



**KNE | Kompetenzzentrum**  
Naturschutz und Energiewende



**SYNOPSIS**

# Detektionssysteme zur ereignisbezogenen Abschaltung von Windenergieanlagen zum Schutz von tagaktiven Brutvögeln

Stand: 1. September 2022, 3. Fortschreibung



# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	3
<b>Kamerasysteme</b>	
Artificial Vision Bird Detection .....	4
AVES Onshore Wind .....	6
Bioseco .....	8
BirdRecorder .....	10
BirdVision .....	12
DIGISEC .....	14
DTBird .....	16
IdentiFlight .....	18
ProBird .....	20
SafeWind .....	22
<b>Radarsysteme</b>	
BirdScan MS1 .....	24
RobinRadar MAX .....	26
<b>Systemkombination</b>	
MUSE (Multi-Sensor Monitoring System) .....	28
<b>Detektion landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsereignisse</b>	
ATEG SELA .....	30
Bioseco TDS .....	32
SafeWind .....	34
<b>Systemübersicht</b> .....	36
<b>Verzeichnis der Abkürzungen und spezifischer Begriffe</b> .....	37
<b>Quellen</b> .....	39



# Einleitung

Die Diskussion über mögliche Anwendungsbereiche von Antikollisionssystemen (AKS) und Leistungsanforderungen an AKS wurde in den vergangenen Jahren intensiv geführt ([s. Veröffentlichungen des KNE zu AKS](#)). Durch die Aufnahme als mögliche Schutzmaßnahme in das jüngst novellierte BNatSchG (§ 45b Absatz 2, Anlage Abschnitt 2) stellt sich die Frage, welche Systeme im Zuge von Erprobungen und Praxisanwendungen ihre fachliche Eignung und Wirksamkeit nachgewiesen haben und zudem marktverfügbar sind. Eine zusätzliche Herausforderung besteht in der Deckelung ihres Einsatzes durch die in § 45b Nr. 1 und 2 vorgesehene Zumutbarkeitsschwelle.

Was diese gesetzlichen Änderungen für die Praxis genau bedeuten, bleibt zu diskutieren und durch Handlungsempfehlungen fachlich zu untermauern. Fest steht, dass die bisherigen Überlegungen überprüft und neu bewertet werden müssen. Aus naturschutzfachlicher Sicht stellt sich die Frage, welche Systeme bzw. welche Systemeigenschaften vor diesem Hintergrund sinnvoll sind und wie diese Systeme am jeweiligen Standort eingesetzt werden können, um im gegebenen Rahmen die maximal mögliche Wirksamkeit zu entfalten.

Die Synopse, der in der Entwicklung befindlichen oder marktverfügbaren AKS, wurde zuletzt im Jahr 2020 aktualisiert. Im Zuge der jüngsten Datenauswertung zeigte sich, dass innerhalb der letzten zwei Jahre einige Systeme „hinzukamen“ (z. B. Artificial Vision, AVES Wind Onshore, DIGI-SEC) und darüber hinaus bereits bestehende Systeme wesentlich weiterentwickelt wurden. Insbesondere kann grundsätzlich eine Verbesserung der Erfassungsreichweite und des Klassifizierungserfolges beobachtet werden. Allerdings zeigt sich auch, dass die Entwicklung einzelner Systeme eingestellt oder eine weiterführende Entwicklung auf absehbare Zeit zunächst ausgesetzt wurde.

Mit dieser 3. Fortschreibung liefert das KNE einen Überblick über die Funktionsweise und den aktuellen Erkenntnisstand über die Leistungsfähigkeit der jeweiligen Technologie, zu den bisher bekannten Einschränkungen und zu den geplanten Vorhaben zur weiteren Entwicklung und Erprobung. Neu aufgenommen wurden Systeme zur Abschaltung während landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsereignisse.

Bei der Erarbeitung fanden fachwissenschaftliche Veröffentlichungen, Fachbeiträge und Herstellerdaten Verwendung. Darüber hinaus flossen Ergebnisse aus in Vorbereitung befindlichen, laufenden und abgeschlossenen Erprobungsvorhaben ein.

Informationen zu den einzelnen Systemen, die ohne Quellenangabe aufgeführt werden, basieren auf Herstellerangaben. Bei Interesse an Detailinformationen kann den weiterführenden Links gefolgt werden.

Die Systemübersicht umfasst eine Auswahl derjenigen Systeme, die nach Einschätzung des KNE das Potenzial besitzen aktuell und/oder zukünftig als Schutzmaßnahme eingesetzt zu werden. Die Angaben, insbesondere zur Erfassungsreichweite und Erfassungsrate bieten Orientierung für die Einschätzung der grundsätzlichen Eignung.

Die Synopse leistet einen wichtigen Beitrag, um den bevorstehenden Diskurs auf der Basis aktueller Informationen fundiert führen zu können. Sie erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Weitere Systeme befinden sich bereits auf dem Markt oder sind in der Entwicklung. Informationen über diese Systeme werden im Zuge weiterer Fortschreibungen zur Verfügung gestellt werden. Eine Empfehlung, welches System im Einzelfall in Frage kommt, wird nicht gegeben.



# Kamerasysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### Artificial Vision AIR DETECTION

[www.artificialvision.es](http://www.artificialvision.es)

#### Entwicklungsstand

- In der Erprobung.
- International in Betrieb (insb. Spanien).
- Marktverfügbar.

#### Anwendung/Eignung

- Vorbereitende Standortbewertung.
- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Ereignisbezogene Vergrämung.
- Monitoring der Flugaktivität an WEA.

#### Flugobjektdetektion

- Das System detektiert, verfolgt und identifiziert automatisiert Flugobjekte in Echtzeit bei Tageslicht (KI-basiert). Erfasst werden Flugobjektanzahl, Entfernung/ Position und Flugwege der Zielobjekte.
- Die Erfassungsreichweite liegt laut Hersteller bei maximal 600 Meter (m).
- Das System ist in unterschiedlichen Konfigurationen vorhanden: Anzahl der 4 K-Kameras variiert. Stereokamera paar optional.

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Erfassung und Dokumentation der Flugaktivität erfolgen im Anlagenumfeld, die Ausgabe der Flüge in 2D oder als Videosequenz.
- 4 Kameramodule (90° horizontale Abdeckung pro Kameraeinheit) decken ein Sichtfeld von 360° um die WEA ab. Alternativ: 4 Kamera paare zur Positionsbestimmung (Stereo-Optik).

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Ist möglich: 1) akustische Vergrämung, 2) ereignisbezogene Abschaltung.
- Lautstärke und Art des Signaltons können angepasst und variiert werden (130 Dezibel [dB]).

#### Montage

- Die Montage an Gondel und/oder WEA-Turm erfolgt ringförmig.
- Zur vorbereitenden Standortbewertung kann das System auf einem Container oder Fahrzeug montiert werden.

---

## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Verminderungsreaktionen

- Die akustische Vergrämung zählt in Deutschland aktuell nicht zu den anerkannten Schutzmaßnahmen. Eine (dauerhafte) Wirksamkeit akustischer Vergrämung ist bisher nicht belegt; ggf. resultiert daraus eine Störung nach § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> vgl. KNE 2021 (Abschlussbericht zum F+E-Vorhaben „Anforderungen an Überwachungs- und Abschaltssysteme an Windenergieanlagen“, Förderkennzeichen (FKZ) 3519861200, Laufzeit: 01.11.2019–30.11.2020), [Link zum Dokument](#).

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Bisher sind keine unabhängig erhobenen Daten über die Leistungsfähigkeit des Systems bekannt.

## Quellen und weiterführende Literatur

- Artificial Vision (2022a);
- Artificial Vision (2022b);
- Artificial Vision (o. J.).



# Kamerasysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### AVES Wind Onshore

[www.protecbird.com](http://www.protecbird.com)

#### Entwicklungsstand

- Optimierungsphase.
- In der Erprobung (mehrere Standorte in SH).

#### Anwendung/Eignung

- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Monitoring der Flugaktivität an WEA.

#### Flugobjektdetektion

- Das System leistet eine automatisierte Erfassung, Verfolgung und Identifizierung von Zielobjekten in Echtzeit bei Tageslicht.
- Die Erfassung bei Nacht ist durch die Ergänzung von IR-Scheinwerfern möglich; dann eingeschränkte Erfassungsreichweite. Bei abnehmender Lichtstärke wird das IR-Modul automatisch aktiviert.
- Die Flugobjekte werden zunächst in Zielobjekte bzw. Zielart (Vögel) und Nicht-Zielobjekte (Flugzeuge, Drohnen, Insekten, Wolken) bzw. Nicht-Zielart unterschieden. Anschließend Identifizierung der detektierten Vögel auf Artenebene (KI-basiert) ab zirka 1.000 m Entfernung.
- Das erlernte Artenspektrum umfasst bisher insb. kollisionsgefährdete Vogelarten (vgl. Anlage 1 Abschnitt 1 BNatSchG), wie Rotmilan, See-, Fischadler, Weißstorch und Weihen sowie nicht-kollisionsgefährdete Arten (u. a. Krähen, Möwen, Tauben).

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Erfassung und Dokumentation der Flugaktivität erfolgen im Umfeld der einzelnen WEA oder auch innerhalb ganzer Windparks.
- Das System besteht aus mehreren Kameramodulen (PTZ-Kameras: schwenk- und neigbare Zoomkameras, 17° vertikaler und 30° horizontaler Öffnungswinkel pro Kamera). Die für eine 360°-Abdeckung erforderliche Kameraanzahl ist standortspezifisch zu ermitteln.

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Die Kopplung an eine ereignisbezogene Abschaltung für projektspezifisch definierte Zielarten ist möglich.

#### Montage

- Die Montage am WEA-Turm ist auf unterschiedlichen Höhen möglich.

#### Daten aus der Erprobung

Vorläufige Erprobungsergebnisse (April/Mai bis Oktober 2021; unveröffentlicht):

- Erfassungsreichweite des Rotmilans:  
97 % auf 350–500 m Entfernung,  
95 % auf 500–1.000 m Entfernung,  
90 % auf mehr als 1.000 m Entfernung.
- Identifizierungserfolg für den Rotmilan:  
Innerhalb des Reaktionsbereichs (350–500 m): 89 %.  
Innerhalb des gesamten Erfassungsbereichs (500–1.000 m): 86 %.

---

## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Die Leistungsfähigkeit ist von den Sicht- und Lichtverhältnissen abhängig: Schwellenwerte bzw. Grenzen der Funktionalität in Abhängigkeit von Witterungsverhältnissen wurden bisher nicht veröffentlicht.
- Die Entfernungsmessung erfolgt in zwei Schritten: 1) Entfernungsabschätzung auf der Basis der automatischen Artbestimmung und einer artspezifischen Annahme der Flügelspannweite. 2) Entfernungsmessung mittels Triangulation über 2 Kameras an verschiedenen WEA.

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Systementwicklung und Erprobung gefördert durch das MWVATT SH (Laufzeit 03/2021 bis 03/2024).
- Laut Hersteller wird das System aktuell an mehreren Standorten in Schleswig-Holstein getestet. Eine unabhängige Erprobung ist für August/September 2022 vorgesehen. Der Bericht wird Ende 2022 erwartet.
- Die Verbesserung der Arterkennungsrate für bereits erlernte windenergiesensible Arten ist im Zuge der Systemoptimierung geplant.
- Weitere Arten sollen in das bestehende Spektrum der automatisierten Arterkennung aufgenommen werden.

## Quellen und weiterführende Literatur

- Clausen (schriftlich v. 10.06.2022);
- Clausen et al. (2022);
- ProTecBird (2022).



# Kamerasysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### Bioseco

[www.bioseco.com](http://www.bioseco.com)

#### Entwicklungsstand

- In der Erprobung (abgeschlossen: Deutschland, Polen, Spanien).
- International in Betrieb (Deutschland, Frankreich, Polen, Spanien).
- Marktverfügbar.

#### Anwendung/Eignung

- Vorbereitende Standortbewertung.
- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Ereignisbezogene Vergrämung.
- Monitoring der Flugaktivität an WEA.

#### Flugobjektdetektion

- Das System detektiert, verfolgt und klassifiziert automatisiert Flugobjekte in Echtzeit bei Tageslicht (über 50 Lux). Erfasst werden Anzahl, Größe, Entfernung, Höhe und Flugrichtung der Flugobjekte (KI-basiert).
- Die Erfassungsreichweite liegt laut Hersteller für Großvögel (bspw. Rotmilan) bei 450 m (BPS Premium Modell) bzw. 750 m (BPS Long Range Modell). Die Erfassungsrate beträgt dabei mindestens 75 %.
- Die Flugobjekte können auf der Basis der Flügelspannweite in unterschiedliche Größenklassen eingeteilt werden; Anzahl der Größenklassen projektspezifisch anpassbar.

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Die Erfassung und Dokumentation der Flugaktivität erfolgen im Anlagenumfeld; Datenausgabe als Bildmaterial und Videosequenz.
- Das System besteht aus 8 Kameramodulen mit je 2 oder 4 kombinierten 4K HD-Kameras (Stereo-Optik) und einer Videokamera. Dadurch wird eine 360°-Abdeckung um die WEA erreicht. Der vertikale Öffnungswinkel pro Modul beträgt 55° bzw. 65° und 45° horizontal.

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Ist möglich: 1) optische Vergrämung, 2) akustische Vergrämung, 3) ereignisbezogene Abschaltung.
- Lautstärke und Art des Signaltons können angepasst und variiert werden (0–124 dB; 2,4–6,5 Hz).

#### Montage

- Die Montage am WEA-Turm erfolgt ringförmig auf einer Höhe von 10–15 m (magnetisch oder mittels Stahlklemmen). Die Installation an einer freistehenden Turmkonstruktion ist ebenfalls möglich.

#### Daten aus der Erprobung

Erprobungsergebnisse BPS Premium (vgl. Szurley-Kielanska und Pilacka in press.):

- Erfassungsrate in Abhängigkeit von der Entfernung und der Vogelgröße: 94 % auf 400 m Entfernung (bspw. Mäusebussard); 93 % auf 500 m Entfernung (bspw. Rotmilan); 100 % auf 600 m Entfernung (bspw. Seeadler).
- Klassifizierungserfolg: 91 % für mittelgroße/große Vögel.

Erprobungsergebnisse Vorgängermodell (vgl. Aschwanden und Liechti 2019):

- Erfassungsreichweite des Rotmilans: 97 % auf 200 m Entfernung, 68 % auf 200–300 m Entfernung, 22 % auf 300–350 m Entfernung, 12,5 % auf 350–400 m Entfernung.
- Klassifizierungserfolg: Rotmilane wurden zu 50 % richtig klassifiziert (groß/mittel). Falsch-Positiv-Rate: 7 %. Falsch-Negativ-Rate: 6 %.



## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Eine automatisierte Flugobjektidentifizierung auf Artenebene ist nicht möglich.
- Die Leistungsfähigkeit ist von den Sicht- und Lichtverhältnissen abhängig: Bei Nebel oder Regen ist die Funktionalität nicht gewährleistet (Bioseco 2022a).
- Das System deckt den Bereich über dem Boden, in einer Höhe von 10 bis 15 m, sowie direkt über der WEA optisch nicht ab.

### Verminderungsreaktionen

- Die optische sowie die akustische Vergrämung zählen in Deutschland aktuell nicht zu den anerkannten Schutzmaßnahmen. Eine (dauerhafte) Wirksamkeit optischer und akustischer Vergrämung ist bisher nicht belegt; ggf. resultiert daraus eine Störung nach § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG.

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Die unterschiedlichen Modelle (Standard, Standard Plus, Premium) wurden bereits erprobt (Polen, Spanien, Deutschland), die Erprobungsberichte wurden teilweise veröffentlicht.
- Im Anschluss an die Erprobung auf dem Windtestfeld WinForS (NatForWINSSENT II; vgl. Aschwanden und Liechti 2019) wurde das System weiterentwickelt.
- Für den deutschen Markt wurde ein weiteres Modell mit größerer Erfassungsreichweite entwickelt (BPS Long Range). Die im Feld ermittelte Erfassungsrate beträgt laut Hersteller 97 % auf 500 m und 91 % auf 700 m Entfernung (BioConsult SH, unveröffentlichtes Gutachten).

## Quellen und weiterführende Literatur

- Aschwanden und Liechti (2019);
- Bioseco (2022a);
- Bioseco (2022b);
- Gradolewski et al (2021);
- KNE (2021a, 2021b);
- Szurlej-Kielanska und Pilacka (in press.)
- Windpower Monthly News (2021).



# Kamerasysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### BirdRecorder

[www.zsw-bw.de](http://www.zsw-bw.de)

#### Entwicklungsstand

- In der Entwicklungsphase.
- Erprobung für 2023 geplant (BW).
- Markteinführung für 2024 geplant.

#### Anwendung/Eignung

- Vorbereitende Standortbewertung.
- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Monitoring der Flugaktivität an WEA.

#### Flugobjektdetektion

- Das System erfasst, verfolgt und identifiziert Vögel in Echtzeit. Die Positionsbestimmung der Vögel wird automatisiert durchgeführt.
- Die Erfassungsreichweite liegt laut Entwickler bei 400 m (1. Version) bzw. 700–900 m für Vögel der Größenklasse eines Milans.
- Eine automatisierte Arterkennung (Milane) in Echtzeit ist ab einer Entfernung von 700 m möglich (KI-basiert, 2. Version).

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Das System umfasst 8 statisch montierte Kameras für die Objekterkennung und ein zweiachsig nachgeführtes Stereo-Kamerapaar mit Teleoptik für die Bestimmung der Vogelart, der Flugbahnen und der Flugmuster. Ein Sichtfeld von 360° wird dadurch abgedeckt.

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Die Kopplung an eine ereignisbezogene Abschaltung für Rotmilan/Schwarzmilan ist in der Entwicklung.

#### Montage

- Aktuell als freistehendes System konzipiert (stand alone-System).
- Die Anzahl der durch ein System abdeckbaren WEA ist vom Layout des Windparks (WP) abhängig.

#### Daten aus Pre-Testung (Herstellerangaben):

- Erfassungsreichweite: 400 m für Größenklasse Milan (1. Version)  
700–900 m für Größenklasse Milan (2. Version).
- Erkennungsrate: 91 % für Milane bis 400 m (1. Version).
- Zur Erfassungsrate liegen derzeit keine Angaben des Herstellers vor.

---

## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Die automatisierte Arterkennung ist bisher ausschließlich für Milane vorgesehen.

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Bisher liegen kaum unabhängig erhobene Daten über die Leistungsfähigkeit vor. Erste Testläufe teils vorläufiger Versionen sind abgeschlossen, Berichte sind bisher unveröffentlicht.
- Funktionstests der weiterentwickelten Version sind abgeschlossen. Überprüfung der Leistungsfähigkeit im Feld ist für 2023 vorgesehen.
- Erweiterung der Detektion um eine bedarfsgerechte Abschaltung von WEA ist in der Entwicklung. Zudem sollen weitere kollisionsgefährdete Vogelarten „erlernt“ werden.
- Die Montage am WEA-Turm mit angepasster Systemkonfiguration (zwei Stereo-Kamera-paare) ist vorgesehen. Dadurch wird eine Erschließung von bspw. Waldstandorten möglich.

## Quellen und weiterführende Literatur

- BfN (2022);
- KNE (2021a, 2021b);
- Musiol und Kaifel (schriftlich v. 27.06.2022);
- ZSW (2022).



# Kamerasysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### BirdVision

<https://birdvision.org>

#### Entwicklungsstand

- In der Optimierungsphase.
- In der Erprobung (BW, SL).
- Bestandteil einer Genehmigung (BW).

#### Anwendung/Eignung

- Vorbereitende Standortbewertung.
- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Monitoring der Flugaktivität an WEA.

#### Flugobjektdetektion

- Das System kann in Echtzeit bei Tageslicht Flugobjekte automatisiert erfassen, verfolgen und identifizieren. Die Ermittlung der Fluggeschwindigkeit, Flugrichtung sowie Position bzw. Entfernungsmessung durch den Einsatz von Stereokameras ist möglich.
- Identifizierung der Flugobjekte auf Gattungsebene für Milane, Bussarde und Falken (KI-basiert); nicht-vogelartige Flugobjekte werden ausgeschlossen. Laut Hersteller ist eine Einteilung in Größenklassen zudem möglich.
- Maximale Erfassungsreichweite für Großvögel (Rotmilan, Mäusebussard) auf eine Entfernung von zirka 500 m (neue Systemgeneration; vgl. Tkacz und Mehrgott 2022b).

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Erfassung und Dokumentation der Flugaktivität im Anlagenumfeld; Ausgabe der Flugwege in 3D, Bildmaterial und Videosequenzen.
- 6 Stereokameramodule decken ein Sichtfeld von 360° um die WEA ab.

#### Kopplung an Verminderungsreaktion

- Die Kopplung an eine ereignisbezogene Abschaltung abhängig von der Gefahrensituation ist vorgesehen (Flugrichtung, Geschwindigkeit, Position). Einsatz des Fleximaus-Systems<sup>2</sup> zur Übermittlung des Abschaltsignals.

<sup>2</sup> Link zur Internetseite: <https://www.fleximaus.de/> (letzter Zugriff: 16.08.2022).

#### Montage

- Die Montage erfolgt ringförmig am WEA-Turm auf 10–30 m Höhe (Turmfuß bis über Wald). Ein freistehendes System (stand alone-System) ist ebenfalls verfügbar.

#### Daten aus der Erprobung

Vorläufige Erprobungsergebnisse (neue Systemgeneration; April bis August 2022, bisher 2 Untersuchungstage à 3 h im Offenland um 2 WEA ausgewertet, vgl. Tkacz & Mehrgott 2022b):

Von 85 Greifvogelflügen in einem 200 m-Radius wurden 79 detektiert; davon lösten 23 Detektionen kein Stoppsignal aus (hier: 21 Flüge außerhalb und 2 Flüge innerhalb des Reaktionsbereichs von 200 m). 8 Flugbewegungen außerhalb des 200 m-Radius wurden nicht detektiert.

## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Im Grenzbereich der Detektion (za. 500 m Radius) und im bodennahen Bereich scheint die Erfassungsrate begrenzt zu sein. Fehlender Kontrast zum Hintergrund und die bisher noch nicht implementierte kameraübergreifende Detektion werden als mögliche Ursachen angegeben (Tkacz und Mehrgott 2022b).

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Erprobungen des Vorgängermodells aus 2019 sind abgeschlossen. Kurzbericht liegt vor (vgl. Tkacz und Mehrgott 2022a). Veröffentlichung des vollständigen Gutachtens für 2022 geplant.
- Erste Zwischenauswertung für die aktuelle Systemgeneration liegt vor (vgl. Tkacz und Mehrgott 2022b).
- Optimierung und Weiterentwicklung des Systems wird durch das BMWK gefördert (Laufzeit: 01.11.2019 bis 31.12.2022). Entwicklungsziele sind: eine Ausweitung der Arterkennung auf weitere Vogelarten (insb. Seeadler, Störche), eine Erhöhung der Erfassungsreichweite, eine Reduktion von Fehlauflösungen, eine weiterführende Automatisierung und eine kontinuierliche Erprobung auf 8 Standorten (BW, SL) (BMWK o. J., BirdVision 2020b).

## Quellen und weiterführende Literatur

- BirdVision (2020a);
- BirdVision (2020b);
- BMWK (o. J.);
- KNE (2021a; 2021b);
- Mehrgott (2019);
- Tkacz und Mehrgott (2022a; 2022b).



# Kamerasysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### DIGISEC

[www.digisec.gr](http://www.digisec.gr)

#### Entwicklungsstand

- In der Optimierungsphase.
- In der Erprobung (abgeschlossen: Griechenland).
- In Betrieb (Griechenland, Italien).
- Marktverfügbar.

#### Anwendung/Eignung

- Vorbereitende Standortbewertung.
- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Ereignisbezogene Vergrämung.
- Monitoring der Flugaktivität an WEA.

#### Flugobjektdetektion

- Das Kamerasystem erfasst und verfolgt vogelartige Flugobjekte bei Tageslicht und Dämmerung in Echtzeit.
- Die maximale Erfassungsreichweite liegt laut Hersteller bei 800 m.
- Optional: Ergänzung mit Wärmebildkameras zur Detektion während der Nacht und zu Zeiten mit erschwerten Sichtverhältnissen (bspw. Nebel).
- Automatisierte Flugobjektklassifikation in vogelartige Flugobjekte und nicht-vogelartige Flugobjekte (KI-basiert).
- Annahme zur Flugrichtung des Vogels durch Größer- bzw. Kleinerwerden der Pixelwolke. Abschätzung der Entfernung auf der Basis der Flügelspannweite (Vogel nähert oder entfernt sich von der WEA).

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Erfassung und Dokumentation des Flugverhaltens; Ausgabe der Detektionen in Bildern und Videosequenzen.
- Eine räumliche Abdeckung von 114° horizontal und 59° vertikal pro Kamera ist gewährleistet. Eine 360°-Abdeckung wird durch 4 Kameras erreicht (8K HD-Kameras/Starlight Kameras). Eine Erweiterung um je eine weitere Kamera pro Modul ist optional.

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Ist möglich: 1) akustische Warnung (bis 150 dB, anpassbar) und 2) ereignisbezogene Abschaltung. Laut Hersteller ist ein Reaktionsbereich um die WEA von 218,5 m-Radius von der WEA-Nabe vorgesehen. Die akustische Vergrämung wird ab einer Entfernung von zirka 170 m von der WEA ausgelöst (abhängig vom WEA-Typ).

#### Montage

Die Montage erfolgt am WEA-Turm in 9,5 m Höhe (magnetisch); die Kameras werden im 45°-Winkel nach oben ausgerichtet.

#### Daten aus der Erprobung

Erste Erprobungsergebnisse (vgl. Sachpazis et al. 2022; Detektionen: n = 487; Beobachtungen an 21 Tagen: n = 65):

- Maximale Erfassungsreichweite: 660 m Entfernung.
- Falsch-Negativ-Rate: 4,62 %; Falsch-Positiv-Rate: 5,75 %.

## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Eine automatisierte Identifizierung von Arten ist nicht vorgesehen.
- Die tatsächliche Entfernung des Vogels zum System bzw. der WEA wird nicht ermittelt.
- Die Leistungsfähigkeit ist abhängig von Sicht- und Lichtverhältnissen (vgl. Sachpazis et al. 2022). Einsatz von Wärmebildkameras in Zeiten mit erschwerten Sichtverhältnissen wird vom Hersteller empfohlen.
- Optische Abdeckung bodennaher Schichten durch Ausrichtung der Kameras (45° nach oben) nicht gegeben. Flüge (< 50 m über Boden) werden häufig nicht erfasst. Eine Verbesserung der räumlichen Abdeckung wird durch die Anpassung der Kameraausrichtung erreicht (ebd.).

### Verminderungsreaktion

- Die akustische Vergrämung zählt in Deutschland aktuell nicht zu den anerkannten Schutzmaßnahmen. Eine (dauerhafte) Wirksamkeit akustischer Vergrämung ist bisher nicht belegt; ggf. kann daraus eine Störung nach § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG resultieren.<sup>3</sup>
- <sup>3</sup> vgl. KNE 2021 (Abschlussbericht zum. F+E-Vorhaben „Anforderungen an Überwachungs- und Abschaltssysteme an Windenergieanlagen“, Förderkennzeichen (FKZ) 3519861200, Laufzeit: 01.11.2019 bis 30.11.2020), [Link zum Dokument](#).

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Empirische Nachweise über die Leistungsfähigkeit des Systems sind bisher begrenzt. Eine erste unabhängige Erprobung in Griechenland ist abgeschlossen (Sachpazis et al. 2022). Der Bericht ist veröffentlicht. Daten zur artspezifischen Erfassungsrate in Abhängigkeit zur Erfassungsreichweite wurden im Rahmen der Studie nicht erhoben.

## Quellen und weiterführende Literatur

- Sergianidis (schriftlich v. 10.06.2022);
- DIGISEC (2022);
- Sachpazis et al. (2022).



# Kamerasysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### DTBird

<https://dtbird.com>

#### Entwicklungsstand

- In der Erprobung (u. a. Frankreich, USA; abgeschlossen: Deutschland, Norwegen, Schweden, Schweiz).
- International in Betrieb.
- Marktverfügbar.

#### Anwendung/Eignung

- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Ereignisbezogene Vergrämung.
- Monitoring der Flugaktivität an WEA.
- Monitoring der Kollisionsereignisse.

#### Flugobjektdetektion

- Automatisierte Flugobjekterkennung und Verfolgung in Echtzeit bei Tag (größer 100 Lux) und optional bei Nacht (Wärmebildkamera).
- Maximale Erfassungsreichweite in Abhängigkeit zur Flügelspannweite laut Hersteller (DTBird V6LD Modell):  
285–310 m bei einer Flügelspannweite von 66–72 cm.  
415–500 m bei einer Flügelspannweite von 96–116 cm.  
990–1.145 m bei einer Flügelspannweite von 230–265 cm.

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Erfassung und Dokumentation des Flugverhaltens im Anlagenumfeld; Ausgabe als Video- und Audiodateien.
- Horizontales Sichtfeld von 360° um WEA und 150° vertikal möglich in Abhängigkeit der Kameraanzahl (4–8 HD-Kameras, Halbkugel).

#### Kopplung an Verminderungsreaktion

- Kopplung an unterschiedliche Verminderungsreaktionen möglich:  
1) akustische Warnung, 2) akustische Vergrämung, 3) ereignisbezogene Abschaltung.
- Lautstärke und Art des Signaltons anpassbar und variierbar. Das Signal deckt den Rotorbereich ab.

#### Montage

- Die Montage erfolgt am WEA-Turm oder Windmessmasten auf 10–50 m Höhe. Werden Lautsprecher eingesetzt, werden diese auf der Gondel installiert.

#### Daten aus der Erprobung

- Die Erfassungsrate bei großen Vögeln, hier Seeadler (Vorgängermodell; May et al. 2012): 86–96 % auf 150 m Entfernung, 76–92 % auf 300 m Entfernung.
- Erfassungsrate von 51 % in einer Entfernung von über 230 m von der WEA, mehr als 85 % in einer Entfernung von 80–140 m (Drohne, Steinadler; vgl. Harvey & Associates 2018).
- Vergrämungsreaktion bei 52–83 % der Steinadler und bei 39–78 % für alle Greifvögel (vgl. Harvey & Associates 2018).
- Vergrämungsreaktion bei 88 % der detektierten Vögel (vgl. Litsgård et al. 2016).



## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Eine automatisierte Identifizierung von Arten oder vogelartigen Flugobjekten ist nicht vorgesehen.
- Die tatsächliche Entfernung des Vogels zum System bzw. zur WEA wird nicht ermittelt.
- Die Leistungsfähigkeit ist abhängig von Sicht- und Lichtverhältnissen, insbesondere vom Sonnenstand.
- Das System weist eine Falsch-Positiv-Rate von 32 % (vgl. Sprötge 2019) bzw. 36 % (vgl. Harvey & Associates 2018) bzw. 69,5 % (vgl. Aschwanden et al. 2015) auf.

### Verminderungsreaktion

- Eine Erfassungsreichweite von zirka 400 m wäre knapp ausreichend, um eine rechtzeitige Abschaltung auszulösen, sofern für die betroffene Vogelart (bei einer Trudelzeit von 20 Sekunden) eine mittlere Fluggeschwindigkeit von < 20 m/Sek. anzunehmen ist<sup>4</sup>.
- <sup>4</sup> vgl. KNE 2021 (Abschlussbericht zum. F+E-Vorhaben „Anforderungen an Überwachungs- und Abschaltssysteme an Windenergieanlagen“, FKZ 3519861200, Laufzeit: 01.11.2019 bis 30.11. 2020), [Link zum Dokument](#).
- Die akustische Vergrämung zählt in Deutschland aktuell nicht zu den anerkannten Schutzmaßnahmen. Eine (dauerhafte) Wirksamkeit akustischer Vergrämung ist bisher nicht belegt; ggf. kann daraus eine Störung nach § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG resultieren.

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Das System wurde in Deutschland erprobt (vgl. Sprötge 2019). Der Endbericht wurde bislang nicht publiziert.
- Das System wurde international bereits mehrfach erprobt und anschließend weiterentwickelt (s. weiterführende Literatur). Aktuell ist eine Weiterentwicklung und Erprobung des V4D8 Modells in den USA sowie die Erprobung des V4D6 Modells in Frankreich (MAPE Projekt)<sup>4</sup> vorgesehen.
- <sup>4</sup> Link zur Internetseite des Forschungsprojektes: <https://mape.cnrs.fr/>. Projektlaufzeit bis 2023
- Laut Hersteller stehen insbesondere die Verbesserung der Erfassungsrate, die Reduzierung der Falsch-Positiv-Rate, die Entwicklung einer automatisierten Flugobjektidentifikation und die Abschätzung der Flugobjektposition im Fokus.

## Quellen und weiterführende Literatur

- Aschwanden et al. (2015);
- Bonacchi (schriftlich v. 15.06.2022);
- DTBird (2022);
- Harvey & Associates (2018);
- KNE (2019, S. 27ff);
- Litsgård et al. (2016);
- May et al. (2012);
- Sprötge (2019).



# Kamerasysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### IdentiFlight

[www.e3-identiflight.de](http://www.e3-identiflight.de)

#### Entwicklungsstand

- Erprobung für Rotmilan und Seeadler bereits abgeschlossen (Deutschland: BW, BB, BY, HE, MV, SH, ST; Österreich, Frankreich, Schweden, USA)<sup>5</sup>.
- In der Optimierungsphase für Schreiadler und weitere Arten.
- International in Betrieb (insb. Australien, USA).
- Bestandteil von Genehmigungen (MV, SH).
- Die Marktverfügbarkeit ist begrenzt.

#### Anwendung/Eignung

- Vorbereitende Standortbewertung.
- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Monitoring der Flugaktivität an WEA.

<sup>5</sup> Das durch e3 vertriebene System wurde für die in Deutschland geltenden naturschutzfachlichen und artenschutzrechtlichen Gegebenheiten gezielt weiterentwickelt und ist hinsichtlich der Leistungsfähigkeit nicht direkt mit den in anderen Ländern eingesetzten bzw. erprobten IDF-Systemen vergleichbar. Hier existieren weitere Veröffentlichungen, die überwiegend die Erfassung und Identifikation von Adlerarten zum Gegenstand haben (vgl. McClure et al. 2021, 2018; Ottvall 2021).

#### Flugobjektdetektion

- Das Kamerasystem leistet bei Tageslicht eine automatisierte Erfassung, Verfolgung, Positionsbestimmung, Identifizierung und Klassifizierung von Vögeln in Echtzeit (KI-basiert). Nicht-vogelartige Flugobjekte werden ausgeschlossen.
- Die Erfassungsreichweite von Groß- und Greifvögeln ist in Abhängigkeit der Flugobjektgröße im Radius von bis zu 1.200 m möglich.
- Position (3D), Flugrichtung und -muster sowie Fluggeschwindigkeit, Flügelspannweite, Körperlänge und Färbung des Flugobjektes werden ermittelt.
- Die automatisierte Arterkennung ist für Milane, Steinadler und Seeadler möglich.

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Erfassung und Dokumentation der Flugaktivität im weiteren Anlagenumfeld; Ausgabe als Bilddatei und 3D-Tracks.
- Ein kombiniertes Kamerasystem (8 Weitwinkelkameras, 1 schwenkbare hochauflösende Stereokamera) decken ein Sichtfeld von 360° um das System ab. Im Bereich über dem System ergibt sich eine Erfassungslücke.

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Eine ereignisbezogene Abschaltung unter Berücksichtigung der Entfernung zur WEA, der Fluggeschwindigkeit, des Flugweges und des Flugmusters ist implementiert.
- Der durch den Hersteller definierte Reaktionsbereich umfasst zwei Zylinder um eine WEA (s. Reichenbach und Reers 2021; S. 12). Standortspezifische Anpassungen sind möglich.

#### Montage

- Die Montage erfolgt in etwa 10 m Höhe (Turmkonstruktion und Container). Für Waldstandorte kann die Installation auf einem Turm mit bis zu 42 m Höhe vorgesehen werden. Standortspezifische Anpassung der Turmhöhe ist möglich.
- Systemposition ist zirka 100–150 m von der WEA entfernt. Mehrere WEA können mit einem System abgedeckt werden; abhängig von WP-Layout.

#### Daten aus der Erprobung

Erprobungsergebnisse von 6 Standorten (Milane; vgl. Reichenbach und Reers 2021):

- Erfassungsreichweite: 750 m, Erfassungsrate: 93–96 %, Klassifizierungserfolg: 96–98 %, Falsch-Negativ-Rate: 2,5–4 %; Falsch-Positiv-Rate: 2–16 %, rechtzeitige Abschaltung: 77–91 %.

## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Die Leistungsfähigkeit wird von den Sicht- und Lichtverhältnissen beeinflusst (gute Bedingungen: 90 % Erfassungsrate bei 750 m; schlechte Bedingungen: 91 % Erfassungsrate bei 600 m; vgl. Aschwanden und Liechti 2020).
- Es ergibt sich ein „blinder Fleck“ im Bereich der Sonne von  $< 5^\circ$  (vgl. Reichenbach und Reers 2021).
- Bei fehlendem Kontrast zum Hintergrund vermindert sich die Erfassungsrate.
- Die zeitgleiche Positionsbestimmung mehrerer Vögel ist nicht uneingeschränkt möglich. Das System priorisiert und verfolgt das am meisten gefährdete Individuum. Eine Verbesserung durch den Einsatz weiterer Systeme ist möglich.

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Das System wurde auf Offenland-Standorten für den Rotmilan umfassend erprobt (auch mit WEA). Ergebnisse wurden publiziert (vgl. Reichenbach und Reers 2021).
- Die Ergebnisse aus weiterführenden Erprobungen werden in der 2. Jahreshälfte 2022 erwartet (insb. Seeadler).
- Erstmals findet eine Erprobung unter Einsatz eines 42-Meter-Turms auf einem Waldstandort statt (Beobachtungsstart August 2022; Projektlaufzeit bis 2026).
- Weitere Arten sollen in das bestehende Spektrum der automatisierten Arterkennung aufgenommen werden (insb. Schreiadler, Schwarzstorch).

## Quellen und weiterführende Literatur

- Aschwanden und Liechti (2020);
- E3 IdentiFlight (o. J.);
- KNE (2021a, 2021b, 2021c);
- Reichenbach und Reers (2021).



# Kamerasysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### ProBird

[www.sensoflife.com](http://www.sensoflife.com)

#### Entwicklungsstand

- In der Optimierungsphase.
- In der Erprobung (Frankreich, abgeschlossen: Deutschland).
- International in Betrieb (insb. Frankreich sowie Spanien, Belgien, Deutschland).
- Marktverfügbar.

#### Anwendung/Eignung

- Vorbereitende Standortbewertung.
- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Ereignisbezogene Vergrämung.
- Monitoring der Flugaktivität an WEA.
- Monitoring von Kollisionsereignissen.

#### Flugobjektdetektion

- Das Kamerasystem erfasst und verfolgt vogelartige Flugobjekte bei Tageslicht und Dämmerung (0,001 Lux) in Echtzeit.
- Optional: Infrarot-Kameras zur Detektion während der Nacht und zu Zeiten mit erschwerten Sichtverhältnissen (bspw. Nebel).
- Die maximale Erfassungsreichweite liegt laut Hersteller bei 1.200 m für Großvögel (bspw. Störche, Adlerarten) und bei 800 m für mittelgroße Vögel (insb. Milane, Bussarde).
- Automatisierte Flugobjekterkennung durch Abgleich von Größe, Fluggeschwindigkeit, Silhouette und Gefiederfarbe. Es erfolgt eine Zuordnung zu 4 unterschiedlichen Gruppen: (1) Adlerarten/Geier, (2) Milane/Bussarde, (3) Sperber, Falkenarten, Möwen, (4) Singvögel. Nicht-vogelartige Flugobjekte werden herausgefiltert (KI-basiert).

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Erfassung und Dokumentation des Flugverhaltens und der Kollisionsereignisse; Ausgabe als Bilddatei oder Videosequenzen.
- Eine räumliche Abdeckung von 90° horizontal und 120° vertikal pro Weitwinkel-Kamera ist gewährleistet. Eine 360°-Abdeckung wird durch eine Erhöhung der Kameraanzahl möglich (8 Megapixel [MP] HD-Kameras: 350–950 Nanometer [nm]).

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Ist möglich: 1) akustische Warnung und 2) ereignisbezogene Abschaltung. Der erforderliche Reaktionsbereich kann im Einzelfall in Abhängigkeit zu der Rotordrehzahl automatisch ermittelt werden.

#### Montage

- Die Montage erfolgt am WEA-Turm in 5–20 m Höhe (geklebt oder magnetisch); Überwachung der benachbarten WEA in zirka 400–500 m Entfernung durch die horizontale Ausrichtung der Kameras. Dadurch ergibt sich ein Reaktionsbereich von etwa 300 m.

#### Daten aus der Erprobung

Erprobungsergebnisse (unabhängige Drohmentests) bei guten Sichtverhältnissen; extrapoliert [n = 428]. Vgl. Lagrange und Rico 2019a und 2019b:

- Erfassungsreichweite in Abhängigkeit vom Anflugwinkel: 272–883 m (Rotmilan); 0–702 m (Schwarzmilan), 181–634 m (Mäusebussard),
- Erfassungsrate: Hersteller garantiert eine Falsch-Negativ-Rate von maximal 10 % und eine Falsch-Positiv-Rate von maximal 14 % der Flüge im Erfassungsbereich.

## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Eine automatisierte Identifizierung auf Artenebene ist nicht möglich.
- Die Leistungsfähigkeit ist abhängig von den Sichtverhältnissen und der Objektgröße (vgl. Lagrange und Rico 2019; S. 10). Das System meldet, wenn Funktionalität aufgrund schlechter Sichtverhältnisse nicht mehr gegeben ist.
- Die tatsächliche Entfernung des Vogels zum System bzw. der WEA wird nicht direkt gemessen. Es erfolgt eine Entfernungsabschätzung auf der Basis der Flughöhe, -geschwindigkeit und der Flugobjektgröße. Laut Hersteller liegt die Genauigkeit der ermittelten Position bei etwa 50 % (vgl. Rico und Lagrange 2022).
- Falsch-Positiv-Rate wird insbesondere durch dunkle Wolken beeinflusst (vgl. Lagrange und Rico 2019).

### Verminderungsreaktion

- Die akustische Vergrämung zählt in Deutschland aktuell nicht zu den anerkannten Schutzmaßnahmen. Eine (dauerhafte) Wirksamkeit akustischer Vergrämung ist bisher nicht belegt; ggf. kann daraus eine Störung nach § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG resultieren.<sup>6</sup>
- <sup>6</sup> vgl. KNE 2021 (Abschlussbericht zum. F+E-Vorhaben „Anforderungen an Überwachungs- und Abschaltssysteme an Windenergieanlagen“, FKZ 3519861200, Laufzeit: 01.11.2019 bis 30.11. 2020), [Link zum Dokument](#).
- Die durch Drohnentests ermittelte und extrapolierte artspezifische Erfassungsbereichweite ist sehr variabel. Bei weiteren Abständen zwischen den WEA (System deckt benachbarte WEA optisch ab) und bei höheren Fluggeschwindigkeiten der Vögel ist der dadurch mögliche Reaktionsbereich ggf. nicht ausreichend, um eine ereignisbezogene Abschaltung rechtzeitig auszulösen. Der Hersteller strebt einen Reaktionsbereich von 300 m für den Rotmilan an.

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Empirische Nachweise über die Leistungsfähigkeit sind bisher begrenzt. Eine erste unabhängige Erprobung in Deutschland ist abgeschlossen (2017–2019), der Bericht ist bisher unveröffentlicht.
  - Das System wird aktuell in Frankreich (MAPE-Projekt)<sup>7</sup> erprobt.
- <sup>7</sup> Link zur Internetseite des Forschungsprojektes: <https://mape.cnrs.fr/>. Projektlaufzeit bis 2023.
- Eine kontinuierliche Optimierung des Systems ist laut Hersteller vorgesehen (insb. Reduzierung der Falsch-Positiv-Rate).

## Quellen und weiterführende Literatur

- Lagrange (schriftlich v. 01.07.2022);
- Lagrange und Rico (2019a);
- Lagrange und Rico (2019b);
- Rico und Lagrange (2022);
- Sens of Life (2019).



# Kamerasysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### SafeWind

[www.biodiv-wind.com](http://www.biodiv-wind.com)

#### Entwicklungsstand

- In der Erprobung (Spanien; abgeschlossen: Deutschland, Frankreich).
- International in Betrieb (insb. Frankreich, Spanien, Deutschland).
- Teil einer Genehmigung (NW).
- Marktverfügbar.

#### Anwendung/Eignung

- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Ereignisbezogene Vergrämung.
- Monitoring der Flugaktivität an WEA.

#### Flugobjektdetektion

- Das System erfasst und verfolgt automatisiert Flugobjekte in Echtzeit bei Tag (> 0,1 Lux) und optional bei Nacht per Infrarot (< 0,1 Lux).
- Die maximale Erfassungsreichweite für das Modell 4K der 2. Version liegt laut Hersteller bei zirka 950 m (für mittelgroße Greifvögel, bspw. Rotmilan; extrapolierte Werte).
- Herausfiltern von nicht-vogelartigen Flugobjekten (KI-basiert). Laut Hersteller ist eine automatisierte Identifizierung von Artengruppen möglich (2. Version).

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Erfassung und Dokumentation des Flugverhaltens im Anlagenumfeld; Ausgabe von Videosequenzen und Statistiken.
- Eine Sichtfeldabdeckung von 360° um die WEA in Abhängigkeit von der Kameraanzahl ist möglich (Halbkugel: 8 HD-Weitwinkelkameras, 2K oder 4K; Öffnungswinkel von Konfiguration abhängig, bspw. horizontal: 110°, vertikal: 58°).

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Ist vorgesehen: 1) ereignisbezogene Abschaltung und 2) akustische Warnung (optional, max. 120 dB; Lautstärke und Signalton variierbar). Reaktionsbereich standortspezifisch anpassbar.

#### Montage

- Die Montage erfolgt am WEA-Turm auf 5–15 m Höhe. Abhängig von den Abständen zwischen den WEA, können auch benachbarte WEA durch das System optisch abgedeckt werden. Dadurch kann die Anzahl der für einen WP benötigten Systeme reduziert werden.

#### Daten aus der Erprobung

Erprobungsergebnisse (vgl. Exen 2021; Lackmann 2020):

- Erfassungsrate (Rotmilan): 84 bis 93 % auf eine Entfernung von 270 m (auf Rotorhöhe).  
Erfassungsrate (Schwarzstorch): 100 % auf eine Entfernung von 337 m (auf Rotorhöhe).  
1K-Kameras: 330 m (Rotmilan) und 397 m (Schwarzstorch).  
2K Kameras: 455 m (Drohnentest, Spannweite: 1,15 m).
- Erfassungsrate: Falsch-Positiv-Rate von 5 % (2. Version; Jahresdurchschnitt).

## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Die tatsächliche Entfernung des Vogels zum System bzw. der WEA wird nicht gemessen. Es erfolgt eine Abschätzung auf der Basis der Flugobjektgröße.
- Die Leistungsfähigkeit ist von den Sicht-/Lichtverhältnissen abhängig. Das System sieht eine kontinuierliche Ermittlung der Sichtverhältnisse vor (Visibilimeter).
- Bei fehlendem Kontrast zum Hintergrund vermindert sich die Leistungsfähigkeit (vgl. Lackmann 2020). Laut Hersteller wird eine Verbesserung durch die Installation der Kameras am unteren Teil der WEA erreicht.

### Verminderungsreaktionen

- Die akustische Vergrämung zählt in Deutschland aktuell nicht zu den anerkannten Schutzmaßnahmen. Eine (dauerhafte) Wirksamkeit akustischer Vergrämung ist bisher nicht belegt; ggf. kann daraus eine Störung nach § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG resultieren.
- Eine Erfassungsreichweite von zirka 400 m wäre knapp ausreichend, um eine rechtzeitige Abschaltung auszulösen, sofern für die betroffene Vogelart (bei einer Trudelzeit von 20 Sekunden) eine mittlere Fluggeschwindigkeit von < 20 m/Sek. anzunehmen ist. Die Erfassungsreichweite der bisher erprobten Systemversionen (1K und 2K) sind ggf. nicht ausreichend, um eine ereignisbezogene Abschaltung bei höheren Fluggeschwindigkeiten der Vögel rechtzeitig auszulösen.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> vgl. KNE 2021 (Abschlussbericht zum. F+E-Vorhaben „Anforderungen an Überwachungs- und Abschaltssysteme an Windenergieanlagen“, FKZ 3519861200, Laufzeit: 01.11.2019 bis 30.11. 2020), [Link zum Dokument](#).

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Vorgängermodelle des Systems wurden in den letzten Jahren an zwei Standorten erprobt (Deutschland und Frankreich). Die Berichte liegen vor (vgl. Exen 2021; Lackmann 2020). Das neuere Modell (2. Version) wird aktuell in Spanien erprobt. Eine weitere Erprobung ist in Frankreich im Zuge des MAPE-Projektes<sup>9</sup> vorgesehen.
- <sup>9</sup> Link zur Internetseite des Forschungsprojektes: <https://mape.cnrs.fr/>. Projektlaufzeit bis 2023.
- Laut Hersteller ist eine weitere Systemgeneration (3. Version) in der Entwicklung und sieht die automatische Identifikation von Vogelarten vor (KI-basiert).

## Quellen und weiterführende Literatur

- Biodiv-Wind (2022);
- Exen (2021);
- KNE (2021a, 2021b);
- Lackmann (2020).



# Radarsysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### BirdScan MS1

[www.fefa-wind.de](http://www.fefa-wind.de)

[www.swiss-birdradar.com/home.html](http://www.swiss-birdradar.com/home.html)

#### Entwicklungsstand

- In der Optimierungsphase.
- In der Erprobung: BB, NW, ST.
- Bestandteil einer Genehmigung (ST).

#### Anwendung/Eignung

- Vorbereitende Standortbewertung.
- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Monitoring der Flugaktivität innerhalb eines Windparks.

#### Flugobjektdetektion

- Flugobjekte werden kontinuierlich bei Tag und bei Nacht erfasst, verfolgt und klassifiziert. In Echtzeit werden Position, Höhe, Flugrichtung und -geschwindigkeit ermittelt (3D-Tracks).
- Die Erfassung und Verfolgung von über 500 Flugobjekten ist gleichzeitig möglich.
- Die Erfassungsreichweite liegt laut Hersteller bei maximal 1.200 m (hier: Rotmilan) und ist abhängig von der Flugobjektgröße und vom Anflugwinkel.
- Es erfolgt eine Einteilung in Größenklassen. Die automatisierte Identifizierung auf Artenebene mittels weiterer Parameter ( u. a. Flügelschlagfrequenz) ist vereinzelt möglich.
- Große Datenmengen werden generiert. Automatisierte Datenbereinigung (Clutter) und zielgerichtete Dateninterpretation.

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Pro Antenne ist eine räumliche Abdeckung von 90° horizontal und 40° vertikal (FMCW-Radar, X-Band 9,4 Giga-Hertz [GHz], Auflösung: 2 m) gegeben; eine Steigerung auf 360° kann durch eine Erhöhung der Antennenanzahl erreicht werden.
- Die Überwachung des weiteren WEA-Umfeldes ist möglich. Die Abdeckung der WEA selbst ist nicht vorgesehen.

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Eine Kopplung an ereignisbezogene Abschaltungen für mittelgroße und große Vögel ist möglich. Anforderungen standortspezifisch anpassbar.

#### Montage

- Die Montage erfolgt am WEA-Turm oder freistehend (Container oder Windmessmast).

#### Daten aus der Erprobung

Erprobungsergebnisse (vgl. FEFA 2022):

- Erfassungsrate in 1.200 m Entfernung: 86 % der Rotmilane, 74 % der Mäusebussarde.
- Erkennungsrate (Rotmilan): richtig als Vogel erkannt: 82 %, davon richtig als Großvogel erkannt: 85 %. (Mäusebussard): richtig als Vogel erkannt: 76 %, davon richtig als Großvogel erkannt: 91 %.



## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Auf Artenebene ist i. d. R. keine automatisierte Flugobjektidentifizierung möglich.
- Zur 360°-Abdeckung einer WEA sind 4 Antennen erforderlich; die räumliche Abdeckung des Anlagenbereichs oder des unmittelbaren Anlagenumfeldes sind nicht vorgesehen (Erfassungslücke).
- Der Erfassungsbereich verschmälert sich nahe dem System bzw. der WEA (40° vertikale Antennenabdeckung), dadurch entsteht eine Erfassungslücke in den oberen Höhenschichten.
- In reliefiertem Gelände ist die räumliche Abdeckung durch Radarschatten eingeschränkt; eine Optimierung der Systemposition ist essenziell.
- Die Einschränkung der räumlichen Abdeckung durch die Existenz einer Grenzschicht über Boden oder Wald kann zu einer Reduktion der Erfassungsrate führen.
- Starker Regen und Schneefall schränken die Funktionsfähigkeit ein.

### Verminderungsreaktion

- Die Erfassungsrate und der Klassifizierungserfolg sind von der Qualität des Algorithmus zur Datenanalyse abhängig. Bei einer falschen Klassifizierung eines Zielobjektes wird keine Abschaltung ausgelöst; eine falsche Klassifizierung eines nicht relevanten Flugobjektes führt zu einer unnötigen Abschaltung.

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Bisher liegen kaum empirische Daten über die Leistungsfähigkeit vor; Erprobungsberichte sind bislang unveröffentlicht.
- Laut Hersteller ist der Einsatz von leistungsstärkeren Radar-Sensoren vorgesehen, um eine Erhöhung der Auflösung und Erfassungsreichweite zu erreichen.
- Aktuell wird eine Systemerprobung an 2 Standorten in BB durch unabhängige Gutachter durchgeführt. Die Veröffentlichung der Ergebnisse ist für 2023 geplant.
- Die Reduzierung von Konflikten mit anderen Radar-Nutzungen (bspw. Militär, Binnenschifffahrt, Flughäfen) durch Anpassung des Frequenzbandes ist geplant. Dadurch wird der Einsatz auf weiteren Standorten möglich.

## Quellen und weiterführende Literatur

- FEFA (2022);
- FEFA (o. J.);
- Früh (2019);
- KNE (2021a, 2021b);
- KNE (2019), S. 14 ff;
- Swiss BirdRadar (2022);
- Swiss BirdRadar (2019).



# Radarsysteme

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### RobinRadar MAX

[www.robinradar.com](http://www.robinradar.com)

#### Entwicklungsstand

- In der Erprobung (abgeschlossen: u. a. Deutschland, Niederlande, Tasmanien).
- International in Betrieb.
- Marktverfügbar.

#### Anwendung/Eignung

- Vorbereitende Standortbewertung.
- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Ereignisbezogene Vergrämung.
- Monitoring der Flugaktivität innerhalb eines Windparks.

#### Flugobjektdetektion

- Die Flugobjekte werden kontinuierlich bei Tag und bei Nacht erfasst, verfolgt und klassifiziert. Simultane Erfassung von > 3.000 Flugobjekten möglich.
- Die Erfassung der Position inklusive der Höhe und der Flugrichtung und -geschwindigkeit (3D-Tracks) erfolgt in Echtzeit.
- Die maximale Erfassungsreichweite unter optimalen Bedingungen ist von der Flugobjektgröße und dem Anflugwinkel abhängig und reicht bis 8 km für Großvögel; eine vertikale Erfassung ist bis zu 1 km möglich (vgl. Claasen in KNE 2021a, 2021b).
- Die Flugobjekte werden automatisiert nach Größenklassen klassifiziert (max. 4 Klassen). Ziel ist die Präzisierung der Klassifizierung, um Flugobjekte mit den gleichen Eigenschaften der Zielart herauszufiltern.
- Automatisierte Datenbereinigung (sog. Clutter) und zielgerichteten Daten-Interpretation (der Fokus liegt dabei auf Flugobjekten mit Eigenschaften der Zielarten).

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Erfassung und Dokumentation von Flugereignissen im weiteren Umfeld mehrerer WEA; Ausgabe der Flugwege in 3D.
- Eine 360° horizontale und 60° vertikale Abdeckung um das Radarsystem ist mit einer Antenne möglich (Halbkugel mit 30°-Erfassungslücke direkt über System, ein vollständiger Scan/Umdrehung pro Sekunde); X-Band FMCW-Radar (insgesamt drei Optionen für Auswahl des Frequenzbereichs).

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Eine Kopplung an ereignisbezogene Abschaltungen ist möglich. Anforderungen (insb. Reaktionsbereich, Klassifikation) standortspezifisch anpassbar. Optional können Vergrämgungsmaßnahmen vorgesehen werden.

#### Montage

- Die Montage erfolgt freistehend in ausreichender Entfernung zur WEA, bspw. an einer Turmkonstruktion oder auf einem Container (Minimierung von Schatten).
- Systemposition am Rande des Windparks oder innerhalb je nach WP-Layout.

#### Vorläufige Ergebnisse aus unabhängiger Erprobung (unveröffentlicht, Vorgängermodell):

- Erfassungsrate (Großvögel): 96 % auf 1 km Entfernung.
- Klassifizierungserfolg (2 Klassen: 1. klein/mittel und 2. groß): 80 %.

## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Auf Artenebene ist keine automatisierte Flugobjektidentifizierung möglich.
- Die räumliche Abdeckung des Anlagenbereichs oder des unmittelbaren Anlagenumfeldes sind nicht vorgesehen (Erfassungslücke).
- In reliefiertem Gelände und in der direkten Umgebung der WEA ist die räumliche Abdeckung eingeschränkt (sog. Radarschatten); eine Optimierung der Systemposition ist daher essenziell.
- Die Einschränkung der räumlichen Abdeckung durch die Existenz einer Grenzschicht über Boden oder Wald kann zu einer Reduktion der Erfassungsrate führen.
- Starker Regen und Schneefall schränken die Funktionsfähigkeit ein.

### Verminderungsreaktion

- Die Erfassungsrate und der Klassifizierungserfolg sind von der Qualität des Algorithmus zur Datenanalyse abhängig sowie von der standortspezifischen Anpassung. Bei einer falschen Klassifizierung eines Zielobjektes wird keine Abschaltung ausgelöst; eine falsche Klassifizierung eines nicht relevanten Flugobjektes führt zu einer unnötigen Abschaltung.
- Die akustische Vergrämung zählt in Deutschland aktuell nicht zu den anerkannten Schutzmaßnahmen. Eine (dauerhafte) Wirksamkeit akustischer Vergrämung ist bisher nicht belegt; ggf. kann daraus eine Störung nach § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG resultieren.

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Bisher liegen kaum empirische Daten über die Leistungsfähigkeit des Systems bei der Erfassung von Einzelvögeln zur ereignisbezogenen Abschaltung vor; Ergebnisse aus einer 2019 in Deutschland (BB) durchgeführten Erprobung wurden bislang nicht publiziert (Zielart: Seeadler).
- Ein System der neuen Generation befindet sich bereits auf dem Markt. Bisher wurde keine unabhängige Erprobung zur Erkennung von Brutvögeln durchgeführt.
- Zur automatisierten Arterkennung wird aktuell eine Radar-Kamera-Lösung entwickelt. Bisher ist kein Datum zur Markteinführung bekannt (s. hierzu S. 32 f).

## Quellen und weiterführende Literatur

- Giraud (schriftlich v. 30.06.2022);
- Kleyheeg-Hartman (2019);
- KNE (2021a, 2021b);
- KNE (2019), S. 20 ff;
- Prinsen (2018);
- Robin Radar Systems (o. J.)



# Systemkombinationen

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### MUSE (Multi-Sensor Monitoring System)

[www.dhigroup.com](http://www.dhigroup.com)

#### Entwicklungsstand

- Kontinuierliche Erprobung.<sup>10</sup>
- International in Betrieb.<sup>11</sup>
- Marktverfügbar.

#### Anwendung/Eignung

- Vorbereitende Standortbewertung.
- Ereignisbezogene Abschaltung.
- Ereignisbezogene Vergrämung.
- Monitoring der Flugaktivität.
- Monitoring der Kollisionsereignisse.

<sup>10</sup> Jedes kunden- bzw. standortspezifisch konfigurierte System wird an einem Teststandort (Ebeltoft, Dänemark) überprüft. Eine unabhängige Studie, welche die Leistungsfähigkeit der kombinierten Systemkomponenten überprüft ist bisher nicht bekannt.

<sup>11</sup> Unterschiedliche Systemkonfigurationen werden an Land, an küstennahen und offshore Windparks in Europa eingesetzt, darunter die Niederlande, Frankreich, Dänemark, Schweden, Großbritannien und Polen.

### Flugobjektdetektion

- Die Anwendung ermöglicht die Kombination unterschiedlicher Hardware-Komponenten (u. a. 2D und 3D Radarsysteme, HD-Kameras, IR-Kameras, Sensoren zur Kollisionsdetektion, Audiosysteme). Die Auswahl bzw. Kombination der unterschiedlichen Komponenten ist an die jeweiligen standortspezifischen Gegebenheiten anzupassen.
- Das Multi-Sensor System ermöglicht eine weiträumige Detektion von Vögeln mit genauer Positionsbestimmung mittels Radar (bspw. RobinRadar MAX) und die gezielte Verfolgung und KI-basierte Identifikation des Vogels auf Artengruppen- oder Arzebene durch den Einsatz einer nachführbaren PTZ-Kamera (bspw. FLIR M400, DAT-CON). Das erlernte Artspektrum umfasst Greifvogelarten, u.a. Rotmilane und Seeadler (KI-basiert).

### Aufbau und Erfassungsbereich

- Veranschaulicht am Beispiel Radar-Kamera-Kombination (Radar: RobinRadar MAX; Kamera: DAT-CON) wäre eine Erfassung und Verfolgung von Großvögeln auf 10 km Entfernung in einem 360° Sichtfeld möglich. Über die Übermittlung der Positionsdaten des Flugobjektes an das Kamerasystem ist das Heranzoomen, Verfolgen und Identifizieren eines Großvogels auf eine Entfernung von mehr als 1.500 m möglich.

### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Eine Kopplung an ereignisbezogene Abschaltungen ist möglich. Anforderungen (insb. Reaktionsbereich, Klassifikation) standort-spezifisch anpassbar.
- Durch die Kombination mit zusätzlichen Hardware-Komponenten können weitere Funktionen implementiert werden, wie bspw. Vergrämgungsmaßnahmen sowie das Monitoring von Kollisionen.

## Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung

### Flugobjektdetektion

- Funktionen und Leistungsfähigkeiten sind insbesondere von den verwendeten Hardware-Komponenten abhängig.

### Verminderungsreaktionen

- Die akustische Vergrämung zählt in Deutschland aktuell nicht zu den anerkannten Schutzmaßnahmen. Eine (dauerhafte) Wirksamkeit akustischer Vergrämung ist bisher nicht belegt; ggf. kann daraus eine Störung nach § 44 Abs. 1 Nr. 2 BNatSchG resultieren.

### Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung

- Bisher existieren vereinzelt empirische Nachweise über die Leistungsfähigkeit einzelner möglicher Komponenten. Ergebnisse einer unabhängigen Erprobung eines MUSE-Systems sind nicht bekannt.
- Aktuell wird eine MUSE-Konfiguration zur Erfassung, Verfolgung, Identifikation von Vögeln an Windenergieanlagen zur bedarfsgerechten Abschaltung entwickelt und getestet (Projekt: WITURBISA, Referenz No. 12759, Laufzeit: 01.01.2020 bis 03.01.2023).<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Forschungsprojekt WITURBISA. [Link zur Internetseite](#).

## Quellen und weiterführende Literatur

- DHI (2022);
- DHI (2019);
- DHI (o. J.).



# Detektion landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsereignisse

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### ATEG SELA

[www.ateg.de](http://www.ateg.de)

[www.planungsbüro-schimmel.de](http://www.planungsbüro-schimmel.de)

#### Entwicklungsstand

- In Betrieb (NW).
- Marktverfügbar ab 10/2022.

#### Detektion

- Das System erfasst sämtliche Objekte mit einer Infrarotsignatur, wie beispielsweise Traktoren/Landmaschinen in einem definierten Umfeld um eine WEA.
- Durch die Infrarot-Technologie erfolgt keine individuelle Erkennung von Personen, Fahrzeugen usw.
- Felder im Anlagenumfeld werden als einzelne Zonen (Messfelder) je nach standortspezifischen Anforderungen abgebildet. Nicht relevante Zonen (bspw. Wege, Verkehrsflächen) werden von der Überwachung ausgenommen.

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Einsatz von industriellen Infrarotkameras. Die erforderliche Kameraanzahl ist von den standortspezifischen Erfordernissen abhängig.

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Im Falle einer Detektion erfolgt eine automatisierte Abschaltung der WEA. Gleichzeitig wird automatisch eine Meldung inkl. Infrarot-Bildmaterial an den Betreiber zur Prüfung versendet. Wiederinbetriebnahme der WEA erfolgt nach Prüfung durch die Verantwortlichen, wahlweise durch Fernschaltung oder durch persönliche Freigabe.

#### Montage

- Die Montage erfolgt am WEA-Turm. Die Montagehöhe wird in Abhängigkeit von den standortspezifischen Anforderungen festgelegt.

---

### **Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung**

#### **Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung**

- Das System wurde über mehrere Jahre in der Praxis getestet. Es befindet sich nach Abstimmung mit den zuständigen Behörden an zwei WEA in Betrieb (NW). Bislang liegen keine Ergebnisse aus (unabhängigen) Erprobungen vor.

### **Quellen und weiterführende Literatur**

- ATEG (2021)
- Schimmel (schriftlich v. 17.08.2022).



# Detektion landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsereignisse

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### Bioseco TDS

[www.bioseco.com](http://www.bioseco.com)

#### Entwicklungsstand

- In Betrieb (Deutschland).
- Marktverfügbar.

#### Detektion

- Das System erfasst sich bewegende Fahrzeuge (Mindestgröße: Länge: 4 m; Höhe: 2 m, Breite: 2 m), bspw. Landmaschinen im weiteren Umfeld einer WEA.
- Felder im Anlagenumfeld werden als einzelne Zonen abgebildet.

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Zur Abdeckung eines 360°-Sichtfeldes werden 6 bildverarbeitende Kameras mit integrierter Künstlicher Intelligenz (KI) eingesetzt; horizontaler Öffnungswinkel von je 60°.
- Das System ist in zwei Versionen erhältlich: 8 MP Kameras mit 6 Millimeter (mm) Brennweite (Standard-Version: 300 m maximale Erfassungsreichweite) oder 13 MP Kameras mit 8 mm Brennweite (Long range-Version: 500 m maximale Erfassungsreichweite).

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Im Falle einer Detektion erfolgt eine Meldung mit Videosequenz innerhalb von 10 Minuten. Manuelle Abschaltung kann nach Verifizierung erfolgen.

#### Montage

- Abhängig von der Einsehbarkeit des Standorts wird das System in 15–30 m Höhe installiert.



---

### **Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung**

#### **Flugobjektdetektion**

- Nach bisherigen Erfahrungen (Installation an 2 WEA über 2 Jahre) beträgt die Falsch-Positiv-Rate etwa 10 %.

#### **Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung**

- Bislang wurden keine (unabhängigen) Erprobungen durchgeführt.

### **Quellen und weiterführende Literatur**

- Bioseco (2022c);
- Bioseco (2021).



# Detektion landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsereignisse

## Funktionsweise und Leistungsfähigkeit

### SafeWind

[www.biodiv-wind.com](http://www.biodiv-wind.com)

#### Entwicklungsstand

- In der Erprobung (Frankreich, Deutschland).
- Marktverfügbar.

#### Detektion

- Das System erfasst sich bewegende Fahrzeuge, bspw. Landmaschinen im weiteren Umfeld einer WEA.
- Felder im Anlagenumfeld werden als einzelne Zonen (Messfelder) je nach standortspezifischen Anforderungen abgebildet. Nicht relevante Zonen (bspw. Wege, Verkehrsflächen) werden von der Überwachung ausgenommen.

#### Aufbau und Erfassungsbereich

- Zur Abdeckung eines 360°-Sichtfeldes werden 4–8 videobasierte Kameras mit einem horizontalen Öffnungswinkel von je 110° eingesetzt. Die erforderliche Kameraanzahl ist von den standortspezifischen Erfordernissen abhängig.
- Laut Hersteller beträgt die maximale Erfassungsreichweite 1.000 m.

#### Kopplung an Verminderungsreaktionen

- Im Falle einer Detektion kann sowohl eine automatische wie auch eine manuelle Abschaltung der WEA vorgesehen werden. Im Falle einer Detektion wird automatisch eine Meldung versendet. Wiedereinbetriebnahme der WEA kann nach Prüfung von Videosequenzen auf einem Customer Interface durch die Verantwortlichen erfolgen.

#### Montage

- Die Montage erfolgt am WEA-Turm. Die Montagehöhe wird in Abhängigkeit von den standortspezifischen Anforderungen festgelegt.

---

### **Einschränkungen und vorgesehene Weiterentwicklung**

#### **Flugobjektdetektion**

- Nach bisherigen Erfahrungen beträgt die Falsch-Positiv-Rate etwa 5 %.

#### **Erprobungsstand und vorgesehene Weiterentwicklung**

- Bislang liegen keine Ergebnisse aus (unabhängigen) Erprobungen vor.

### **Quellen und weiterführende Literatur**

- Campens (mündlich  
v. 23.08.2022).

# Systemübersicht

	Ereignisbezogene Abschaltung	Ereignisbezogene Vergrämung	Erfassungsreichweite von > 300 m <sup>13</sup>	Erfassungsreichweite von > 500 m <sup>14</sup>	Automatisierte Arterkennung <sup>15</sup>	Automatisierte Vogelerkennung <sup>16</sup>	Einteilung in Grössenklassen	Undefiniertes Flugobjekt	Positionsmessung <sup>17</sup>	Positionsabschätzung	Entwicklungsstand <sup>18</sup>	Unabhängig erprobt
<b>Kamerasysteme</b>												
Artificial Vision	X	X	?	?	(X)	(X)			X		M	?
AVES Wind Onshore	X		(X)	(X)	X	X			X	X	O	(X)
Bioseco	X	X	X	X		X	X		X		M	X
BirdRecorder	X		X	(X)	X	X			X		E	
BirdVision	X		(X)	(X)	X	X	X		X		O	(X)
DIGISEC	X	X	(X)	(X)		X	X	X		X	M	X
DTBird	X	X	X					X		X	M	X
IdentiFlight	X		X	X	X	X	X		X		(M)	X
ProBird	X	X	?	?		X	X	X	?	X	M	(X)
SafeWind	X	X	X	(X)	(X)	X	X	X		X	M	X
<b>Radarsysteme</b>												
BirdScan	X		X	X			X		X		O	(X)
RobinRadar MAX	X	X*	X	X			X		X		M	(X)
<b>System-Kombinationen</b>												
MUSE	X	X*	X	X	X	X	X	X	X		M	

X wird erfüllt

(X) basiert auf Herstellerangaben.  
Teils laufende Erprobung/ausstehende Erprobungsergebnisse

? es liegen keine Informationen vor

X\* Maßnahme kann optional vorgesehen werden

<sup>13</sup> Reichweite bei der eine Erfassungsrate von > 90% für den Rotmilan erreicht wird.

<sup>14</sup> Reichweite bei der eine Erfassungsrate von > 90% für den Rotmilan erreicht wird.

<sup>15</sup> Das erlernte Artenspektrum unterscheidet sich je nach AKS.

<sup>16</sup> Automatisierte Unterscheidung zwischen „Vogel“ und „Nicht-Vogel“

<sup>17</sup> Die Position des Vogels wird beispielsweise stereoskopisch oder durch Triangulation ermittelt.

<sup>18</sup> E = Entwicklungsphase; O = Optimierungsphase; M = Marktverfügbar, (M) = begrenzt marktverfügbar.



# Verzeichnis der Abkürzungen und spezifischer Begriffe

**BB**

Brandenburg.

**BfN**

Bundesamt für Naturschutz.

**BMWK**

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.

**BW**

Baden-Württemberg.

**BY**

Bayern.

**Falsch-Negativ-Rate**

Das Maß für die relative Erfassung der Flugereignisse von Individuen der Zielart, die durch das Detektionssystem nicht erfasst oder nicht erkannt werden (fälschliche Erkennung eines Vogels als Nicht-Vogel oder Zuordnung eines Individuums der Zielart zu einer nicht planungsrelevanten Art bzw. Klasse); es drückt aus, wie oft die erforderliche Reaktion (Vergrämung oder Abschaltung) prozentual nicht ausgelöst wird.

**Falsch-Positiv-Rate**

Das Maß für (Flug-) Objekte, die nicht existieren oder kein Vogel bzw. kein Individuum der Zielart sind, die jedoch durch das Detektionssystem fälschlicherweise als relevant registriert werden und eine nicht erforderliche Reaktion (Vergrämung oder Abschaltung) der WEA auslösen.

**FLIR-Kamera**

Das Forward Looking Infrared ist ein bildgebendes Verfahren, das Infrarotstrahlung in Richtung der Flugkörperachse wahrnehmen, auswerten und aufbereiten kann. Bei einer FLIR-Kamera handelt es sich um eine Wärmebildkamera für Luftaufnahmen; Wärmebildsysteme detektieren die Infrarotenergie (Wärme), die von Lebewesen (hier: Vögel), Objekten und Materialien abgestrahlt wird.

**FMCW-Radar**

Das Frequency Modulated Continuous Wave Radar ist ein moduliertes Dauerstrich-Radarsystem, bei dem der Sender während der Dauer des Messvorganges ununterbrochen arbeitet, wodurch es sich von einem Impulsradar unterscheidet.

**HD-Kamera**

Die High Definition-Kamera; eine hochauflösende Kamera.

**HE**

Hessen.

**MV**

Mecklenburg-Vorpommern.

**MWVATT SH**

Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Arbeit, Technologie und Tourismus Schleswig-Holstein.

**n**

Die im Rahmen einer Untersuchung erreichte Stichprobenanzahl (hier: erfasste Anzahl von Flugereignissen einer Zielart bzw. Klasse), die bei der Systemerprobung als Datengrundlage dient.

**NW**

Nordrhein-Westfalen.

**NatForWINSSENT II**

Naturschutzforschung im Windenergieforschungscluster Süd; ein vom BfN gefördertes Forschungsprojekt (FKZ 3518 86 0100, Laufzeit: 15.11.2018 bis 31.10.2021) auf der Schwäbischen Alb mit dem Projekttitel: Umsetzung der Naturschutzforschung am Windtestfeld an Land; es ist das erste Windenergie-testfeld im komplexen Gelände im Binnenland; im Mittelpunkt stehen ab 2020 Untersuchungen zu Vögeln und Fledermäusen.

**PTZ-Kamera**

Die Pan-Tilt-Zoom-Kamera; eine bewegliche Netzwerkkamera mit Zoomobjektiv, die sich schwenken und neigen lässt; die Datenübertragung der Kamera findet digital nach Internet Protocol (IP)-Standard statt.

**SH**

Schleswig-Holstein.

**SL**

Saarland.

**ST**

Sachsen-Anhalt.

**WEA**

Windenergieanlage.

**X-Band**

Der Frequenzbereich zwischen 8 GHz und 12 GHz; der Bereich der Zentimeterwellen mit Wellenlängen zwischen 3,75 und 2,5 Zentimeter; innerhalb des X-Bandes gibt es das Xc-Band zwischen 7,25 und 8,4 GHz, das für militärische Anwendungen reserviert ist.



# Quellen

- ➔ Artificial Vision Air Detection (2022a): airelectronics – Artificial Vision. System user manual V1.6 (Stand: 14.04.2022). 31 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 04.07.2022).
- ➔ Artificial Vision Air Detection (2022b): Products. [Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 04.07.2022).
- ➔ Artificial Vision Air Detection (o. J.): U-Detection System. Broschüre. 4 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 04.07.2022).
- ➔ Aschwanden, J., Liechti, F. (2020): Erprobung des automatischen Vogeldetektionssystems Identiflight auf dem Testfeld des WindForS im Rahmen der Naturschutzbegleitforschung (NatForWINSSENT). Schweizerische Vogelwarte, Sempach. 38 S. (letzter Zugriff: 11.07.2022).
- ➔ Aschwanden, J., Liechti, F. (2019): Test of the automatic bird detection system BPS on the test field of WindForS in the context of nature conservation research (NatForWINSSENT). Schweizerische Vogelwarte, Sempach. 38 S. Unveröffentlicht.
- ➔ Aschwanden, J., Wanner, S., Liechti, F. (2015): Investigation on the effectivity of bat and bird detection at a wind turbine: Final Report Bird Detection. 35 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 26.06.2020).
- ➔ ATEG (2021): Funktions- und Systembeschreibung. System zur Erfassung von landwirtschaftlichen Aktivitäten im Umfeld von Windenergieanlagen (Stand: August 2021, unveröffentlicht), S. 3.
- ➔ BfN (2022): NatForWINSSENT II – Umsetzung der Naturschutzforschung am Windtestfeld an Land. FKZ 3518 86 0100. Projektstreckbrief. [Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 27.06.2022).
- ➔ Biodiv-Wind (2022): SafeWind – Products and service description. Broschüre (Stand: 20.06.2022, zugänglich auf Nachfrage). 13 S.
- ➔ Bioseco (2022a): Bird Protection System – Technological Summary of available versions (Stand: Juni 2022). Broschüre. 8 S.
- ➔ Bioseco (2022b): Detection offers best protection to birds. In: Power and Energy Solutions magazin (Stand: März 2022). 4 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 12.07.2022).
- ➔ Bioseco (2022c): Technical specification of Tractor Detection System (TDS Standard and TDS LR) (Stand: Januar 2022). Broschüre. 3 S.
- ➔ Bioseco (2021): Tractor Detection System – innovative solution for WF management. Präsentation. Spreewindtage am 11.11.2021. S. 15. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 11.07.2022).

- ➔ BirdVision GmbH & Co. KG (2020a): BirdVision – Technik. Internetseite.  
[Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 27.06.2022).
- ➔ BirdVision GmbH & Co. KG (2020b): BirdVision – Förderung. Internetseite.  
[Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 27.06.2022).
- ➔ BMWK (o. J.): BirdVision – Weiterentwicklung eines Kamerasystems zur Erfassung und zum Schutz windkraftempfindlicher Vogelarten an Windenergieanlagen. enArgus Projektdatenbank.  
[Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 27.06.2022).
- ➔ Bonacchi, M. schriftliche Mitteilung vom 15.06.2022 zum Entwicklungsstand von DTBird.
- ➔ Campens, Y. mündliche Mitteilung vom 23.08.2022 zum Entwicklungsstand von SafeWind.
- ➔ Clausen, E. schriftliche Mitteilung vom 10.06.2022 zum Entwicklungsstand von AVES Wind Onshore.
- ➔ Clausen, E., Liesenjohann, T., Paul, J., Manoharan, S., Nehls, G. (2022): AVES (Avian Verification-System) – an automatic bird identification system to reduce mortality risks by collision and down time of wind turbines. Poster Präsentation. CWW2022 am 04. bis 08.04.2022.
- ➔ Exen (2021): Test d’efficacité du système vidéo automatisé SafeWind® pour réduire les risques de collisions des rapaces (Stand: Februar 2021, zugänglich auf Nachfrage). S. 40.
- ➔ DHI (2022): MUSE. Multi-sensor bird detection System. White paper (Stand: Juli 2022; zugänglich auf Nachfrage). 37 S.
- ➔ DHI (2019): Automated bird monitoring in off-shore wind farms.  
[Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 04.07.2022).
- ➔ DHI (o. J.): Solution – Automated monitoring of bird movements in wind farms. Flyer.  
[Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 04.07.2022).
- ➔ DIGISEC (2022): Protecting wildlife with artificial intelligence. Präsentation (Stand: Januar 2022; zugänglich auf Nachfrage). 25 S.
- ➔ DTBird (2022): DTBird System – Bird Monitoring and Reduction of Collision Risk with Wind Turbines. 8 S.  
[Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 12.07.2022).
- ➔ E3 IdentiFlight (o. J.): FAQ.  
[Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 11.07.2022).
- ➔ FEFA (2022): Erprobung des Radarsystems BirdScan MS1 zur Vermeidung von Vogelkollisionen mithilfe einer bedarfsgerechten Betriebsregulierung von Windenergieanlagen. Zusammenfassung (Stand: April 2022). Zugänglich auf Nachfrage. 4 S.
- ➔ FEFA (o. J.): FEFA BirdScan. Internetseite.  
[Link zum Internetseite](#) (letzter Zugriff: 27.06.2022).



- ➔ Früh, D. (2019): Raumüberwachung und Schutz von Großvögeln mittels Radar. Präsentation. KNE-Fachkonferenz „Vogelschutz an Windenergieanlagen“ am 15. und 16. Mai 2019 in Kassel. 17 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 11.07.2022).
- ➔ Gradolewski, D., Dziak, D., Martynow, M., Kaniecki, D., Szurlej-Kielanska, A., Jaworski, A., Kulesza, W.J. (2021): Comprehensive bird preservation at wind farms. In: Sensors 2021 (21) 267. S. 1–35. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 12.07.2022).
- ➔ Harvey & Associates (2018): AWWI Technical Report: Evaluating a Commercial-Ready Technology for Raptor Detection and Deterrence at a Wind Energy Facility in California. American Wind Wildlife Institute, Washington, DC, 86 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 12.07.2022).
- ➔ Kleyheeg-Hartman, J. (2019): Using full 3D bird radar to assess bird flight behaviour in and around wind farms. Präsentation vom 15.05.2020. KNE-Fachkonferenz Vogelschutz an Windenergieanlagen am 15. und 16. Mai 2019 in Kassel. S. 20–25. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 11.07.2022).
- ➔ Giraud, S. schriftliche Mitteilung vom 30.06.2022 zum Entwicklungsstand von RobinRadar MAX.
- ➔ KNE (2021a): Dokumentation Fachgespräch „Antikollisionssysteme für Vögel – Ein Blick auf den Entwicklungs- und Erprobungsstand“. 17 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 23.06.2022).
- ➔ KNE (2021b): Berichte zum Entwicklungs- und Erprobungsstand verschiedener Systeme. Fachgespräch „Antikollisionssysteme für Vögel – Ein Blick auf den Entwicklungs- und Erprobungsstand“. Präsentation. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 27.06.2022).
- ➔ KNE (2021c): Erstes Kamerasystem zur Vermeidung von Vogelkollisionen an Windenergieanlagen reif für die Praxis. Pressemitteilung vom 8.07.2021. [Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 11.07.2022).
- ➔ KNE (Hrsg.) (2019): KNE-Fachkonferenz Vogelschutz an Windenergieanlagen – Detektionssysteme als Chance für einen naturverträglichen Windenergieausbau? Dokumentation zur KNE-Fachkonferenz am 15. und 16. Mai 2019 in Kassel. 58 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 11.07.2022).
- ➔ Lackmann Phymetric GmbH (2020): Erprobung und Auswertung „SafeWind“ Vogelschutzsystem Hassel Windpark (Stand: August 2020, zugänglich auf Nachfrage). S. 39.
- ➔ Lagrange, H. schriftliche Mitteilung vom 01.07.2022 zum Entwicklungsstand von ProBird.

- ➔ Lagrange, H. und Rico, P. (2019a): Evaluation of bird detection efficiency of ProBird. Tracking missed detection and false positives. Präsentation vom 29.08.2019. Conference on Wind energy and Wildlife impacts am 27.–30.08.2019 (CWW 2019). Stirling, Schottland. 19 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 02.07.2022).
- ➔ Lagrange, H. und Rico, P. (2019b): Evaluation of bird detection efficiency of ProBird. Tracking missed detection and false positives. In: Book of Abstracts. Conference on Wind energy and Wildlife impacts am 27. bis 30.08.2019 (CWW 2019). Stirling, Schottland. S.: 45. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 02.07.2022).
- ➔ Litsgård, F., Eriksson, A., Wizelius, T., Säfström, T. (2016): Pilotinstallation av DTBird-systemet i Sverige. Unveröffentlicht. 43 S.
- ➔ May, R., Hamre, Ø., Vang, R., Nygård, T. (2012): Evaluation of the DTBird video-system at the Smøla wind-power plant. Detection capabilities for capturing near-turbine avian behaviour. NINA Report 910. 27 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 12.07.2022).
- ➔ McClure, C.J.W., Rolek, B., Dunn, L., McCabe, J.D., Martinson, L. (2021): Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. In: Journal of Applied Ecology (2021); 00: S. 1–7. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 11.07.2022).
- ➔ McClure, C.J.W., Martinson, L., Allison, T.D. (2018): Automated monitoring for birds in flight: Proof of concept with eagles at a wind power facility. In: Biological Conservation 224 (2018): S. 26–33. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 11.07.2022).
- ➔ Mehrgott, H. (2019): Vom pauschalen Abschaltalgorithmus zum Einsatz eines Kamerasystems (BirdVision) – Erste Erkenntnisse aus einem betriebsbegleitenden Monitoring im Windpark Weißbach. Präsentation. KNE-Fachkonferenz „Vogelschutz an Windenergieanlagen“ am 15. und 16. Mai 2019 in Kassel. 25 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 12.07.2022).
- ➔ Musiol, F., Kaifel, A. schriftliche Mitteilung vom 27.06.2022 zum Entwicklungsstand des Systems BirdRecorder.
- ➔ Ottvall, R. (2021): Test av automatiskt övervakningssystem för fågelskydd på Näsudden, Gotland. 38 S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 11.07.2022).
- ➔ Prinsen, H. (2018): Using dedicated full 3D bird radar to assess bird flight behavior and collision risk in the Netherlands. Präsentation. NWCC Research Meeting XII am 27. bis 30.11.2018, St. Paul, Minnesota. 16.S. [Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff 11.07.2022).
- ➔ ProTecBird (2022): AVES Wind Onshore. [Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 23.06.2022).

- ➔ Reichenbach, M., Reers, H. (2021): Wie gut schützt IdentiFlight den Rotmilan (*Milvus milvus*)? Untersuchungen zur Wirksamkeit eines Kamerasystems zum Schutz vor Kollisionen an Windenergieanlagen 161 S.  
[Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 11.07.2022).
- ➔ Rico, P., Lagrange, H. (2022): Sens of Life: ProBat ProBird. Broschüre (Stand: Februar 2022; zugänglich auf Nachfrage). 48 S.
- ➔ Robin Radar Systems (o. J.): Max.  
[Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 12.07.2022).
- ➔ Sachpazis, C. (2022): Technical Report and Evaluation of Bird Monitoring & Deterrence System for Wind Turbines (Stand: März 2022, zugänglich auf Nachfrage). S. 44.
- ➔ Schimmel, W. schriftliche Mitteilung vom 17.08.2022 zum Entwicklungsstand von ATEG SELA – System zur Erkennung Landwirtschaftlicher Aktivitäten.
- ➔ Sens of Life (2019): Bats and birds protection solutions for the wind power industry. ProBird – Wind regulation and monitoring.  
[Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 01.07.2022).
- ➔ Sergianidis, V. schriftliche Mitteilung vom 10.06.2022 zum Entwicklungsstand von DIGISEC.
- ➔ Sprötge, M. (2019): Erprobung von DTBird als technisches System zum Schutz brütender Greifvögel – Erfahrungen aus der ersten Testphase. Präsentation. KNE-Fachkonferenz „Vogelschutz an Windenergieanlagen“ am 15. und 16. Mai 2019 in Kassel. 29 S.  
[Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 12.07.2022).
- ➔ Swiss BirdRadar Solutions AG (2022): BirdScan MS1.  
[Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 26.06.2022).
- ➔ Swiss BirdRadar Solutions AG (2019): Aerial surveillance radar – BirdScan MS1. Factsheet (Stand: 15.03.2019). 4 S.  
[Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 27.06.2022).
- ➔ Szurlej-Kielanska, A., Pilacka, L.A. (in press.): Sustainable development of green energy – automated birds protection at wind farms. S. 9.
- ➔ Tkacz, A., Mehrgott, H. (2022a): WP Weißbach – Kurzauswertung des Monitorings für eine kamerabasierte bedarfsgerechte Abschaltung von Windenergieanlagen im Jahr 2021. Zugänglich auf Nachfrage. 15 S.
- ➔ Tkacz, A., Mehrgott, H. (2022b): WP Weißbach – Zwischenauswertung des Monitorings für eine kamerabasierte Abschaltung von Windenergieanlagen mit BirdVision im Jahr 2022. Zugänglich auf Nachfrage. 9 S.

- ➔ Windpower monthly news (2021): Bioseco.  
Artificial eyes in the skies. Next generation technology is simultaneously protecting birds and wind farm operators from collision risks.  
Broschüre. 9 S.  
[Link zum Dokument](#) (letzter Zugriff: 12.07.2022).
  
- ➔ ZSW (2022): BirdRecorder: Vermeidung von Kollisionen geschützter Vögel mit Windenergieanlagen.  
[Link zur Internetseite](#) (letzter Zugriff: 27.06.2022).

**Impressum:**

© KNE gGmbH, Stand 1. September 2022

**Herausgeber:**

Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende  
c/o Scaling Spaces, Cuvrystraße 53, Haus F, 10997 Berlin  
+49 30 7673738-0

[info@naturschutz-energiewende.de](mailto:info@naturschutz-energiewende.de)

[www.naturschutz-energiewende.de](http://www.naturschutz-energiewende.de)

Abonnieren Sie unseren [Newsletter](#).

Abonnieren Sie unseren [YouTube-Kanal](#).

Folgen Sie uns auf Twitter [@KNE\\_tweet](#).

Folgen Sie uns auf [LinkedIn](#).

V. i. S. d. P.: Dr. Torsten Raynal-Ehrke

HRB: 178532 B

Bearbeitung: Eva Schuster, Dr. Elke Bruns

**Zitiervorschlag:**

KNE (2022): Synopse – Detektionssysteme zur ereignisbezogenen Abschaltung von Windenergieanlagen zum Schutz von tagaktiven Brutvögeln. 3. Fortschreibung.

**Haftungsausschluss:**

Die Inhalte dieses Dokumentes wurden nach bestem Wissen geprüft, ausgewertet und zusammengestellt. Eine Haftung für die Richtigkeit sowie die Vollständigkeit der hier enthaltenen Angaben wird ausgeschlossen. Dies betrifft insbesondere die Haftung für eventuelle Schäden, die durch die direkte oder indirekte Nutzung der Inhalte entstehen. Sämtliche Inhalte dieses Dokumentes dienen der allgemeinen Information. Sie können eine Beratung oder Rechtsberatung im Einzelfall nicht ersetzen.

**Bildnachweis:**

Holger Ohlenburg

**Design:**

[www.corporate-new.de](http://www.corporate-new.de)

[www.naturschutz-energiewende.de](http://www.naturschutz-energiewende.de)