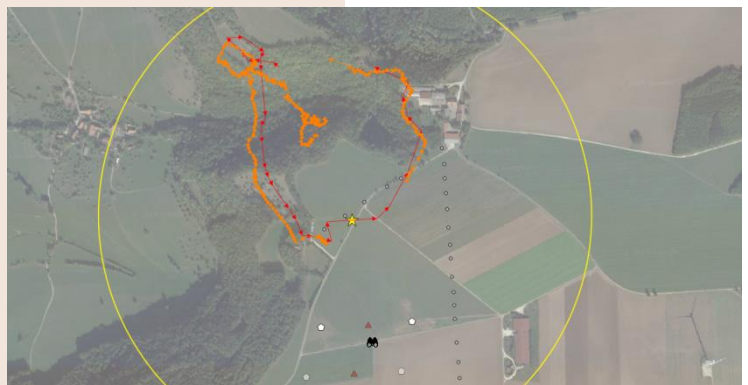


Erprobung des automatischen Vogeldetektions- systems IdentiFlight[®] auf dem Testfeld des Wind- ForS im Rahmen der Naturschutzbegleitforschung (NatForWINSENT)

*Test of the automatic bird detection system IdentiFlight[®] on the test field of
WindForS in the context of nature conservation research (NatForWINSENT)*

Projekt AP 2. E1 Test Detektionssysteme, Auftrag 149707/00111

Janine Aschwanden
Felix Liechti



Bericht zuhanden des Zentrums für Sonnenenergie- und
Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)



vogelwarte.ch

Impressum

Erprobung des automatischen Vogeldetektionssystems IdentiFlight® auf dem Testfeld des WindForS im Rahmen der Naturschutzbegleitforschung (NatForWINSENT)

Bericht zuhanden des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

Autoren

Dr. Janine Aschwanden, Dr. Felix Liechti

Fotos (Titelseite)

Oben: System IdentiFlight® beim Testfeld des WindForS (e3, 25.03.2020), Unten: Flugwege im Testfeld

Zitiervorschlag

Aschwanden, J. & F. Liechti (2020): Erprobung des automatischen Vogeldetektionssystems Identiflight auf dem Testfeld des WindForS im Rahmen der Naturschutzbegleitforschung (NatForWINSENT). Schweizerische Vogelwarte, Sempach.

Kontakt

Dr. Janine Aschwanden, Schweizerische Vogelwarte, CH–6204 Sempach

Tel.: 041 462 97 00, 041 462 97 81 (direkt), Fax: 041 462 97 10, janine.aschwanden@vogelwarte.ch

Fördermittelhinweis

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (FKZ: 3518 86 0100)



© 2020, Schweizerische Vogelwarte Sempach

Dieser Bericht darf ohne Rücksprache mit dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), erneuerbare energien europa e3 GmbH (e3) und der Schweizerischen Vogelwarte Sempach weder als Ganzes noch auszugsweise publiziert werden.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Summary	6
1. Ausgangslage	8
2. Methoden	8
2.1 IdentiFlight® Aerial Detection System	8
2.1.1 Generelle Beschreibung	8
2.1.2 Testspezifische Angaben	11
2.2 Erhebung Flugbewegungen mittels Laser-Range-Finder (LRF)	13
2.3 Erhebung Flugbewegungen mittels GPS	15
2.4 Meteorologische Bedingungen	16
2.5 Vorgehen zur Auswertung der Flugwege	16
2.5.1 Beurteilung Detektion	16
2.5.2 Erfassungsrate in Abhängigkeit der Distanz	18
2.5.3 Klassierung Zielarten	18
3. Ergebnisse	19
3.1 Datengrundlagen	19
3.1.1 IDF	19
3.1.2 LRF	22
3.1.3 GPS	23
3.2 Vergleich LRF- und GPS-Daten mit IDF	24
3.2.1 Erfassungsrate und Klassierung	24
3.2.2 Erfassungsrate in Abhängigkeit der Distanz	29
3.3 Bedarfsgerechte Abschaltung (virtuell)	30
3.3.1 Häufigkeit und Dauer der Abschaltereignisse	30
3.3.2 Klassierung bei Abschaltung	30
3.3.3 Distanz bezüglich WEA bei Abschaltung	32
3.4 Meteorologische Bedingungen	33
4. Diskussion	34
4.1.1 Datengrundlagen, Analyse und meteorologische Bedingungen	34
4.1.2 Klassierung, Detektionsdistanz und Erfassungsrate	34
4.1.3 Bedarfsgerechte Abschaltung (virtuell) mit Klassierung und Detektionsdistanz	35
4.1.4 Schlussfolgerungen hinsichtlich des Anforderungsprofils für automatische Detektionssysteme	37
5. Danksagung	37
6. Literatur	38

Zusammenfassung

Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) fördert das Forschungsvorhaben „NatForWINSSENT“ zur Naturschutzbegleitforschung am WindForS Windenergie-testfeld Stöttener Berg. Das Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW) ist Auftragnehmerin des BfN und für die Organisation und Koordination des Projekts zuständig. Als Unterauftragnehmerin des ZSW bearbeitet die Schweizerische Vogelwarte Sempach das Arbeitspaket AP2 Vögel. Im Rahmen dieses Arbeitspakets erstellte die Schweizerische Vogelwarte ein Konzept zur Erprobung technischer Systeme zur Vermeidung von Vogelkollisionen an Windturbinen. Basierend auf diesem Konzept wurde im Frühling 2020 der zweite Test eines automatischen Detektionssystems durchgeführt. Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse dieses Tests. Die Ergebnisse der Tests bilden schlussendlich eine Grundlage zur Erarbeitung eines generellen Anforderungsprofils, das solche Systeme mit sich bringen müssen, um als geeignet betrachtet werden zu können. Dadurch soll ein Beitrag dazu geleistet werden, im Bereich Vogelschutz zur Minimierung von Vogelkollisionen an Windturbinen für automatische Detektionssysteme Standards zu setzen.

Getestet wurden die Detektionseigenschaften des IdentiFlight® Aerial Detection System der amerikanischen Firma IdentiFlight International, LLC bezüglich der Erkennung von Rot- oder Schwarzmilanen. Das System wurde ursprünglich für die Erkennung von Adlern zur bedarfsgerechten Steuerung von Windenergieanlagen (WEA) entwickelt. Eine Einheit besteht aus 8 Weitwinkelkameras, die ringförmig um einen Mast angeordnet sind und permanent den Luftraum im Umkreis von 360° überwachen. Dazu kommt eine hochauflösende Stereokamera, die zentral oberhalb der Weitwinkelkameras angebracht ist. Die Stereokamera peilt jeweils die Flugobjekte an, die von den Weitwinkelkameras detektiert worden sind, bestimmt die Distanz zum Objekt, die Grösse des Objekts und nimmt zur Klassierung der Objekte Fotos auf. Handelt es sich bei einem Objekt um einen Vogel, so wird der Vogel von der Stereokamera weiter verfolgt und kontinuierliche Punktpositionsdaten (x-, y- und z-Koordinaten) gesammelt. Für den vorliegenden Test wurde das System von der Firma erneuerbare energien europa e3 GmbH zur Verfügung gestellt.

Die Datenerhebung erfolgte auf dem Testfeld zwischen dem 20.04.2020 – 18.05.2020. In diesem Zeitraum zeichnete das IDF bei Tageslicht kontinuierlich die Flugbewegungen der Vögel auf. Für die Erhebung von unabhängigen Vergleichsdaten wurden im Gebiet innerhalb eines Umkreises von 700 m um den Standort des IDF im gleichen Zeitraum an neun Tagen mit einem Laser-Range-Finder (LRF) Flugbewegungen von Rot- und Schwarzmilanen erfasst (N=146). Ein zusätzlicher unabhängiger Vergleichsdatensatz ergab sich aus den Flugbewegungen eines besenderten Rotmilans (GPS), der nahe am Standort des IDF brütete (N=162). Dabei wurden die GPS-Positionen, die zeitlich weniger als 2 min auseinanderlagen, eine Flugbewegung repräsentierten (Geschwindigkeit >5 km/h) und im Umkreis von 700 m um den Standort des IDF lagen, verwendet.

Die Punktpositionen der drei Datengrundlagen wurden in QGIS eingelesen, zu Flugwegen zusammengesetzt und visuell beurteilt. Zur Beurteilung, ob ein LRF- oder GPS-Flugweg vom IDF erfasst worden ist, dienten der Zeitstempel, Verlauf und Form des Flugwegs, Distanz und Flughöhe sowie Fotobelege des IDF. Ein Teil der LRF- und GPS-Flugwege wurde als „nicht beurteilbar“ oder als vom System „nicht detektierbar“ von der Analyse ausgeschlossen (43 LRF- und 41 GPS-Flugwege).

Von den 103 potenziell durch IDF detektierbaren LRF-Flugwegen sind 91 tatsächlich detektiert worden (88.3%) und 97.8% der detektierten Flugwege sind korrekt als Zielart klassiert worden. Von den 121 detektierbaren GPS-Flugwegen sind vom IDF 100 detektiert worden (82.6%). Von den 100 detektierten GPS-Flugwegen sind 99% korrekt als Zielart klassiert worden.

Bei etwa der Hälfte der LRF- und GPS-Flugwege, die potenziell detektierbar gewesen wären aber vom IDF nicht detektiert worden sind, flogen die Zielarten tief über Boden und/oder teilweise durch von der Detektion ausgeschlossene (maskierte) Zonen. Maskierte Zonen werden standortspezifisch festgelegt,

um die Detektion von Menschen bei Gebäuden oder auf Strassen zu verhindern. Da das Gelände um den Standort des IDF ansteigt, haben tief fliegende Vögel bezüglich des Blickwinkels der Kameras nicht den Himmel, sondern landschaftliche Elemente (Wiesen, Felder, Bäume, WEA etc.) als Hintergrund. Dadurch hebt sich ein Vogel weniger stark vom Hintergrund ab und ist schwieriger zu detektieren. In anderen Fällen, die nicht detektiert worden sind, waren gleichzeitig mehrere Vögel unterwegs und das System war mit der Verfolgung anderer Vögel beschäftigt. Auch Reflektionen der Sonne könnten teilweise die Detektion erschwert haben.

Die Erfassungsrate wurde zusätzlich in Abhängigkeit der horizontalen Distanz betrachtet. Dazu sind die LRF- und GPS-Flugwege vereint und einer Distanzkategorie (0-100 m, 100-200 m etc.) zugeteilt worden. Für jede Distanzkategorie wurde die Anzahl der detektierten und nicht detektierten Flugwege summiert und der Anteil der detektierten Flugwege berechnet. Die Erfassungsrate schwankt von Distanzklasse zu Distanzklasse zwischen 82.0% – 92.3%. Innerhalb des betrachteten Umkreises von 700 m gibt es keine Hinweise dafür, dass die Erfassungsrate mit zunehmender Distanz abnimmt. Eine Analyse der vom IDF ganztägig erfassten Flugwege zeigte, dass die Erkennung von Zielarten bei optimalen Wetterbedingungen (= grosse Sichtweite) bis auf eine Distanz von 1'050 m erfolgen kann. Bei guten Wetterverhältnissen mit klarer Sicht liegen 90% der Detektionen innerhalb einer Distanz bis zu 750 m und bei schlechten Wetterverhältnissen mit teilweise eingeschränkter Sicht liegen rund 91% der Detektionen innerhalb einer Distanz bis zu 600 m.

Während des Tests war die WEA-Abschaltung virtuell implementiert. Deshalb konnte anhand der Systemdaten zusätzlich ausgewertet werden, wie häufig, wie lange und bei welcher Distanz die WEA theoretisch abgeschaltet worden wären und ob die Abschaltung tatsächlich von einer Zielart verursacht worden wäre. Insgesamt hätten während 12 ausgewählten Tagen, 396 Flugwege mindestens eine Abschaltung verursacht. 390 dieser Flugwege konnten hinsichtlich ihrer Klassierung anhand der Belegfotos überprüft werden. In rund 93.6% der Fälle wäre eine Abschaltung durch eine Zielart verursacht worden. Bei 5.4% der Fälle wäre die Abschaltung zwar aufgrund eines Vogels erfolgt, aber aufgrund einer Nicht-Zielart oder eines Vogels, der sich nicht im Flug befunden hat. Nur bei 1% der Fälle handelte es sich um einen Nicht-Vogel. In ca. 57% der Fälle wären Abschaltungen bei einer Distanz zur Windturbine von mehr als 200 m ausgelöst worden. Hier gilt es jedoch anzumerken, dass diese Analyse nicht primäres Ziel dieses Tests war. Eine Wertung der Abschaltdistanz aus Sicht des Artenschutzes ist nicht haltbar, weil der Standort des IDF für die Untersuchung dieses Zwecks nicht optimal war (Verfügbarkeit Stromversorgung). Zudem ist davon auszugehen, dass die Flugwege der Zielarten anders verlaufen wären, wenn die WEA bereits vor Ort gewesen wären.

Die Detektionseigenschaften des Systems (grosse Reichweite, ausgezeichnete Zielartenerkennung) bieten an Standorten mit einem ähnlichen Artvorkommen für die Zielarten insgesamt eine sehr gute Ausgangslage, um eine bedarfsgerechte Abschaltung zu implementieren. Am vorliegenden Standort sind öfter tieffliegende Zielarten übersehen worden sind. Der besenderte Rotmilan durchflog im Verlauf seiner Flugbewegungen häufig diejenige Zone, die vor einem maskierten Gebäude lag. Trotz dieses Umstands war die Erfassungsrate hoch und lag oberhalb des momentan vom Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE) empfohlenen Mindestwertebereichs von 75% - 80%, den ein Detektionssystem erreichen sollte. Die Erfahrungen zeigen die Wichtigkeit der lokalen Geländegegebenheiten, die bei der Wahl des Standorts für die aktuelle Version des IDF bezüglich eines Windparks berücksichtigt werden müssen. Auch die Auswahl von maskierten Bildbereichen muss vor diesem Hintergrund erfolgen. Es gilt jedoch anzumerken, dass aufgrund der Verfügbarkeit der Stromversorgung für das IDF ein Standort gewählt werden musste, der nicht optimal war.

Summary

The German Federal Agency for Nature Conservation (BfN) funds the nature conservation research project “NatForWINSENT” at the wind energy test site of the Wind Energy Research Cluster South (WindForS) at Stötten. The Centre for Solar Energy and Hydrogen Research Baden-Württemberg (ZSW) is head of the project and contracted the Swiss Ornithological Institute with the working package AP2 Birds. This working package contains the task to elaborate a concept for testing the function of different automatic bird detection systems in the context of bird collision mitigation at wind turbines. Based on this concept a second test of an automatic bird detection system was conducted in spring 2020. The current report contains the results of this test. The results of the test will be a contribution for elaborating a profile of realistic requirements for automatic bird detection systems in order to set standards in the context of bird protection and nature conservation regarding bird collisions at wind turbines.

We tested the detection characteristics for the target species Red- or Black Kite of the IdentiFlight® Aerial Detection System developed by the American company IdentiFlight International, LLC. The system was originally developed for the detection of Eagles to control operation of wind turbines. One unit consists of 8 wide-field cameras mounted around a pylon permanently surveying 360° of the air-space. Additionally, a high-resolution stereo camera locates the objects detected by wide-field cameras, measures distance and size of the object and stores fotos for the classification of objects. If the object is classified as bird, the stereo camera continues tracking and collecting point position data (x-, y- and z-coordinates). For the current test, the system was provided by the company erneuerbare energien europa e3 GmbH.

Test data collection was conducted at the test site between 20.04.2020 – 18.05.2020. During this time frame the IDF was continuously registering diurnal bird movements. In order to get an independent data set for the comparison, point positions of bird movements of Red- and Black Kites were collected using a laser-range finder (LRF) within a radius of 700 m around the location of the IDF at nine days within the same time frame (N=146). A further independent data set was assembled from a GPS-tagged Red Kite which was breeding close to the test site (N=162). We used GPS-point positions with a resolution of less than 2 min representing a flight movement (speed > 5 km/h) within a radius of 700 m around the location of the IDF.

Point positions of the three data sets were imported to QGIS, composed to tracks and visually assessed. The assessment whether a LRF- or GPS-track was detected by IDF was conducted based on timestamp, course and shape of a track, distance and flight height as well as foto proofs of the IDF. A part of LRF- and GPS-tracks were excluded from the analysis because they were considered to be not assessable or not detectable (43 LRF- und 41 GPS-tracks).

91 (88.3%) out of 103 potentially detectable LRF-tracks were detected by IDF and 97.8% of the detected tracks were correctly classified as target species. Out of 121 GPS-tracks, 100 (82.6%) were detected by IDF where 99% were correctly classified as target species.

About half of the potentially detectable LRF- and GPS-tracks not detected by IDF were low over ground and/or partly covered by masked areas determined to exclude the detection of human beings at buildings or on streets. The terrain around the location of the IDF is ascending. This means that the background of low flying target species relative to the camera position is not sky but elements of landscape (meadows, crop fields, trees, wind turbines etc.). Thus, the contrast between bird and background is limited and the detection of birds more difficult. In other not detected cases several birds were around simultaneously and the system was busy with tracking another bird. Furthermore, reflections of the sun might have disturbed the detections.

Detection efficiency was additionally considered depending on distance. LRF- and GPS-tracks were pooled and allocated to distance categories (0-100 m, 100-200 m etc.). For each distance category the

proportions of detected and not detected tracks was determined. Detection efficiency fluctuated between distance classes between 82.0% - 92.3%. There is no evidence that the detection efficiency decreases with increasing distance within the radius of 700 m. An analysis of all the tracks generated by IDF of full days showed that the detection of target species is possible up to 1'050 m during optimal weather conditions (= far visibility). During good weather conditions with clear visibility 90% of detections are within a distance of 750 m and during bad weather conditions with partly limited visibility 91% of detections are within a distance of 600 m.

During the test, curtailment was virtually implemented. Therefore, system data additionally allowed analysing how often, how long and at which distance wind turbines would have been theoretically curtailed and whether the cause of curtailment was a target species or not. During 12 selected days, 396 tracks would have caused at least one curtailment. It was possible to check classification of 390 of those 396 tracks based on photo proofs. In 93.6% of the cases, curtailment would have been caused by a target species. In 5.4% curtailment would have been triggered by a bird, but not by a target species or by a non-flying bird. Only 1% of curtailments was caused by a non-bird. In about 57% of cases, curtailment would have been triggered at a distance of more than 200 m away from a wind turbine. Here we have to say that this kind of analysis was not a primary goal of the test. It is not adequate to justify curtailment distance from a species protection point of view because the location of the IDF was not optimal for such a kind of investigation (power availability). Furthermore, it is reasonable that the course of tracks would have been different if wind turbines were present.

For locations with a similar bird species composition, the detection characteristics of the system (large detection range, excellent classification of target species) offer very good conditions for the implementation of a curtailment regime. At the current location low flying target species were relatively often not detected. The GPS-tagged Red Kite was frequently moving crossing the zone in front of a masked building. But the detection efficiency was high in spite of this circumstance. At the moment, the "Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (KNE)" recommends a detection efficiency range of at least 75% - 80% which a detection system should reach. These experiences show the importance of local conditions of the terrain which should be included when choosing a location for the actual version of IDF relative to a wind farm. Furthermore, the masking of areas has to be done within this context. However, it is important to say that availability of power did not allow choosing an optimal place for the IDF.

1. Ausgangslage

Der Windenergie Forschungscluster Süd (WindForS) hat das erste Windenergetestfeld in komplexem Gelände initiiert. Die Inbetriebnahme des aus zwei Forschungswindenergieanlagen und vier Windmessmasten bestehenden Testfelds WINSENT ist für das Frühjahr 2021 auf den Gebieten der Städte Geislingen und Donzdorf im Landkreis Göppingen vorgesehen. Mit seiner umfangreichen Infrastruktur und Messeinrichtung steht das Testfeld auch der Naturschutzforschung zur Verfügung. Das Forschungsvorhaben «NatForWINSENT – Naturschutzforschung im Windtestfeld» wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) und vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) 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.

Der vorliegende Bericht enthält die Ergebnisse des zweiten Tests, der im Frühling 2020 mit dem IdentiFlight® Aerial Detection System der amerikanischen Firma IdentiFlight International, LLC, durchgeführt worden ist. Die Testmethode beruht auf dem von der Schweizerischen Vogelwarte erarbeiteten Konzept, das im Rahmen des Projekts NatForWINSENT erarbeitet worden ist (Aschwanden et al. 2019). Das Konzept 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). Die Ergebnisse des Tests werden als Grundlage zur Erarbeitung eines generellen Anforderungsprofils verwendet, das solche Systeme mit sich bringen müssen, um als geeignet betrachtet werden zu können. Dadurch soll ein Beitrag dazu geleistet werden, im Bereich Vogelschutz zur Minderung der Anzahl Vogelkollisionen an Windturbinen für automatische Vogeldetektionssysteme Standards zu setzen.

2. Methoden

2.1 IdentiFlight® Aerial Detection System

2.1.1 Generelle Beschreibung

Das System wurde ursprünglich in den USA für die Erkennung von Adlern zur bedarfsgerechten Steuerung von WEA entwickelt (McClure et al. 2018). Eine Einheit besteht aus 8 Weitwinkelkameras, die ringförmig um einen Mast angeordnet sind und permanent den Luftraum bis zu einer Distanz von 1'000 m im Umkreis von 360° überwachen (vertikal -1° bis $+64^\circ$ bezüglich der Kameraeinheit, Abb. 1). Dazu kommt eine hochauflösende Stereokamera, die zentral oberhalb der Weitwinkelkameras angebracht ist. Die Stereokamera peilt jeweils die Flugobjekte an, die von den Weitwinkelkameras detektiert worden sind, bestimmt die Distanz zum Objekt, die Grösse des Objekts und nimmt zur Klassierung der Objekte Fotos auf. Handelt es sich bei einem Objekt um einen Vogel, so wird der Vogel von der Stereokamera weiter verfolgt und kontinuierliche Punktpositionsdaten (x-, y- und z-Koordinaten) gesammelt. Bewegen sich im Luftraum gleichzeitig mehrere Vögel, so schwenkt die Stereokamera zwischen den Objekten hin und her. Während die Stereokamera von einem Vogel wegschwenkt, behalten die Weitwinkelkameras diesen Vogel weiterhin im Fokus. Da die Stereokamera nur einen Vogel aufs Mal verfolgen kann, müssen Prioritäten gesetzt werden, wenn gleichzeitig mehrere Vögel unterwegs sind. So haben grosse Vögel Vorrang vor kleinen Vögeln. Vorrang haben auch grosse Vögel die sich näher am Windpark befinden als andere grosse Vögel. Vertikal überwacht die Stereokamera den Luftraum zwischen -18° bis $+77^\circ$ bezüglich der Kameraeinheit (Abb. 1).

Je nach Ausdehnung eines Windparks können mehrere Einheiten zur Überwachung eines grösseren Luftraums gekoppelt werden. Zur bedarfsgerechten Steuerung eines Windparks wird um jede WEA ein virtueller innerer Zylinder (z.B. Radius 227 m [D min], Höhe: 200 m [h]) und ein virtueller äusserer Zylinder gelegt (z.B. Radius 750 m [D max], Höhe: 400 m [h]) (Abb. 2). Die Grösse der Zylinder kann beliebig festgelegt werden. Weiter wird eine bestimmte Vogelart als Zielart definiert. Ein als Zielart klassierter Vogel wird jeweils prioritär verfolgt. Dabei wird für jeden Vogel jeweils in Echtzeit die Flugrichtung und -geschwindigkeit ermittelt. Wenn ein als Zielart klassierter Vogel in den Luftraum des äusseren Zylinders gelangt und sich auf Kollisionskurs befindet (Flugbewegung beschreibt einen Vektor, der nach einer bestimmten Zeit bei gleichbleibender Flugrichtung und -geschwindigkeit den Rotorbereich einer WEA kreuzen würde), wird die WEA abgestellt. Gelangt ein als Zielart klassierter Vogel in den Luftraum des inneren Zylinders, so wird die WEA unabhängig von Flugrichtung oder -geschwindigkeit abgestellt (Sicherheitsabschaltung, falls erster Abschaltmechanismus nicht greift). Befinden sich mehrere als Zielart klassierte Vögel im Detektionsbereich des Systems, so entscheidet die Distanz zu der jeweiligen WEA über die Festlegung der Prioritäten.

Zurzeit werden die Vögel vom System den folgenden Klassen zugeordnet:

- Rot-/ Schwarzmilan: Vogel ist ein Rot- oder Schwarzmilan
- Bussard: Vogel ist ein Bussard
- Anderer Vogel: Vogel gehört irgendeiner anderen Art an (von Klein- bis Grossvögeln)
- Protected: Vogel ist ein grosser Vogel und könnte unter Umständen eine Zielart sein (Sicherheitsklassierung).
- Seeadler: Vogel ist ein Seeadler

Die Positionsdaten der als Vögel klassierten Objekte werden pro Tag in Form von .xlsx-Dateien, die auch die Fotos enthalten, sowie .kml-Dateien auf einer Webplattform zur Verfügung gestellt (Abb. 3 bis Abb. 5). Auf die Webplattform kann mittels persönlichen Login-Daten zugegriffen werden. Zusätzlich separat zur Verfügung gestellt werden die Positionsdaten der als Vögel klassierten Objekte, die eine Abschaltung ausgelöst hätten.

Zu jeder Koordinatenposition (WGS84) werden unter anderem Track ID, Zeitstempel, Klassierungskategorie, statistische Sicherheit der Klassierung, Radiale Distanz zum Flugobjekt mit Fehlerangabe, Horizontale Distanz zum Flugobjekt mit Fehlerangabe, Elevation in m ü.M., Flughöhe in m ü.B. nächstgelegene WEA und Distanz zur nächstgelegenen WEA angegeben.

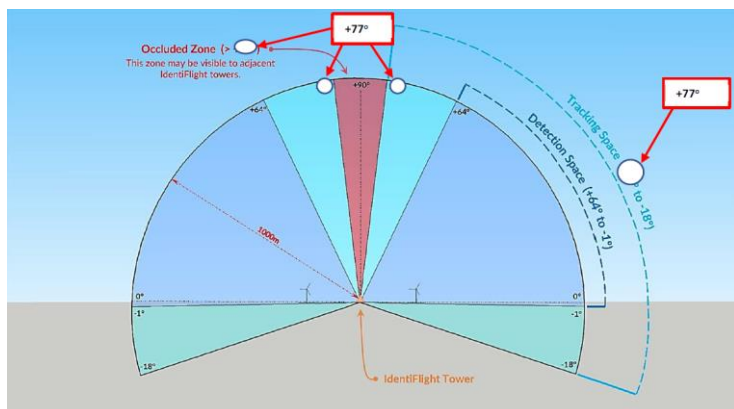


Abb. 1. Illustration des vom IDF überwachten Luftraums (Grafik des Herstellers). Illustration of the airspace surveyed by IDF (graph of the manufacturer).

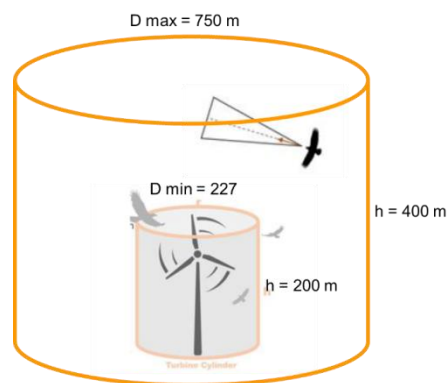


Abb. 2. Äusserer und innerer Zylinder zur Steuerung der Abschaltung (Grafik des Herstellers). Outer and inner cylinder to control curtailment (graph of the manufacturer). D = Radius, h = Höhe/Height

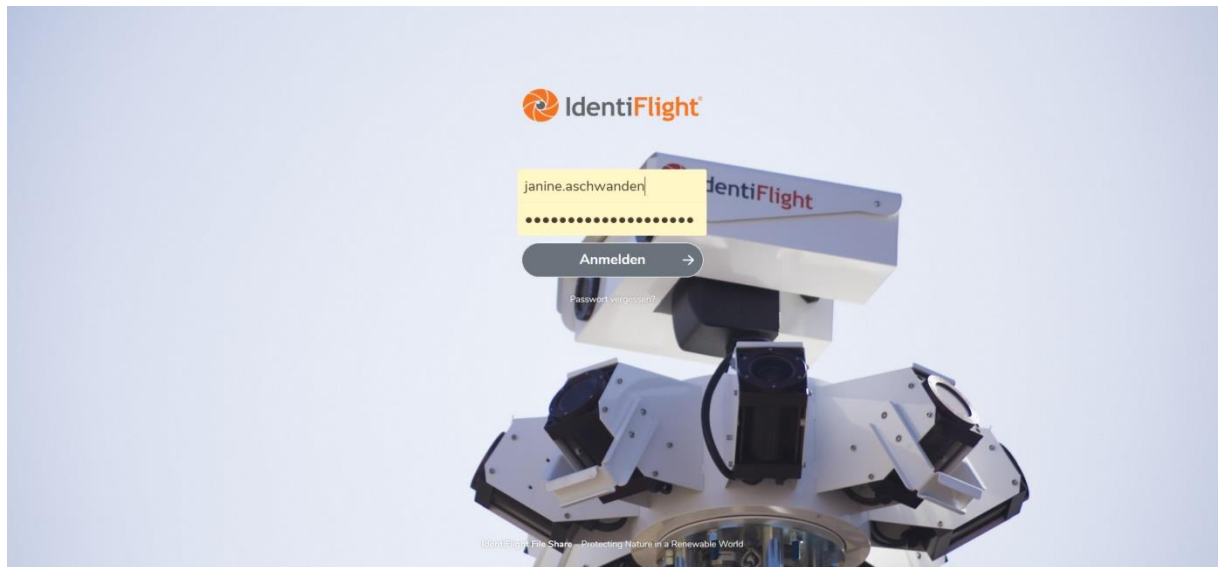


Abb. 3. Screenshot der Einstiegsseite der Webplattform. Screenshot of the login page of the web platform.

<input type="checkbox"/>	Name	Size	Modified
<input type="checkbox"/>	All Tracks Day 2020.05.12.kml	1.1 MB	7 days ago
<input type="checkbox"/>	All Tracks Day 2020.05.12.xlsx	156.1 MB	7 days ago
<input type="checkbox"/>	Bird Position Histogram Day 2020.05.12.xlsx	11 KB	7 days ago
<input type="checkbox"/>	Causes of Curtailment Day 2020.05.12.kml	134 KB	7 days ago
<input type="checkbox"/>	Causes of Curtailment Day 2020.05.12.xlsx	28.9 MB	7 days ago
<input type="checkbox"/>	Station Track Summary Day 2020.05.12.xlsx	3 KB	7 days ago
<input type="checkbox"/>	Total Curtailment Day 2020.05.12.xlsx	3 KB	7 days ago
<input type="checkbox"/>	Total Curtailment Per Turbine (with tracks) Day 2020.05.12.xlsx	7 KB	7 days ago
<input type="checkbox"/>	Totals Over Time Day 2020.05.12.xlsx	7 KB	7 days ago

9 files 186.4 MB

Abb. 4. Ausschnitt aus der Webplattform mit der Liste der zur Verfügung stehenden Dateien, die vom Nutzer heruntergeladen werden können. Detail of the web platform with the list of available data files which can be downloaded by a user.


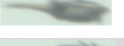
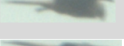
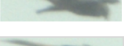
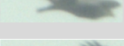

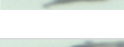

	A	B	C	I	J	K	O	U	
1	TrackID	DateTimeStamp	RadialDistance_m	Latitude	Longitude	SpeciesTypeName	HeightAGL_m	TurbineDistance_m	Image
3747	b8f787d7-249f-4df2-8d40-8fec0460b9e1	2020.04.20 15:41:05	436.3372	48.668991	9.8417311	RED-OR-BLACK-KITE	54	565.8895473	
3748	b8f787d7-249f-4df2-8d40-8fec0460b9e1	2020.04.20 15:41:06	430.6562	48.668902	9.8416889	RED-OR-BLACK-KITE	50	556.55307	
3749	b8f787d7-249f-4df2-8d40-8fec0460b9e1	2020.04.20 15:41:07	422.3464	48.668749	9.841632	RED-OR-BLACK-KITE	45	541.5001382	
3750	b8f787d7-249f-4df2-8d40-8fec0460b9e1	2020.04.20 15:41:08	408.5665	48.668633	9.8414943	RED-OR-BLACK-KITE	41	525.3905592	
3751	b8f787d7-249f-4df2-8d40-8fec0460b9e1	2020.04.20 15:41:09	400.5761	48.668499	9.8414241	RED-OR-BLACK-KITE	36	511.3681059	
3752	b8f787d7-249f-4df2-8d40-8fec0460b9e1	2020.04.20 15:41:10	383.6318	48.668302	9.8412307	RED-OR-BLACK-KITE	31	486.3246032	
3753	b8f787d7-249f-4df2-8d40-8fec0460b9e1	2020.04.20 15:41:11	378.3129	48.668177	9.8411879	RED-OR-BLACK-KITE	31	474.2997783	
3754	b8f787d7-249f-4df2-8d40-8fec0460b9e1	2020.04.20 15:41:12	374.0044	48.668033	9.8411447	RED-OR-BLACK-KITE	30	461.1139769	

Abb. 5. Ausschnitt eines Datensatzes mit den Positionsdaten und Fotobelegen. Details of a data set with point positions and foto proofs.

2.1.2 Testspezifische Angaben

Im Gebiet des Testfelds wurde gegen Ende März 2020 eine Einheit des IDF-Systems auf einem 10 m hohen Mast aufgebaut (48.66789 / 9.83608, 656.5 m ü.M., Abb. 6 und Abb. 7) und für die lokalen Gegebenheiten eingestellt. Dabei wurden Bildbereiche der Weitwinkelkameras, wo sich Menschen aufhalten (z.B. Strassen, Gebäude), maskiert (Abb. 8 und Abb. 9). Flugbewegungen, die vollständig innerhalb maskierter Bildbereiche liegen und auf einer Höhe von weniger als 668 m ü.M erfolgen, können vom IDF nicht detektiert werden (Abb. 10). Ab dem 16. April 2020 war das System operationell.

Die Standorte der geplanten WEA liegen in Luftlinie rund 300 m und rund 440 m vom IDF entfernt¹. Die Abschaltung der WEA war virtuell implementiert so dass die Punktpositionen, die eine Abschaltung verursacht hätten, zusätzlich separat als Datensatz gespeichert worden sind.



Abb. 6. System IdentiFlight in der Nähe des Naturfreundehaus Immenreute (Foto von e3, 25.03.2020). The IdentiFlight system close to the „Naturfreundehaus Immenreute“.

¹ Wenn das IDF zur bedarfsgerechten Steuerung von WEA genutzt wird, wird das IDF im Idealfall mit einem Abstand von 150 m zu den WEA aufgestellt.

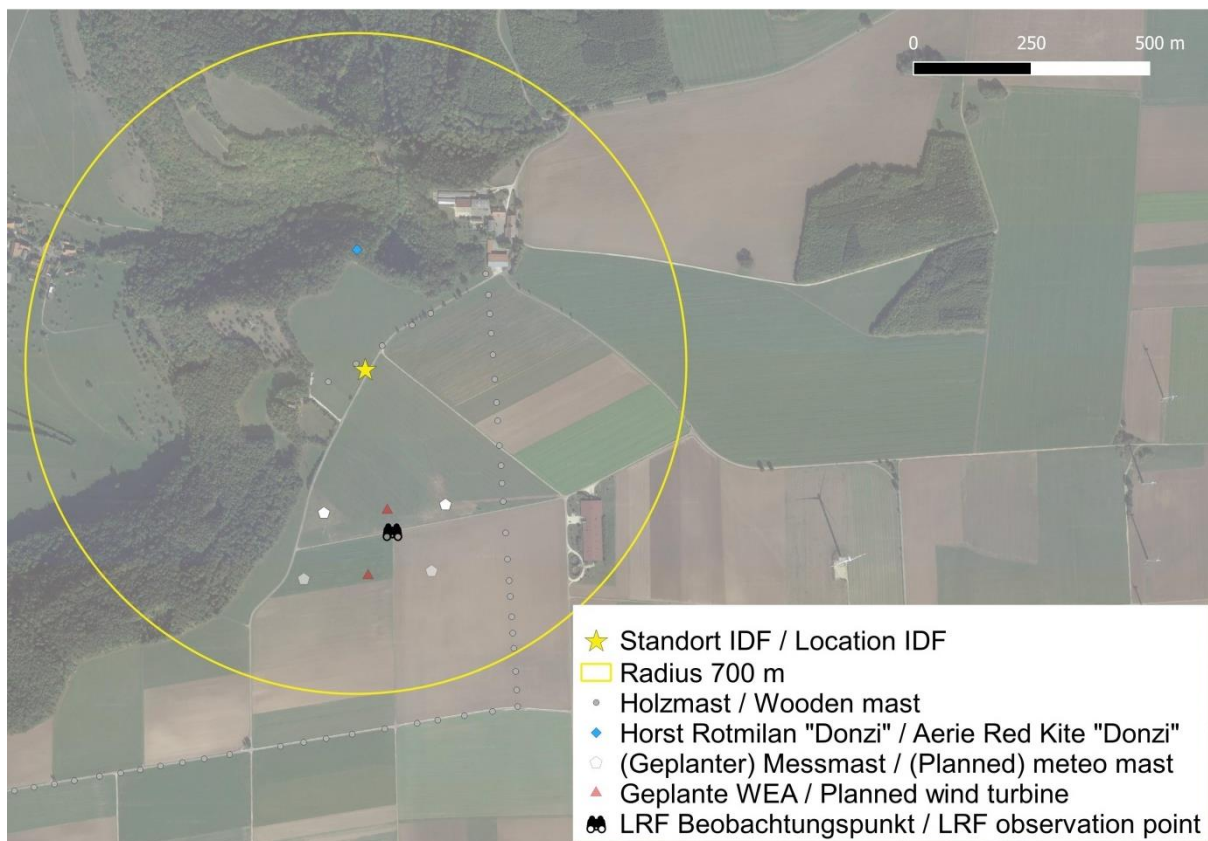


Abb. 7. Überblick Gebiet des Testfelds mit Standort des IDF, den bereits bestehenden und geplanten (transparent) meteorologischen Messmasten, den geplanten WEA, dem Horst des besenderten Rotmilans, dem LRF Beobachtungspunkt, dem Radius von 700 m und den hölzernen Stromleitungsmasten. Overview of the test field area with location of the IDF, existing and planned meteo masts, planned wind turbines, aerie of the tagged Red Kite, LRF observation point, radius of 700 m and wooden masts.



Abb. 8. Blick der Weitwinkelkameras mit maskierten Bildbereichen (schwarz überdeckt) in Richtung Süd. View of wide-field cameras with masked areas (covered with black areas) towards South.



Abb. 9. Blick der Weitwinkelkameras mit maskierten Bildbereichen (schwarz überdeckt) in Richtung Nord. View of wide-field cameras with masked areas (covered with black areas) towards North.

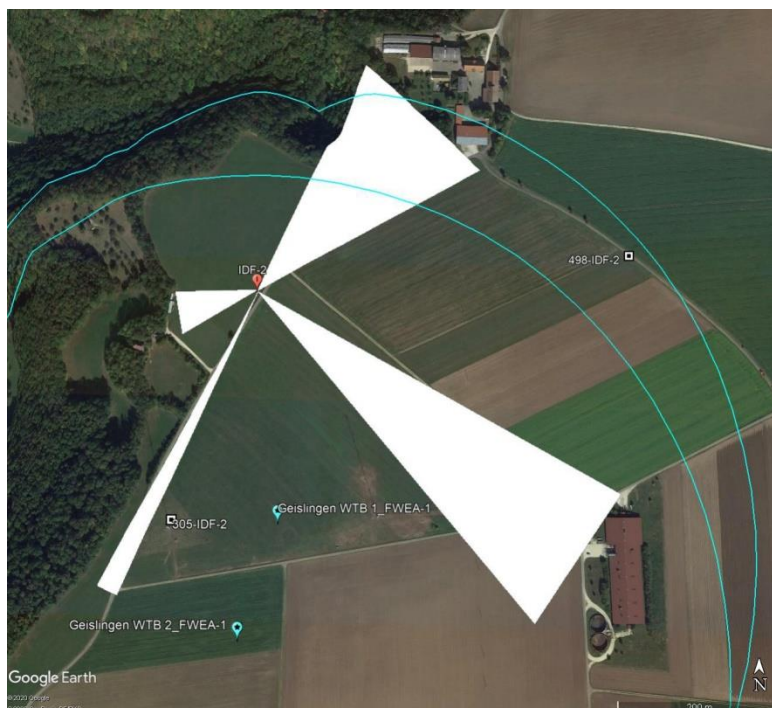


Abb. 10. Karte mit den Zonen (weisse Dreiecke) in denen maskierte Bereiche liegen (Gebäude, Straßen). Innerhalb dieser Zonen sind Flugbewegungen bis zur objektspezifischen Höhe ü.M. der maskierten Objekte für das IDF nicht detektierbar (Darstellung des Herstellers). Map of zones (white triangles) containing masked areas (buildings, streets). Flight movements up to the specific altitude above sea level of those masked objects are not detectable for IDF within these zones (illustration of the manufacturer).

2.2 Erhebung Flugbewegungen mittels Laser-Range-Finder (LRF)

Die Sichtbeobachtungen hatten zum Ziel, einen unabhängigen Datensatz von mindestens 100 Flugbewegungen im Detektionsbereich des IDF zu sammeln, der anschliessend mit dem vom IDF gesammelten Datensatz abgeglichen werden konnte.

Die Sichtbeobachtungen erfolgten an 9 Tagen über total 32 h zwischen dem 20.04.2020 – 18.05.2020 (Tab. 1) mittels einem Laser-range finder Vector 21 Aero (LRF). Mit dem auf einem Stativ befestigten LRF wurden die Flugbewegungen von Vögeln verfolgt, welche im Gebiet unterwegs waren (Abb. 11).

Gemessen werden Distanz, Azimut und Elevation zu einem Objekt relativ zum Beobachtungsstandort. Basierend auf diesen Daten kann die Punktposition eines Objekts mit x-, y- und z-Koordinaten berechnet werden. Durch die Verbindung mehrerer solcher Punktpositionen ergeben sich schliesslich dreidimensionale Flugwege (Abb. 12).

Die Sichtbeobachtungen wurden mit zwei Personen durchgeführt. Eine Person verfolgte einen Vogel mit dem LRF und sammelte per Knopfdruck Punktpositionsdaten, die auf dem Laptop visualisiert und gespeichert wurden. Abhängig vom Flugverhalten und der Distanz zum Vogel konnte 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. 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 Rot- und Schwarzmilans im Umkreis von 700 m um den Standort des IDF-Systems. Dieser Radius wird unter Experten momentan als notwendige Mindesterkfassungsreichweite für Rotmilane diskutiert (Bruns & Streiffeler 2020). Insgesamt kamen im Rahmen der Beobachtungen für den Rotmilan 134 Flugwege und für den Schwarzmilan 11 Flugwege bestehend aus mindestens 2 Punktpositionen zusammen. 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. IDF-System, Spitze des Meteomasten).

Tab. 1. Liste der Beobachtungstage und Beobachtungsdauer. List of observation days and observation duration.

Datum / Date	Dauer /Duration	Zeitfenster /Time frame
2020.04.20	3.5	08:30 – 12:00
2020.04.24	3.5	08:15 – 11:45
2020.04.27	3.75	12:15 – 16:00
2020.04.29	3.5	12:30 – 16:00
2020.05.04	3.75	07:15 – 11:00
2020.05.06	2.75	07:15 – 10:00
2020.05.12	4.0	11:30 – 15:30
2020.05.15	2.5	08:30 – 11:00
2020.05.18	4.0	11:00 – 15:00
Total	31.25	



Abb. 11. Fotos des Laser-range finders mit Laptop, welcher sich in der Holzbox befindet (04.07.2019, J. Aschwanden). Foto of the laser-range finder together with the laptop which is in the wooden box.

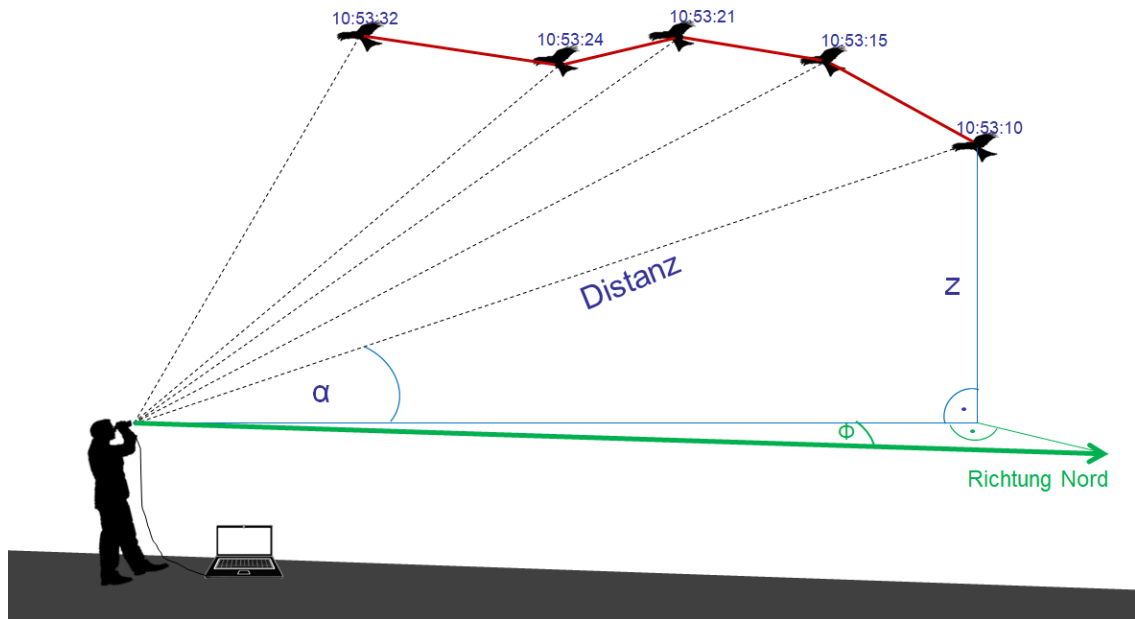


Abb. 12. Illustration der Messmethodik mit dem Laser-range (α =Elevation, Φ =Azimut). Illustration of the laser-range finder method.

2.3 Erhebung Flugbewegungen mittels GPS

Ein Rotmilanmännchen, das seinen Horst nahe am Testfeld hat, ist 2019 mit einem GPS-Sender Modell OrniTrack-E25B 3G ausgestattet worden. Der GPS-Sender ist so eingestellt, dass er bei einem Batterieladestatus $>75\%$ mindestens alle 2 min die Positionsdaten speichert. Innerhalb mittels der Geofence-Funktion festgelegten Zonen, die unmittelbar das Testfeld abdecken, wird maximal alle 2s ein Datenpunkt gespeichert. Bei einem Batterieladestatus von $<75\%$ erfolgt eine seltenere Datenaufnahme. Zu jedem Datenpunkt werden u.a. Geschwindigkeit (km/h), Richtung ($^\circ$), die mit GPS-Triangulation bestimmte Höhe (m ü.M.) und die barometrisch bestimmte Höhe (m ü.M.) erfasst. Aus dieser Datengrundlage kann ein weiter unabhängiger Datensatz von Flugbewegungen erstellt werden, der mit den vom IDF erfassten Flugbewegungen abgeglichen werden kann.

Die Datenbearbeitung bestand darin, aus der kontinuierlich erhobenen GPS-Datenmenge einzelne Flugwege zu erstellen, die im Detektionsbereich des IDF lagen. Unter Experten wird momentan eine Distanz von 700 m als notwendige Mindestersfassungsreichweite für Rotmilane diskutiert (Bruns & Streiffeler 2020). Dementsprechend wurden nur die plausiblen Positionsdaten herausgefiltert (satcount $>4^2$, hdop $\leq 2.0^3$), die innerhalb eines Umkreises von 700 m um den Standort des IDF lagen. Weiter mussten diejenigen Daten 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 ≥ 5 km/h aufwiesen. Zudem wurden nur diejenigen Positionsdaten zu einem Flugweg verbunden, die zeitlich weniger als 2 min auseinander lagen. Zur Bestimmung der Flughöhe über Boden wurde die barometrisch bestimmte Flughöhe ü.M. mit dem lokalen Luftdruck korrigiert und mit einem digitalen Höhenmodell des Gebietes (Auflösung 5 m) verschnitten.

² Nur Positionsdaten, die auf mehr als 4 Satelliten beruhen.

³ Nur Positionsdaten, wo der Wert der „horizontal dilution of precision“ ≤ 2.0 ist.

Die GPS-basierten Flugwege wurden für die 9 Tage erstellt, wo LRF-Beobachtungen stattgefunden haben sowie für drei zusätzliche Tage (28.04./11.05.2020/13.05.2020) wo die Wetterverhältnisse deutlich schlecht waren (über mehrere Stunden eingeschränkte Sichtweite (< 2 km) und hohe Wahrscheinlichkeit für Niederschlag, vgl. Kap. 3.4). So kamen als Datengrundlage für den vorliegenden Test Total 162 GPS-Flugwege zusammen.

2.4 Meteorologische Bedingungen

Die Detektionsleistung eines automatischen Detektionssystems hängt von den meteorologischen Bedingungen ab, welche die Sichtweite und den Hintergrund auf den Bildern im Zusammenhang mit der Bildanalyse beeinflussen. Daher hatten die Sichtbeobachtungen zum Ziel, Tage mit unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen und verschiedene Tageszeiten abzudecken.

Auf dem Testfeld werden die meteorologischen Bedingungen an zwei 100 m hohen Messmasten teilweise auf unterschiedlichen Höhen gemessen. Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Feuchtigkeit und Luftdruck werden auf beiden Masten auf unterschiedlichen Höhen über Boden gemessen, wohingegen die Messung der Sichtweite und die Wahrscheinlichkeit für Niederschlag je nur an einem Mast erfolgt. Für den vorliegenden Bericht wurden die Sichtweite (Distanz in m, Mast NW auf 20 m), Temperatur (°C, Mast NO auf 72 m), Windgeschwindigkeit (m/s, Mast NO auf 86 m) und Niederschlag (ja/nein, Mast NO auf 10 m) ausgewertet.

2.5 Vorgehen zur Auswertung der Flugwege

2.5.1 Beurteilung Detektion

Zur Visualisierung der Flugwege wurden sämtliche Positionsdaten der verschiedenen Datensätze (IDF, LRF, GPS) in QGIS (Version 3.4.8-Madeira) eingelesen und mit der Funktion „points to path“ zu Flugwegen verbunden. Mit dem Werkzeug „Time Manager“ (Abb. 13) wurden die Flugwege in zeitlicher Reihenfolge manuell durchgeschaut und beurteilt, ob es IDF-Flugwege gibt, die mit den LRF- und/oder GPS-Flugwegen übereinstimmen.

Zur Beurteilung, ob ein LRF- oder GPS-Flugweg vom IDF erfasst worden ist, dienten folgende Grundlagen (Abb. 14):

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

Ein LRF- oder GPS-Flugweg wurde als vom IDF detektiert gewertet, wenn mindestens ein Teil des LRF- oder GPS-Flugweg vom IDF erfasst worden ist. Dabei wurde nicht beurteilt, welche Flugphase (Annäherung, Passage, Entfernung) detektiert worden ist und ob die Detektion hinsichtlich einer Abschaltung plausibel gewesen wäre.

Nicht beurteilbare LRF- und GPS-Flugwege wurden von der Analyse ausgeschlossen. Ein LRF- oder GPS-Flugweg wurde als nicht beurteilbar gewertet, wenn folgende teilweise in Kombination auftretende Kriterien auftraten:

- Flugweg sehr kurz (< 4 Punktpositionen liegen räumlich (<50 m) und zeitlich nahe (<5 s) beieinander)
- Auflösung zu grob (Punktpositionen liegen räumlich (>500 m) und zeitlich (>30 s) weit auseinander)
- Flugweg entfernt sich vom IDF und der geplanten WEA, so dass das IDF den Fokus bereits auf einen anderen Vogel gelegt haben könnte

Weiter wurden diejenigen LRF- und GPS-Flugwege von der Analyse ausgeschlossen, die für das IDF-System als nicht detektierbar erachtet worden sind. Nicht detektierbare LRF- oder GPS-Flugwege wiesen folgende Kriterien auf: Sämtliche Positionsdaten liegen unter 668 m ü.M., innerhalb einer maskierten Zone oder bezüglich dem Sichtfeld der Kameras hinter einem Hindernis (z.B. Wald, Gebäude)

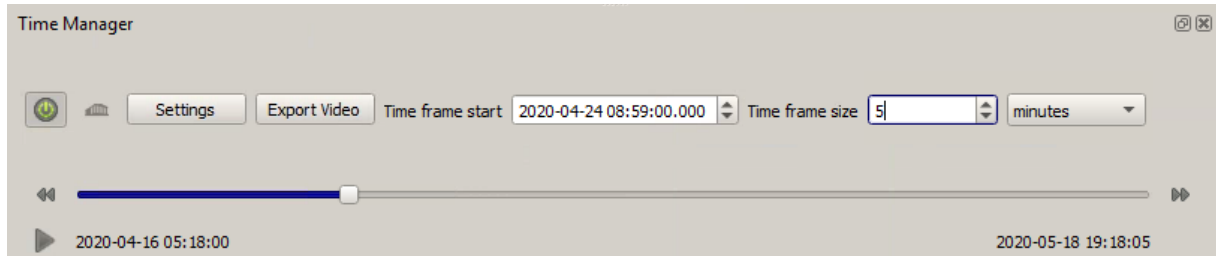


Abb. 13. Screenshot Werkzeug „Time Manager“ aus QGIS. Screenshot of the tool „Time Manager“ in QGIS.



Abb. 14. Screenshot von einem Flugweg des Rotmilans „Donzi“, der gleichzeitig mittels IDF (orange), LRF (rot) und GPS (blau) erfasst worden ist, zusammen mit Fotobelegen. Sonstige Symbole siehe Legende Abb. 7. Screenshot of a flight track of the Red Kite „Donzi“ simultaneously recorded with IDF (orange), LRF (red) and GPS (blue) together with foto proofs. Other symbols see legend Abb. 7.

2.5.2 Erfassungsrate in Abhängigkeit der Distanz

Die Erfassungsrate in Abhängigkeit der Distanz wurde für die LRF- und GPS-Flugwege vereint ausgewertet. Die LRF- und GPS-Flugwege sind basierend auf der innerhalb eines Flugwegs dem IDF am nächsten liegenden Punktposition einer Distanzkategorie zugeteilt worden. Die Distanzkategorien sind 100 m Schritte (0-100 m, 100-200 m etc.). Für jede Distanzkategorie wurde die Anzahl der detektierten und nicht detektierten Flugwege summiert und der Anteil der detektierten Flugwege berechnet.

2.5.3 Klassierung Zielarten

Zur Überprüfung der Klassierung der Zielarten wurden zwei Datengrundlagen ausgewertet. Einerseits wurde angeschaut, wie die LRF- und GPS-Flugwege, die vom IDF detektiert worden sind, vom IDF klassiert worden sind. Daraus ergibt sich wie viele Flugwege korrekt als Zielart (korrekt positiv) oder fälschlicherweise als Nicht-Zielart (falsch negativ) klassiert worden sind.

Andererseits wurde anhand der Fotobelege die Klassierung der Zielarten aller vom IDF generierten Flugwege, die eine Abschaltung ausgelöst hätten, sowie aller vom IDF generierten Flugwege für einzelne vollständige Tage angeschaut. Eine vollständige Durchsicht aller Tage wäre aufgrund der Datenmenge vom zeitlichen Aufwand her nicht möglich gewesen. Daraus ergibt sich nicht nur, wie viele Flugwege korrekt positiv oder falsch negativ klassiert worden sind, sondern auch wie viele fälschlicherweise als Zielart (falsch positiv) klassiert worden sind.

Innerhalb eines vom IDF generierten Flugwegs können die Punktpositionen unterschiedliche Klassierungskategorien aufweisen. Manchmal wird eine Zielart beispielsweise bei der ersten Punktposition als „other avian“ und erst später als „Red- Black Kite“ klassiert oder die Klassierung wechselt zwischen verschiedenen Kategorien hin und her. Ein Flugweg einer Zielart wurde als korrekt klassiert gewertet, wenn mindestens eine Punktposition korrekt klassiert worden ist. Zusätzlich wurde erfasst, wie oft eine durchgehend einheitliche oder eine wechselnde Klassierung vorkam.

Wenn eine Zielart als „Protected“ klassiert worden ist, wurde die Klassierung ebenfalls als korrekt gewertet, da diese ebenfalls eine Abschaltung auslösen würde.

Tab. 2. Liste der Daten und Flugwege, bei welchen die Klassierung der Zielarten ausgewertet worden ist. List of dates and tracks where the classification of target species was checked.

Datum <i>Date</i>	LRF	GPS	IDF Flugwege, die Abschaltung verursacht hätten <i>IDF tracks causing curtailment</i>	IDF ganzer Tag <i>IDF complete day</i>
20.04.2020	x	x	x	
24.04.2020	x	x	x	x
27.04.2020	x	x	x	
28.04.2020		x	x	
29.04.2020	x	x	x	
04.05.2020	x	x	x	
06.05.2020	x	x	x	
11.05.2020		x	x	x
12.05.2020	x	x	x	
13.05.2020		x	x	
15.05.2020	x	x	x	
18.05.2020	x	x	x	x

3. Ergebnisse

3.1 Datengrundlagen

3.1.1 IDF

Übersicht IDF-Daten

Summiert über die gesamten 9 Tage mit rund 133 h Laufzeit, wo auch LRF-Beobachtungen stattgefunden haben, sind vom IDF rund 1'400 Flugwege der Zielarten Rot- oder Schwarzmilan aufgezeichnet worden und etwa 4'200 Flugwege von Nicht-Zielarten (Klassen Buzzard, Other avian). Dies ergibt im Detektionsbereich des IDF eine Flugaktivität der Zielarten von 9 Flugwegen pro Stunde.

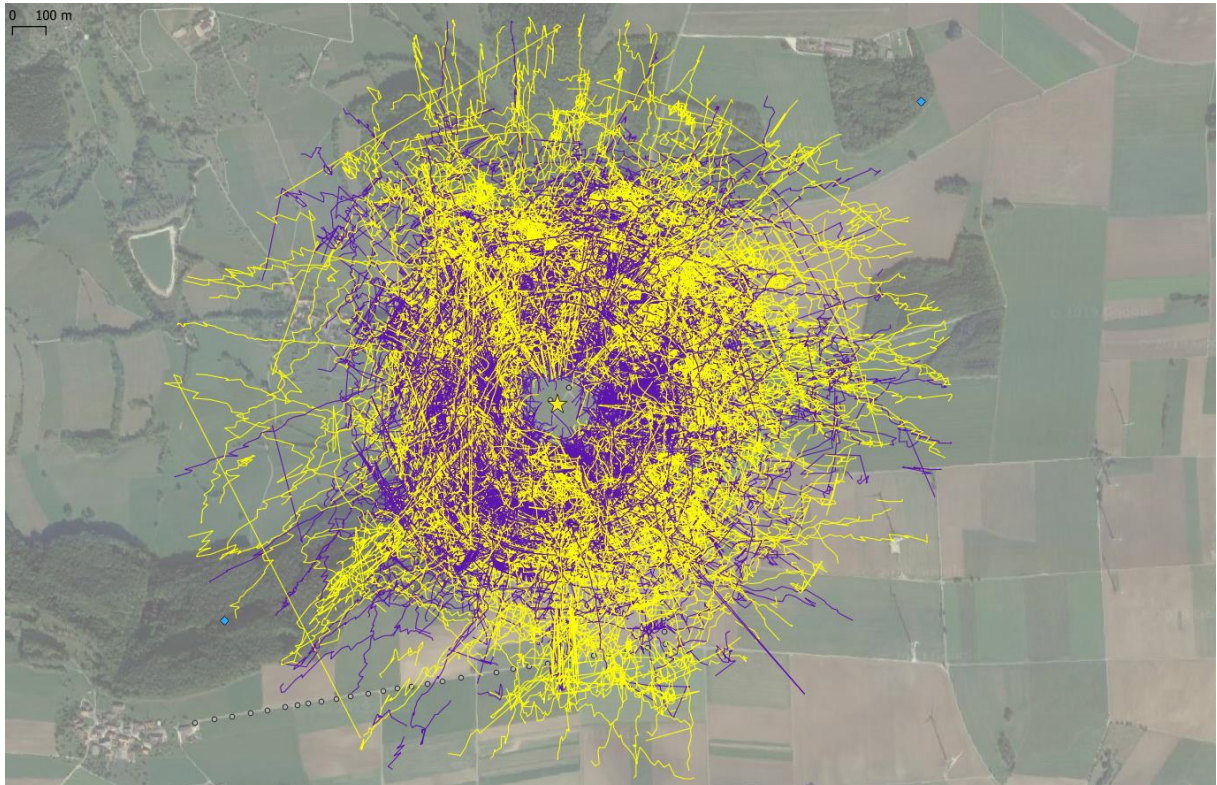


Abb. 15. Sämtliche an den 9 Beobachtungstagen vom IDF aufgezeichneten Flugwege (gelb: Zielart, violett: Nicht-Zielart). Sonstige Symbole siehe Legende Abb. 7. All tracks recorded by IDF during the 9 observation days (yellow: target species, violet: non-target species. Other symbols see legend Abb. 7.

Klassierung IDF-Daten

Um einen Eindruck davon zu erhalten, wie gut das System die Zielarten erkannt hat, wurden als Stichprobe 3 Tage ausgewählt (24.04./11.05./18.05.) und die Klassierung sämtlicher Flugwege aller Klassen anhand der Fotobelege überprüft. Von 1'249 Flugwegen waren 39 aufgrund der Unschärfe der Fotos nicht beurteilbar, 388 Flugwege gehörten zur Zielart und 822 Flugwege zu Nicht-Zielarten. Ein geringer Anteil der Flugwege der Zielart (5 von 388 Flugwegen) wurde fälschlicherweise als Nicht-Zielart (Falsch-Negativ-Rate, 1.29%) klassiert. Weiter wurden von den Flugwegen der Nicht-Zielarten 0.12% (1 von 822 Flugwegen) fälschlicherweise als Zielart (Falsch-Positiv-Rate) klassiert. Alle anderen Flugwege sind korrekt als Zielart (98.7%) oder Nicht-Zielart (99.9%) klassiert worden. Von den als Zielart klassierten Flugwegen waren 70% durchgehend einheitlich klassiert und bei 30% wechselte die Klassierung im Verlauf des Flugwegs.

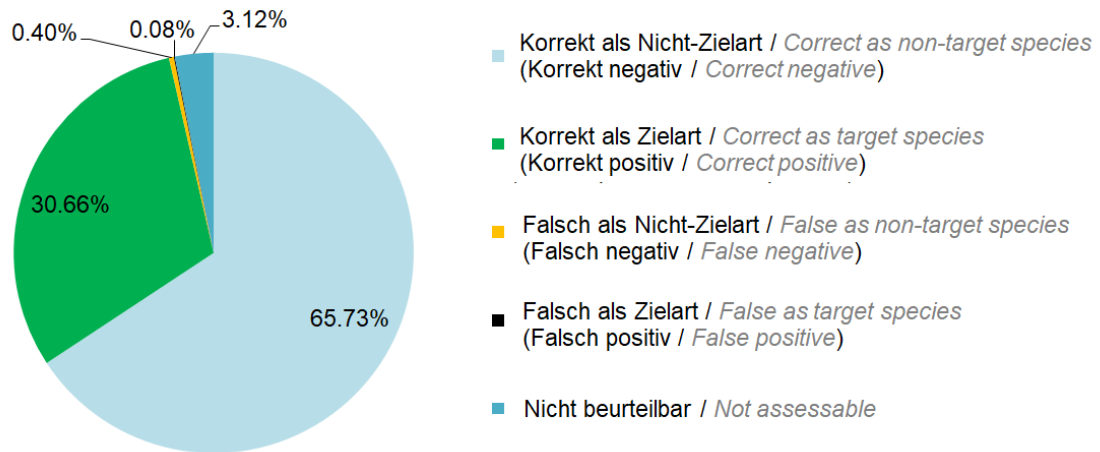


Abb. 16. Anteile korrekte und falsche Klassierungen der Flugwege (N=1'249) ausgewertet anhand der Belegfotos über drei Tage (24.04./11.05./18.05.). Proportions of correct and false classifications of tracks (N=1'249) analysed based on foto proofs of three days (24.04./11.05./18.05.).

Radiale Detektionsdistanzen mit Einfluss Wetterverhältnisse und Detektionshöhe bezüglich Kameraeinheit bei den vom IDF generierten Daten

Weiter wurde bei den vom System generierten Daten analysiert, bei welchen Distanzen und Flughöhen die Zielarten erkannt werden. Dazu wurde die Häufigkeitsverteilung der radialen Distanzen sowie der Flughöhen bezüglich der Kameraeinheit gebildet, die durch das IDF bei der ersten als Zielart klassierten Punktpositionen eines jeden Flugwegs gemessen worden ist.

Während den 9 ausgewählten Tagen, erfolgte die Erkennung der Zielarten innerhalb eines Distanzbereiches von 50 m bis 1'050 m (Abb. 17). Rund 91% der Erstdetektionen erfolgten innerhalb einer radialen Distanz bis zu 700 m mit den meisten Erstdetektionen zwischen 350 m – 450 m. Weiter deckten die Erstdetektionen bezüglich der Höhe der Kameraeinheit einen Höhenbereich von -15 m bis 885 m ab (Abb. 18). 91.4% der Erstdetektionen lagen bezüglich der Höhe der Kameraeinheit unter 235 m.

Zur Überprüfung des Einflusses der Wetterbedingungen auf die Detektionsdistanz wurden drei Tage mit guten Wetterbedingungen (27.04./12.05./18.05., trocken mit klarer Sicht (= 2000 m)) sowie drei Tage mit schlechten Wetterbedingungen (28.04./11.05./13.05., nass mit teilweise eingeschränkter Sicht (< 2000 m)) ausgewählt (siehe Kap. 3.4) und wiederum die Häufigkeitsverteilung der radialen Distanzen gemessen an der ersten als Zielart klassierten Punktpositionen eines jeden Flugwegs gebildet. Bei schlechten Wetterverhältnissen sind entfernte Erstdetektionen seltener. Bei guten Wetterverhältnissen liegen 90% der Detektionen innerhalb einer Distanz bis zu 750 m und bei schlechten Wetterverhältnissen liegen rund 91% der Detektionen innerhalb einer Distanz bis zu 600 m.

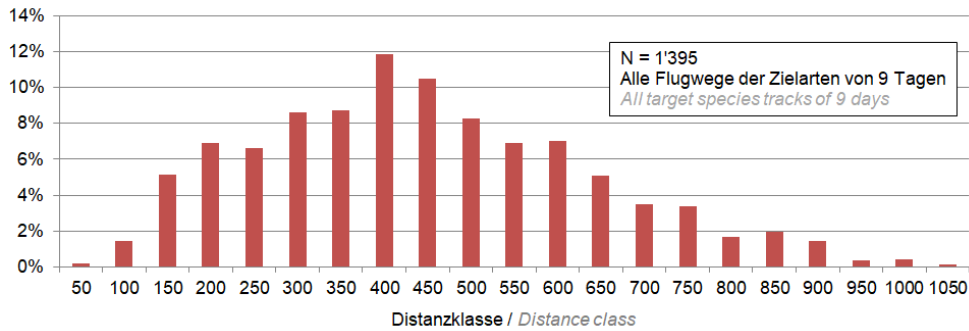


Abb. 17. IDF Messung: Verteilung der radialen Distanzen der ersten Punktposition eines Flugwegs, die als Zielart klassiert worden ist. Lesebeispiel: Bei 2% der Flugwege, lag die erste Punktposition zwischen 800-850 m. Distribution of radial distances measured by IDF at the first point position classified as target species. Reading example: The first point position classified as target species was between 800-850 m for 2% of flight tracks.

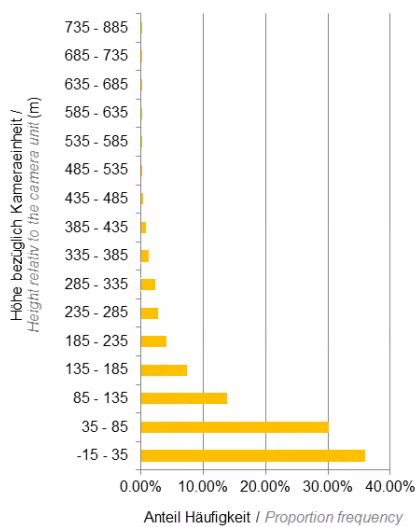


Abb. 18. IDF Messung: Verteilung der Flughöhen bezüglich der Kameraeinheit des IDF der ersten Punktposition eines Flugwegs, die als Zielart klassiert worden ist. Distribution of flight heights relative to the camera unit measured by IDF at the first point position classified as target species.

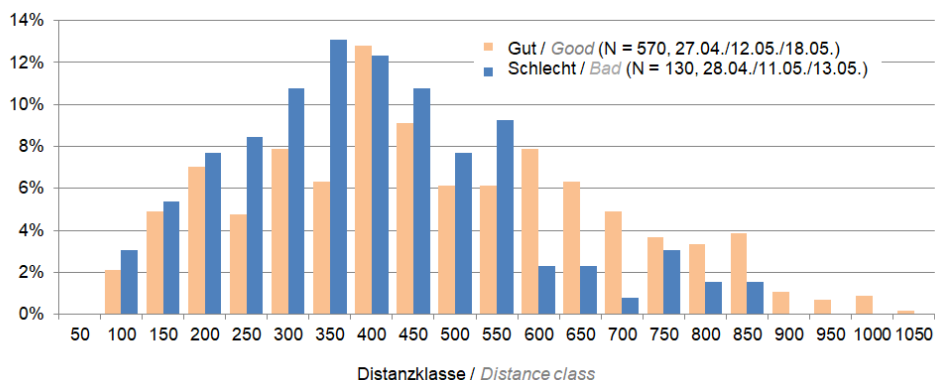


Abb. 19. IDF Messung: Verteilung der radialen Distanzen in Abhängigkeit des Wetters (Gut=trocken mit klarer Sicht, Schlecht=nass mit teilweise eingeschränkter Sicht der ersten Punktposition eines Flugwegs, die als Zielart klassiert worden ist. Distribution of radial distances measured by IDF at the first point position classified as target species depending on weather conditions (Good=dry with full visibility, Bad=wet with partially limited visibility).

3.1.2 LRF

Insgesamt sind über die 9 Beobachtungstage mit dem LRF 146 Flugwege von Rot- und Schwarzmilanen bestehend aus total 3'171 Punktpositionen gesammelt worden (Abb. 20). Die zeitliche Auflösung zwischen den einzelnen Punktpositionen betrug am häufigsten 2 – 5 s (62%, Abb. 21). Die meisten Punktpositionen lagen in einer Höhe zwischen -15 m bis 85 m bezüglich der Höhe der Kameraeinheit.

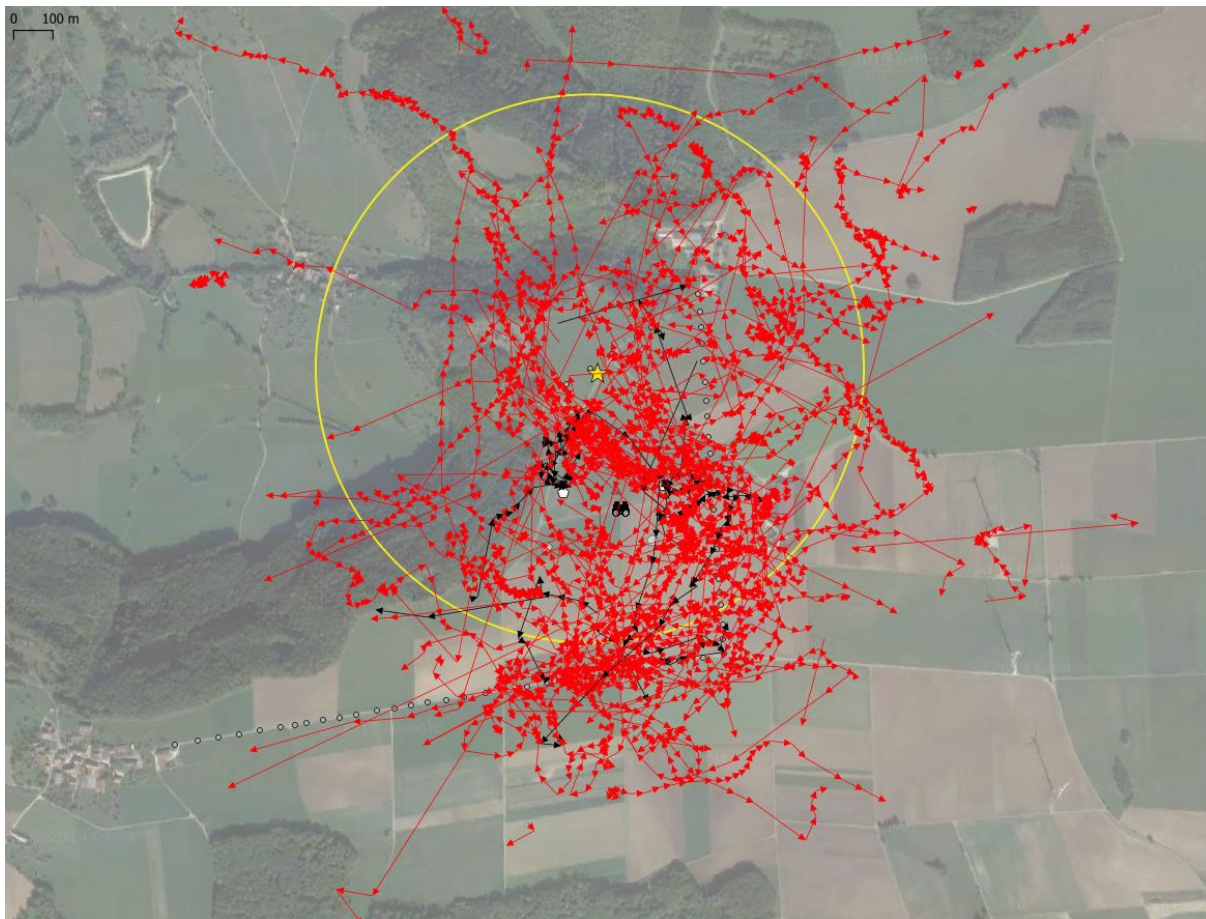


Abb. 20. Sämtliche während 9 Beobachtungstagen mittels LRF aufgezeichneten Flugwege (rot = Rotmilan, schwarz = Schwarzmilan). Sonstige Symbole siehe Legende Abb. 7. All tracks recorded by LRF during 9 observation days (red = Red Kite, black = Black Kite). Other symbols see legend Abb. 7.

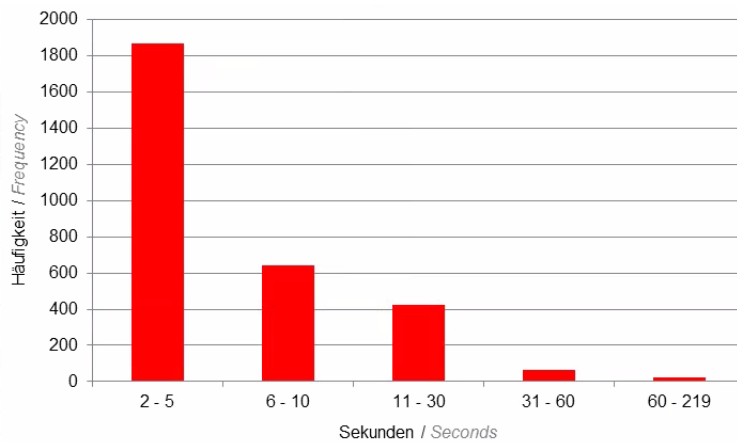


Abb. 21. Häufigkeit der Zeitintervalle zwischen einzelnen LRF-Punktpositionen von 9 Beobachtungstagen (N=3'021). Frequency of time intervals between single LRF-point positions of 9 observation days (N=3'021).

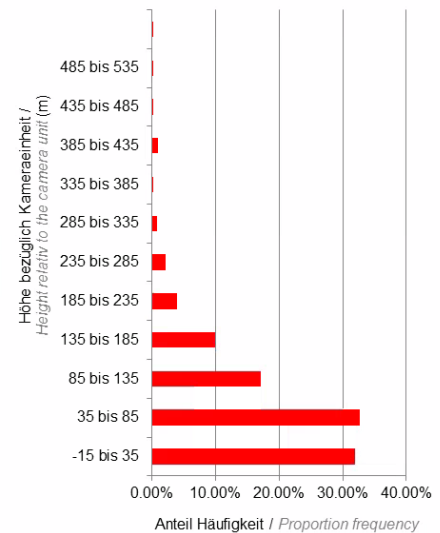


Abb. 22. Verteilung der LRF-Flughöhen bezüglich der Kameraeinheit des IDF (N=3'165). Distribution of LRF-flight heights relative to the camera unit (N=3'165).

3.1.3 GPS

Während den 9 Beobachtungstagen, an denen LRF-Beobachtungen stattgefunden haben zusammen mit den 3 zusätzlich ausgewählten Tagen sind basierend auf den in den Methoden erläuterten Kriterien im Umkreis von 700 m um den Standort des IDF 162 GPS-Flugwege bestehend aus Total 3'164 Punktpositionen aufgezeichnet worden (Abb. 23). Die Auflösung der GPS-Daten betrug in den meisten Fällen 1-5 s (70%, Abb. 24). Die mit GPS erfassten Flugbewegungen erfolgten bezüglich der Kameraeinheit des IDF relativ tief (Abb. 25).

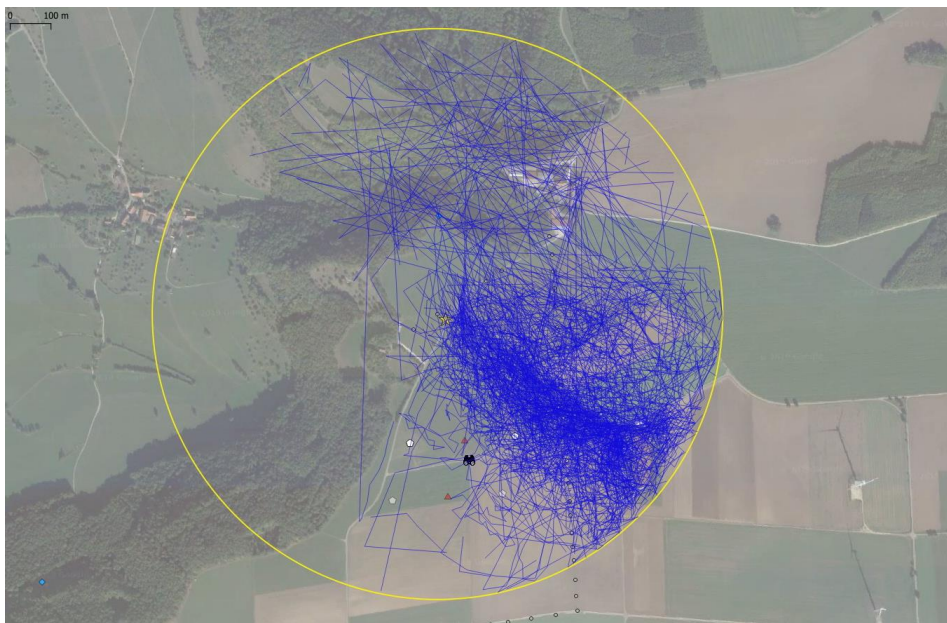


Abb. 23. Sämtliche während 12 Tagen mittels GPS aufgezeichneten Flugwege (blau). Sonstige Symbole siehe Legende Abb. 7. All tracks recorded by GPS during 12 days (blue). Other symbols see legend Abb. 7.

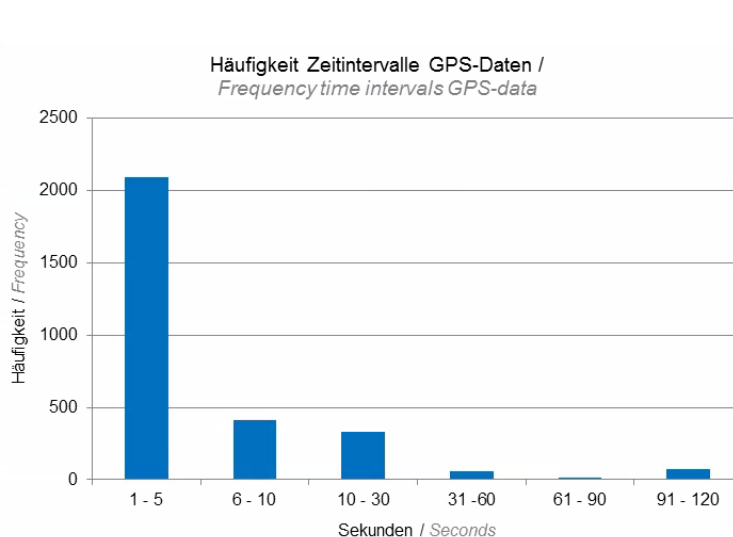


Abb. 24. Häufigkeit der Zeitintervalle zwischen einzelnen GPS-Punktpositionen von 12 Tagen (N=2'979). Frequency of time intervals between single GPS-point positions of 12 days (N=2'979).

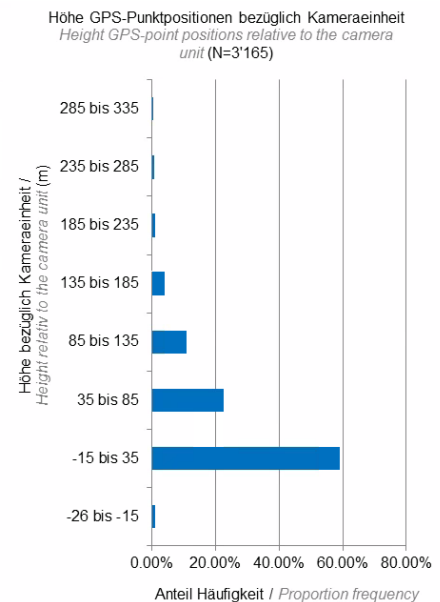


Abb. 25. Verteilung der barometrisch korrigierten GPS-Flughöhen bezüglich der Kameraeinheit des IDF (N=3'165). Distribution of corrected GPS-flight heights relative to the camera unit (N=3'165).

3.2 Vergleich LRF- und GPS-Daten mit IDF

3.2.1 Erfassungsrate und Klassierung

Von den 146 LRF-Flugwegen wurden 10 Flugwege als nicht beurteilbar und 33 Flugwege als nicht detektierbar gewertet (vgl. Kap. 2.5.1). Diese 43 Flugwege haben wir von der Analyse ausgeschlossen. 103 Flugwege wurden als vom System detektierbar betrachtet. Von den 103 LRF-Flugwegen sind 91 detektiert worden (88.3%, Abb. 26) und 97.8% der detektierten Flugwege sind korrekt als Zielart klassiert worden.

Von den 162 GPS-Flugwegen, die sich im Umkreis von 700 m um das IDF befanden, waren 8 nicht beurteilbar und 33 nicht detektierbar, so dass sie von der Analyse ausgeschlossen worden sind. 121 Flugwege wurden als vom System detektierbar angesehen. Von den 121 GPS-Flugwegen sind vom IDF 100 detektiert worden (82.6%, Abb. 27). Von den 100 detektierten GPS-Flugwegen sind 99% korrekt als Zielart klassiert worden.

Bei der Generierung der Flugwege durch das IDF sind teilweise Flugwege aus Positionen unterschiedlicher Vögel zusammengesetzt (Abb. 28) oder zwischendurch mit Positionen anderer Ziele vermischt worden (Abb. 30). Solche Ereignisse traten bei 5 der 91 detektierten LRF-Flugwege (5.5%) und bei 10 der 100 detektierten GPS-Flugwege (10%) auf. Diese Ereignisse haben jedoch keinen Einfluss auf die Berechnung des Kollisionskurses und damit auf die Abschaltung.

Etwa die Hälfte der LRF- und GPS-Flugwege, die vom IDF nicht detektiert wurden, verliefen tief über Boden (= knapp im Detektionsbereich) und/oder teilweise durch maskierte Zonen. Da das Gelände um den Standort des IDF ansteigt, haben tief fliegende Vögel bezüglich des IDF nicht unbedingt Himmel, sondern das Gelände teilweise kombiniert mit maskierten Zonen als Hintergrund.

In anderen Fällen, die nicht detektiert worden sind, waren gleichzeitig mehrere Vögel unterwegs und das System war bereits mit der Verfolgung eines anderen Vogels beschäftigt (33%, Abb. 31). Auch Reflektionen der Sonne könnten gemäss Angaben der Hersteller teilweise die Detektion erschwert haben (12%).



Abb. 26. Beispiele von LRF-Flugwegen (rot), die vom IDF (orange) detektiert worden sind. Examples of LRF-tracks (red) which were detected by IDF (orange).

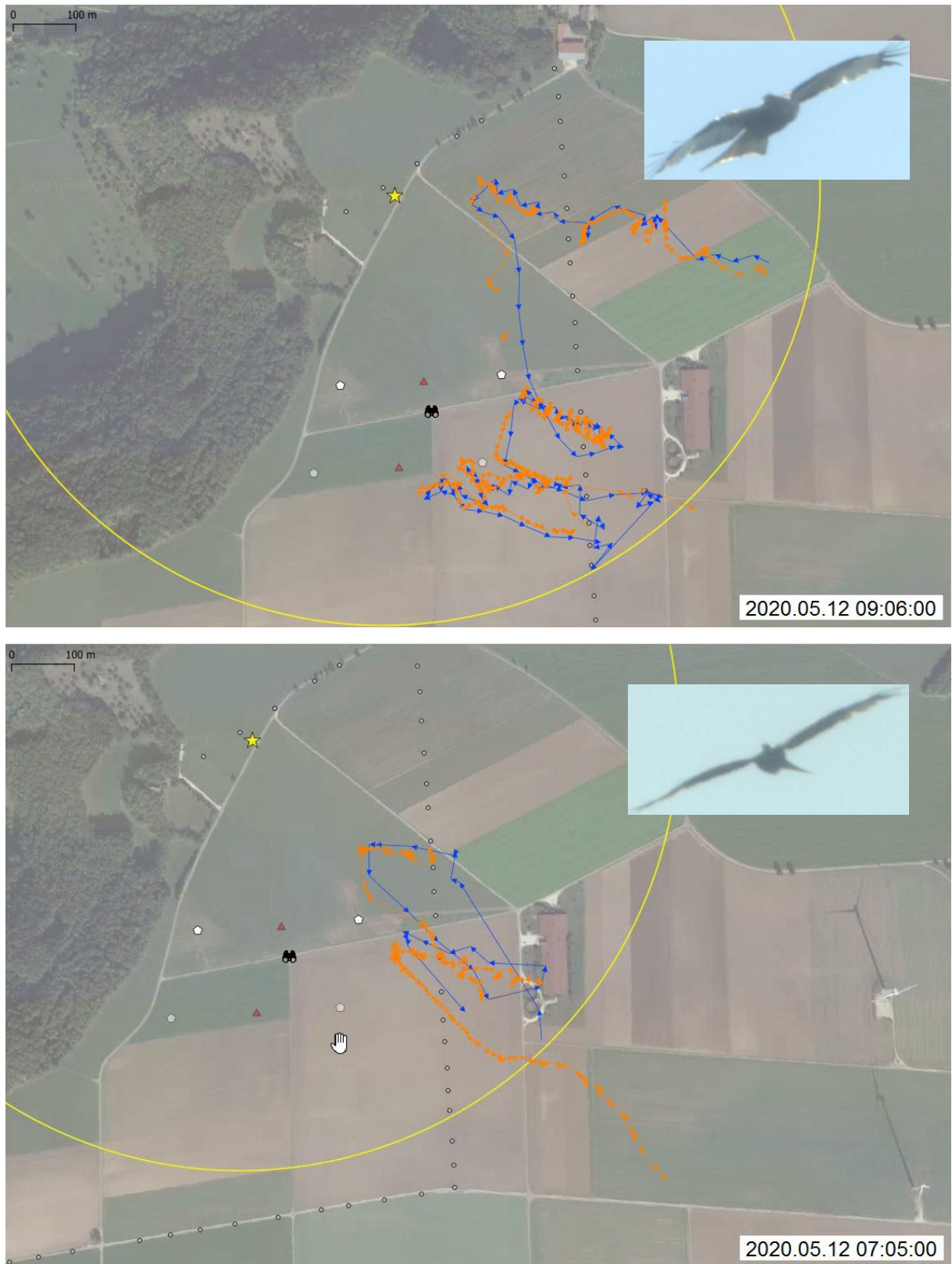


Abb. 27. Beispiele von GPS-Flugwegen (blau), die vom IDF (orange) detektiert worden sind mit Belegfotos. Examples of GPS-tracks (blue) which were detected by IDF (orange) together with foto proofs.

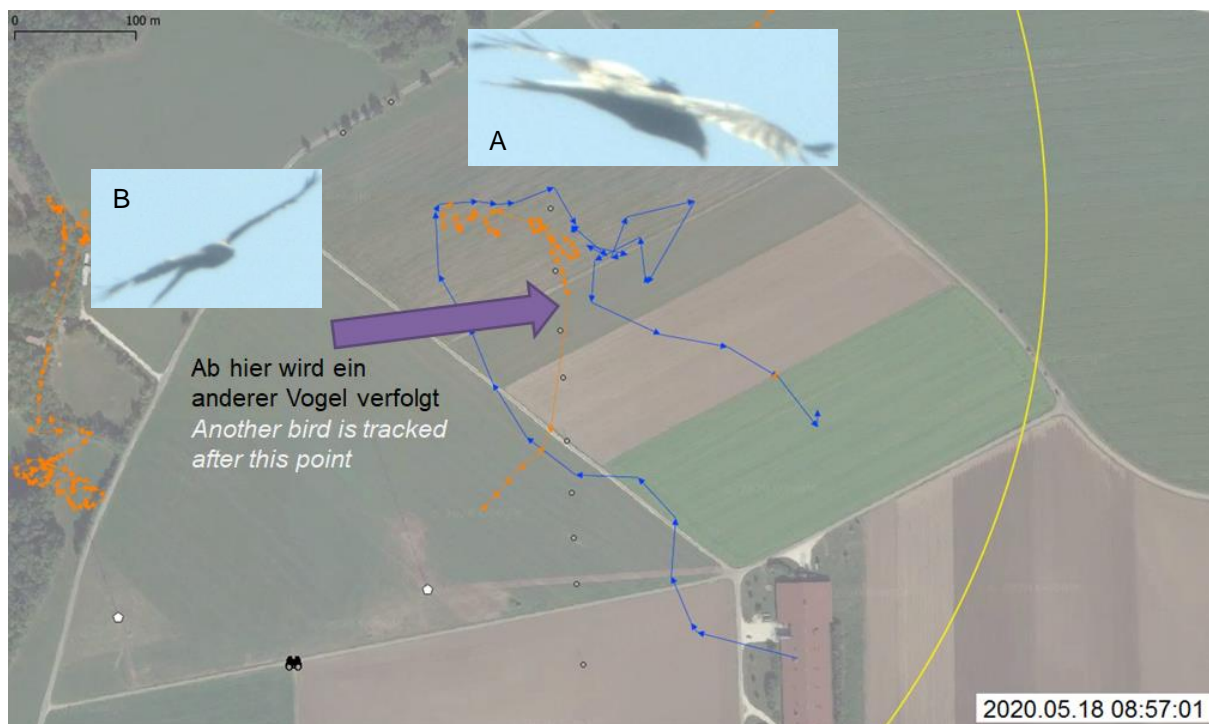


Abb. 28. Beispiel eines GPS-Flugwegs (blau), der vom IDF (orange) detektiert worden ist (Belegfoto A, Zielart mit GPS-Sender), aber schliesslich mit Detektionen eines anderen Vogels vermischt wird (Belegfoto B, Zielart ohne Sender). Example of a GPS-track (blue) which was detected by IDF (orange, foto proof A, target species with GPS-tag) but was finally mixed with positions of another bird (foto proof B, target species without GPS-tag).

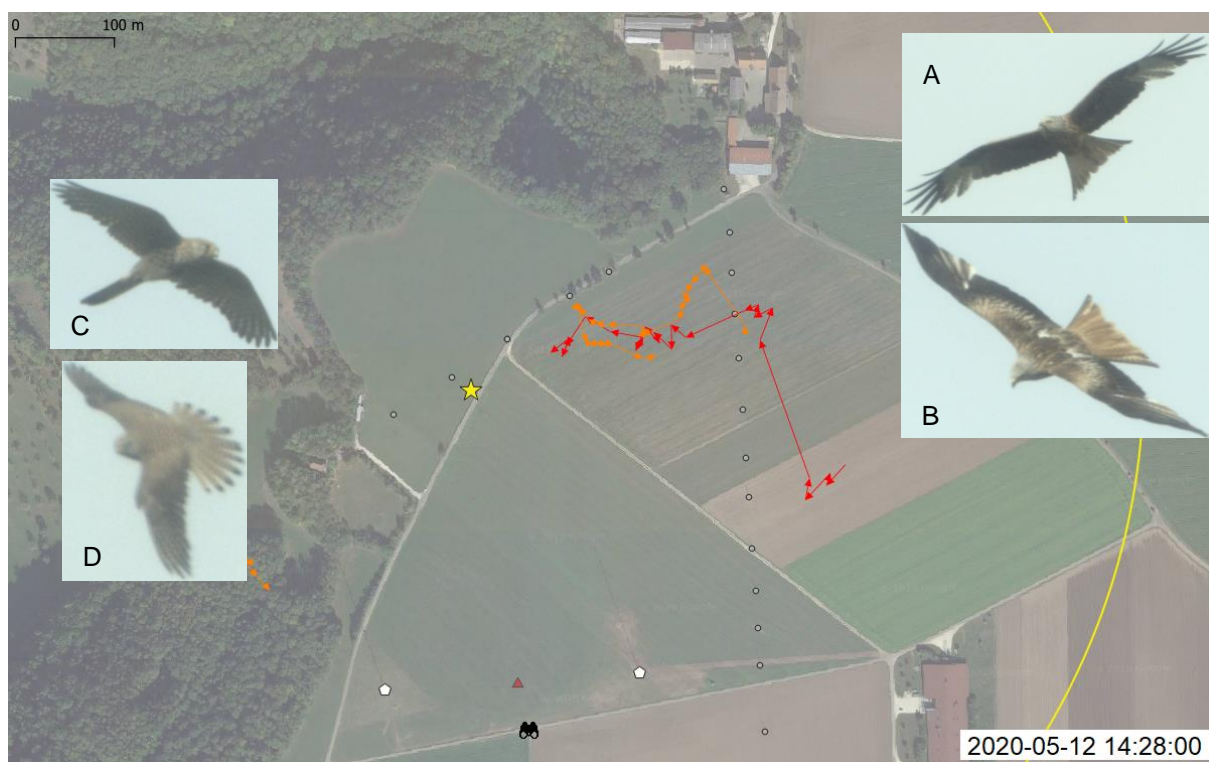


Abb. 29. Beispiel eines LRF-Flugwegs (rot), der vom IDF (orange) detektiert worden ist (Belegfotos A/ B, Zielart), aber mit Detektionen eines Turmfalken vermischt worden ist (Belegfotos C/D). Example of a LRF-track (red) which was detected by IDF (orange, foto proofs A/B, target species) but was mixed with detections of a Common Kestrel (foto proofs C/D).



Abb. 30. Beispiel eines LRF-Flugwegs (rot), der vom IDF (orange) detektiert worden ist, wo vom IDF zwischendurch Positionen anderer Ziele gespeichert worden sind (schwarze Ellipse). Example of a LRF-track (red) which was detected by IDF (orange) but where positions of other targets were recorded in between (black ellipse).



Abb. 31. Beispiel eines LRF-Flugwegs (rot), der vom IDF (orange) nicht detektiert worden ist. Das System war zeitgleich mit der Verfolgung eines anderen Vogels beschäftigt. IDF was busy with tracking another bird.



Abb. 32. Beispiel eines LRF-Flugwegs (rot), der vom IDF (orange) nicht detektiert worden ist. Example of a LRF-track (red) which was not detected by IDF (orange).

3.2.2 Erfassungsrate in Abhängigkeit der Distanz

Die Auswertung der Erfassungsrate in Abhängigkeit der horizontalen Distanz wurden für die LRF- und GPS-Flugwege vereint vorgenommen. Die Erfassungsrate schwankt von Distanzklasse zu Distanzklasse (Tab. 3) zwischen 82.0% – 92.3%. Innerhalb des betrachteten Umkreises von 700 m gibt es keine Hinweise dafür, dass die Erfassungsrate mit zunehmender Distanz abnimmt. Die Schwankungen dürften mehr oder weniger zufällig sein, da die Stichprobe pro Distanzklasse eingeschränkt ist und kleine Änderungen grosse Auswirkungen auf den Anteil der Detektionen hat.

Tab. 3. Erfassungsrate in Abhängigkeit der Distanz für die LRF-Flugwege. Detection efficiency depending on distance for LRF-tracks.

	Distanzklasse / Distance class							
LRF	0 - 100	100 - 200	200 - 300	300 - 400	400 - 500	500 - 600	600 - 700	Summe Sum
Nicht detektiert Not detected	9	8	7	2	4	2	1	33
Detektiert Detected	41	45	32	24	28	14	7	191
Total	50	53	39	26	32	16	8	224
% detektiert % detected	82.0	84.9	82.1	92.3	87.5	87.5	87.5	85.3

3.3 Bedarfsgerechte Abschaltung (virtuell)

Während des Tests war die Abschaltung virtuell implementiert. Deshalb konnte anhand der Systemdaten ausgewertet werden, wie häufig, wie lange und bei welcher Distanz die WEA theoretisch abgeschaltet worden wären und ob die Abschaltung tatsächlich von einer Zielart verursacht worden wäre. Dabei wurde aber nicht überprüft, ob für einen Flugweg tatsächlich ein Kollisionsrisiko bestanden hätte oder ob es Flugwege gibt, wo keine Abschaltung erfolgt wäre, obwohl eine Abschaltung gerechtfertigt gewesen wäre. Die Analysen in diesem Kapitel waren aber nicht das primäre Ziel des vorliegenden Tests. Zudem war der Standort des IDF bezüglich der geplanten Standorte der WEA nicht optimal und könnte die Ergebnisse hinsichtlich Abschaltung beeinflusst haben. Zudem ist zu erwarten, dass die Flugbewegungen der Zielarten anders verlaufen wären, wenn die WEA physisch vorhanden gewesen wären. Deshalb müssen nachfolgende Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden.

3.3.1 Häufigkeit und Dauer der Abschaltereignisse

Während den 12 ausgewählten Tagen erfasste das IDF während gut 174 h die Flugwege in der Umgebung des Testfelds. An diesen Tagen wären die WEA im Mittel pro Tag 1.8 h (WEA Nord, Spannweite Tageswerte zwischen 0.3 – 3.0 h) und 1.4 h (WEA Süd, Spannweite Tageswerte zwischen 0.2 h – 2.9 h) abgestellt gewesen. Eine Abschaltereignis wäre durchschnittlich pro Tag 25.2 mal (WEA Nord, Spannweite Tageswerte zwischen 5 – 38) und 21.1 mal (WEA Süd, Spannweite Tageswerte zwischen 3 – 41) pro Tag eingetreten.

Tab. 4. Dauer und Häufigkeit der Abschaltung pro WEA (WEA N = Standort Nord, WEA S = Standort Süd), Startzeit der ersten und Endzeit der letzten Detektion eines Vogels sowie die Dauer der Erfassung durch das IDF pro Datum. Duration and frequency of curtailment per wind turbine (WEA N = Northern location, WEA S = Southern location), start time of the first detection and end time of the last detection as well as duration of recording with IDF per date.

Datum / Date	Dauer Abschaltung / Duration curtailment		Häufigkeit Abschaltung / Frequency curtailment		Startzeit erste Detektion / Time of first detection	Endzeit letzte Detektion / Time of last detection	Dauer der Erfassung / Duration of recording
	WEA N	WEA S	WEA N	WEA S			
20.04.2020	2.2	32	1.4	23	04:03	18:17	14:14
24.04.2020	2.4	37	2.8	41	03:54	18:30	14:36
27.04.2020	1.4	24	0.9	15	04:14	18:26	14:12
28.04.2020	1.4	25	1.1	20	08:13	21:59	13:46
29.04.2020	0.9	14	0.7	12	04:43	18:34	13:51
04.05.2020	1.2	21	1.1	19	03:33	18:26	14:53
06.05.2020	2.7	35	2.3	32	03:50	18:58	15:08
11.05.2020	0.3	5	0.2	3	03:33	16:41	13:08
12.05.2020	2.8	38	1.7	26	03:41	19:03	15:22
13.05.2020	1.3	17	0.9	14	03:53	18:40	14:47
15.05.2020	2.1	28	1.3	18	04:02	18:38	14:36
18.05.2020	3.0	27	2.9	30	03:33	19:18	15:45
Total	21.8	303	17.3	253			174 h 18 min

3.3.2 Klassierung bei Abschaltung

Insgesamt hätten während den 12 ausgewählten Tagen, 396 Flugwege mindestens eine Abschaltung verursacht. 390 dieser Flugwege konnten hinsichtlich ihrer Klassierung anhand der Belegfotos überprüft werden. In rund 93.6% der Fälle wäre eine Abschaltung durch eine Zielart verursacht worden. Bei 5.4% der Fälle wäre die Abschaltung zwar aufgrund eines Vogels erfolgt, aber aufgrund einer Nicht-Zielart oder eines Vogels, der sich nicht im Flug befunden hat. Nur bei 1% der Fälle handelte es

sich um einen Nicht-Vogel. Umsonst wäre eine Abschaltung also in 2% der Fälle gewesen (Nicht-Vogel und sitzender Vogel). Innerhalb der Flugwege der Zielarten war die Klassierung bei 77.5% der Flugwege durchgehend beständig, bei rund 21% wechselte die Klassierung innerhalb eines Flugwegs und bei 1.65% enthielten die Flugwege Positionen mehrerer Vögel oder anderer Objekte.

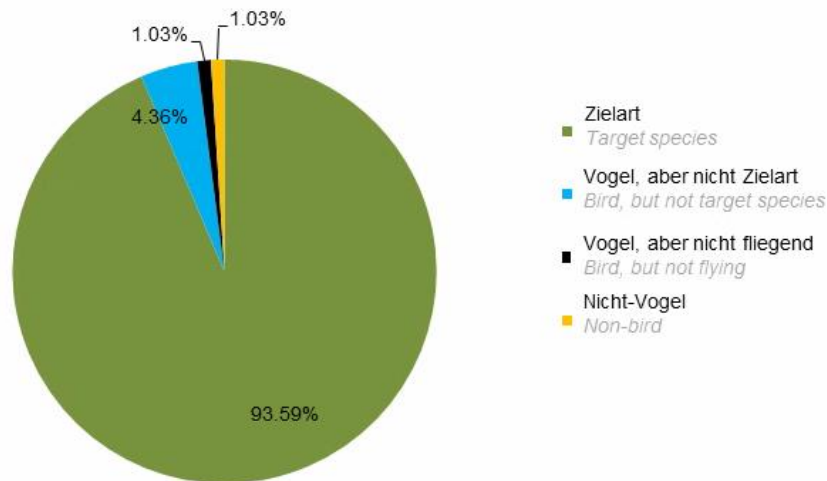


Abb. 33. Anteile der Ursachen, die betrachtet über 12 Tage eine Abschaltung ausgelöst hätten (N=390). Proportion of causes of curtailment considered over 12 days (N=390).

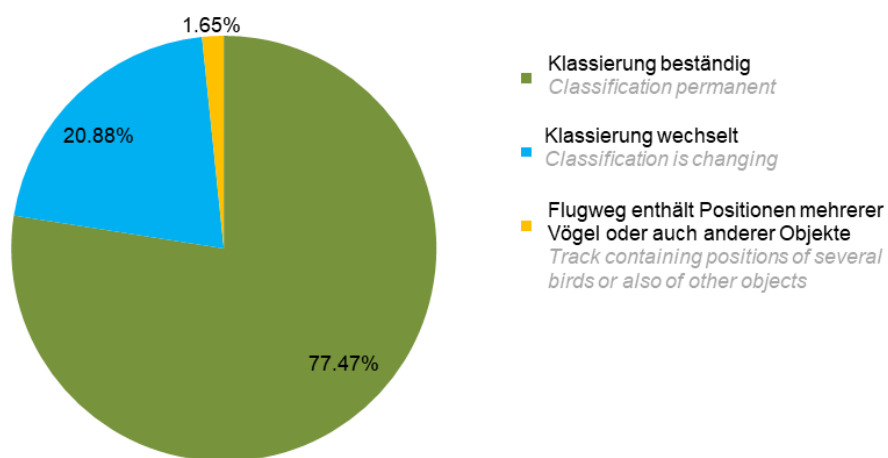


Abb. 34. Eigenschaften der Flugwege von Zielarten, die betrachtet über 12 Tage eine Abschaltung ausgelöst hätten (N=364). Characteristics of target-species tracks causing curtailment considered over 12 days (N=364).

3.3.3 Distanz bezüglich WEA bei Abschaltung

Zur Auswertung, bei welcher Distanz bezüglich einer WEA abgeschaltet worden wäre, wurde die vom System ausgegebene Distanz bezüglich der nächstgelegenen WEA bei der ersten als Zielart klassierten Punktposition, wo die Abschaltung ausgelöst worden wäre, verwendet (N=318, Abb. 35).

7.2% der Abschaltungen wären bei einer Distanz > 600 m, 19.5% bei einer Distanz zwischen 300 – 600 m, 29.9% zwischen 200 – 300 m, 27.7% zwischen 100 – 200 m und 15.7% bei weniger als 100 m zur nächstgelegenen WEA ausgelöst worden. Das zeigt, dass viele Abschaltungen im Bereich des inneren virtuellen Zylinders erfolgt sind (vgl. Kap. 2.1.1 und Kap. 4.1.3).

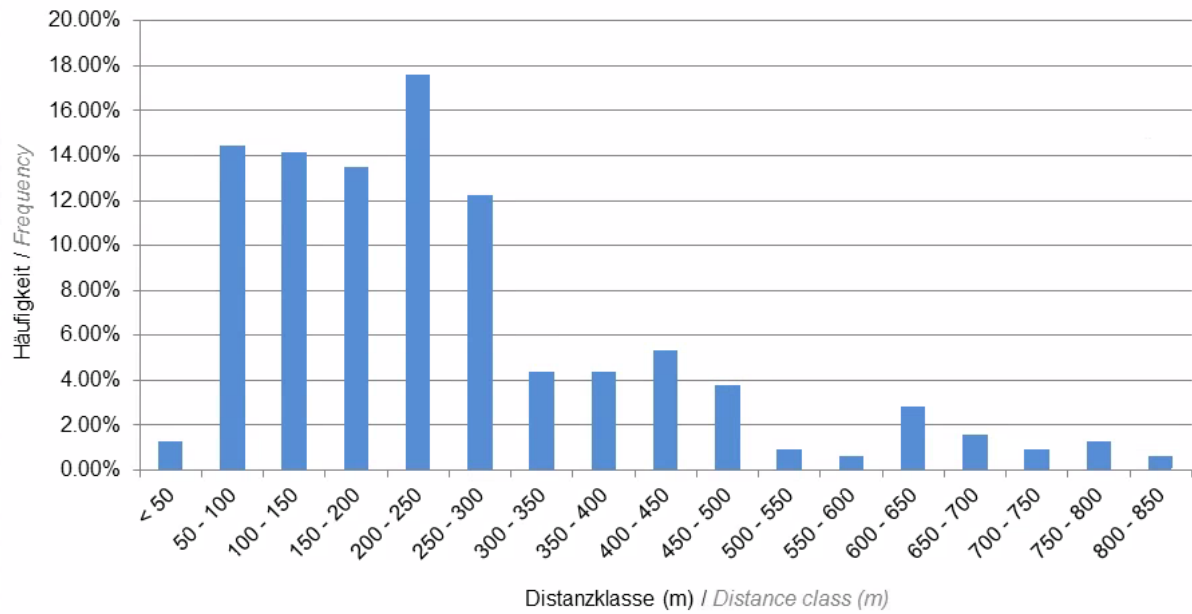


Abb. 35. Häufigkeitsverteilung der Distanzen bezüglich der nächstgelegenen WEA bei welcher eine Abschaltung ausgelöst worden wäre (12 Tage, N=318). Frequency distribution of distances in relation to the closest wind turbine where curtailment would have been triggered (12 days, N=318).

3.4 Meteorologische Bedingungen

Da die meteorologischen Verhältnisse die Sichtbedingungen bestimmen, wurden die unabhängigen Datengrundlagen an Tagen mit unterschiedlichen meteorologischen Bedingungen gesammelt. Die Datengrundlagen deckten trockene, klare, sonnige Tage (z.B. 24.04./12.05./18.05.) bis regnerische, bewölkte Tage ab (z.B. 28.04./11.05.).

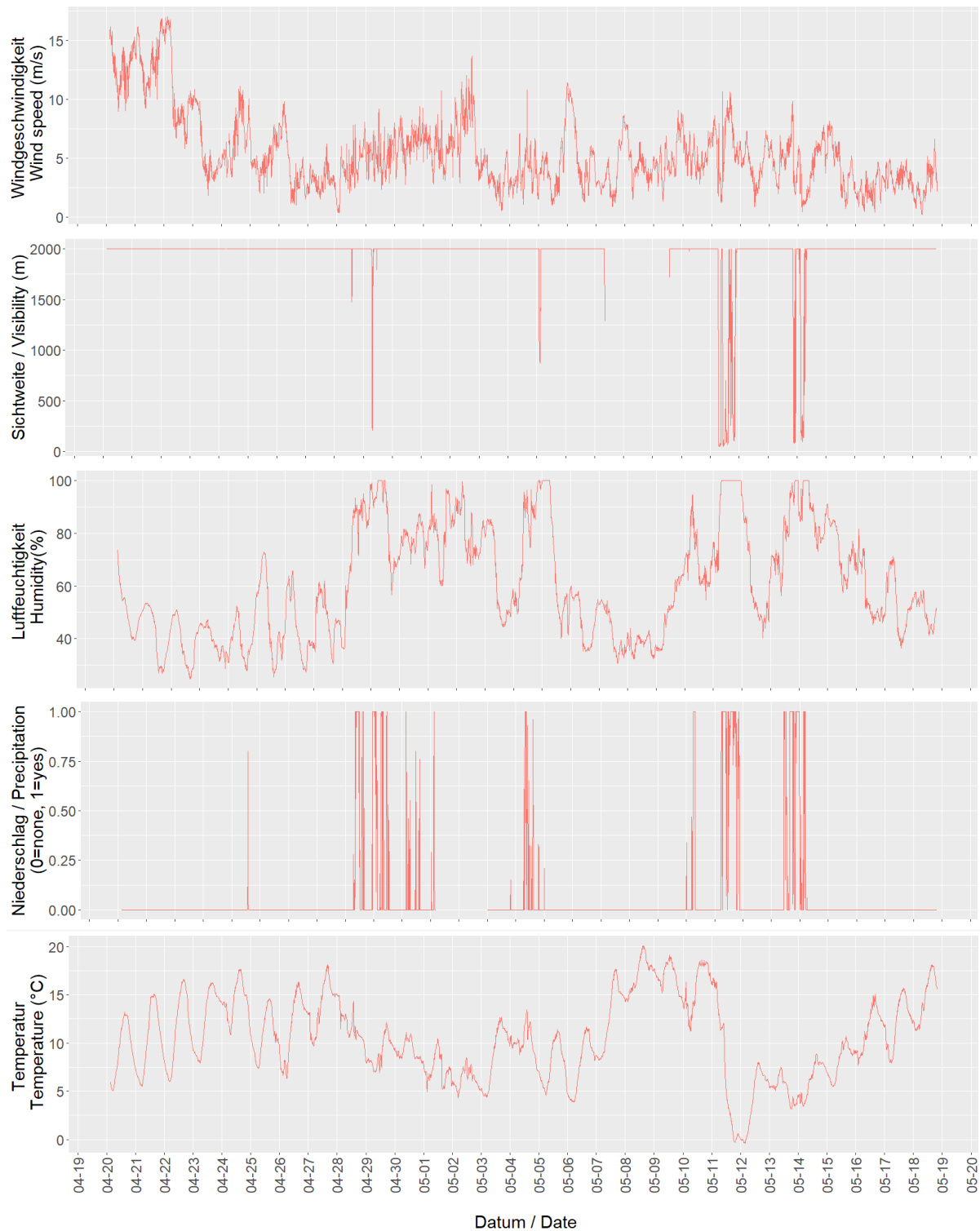


Abb. 36. Zeitlicher Verlauf der Windgeschwindigkeit, der Sichtweite, der Feuchtigkeit, der Wahrscheinlichkeit für Niederschlag und der Temperatur auf dem Testfeld pro 10-min Intervall pro Datum. Time series of wind speed, visibility, humidity, probability of precipitation and temperature per 10-min time interval per date on the test field.

4. Diskussion

4.1.1 Datengrundlagen, Analyse und meteorologische Bedingungen

Als unabhängiger Vergleichsdatensatz wurde ein Datensatz bestehend aus mindestens 100 Flugwegen angestrebt, welcher während unterschiedlichen Wetterbedingungen erhoben und im Detektionsbereich des Systems liegen sollte. Aus den LRF-Beobachtungen ergaben sich aus 9 Beobachtungstagen 103 Flugwege und aus den GPS-Daten sind aus denselben 9 Tagen plus 3 zusätzlichen Tagen 121 Flugwege zusammengekommen. Die Tage deckten unterschiedliche Wetterverhältnisse ab. Damit wurden diese Ziele für den Test erreicht.

Der Abgleich der unabhängigen Datensätze mit den IDF-Daten war aufgrund der Art und Weise, wie die IDF-Daten vorlagen, relativ einfach. Die IDF-Daten konnten mit einem geringen Bearbeitungsaufwand ins QGIS eingelesen und visualisiert werden. Die zu den einzelnen Positionsdaten verfügbaren Attribute wie radiale Distanzen, horizontale Distanzen, Höhe über Boden, Distanzen zu WEA etc. erlaubten einen effizienten Ablauf bei der Beurteilung, ob ein Flugweg detektiert worden ist oder nicht. Eine derartige Verfügbarkeit der Daten ist eine wichtige Voraussetzung für die Evaluierung solcher Detektionssysteme sowie zur Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit der Funktion des Systems für den Nutzer.

4.1.2 Klassierung, Detektionsdistanz und Erfassungsrate

Die Stichprobe, bei welcher alle Daten von drei Tagen hinsichtlich der Klassierung überprüft worden sind, zeigte, dass falsch positive (Nicht-Zielart fälschlicherweise als Zielart) oder falsch negative (Zielart fälschlicherweise als Nicht-Zielart) Klassierungen der Zielarten selten vorkommen. Dieses Ergebnis bestätigte sich auch bei der Überprüfung der Klassierung der LRF- und GPS-Flugwege, die vom IDF detektiert worden sind (Kap. 3.2.1) oder bei der Analyse der Klassierung bezüglich der bedarfsgerechten Abschaltung (Kap. 4.1.3). Das lokale Artvorkommen hat dementsprechend eine zuverlässige Klassierung erlaubt. An Standorten, wo Vogelarten vorkommen, die leicht mit der Zielart verwechselt werden können, dürften die Klassierungseigenschaften anderweitig ausfallen. Das System (neuronales Netzwerk) könnte jedoch für weitere Vogelarten trainiert werden (neuronales Netzwerk).

Die mittlere Erfassungsrate bis zu einem horizontalen Umkreis von 700 m um den Standort des IDF lag für die mit LRF erhobenen Flugwege bei 88.3% und für die per GPS erfassten Flugwege bei 82.6%. Der Unterschied in der Erfassungsrate für die LRF- und GPS-Flugwege liegt daran, dass die GPS-Daten mehr Flugwege enthalten als die LRF-Daten, die relativ tief über Boden oder teilweise vor maskierten Bildbereichen erfolgt sind. Der besenderte Rotmilan durchquerte häufig diejenige Zone, die vor oder über einem maskierten Gebäude lag (Vgl. Abb. 10 und Abb. 23). Da das Gelände rund um den Standort des IDF ansteigt, bedeutet dies zudem, dass ein Vogel aus dem Blickwinkel des IDF nicht den Himmel als Hintergrund hat, sondern sonstige landschaftliche Elemente (Wiesen, Felder, Bäume, WEA etc.). Dadurch hebt sich ein Vogel weniger stark vom Hintergrund ab und ist schwieriger zu detekieren. Gemäss dem Hersteller kann es vor einem Hintergrund, der nicht aus Himmel besteht, bis zu 35 s dauern, bis ein Objekt klassiert und verfolgt wird. Ein Update der Software zur Erhöhung der diesbezüglichen Detektionsgeschwindigkeit ist kurz vor der Implementierung. Zudem sind in einigen Fällen Flugwege von Zielarten verpasst worden, wenn gleichzeitig mehrere Vögel unterwegs waren, da der Wechsel zwischen den Vögeln ebenfalls bis zu 30 s dauern kann (persönliche Anmerkung der Hersteller). Auch in dieser Hinsicht sind Verbesserungen am System vorgesehen.

Bei allen Arten von Erfassungsmethoden (menschliche Sichtbeobachter, Kamera, Radar, Laser) nimmt die Detektionswahrscheinlichkeit natürlicherweise mit zunehmender Distanz ab. Innerhalb der hier im Rahmen des Tests betrachteten Distanz von 700 m war beim IDF noch keine Abnahme der Detektionswahrscheinlichkeit ersichtlich. Dies zeigt sich dadurch, dass die Erfassungsrate je nach Distanzklasse zwischen 82.0% – 92.3% auf und abschwankte (vgl. Kap. 3.2.2) und nicht kontinuierlich

abnahm. Das bedeutet wiederum, dass die Abnahme der Detektionswahrscheinlichkeit für die Zielart erst ab einer grösseren Distanz auftritt. Die Analyse der vom IDF generierten Daten unterstützen dieses Ergebnis, da die Detektionsdistanz für die Zielarten bei geeigneten Bedingungen sogar deutlich mehr als 700 m, nämlich bis 1'050 m betragen kann (Kap. 3.1.1).

Anhand der Ergebnisse des Tests wird gefolgert, dass die Detektionseigenschaften des Systems (wenig Fehler bei der Klassierung, grosse Reichweite mit hoher Erfassungsrate) für die Zielarten an Standorten mit einem ähnlichen Artvorkommen insgesamt eine sehr gute Ausgangslage bieten, um eine bedarfsgerechte Abschaltung zu implementieren.

4.1.3 Bedarfsgerechte Abschaltung (virtuell) mit Klassierung und Detektionsdistanz

Die bedarfsgerechte Abschaltung war im vorliegenden Test virtuell implementiert und war nicht primär im Fokus des vorliegenden Tests. Durch die starke Flugaktivität im Gebiet wäre sehr häufig eine Abschaltung erfolgt. Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass die Präsenz von WEA das Flugverhalten von Vögeln beeinflusst, indem diese unter Umständen die Annäherung an WEA vermeiden und dadurch weniger Abschaltung auslösen würden. Dies wäre vor allem dann der Fall, wenn die Vögel den Luftraum des um die WEA gelegten virtuellen inneren Zylinders meiden würden.

Beurteilt aufgrund der Klassierung wäre eine Abschaltung in 93% der Fälle aufgrund einer Zielart ausgelöst worden. Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass nicht überprüft worden ist, ob die Abschaltung aufgrund des Verlaufs eines Flugwegs gerechtfertigt gewesen wäre. Weiter wurde auch nicht überprüft, ob und wie oft bei Flugwegen keine Abschaltung ausgelöst worden wäre, obwohl eine Abschaltung gerechtfertigt gewesen wäre.

Die Abschaltungen sind oft ziemlich nahe (<200 m) der geplanten WEA-Standorte ausgelöst worden, obwohl die Detektionsreichweite des Systems das Testfeld mit den geplanten WEA sehr gut abdeckt. Ein Grund dafür könnte sein, dass sich nicht alle Vögel aus einer grossen Distanz her annähern, sondern ihre Flugbewegung von einem Punkt innerhalb eines näheren Umkreises der WEA starten. Das ist beispielsweise der Fall, wenn ein Vogel eine gewisse Weile sitzend auf einer Warte (Mast, Baum, Busch) verbringt und dann den Flug von dort aus startet. Einige der hölzernen Stromleitungsmasten, die gerne als Sitzwarten genutzt worden sind, liegen rund 250 m von der nördlichen WEA entfernt. Von dort aus startend, gelangt ein Vogel rasch in den Bereich des inneren Zylinders (Radius [Dmin] = 227 m), wo die WEA unmittelbar abgeschaltet werden (Vgl. Kap. 2.1.1). Auch die Spannseile der Meteo-Messmasten oder die Meteomasten selbst, die bereits innerhalb des Luftraums des inneren Zylinders liegen, können als Sitzwarte dienen. Ein anderer Grund könnte die hohe Flugaktivität von Zielarten im Gebiet sein. Unter Umständen sind von der Zielart gleichzeitig mehrere Individuen im kritischen Bereich unterwegs, die Priorität haben, wobei das System gar nicht dazu kommt ein weiter entferntes Individuum der Zielart zu verfolgen und nur immer unmittelbar mit dem gefährdetsten Individuum beschäftigt ist. Zuletzt dürfte auch die bezüglich der Standorte der WEA eher entfernte Positionierung des IDF einen Einfluss gehabt haben.

Teilweise entstand der Eindruck, dass Zielarten während der kritischen Phase nicht detektiert worden sind (Abb. 37 und Abb. 38). Dies bedeutet, die Detektion für eine bedarfsgerechte Abschaltung wäre zu spät gewesen. Die Beurteilung dieses Aspekts ist schwierig und könnte nur bei vollständigen, hochaufgelösten LRF- oder GPS-Flugwegen durchgeführt werden, die eher selten sind. Ausserdem steht die Abschaltung nicht im Vordergrund dieses Tests. Deshalb wurde auf eine systematische Analyse verzichtet.



Abb. 37. Beispiel eines LRF-Flugwegs (rot), der vom IDF (orange) nach Annäherung an das Testfeld detektiert worden ist. Example of a LRF-track (red) which was detected by IDF (orange) after approaching the test field.

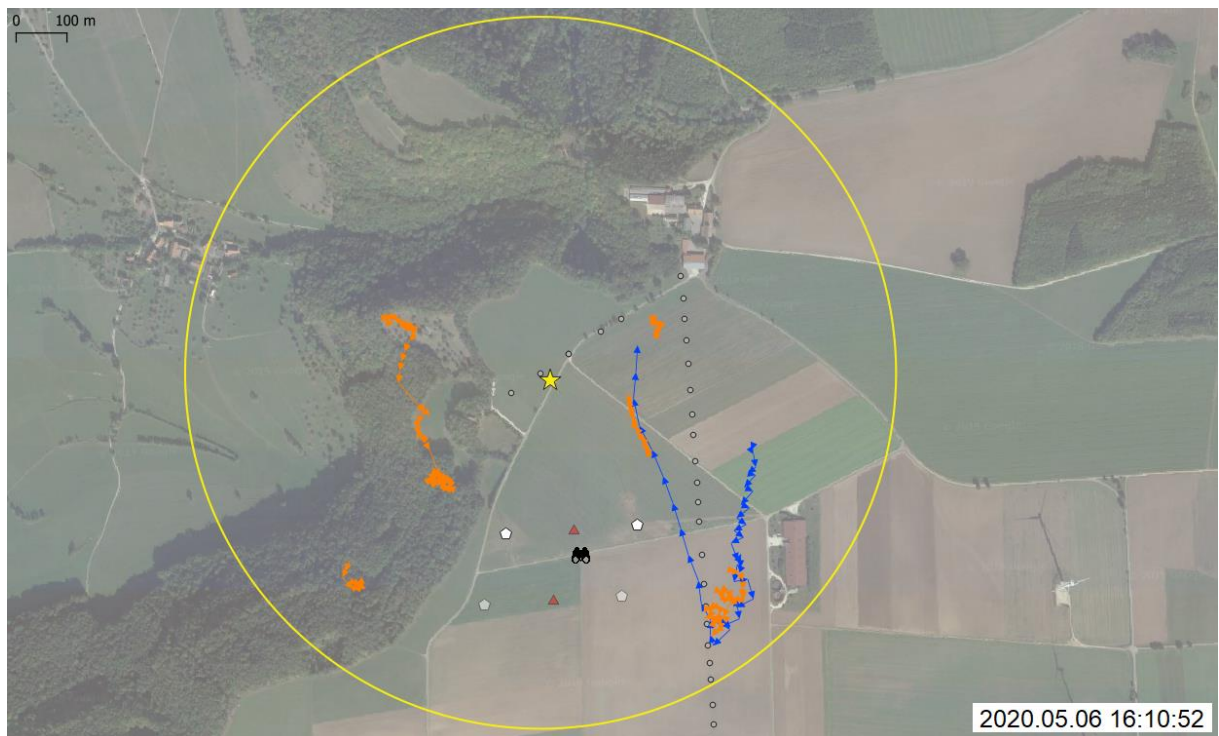


Abb. 38. Beispiel eines GPS-Flugwegs (blau), bei welchem das IDF (orange) die Verfolgung unterbrochen und nach der östlichen Passage des Testfelds wieder aufgenommen hat. Example of a GPS-track (blue) where the detection by IDF (orange) was interrupted and restarted after passing the eastern side of test field.

4.1.4 Schlussfolgerungen hinsichtlich des Anforderungsprofils für automatische Detektionssysteme

Die Ergebnisse des Tests werden als Beitrag zur Erarbeitung eines realistischen Anforderungsprofils für automatische Vogeldetektionssysteme genutzt, damit bezüglich der bedarfsgerechten Abschaltung zur Minderung von Kollisionen an WEA ein Standard gesetzt werden kann.

Für den Nutzer ist eine einfache Reproduzierung der Funktionen und Ergebnisse des Detektionssystems wichtig. Die Art und Weise, wie die Daten von IdentiFlight zur Verfügung gestellt werden, erlauben es dem Nutzer nachzuvollziehen, wie das System gearbeitet hat. Das IDF-System kann diesbezüglich als gutes Beispiel dienen.

Im Gebiet des Testfelds fliegen Rotmilane meist mit einer Geschwindigkeit von 25 – 30 km/h (6.9 – 8.3 m/s), können aber auch bis zu 80 km/h (22.2 m/s) erreichen (ZSW 2019). Angenommen, dass eine WEA innerhalb von 20-30 s in den Trudelbetrieb versetzt werden kann, muss der Befehl zur Abschaltung spätestens für durchschnittliche Geschwindigkeiten bei einer Distanz von 200 – 250 m erfolgen. Die Detektion und Klassierung der Zielart muss dementsprechend noch auf eine grössere Entfernung hin erfolgen. Durch die grosse Detektionsreichweite kann mit dem getesteten System der Befehl der Abschaltung früh genug erteilt werden. Die Eigenschaften des Systems können somit als gutes Beispiel dienen.

Am vorliegenden Standort sind öfter tieffliegende Zielarten übersehen worden. Diese Erfahrungen zeigen die Wichtigkeit der Geländegegebenheiten eines Standorts, die bei der Wahl des Standorts für das IDF bezüglich eines Windparks berücksichtigt werden müssen. Auch die Auswahl von maskierten Bildbereichen muss vor diesem Hintergrund erfolgen. Bei der aktuellen Version des Systems sollte die Kameraeinheit so ausgerichtet sein, dass die Bildbereich, wo sich Zielarten annähern können, möglichst viel Himmel als Hintergrund haben und keine maskierten Bildbereiche enthalten. Es gilt jedoch anzumerken, dass aufgrund der Verfügbarkeit der Stromversorgung für das IDF ein Standort gewählt werden musste, der bezüglich der Standorte der geplanten WEA nicht optimal war. Zurzeit wird in Expertenkreisen bestehend aus unterschiedlichen Akteuren diskutiert, welche Erfassungsrate angestrebt werden sollte. Basierend auf diesen Meinungen empfiehlt das KNE als Mindestanforderung eine Erfassungsrate von 75% - 80% (Bruns & Streiffeler 2020). Die für das IDF bis zu einer Distanz von 700 m ermittelten Erfassungsraten von 88.3% (Mittelwert LRF-Flugwege) und 82.6% (Mittelwert GPS-Flugwege) liegen trotz der geschilderten geländebedingten Einschränkungen oberhalb des vom KNE empfohlenen Wertebereichs.

Insgesamt gilt es noch generell bezüglich automatischen Detektionssystemen anzumerken, dass eine starke Flugaktivität der Zielarten in einem Gebiet das Risiko erhöht, dass ein System bei der Detektion Fehler macht (Klassierung, Zusammensetzung von Flugwegen). Eine starke Flugaktivität ist beispielsweise in der Nähe von Brutplätzen, an Orten mit einem attraktiven Nahrungsangebot oder an Orten, wo sich ziehende Individuen aufgrund von Geländegegebenheiten konzentrieren könnten, zu erwarten. Zudem können Sitzwarten, die von Zielarten regelmässig benutzt werden und die nahe bei den WEA liegen, die rechtzeitige Detektion und Abschaltung erschweren oder gar verunmöglichen.

5. Danksagung

Unser Dank gilt den Mitarbeitenden der Firmen e3 und IdentiFlight Int. die der Durchführung dieses Test zugestimmt, das System kostenlos auf- und abgebaut sowie kostenlos zur Verfügung gestellt haben. Weiter danken wir für die Unterstützung bei der Beantwortung unserer Fragen zur Funktionalität des Systems sowie für die sorgfältige Durchsicht des vorliegenden Berichts durch Marc Reichenbach und Hendrik Reers.

6. Literatur

- ASCHWANDEN, J., H. STARK & F. LIECHTI (2019): Konzept zur Erprobung von Systemen zur Vermeidung von Vogelkollisionen an Windturbinen: Teilprojekt NFW-Bird 2018.
- BRUNS, E. & J. STREIFFELER (2020): Zusammenfassung der Ergebnisse der Workshopreihe (Diskussionsstand) in: KNE (Hrsg.): Digitale Abschlussveranstaltung der Workshopreihe „Technische Systeme“: Forschungs und Entwicklungsvorhaben „Anforderungen an technische Überwachungs und Abschaltssysteme an WEA“ (FKZ 3519861200).
- KNE (2019): Anforderungen an eine fachlich valide Erprobung von technischen Systemen zur bedarfsgerechten Betriebsregulierung von Windenergieanlagen. URL <https://www.naturschutz-energie.wende.de/fachwissen/auf-einen-blick/anforderungen-an-eine-fachlich-valide-erprobung-von-technischen-systemen-zur-bedarfsgerechten-betriebsregulierung-von-windenergieanlagen/>.
- MCCLURE, C. J.W., L. MARTINSON & T. D. ALLISON (2018): Automated monitoring for birds in flight: Proof of concept with eagles at a wind power facility. *Biol Conserv* 224: 26–33.
- ZSW (2019): NatForWINSSENT II - Umsetzung der Naturschutzforschung im Windtestfeld an Land: Phase I: Vorher-Untersuchungen.