



VOGELWARTE.CH

Autoren: Janine Aschwanden, Barbara Helm



BERICHT

## Erprobung BirdRecorder

Naturschutzbegleitforschung (NatForWINSENT-II) auf dem Testfeld des WindForS

Inhalt

Zusammenfassung

Summary

1     Ausgangslage

2     Methoden

2.1   Untersuchungsgebiet und Layout des Windenergetestfelds

2.2   Kamerasystem BirdRecorder

2.3   Referenzdaten Laser-Range-Finder (LRF)

2.4   Referenzdaten Satellitentelemetry (GPS)

2.5   Vorgehen der Erprobung gemäss KNE

2.5.1   Räumliche Abdeckung

2.5.2   Zeitliche Abdeckung

2.5.3   Erfassungsreichweite

2.5.4   Erfassungsrare

2.5.5   Klassifizierung (Arterkennung)

3     Ergebnisse

3.1   Datengrundlagen

3.1.1   Kamerasystem BirdRecorder

3.1.2   Referenzdaten LRF und GPS

3.1.3   Abgleich BirdRecorder-Daten mit Referenzdaten

3.1.4   Meteorologische Bedingungen

3.2   Räumliche Abdeckung

3.3   Zeitliche Abdeckung

3.4   Erfassungsreichweite

3.5   Erfassungsrare

3.6   Klassifizierung (Arterkennung)

3.6.1   Klassifizierung basierend auf Referenzdaten (LRF- und GPS)

3.6.2   Klassifizierung basierend auf nachbestimmten BirdRecorder-Daten

3.7   Zusammenfassung bezüglich KNE-Kriterien

4     Diskussion

4.1   Datengrundlagen und Generierung von Flugwegen

4.2   Räumliche und zeitliche Abdeckung

4.3   Erfassungsreichweite

4.4   Erfassungsrare

4.5   Klassifizierung (Arterkennung)

4.6   Wirksamkeit und Effizienz der Abschaltung

4.7   Fazit

5     Literaturverzeichnis

**IMPRESSUM**

3     Erprobung BirdRecorder –

5     Naturschutzbegleitforschung

6     (NatForWINSSENT-II) auf dem

6     Testfeld des WindForS

**Autoren**

6     Janine Aschwanden

6     Barbara Helm

7

**Übersetzung**

8     DeepL (modifiziert)

9

10

**Foto Titelseite**

10     BirdRecorder auf dem Testfeld (J.

10     Aschwanden, 15.05.2024)

11

**Projektnummer**

11     560420

12

**Fördermittelhinweis**

12     Gefördert durch das Bundesamt für

12     Naturschutz (BfN) mit Mitteln des

12     Bundesministeriums für Umwelt,

13     Naturschutz und nukleare Sicherheit

15     (BMU), FKZ 3523151900

17

17

**Zitiervorschlag**

18     Aschwanden, J. & B. Helm (2024):

19     Erprobung BirdRecorder.

19     Naturschutzbegleitforschung

19     (NatForWINSSENT-II) auf dem

20     Testfeld des WindForS.

20     Schweizerische Vogelwarte,

21     Sempach.

21

**Kontakt**

21     Janine Aschwanden

21     Schweizerische Vogelwarte

22     Seerosen

22     6204 Sempach

22     T 041 462 97 00

22     T 041 462 97 81 (direkt)

22     janine.aschwanden@vogelwarte.ch

## Zusammenfassung

Der Windenergie Forschungscluster Süd (WindForS) hat das erste Windenergetestfeld in komplexem Gelände initiiert. Dieses steht auch der Naturschutzforschung zur Verfügung. Das Forschungsvorhaben «NatForWINSSENT – Naturschutzforschung im Windtestfeld» wird vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) gefördert. Die Verantwortung für Projektorganisation und Koordination liegt beim Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), welches die Schweizerische Vogelwarte Sempach mit der federführenden Bearbeitung des Arbeitspakets AP2 Vögel beauftragt hat. Unter anderem enthält das Arbeitspaket den Test der Detektionseigenschaften von automatischen Vogeldetektionssystemen bezüglich der Minderung der Anzahl Vogelkollisionen an Windturbinen (WEA).

Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse des dritten Tests, der im Frühling 2024 mit dem vom ZSW entwickelten BirdRecorder durchgeführt worden ist. Die Testmethode beruht auf dem von der Schweizerischen Vogelwarte erarbeiteten Konzept, das im Rahmen des Projekts NatForWINSSENT erarbeitet worden ist und steht im Einklang mit den Anforderungen an eine fachlich valide Erprobung von technischen Systemen zur bedarfsgerechten Betriebsregulierung von Windenergieanlagen des Kompetenzzentrums für Naturschutz und Energiewende (KNE).

Getestet wurden die Detektionseigenschaften des vom ZSW entwickelten Systems BirdRecorder zur Erkennung der Zielart Rotmilan. Der BirdRecorder besteht aus zwei Halbsystemen (Kamerasystemeinheiten), die horizontal je einen Sektor von 180° abdecken. Jedes Halbsystem besteht aus vier statischen Kameras und einem Stereokamerasystem (zwei bewegliche Tele-Kameras zur Stereoerfassung). Die statischen Kameras überwachen den Luftraum kontinuierlich und dienen zur Detektion von Objekten im Luftraum. Wenn ein Objekt detektiert worden ist, richtet sich das Stereokamerasystem auf das Objekt aus, und bestimmt die Entfernung und die Art des Objektes. Handelt es sich bei einem Objekt um eine Zielart, so wird der Vogel von der Stereokamera verfolgt und kontinuierliche Positionsdaten (x-, y- und z-Koordinaten) sowie Fotobelege gesammelt. Pro Halbsystem kann ein Vogel auf einmal verfolgt werden. Der BirdRecorder wurde mittels neuronaler Netze zur Erkennung von «Milanen» («Kite» = Rot- oder Schwarzmilan) trainiert.

Die Datenerhebung erfolgte auf dem Testfeld zwischen dem 29.04.2024 und 12.06.2024. In diesem Zeitraum zeichnete der BirdRecorder bei Tageslicht kontinuierlich die Flugbewegungen der Vögel auf. Für die Erhebung von unabhängigen Referenzdaten wurden im Gebiet innerhalb eines Umkreises von 1500 m um den Standort des BirdRecorders im gleichen Zeitraum an zehn Tagen mit einem Laser-Range-Finder (LRF) Flugbewegungen von Rotmilanen erfasst (N=180 Flugwege). Ein zusätzlicher unabhängiger Referenzdatensatz ergab sich aus den Flugbewegungen eines besenderten Rotmilans (GPS), der sich hin und wieder auf dem Testfeld bewegt hat (N=33 Flugwege).

Die Positionsdaten der drei Datengrundlagen (LRF, GPS, BirdRecorder) wurden in QGIS eingelesen, zu Flugwegen zusammengesetzt und visuell beurteilt. Zur Beurteilung, ob ein Referenz-Flugweg vom BirdRecorder erfasst worden ist, dienten der Zeitstempel, Verlauf und Form des Flugwegs, Distanz und Flughöhe sowie Fotobelege des BirdRecorders. Ein Teil der Referenz-Flugwege wurde als „nicht beurteilbar“ (z.B. zu kurze Referenz-Flugwege) oder als vom System „nicht detektierbar“ (z.B. ausserhalb Erfassungsreichweite) von der Analyse ausgeschlossen (45 LRF- und 6 GPS-Flugwege). Der Abgleich der Referenz- mit den BirdRecorder-Daten erwies sich teilweise als schwierig, da die Form und der Verlauf der BirdRecorder-Flugwege manchmal nicht klar ersichtlich waren (bruchstückhafte Erfassung, unbeständige Distanzbestimmung, Fehlmessungen/Vermischung von Flugwegen unterschiedlicher Individuen).

Die räumliche Abdeckung des BirdRecorders betrug gemäss einer visuellen Beurteilung im Umkreis von 360° um das System innerhalb des Öffnungswinkels von 80° mehr als die vom KNE geforderten 75%. Von den insgesamt 45 Systembetriebstagen war der BirdRecorder zu 93% der Zeit voll funktionsfähig. Die Erfassungsreichweite des BirdRecorders lag bei 1'300 m und erfüllte damit die Minimalanforderungen des KNE deutlich. Von den 162 Referenz-Flugwegen sind vom BirdRecorder 72 Flugwege erfasst worden. Über den ganzen überwachten Raum betrachtet (bis 1'500 m), lag die Erfassungsrate damit bei 44.4%. Innerhalb der vom KNE empfohlenen Erfassungsreichweite von mindestens 500 m lag die Erfassungsrate bei 57.6%. Diese Ergebnisse erreichen die Anforderungen des KNE von mindestens 75% (in besonderen Konfliktfällen bis zu 90 %) nicht. Anhand der manuellen Nachbestimmung der Fotobelege von vom BirdRecorder aufgezeichneten Flugwegen ausgewählter Tage ergab sich über den ganzen überwachten Raum betrachtet (bis 1'500 m) eine Arterkennungsrate von 96.9% (Flugwege von Rotmilanen tatsächlich als «Kite» klassifiziert, korrekt positiv). Damit konnten die Anforderungen des KNE von mindestens 75% und im Reaktionsbereich mindestens 90%, übertroffen werden. Da beim BirdRecorder noch keine Abschaltprozedur implementiert war, konnte keine Überprüfung der Wirksamkeit und Effizienz der Abschaltung vorgenommen werden.

Der BirdRecorder ist ein vielversprechendes kamerabasiertes System zur automatischen Erkennung der Zielart Rotmilan und hat das Potenzial zukünftig sämtlichen Anforderungen des KNE zu entsprechen. Hervorgehoben werden kann die grosse Reichweite in Kombination mit der hohen Arterkennungsrate über grosse Distanzen hinweg. Ein grosser Verbesserungsbedarf besteht jedoch bei der Erfassungsrate und bei der Generierung von zusammenhängenden Flugwegen. Dies ist eine grundlegende Voraussetzung dafür, damit das System zukünftig zur bedarfsgerechten Steuerung

von WEA eingesetzt werden kann. Allerdings gilt es zu beachten, dass die Flugaktivität von Grossvögeln im Untersuchungsgebiet grösser ist als an einem Standort, wo in Deutschland typischerweise kommerziell genutzte Windparks errichtet werden, und wo der Einsatz von technischen Systemen zur Vermeidung von Kollisionen in Frage kommen würde. Die Generierung von Flugwegen ist für jegliche Art von technischen Systemen weniger fehleranfällig, wenn weniger Flugaktivität herrscht.

## Summary

The Wind Energy Research Cluster South (WindForS) has initiated the first wind energy test field in complex terrain. This is also available for nature conservation research. The research project 'NatForWINSSENT - Nature Conservation Research in the Wind Test Field' is funded by the Federal Agency for Nature Conservation (BfN) with funds from the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU). Responsibility for project organisation and coordination lies with the Centre for Solar Energy and Hydrogen Research Baden-Württemberg (ZSW), which has commissioned the Swiss Ornithological Institute Sempach to take the lead in work package AP2 Birds. Among other things, the work package includes testing the detection efficiency of automatic bird detection systems with regard to reducing the number of bird collisions with wind turbines.

This report contains the results of the third test, which was carried out in spring 2024 using the BirdRecorder developed by ZSW. The test method is based on the concept developed by the Swiss Ornithological Institute as part of the NatForWINSSENT project and is in line with the requirements for technically valid testing of technical systems for the shutdown of wind turbines on demand of the Kompetenzzentrum für Naturschutz und Energiewende (KNE).

We tested the detection efficiency of the BirdRecorder system developed by the ZSW for detecting Red Kites. The BirdRecorder consists of two half-systems (camera system units), each covering a horizontal sector of 180°. Each half-system consists of four static cameras and one stereo camera system (two moving tele-cameras for stereo detection). Static cameras continuously monitor the airspace and are used to detect objects in the airspace. Once an object has been detected, the stereo camera system is focused on the object and determines the distance and type of object. If the object is a target species, the bird is tracked by the stereo camera and continuous position data (x, y and z coordinates) and photos are collected. One bird can be tracked at a time per half-system. The BirdRecorder was trained using neural networks to recognise the target species "Kite" (= Red Kite or Black Kite).

Data was collected at the test site between 29 April 2024 and 12 June 2024. During this period of time the BirdRecorder continuously recorded the flight movements of birds in daylight. Simultaneously, independent reference data were collected within a radius of 1,500 m around the BirdRecorder. One data set consisted of flight tracks of Red Kites recorded with a laser-range finder (LRF) on ten days (N=180 flight tracks). A second data set was obtained from a GPS-tagged Red Kite that occasionally moved around the test field (N=33 flight tracks).

The position data from the three data sets (LRF, GPS, BirdRecorder) were read into QGIS, combined into flight tracks and visually assessed. The timestamp, course and shape of the flight tracks, distance and flight altitude as well as photos from the BirdRecorder were used to assess whether a reference flight track had been recorded by the BirdRecorder. Some of the reference flight tracks were excluded from the analysis as 'not assessable' (e.g. reference flight track is too short) or 'not detectable' (e.g. reference flight track is not in detection range) by the system (45 LRF and 6 GPS flight tracks). The matching of the reference data with the BirdRecorder data proved to be difficult in some cases, as the shape and course of the BirdRecorder flight tracks were sometimes not clearly recognisable (fragmentary recording, inconsistent distance determination, incorrect measurements/mixing of flight tracks of different individuals).

According to a visual assessment, the spatial coverage of the BirdRecorder in a 360° radius around the system within the system's opening angle of 80° was more than the 75% required by the KNE. Of the total of 45 system operating days, the BirdRecorder was fully functional 93% of the time. The detection range of the BirdRecorder was 1,300 metres and thus clearly met the minimum requirements of the KNE. Of the 162 reference flight tracks, 72 were recorded by the BirdRecorder. Over the entire monitored area (up to 1,500 m), the detection rate was 44.4%. Within the detection range of at least 500 m recommended by the KNE, the detection rate was 57.6%. These results do not fulfil the KNE requirements of at least 75% (in special conflict cases up to 90%). Based on the manual post-determination of a sample of the photos recorded by the BirdRecorder, a species recognition rate of 96.9% (Red Kites classified as "Kite", correct positive) was obtained over the entire monitored area (up to 1,500 m). This exceeded the requirements of the KNE of at least 75% and at least 90% in the reaction range. As the BirdRecorder had not yet implemented a shutdown on demand procedure, it was not possible to check the effectiveness and efficiency of the shutdown.

The BirdRecorder is a promising camera-based system for automatically recognising the target species Red Kite and has the potential to meet all requirements of the KNE in future. The long range in combination with the high species recognition rate over long distances can be emphasised. But there is a great need for improvement in the detection rate and in the generation of coherent flight tracks. This is a fundamental prerequisite for the system to be used in the future for the shutdown on demand of wind turbines. However, it should be noted that the flight activity of large birds in the study area is greater than at a location where commercial wind farms are typically built in Germany and where the use of technical systems to avoid collisions would be an option. The generation of flight tracks is less error-prone for any type of technical system when there is less flight activity.

# 1 Ausgangslage

Der Windenergie Forschungscluster Süd (WindForS) hat das erste Windenergietestfeld in komplexem Gelände initiiert. Das Windenergietestfeld besteht aus zwei Forschungswindenergieanlagen (FWEA), die einen Rotordurchmesser von 50 m und eine Nabenhöhe von 72 m aufweisen. Die beiden FWEA sind von vier 100 m hohen meteorologischen Messmasten umgeben. Mit seiner umfangreichen Infrastruktur und Messeinrichtung steht das Testfeld auch der Naturschutzforschung zur Verfügung. Das Forschungsvorhaben «NatForWINSSENT – Naturschutzforschung im Windtestfeld» wird vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) gefördert. Die Verantwortung für Projektorganisation und Koordination liegt beim Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), welches die Schweizerische Vogelwarte Sempach mit der federführenden Bearbeitung des Arbeitspakets AP2 Vögel beauftragt hat. Unter anderem enthält das Arbeitspaket den Test der Detektionseigenschaften von automatischen Vogeldetektionssystemen bezüglich der Minderung der Anzahl Vogelkollisionen an Windturbinen (WEA).

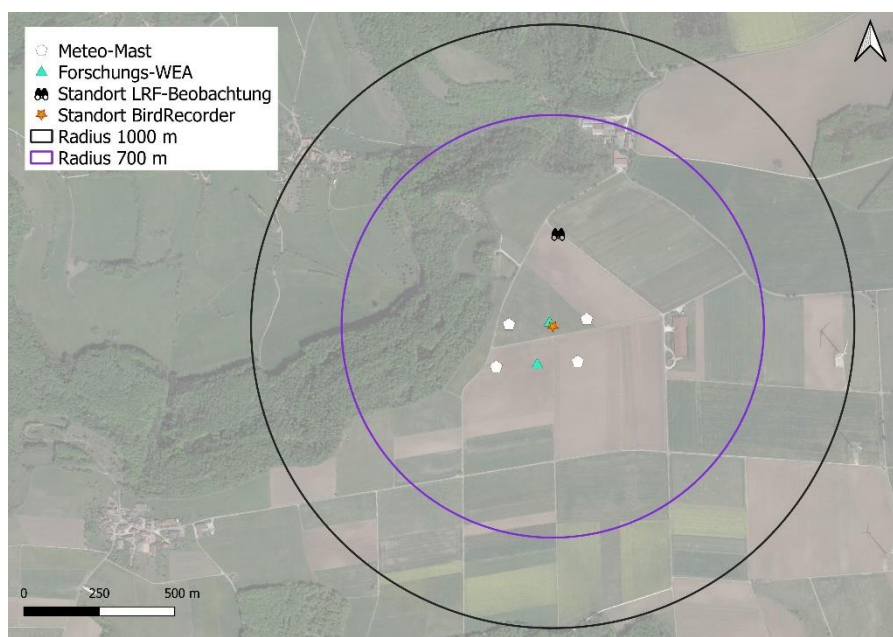
Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse des dritten Tests, der im Frühling 2024 mit dem vom ZSW entwickelten BirdRecorder durchgeführt worden ist. Die Testmethode beruht auf dem von der Schweizerischen Vogelwarte erarbeiteten Konzept, das im Rahmen des Projekts NatForWINSSENT erarbeitet worden ist (Aschwanden et al. 2019) und steht im Einklang mit den Anforderungen an eine fachlich valide Erprobung von technischen Systemen zur bedarfsgerechten Betriebsregulierung von Windenergieanlagen des Kompetenzzentrums Naturschutz und Energiewende (KNE 2019). Mit den Tests von Detektionssystemen soll im Bereich Vogelschutz zur Minderung der Anzahl Vogelkollisionen an Windturbinen ein Beitrag geleistet werden, indem geprüft wird, ob die Systeme die vom KNE vorgeschlagenen Mindestanforderungen (Bruns et al. 2021) erfüllen, und indem die Kenntnisse zur Thematik insgesamt erweitert werden.

## 2 Methoden

### 2.1 Untersuchungsgebiet und Layout des Windenergietestfelds

Die Erprobung des BirdRecorders erfolgte zwischen dem 29.04.2024 und 12.06.2024 auf dem Windenergietestfeld des Windenergie Forschungsclusters Süd (WindForS). Dieses befindet sich rund 50 km östlich von Stuttgart auf dem landwirtschaftlich geprägten Plateau der Schwäbischen Alb auf ca. 650 m ü.M. oberhalb von Donzdorf. Das Windenergietestfeld besteht aus zwei Forschungswindturbinen (FWEA), die eine Gesamthöhe von rund 100 m aufweisen (Nabenhöhe: 72 m, Rotordurchmesser: 50 m). Die beiden FWEA sind von insgesamt vier meteorologischen Messmasten umgeben (**Abb. 1** und **Abb. 2**). Zurzeit der Erprobung befanden sich die FWEA im Trudelmodus.

Der BirdRecorder war auf dem Dach des Transformatorgebäudes unmittelbar neben der nördlich liegenden FWEA installiert. Die LRF-Beobachtungen wurden von einer erhöhten Plattform (2 m über Boden) aus durchgeführt, die rund 350 m nördlich des Testfelds errichtet worden ist.



**Abb. 1** Layout des Windenergietestfelds mit den Standorten der FWEA, der meteorologischen Messmasten, des BirdRecorders und der LRF-Beobachtungen zusammen mit einem Radius von 700 m und 1000 m.



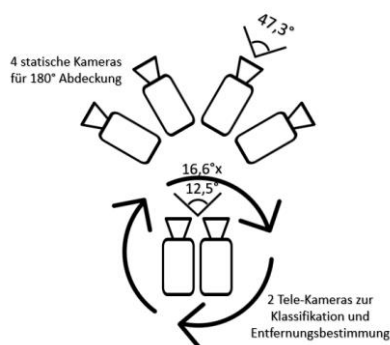


**Abb. 2** Blick auf das Windenergetestfeld aus Richtung Südwest (J. Aschwanden, 05.07.2023)

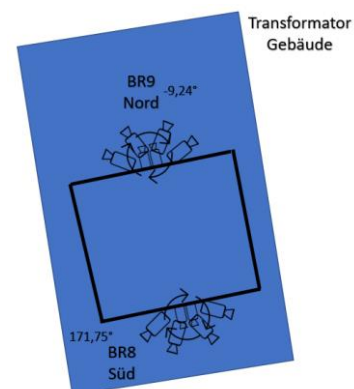
## 2.2 Kamerasystem BirdRecorder

Der BirdRecorder war auf dem Dach des Transformatorgebäudes unmittelbar neben der nördlich liegenden FWEA installiert (**Abb. 1**). Er besteht aus zwei Halbsystemen (Kamerasystemeinheiten) die horizontal je einen Sektor von  $180^\circ$  abdecken. Jedes Halbsystem (**Abb. 3** bis **Abb. 5**) besteht aus vier statischen Kameras und zwei beweglichen Tele-Kameras (Stereoerfassung). Die statischen Kameras überwachen den Luftraum kontinuierlich und dienen zum Aufspüren von Objekten im Luftraum. Wenn ein Objekt detektiert worden ist, richten sich die zwei Tele-Kameras auf das Objekt aus, bestimmen die Entfernung und die Art des Objektes. Wenn es sich um die Zielart handelt, wird der Vogel von den Tele-Kameras verfolgt. Pro Halbsystem kann ein Vogel auf einmal verfolgt werden. Die Priorität der Verfolgung wurde für die Erprobung jeweils auf den Vogel gelegt, welcher dem BirdRecorder am nächsten kam. Vor Ort war eines der Halbsysteme in Richtung Nord und das zweite in Richtung Süd ausgerichtet (**Abb. 4** und **Abb. 6**).

Der BirdRecorder wurde mittels neuronaler Netze zur Erkennung von «Milanen» («Kite») trainiert (Rot- oder Schwarzmilan). Weitere Klassifizierungskategorien sind «anderer Vogel» («Bird») und «Flugzeug» («Aircraft»). Die Daten wurden pro Halbsystem in Form von Excel-Dateien auf einer Cloud des ZSW zur Verfügung gestellt. Innerhalb einer Excel-Datei sind pro Zeile die Informationen zu einem Messpunkt enthalten: Track-ID, Zeitstempel, Klassifizierung des Tracks und des Einzelbildes, Wahrscheinlichkeit der Klassifizierung des Einzelbildes, Himmelsrichtung, Höhenwinkel, radiale und horizontale Distanz, Höhe über BirdRecorder und über Boden, geografische Koordinaten, diverse Angaben zur Detektion und ein Bildbeleg.



**Abb. 3** Vom ZSW zur Verfügung gestellte Skizze eines Halbsystems des BirdRecorders.



**Abb. 4** Vom ZSW zur Verfügung gestellte Skizze der Anordnung der beiden Halbsysteme auf dem Dach des Transformatorgebäudes.



**Abb. 5** Foto des nach Süden ausgerichteten Halbsystems des BirdRecorders (J. Aschwanden, 15.05.2024).



**Abb. 6** Foto des BirdRecorders auf dem Dach des Transformatorgebäudes (J. Aschwanden, 15.05.2024)

2.3 Referenzdaten Laser-Range-Finder (LRF)

Die Sichtbeobachtungen mittels Laser-Range-Finder (LRF) hatten zum Ziel, einen unabhängigen Datensatz von mindestens 100 Flugbewegungen im Detektionsbereich des BirdRecorders zu sammeln, der anschliessend mit dem vom BirdRecorder gesammelten Datensatz abgeglichen werden konnte.

Die Sichtbeobachtungen erfolgten an 10 Tagen über total 60 h zwischen dem 29.04.2024 – 12.06.2024 (**Tab. 1**) mittels einem LRF Vector 21 Aero. Die LRF-Beobachtungen wurden von einer erhöhten Plattform (2 m über Boden) aus durchgeführt (**Abb. 7**), die rund 350 m nördlich des Testfelds errichtet worden ist (**Abb. 1**).

Mit dem auf einem Stativ befestigten LRF (**Abb. 8**) wurden die Flugbewegungen von Vögeln verfolgt, welche im Gebiet unterwegs waren. Gemessen werden Distanz, Azimut und Elevation zu einem Objekt relativ zum Beobachtungsstandort. Basierend auf diesen Daten kann die Position eines Objekts mit x-, y- und z-Koordinaten berechnet werden. Durch die Verbindung mehrerer solcher Ortungen ergeben sich schliesslich dreidimensionale Flugwege (**Abb. 9**).

Die Sichtbeobachtungen wurden mit zwei Personen durchgeführt. Eine Person verfolgte einen Vogel mit dem LRF und sammelte per Knopfdruck Ortungspunkte, die auf dem Laptop visualisiert und gespeichert wurden. Die zweite Person half beim Auffinden der Vögel und war am Laptop für die Eingabe von Zusatzinformationen wie Vogelart und Flugverhalten zuständig.

Der Fokus der Beobachtungen lag auf Flugbewegungen des Rotmilans im Umkreis von ca. 1'500 m um den Standort des BirdRecorders. Um die Verlässlichkeit der LRF-Messungen zu überprüfen, wurden an jedem Beobachtungstag Kalibrierungsmessungen vorgenommen, indem Objekte bekannter Höhe und Position angepeilt worden sind (z.B. Nabe der FWEA, Spitze der Meteomasten).

Tab. 1 Liste der Beobachtungstage und Beobachtungsdauer.

Datum	Dauer (h)	Zeitfenster (UTC)
2024.04.29	6.0	07:00 – 13:00
2024.04.30	6.0	06:00 – 12:00
2024.05.07	6.0	07:00 – 13:00
2024.05.22	6.0	06:00 – 12:00
2024.05.27	6.0	11:00 – 17:00
2024.05.28	6.0	06:00 – 12:00
2024.06.04	6.0	06:00 – 12:00
2024.06.05	6.0	06:00 – 12:00
2024.06.11	6.0	11:00 – 17:00
2024.06.12	6.0	06:00 – 12:00
Total	60.0	

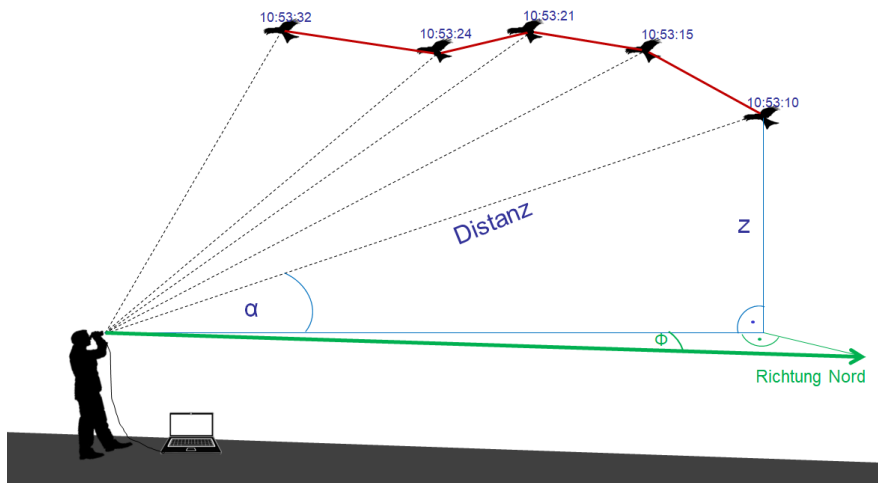




**Abb. 7** Erhöhte Plattform, von welcher aus die LRF-Beobachtungen stattgefunden haben (J. Aschwanden, 15.05.2024)



**Abb. 8** Laser-Range-Finder Vector21 Aero (J. Aschwanden, 09.07.2019)



**Abb. 9** Illustration der Messmethodik mit dem Laser-Range-Finder ( $\alpha$ =Elevation,  $\Phi$ =Azimut).

## 2.4 Referenzdaten Satellitentelemetrie (GPS)

Im Zeitraum der Erprobung des BirdRecorders hat sich auf dem Testfeld hin und wieder ein männlicher Rotmilan («Robbie») bewegt, welcher mit einem GPS-Sender (Modell OrniTrack-E25B 3G) ausgestattet ist.

Der GPS-Sender ist so eingestellt, dass er im Bereich des Testfelds maximal alle 2s einen Datenpunkt speichert. Bei einem Batterieladestatus von <75% erfolgt eine seltenere Datenaufnahme. Zu jedem Datenpunkt werden u.a. Geschwindigkeit (km/h), Richtung (°), die mit GPS-Triangulation bestimmte Höhe (m ü.M.) und die barometrisch bestimmte Höhe (m ü.M.) erfasst. Aus dieser Datengrundlage konnte ein weiterer unabhängiger Datensatz von Flugbewegungen erstellt werden, der mit den vom BirdRecorder erfassten Flugbewegungen abgeglichen werden konnte.

Die Datenbearbeitung bestand darin, aus der kontinuierlich erhobenen GPS-Datenmenge einzelne Flugwege zu erstellen, die im Detektionsbereich des BirdRecorders lagen. Dabei wurden die plausiblen Positionsdaten herausgefiltert (satcount >4, hdop ≤2.0), die innerhalb eines Umkreises von 1'500 m um den Standort des BirdRecorders lagen. Weiter mussten diejenigen Datenpunkte herausgefiltert werden, wo sich der Rotmilan im Flug befunden hat. Die Bestimmung anhand von GPS-Daten, ob sich ein Tier in Bewegung befindet, ist aufgrund der Ungenauigkeit der GPS-Ortung nicht trivial. So können auch Positionsdaten eine Geschwindigkeitswert aufweisen, obwohl sich ein Tier in Wahrheit gar nicht bewegt hat. Für die vorliegende Analyse wurden nur Positionsdaten verwendet, die eine Geschwindigkeit von ≥ 8 km/h aufwiesen. Zudem wurden nur diejenigen Positionsdaten zu einem Flugweg verbunden, die zeitlich weniger als 2 min auseinander lagen.

## 2.5 Vorgehen der Erprobung gemäss KNE

Zur Erprobung der Leistung von automatischen Vogeldetektionssystemen wurden vom Kompetenzzentrum für Naturschutz und Energiewende (KNE) Erprobungskriterien herausgegeben (KNE 2019). Überprüft werden sollen die räumliche und zeitliche Abdeckung, die Erfassungsreichweite, die Erfassungsrate, die Klassifizierungsrate und die Wirksamkeit und Effizienz der Abschaltung. Im vorliegenden Fall war im System noch keine Abschaltung implementiert. Daher sind die Wirksamkeit und Effizienz der Abschaltung nicht Gegenstand dieses Berichts.

### 2.5.1 Räumliche Abdeckung

Je nach Gegebenheiten eines Standorts kann es sein, dass ein System nur einen Teil des maximal möglichen überwachbaren Luftraums abdecken kann (z.B. Sichtverschattungen durch Geländeerhebungen, Bauwerke etc.). Die Analyse der räumlichen Abdeckung soll daher zeigen, wie gut ein System den Luftraum abdeckt und damit überwacht. Gemäss Bruns et al. 2021 sollte die räumliche Abdeckung mindestens 75% betragen.

Zur Darstellung der räumlichen Abdeckung wurden die Ortungen der BirdRecorder-Tracks, die als «Kite» bestimmt worden sind, nach Himmelsrichtung und Höhenwinkel aufgetragen. Die Einschätzung, ob mindestens 75% des maximal möglichen überwachten Raumes abgedeckt wird, erfolgte visuell.

### 2.5.2 Zeitliche Abdeckung

Zur Sicherstellung des Schutzes der Vögel vor Kollisionen ist es wünschenswert, dass die Überwachung durch Detektionssysteme zeitlich permanent gegeben ist. Technische Probleme aller Arten können jedoch dazu führen, dass Detektionssysteme zwischendurch ausfallen und somit der Schutz der Vögel vor Kollisionen nicht mehr gegeben ist. Mit der Analyse der zeitlichen Abdeckung wird die Häufigkeit und Dauer solcher Ausfälle dargestellt. Gemäss Bruns et al. 2021 sollte die zeitliche Abdeckung möglichst gross sein.

Die Daten zu Ausfällen des Systems und zu Teilen des Systems wurden vom ZSW bereitgestellt und deskriptiv analysiert. Jeder Ausfall wurde dahingehend kategorisiert, ob dieser in Relation zur Tageslänge (zwischen Morgen- und Abenddämmerung) am entsprechenden Datum halbtägig oder kürzer, mehr als halbtägig oder ganztägig war. Zudem wurde pro Tag der prozentuale Anteil der Dauer des Ausfalls bestimmt. Der Ausfall einer einzelnen statischen Kamera wurde bei der Berechnung der gesamten zeitlichen Abdeckung nicht als Ausfall gewertet, da die Funktionsweise des BirdRecorders trotz Ausfall einer einzelnen Kamera gegeben ist (räumliche Überlappung zwischen den Kameras).

### 2.5.3 Erfassungsreichweite

Eine WEA benötigt je nach Modell und Windstärke eine gewisse Zeit, um die Geschwindigkeit des Rotors zu verlangsamen und den Trudelbetrieb zu erreichen (Abregeldauer). Daher muss der Befehl zur Abschaltung ausgegeben werden, bevor ein Vogel eine bestimmte minimale Distanz zur WEA unterschritten hat (Reaktionsdistanz). Die Erfassungsreichweite eines Systems sollte daher mindestens die artspezifische Reaktionsdistanz abdecken (Bruns et al. 2021). Diese ergibt sich aus der Fluggeschwindigkeit eines Vogels multipliziert mit der Abregeldauer der WEA zuzüglich der Rotorblattlänge (Bruns et al. 2021). Die mittlere Fluggeschwindigkeit für Rotmilane im Gebiet des Windenergie-testfelds liegt je nach Messmethode bei 25.1 km/h (24.0–26.3 km/h) oder 29.2 km/h (28.2–30.3 km/h). Die Abregeldauer der FWEA ist noch nicht bekannt. Zudem bestehen bis anhin keine genauen Definitionen und Anforderungen dazu, mit welcher Geschwindigkeit sich die Rotorblattspitzen von WEA im Trudelbetrieb noch maximal drehen sollen. Bei Bruns et al. (2021) werden gemäss einem gerichtlichen Beschluss Werte von 30 – 50 km/h (Tempo Stadtverkehr) diskutiert. Offen ist auch die Frage der Abregeldauer. Die Angaben von Herstellern dazu liegen bei 20 – 40 s, je nach WEA-Modell. Gemäss Bruns et al. (2021) sollte die Abregeldauer für eine rechtzeitige Abschaltung maximal 30 s betragen. Ausgehend von diesen Richtwerten ergibt sich für die FWEA des Windenergie-testfelds eine Reaktionsdistanz von rund 270 m ( $8.11 \text{ m/s}$  [mittlere Fluggeschwindigkeit]  $\times 30 \text{ s}$  [Abregeldauer] + 25 m [Rotorblattlänge]). Im Rahmen der Erprobung anderer Systeme wurden zur Abschaltung für Rotmilane Werte von 373 m bis 415 m verwendet. Als Anhaltspunkt wird von Bruns et al. (2021) eine Erfassungsreichweite von mindestens 500 m empfohlen.

Zur Bestimmung der Erfassungsreichweite des BirdRecorders wurden die BirdRecorder-Daten mit den Referenz-Daten abgeglichen (siehe Kap. 2.5.4). Danach wurde für jeden mit den Referenz-Daten übereinstimmenden BirdRecorder-Track (verifizierter „Kite“) die Entfernung des ersten Detektionspunktes bezüglich des BirdRecorders bestimmt. Um den Datensatz zu vergrössern, wurden zusätzlich die anhand der Fotobelege manuell nachbestimmten BirdRecorder-Flugwege verwendet (siehe Kap. 2.5.5). Auch bei diesen Flugwegen wurde die Entfernung des ersten Detektionspunktes bezüglich des BirdRecorders bestimmt.

### 2.5.4 Erfassungsrate

Die Erfassungsrate zeigt auf, welcher Anteil der Flugwege, die durch ein Referenzsystem aufgezeichnet worden sind, auch vom Detektionssystem erfasst und verfolgt worden sind. Als Referenz zur Bestimmung der Erfassungsrates des BirdRecorders dienten die LRF- und GPS-Daten. Für jeden Referenz-Track wurde bestimmt, ob dieser vom BirdRecorder detektiert und verfolgt worden ist oder nicht. Die Bestimmung wurde manuell durchgeführt. Dazu wurden die Referenz- und BirdRecorder-Daten in QGIS eingelesen und mittels Zeitsteuerung schrittweise (5 s-Abschnitte) durchgeschaut. Zur Beurteilung, ob ein Referenz-Track vom BirdRecorder detektiert worden ist, dienten Zeitstempel, Form und Flughöhe. Ein Referenz-Flugweg galt als detektiert, sobald mindestens ein Stück des Referenz-Flugwegs detektiert worden ist. Dabei spielte es keine Rolle, wo innerhalb des Referenz-Flugwegs sich das detektierte Stück befand (am Anfang, am Ende oder mittendrin).

Pro Halbsystem des BirdRecorders wurde jeweils nur derjenige «Kite» verfolgt, welcher am nächsten beim BirdRecorder unterwegs war. Da oftmals gleichzeitig mehrere Rotmilane unterwegs waren, stammten die LRF-Flugwege nicht zwingenderweise von denjenigen Rotmilanen, die gerade am nächsten beim BirdRecorder unterwegs waren. Wenn der BirdRecorder einen «Kite» verfolgte, welcher näher beim BirdRecorder war als der gleichzeitig mit dem Referenzsystem erfasste Flugweg, wurde dieser Referenz-Flugweg von der Analyse ausgeschlossen. Als nicht detektiert galten Referenz-Flugwege, wenn gleichzeitig vom BirdRecorder gar nichts aufgezeichnet worden war, wenn gleichzeitig eine Nicht-Zielart («Bird» oder «Aircraft») aufgezeichnet worden war oder wenn gleichzeitig ein «Kite» aufgezeichnet worden war, welcher weiter weg war als der Referenz-Flugweg.

Jeder Referenz-Flugweg wurde einer Distanzklasse zugeordnet (0-250 m, 250-500 m etc.). Die Zuordnung erfolgte basierend auf dem Messpunkt, der innerhalb eines Referenz-Flugwegs dem BirdRecorder horizontal am nächsten lag. So konnte die Erfassungsrates distanzabhängig betrachtet werden. Gemäss Bruns et al. (2021) soll die Erfassungsrates mindestens 75 % betragen, in besonderen Konfliktfällen sogar bis zu 90%.

### 2.5.5 Klassifizierung (Arterkennung)

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

- » Korrekt-positiv: Zielart wird richtig als Zielart klassifiziert (= Arterkennungsrate)
- » Falsch-negativ: Zielart wird fälschlicherweise als Nicht-Zielart klassifiziert
- » Falsch-positiv: Nicht-Zielart wird fälschlicherweise als Zielart klassifiziert
- » Korrekt-negativ: Nicht-Zielart wird richtig als Nicht-Zielart klassifiziert

Bei Bruns et al. (2021) werden lediglich Anforderungen betreffend der korrekt-positiv Rate gestellt (Arterkennung), welche im Umkehrschluss die falsch-negativ Rate ergibt. Diese Paarung ist aus Sicht des Vogelschutzes besonders relevant, da sie zeigt, wie gut ein System die Zielart erkennt. Dementsprechend sollte sie möglichst hoch sein. Bruns et al. (2021) nennen einen Wert von mindestens 75% und im Reaktionsbereich mindestens 90%.

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

#### Klassifizierung basierend auf Referenz-Daten

Anhand der LRF- und GPS-Daten als Referenz kann lediglich die korrekt-positiv-Rate (Arterkennungsrate) und umgekehrt die falsch-negativ-Rate bestimmt werden, da vor allem Flugwege von Rotmilanen gesammelt werden. Dabei wird überprüft, ob die BirdRecorder-Flugwege, die mit einem LRF- und/oder einem GPS-Flugweg übereinstimmen, vom BirdRecorder tatsächlich als «Kite» klassifiziert worden sind.

#### Klassifizierung basierend auf nachbestimmten BirdRecorder-Daten

Eine Möglichkeit zur Bestimmung aller vier Arten von Klassifizierungsrates besteht darin, die vom BirdRecorder generierten Flugwege anhand der Fotobelege visuell nachzubestimmen. Damit der zeitliche Arbeitsaufwand für die manuelle Nachbestimmung in Grenzen gehalten werden konnte, wurden lediglich die Daten einzelner Tage nachbestimmt. Anhand der lokal gemessenen meteorologischen Parameter wurden vier vollständige Tage mit unterschiedlichen Wetterbedingungen ausgewählt. Insgesamt sind 47'568 Fotobelege gesichtet worden, die 1'199 BirdRecorder-Flugwegen entsprechen. Bei 1'019 BirdRecorder-Flugwegen konnte anhand der Fotobelege beurteilt werden, ob es sich um die Zielart «Kite» (=Rot- oder Schwarzmilan) handelt oder nicht, und wie der BirdRecorder den Flugweg klassifiziert hat.

Tab. 2 Liste der Tage, die zur Bestimmung der Klassifizierungsrate verwendet worden sind, mit Witterung, Sektor des Systems, Zeitperiode (Zeitpunkt der Erfassung des ersten und letzten Datenpunktes in UTC), Anzahl Fotobelege und Anzahl BirdRecorder-Flugwege.

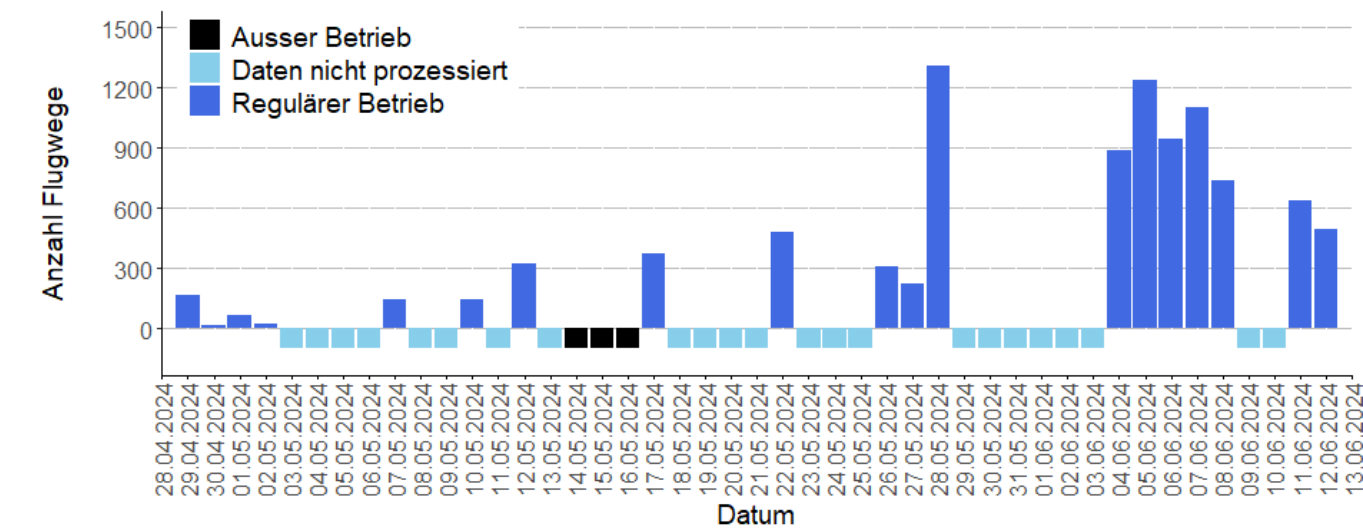
Datum	Witterung	Sektor	Zeitperiode (UTC)	Anzahl Fotobelege	Anzahl Flugwege
07.05.2024	regnerisch	Nord und Süd	07:08 bis 15:12	4'447	145
17.05.2024	regnerisch	Nord und Süd	05:18 bis 17:51	17'826	371
26.05.2024	trocken schön	Nord und Süd	07:04 bis 17:55	10'758	305
06.06.2024	trocken schön	Süd	05:10 bis 17:52	14'537	403

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Datengrundlagen

##### 3.1.1 Kamerasystem BirdRecorder

Bevor die BirdRecorder-Daten für die Auswertung in Form von Excel-Dateien zur Verfügung standen, mussten die Daten jeweils vom ZSW prozessiert werden. Um den Aufwand für die Datenprozessierung in Grenzen zu halten, wurden lediglich die Daten von 19 vollständigen Tagen zwischen Morgen- und Abenddämmerung prozessiert. Innerhalb der 19 Tage zeichnete der BirdRecorder 9'154 Flugwege auf und die Anzahl der aufgezeichneten Flugwege schwankte zwischen 16 und 1'308. Von den 9'154 Flugwegen sind 5'384 als «Kite», 3'001 als «Bird» und 1'215 als «Aircraft» klassifiziert worden (**Abb. 10**).



**Abb. 10** Anzahl der vom BirdRecorder aufgezeichneten Flugwege der Tage, für welche die Daten vom ZSW prozessiert worden sind. Um den Aufwand für die Datenprozessierung in Grenzen zu halten, wurden lediglich die Daten von 19 vollständigen Tagen zwischen Morgen- und Abenddämmerung prozessiert.

##### 3.1.2 Referenzdaten LRF und GPS

Insgesamt konnten mit dem LRF von der Zielart Rotmilan 180 Flugbewegungen aufgezeichnet werden. 45 Flugwege wurden aus unterschiedlichen Gründen von der Analyse ausgeschlossen. In knapp der Hälfte der Fälle (N=23) war ein anderer «Kite» näher als der Referenz-Flugweg, In anderen Fällen waren die Referenz-Flugwege zu kurz (N=8), nur ein Halbsystem war aktiv (N=6) oder anderes (N=8). Bei den 135 verwertbaren Flugwegen konnte abhängig vom Flugverhalten und der Distanz zum Vogel in 62% der Fälle alle 2 - 5 s, in 28% der Fälle alle 6 - 15 s und in den restlichen 10% der Fälle alle 16 - 219 s eine Punktposition gespeichert werden. Im Zeitraum der Erprobung tauchte der besenderte Rotmilan «Robbie» an 10 Tagen im Bereich des Testfelds auf. So kamen 33 Flugwege zusammen, die für die Erprobung genutzt werden konnten. Sechs der 33 Flugwege wurden von der Analyse ausgeschlossen (3x anderer «Kite» näher, 2x Referenzflugweg zu kurz, 1x Referenz-Flugweg nicht detektierbar). Gepoolt

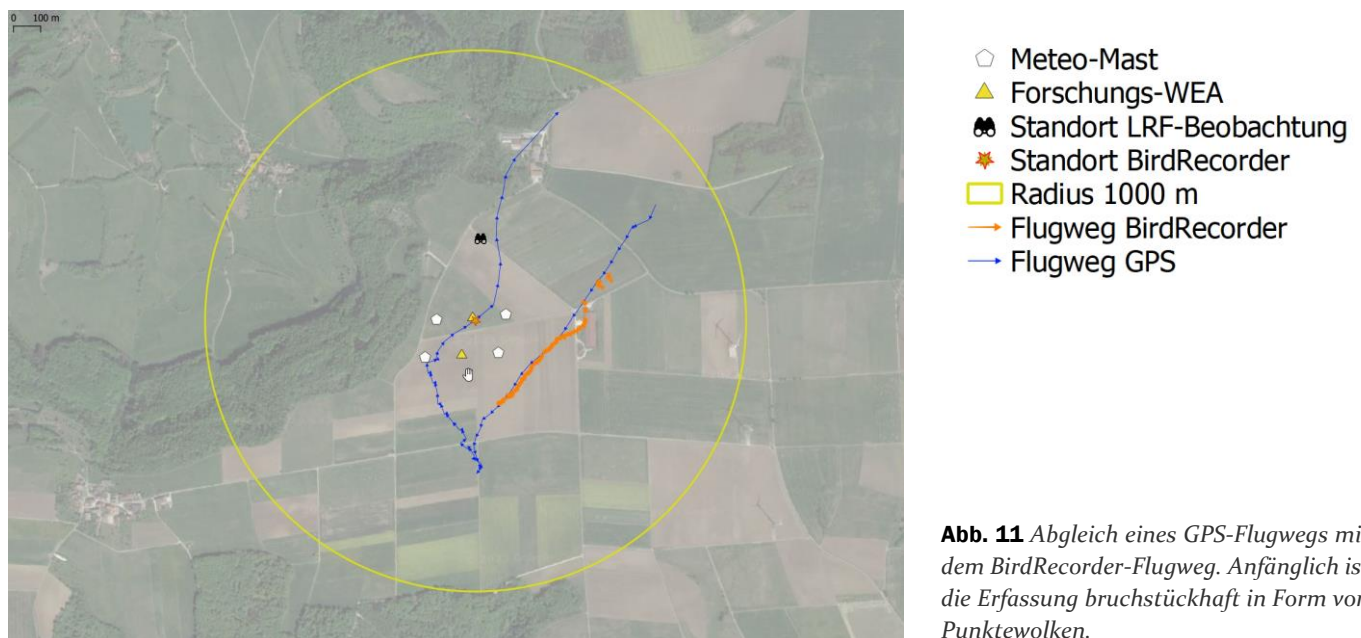
über beide Referenzdatensätze standen somit für die Erprobung 162 verwertbare Flugwege der Zielart Rotmilan zur Verfügung.

### 3.1.3 Abgleich BirdRecorder-Daten mit Referenzdaten

Die Art und Weise, wie die BirdRecorder-Daten zur Verfügung standen, erlaubten für die Durchführung des Abgleichs eine einfache und effiziente Handhabung. Teilweise war es jedoch schwierig zu beurteilen, ob ein BirdRecorder-Flugweg mit einem Referenz-Flugweg übereinstimmt, da die Form und der Verlauf der BirdRecorder-Flugwege manchmal nicht klar ersichtlich waren. Dazu führten folgenden Gründe:

- » Von einem Referenz-Flugweg wurden vom BirdRecorder oft nur kleine unzusammenhängende Bruchstücke erfasst (**Abb. 11** und **Abb. 13**)
- » Unbeständige Distanzbestimmung. Dadurch «springen» die Messpunkte im Raum umher und ergeben teilweise eher eine Punktwolke als einen geradlinigen Flugweg (**Abb. 12** und **Abb. 14**)
- » Auftreten von Fehlmessungen/Vermischung der Flugwege von zwei oder mehreren unterschiedlichen Individuen (**Abb. 14**)

Kombiniert mit einer räumlichen Abweichung und/oder geringen Auflösung der Referenzdaten (v.a. LRF-Daten, **Abb. 14**) führte dies dazu, dass in 12 Fällen nur eine sehr unsichere Beurteilung möglich war. Da die Referenz-Flugwege meist länger waren als die BirdRecorder-Flugwege, wurden einem Referenz-Flugweg oft mehrere BirdRecorder-Flugwege zugeordnet, die unterschiedliche Track-IDs aufwiesen.



**Abb. 11** Abgleich eines GPS-Flugwegs mit dem BirdRecorder-Flugweg. Anfänglich ist die Erfassung bruchstückhaft in Form von Punktwolken.





**Abb. 12** Abgleich eines LRF-Flugwegs mit den BirdRecorder-Daten. Die unbeständige Distanzbestimmung verwischt die Geradlinigkeit des BirdRecorder-Flugwegs.

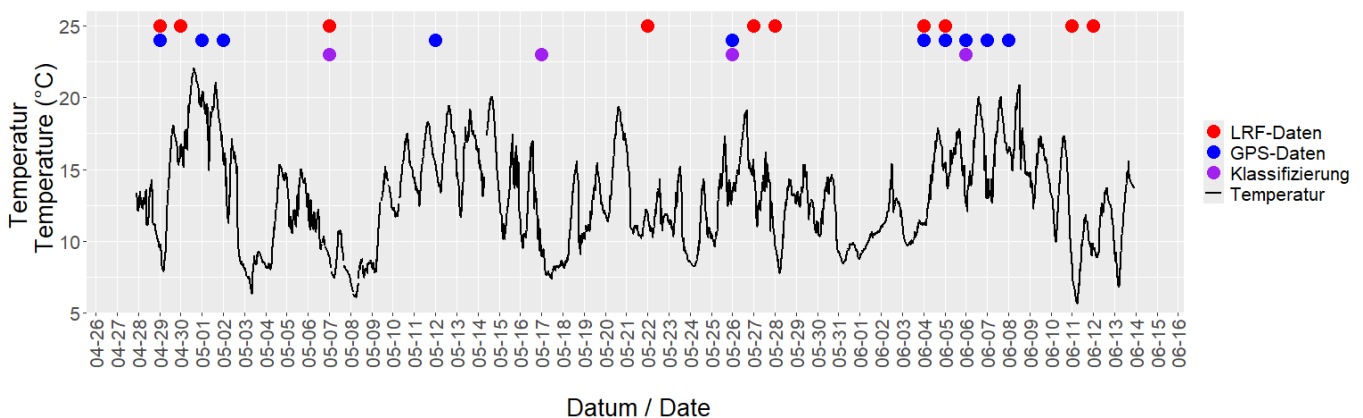


**Abb. 13** Abgleich eines GPS-Flugwegs mit den BirdRecorder-Daten. Die Erfassung durch den BirdRecorder fällt bruchstückhaft aus.

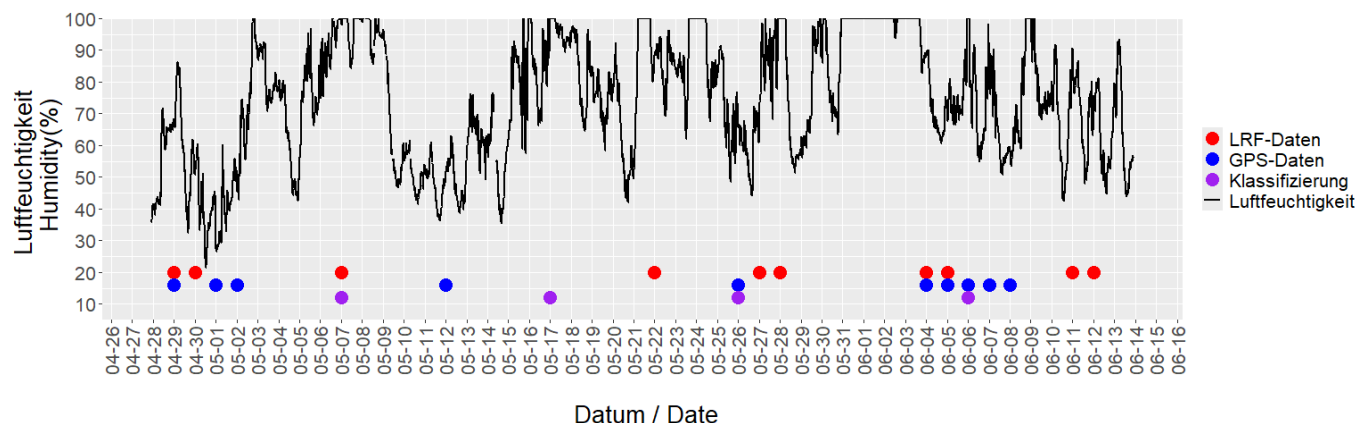


### 3.1.4 Meteorologische Bedingungen

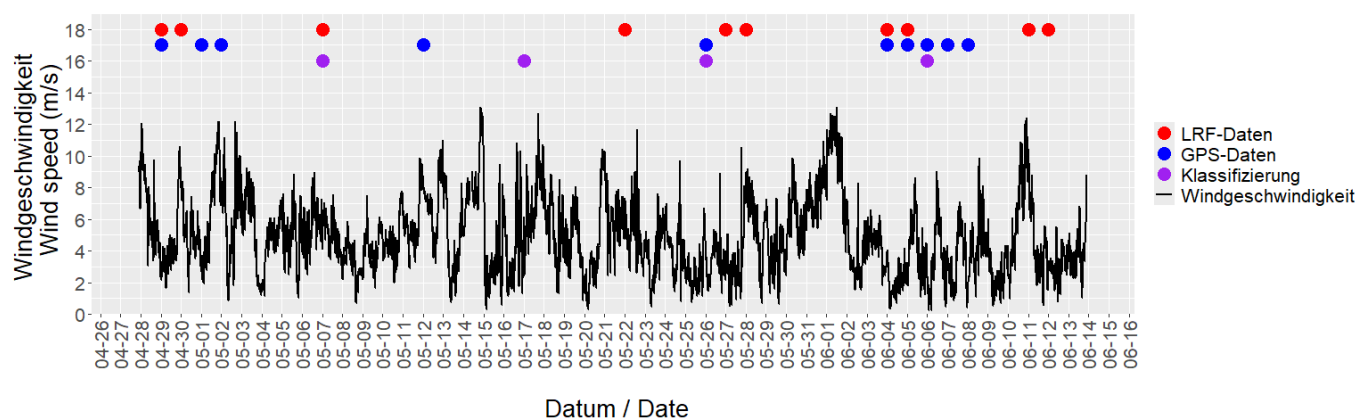
Im Zeitraum der Erprobung traten sehr unterschiedliche meteorologische Bedingungen auf (**Abb. 15** bis **Abb. 18**), von sehr kühlen (z.B. erstes Drittel Mai), trocken warmen (z.B. Ende April, ab anfangs Juni) und sehr nassen, regnerischen Phasen (Ende Mai/anfangs Juni).



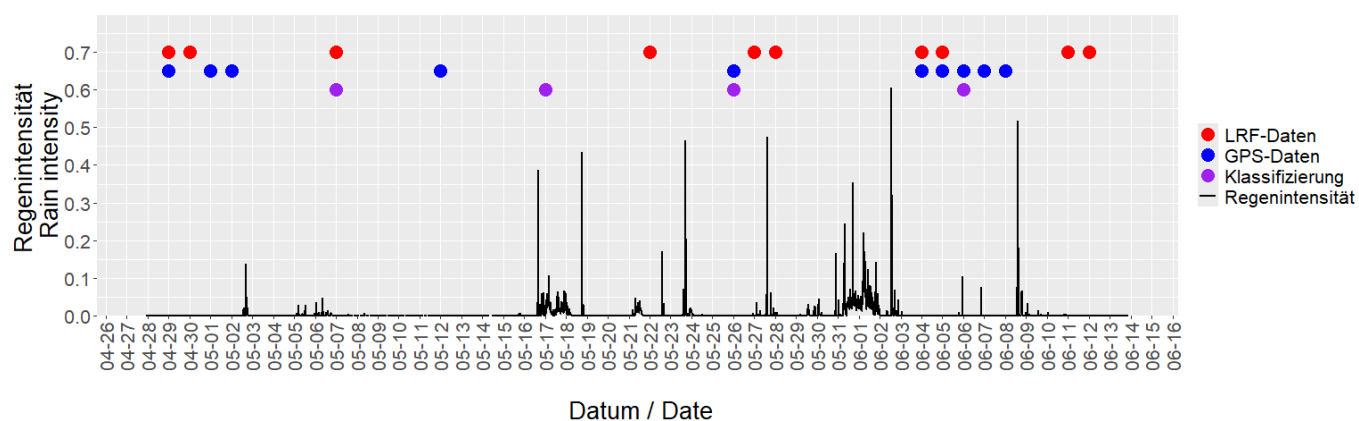
**Abb. 15** Zeitlicher Verlauf der Temperatur (°C) gemessen auf 97 m ü.B. am Meteo-Mast NW. Die Tage, von welchen die Referenzdaten (LRF/GPS) sowie die anhand der Fotobelege nachbestimmten BirdRecorder-Daten zur Überprüfung der Klassifizierung stammen, sind mit farbigen Punkten markiert.



**Abb. 16** Zeitlicher Verlauf der Luftfeuchtigkeit (%) gemessen auf 97 m ü.B. am Meteo-Mast NW. Die Tage, von welchen die Referenzdaten (LRF/GPS) sowie die anhand der Fotobelege nachbestimmten BirdRecorder-Daten zur Überprüfung der Klassifizierung stammen, sind mit farbigen Punkten markiert.



**Abb. 17** Zeitlicher Verlauf der Windgeschwindigkeit (m/s) gemessen auf 98 m ü.B. am Meteo-Mast NW. Die Tage, von welchen die Referenzdaten (LRF/GPS) sowie die anhand der Fotobelege nachbestimmten BirdRecorder-Daten zur Überprüfung der Klassifizierung stammen, sind mit farbigen Punkten markiert.



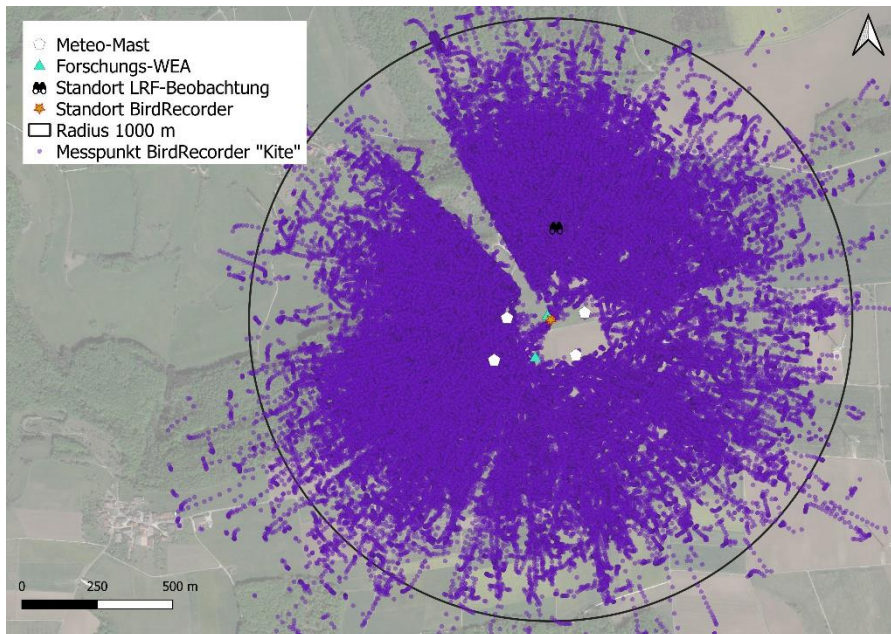
**Abb. 18** Zeitlicher Verlauf der Regenintensität gemessen auf 2 m ü.B. am Meteo-Mast NW. Die Tage von welchen die Referenzdaten (LRF/GPS) sowie die anhand der Fotobelege nachbestimmten BirdRecorder-Daten zur Überprüfung der Klassifizierung stammen sind mit farbigen Punkten markiert.



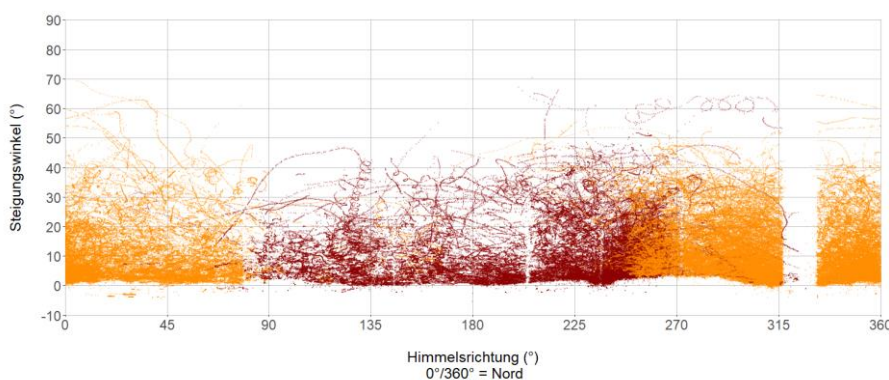
### 3.2 Räumliche Abdeckung

Zwischen Morgen- und Abenddämmerung sind vom BirdRecorder pro Tag bis zu mehreren hundert von als „Kite“ klassifizierte Flugwege aufgezeichnet worden. Horizontal verteilen sich die Flugwege innerhalb eines Umkreises von bis zu 1'500 m (**Abb. 19**).

In Bezug zur Himmelsrichtung verteilen sich die als „Kite“ klassifizierten Messpunkte im Umkreis von 360° und liegen innerhalb eines Steigungswinkels von -5° bis +70° (**Abb. 20**). Deutlich sichtbar ist die Sichtverschattung, die durch die nördliche FWEA im Bereich von 315° bis 330° entsteht, während die Sichtverschattung der südlichen WEA im Bereich von 220° gering ausfällt. Leichte Sichtverschattungen entstehen auch durch die Meteomasten in den Bereichen von etwa 75°, 143°, 230° und 270°.



**Abb. 19** Horizontale räumliche Verteilung der als «Kite» klassifizierten Messpunkte (nicht nachbestimmt). Ganztägige Daten von 19 Tagen.



**Abb. 20** Nach Himmelsrichtung und Steigungswinkel aufgetragene räumliche Verteilung der als «Kite» klassifizierten Messpunkte (nicht nachbestimmt) aufgeteilt nach Halbsystem (rot=südlich gerichtetes Halbsystem, orange=nördlich gerichtetes Halbsystem). Ganztägige Daten von 19 Tagen.

### 3.3 Zeitliche Abdeckung

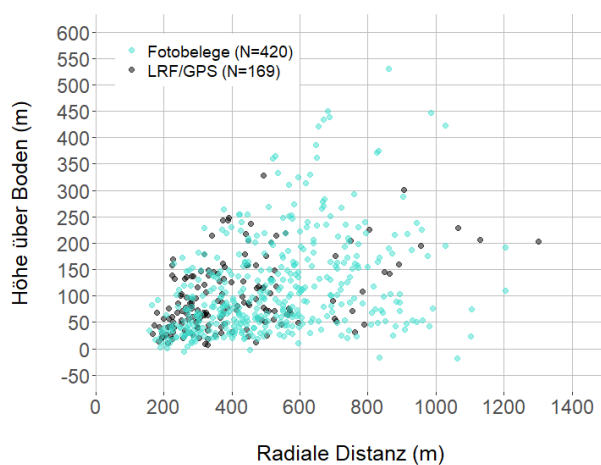
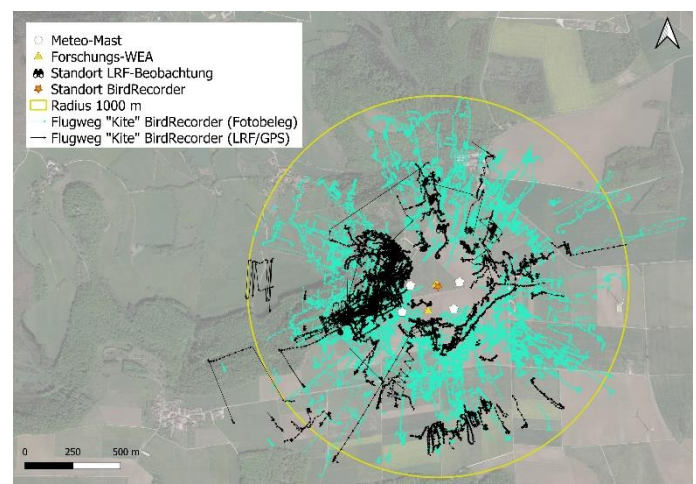
Die Testperiode bestand aus 46 Tagen. An einem Tag war der BirdRecorder durch extern bedingte Gründe ausser Betrieb genommen worden. Dieser Tag wurde von der Analyse ausgeschlossen. Damit gehen wir von 45 Systembetriebstagen aus. Von den 45 Systembetriebstagen war der BirdRecorder zu 93% der Zeit voll funktionsfähig. An zwei Tagen war das System vollständig ausser Betrieb und an 1 Tag teilweise (statische Kamera, **Tab. 3**). Die anderen Ausfälle waren jeweils kürzer als ein Tag.

**Tab. 3** Kennzahlen zur durch den BirdRecorder gegebenen zeitlichen Abdeckung der Testperiode.

Kennzahlen		Anzahl
Anzahl Tage Testperiode (29.04.2024 - 12.06.2024)		46
Anzahl Tage Systembetrieb (exkl. ganztägig extern bedingte Ausserbetriebnahme)		45
Anzahl Erfassungstage (exkl. ganztägig systembedingte Ausfälle/Wartung)		43
Anzahl Ausfälle/Wartung ganzes System	halbtägig und kürzer	2
	mehr als halbtägig	0
	ganztägig	2
Anzahl Ausfälle/Wartung eines Halbsystems	halbtägig und kürzer	3
	mehr als halbtägig	1
	ganztägig	0
Anzahl Ausfälle einzelne statische Kamera	halbtägig und kürzer	1
	mehr als halbtägig	0
	ganztägig	1

### 3.4 Erfassungsreichweite

Die Erfassungsreichweite wurde anhand des ersten Detektionspunktes von nachbestimmten BirdRecorder-Flugwegen bestimmt, einerseits aus dem Abgleich mit den Referenz-Daten (N=169, siehe Kap. 3.5) und andererseits aus der Nachbestimmung von BirdRecorder-Flugwegen anhand der Fotobelege (N=420 BirdRecorder-Flugwege) ausgewählter Tage. Die Erfassungsreichweite für Erstdetektionen des BirdRecorders liegt für Rotmilane bei 1'300 m (**Abb. 21** und **Abb. 22**). Sind Rotmilane erst mal im Fokus der Tele-Kameras, können diese vom System bis zu einer Distanz von 1'500 m verfolgt werden. Dieser Wert stimmt mit dem Wert überein, der sich aus der räumlichen Abdeckung von nicht nachbestimmten, aber als «Kite» klassifizierten BirdRecorder-Flugwegen ergibt (Kap. 3.2).

**Abb. 21** Radiale Distanzen der ersten Detektionspunkte von nachbestimmten BirdRecorder-Flugwegen (N=589).**Abb. 22** Horizontale Verteilung von nachbestimmten BirdRecorder-Flugwegen (LRF/GPS: N=169, Fotobeleg: N=420).



### 3.5 Erfassungsrate

Die Erfassungsrate wurde anhand des Abgleichs der Referenzdaten (LRF- und GPS) mit den vom BirdRecorder erfassten Flugwegen bestimmt. Von den 162 Referenz-Flugwegen sind vom BirdRecorder 72 Flugwege erfasst worden. Über den ganzen überwachten Raum betrachtet (bis 1'500 m), lag die Erfassungsrate damit bei 44.4%. Innerhalb der vom KNE empfohlenen Erfassungsreichweite von mindestens 500 m lag die Erfassungsrate bei 57.6%. Die Erfassungsrate nahm mit zunehmender Distanz ab (**Tab. 4**). Ab einer Entfernung von 1'000 m ist allerdings zu beachten, dass die Datengrundlage gering ausfällt.

Die Referenz-Flugwege waren meist länger als die BirdRecorder-Flugwege. Daher wurden einem Referenz-Flugweg oft mehrere BirdRecorder-Flugwege, die unterschiedliche Track-IDs aufwiesen, zugeordnet. So wurden den 72 detektierten Referenz-Flugwegen 169 BirdRecorder-Flugwege zugewiesen.

**Tab. 4** Anzahl Referenz-Flugwege, Anzahl vom BirdRecorder detektierte und nicht detektierte Referenz-Flugwege und Anteil der vom BirdRecorder detektierten Referenz-Flugwege (Erfassungsrate) pro horizontaler Distanzklasse.

Distanzklasse (m)	Anzahl Referenz-Flugwege	Anzahl detektierte Referenz-Flugwege	Anzahl nicht detektierte Referenz-Flugwege	Anteil detektierte Referenz-Flugwege (%)
0-250	81	48	33	59.3
250-500	37	20	17	54.1
500-750	21	3	18	14.3
750-1'000	19	1	18	5.3
1'000-1'250	2	0	2	0.0
1'250-1'500	2	0	2	0.0
0-1'500	162	72	90	44.3

### 3.6 Klassifizierung (Arterkennung)

#### 3.6.1 Klassifizierung basierend auf Referenzdaten (LRF- und GPS)

Die Auswertung der Arterkennung basierend auf den Referenzdaten (LRF- und GPS) erfolgte dadurch, indem überprüft wurde, ob die BirdRecorder-Flugwege, die mit einem Referenz-Flugweg übereinstimmen, vom BirdRecorder tatsächlich als «Kite» klassifiziert worden sind. Den 72 Referenz-Flugwegen sind beim Abgleich insgesamt 169 BirdRecorder-Flugwege zugeordnet worden (siehe Kap. 3.5).

Von den 169 BirdRecorder-Flugwegen, die mit einem Referenz-Flugweg übereinstimmen, sind 98.8% (=167) korrekt als «Kite» klassifiziert worden (korrekt positiv = Arterkennungsrate). Umgekehrt bedeutet dies, dass 1.2% (=2) fälschlicherweise als Nicht-Zielart (falsch negativ) klassifiziert worden sind.

#### 3.6.2 Klassifizierung basierend auf nachbestimmten BirdRecorder-Daten

Basierend auf einer manuellen Nachbestimmung der Fotobelege von vom BirdRecorder aufgezeichneten Flugwegen ausgewählter Tage konnten alle vier Arten von Klassifizierungsraten bestimmt werden.

Über den ganzen überwachten Raum betrachtet (bis 1'500 m) sind 96.9% der Flugwege von Zielarten tatsächlich als «Kite» klassifiziert worden (korrekt positiv = Arterkennungsrate). Somit sind 3.1% der Flugwege von Zielarten vom BirdRecorder fälschlicherweise als Nicht-Zielart klassifiziert worden (falsch negativ).

Anhand derselben Daten konnten auch die falsch-positiv und korrekt-negativ-Rate bestimmt werden. 27.7% der Flugwege von Nicht-Zielarten wurden vom BirdRecorder fälschlicherweise als Zielart klassifiziert (falsch positiv). Dem gegenüber sind 72.3% der Flugwege von Nicht-Zielarten korrekt als Nicht-Zielart («Bird» oder «Aircraft») klassifiziert worden.

Die Betrachtung der Klassifizierung in Abhängigkeit der radialen Distanz zeigt, dass die Raten über alle Distanzklassen in einem ähnlichen Rahmen liegen und damit über die Distanz hinweg beständig sind (**Tab. 5**).

**Tab. 5** Klassifizierungsraten (%) und Anzahl Flugwege (N) in Abhängigkeit der Distanzklassen (radial).

	0-250 m		251-500 m		501-750 m		751-1'000 m		1'001-1'250 m		1'251-1'500 m		0-1'500 m	
	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N
Korrekt positiv	96.8	30	97.3	177	96.6	142	96.2	51	100.0	7	-	0	96.9	407
Falsch negativ	3.2	1	2.7	5	3.4	5	3.8	2	0.0	0	-	0	3.1	13
Korrekt negativ	69.0	49	75.1	199	65.8	102	70.6	60	100.0	17	100.0	6	72.3	433
Falsch positiv	31.0	22	24.9	66	34.2	53	29.4	25	0.0	0	0.0	0	27.7	166

### 3.7 Zusammenfassung bezüglich KNE-Kriterien

Mit Ausnahme der Erfassungsrate wurden alle Mindestanforderungen des KNE erfüllt oder deutlich übertroffen (**Tab. 6**).

**Tab. 6** Liste der Erprobungskriterien des KNE und dementsprechende Ergebnisse aus dem Test des BirdRecorders.

Erprobungskriterium	Anforderung gemäß Bruns et al. (2021)	Ergebnisse BirdRecorder
Räumliche Abdeckung	Mind. 75 %	Innerhalb Öffnungswinkel deutlich >75%
Zeitliche Abdeckung	Möglichst hoch	93%
Erfassungsreichweite	Mindestens die artspezifische Reaktionsdistanz (ergibt sich aus der Abregeldauer der WEA multipliziert mit der Fluggeschwindigkeit zuzüglich der Rotorblattlänge) oder als Orientierungswert mindestens 500 m	1'300 m (Erstdetektion)
Erfassungsrate	Mindestens 75 %, in besonderen Konfliktfällen bis zu 90 %	0-1'500 m: 44.4% 0-500 m: 57.6%  0-250 m: 59.3% 251-500 m: 54.1% 501-750 m: 14.3% 751-1'000m: 5.3% 1'001-1'500 m: 0.0%
Arterkennung	Mindestens 75 %; im Reaktionsbereich mindestens 90 %	0-1'500 m: 96.9%  0-250 m: 96.8% 251-500 m: 97.3% 501-750 m: 96.6% 751-1'000 m: 96.2% 1'001-1'500 m: 100%

## 4 Diskussion

### 4.1 Datengrundlagen und Generierung von Flugwegen

Als unabhängiger Referenzdatensatz wurde ein Datensatz bestehend aus mindestens 100 Flugwegen angestrebt, welcher während unterschiedlichen Wetterbedingungen erhoben und im überwachten Luftraum des Systems liegen sollte. Aus den LRF-Beobachtungen ergaben sich aus 10 Beobachtungstagen 135 beurteilbare LRF-Flugwege. Aus den GPS-Daten sind aus 10 Tagen, während welchen der besenderte Rotmilan «Robbie» auf dem Testfeld auftauchte, 27 beurteilbare Flugwege zusammengekommen. Der Referenzdatensatz enthielt somit 162 Referenz-Flugwege. Die Tage deckten unterschiedliche Wetterverhältnisse ab. Damit wurden diese Ziele für den Test erreicht.

Die BirdRecorder-Daten konnten mit einem geringen Bearbeitungsaufwand ins QGIS eingelesen und visualisiert werden. Teilweise war es jedoch schwierig zu beurteilen, ob ein BirdRecorder-Flugweg mit einem Referenz-Flugweg übereinstimmt, da die Form und der Verlauf der BirdRecorder-Flugwege manchmal aufgrund einer unbeständigen Distanzbestimmung, Fehlmessungen, Vermischung von Flugwegen mehrerer Individuen, nicht klar ersichtlich waren. Bei der Generierung der Flugwege besteht für den BirdRecorder Verbesserungsbedarf.

Das Testfeld wurde zu Forschungszwecken gebaut und befindet sich in einem Gebiet mit einer hohen Flugaktivität der Zielart Rotmilan und weiteren grossen Vogelarten (z.B. Schwarzmilan, Wespenbussard, Mäusebussard, Turmfalke, Wanderfalke, Kolkrabe, Rabenkrähe). Reichenbach und Aussieker (2020) nutzten Flugaktivitätsdaten von der Erprobung des Systems IdentiFlight auf dem Testfeld um hinsichtlich der Anzahl Abschaltungen Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchzuführen. Dabei wurde das Testfeld im Vergleich mit anderen nördlich liegenden Windparkstandorten als Standort mit einer äusserst hohen Flugaktivität beschrieben. Vorteil der grossen Flugaktivität ist, dass es möglich ist, für die Erprobung von technischen Antikollisionssystemen innert kurzer Zeit einen grossen Datensatz mit Referenz-Flugwegen zu sammeln. Der Nachteil ist hingegen, dass der Standort von seiner Flugaktivität her nicht unbedingt einem typischen kommerziell genutzten Windparkstandort entspricht, bei welchem der Einsatz von technischen Systemen zur Vermeidung von Kollisionen in Frage kommen würde, da mit vielen Abschaltungen gerechnet werden müsste. Eine hohe Flugaktivität stellt generell für technische Antikollisionssysteme eine Herausforderung dar (Reichenbach et al. 2023). Je höher die Flugaktivität in einem Gebiet ist, umso grösser ist das Risiko, dass bei der automatischen Generierung von Flugwegen, unabhängig von der Art des Systems, Fehler entstehen können. Der Einsatz von technischen Systemen zur Vermeidung von Kollisionen betrachten wir daher lediglich für Standorte mit einer geringeren Flugaktivität als am vorliegenden Standort als geeignet. Diese Umstände müssen bei der Interpretation der Ergebnisse der Erprobung berücksichtigt werden.

### 4.2 Räumliche und zeitliche Abdeckung

Der BirdRecorder erlaubte eine Überwachung des Luftraums im Umkreis von 360°. Trotz der zahlreichen vertikalen Strukturen im Umkreis des BirdRecorders waren die Sichtverschattungen gering. Die visuelle Beurteilung lässt darauf schliessen, dass die räumliche Abdeckung innerhalb des überwachten Luftraums mehr als 75% betrug und damit die Anforderungen des KNE erfüllt.

Zeitlich erfolgte die Datenerfassung jeweils bei Tageslicht zwischen der Morgen- und Abenddämmerung. Von den 45 Systembetriebstagen war der BirdRecorder während 93% der Zeit voll funktionsfähig. Gemäss KNE soll die zeitliche Abdeckung «möglichst hoch» sein. In diesem Sinne erachten wir das Kriterium der zeitlichen Abdeckung als erfüllt.

### 4.3 Erfassungsreichweite

Die Reichweite des BirdRecorders zur Erfassung der Zielart lag bei rund 1'300 m. Dies übersteigt sowohl die ortsspezifisch geschätzte Reaktionsdistanz von 270 m wie auch die vom KNE empfohlene Mindestdistanz von 500 m (siehe Kap. 2.5.3) deutlich. Dadurch wäre eine rechtzeitige Detektion der Zielart im Rahmen einer bedarfsgerechten Betriebsregulierung möglich.

### 4.4 Erfassungsrate

Die mittlere Erfassungsrate bis zu einem horizontalen Umkreis von 1'500 m um den Standort des BirdRecorders lag bei 44.4% und innerhalb der vom KNE empfohlenen Mindestdistanz von 500 m bei 57.6%. Diese Werte liegen deutlich unter den Mindestanforderungen des KNE von 75% oder sogar 90% in besonderen Konfliktfällen. Die Gründe für die tiefen Erfassungsraten gilt es für das ZSW zu klären.

Die Erfassungsrate des BirdRecorders nahm mit zunehmender Distanz ab. Es ist plausibel davon auszugehen, dass dieser Effekt mit der distanzabhängigen Detektionswahrscheinlichkeit zusammenhängt. Bei allen Arten von Erfassungsmethoden (menschliche Sichtbeobachter, Kamera, Radar, Laser) nimmt die Detektionswahrscheinlichkeit natürlicherweise mit zunehmender Distanz ab.

## 4.5 Klassifizierung (Arterkennung)

Die Arterkennungsrate (korrekt-positiv, Zielart korrekt als Zielart klassifiziert) wurde anhand von zwei unterschiedlichen Datengrundlagen bestimmt: Einerseits wurde überprüft, ob die BirdRecorder-Flugwege, die mit den LRF- und GPS-Flugwegen übereinstimmen, als «Kite» klassifiziert worden sind (Kap. 3.6.1). Andererseits wurden die Fotobelege von vom BirdRecorder aufgezeichneten Flugwegen ausgewählter Tage manuell nachbestimmt (Kap. 3.6.2). Bei beiden Varianten von Datengrundlagen war die Arterkennungsrate (bis 1'500 m) hoch, nämlich 98.8% und 96.9%. Zudem blieb die Arterkennungsrate über die Distanz hinweg beständig. Damit konnten die Anforderungen des KNE erfüllt werden.

Betreffend der falsch-positiv-Rate (Nicht-Zielart fälschlicherweise als Zielart klassifiziert) gibt es vom KNE her keine Anforderungen. Diese Rate lag bei 27.7% und dürfte aus Sicht der Windenergiebranche wohl als zu hoch eingeschätzt werden. Eine Verbesserung dieser Rate wäre aus Sicht der Windenergiebranche zu begrüssen.

Insgesamt betrachtet hat das lokale Artvorkommen eine zuverlässige Klassifizierung erlaubt. An Standorten, wo das Artvorkommen anders zusammengesetzt ist und möglicherweise Vogelarten vorkommen, die leicht mit der Zielart verwechselt werden können, dürften die Klassifizierungseigenschaften anderweitig ausfallen. Das System (neuronales Netzwerk) könnte jedoch für weitere Vogelarten trainiert werden (neuronales Netzwerk).

## 4.6 Wirksamkeit und Effizienz der Abschaltung

Beim BirdRecorder war noch keine Abschaltprozedur implementiert. Daher war keine Überprüfung der Wirksamkeit und Effizienz der Abschaltung möglich.

## 4.7 Fazit

Der BirdRecorder ist ein vielversprechendes kamerabasiertes System zur automatischen Erkennung der Zielart Rotmilan und hat das Potenzial, zukünftig sämtlichen Anforderungen des KNE zu entsprechen. Hervorgehoben werden kann die grosse Reichweite in Kombination mit der hohen Arterkennungsrate über grosse Distanzen hinweg. Ein grosser Verbesserungsbedarf besteht jedoch bei der Erfassungsrate und bei der Generierung von zusammenhängenden Flugwegen. Dies ist eine grundlegende Voraussetzung dafür, damit das System zukünftig zur bedarfsgerechten Steuerung von WEA eingesetzt werden kann.

# 5 Literaturverzeichnis

Aschwanden, Janine; Stark, Herbert; Liechti, Felix (2019): Konzept zur Erprobung von Systemen zur Vermeidung von Vogelkollisionen an Windturbinen. Teilprojekt NFW-Bird 2018.

Bruns, Elke; Schuster, Eva; Streiffeler, Julia (2021): Anforderungen an technische Überwachungs- und Abschaltssysteme an Windenergieanlagen. Abschlussbericht der Workshopreihe "Technische Systeme". Bonn: Deutschland / Bundesamt für Naturschutz (BfN-Skripten (1.1998 - 631.2022) - 610 [e]). Online verfügbar unter <https://doi.org/10.19217/skr610>.

KNE (2019): Anforderungen an eine fachlich valide Erprobung von technischen Systemen zur bedarfsgerechten Betriebsregulierung von Windenergieanlagen. Hg. v. Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende. Online verfügbar unter <https://www.naturschutz-energieende.de/fachwissen/auf-einen-blick/anforderungen-an-eine-fachlich-valide-erprobung-von-technischen-systemen-zur-bedarfsgerechten-betriebsregulierung-von-windenergieanlagen/>.

Reichenbach, Marc; Steinkamp, Tim; Aschwanden, Janine; Reers, Hendrik; Greule, Sören; Grimm, Johanna (2023): Durchführung von Leistungsnachweisen für Detektionssysteme zur Verminderung von Vogelkollisionen an Windenergieanlagen in Brandenburg. Kamera- und Radar-Datenauswertung und gutachterliche Einordnung. ARSU GmbH.