



Funktionsweise des kamerabasierten Antikollisionssystems zur bedarfsgerechten Abschaltung von Windenergieanlagen

e3 IDF GmbH

Hugh-Greene-Weg 2, 22529 Hamburg

Amtsgericht Hamburg, HR B 166290

Geschäftsführer: Hauke Heitmann, Jens Schöttler

Ansprechpartner: Till Peper

Fon: +49 (40) 82 22 610-31

Mobil: +49 (160) 98 48 00 17

Fax: +49 (40) 82 22 610-25

Mail: t.peper@e3-gmbh.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
1. Antikollisionssystem IdentiFlight.....	1
2. Aufbau und Funktion	3
2.1 Aufbau	3
2.2 Funktionsweise.....	5
2.3 Automatische Kalibrierung.....	8
2.4 Abschaltprogrammierung	8
2.4.1 Äußerer Abstandszylinder	9
2.4.2 Innerer Abstandszylinder	10
2.4.3 Berechnung der Abstandszylinder	10
2.5 Neuronales Netz.....	11
3. Betriebsführung & Reporting	12
3.1 Systemüberwachung	12
3.2 Instandsetzung	13
3.3 Wartung.....	13
3.4 Reporting	13
3.4.1 Systemverfügbarkeit und -funktionalität	14
3.4.2 Umsetzung der Abschaltempfehlung	14
4. Validierungsprozesse und fachliche Anerkennung	15
5. Literaturverzeichnis	17

Abkürzungsverzeichnis

BNatSchG:	Bundesnaturschutzgesetz
H_{max}:	Höhe des äußeren Abstandszylinders
H_{min}:	Höhe des inneren Abstandszylinders
HL_{max}:	Untere Grenze des äußeren Abstandszylinders
HL_{min}:	Untere Grenze des inneren Abstandszylinders
HU_{max}:	Obere Grenze des äußeren Abstandszylinders
HU_{min}:	Obere Grenze des inneren Abstandszylinders
IDF:	IdentiFlight
KNE:	Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende
PTU:	Pan-Tilt Unit; deutsch: Schwenk-Neige-Einheit
R_{max}:	Radius des äußeren Abstandszylinders
R_{min}:	Radius des inneren Abstandszylinders
SCADA:	Supervisory Control and Data Acquisition; deutsch: Überwachung, Steuerung und Datenerfassung
TTC:	Time to Collision
WEA:	Windenergieanlage/-n

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau einer mobilen IDF-Einheit, Standardkonfiguration	3
Abbildung 2: Sichtfeld eines IDF-Systems, PTU-Version 3	4
Abbildung 3: Dokumentation eines Seeadler-Tracks	7
Abbildung 4: Darstellung des inneren und äußeren Abstandszylinders	9

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der KNE-Anforderungen mit den Leistungswerten des IDF-Systems für Rotmilan und Seeadler	16
--	----

1. Antikollisionssystem IdentiFlight

IdentiFlight (IDF) ist ein kamerabasiertes Antikollisionssystem (AKS) zur Vermeidung von Kollisionen windenergiesensibler Greif- und Großvögel mit Windenergieanlagen (WEA). IdentiFlight detektiert und trackt einzelne potenziell kollisionsgefährdete Groß- und Greifvögel frühzeitig und ermittelt in Echtzeit – auf Basis künstlicher Intelligenz – die Art des jeweiligen Individuums. Handelt es sich um ein Individuum der zu schützenden Zielart und nähert sich dieses einer WEA so weit an, dass eine Kollision mit den Rotorblättern nicht mehr sicher ausgeschlossen werden kann, wird eine Abschaltempfehlung zur Drosselung der betreffenden WEA ausgegeben. Die Rotordrehzahl der einzelnen WEA wird in der Folge innerhalb weniger Sekunden in den „Trudelmodus“ versetzt, wodurch das Kollisionsrisiko gezielt vermieden wird.

Seit der Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) im Jahr 2022 wird der Einsatz von AKS als Schutzmaßnahme für kollisionsgefährdete Brutvögel gelistet und ist somit fachlich anerkannt (vgl. Anlage 1 Abschnitt 2 zu § 45b Absatz 1 bis 5 BNatSchG). IdentiFlight ist bis dato das einzige in Deutschland zertifizierte AKS und ermöglicht die gezielte Lösung artenschutzrechtlicher Konflikte am jeweiligen Standort (vgl. § 44 Abs. 1 Nr. 1 BNatSchG, Tötungsverbot).

Durch die bedarfsgerechte Abschaltung in Risikosituationen zum Schutz der jeweiligen genehmigungsrechtlich relevanten Groß- und Greifvogelart werden die Abschaltzeiten und somit die Ertragsverluste auf das unbedingt erforderliche Maß reduziert, wodurch ein wirksamer, effektiver und rechtssicherer Vogelschutz ermöglicht wird.

IDF wurde vormals von dem amerikanischen Unternehmen Boulder Imaging (www.boulderimaging.com) zum Schutz von Steinadlern an Windenergiestandorten in Nordamerika entwickelt. Die Weiterentwicklung und die damit einhergehende Anpassung des Systems auf die in Deutschland geltenden genehmigungs- und artenschutzrechtlichen Anforderungen sowie die Beauftragung der Leistungsnachweise (Validierung) erfolgte durch die e3 IDF GmbH (www.e3-identiflight.de). Schrittweise wurde das Stereokamera-System von den unabhängigen Gutachterbüros ARSU GmbH (www.arsu.de) und OekoFor GbR (www.oekofoer.de) unter der Aufsicht des TÜV Nord (www.tuev-nord.de) hinsichtlich seiner Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit validiert.

Die Validierung von IdentiFlight zum Schutz des Rot- und Schwarzmilans (im Folgenden nur „Rotmilan“) erfolgte in den Jahren 2018 bis 2020 (Reichenbach, et al., 2021). In den Jahren 2021 bis 2022 erfolgte dann die Validierung zum Schutz des Seeadlers (Reichenbach, et al., 2023). Insgesamt wurde IDF im Rahmen der Validierungsprozesse an 19 Standorten in sieben Bundesländern erprobt: Schleswig-Holstein, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Hessen, Baden-Württemberg und Bayern.

Die Gutachter kamen zu dem Schluss, dass IDF „das Tötungsrisiko für Rotmilane durch Kollisionen an WEA [...] unter die Signifikanzschwelle senken kann“ (Reichenbach, et al., 2021). Auch die Untersuchungen zur Wirksamkeit zum Schutz des Seeadlers (2021 – 2022) führten zu der Schlussfolgerung, dass IDF in der Lage ist „das Kollisionsrisiko von Seeadlern bei Annäherung an WEA sehr weitgehend zu senken“ (Reichenbach, et al., 2023). Auf die erzielten Untersuchungsergebnisse und die daraus bestimmte Leistungsfähigkeit von IDF wird in Kapitel 4 näher eingegangen.

Aktuell erfolgt die Validierung des IDF-Systems zum Schutz des Schreiadlers sowie des Kaiseradlers. Darüber hinaus wird daran gearbeitet, dass künftig 11 der insgesamt 15 windenergiesensiblen Brutvogelarten (vgl. Anlage 1 Abschnitt 1 zu § 45b Absatz 1 bis 5 BNatSchG) durch IDF geschützt werden können.

2. Aufbau und Funktion

2.1 Aufbau

Im folgenden Kapitel wird die im System verbaute Hardware und die Funktion der einzelnen (Haupt-)Komponenten beschrieben. Zusätzlich werden die softwareseitigen Detektions-, Klassifizierungs- und Abschaltmechanismen dargestellt und näher erläutert.

Abbildung 1 zeigt die Standard-Konfiguration einer (mobilen) IDF-Einheit, bestehend ausameratechnik [I], Kameraturm [II] und der im Container befindlichen Computertechnik [III].

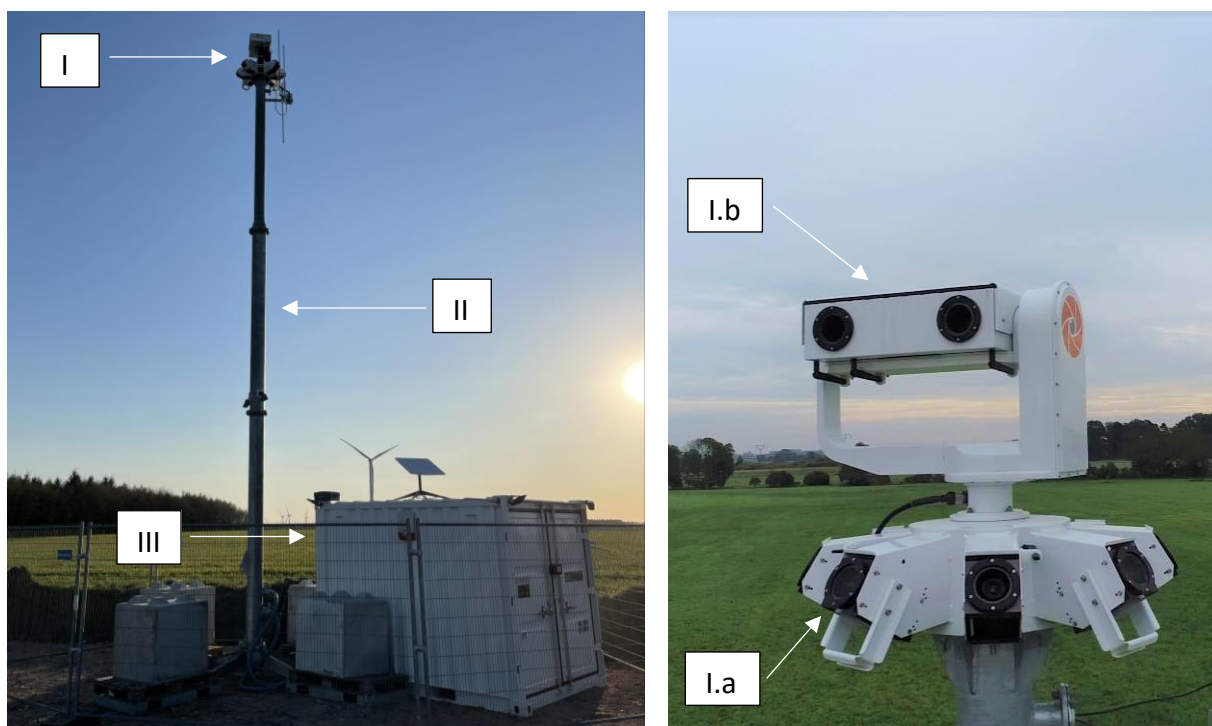


Abbildung 1: Aufbau einer mobilen IDF-Einheit, Standardkonfiguration, PTU-Version 3.

Kameratechnik (I)

Die Kameratechnik, bestehend aus einer Weitwinkel-Einheit (s. Abb. 1, I.a) und einer Stereo-Einheit (s. Abb. 1, I.b), wird auf einem separaten Turm im Windpark installiert und ist über Kommunikations- und Stromkabel mit der Computertechnik verbunden. Die Weitwinkel-Einheit ist unbeweglich auf dem Turm montiert und setzt sich aus einem Verbund von acht kreisförmig angeordneten Weitwinkel-Kameras zusammen, die im 360°-Winkel den Luftraum überwachen und Flugbewegungen erfassen. Die bewegliche Stereo-Einheit verfügt über zwei hochauflösende Stereokameras sowie eine Schwenk-Neige-Einheit („Pan-Tilt-Unit“ im

Folgenden PTU), welche eine entsprechende Verfolgung und 3D-Positionsbestimmung der erfassten Flugobjekte ermöglicht. Abbildung 2 zeigt das vertikale Sichtfeld eines IDF-Systems in seitlicher Ansicht, wobei zwischen dem Detektionsbereich der Weitwinkel-Einheit (+64° bis -1°) und dem Verfolgungsbereich der Stereo-Einheit (+90° bis -30°) unterschieden wird.

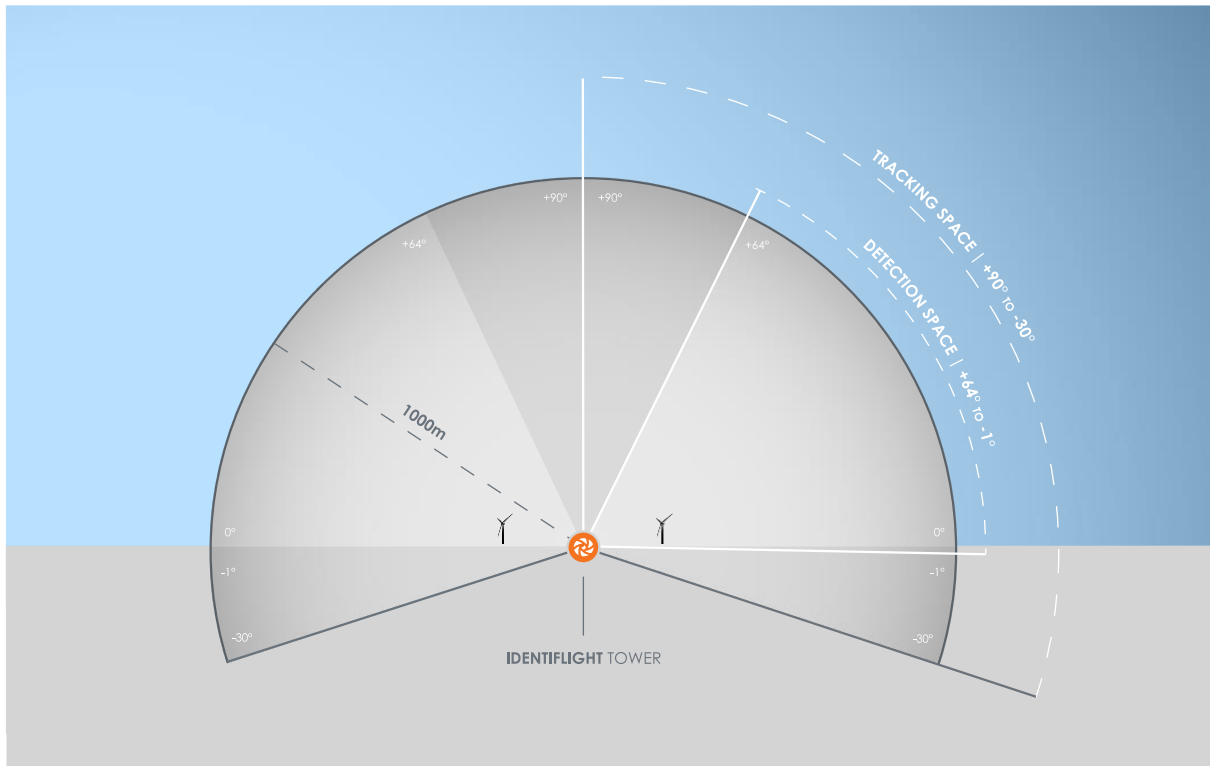


Abbildung 2: Sichtfeld eines IDF-Systems, PTU-Version 3; Quelle: Abbildung des Herstellers.

Kameramast (II)

Die Standard-Turmausführung beläuft sich auf einen 10 m Stahlrohrturm, welcher für den Einsatz im Offenland mit weitgehend flachem Relief und vereinzelt Gehölzstrukturen entwickelt wurde. Je nach Standort kann die Turmhöhe auf die spezifischen Standorteigenschaften (Topografie, Sichthindernisse, Bewuchs, verfügbare Flächen) angepasst werden. Vollentwickelte Turm-Konzepte liegen für die Höhen 10 m und 40 m vor, wobei für die 10 m Variante zusätzlich zur fest zu installierenden Ausführung eine mobile Version vorhanden ist. Eine 25 m Ausführung befindet sich derzeit in der Entwicklung.

Computertechnik (III)

Die Computertechnik unterteilt sich im Wesentlichen auf zwei Schaltschränke, dem „Inspector-Kabinett“ sowie der „Base-Station“. Über die verbaute Technik im Inspector-Kabinett erfolgt die Steuerung der Kamertechnik sowie die anschließende Bildverarbeitung. Ein Inspector-Kabinett ist entsprechend einmal pro IDF-Einheit vorhanden. Die zentrale Base-Station bündelt die erfassten Daten aller IDF-Einheiten und sendet die Ab- und Einschalttempfehlungen. Eine Base-Station wird somit nur einmal pro Windpark benötigt.

2.2 Funktionsweise

Eine IDF-Einheit kann je nach Windparkkonfiguration, Sichteinschränkungen und WEA-Typen bis zu fünf WEA überwachen. Anhand eines Verbunds aus mehreren IDF-Einheiten können somit beliebig große Windparks abgedeckt werden. Dabei werden die IDF-Einheiten so positioniert, dass der zu überwachende Luftraum um die betreffenden Rotoren maximal abgedeckt wird.

Im Betrieb erfolgt die kontinuierliche Überwachung des Luftraums über die Weitwinkel-Einheit. Diese erkennt – anhand der zugrundeliegenden Software – Bewegungsmuster mittels Abgleichs aufeinanderfolgender Bilder und ist somit in der Lage, beliebig viele Flugobjekte gleichzeitig zu erfassen, zu verfolgen und zusätzlich auf deren Relevanz zu prüfen. Entsprechend werden irrelevante (Flug-)Objekte, wie Flugzeuge, Wolken, Rotorblätter oder kleinere Vögel, zum Großteil bereits bei der Erfassung herausgefiltert. Die aktuell validierte Detektionsreichweite für Zielarten unterscheidet sich je nach Größe der jeweiligen Art. Für den Schutz des Rotmilans liegt sie bei ca. 750 m (Reichenbach, et al., 2021), für den Schutz des Seeadlers bei ca. 1.200 m (Reichenbach, et al., 2023).

Sobald ein als relevant eingestuftes Flugobjekt detektiert wird, schwenkt die Stereo-Einheit auf das entsprechende Objekt. Diese ermöglicht dabei eine genaue Farb-, Form- und Bewegungsmustererfassung sowie die Bestimmung der Position, Größe und Flugroute. Mit einer spezifischen Frequenz werden Bilder des Objektes erfasst, welche simultan und anhand der Software (inkl. neuronalem Netz) verarbeitet und klassifiziert (Zielart oder nicht) werden. Dabei wird sekundlich ein Bild inkl. weiterer wichtiger Informationen (3D-Position, Größe) gespeichert und mit einem Zeitstempel versehen. Wird das betreffende Objekt über einen gewissen Zeitraum (> 1 s) verfolgt, entsteht aus den gespeicherten, aneinandergereihten

Bildern ein „Track“. Ein Flugobjekt wird dabei mindestens so lange „getrackt“, bis eine Art-Bestimmung erfolgt ist. Im Falle einer Klassifizierung als Zielart wird das Individuum weiterverfolgt und priorisiert.

Die leistungsstarke PTU ermöglicht der Stereo-Einheit dabei in kurzer Zeit (< 1 s) zwischen Objekten hin- und herzuschwenken, sofern eine gleichzeitige Überwachung mehrerer Flugobjekte erforderlich ist. Währenddessen werden die entsprechenden Tracks ergänzend durch die Weitwinkel-Einheit weiterverfolgt, um die Erfassung der einzelnen Flugrouten (inklusive 3D-Positionen) unterbrechungsfrei zu gewährleisten und somit ein „Wiederfinden“ von Individuen durch die Stereo-Einheit zu ermöglichen. Sobald sich mehrere Flugobjekte gleichzeitig in dem zu überwachenden Raum befinden, wird durch das System priorisiert, welches Individuum am gefährdetsten ist. Sollte es durch dieses Individuum zu einer Abschaltung der WEA kommen, sind automatisch alle anderen, sich in der Nähe befindlichen Individuen geschützt.

Funktionsweise IdentiFlight

TrackId	DateTimeStamp	RadialDistance_m	Latitude	Longitude	SpeciesTypeName	ConfidenceLevel	HorizontalDistance	Elevation_m	NearestTurbineDistance3d				
28898D88-B510-4C8A-81FE-6BE63B	2023-08-10 12:10:56.740	400.8083	XX.XXXXXX	XX.XXXXXX	White-Tailed-Eagle	1.000	389	312.1272388	450.0867004				
28898D88-B510-4C8A-81FE-6BE63B	2023-08-10 12:10:57.648	386.7945	XX.XXXXXX	XX.XXXXXX	White-Tailed-Eagle	1.000	374	312.8043563	455.0371094				
28898D88-B510-4C8A-81FE-6BE63B	2023-08-10 12:10:58.758	372.8843	XX.XXXXXX	XX.XXXXXX	White-Tailed-Eagle	1.000	360	313.5486695	439.3164368				
28898D88-B510-4C8A-81FE-6BE63B	2023-08-10 12:10:59.767	362.0609	XX.XXXXXX	XX.XXXXXX	White-Tailed-Eagle	1.000	349	312.5606827	425.874939				
28898D88-B510-4C8A-81FE-6BE63B	2023-08-10 12:11:00.775	356.6678	48.5146678	16.8334133	White-Tailed-Eagle	1.000	344	311.1539511	418.0127563				

Abbildung 3: Dokumentation eines Seeadler-Tracks aus den Originaldaten eines IDF-Systems (zu Darstellungszwecken angepasst).

2.3 Automatische Kalibrierung

Zur Gewährleistung einer kontinuierlich genauen Distanzbestimmung führt das System automatisch und mehrmals am Tag einen Stereo-Kalibrierungsprozess durch. Dieser erfolgt anhand von zwei Kalibrierungstafeln, die in bestimmten Abständen innerhalb der IDF-Sichtachse positioniert werden, und deren Koordinaten in der Datenbank des Systems hinterlegt sind. Zur Kalibrierung werden die Kalibrierungstafeln von der Stereo-Einheit fixiert mit anschließender Überprüfung der Distanzmessung.

2.4 Abschaltprogrammierung

Die Daten aller erfassten Flugbewegungen werden schließlich in der Base-Station gebündelt, die die zentrale Schnittstelle zwischen den jeweiligen IDF-Einheiten darstellt und auf Basis der eingehenden Informationen die Abschaltempfehlungen für die jeweiligen WEA sendet. Je nach Projektphase werden diese simuliert (vor Errichtung des Windparks) oder über eine direkte Schnittstelle zum Windpark-Rechner ausgegeben (nach Errichtung des Windparks).

Es besteht somit die Möglichkeit, den Betrieb von IDF am Planungsstandort rein virtuell und im Vorfeld der WEA-Errichtung zu erproben. Dadurch lassen sich Informationen, wie die am Standort vorhandene Flugaktivität und die damit verbundene Abschalthäufigkeit sowie die standortspezifische Leistungsfähigkeit von IDF, im Vorfeld generieren. Die technische Einbindung von IDF im realen Windpark erfolgt in der Regel über das SCADA-System, über welches definierte Stopp- und Start-Signale – sogenannte „Tags“ – an die jeweiligen WEA ausgegeben werden.

Grundlage für die Abschaltempfehlungen bilden – neben den gesammelten Fluginformationen – zwei parallellaufende und ineinandergreifende Abschaltalgorithmen, die in der Datenbasis der Base-Station hinterlegt sind. Hierbei werden zwei unterschiedlich große, virtuelle Abstandszyylinder um jede von IDF überwachte WEA „gespannt“ (s. Abbildung 4), deren geometrische Begrenzungen projektspezifisch berechnet werden.

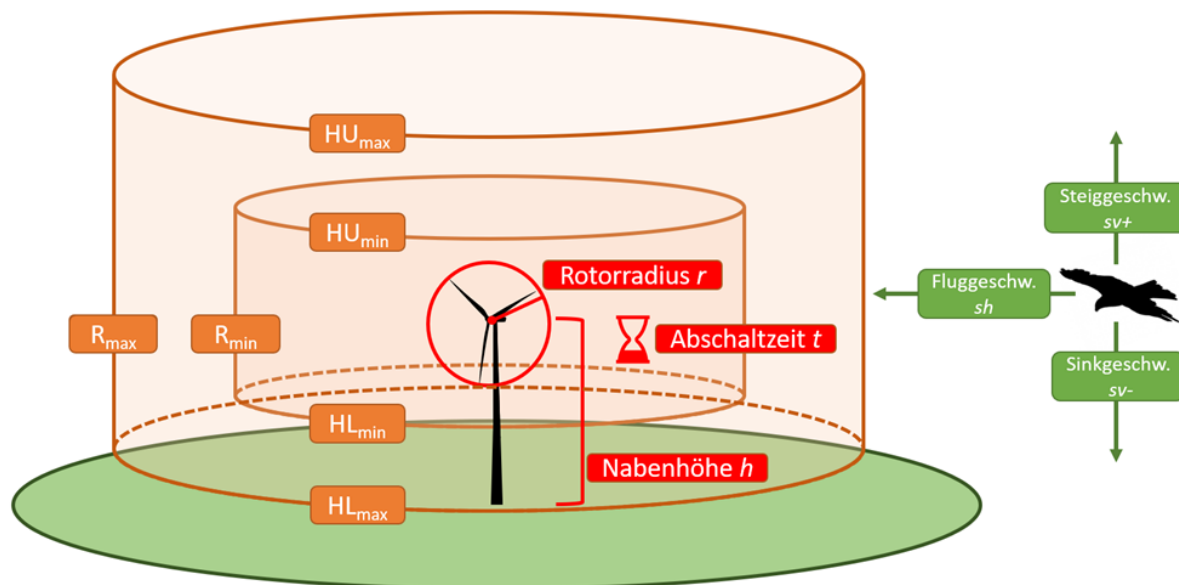


Abbildung 4: Darstellung des inneren und äußeren Abstandszylinders um eine von IDF überwachte WEA.

Abbildung 4 skizziert die beiden Abschaltgeometrien, den inneren und den äußeren Abstandszylinder. Diese werden mittels eines Radius ($R_{min/max}$), einer unteren Begrenzung ($HL_{min/max}$ – „lower height“) sowie einer oberen Begrenzung ($HU_{min/max}$ – „upper height“) definiert. Im Folgenden wird näher auf die Berechnung sowie die Funktionen der jeweiligen Zylinder eingegangen.

2.4.1 Äußerer Abstandszylinder

Der äußere Abstandszylinder dient als erste räumliche Schwelle im Prozess einer möglichen Abschaltentscheidung. Fliegt ein als Zielart klassifiziertes Individuum in die räumliche Begrenzung dieses Zylinders hinein, wird auf Basis eines vektoriellen Abschaltalgorithmus – der sogenannten „Time-To-Collision-Methode“ (TTC-Methode) – das Kollisionsrisiko des Individuums ermittelt. Entsprechend wird im Falle eines mit hoher Geschwindigkeit und direkt auf den Rotor zusteuerns Individuums bereits innerhalb des äußeren Abstandszylinders (und außerhalb des inneren Abstandszylinders) eine Abschaltung der betreffenden WEA ausgelöst (im Folgenden als „vektorielle“ Abschaltung bezeichnet).

2.4.2 Innerer Abstandszylinder

Der innere Abstandszylinder dient als Grundlage für alle „sofortigen“ Abschalttempfehlungen. Sobald ein als Zielart klassifiziertes Individuum in den inneren Zylinder hineinfliegt, wird ungeachtet des Flugvektors eine Abschaltung der betreffenden WEA ausgelöst. Dies soll verhindern, dass auf spontane (Flug-)Richtungswechsel gegebenenfalls nicht mehr rechtzeitig reagiert werden kann.

2.4.3 Berechnung der Abstandszylinder

Die Herleitung der Werte für die Abstandsradien basiert für den inneren Abstandszylinder (R_{min}) auf dem 50 % Perzentil bzw. dem Median der horizontalen Fluggeschwindigkeit der jeweiligen Zielart (Reichenbach, et al., 2021; Reichenbach, et al., 2023) – nachfolgend auch als mittlere Fluggeschwindigkeit (sh_{mean}) bezeichnet. Für den äußeren Abstandszylinder (R_{max}) basiert der Wert auf dem 90 % Perzentil der horizontalen Fluggeschwindigkeit der Zielart – nachfolgend auch als maximale Fluggeschwindigkeit (sh_{max}) bezeichnet (ebd.). Zusätzlich wird der Rotorradius (r) sowie die Zeit (t), die die jeweilige WEA benötigt, um vom Normalbetrieb in den Trudelmodus zu gelangen, für die Bestimmung der Abstandsradien hinzugezogen. Demnach ergibt sich für die Radien der Zylinder die folgende Formel:

$$R_{min/max} = r + sh_{mean/max} * t$$

Für die obere Begrenzung der Zylinder ($HU_{min/max}$) werden die Nabenhöhe (h) und anstelle der horizontalen Fluggeschwindigkeiten die vertikalen Sinkgeschwindigkeiten ($sv_{-mean/max}$) der jeweiligen Zielart verwendet. Äquivalent zu den horizontalen Fluggeschwindigkeiten wird dafür der Median der Sinkgeschwindigkeit (sv_{-mean}) sowie das 90 %-Perzentil bzw. die maximale Sinkgeschwindigkeit (sv_{-max}) definiert. Daraus ergibt sich folgende Formel:

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

Die Berechnung der unteren Begrenzung der Zylinder ($HL_{min/max}$) erfolgt entsprechend der Berechnung der oberen Begrenzung. Als Fluggeschwindigkeiten werden die Steiggeschwindigkeiten des Individuums ($sv_{+mean/max}$) berücksichtigt. Daraus ergibt sich für die untere Begrenzung der Zylinder die folgende Formel:

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

Grundsätzlich lässt sich somit festhalten: je höher die Fluggeschwindigkeit der Zielart, je größer der Rotorradius und je länger die Abschaltzeit der WEA, desto größer ist die Dimensionierung der Abstandszylinder.

2.5 Neuronales Netz

Das neuronale Netz, auf dessen Basis die Artklassifizierung erfolgt, bildet das „Herzstück“ des Systems und kann aufgrund seiner KI-basierten Eigenschaften stetig weiterentwickelt werden. So ist es in der Lage, die korrekte Klassifizierung neuer Arten zu erlernen. Das Anlernen erfolgt dabei durch das Einspeisen von (durch Ornithologen) nachklassifizierten Bildern, welche verschiedenste Wetter- und Lichtverhältnisse sowie Erfassungsdistanzen und -winkel aufweisen. Entsprechend können bei ausreichender Datengrundlage (in Form von Bildern) beliebig viele neue Arten in das Klassifizierungsspektrum des Systems integriert werden. Dies ermöglicht den Einsatz des Systems an verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen avifaunistischen Gegebenheiten. Zusätzlich können gegebenenfalls notwendige Systemanpassungen mittels Software-Updates vorgenommen werden. Somit kann, falls notwendig, noch im laufenden Betrieb auf spezielle Standortanforderungen reagiert, und die Systemleistungsfähigkeit standortbezogen optimiert werden.

3. Betriebsführung & Reporting

3.1 Systemüberwachung

Um eine konstant hohe Systemverfügbarkeit zu gewährleisten, verfügt IDF über Diagnose- und Maintenance-Software, anhand derer der Systemzustand automatisch und kontinuierlich überwacht wird. Mittels Internetanschluss, über den jedes IDF-System im Betrieb verfügt, werden die Informationen über den Systemzustand in einer übergeordneten Web-Schnittstelle, dem sogenannten „IdentiFlight Dashboard“ visualisiert. Dabei werden sowohl „High-Level“-Informationen wie beispielsweise ein 30-minütliches „Heart-Beat“-Signal des Gesamtsystems ausgegeben als auch detaillierte „Low-Level“-Alarmer, anhand derer spezifische Hardware-, Software- und Kalibrierungsmängel festgestellt werden (bspw. bei der automatischen Kalibrierung; s. Kapitel 2.3). Über die e3 - IdentiFlight - Leitwarte und mittels IdentiFlight Dashboard werden alle IDF-Standorte somit kontinuierlich überwacht. Die Monitoring-Prozeduren erfolgen dabei mehrmals täglich, wobei alle sich in Betrieb befindlichen IDF-Systeme geprüft werden.

Außerdem wird nach Inbetriebnahme und nach Reparaturen am IDF-System ein „Drohntest“ durchgeführt, durch welchen geprüft wird, ob die einzelnen Komponenten des Systems im Zusammenspiel funktionieren. Zusätzlich gibt es ein internes Qualitätsmanagement, indem regelmäßig anhand der Rohdaten, die von IDF aufgenommen werden, die Systemleistung überprüft wird.

Wird ein potenzieller Fehler von der Diagnosesoftware erfasst, wird dieser mittels Dashboards für die Leitwarte sichtbar. Gleichzeitig werden über die Maintenance-Software automatisierte Prozesse zur initialen und systemseitigen Fehlerbehebung gestartet. High-Level-Fehler, sowohl software- als auch hardwareseitig, können somit automatisch und mit kürzester Reaktionszeit eigenständig über die in der Maintenance-Software zugrundeliegenden Maintenance-Prozesse behoben werden.

Sofern eine automatische Fehlerbehebung durch die Maintenance-Software nicht erfolgreich war, erfolgen die notwendigen Schritte zur „manuellen“ Definition der Fehlerursache. Die Diagnose-Software liefert dazu einen Alarmcode, der Aufschluss zur Fehlerursache und dessen Behebung gibt. Zusätzlich wird mittels Skala eine Fehler-Schwere durch die Software

ausgegeben, auf Basis derer eine Abschätzung über die Auswirkungen auf die Systemleistungsfähigkeit ermöglicht wird.

3.2 Instandsetzung

Wird ein systemseitiger Fehler festgestellt und dieser entsprechend lokalisiert, werden die Prozesse zur Instandsetzung des Systems gestartet. Diese erfordert – je nach Art des auftretenden Fehlers – entweder einen Eingriff in das IDF-System per Fernzugriff oder einen Service-Einsatz vor Ort.

Zur möglichst schnellen Instandsetzung in Verbindung mit einer Maximierung der Systemverfügbarkeit werden etwaige Hardware-Komponenten in standortnahen Ersatzteillagern vorgehalten, die im Bedarfsfall schnell und ohne Import- und Zoll-Prozesse zur Verfügung stehen. Zusätzlich bestehen Kooperationen mit lokalen Dienstleistern und/oder Service-Technikern, die für die anstehenden Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten geschult werden und dadurch in der Lage sind, diese stets mit möglichst kurzer Reaktionszeit auszuführen. Nach jeglichen Arbeiten am IDF-System wird eine manuelle Kalibrierung des Systems durchgeführt.

3.3 Wartung

Das IDF-System gestaltet sich als sehr wartungsarm. Die Wartungsarbeiten beschränken sich dabei auf das regelmäßige Säubern der Kameralinsen sowie den Austausch von Speicherplatten. Zusätzlich werden in festgelegten Abständen verschleißanfällige Hardware-Komponenten präventiv ausgetauscht.

3.4 Reporting

Die Überprüfung und die Nachvollziehbarkeit der Betriebsdaten werden über eine Reporting-Dokumentation, welche je nach Projekt- und Prüfanforderungen individuell angepasst werden kann, gewährleistet. Dabei werden alle relevanten Betriebsparameter des IDF-Systems und der jeweiligen WEA im Zusammenhang aufbereitet und über deren Betriebszeit dargestellt. Standardmäßig wird die Reporting-Dokumentation wie folgt aufgegliedert:

1. Systemverfügbarkeit und -funktionalität → War das IDF-System grundsätzlich verfügbar? Hat das System plausible Daten generiert und dokumentiert?
2. Umsetzung der Abschalttempfehlungen → Hat das IDF-System Abschaltungen generiert und wurden diese korrekt von den WEA umgesetzt?

Somit soll die erhebliche Menge an Betriebsdaten, die das IDF-System während dessen Laufzeit generiert, quantitativ (Verfügbarkeit) und qualitativ (Wirksamkeit) überprüfbar gemacht werden.

3.4.1 Systemverfügbarkeit und -funktionalität

Für das Reporting zur Systemverfügbarkeit und -funktionalität werden standardmäßig die „Heart-Beat“-Signale der IDF-Systemkomponenten (Base Station und Inspector-Kabinett) über die Betriebszeit ausgewertet. Zusätzlich werden die vom IDF-System generierten und dokumentierten Track-Punkte als grundlegendes Merkmal zur Funktionalität der Kamera-Einheiten in die entsprechenden Berichte integriert. Wetterdaten, Instandsetzungs- und Wartungszeiträume werden ebenfalls in das Reporting integriert, um die entsprechenden Betriebsdaten in Kontext zu setzen.

3.4.2 Umsetzung der Abschalttempfehlung

Das Reporting zur Umsetzung der Abschalttempfehlung enthält alle relevanten Informationen, die die Umsetzung der WEA-Abschaltvorgänge betreffen. Dazu werden die Signale zu den Ab- und Anschaltvorgängen der WEA über die Betriebszeit und im Zusammenhang mit der jeweiligen WEA-Drehzahl dargestellt. Alle Ab- und Anschaltvorgänge können zudem je nach Notwendigkeit einzeln und im Detail nachvollzogen werden, inkl. der entsprechenden Abschalttempfehlungen von IDF (Abschaltzeitpunkt, -dauer und Anschaltzeitpunkt) und WEA-Betriebsinformationen (bspw. Windgeschwindigkeit, Rotordrehzahl und -ausrichtung, Bremszeit).

4. Validierungsprozesse und fachliche Anerkennung

Seit 2018 wurde IdentiFlight mit Blick auf geltende artenschutzrechtliche Anforderungen in Deutschland aufwändig validiert und weiterentwickelt. Die Leistungsfähigkeit des Stereokamera-Systems wurde an verschiedenen Standorten von unabhängigen Gutachtern unter Aufsicht des TÜV Nord überprüft. Das Vorgehen folgt dabei den Vorgaben des KNE (Kompetenzzentrum für Naturschutz und Energiewende) zur Erprobung von AKS (KNE, 2019). Die Validierungsprozesse für zwei der in Deutschland mit am häufigsten einer Genehmigung entgegenstehenden Brutvogelarten sind bereits abgeschlossen: Rotmilan (Reichenbach, et al., 2021) und Seeadler (Reichenbach, et al., 2023). Der Abschluss der aktuell laufenden Validierungsprozesse für den sehr seltenen Schreiadler und für den in Österreich vorkommenden Kaiseradler sind für 2024 geplant. Anhand der durch IdentiFlight bereits erhobenen Datensätze aus den vergangenen fünf Jahren, von 2018 bis heute, wird aktuell gezielt daran gearbeitet die Klassifizierungsleistung für weitere neun der insgesamt elf tagaktiven kollisionsgefährdete Brutvogelarten gutachterlich analysieren und beurteilen zu lassen. Der Validierungsbericht wird in der 1. Hälfte 2024 erwartet.

Auf Grundlage der erbrachten Leistungsnachweise erlangte das IdentiFlight-System im Zuge der jüngsten BNatSchG-Novellierung die naturschutzfachliche Anerkennung als geeignete Schutzmaßnahme zu Verminderung des Kollisionsrisikos des Rotmilans (vgl. Anlage 1 Abschnitt 2 zu § 45b Absatz 1 bis 5 BNatSchG). In Folge der abgeschlossenen Seeadler-Validierung gaben die Gutachter bereits die Empfehlung, dass analog zur Rotmilan-Validierung, eine Anerkennung des IdentiFlight-Systems als geeignete Schutzmaßnahme erfolgen kann (Reichenbach, et al., 2023). Tabelle 1 fasst die Ergebnisse aus den abgeschlossenen Validierungsprozessen zusammen und stellt sie den vom KNE (2021) formulierten Leistungsanforderungen gegenüber. Daraus wird ersichtlich, dass IdentiFlight die gestellten Anforderungen übererfüllt.

Tabelle 1: Vergleich der KNE-Anforderungen mit den Leistungswerten des IDF-Systems für Rotmilan (Reichenbach, et al., 2021) und Seeadler (Reichenbach, et al., 2023).

Erprobungskriterium	Anforderungen gem. KNE (2021)	Ergebnisse IDF zum Schutz des <u>Rotmilans</u> (6 Standorte) (Reichenbach, et al., 2021)	Ergebnisse IDF zum Schutz des <u>Seeadlers</u> (4 Standorte) (Reichenbach, et al., 2023)
Räumliche Abdeckung	mind. 75 %	97-99 %	nahe 100 % in Rotorhöhe (abzgl. Verschattung durch vorhandene WEA)
Zeitliche Abdeckung	möglichst hoch	95-99 %	91 % (an 3 Standorten 96- 100 %)
Erfassungsreichweite	mind. die artspezifische Reaktionsdistanz (ergibt sich aus der Abregelungs- dauer der WEA und der Fluggeschwindigkeit); bei einer geringen Reaktions- distanz können 300 m ausreichen	ca. 750 m	> 1.000 m (bis ca. 1.200 m)
Erfassungsrate	mind. 75 %, in besonderen Konfliktfällen bis zu 90 %	85-96 %	86-88 %
Klassifizierungsrate	mind. 75 %; im Reaktionsbereich mind. 90 %	96-98 %	97-99 %

Weiterführende Informationen zum Stand der Entwicklung und der Validierung von IdentiFlight in Deutschland, werden auf der Internetseite der e3 IDF GmbH zur Verfügung gestellt (s. www.e3-identiflight.de).

5. Literaturverzeichnis

KNE - Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende, 2021. *Anforderungen an Antikollisionssysteme zum Schutz von Vögeln an Windenergieanlagen –Checkliste für eine qualifizierte Entscheidung über die Anwendbarkeit von Antikollisionssystemen.* 14 S. [Online] Available at: https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Checkliste_Antikollisionssysteme_2021_06.pdf [Zugriff am 06.02.2024].

KNE - Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende, 2019. *Anforderungsprofil an eine valide Erprobung von technischen Systemen.* 33 S. [Online] Available at: https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/KNE-Anforderungsprofil_an_eine_valide_Erprobung_von_technischen_Systemen_2019.pdf [Zugriff am 06.02.2024].

Reichenbach, M., Reers, H. & Greule, S., 2021. *Wie gut schützt IdentiFlight den Rotmilan (Milvus milvus)?* 147 S. [Online] Available at: https://www.e3-identiflight.de/wp-content/uploads/2021/11/21-10-07_Wie-gut-schuetzt-IdentiFlight-den-Rotmilan-Milvus-milvus_Abschlussbericht-IdentiFlight.pdf [Zugriff am 06.02.2024].

Reichenbach, M., Reers, H., Greule, S. & Grimm, J., 2023. *IdentiFlight als Schutzmaßnahme für den Seeadler (Haliaeetus albicilla).* 121 S. [Online] Available at: https://www.e3-identiflight.de/wp-content/uploads/2023/05/23-05-03_IdentiFlight-als-Schutzmassnahme-fuer-den-Seeadler_Abschlussbericht-IdentiFlight.pdf [Zugriff am 06.02.2024].