahmen). Damit ergibt sich der Puffer (in Einheiten von Metern) direkt aus dem Quotienten von Reaktionsradius und der horizontalen Fluggeschwindigkeit. Um im vorliegenden Projekt besonders vorsorglich vorzugehen, wird der untersuchte Erfassungsbereich jedoch nicht nach oben und unten begrenzt, sondern beinhaltet sämtliche LRF-Punkte, die sich in der Luftsäule über dem oben definierten Torus befanden. Auf diesem Wege werden selbst vom Boden oder weit oben in den Reaktionsbereich einfliegende Vögel in den ermittelten Raten reflektiert.

4. FELD- UND STATISTISCHE METHODEN

Die folgenden Angaben zur Erfassungsrate beruhen auf belastbaren Untersuchungsergebnissen, die empirisch erhoben und statistisch valide ausgewertet wurden.

1.1 Methodik Feldversuche und Zuordnung AKS vs. LRF

Das Konzept zur Untersuchung der Erfassungsrate beruht auf dem Vergleich von Vögeln, die im Feld (örtlich und zeitlich verortet) durch Ornithologen und Ornithologinnen (Firma Bioplan) erfasst wurden mit dem, was durch das AVES-Wind Onshore System erfasst wurde. Es wurden von den beobachtenden Personen Laser-Rangefinder (LRF)-Geräte eingesetzt, die eine relativ präzise Verortung der Vögel vornehmen können (Ransom & Pinchak, 2003). Aus diesem Grund wird im Folgenden (vereinfacht) davon ausgegangen, dass die LRF-Daten prinzipiell mit keinem nennenswerten örtlichen und/oder zeitlichen Fehler behaftet sind.

Insgesamt wurden für die Analysen 12.024 Rotmilan-LRF-Punkte von fünf verschiedenen Standorten verwendet die von insgesamt 25 Untersuchungstagen (04.08.2023-14.09.2024) stammen.

Eine *a priori* Vorselektion der LRF-Punkte erfolgte ausschließlich hinsichtlich der Fragestellung, ob sie sich in dem vor der Kamera liegenden „Tortenstück“ (s. o.) befanden oder nicht. Diese „Tortenstücke“ beinhalten mehr Luftraum, als die von der Seite betrachtet keilförmigen Sichtkegel der Kameras erfassen können. So ergibt sich automatisch die Berücksichtigung der technisch bedingten „Abdeckungsrate“.

Hierfür sowie für die Zuordnung LRF-Punkt vs. AKS-Signal („matching“) wurden die folgenden Betrachtungen/Arbeitsschritte durchgeführt:

1. Mithilfe der LRF-Koordinaten, der Kamera-Positionen, und der kalibrierten Kamera-Winkel-Skala wurden pro Punkt theoretische Winkel (Pan, Tilt) erzeugt, unter denen der Vogel zu sehen ist;
2. Der Erfassungsbereich ist ein Torus um die Kamera (die an der WEA angebracht ist) mit festem innerem und äußerem Radius sowie fester Höhe. Horizontal erstreckt sich der Erfassungsbereich über einen Sehwinkel von 30° pro Kamera („Tortenstück“);
3. Die Logfiles des AVES-Wind Onshore Systems lieferten die tatsächlichen Winkel zu jedem Zeitpunkt. Außerdem ließ sich ableiten, was die Standard-Ausrichtung ist, welche den Ort des festen Erfassungsbereichs definiert. Die Standard-Ausrichtung wurde algorithmisch aus den Logfiles bestimmt, um (fehleranfällige) hart-programmierte Winkel zu vermeiden. Da die Kameras selbst nach dem Verfolgen eines Vogels nur mit begrenzter Toleranz zu einem Standard-Wert zurückkehren können, kommt es vor, dass der Horizontal-Winkel der Standard-Ausrichtung im Verlaufe einer Session um bis zu 1° schwankt;

4. Erfassbarkeit jeden Punktes prüfen:
 - a. Alle Punkte im oben definierten Bereich galten als erfassbar (im Folgenden „erfassbar“ synonym zu „innerhalb des Tortenstückes“ – s. o. zur Mitberücksichtigung der technisch bedingten Abdeckungsrate an dieser Stelle);
 - b. Die Kameras können zur Verfolgung von Vögeln automatisch mitgeschwenkt werden. Dadurch ergibt sich zusätzlich ein „dynamischer“ Sichtbereich einer Kamera, der durch Zoom auf unter 30° Breite beschränkt sein kann. Ein LRF-Punkt, dessen Winkel innerhalb dieses dynamischen Sichtbereichs lag, galt als erfassbar, wenn er innerhalb des inneren und äußeren Torus-Randes lag. LRF-Punkte galten als erfassbar, wenn ein Winkel-Matching erzielt wurde (s. u.). Dies ist nötig, da die Berechnung, ob ein LRF-Punkt innerhalb des dynamischen Sichtbereichs liegt, oft zu Fehlern führt, da das Winkel-Intervall des Sichtbereichs bei maximalem Zoom bei $< 4^\circ$ liegt, was deutlich unterhalb der Genauigkeit der Winkel-Berechnung liegt. Beispiel: ein Vogel wird verfolgt und auf 3° Sehwinkel herangezoomt. Die Berechnung über die Winkel ergibt, dass der Vogel theoretisch bei $\text{Pan}=34^\circ$ zu sehen ist. Der dynamische Kamera-Bereich ist $\text{Pan} = [37^\circ - 1,5^\circ, 37^\circ + 1,5^\circ]$. Damit ist der LRF-Punkt laut Zahlen nicht im Sichtbereich der Kamera. Das System gibt einen getrackten Vogel bei $37,3^\circ$ an. Die Differenz zwischen beiden Winkeln beträgt $3,3^\circ$. Das ist innerhalb der angenommenen Toleranz von 11° . Der Vogel gilt als erfasst und somit auch als erfassbar. Durch die oben beschriebenen Checks gingen durch Mitschwenken erfasste Vögel seitlich und oberhalb des Erfassungsbereichs mit in die Analyse ein. Die Bedingung an die radiale Distanz war jedoch strikt, d. h., LRF-Punkte mit einer radialen Distanz niedriger als der innere Radius oder höher als der äußere Radius des Torus galten nie als erfassbar;
5. Erfassung/Winkel-Matching prüfen:

Für den Fall, dass zum LRF-Zeitpunkt ein Track-Eintrag vorlag, wurde geprüft, ob sich die theoretischen Winkel (LRF-Pan, LRF-Tilt) mit den Winkeln des getrackten Objekts decken (Track-Pan, Track-Tilt). Dabei wurde mit einer Toleranz von 11° (Pan) bzw. 9° (Tilt) gerechnet. Sind die oben beschriebenen Bedingungen erfüllt, zählte der LRF-Punkt als erfasst.
6. KI-Klassifizierung bestimmen:

Um jeden LRF-Zeitpunkt wurde ein Zeitintervall gelegt. Dieses ging bis zur Hälfte der Zeitspanne bis zum nächsten LRF-Punkt desselben Tracks. Für LRF-Punkte am Anfang oder Ende einer LRF-Track-ID wurden 3s vor bzw. hinter den LRF-Zeitpunkt angefügt. Innerhalb des so bestimmten Zeitintervalls wurden die Klassifizierungen der KI aus allen Logfile-Einträgen gesammelt und der häufigste Eintrag unter ‚final class‘ war die KI-Klasse des LRF-Punktes. Die KI-Klassen sind gegeben durch die Klassen „target“ (hier Rotmilan), „non-target“ (alle anderen Vogelarten) oder „bird“ (unbestimmter Vogel). Die „final class“ ist dabei bereits eine speziell für den Anwendungszweck angepasste Mittelung über alle bisherigen einzelnen Klassifizierungen des aktuell erfassten Vogels. Randnotiz: ein Auslesen einer KI-Klassifizierung ist auch ohne zutreffendes Winkel-Matching möglich, z.B. wenn das System einen anderen Vogel verfolgt als vom LRF abgebildet wird.
7. Bestimmung der finalen Variable „Rotmilan erfasst und erkannt“ vs. „nicht erfasst oder erkannt“:

Falls ein LRF-Punkt mit den System-Daten ein erfolgreiches Winkel-Matching produzierte und die KI-Klassifizierung mit der tatsächlichen Vogelart übereinstimmte, galt der Vogel als korrekt erfasst und erkannt.
8. Anwendung des Filters „mindestens 4 erfassbare Punkte pro Track“:

Prinzipiell soll jeder Rotmilan, der als „erfassbar“ deklariert wurde, in die Statistik eingehen. Tracks mit zu wenig erfassbaren Punkten (kleiner-gleich 3) wurden jedoch exkludiert (vgl. LfU-AKS-Prüfrahmen) da sie im Kontext der Regressionsanalyse bei oft sehr geringem Anteil an den Gesamtdaten zu einem unverhältnismäßig starken Anstieg der Varianz und/oder zu

verzerrten Ergebnissen führen können. Zudem handelt es sich bei LRF-Tracks mit nur wenigen Punkten i. d. R. um nicht kollisionsgefährdete Flüge, bei denen der Vogel nur kurzzeitig im Erfassungsbereich auftauchte.

1.2 Methodik statistische Auswertung

Bei den zu analysierenden Daten handelt es sich um binäre Variablen, die bspw. zwischen „erfasst“ und „nicht erfasst“ klassifiziert werden. Im einfachsten Fall können hier einfach Mittelwerte der entsprechenden Raten ermittelt werden. Die Variable ist allerdings nicht normalverteilt, sodass für die Berechnung der Varianz (z.B. um Konfidenzintervalle zu erhalten) Techniken eingesetzt werden müssen, die keine Normalverteilung voraussetzen.

Tatsächlich ist die statistische Situation aber noch etwas komplexer, denn es werden Zeitreihen untersucht, wobei zusätzlich die LRF-Punkte verschiedenen Individuen zuzuordnen sind, sodass in mehrfacher Hinsicht ein Problem von „Pseudo-Replikation“ besteht (Stuart H., 1984), was zu einer (u.U. deutlichen) Unterschätzung von Konfidenzintervallen sowie zu verzerrten ermittelten Raten führen kann.

Aus diesem Grund wurde eine Analyse-Strategie angewendet, die diese Datensituation adäquat berücksichtigt. Insbesondere erfolgte hier die Analyse mit geeigneten Regressionsmethoden, den „logistischen Regressionsmethoden“, die zu den „generalized linear models“ (GLMs) (Benjamin M. et al., 2008; Field et al., 2012; A. Zuur et al., 2007) gehören. Die Zugehörigkeit zu verschiedenen Individuen wurde hier inkludiert, indem die Track-ID als „random intercept“ im Kontext von „mixed modelling“ verwendet wurde, was zu der Klasse der „generalised linear mixed models“ (GLMMs) (Benjamin M. et al., 2008; Pinheiro & Bates, 2000; A. F. Zuur et al., 2009) führte. Zudem wurde die zeitliche Autokorrelation mittels pACF-Plots analysiert und als geeignete Autoregressionsstruktur (AR1) integriert (Korner-Nievergelt et al., 2015; A. Zuur et al., 2007; A. F. Zuur et al., 2009). Weitere Details zur Methode und deren Motivation finden sich im LfU-AKS-Prüfrahmen (2024).

Für alle statistische Analysen haben wir die Open-Source-Software R verwendet (R Core Team, 2023) und hier das R-Paket MASS (*Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition*, 2002).

Da es sich bei dem AVES Wind Onshore System um ein Mehrkamera-AKS-System handelt, fand eine Auswertung von Tracks bzw. Raten statt, bei denen das Gesamtsystem als erfassende Einheit betrachtet wurde. Dies ist gestattet, da alle Kameras (durch Datenaustausch) gemeinsam eine eindeutige Reaktion des Gesamtsystems (d. h. ggf. ein Abschaltsignal) erzeugen oder jede Kamera für sich (ohne Priorisierung einzelner Kameras) in der Lage ist, ein Abschaltsignal zu senden.

5. ERGEBNISSE

1.3 Gesamtrate

Die Ergebnisse zur Gesamtrate (vgl. Definition in dem LfU-AKS-Prüfrahmen) sind bzgl. des Rotmilans in Abbildung 1 gezeigt. Untersucht wurden drei leicht unterschiedliche ringförmige Erfassungsbereiche mit einem Torus von 200 Meter Breite. Die Mittelwerte liegen bei 85-87 % und die unteren Grenzen der Konfidenzintervalle bei 75-79 % und letztere somit über dem im LfU-AKS-Prüfrahmen geforderten 70 %.

Zudem wurden für die Daten aller untersuchten Erfassungsbereiche mittels logistischen GLMM-Regressionen untersucht, ob es signifikante Unterschiede in den Gesamtraten zwischen

den unterschiedlichen untersuchten Gebieten gibt. Dies ist nicht der Fall, alle p-Werte sind größer-gleich 0,2 und somit in hohem Maße nicht-signifikant.

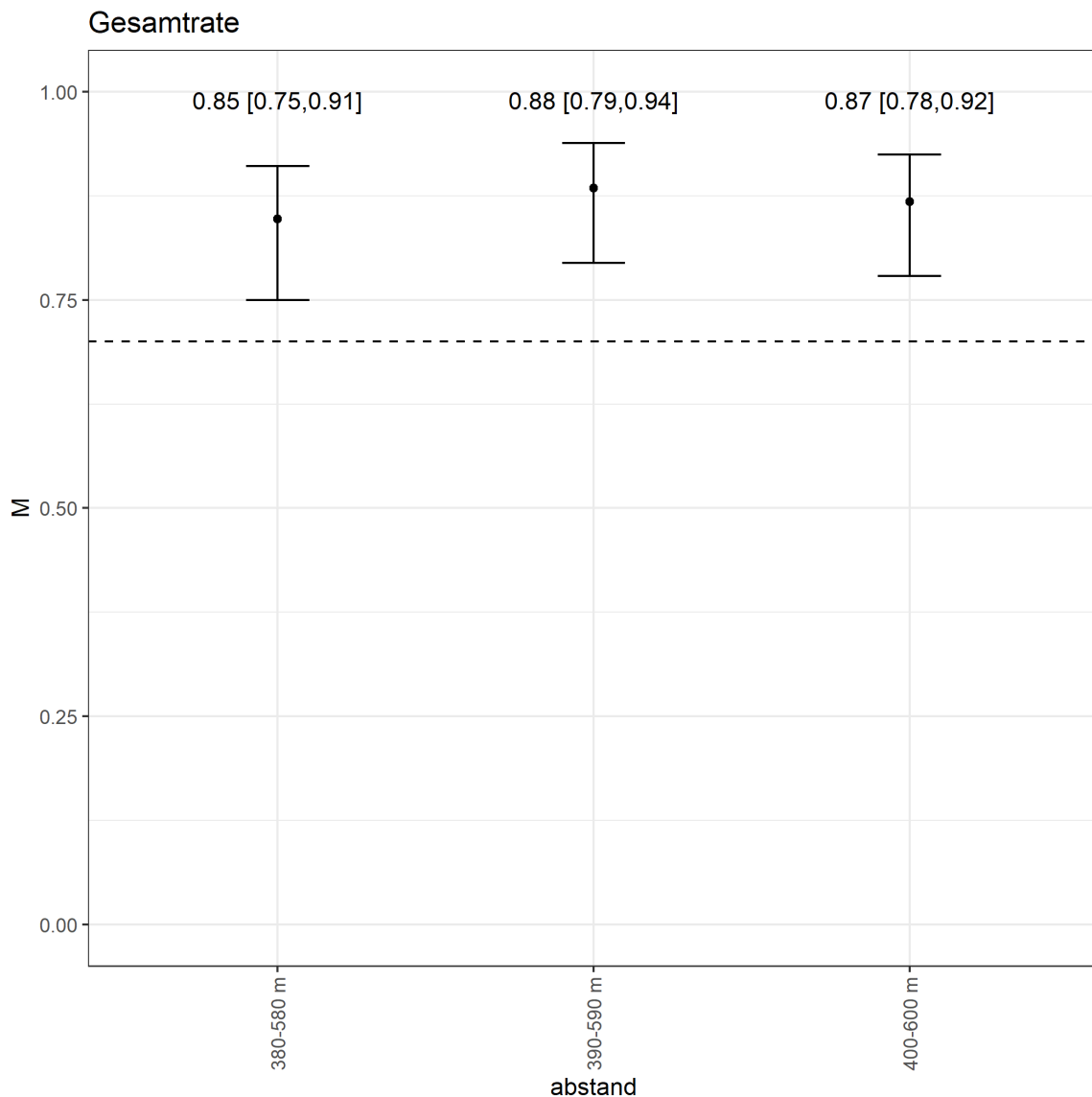


Abbildung 1: Statistische Ergebnisse zur Gesamtrate bzgl. des Rotmilans basierend auf logistischen GLMM-Analysen. Schwarze Punkte geben Mittelwerte an, schwarze Balken 95%ige Konfidenzintervalle.

1.4 Erfassungsrate

Die Ergebnisse zur Erfassungsrate sind bzgl. des Rotmilans in Abbildung 2 gezeigt. Untersucht wurden drei leicht unterschiedliche ringförmige Erfassungsbereiche mit einem Torus von 200 Meter Breite. In allen Fällen liegt der Mittelwert bei 95-97 % und damit deutlich über den in der KNE-Checkliste geforderten 75 %.

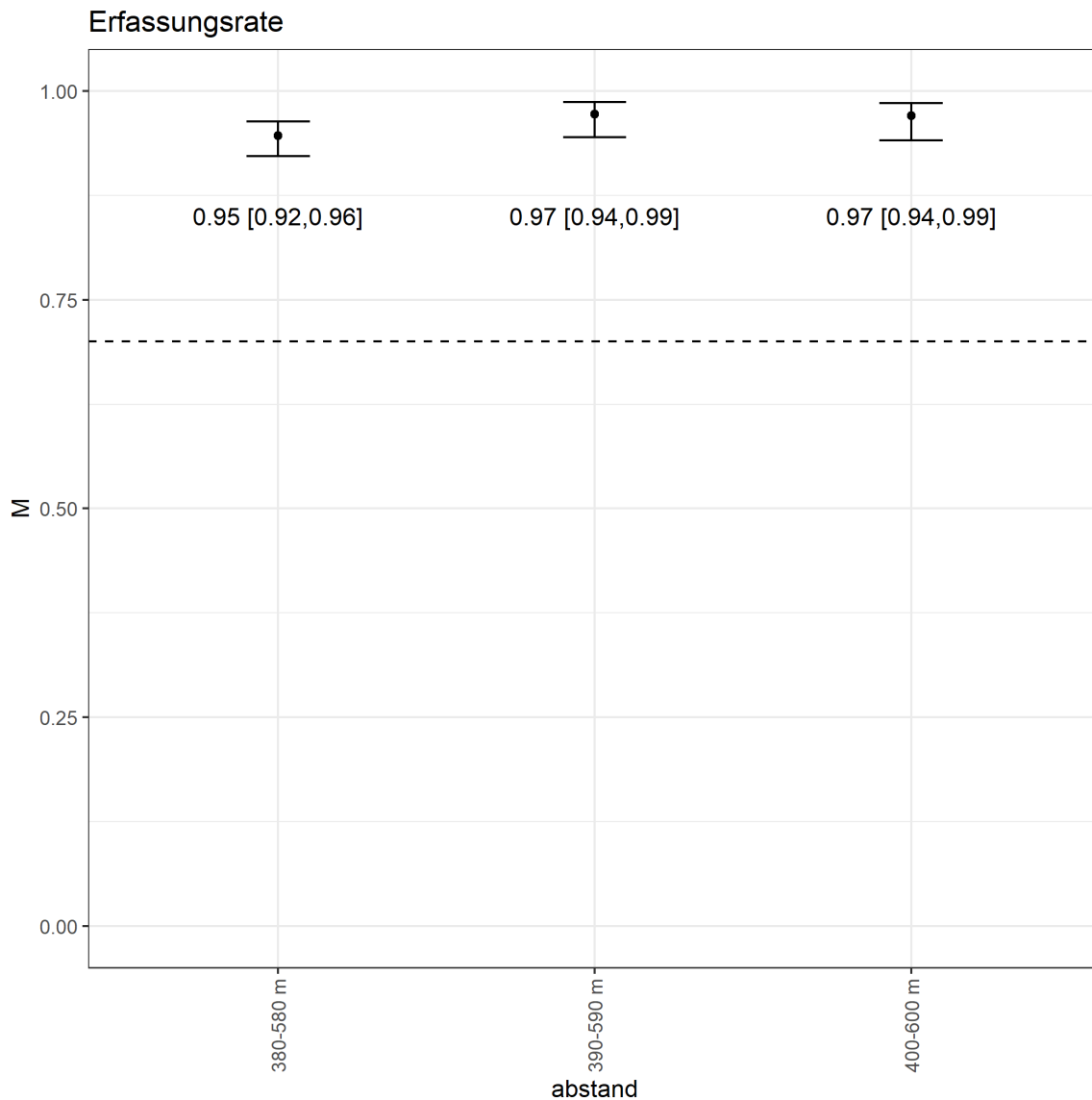


Abbildung 2: Statistische Ergebnisse zur Erfassungsrate bzgl. des Rotmilans basierend auf logistischen GLMM-Analysen. Schwarze Punkte geben Mittelwerte an, schwarze Balken 95%ige Konfidenzintervalle.

1.5 Erkennungsrate

Die Ergebnisse zur Erkennungsrate sind bzgl. des Rotmilans Abbildung 3 gezeigt. Untersucht wurden wieder drei leicht unterschiedliche ringförmige Erfassungsbereiche mit einem Torus von 200 Meter Breite. Die Mittelwerte liegen bei 87-98 % und damit deutlich über dem in der KNE-Checkliste geforderten Mindestwert von 75 % und nahe an bzw. über dem dort gewünschten Wert von (mindestes) 90 %.

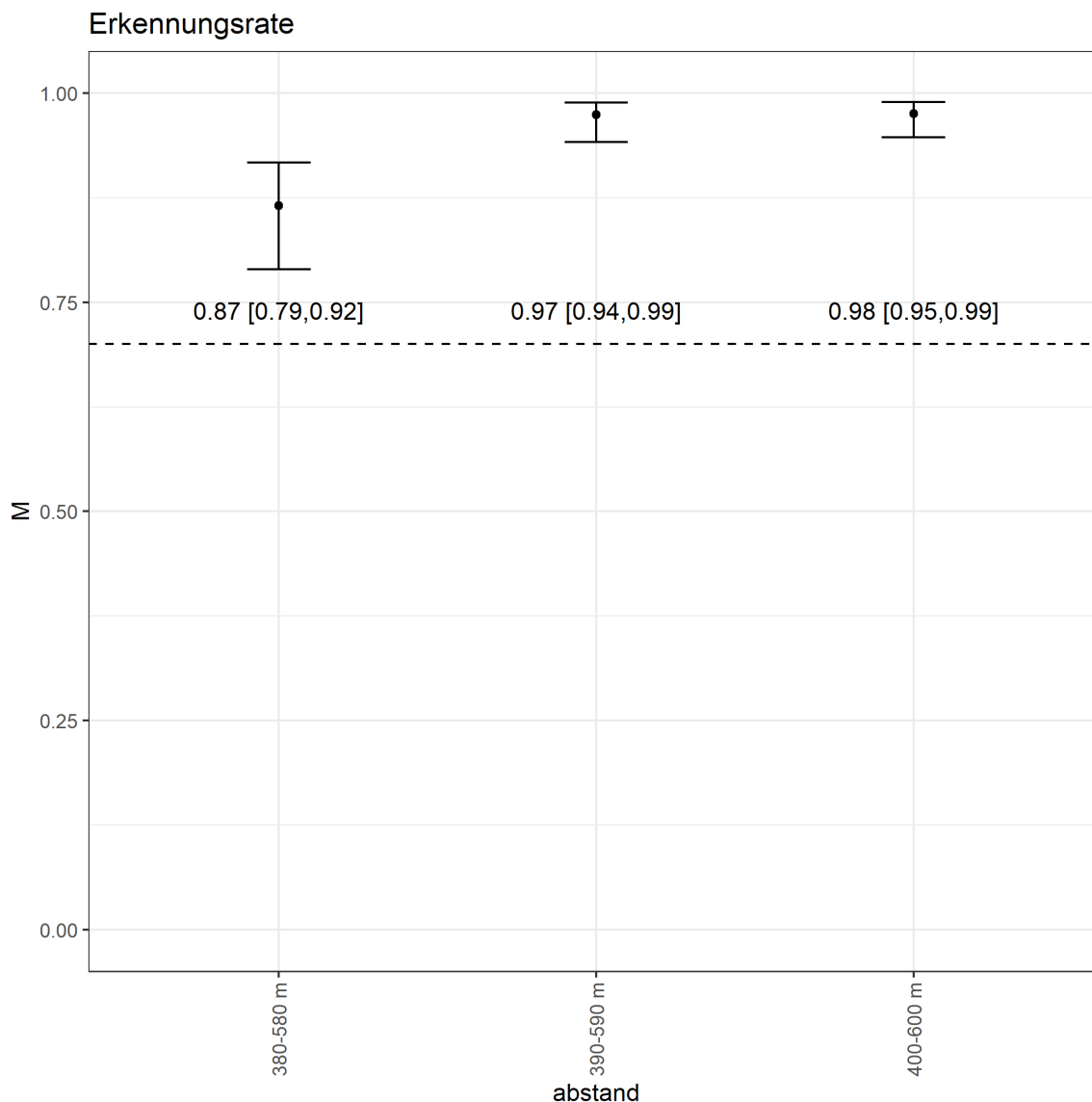


Abbildung 3: Statistische Ergebnisse zur Erkennungsrate bzgl. des Rotmilans basierend auf logistischen GLMM-Analysen. Schwarze Punkte geben Mittelwerte an, schwarze Balken 95%ige Konfidenzintervalle.

6. RÄUMLICHE ABDECKUNG AM STANDORT

Für den Testablauf wurden in einem Windpark an zwei Nordex N149 WEA insgesamt vier Kameras installiert. Abbildung 4 zeigt die einzelnen berücksichtigten Sichtkegel der jeweiligen Kameras (Nr. 50 bis 54) und Abbildung 5 ein Übersichtsfoto des Geländes.

Ein vollständiges AVES-Wind System würde die meisten äußeren WEAs eines WPs mit Kameras ausstatten, so dass sich eine 360° Rundumsicht ergibt. Exemplarisch wurde hier nur ein Teil des WPs so ausgestattet, als wären diese beiden WEAs am östlichen Rand eines größeren Windparks.

Anhand der Abbildung 4 bis Abbildung 6 wird ersichtlich, dass im Bereich der Sichtkegel der vier installierten AVES-Systeme keine nennenswerten Sichtbarrieren liegen. Die Knickstrukturen liegen unterhalb der Höhe der angebrachten Kameras und die Wälder liegen in einem ausreichend großen Abstand, so dass die Kameras über diese Strukturen hinwegsehen.

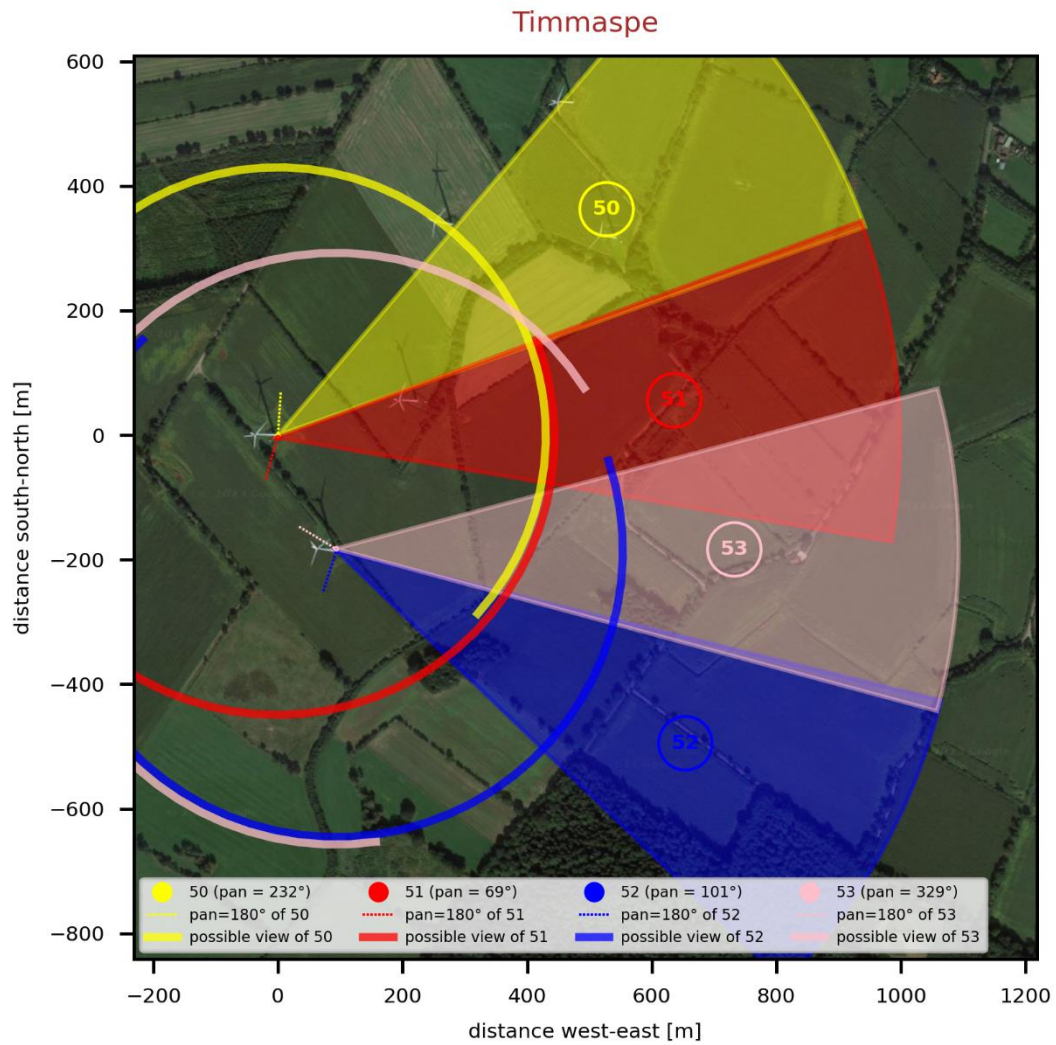


Abbildung 4: Darstellung der zwei Windenergieanlagen mit den installierten AVES-Systemen mit Darstellung der Sichtkegel der einzelnen Kameras.



Abbildung 5: Übersicht über den Windpark mit den beiden WEA mit den vier installierten Kameras (Foto: BioConsult SH 2023).

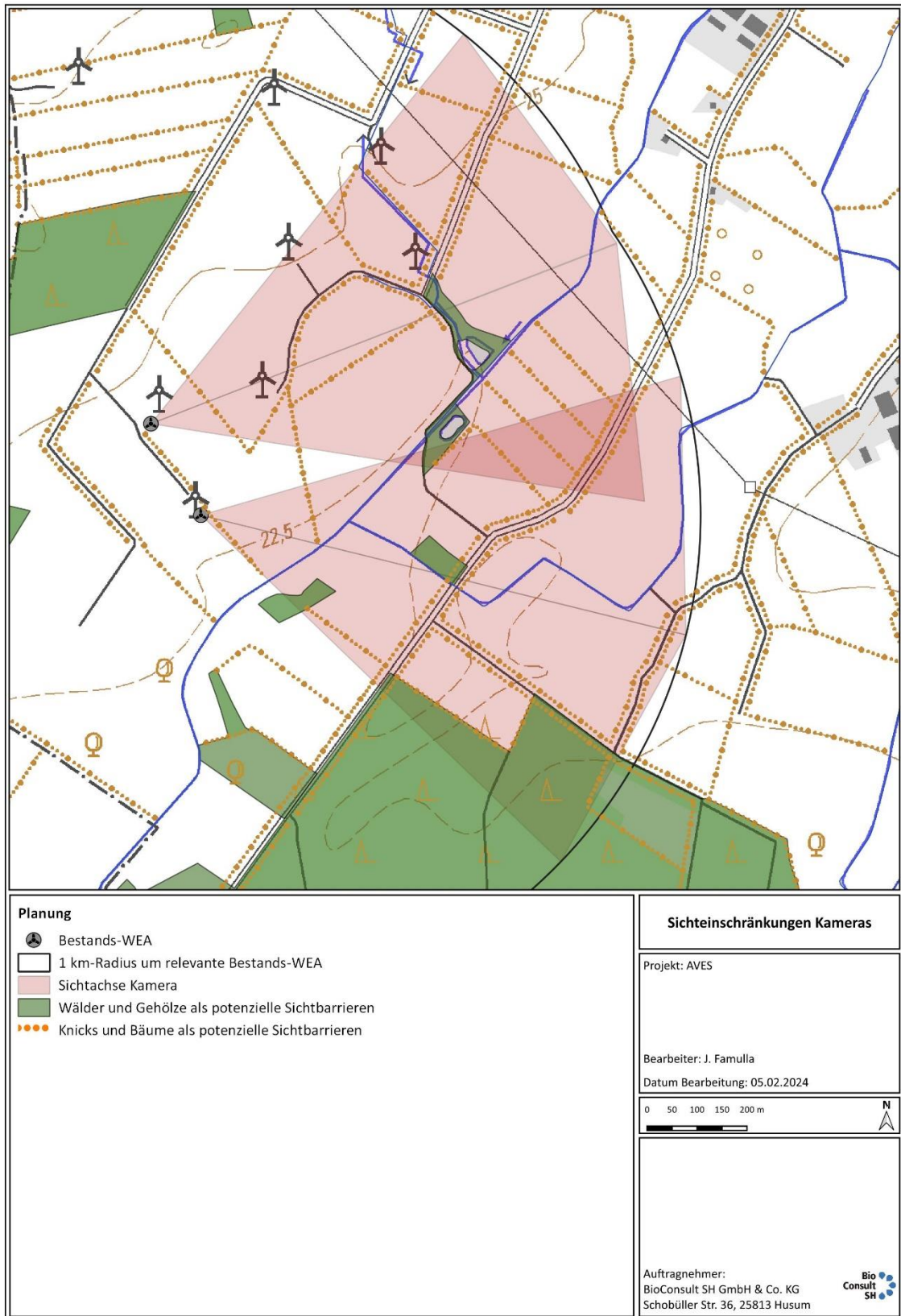


Abbildung 6: Darstellung der zwei Windenergieanlagen mit den installierten AVES-Systemen mit Darstellung der Sichtkegel sowie potenziellen Sichtbarrieren wie Knickstrukturen und Wälder.

7. LITERATUR

- Benjamin M., B., Mollie E., B., Connie J., C., Shane W., G., M. Henry H., S., & Jada-Simone S., W. (2008). Generalized linear mixed models: A practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology and Evolution*, 24(3), 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.10.008>
- Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2012). *Discovering statistics using R*. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/Added>
- KNE (Hrsg.). (2021). *Anforderungen an Antikollisionssysteme zum Schutz von Vögeln an Windenergieanlagen – Checkliste für eine qualifizierte Entscheidung über die Anwendbarkeit von Antikollisionssystemen* (S. 14). X:\04_Literatur\01_Literatur_(NICHT_BEARBEITEN!)\KNE_2021_Anforderungen_an_antikollisionssystemen_zum_schutz_von_voegeln_an_windenergieanlagen.pdf
- Korner-Nievergelt, F., Roth, T., von Felten, S., Guelat, J., Almasi, B., & Korner-Nievergelt, P. (2015). *Bayesian Data Analysis in Ecology Using Linear Models with R, BUGS, and Stan*. Elsevier, London. <https://doi.org/Added>
- LfU AKS-Prüfrahmen (2024) -- Publikation in Vorbereitung.
- Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition*. (2002). Springer, New York. <https://doi.org/Added>
- R Core Team, R. C. (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org>. <https://doi.org/Added>
- Pinheiro, J. C., & Bates, D. M. (2000). *Mixed-effect models in S and S-Plus*. New York: Springer Verlag. <https://doi.org/Added>
- Ransom, D., & Pinchak, W. E. (2003). Assessing Accuracy of a Laser Rangefinder in Estimating Grassland Bird Density. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 31(2), 460–463.
- Stuart H., H. (1984). Pseudoreplication and the Design of Ecological Field Experiments. *Ecological Monographs*, 54(2), 187–211. <https://doi.org/Added>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed Effect Models and Extensions in Ecology with R*. Springer Science+Business Media, LLC, New York. <https://doi.org/Added>
- Zuur, A., Ieno, E., & Smith, G. M. (2007). *Analysing Ecological Data*. Springer Science+Business Media, LLC. <https://doi.org/Added>