

MultiRadar: Vogelschutzzonen im Nahbereich von Windenergieanlagen durch Multi-Radartechnologie

Abschlussbericht

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Zuwendungsempfänger:

Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main
Max von Laue Str. 1
60438 Frankfurt am Main

Teilvorhaben: Antennendesign, verteilte Messdatenerfassung,
Detektionsalgorithmen

Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2018 bis 31.01.2022

Autor: Jochen Moll, Moritz Mälzer

Frankfurt am Main 2022

Projektteilnehmer:

Wölfel Engineering GmbH + Co. KG (Höchberg, Koordination)
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main (GUF)
HF Systems Engineering GmbH & Co. KG (Kassel)
Kaminsky Naturschutzplanung GmbH (Hohenroth)

Förderhinweis

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie unter dem Förderkennzeichen FKZ 0324323C gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Inhaltsverzeichnis

I. Kurze Darstellung zu	4
1. Aufgabenstellung	4
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
3. Planung und Ablauf des Vorhabens	5
4. Wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde	5
4.1. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden	5
4.2. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	5
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	5
II. Eingehende Darstellung zu	6
1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	6
2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	17
3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	17
4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	17
5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	17
6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6	17
III. Literaturverzeichnis	19

I. Kurze Darstellung zu

1. Aufgabenstellung

Im Rahmen von MultiRadar stand die Entwicklung eines innovativen Netzwerks von Radarsensoren im Fokus mit dem die Aktivität von Vögeln in der Nähe von Windenergieanlagen (WEA) erfasst werden sollte. Auf der Grundlage dieser Echtzeit-Informationen sollte es möglich sein, die WEA adaptiv zu betreiben und somit den Schutz von Vögeln (und Fledermäusen) zu erhöhen.

Die wesentlichen Teilziele der Goethe Universität Frankfurt (GUF) bestanden in den nachstehenden Schritten:

1. Entwicklung, Realisierung und Charakterisierung von Antennen für den Frequenzbereich von 33.4-36.0GHz.
2. Entwicklung von Sensoreinheiten, welche Radarsensorik und Referenzsensorik (Kamera und Ultraschallsensorik) umfasst.
3. Implementierung einer performanten Messdatenerfassungssoftware für hohen Datendurchsatz, um mehrere Radarmodule parallel zu betreiben, einschließlich Echtzeitprozessierung der eingehenden Signale für sehr schnelle Reaktionszeiten.
4. Entwicklung neuartiger Detektionsalgorithmen für die Identifikation von Fledermäusen und Vögeln sowie ihrer Unterscheidung.
5. Entwicklung von 3D-Lokalisationsalgorithmen und Trackingalgorithmen, einschließlich Extrapolation der Flugplan (zur WEA hin oder von der WEA weg)
6. Algorithmenentwicklung für Kamerabilder und akustische Signale
7. Durchführung von Feldstudien an Orten hoher Greifvogelaktivität und bei einer WEA, verbunden mit der Auswertung der Messdaten.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Errichtung und Betrieb von WEA bedingen eine Reihe von Eingriffen in Natur und Landschaft, wodurch Vögel und auch Fledermäuse durch Kollision mit den Rotorblättern oder durch den Barotrauma-Effekt (insbes. bei Fledermäusen) stark gefährdet sind [1]–[3]. Wird ein erhöhtes Risiko festgestellt, kann dies aus artenschutzrechtlichen Gründen zu Einschränkungen im Betrieb oder zur Versagung von Genehmigungen für WEA führen [4]. Maßnahmen zur Vermeidung von Kollisionen, z. B. durch adaptives Abschalten der WEA, werden bisher nicht durchgeführt, vor Allem weil bislang keine anerkannte Technologie vorhanden ist, um Vögel und Fledermäuse im Nahbereich von WEA zuverlässig zu erkennen. Stattdessen werden in einigen Bundesländern starre Abschaltalgorithmen für WEA zur Minderung des Kollisionsrisikos für Fledermäuse eingesetzt, die sich nachteilig auf die Gewinnung von elektrischer Energie aus Windkraft auswirken [4], [5].

Kamera- und Thermografiesysteme kommen beim Monitoring von Fledermäusen und Vögeln bei WEA zum Einsatz, wobei nach derzeitigem Kenntnisstand eine zuverlässige automatische akustische Analyse bzw. Bildanalyse zur Erkennung der Fluchttiere noch nicht möglich ist [6], [7]. Ein kamerabasiertes Monitoringsystem wird z.B. von DT-Bird und IdentiFlight angeboten, was aber den Nachteil besitzt, dass Fledermäuse und Vögel in der Dunkelheit nicht erfasst werden können. Akustische Messungen für die Bestimmung der Fledermausaktivität

bei WEA werden z.B. durch die Firmen Avisoft Bioacoustics, ecoObs oder Anabat Systems durchgeführt, allerdings i.d.R. nur als Datenlogger und nur auf Fledermäuse begrenzt.

Im Rahmen des deutschen Offshore-Windparks Alpha Ventus wird ein sich drehender Radarsensor für die Erfassung von Vögeln eingesetzt [8]. Die Autoren sprechen sich allerdings für ein Netzwerk von mehreren Radarsensoren aus, um die Interaktion von Vögeln in Windparks, z.B. das Migrationsverhalten, besser studieren zu können. Ein einzelner Radarsensor kann dies z.B. durch Abschattungseffekte und begrenzte Ortsauflösung nicht leisten. Weitere Nachteile von scannenden Radarsystemen im X-Band, wie beispielsweise das BirdScan-Radar in [8], bestehen in der relativ geringen Auflösung und der starken Richtcharakteristik, wodurch der Scanvorgang recht viel Zeit benötigt. Dies wirkt sich nachteilig auf Reaktionszeiten, z.B. für das Anhalten einzelner WEA innerhalb eines Windparks, aus.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben war für die Dauer von 36 Monaten angelegt und wurde auf Antrag um drei weitere Monate kostenneutral verlängert, um die Feldstudie am Windtestfeld WINSENT durchführen und auswerten zu können. Neben turnusmäßigen Projekttreffen fanden immer wieder auch bilaterale Treffen zwischen einzelnen Projektpartnern statt, z.B. für gemeinsam angelegte Messkampagnen. GUF hat die Ergebnisse von MultiRadar in Fachzeitschriften publiziert und war auf mehreren Fachtagungen mit einem aktiven Beitrag vertreten.

4. Wissenschaftlichem und technischem Stand, an den angeknüpft wurde

4.1. Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Es wurden keine bekannten Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte für die Durchführung des Vorhabens benutzt. Lediglich Signalverarbeitungsverfahren, die in der Literatur beschrieben sind, wurden auf die vorhandene Problemstellung angewendet bzw. weiterentwickelt.

4.2. Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Im Wesentlichen wurde die Fachliteratur über Internetrecherche bezogen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Über die Zusammenarbeit mit den Projektpartnern hinaus wurde mit folgenden Einrichtungen zusammengearbeitet:

- Feldstudie am Windtestfeld WINSENT in Zusammenarbeit mit dem Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW, Stuttgart)
- Feldstudie in Österreich in Zusammenarbeit mit Windsfeld GmbH (A-5550 Radstadt, Österreich).
- Analyse von Fledermausrufen gemeinsam mit dem Freiburger Instituts für angewandte Tierökologie GmbH (FrInaT, Freiburg)

II. Eingehende Darstellung zu

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Im Folgenden sollen die Ergebnisse des Teilvorhabens von GUF kurz dargestellt werden. Es werden nur die zentralen Ergebnisse vorgestellt. An dieser Stelle wird auf die unten genannten Literaturreferenzen verwiesen, in der eine ganz ausführliche Diskussion der Ergebnisse vorhanden ist.

A. Entwicklung, Realisierung und Charakterisierung planarer Antennenstrukturen

Auf der Grundlage von numerischen Modellen in CST Microwave Studio wurden unterschiedliche Antennendesigns simuliert und hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit bewertet. Auch wurden unterschiedliche Antennensubstrate untersucht. Das Ergebnis der Entwicklungen ist in den Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt [9]. Zu sehen ist zum einen der Aufbau der Antenne sowie ein Foto der gefertigten Antenne. Der Reflexionskoeffizient und auch der Antennengewinn zeigen eine sehr gute Überstimmung zwischen Modell und Experiment.

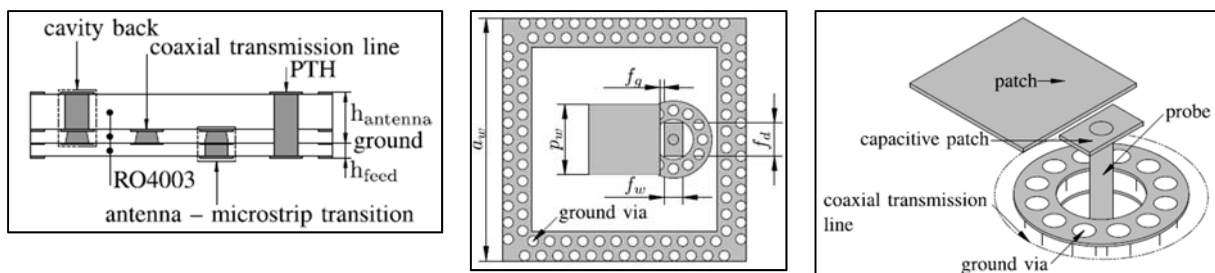


Abbildung 1: Aufbau der Antenne (links) Schematische Darstellung des Layer Stacks (Mitte) Geometrie einer Back-Cavity-Antenne (rechts) Details zur Einspeisung [9].

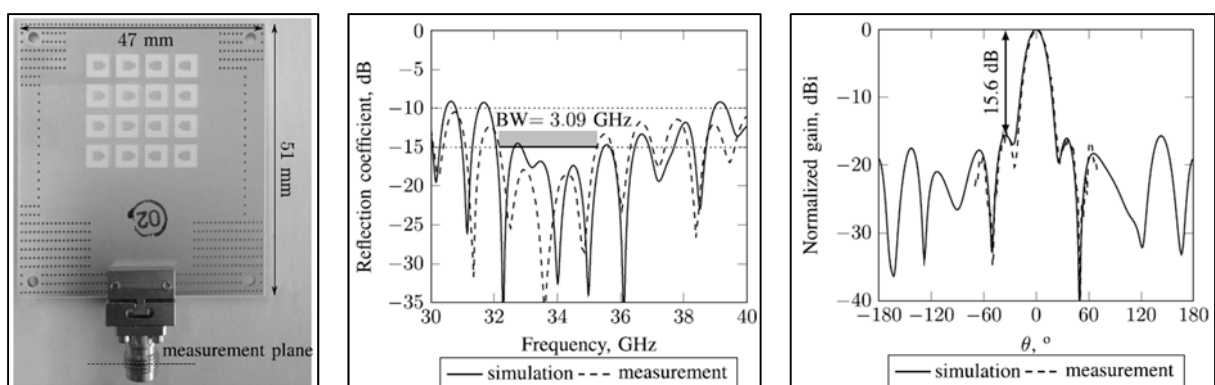


Abbildung 2: (links) Foto des gefertigten Prototypen; (Mitte) Reflexionskoeffizient des 4x4 Antennenprototyps; (rechts) Antennengewinn in Azimuth bei 33,5GHz [9].

B. Optimierung der Antennenanordnung bei WEA (inkl. Lokalisierung und Klassifikationsverfahren zur Unterscheidung von Vögeln und Fledermäusen)

Im Rahmen des Vorhabens wurde eine Simulationsumgebung entwickelt, mit der es möglich ist das Radarsignal eines Vogels (einschließlich Doppler-Signaturen) zu simulieren. Das Sig-

nalmodell ist in Abbildung 3 dargestellt [10], [11]. Unter Einbeziehung der Antennenstrukturen aus dem vorherigen Abschnitt war es möglich eine optimale Verteilung der Radarsysteme bei einer WEA zu simulieren. Das Ergebnis ist in Abbildung 4 zu sehen. Es wurde darauf geachtet, dass es eine geringe Abdeckung in Bodennähe gibt und dass ein großer Bereich des Luftraums abgedeckt ist. Hierbei ist festzustellen, dass eine größere Anzahl als die maximal geplanten 5 Radareinheiten einen Vorteil hinsichtlich der Abdeckung hätte.

Die Ortung eines Vogels unter Berücksichtigung seiner Flugbahn lässt sich segmentweise darstellen, wie in Abbildung 5 zu sehen. Die Analyse lässt sich darüber hinaus auch mit einer Extraktion von Merkmalen kombinieren, die zu dem Klassifikationsergebnis in Abbildung 6 geführt hat [10].

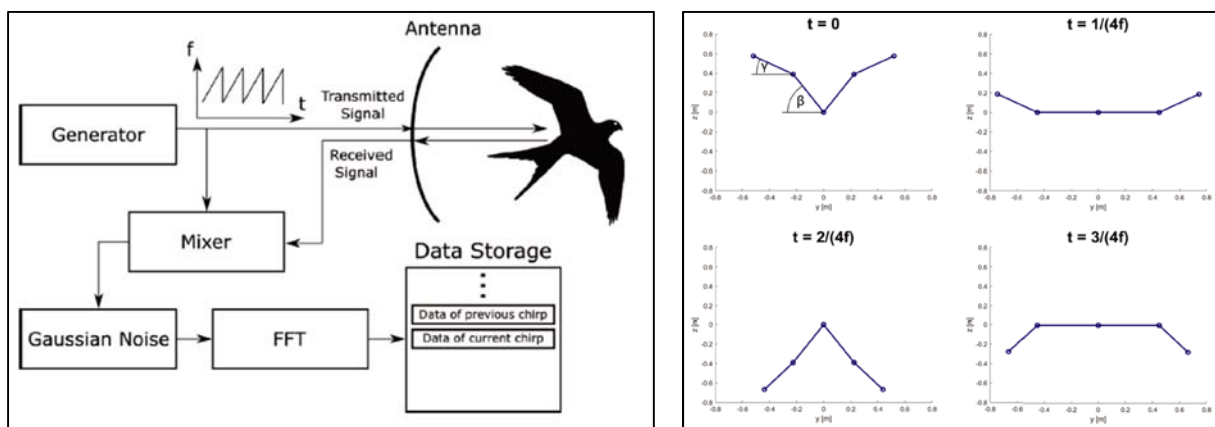


Abbildung 3: (links) Modellierung des Radarsignals innerhalb der Simulation (rechts) Modellierung des Flügelschlags bei einem Vogel [10].

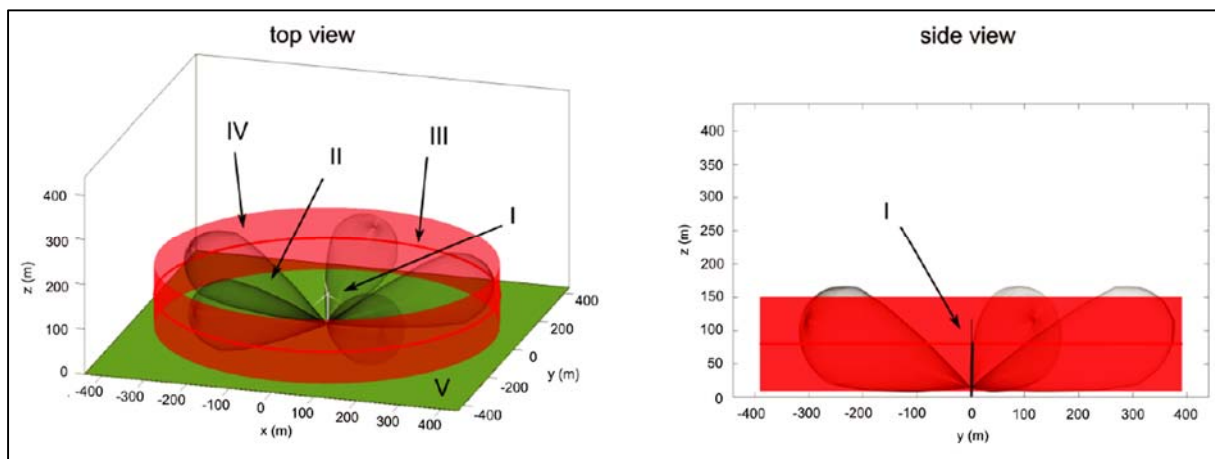


Abbildung 4: Simulationsumgebung mit WEA-Modell. In dieser Abbildung ist die WEA mit I, das Antennendiagramm mit II, die Referenzhöhe der Gondel mit III, die Grenze des Gefahrenbereichs mit IV und der Boden mit V gekennzeichnet [10].

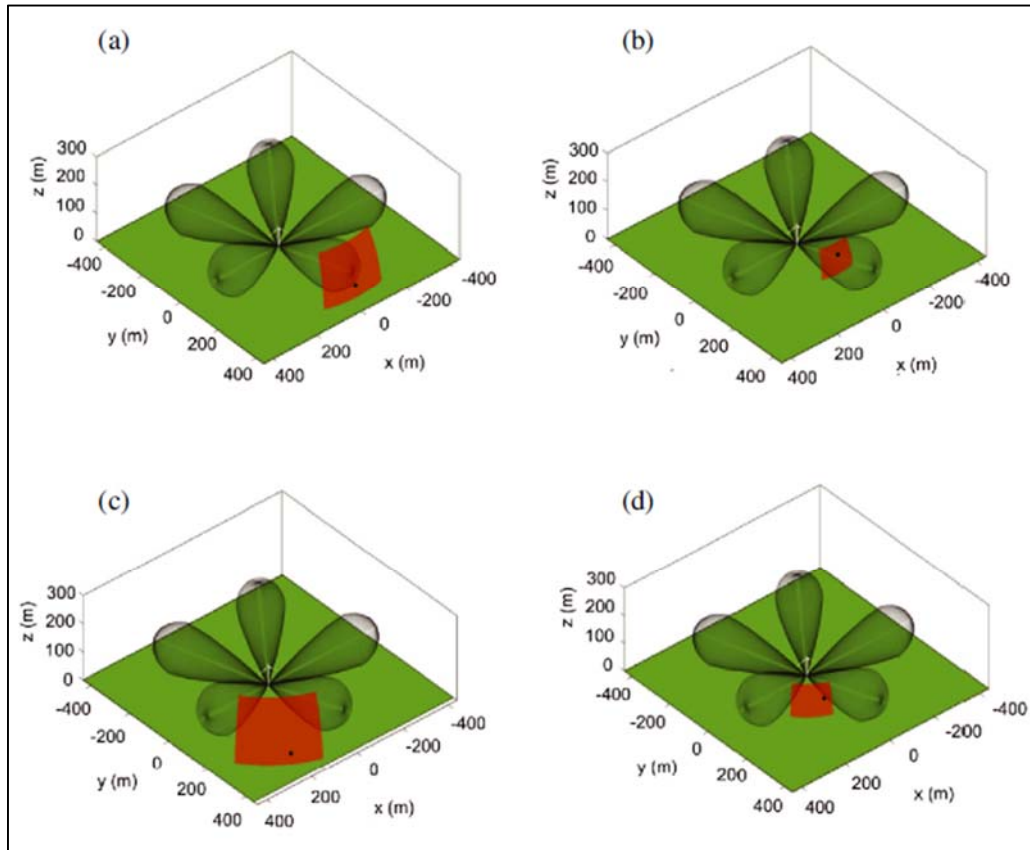
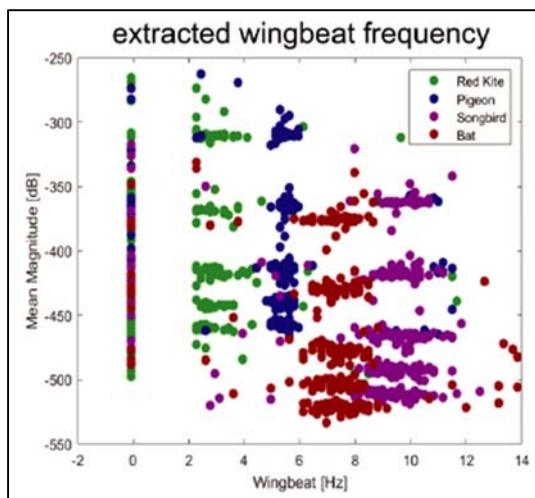


Abbildung 5: Visualisierung der Lokalisierung: Der schwarze Punkt stellt das sich nähernde Objekt dar und der rote Bereich ist der vom Algorithmus berechnete Bereich, in dem sich das Objekt aufgrund des Antennendiagramms befinden könnte. In (a) befindet sich der Vogel in einer Entfernung von 400 m vor dem ersten Radargerät, in (b) befindet sich der Vogel in einer Entfernung von 200m vor dem ersten Radar, in (c) befindet sich der Vogel in 400m Entfernung zwischen dem ersten und dem zweiten Radar und in (d) befindet sich der Vogel zwischen dem ersten und dem zweiten Radar in einem Abstand von 200 m [10].



	Bat	Pigeon	Red Kite	Songbird
Bat	71	0	2	5
Pigeon	1	69	12	0
Red Kite	1	2	67	2
Songbird	3	0	0	50

Abbildung 6: (links) Automatisch extrahierter Flügelschlag aus den Dopplersignaturen des Radarsignals (rechts) Klassifikationsergebnis zur Unterscheidung von Fledermäusen und Vögeln unterschiedlicher Größe [10].

C. Durchführung von Feldstudien

Im Rahmen des MultiRadar-Vorhabens wurden Felduntersuchungen an drei Standorten durchgeführt, die im Weiteren beschrieben werden.

C1. Durchführung von Feldstudien am Dach der Goethe Universität Frankfurt (inkl. Entwicklung von Bildverarbeitungsmethoden)

Abbildung 7 (links) und Abbildung 8 zeigen zwei Sensorinstallationen auf dem Dach der Goethe Universität Frankfurt. Für diese Untersuchungen wurde eine Frequenzzuteilung bei der Bundesnetzagentur beantragt und bewilligt. Im rechten Teil von Abbildung 7 ist das Ergebnis einer Analyse von Videodaten dargestellt, die bei der Dachinstallation aufgenommen wurden. Zunächst wurde der Hintergrund mittels BGS-Library¹ eliminiert. Im Anschluss daran erfolgte ein Clusterverfahren zur Trennung benachbarten Objekte durch Einsatz von Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) [12]. Das Ergebnis besteht in der Darstellung der Flugbahnen zweier Vögel, wobei die jeweilige Flugbahn farbkodiert ist. Mit diesem Verfahren wurden die Videosequenzen in ein einzelnes Bild komprimiert und zeigen die jeweiligen Flugbahnen (einschließlich Flügelschlag).

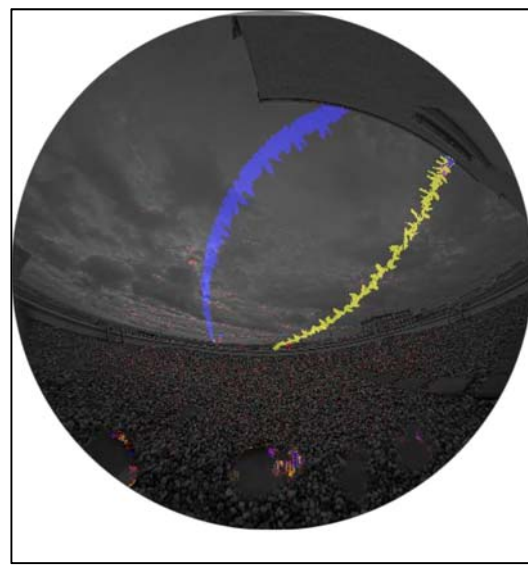


Abbildung 7: (links) Foto von der Dachinstallation mit Kamera und Radarsystem; (rechts) Objekterkennung und Nachverfolgung der Flugbahn zweier Vögel (Kompression eines Videos in ein Bild).

¹ <https://github.com/andrewssobral/bgslibrary> (Stand 3.5.2022)

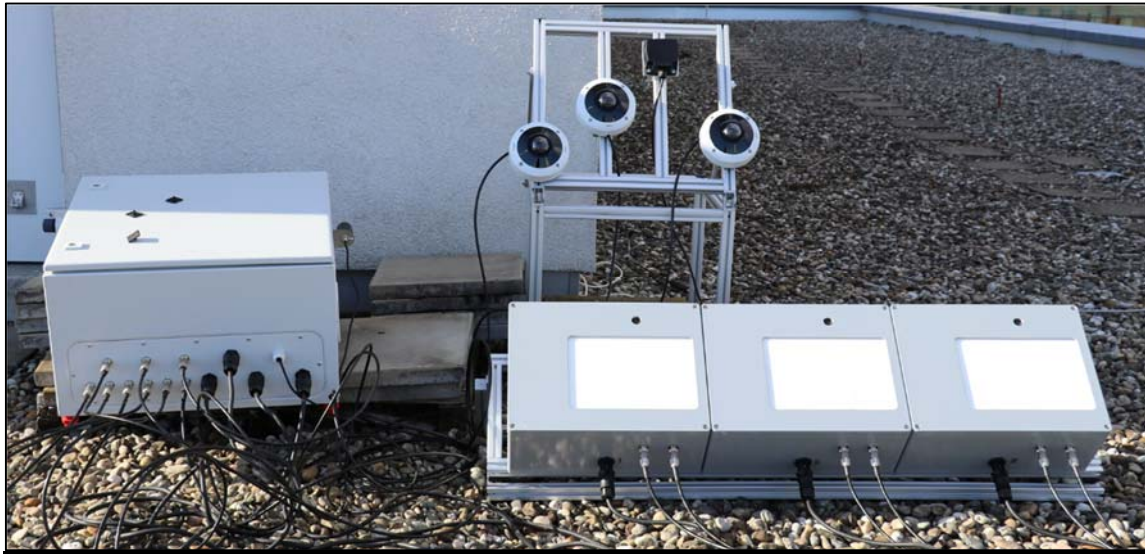


Abbildung 8: Weiteres Experiment auf dem Dach der Goethe Universität Frankfurt zur Vorbereitung der Feldstudie am WINSSENT.

C2. Durchführung von Feldstudien am Windtestfeld WINSSENT

In Absprache mit dem Projektträger erfolgt die Sensorinstallation nicht bei einer WEA, sondern im Windtestfeld WINSSENT auf der Schwäbischen Alb. Auch für diese Installation wurde eine Frequenzzuteilung beantragt und erteilt. Abbildung 9(links) gewährt einen Blick in einen Schaltschrank, der den Messrechner und die Leistungselektronik enthält. Abbildung 9(rechts) zeigt ein Foto eines Sensorbox mit Radarsensor und Ultraschallmikrofon sowie weiteren Messtechnik-Komponenten. Von diesen Modulen wurden insgesamt drei Stück aufgebaut (wie in Abbildung 8 zu sehen).

Die Messtechnik wurde in Zusammenarbeit mit dem ZSW in WINSSENT installiert (siehe Abbildung 10). Zu diesem Zweck mussten etliche Fragestellungen hinsichtlich der Montage gelöst werden. Zwei exemplarische Ergebnisse sind in Abbildung 11 zu sehen.

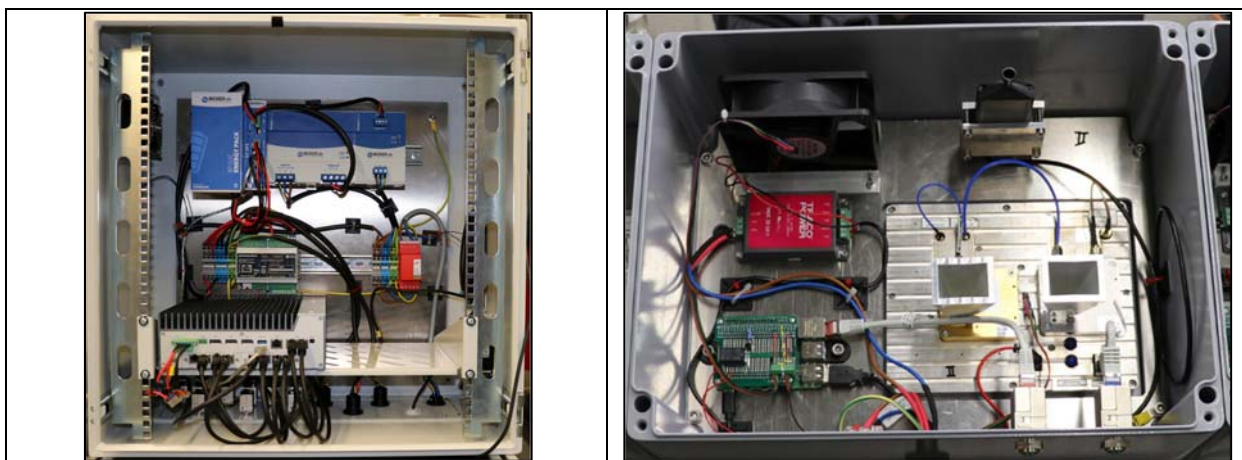


Abbildung 9: (links) Messrechner und Komponenten für die Feldstudie am WINSSENT in einem Schaltschrank; (rechts) Blick in die Sensorbox (mit Radar und Ultraschallmikrofon).



Abbildung 10: Fotos der Sensorinstallation am WINSSENT aus zwei unterschiedlichen Richtungen.

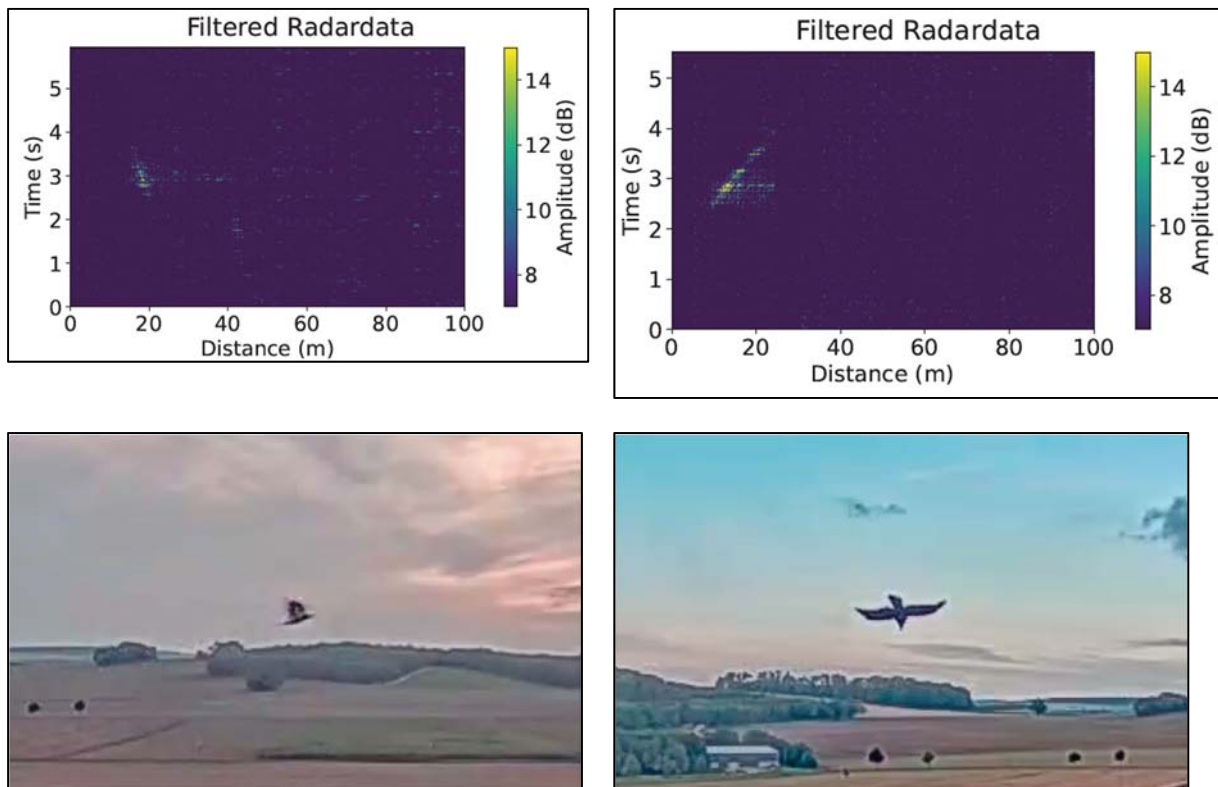


Abbildung 11: (linke Spalte) Radargramm und vorbeifliegender Vogel (rechte Spalte) Radargramm und vorbeifliegender Vogel.

C3. Durchführung von Feldstudien im alpinen Raum (Österreich)

Eine dritte Feldstudie erfolgte in Absprache mit dem Projektträger im alpinen Raum in Zusammenarbeit mit der Windsfeld GmbH. Auch für diese Installation wurde eine Frequenzzuteilung beantragt und erteilt. Es wurde hierfür ein weiterer Schaltschrank mit Messtechnik sowie eine weitere Sensorbox entwickelt (siehe Abbildung 12 und Abbildung 13). Es wurden eine Reihe von Objekten automatisch detektiert (Schnellfall, Wanderer, Kühe etc.) nicht je-

doch Vögel, so dass keine Ergebnisse in diesem Bericht aufgeführt sind. Die Gründe hierfür liegen insbesondere in der begrenzten Detektionsreichweite der Radarsensoren.

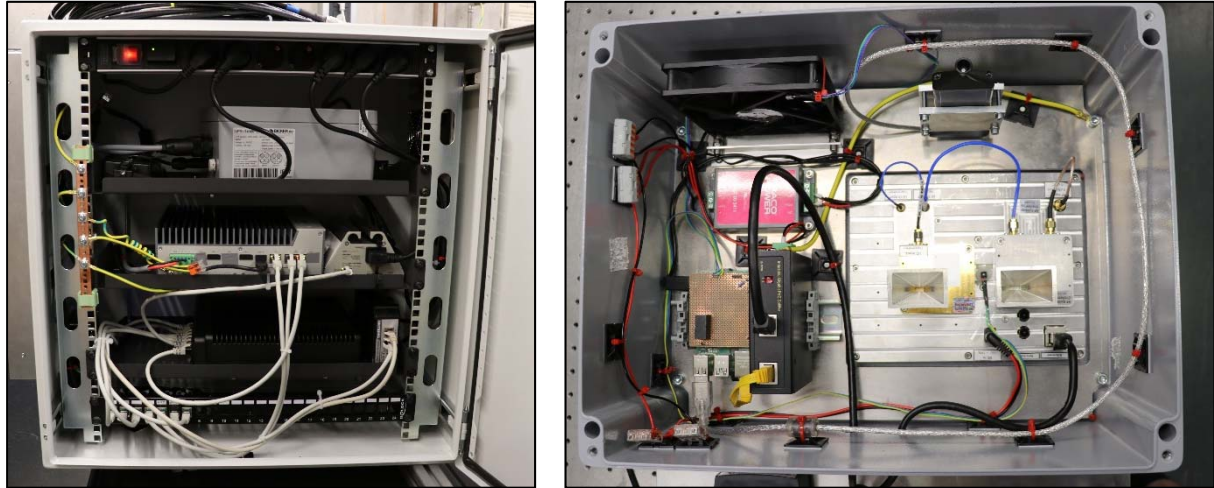


Abbildung 12: (links) Messrechner und Komponenten für die Feldstudie in Österreich in einem Schaltschrank; (rechts) Blick in die Sensorbox (mit Radar und Ultraschallmikrofon).



Abbildung 13: (links) Windmessmast mit der Sensorinstallation im unteren Bereich; (rechts) Nahaufnahme des Sensorsystems.

D. Entwicklung akustischer Rufanalyse von Fledermäusen mittels Bildverarbeitung und CNN

Von FrlnaT und dem ZSW wurde eine große Anzahl an Fledermausrufen vom Windtestfeld WINSSENT zur Verfügung gestellt. Die Positionen der Mikrofone sind in Abbildung 14 (links) zu sehen. Für die automatische Trennung zwischen Rauschsignalen und Fledermausrufen sowie der Klassifikation von Fledermausarten wurde eine neue Herangehensweise entwickelt, die schematisch in Abbildung 14 (rechts) zu sehen ist [13]. Die Messdaten wurden erst in ein Spektrogramm überführt und anschließend weiter als Bilder analysiert. Das sehr schöne Klassifikationsergebnis ist in Abbildung 15 dargestellt. Eine ergänzende Methodik auf der Grundlage des Distance Regularized Level Set Evolution-Algorithmus hatte jedoch nur be-

grenzten Erfolg [14]. Ein Beispiel der Bildanalyse zur Extraktion der Fledermausrufe ist in Abbildung 16 dargestellt. Dieser Ansatz wurde jedoch nicht weiterverfolgt.

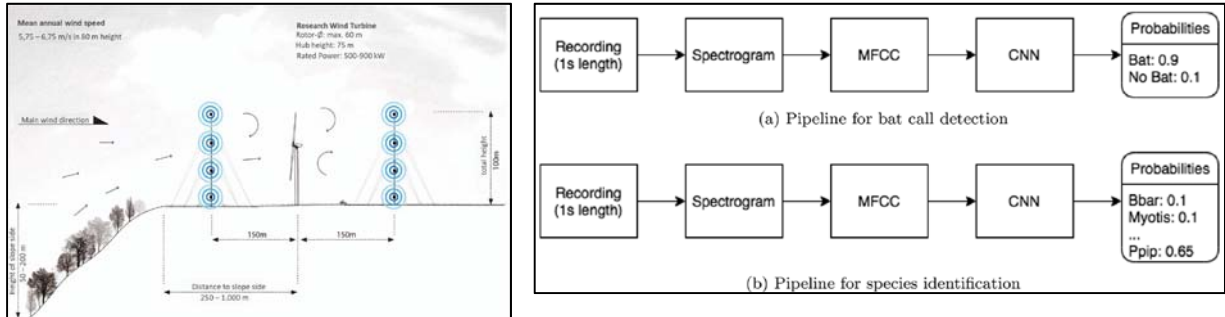


Abbildung 14: (links) Schematische Darstellung des Windenergie-Testfelds. Die beiden Messmasten haben eine Gesamthöhe von 100 m. Jeder Mast ist mit vier Mikrofonen ausgestattet, die mit blauen Kreisen in den Höhen 5 m, 33 m, 65 m und 95 m markiert sind. Zum Zeitpunkt der Messungen waren die WEA noch nicht vorhanden (Quelle: TUM-LAREG); (rechts) Datenverarbeitungspipeline [13].

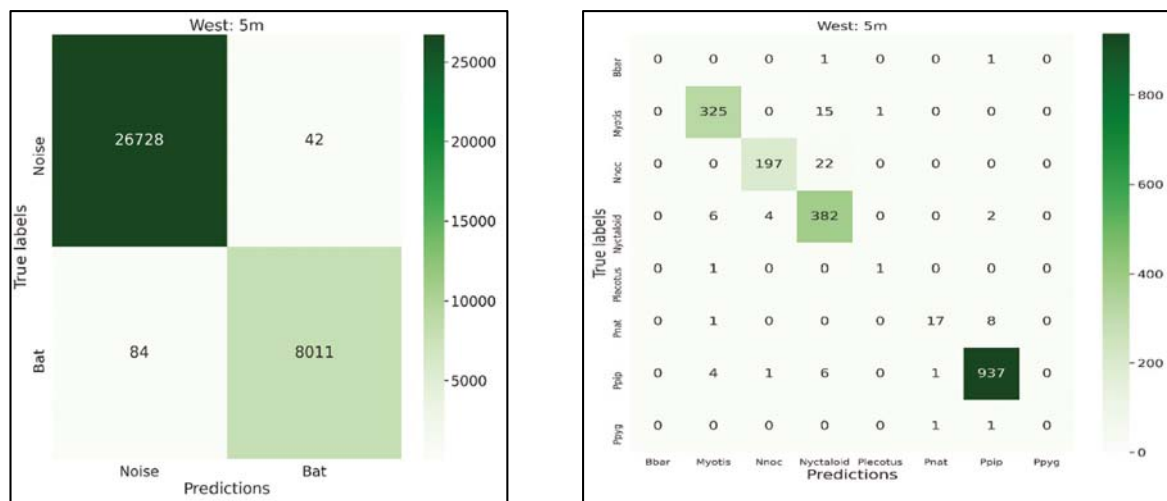


Abbildung 15: (links) Ergebnisse für die Unterscheidung von Rauschmessungen und Fledermausrufen für eine 10%ige, 10%ige und 80%ige Aufteilung des Datensatzes in Trainings-, Validierungs- und Testdaten; (rechts) Beispielhaftes Ergebnis der Arterkennung der Fledermäuse [13].

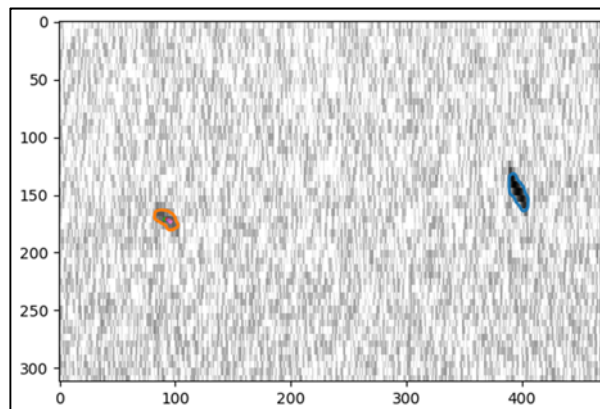


Abbildung 16: Analyse von einem Spektrogramm mit dem Distance Regularized Level Set Evolution-Algorithmus [14].

E. Proof-of-Concept Analyse einer Radarschranke zur Optimierung der Schlagopfersuche

Die evidenzbasierte Schlagopfersuche ist sehr aufwändig und im Wald praktisch unmöglich. Vor diesem Hintergrund haben wir einen Ansatz für die sensorgestützte Unterstützung der Schlagopfersuche entwickelt [15]. Eine Illustration der Radarschranke sowie eines Entscheidungsbaums sind in Abbildung 17 dargestellt. Simulationsergebnisse für die Schätzung der Trefferhöhe sind in Abbildung 18 (links) zu sehen. Aufgrund der längeren Laufzeit vergeht eine längere Laufzeit bis das Schlagopfer das untere Radarsystem erreicht. Dies ist in Abbildung 18 (rechts) dargestellt. Eine experimentelle Proof-of-Concept Studie wurde mit einem Fußball durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 19 und Abbildung 20 zusammengestellt. Die Abwurfhöhe konnte über die Auswertung der Laufzeit bestimmt werden.

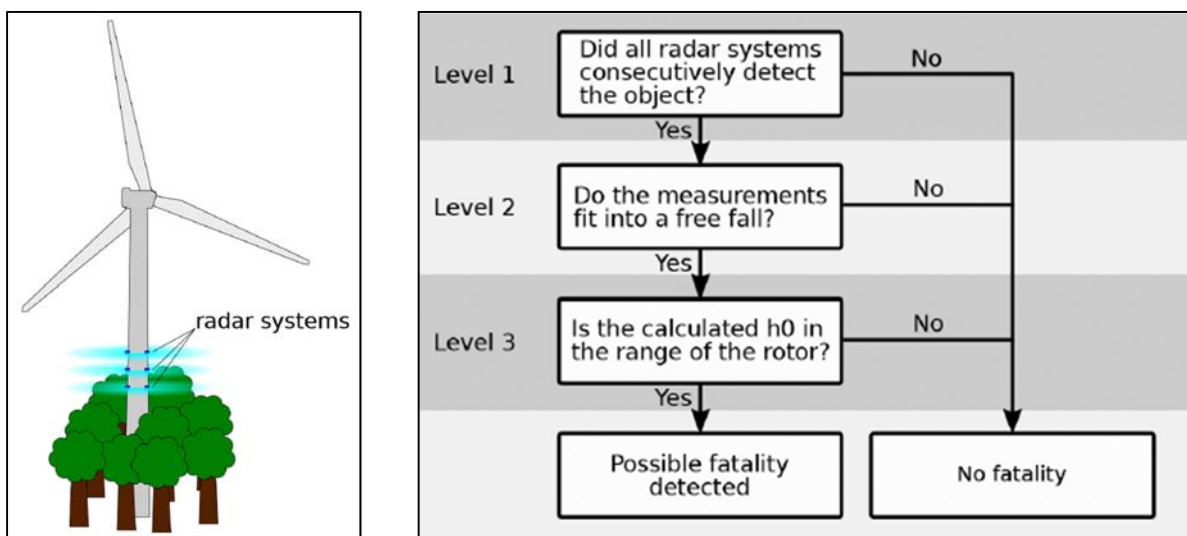


Abbildung 17: (links) Illustration der Radarbarriere bei einer WEA im Wald: mehrere Radarsysteme sind in verschiedenen Höhen rund um den Turm verteilt, um den gesamten Luftraum abzudecken; (rechts) Entscheidungsbaum für die Klassifizierung von Schlagopfern [15].

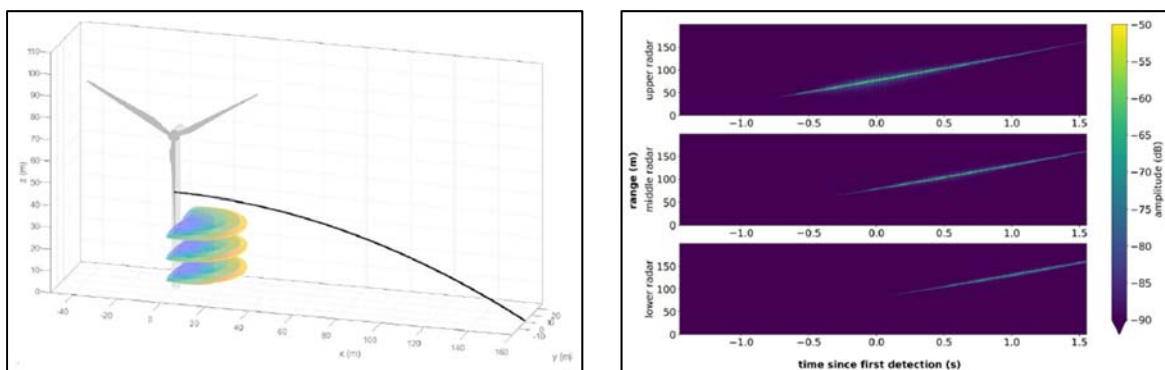


Abbildung 18: (links) Simulierte Flugbahn eines vom Rotorblatt getroffenen Objekts (klassifiziert als Schlagopfer) bei einem horizontalen Treffer in 40m Höhe; (rechts) Radargramm aller drei Radarsysteme für eine simulierte Kollision [15].



Abbildung 19: (links) Foto des Versuchsaufbaus. Ein Radarsystem wurde auf jedem der drei äquidistanten Balkone montiert. Zusätzlich wurde eine Fischaugenkamera auf dem mittleren Balkon installiert. Von den Balkonen, wurden Fußbälle durch die Erfassungsbereiche der Radarsysteme geworfen; (rechts) Kameraansicht: Mehrere Einzelbilder des Videos eines Wurfes wurden zusammengesetzt. Zwischen den Aufnahmen des Fußballs liegen fünf Bilder bzw. 250 ms [15].

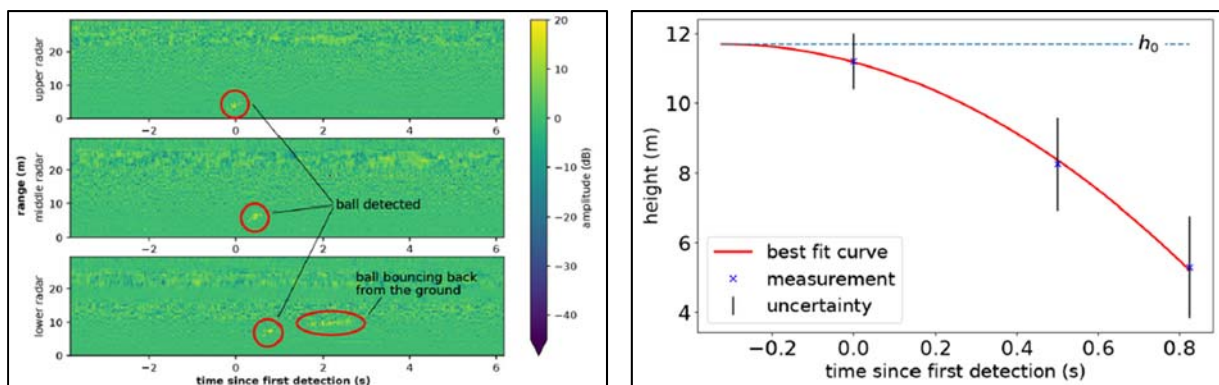


Abbildung 20: (links) Radargramm eines Experiments, bei dem der Ball vom obersten Balkon ein wenig nach oben abgeworfen wurde, bevor er nach unten fiel; (rechts) Fit des freien Fall-Modells auf der Grundlage der Messungen, bei dem die Abwurfhöhe gut geschätzt werden konnte [15].

F. Radarbasierte Erkennung von Regen

Die Aktivität von Fledermäusen und Vögeln nimmt bei Regen ab, so dass es für einen adaptiven WEA-Betrieb hilfreich ist zu wissen, ob Niederschlag vorhanden ist oder nicht. Zu diesem Zweck wurden die vorhandenen Daten aus dem Projekt B2-Monitor ausgewertet und festgestellt, dass es in der Range-Doppler-Darstellung regeninduzierte Signaturen gibt [16]. Diese Ergebnisse konnten mit einem Laborversuch und einer numerischen Simulation bestätigt werden. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse ist in Abbildung 21, Abbildung 22 und Abbildung 23 zu sehen. Eine eindeutige Klassifikation der Regenereignisse ist über diesen Ansatz möglich.

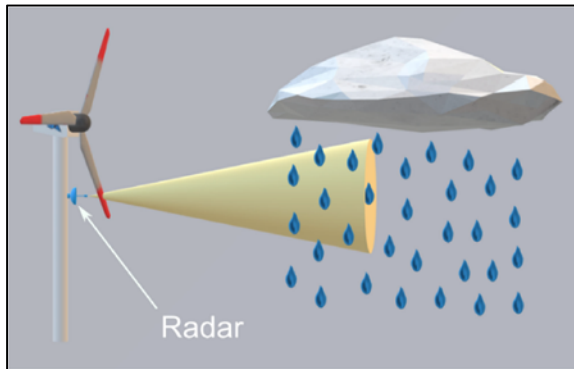


Abbildung 21: (links) Veranschaulichung der radargestützten Regenerkennung in der relevanten Flugzone von Fledermäusen und Vögeln; (rechts) Foto des Versuchsaufbaus. Das Wasser wird vom Metallrahmen in verschiedenen Winkeln auf das Radargerät zu und von ihm weg gesprüht [16].

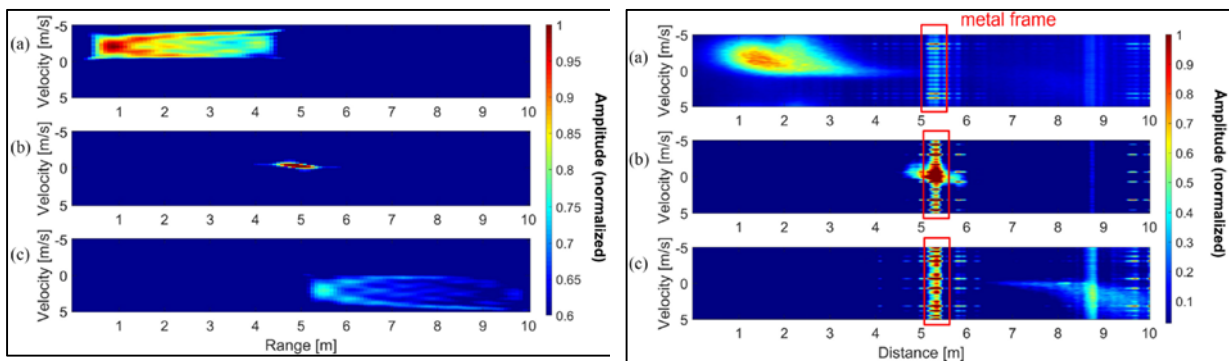


Abbildung 22: (links) Numerische Ergebnisse unter Verwendung des FMCW-Signalmodells zur Modellierung von Regen in einer Entfernung von 5 m für verschiedene Sprühhichtrichtungen; (rechts) Experimentelle Range-Doppler Analyse zeigt eine qualitative Übereinstimmung [16].

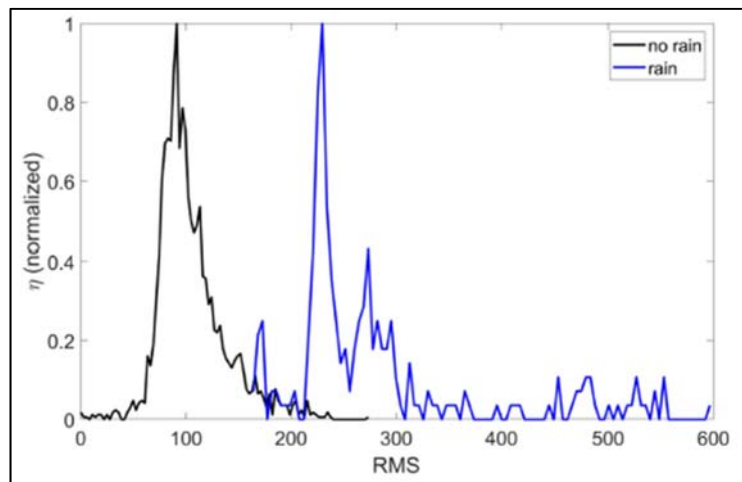


Abbildung 23: (links) Sensorinstallation an der WEA; (rechts) Normalisiertes Histogramm von Regen- und Nicht-Regen-Ereignissen. Wir haben hier nur video-validierte Daten berücksichtigt. Insgesamt wurden 2.781 Ereignisse (252 Regenereignisse und 2.569 regenfreie Ereignisse) ausgewertet. Eine Unterscheidung zwischen diesen Bedingungen ist darüber möglich [16].

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Weiteren soll auf die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises eingegangen werden:

1. Personalkosten E12-E15 (Position 812)

Die Mittel wurden für die Personalausgaben der wissenschaftlichen Mitarbeiter verwendet, die im Rahmen des Projekts beschäftigt wurden.

2. Beschäftigungsentgelte (Position 822)

Im Rahmen von MultiRadar wurden studentische Mitarbeiter in die aktuellen Forschungsarbeiten eingebunden. Diese haben vor allem bei der Implementierung von Softwarealgorithmen sowie bei der Vorbereitung und Durchführung der Feldinstallation unterstützt.

3. Vergabe von Aufträgen (Position 835)

Unterauftrag an das ZSW zur Durchführung der Sensor-Installation.

4. Investitionen (Position 850)

Erwerb von Radarsystemen und Kameras; Fertigung von Antennen.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Mit der gewährten Zuwendung konnten nahezu alle im Antrag genannten Projektziele erreicht werden. Es konnten jedoch keine radiometrischen Untersuchungen durchgeführt werden, weil uns kein entsprechender Sensor zur Verfügung gestellt wurde. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der Kosten können somit bestätigt werden.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Entwicklungen in diesem Vorhaben haben dazu geführt, dass Vögel und Fledermäuse im Rahmen der Voruntersuchungen und Feldstudien erfolgreich detektiert werden konnten. Allerdings konnte bisher nicht die erforderliche Reichweite erzielt werden, so dass weitere Optimierungen erforderlich sind. Die Erfassungsreichweite von Vögeln liegt im Bereich von 30-40m. Das Potential des geplanten Ansatzes wurde jedoch durch Simulationsstudien gezeigt.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Dem kamerabasierten Antikollisionssystem Identiflight wurde eine praxistaugliche Leistungsfähigkeit für den Tagbetrieb bescheinigt [17].

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 6

Zeitschriftenartikel

1. A Taremi Zadeh, A.; Diyap, M.; Moll, J. & Krozer, V., Towards Localization and Classification of Birds and Bats in Windparks Using Multiple FMCW-radars at Ka-Band, Progress in Electromagnetics Research M (PIER M), 2022, Vol. 109, pp. 1-12

2. Paumen, Y.; Mälzer, M.; Alipek, S.; Moll, J. ; Lüdtke, B. & Schauer-Weisshahn, H., Development and Test of a Bat Calls Detection and Classification Method based on Convolutional Neural Networks, Bioacoustics, 2021
3. Mälzer, M.; Taremi Zadeh, A.; Beck, S.; Moll, J. & Krozer, V., Towards Radar Barriers for Animal Fatality Detection at Wind Turbines: Numerical and Preliminary Experimental Results, IET Radar, Sonar & Navigation, 2020, Vol. 14(11), pp. 1767-1772
4. Taremi Zadeh, A.; Mälzer, M.; Simon, J.; Beck, S.; Moll, J. & Krozer, V., Range-Doppler Analysis for Rain Detection at Ka-Band: Numerical and Experimental Results from Laboratory and Field Measurements, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2020, Vol 13(1), pp. 1027-1033
5. Nguyen, D.; Ala-Laurinaho, J.; Moll, J. ; Krozer, V. & Zimmer, G., Improved Sidelobe Suppression Microstrip Patch Antenna Array by Uniform Feeding Networks, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2020, Vol. 68(11), pp. 7339-7347

Konferenzbeiträge

1. Taremi Zadeh, A.; Mälzer, M.; Nguyen, D.; Moll, J. & Krozer, V., Radar-based Detection of Birds at Wind Turbines: Numerical Analysis for Optimum Coverage, 15th European Conference on Antennas and Propagation, 2021, pp. 1-5
2. Moll, J. ; Taremi Zadeh, A.; Mälzer, M.; Simon, J.; Krozer, V.; Kramer, C.; Friedmann, H.; Nuber, A.; Dürr, M.; Pozdniakov, D. & Salman, R., Radar-based Detection of Birds at Wind Turbine Installations: Results from a Field Study, 23rd International Conference on Microwaves, Radar & Wireless Communications, 2020, pp. 1-4
3. Taremi Zadeh, A.; Mälzer, M.; Simon, J.; Beck, S.; Moll, J. & Krozer, V., Experimental Results on Rain Detection at Ka-Band based on Range-Doppler Signal Processing, 14th European Conference on Antennas and Propagation, 2020, pp. 1-4
4. Nguyen, D.; Zimmer, G.; Krozer, V. & Moll, J., Design and Numerical Analysis of a Ka-Band Patch Antenna for Structural Health Monitoring Applications, 12th German Microwave Conference, 2019, pp. 142-145

Vorträge:

1. Sercan Alipek, Yannick Paumen, Moritz Mälzer, Jochen Moll, Bruntje Lüdtke, Horst Schauer-Weisshahn, Frank Musiol, "Development of a Bat Call to Background Discrimination and Bat Species Classification System based on Convolutional Neural Networks: Performance Analysis with Measurements from the Wind Energy Test Site WINSENT", 1st International Bat Research Online Symposium, 2nd November 2021
2. Mälzer, M.; Taremi Zadeh, A.; Beck, S.; Moll, J. and Krozer, V. "Towards a Radar-Assisted Bat Fatality Assessment at Wind Turbines: Numerical and Experimental Results", Deutsches Treffen für Fledermausforschung 2020, Frauenwörth

3. Moll, J.; Krozer, V.; Salman, R.; Kaminsky, S. and Werner, M. „MultiRadar-Projekt: Überwachung des Nahbereichs von Windenergieanlagen durch Multi-Radartechnologie“ Evidenzbasierter Fledermausschutz bei Windkraftvorhaben, Berlin, März 2019
4. Taremi Zadeh, A.; Moll, J. and Krozer, V. „Reduzierung von Abschaltzeiten von Windkraftanlagen durch radarbasierte Regenerkennung“ Evidenzbasierter Fledermausschutz bei Windkraftvorhaben, Berlin, März 2019
5. Simon, J.; Mälzer, M.; Maetz, T.; Moll, J.; Krozer, V. and Voigt, C. „Bildverarbeitungsmethoden für die automatische Erkennung von Fledermäusen bei Windkraftanlagen“ Evidenzbasierter Fledermausschutz bei Windkraftvorhaben, Berlin, März 2019
6. Eckert, V.; Becker, N.I.; Taremi Zadeh, A.; Moll, J. and Encarnacao, J.A. „Lassen sich Fledermäuse durch UV-Licht aus dem Nahbereich von Windrädern vergrämen? - Eine Pilotstudie zu ‚Zwergfledermäusen‘ (Gattung *Pipistrellus*)“ Evidenzbasierter Fledermausschutz bei Windkraftvorhaben, Berlin, März 2019

III. Literaturverzeichnis

- [1] R. Brinkmann, O. Behr, I. Niermann, and M. Reich, Eds., *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen: Ergebnisse eines Forschungsvorhabens*. Göttingen: Cuvillier-Verl., 2011.
- [2] T. Grünkorn et al., *Ermittlung der Kollisionsraten von (Greif)Vögeln und Schaffung planungsbezogener Grundlagen für die Prognose und Bewertung des Kollisionsrisikos durch Windenergieanlagen (PROGRESS)*. 2016.
- [3] C. C. Voigt, L. S. Lehnert, G. Petersons, F. Adorf, and L. Bach, “Wildlife and renewable energy: German politics cross migratory bats,” *Eur. J. Wildl. Res.*, vol. 61, no. 2, pp. 213–219, Apr. 2015.
- [4] L. Bulling, D. Sudhaus, D. Schnittker, E. Schuster, J. Biehl, and F. Tucci, *Vermeidungsmaßnahmen bei der Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen - Bundesweiter Katalog von Maßnahmen zur Verhinderung des Eintritts von artenschutzrechtlichen Verbotstatbeständen nach § 44 BNatSchG*. Fachagentur Windenergie an Land, 2015.
- [5] J. Moll et al., “Plattform zur Sicherstellung des Artenschutzes bei Windkraftvorhaben,” *Naturschutz Landschaftsplanung*, vol. 53, no. 10, pp. 28–34, 2021.
- [6] J. Robinson Willmott, G. M. Forcey, and L. A. Hooton, “Developing an automated risk management tool to minimize bird and bat mortality at wind facilities,” *Ambio*, vol. 44, no. S4, pp. 557–571, Nov. 2015, doi: 10.1007/s13280-015-0707-z.
- [7] N. Scholz, J. Moll, M. Mälzer, K. Nagovitsyn, and V. Krozer, “Random bounce algorithm: real-time image processing for the detection of bats and birds: Algorithm description with application examples from a laboratory flight tunnel and a field test at an on-shore wind energy plant,” *Signal Image Video Process.*, vol. 10, no. 8, pp. 1449–1456, Nov. 2016, doi: 10.1007/s11760-016-0951-0.
- [8] R. Hill et al., “Of birds, blades and barriers: Detecting and analysing mass migration events at alpha ventus,” in *Ecological Research at the Offshore Windfarm alpha ventus*, Federal Maritime and Hydrographic A and Federal Ministry for the Environment, Eds. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014, pp. 111–131.

- [9] D. H. Nguyen, J. Ala-Laurinaho, J. Moll, V. Krozer, and G. Zimmer, "Improved Sidelobe-Suppression Microstrip Patch Antenna Array by Uniform Feeding Networks," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 68, no. 11, pp. 7339–7347, Nov. 2020, doi: 10.1109/TAP.2020.2995416.
- [10] A. Taremi Zadeh, M. Diyap, J. Moll, and V. Krozer, "Towards localization and classification of birds and bats in windparks using multiple FMCW-radars at ka-band," *Prog. Electromagn. Res. M PIER M*, vol. 109, pp. 1–12, 2022.
- [11] A. T. Zadeh, M. Malzer, D. H. Nguyen, J. Moll, and V. Krozer, "Radar-based Detection of Birds at Wind Turbines: Numerical Analysis for Optimum Coverage," in *2021 15th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Dusseldorf, Germany, Mar. 2021, pp. 1–5. doi: 10.23919/EuCAP51087.2021.9411349.
- [12] E. Giacomidis *et al.*, "A Blind Nonlinearity Compensator Using DBSCAN Clustering for Coherent Optical Transmission Systems," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 20, p. 4398, Oct. 2019, doi: 10.3390/app9204398.
- [13] Y. Paumen, M. Mälzer, S. Alipek, J. Moll, B. Lüttke, and H. Schauer-Weisshahn, "Development and test of a bat calls detection and classification method based on convolutional neural networks," *Bioacoustics*, pp. 1–12, Sep. 2021.
- [14] Chunming Li, Chenyang Xu, Changfeng Gui, and M. D. Fox, "Distance Regularized Level Set Evolution and Its Application to Image Segmentation," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 19, no. 12, pp. 3243–3254, Dec. 2010, doi: 10.1109/TIP.2010.2069690.
- [15] M. Mälzer, A. Taremi Zadeh, S. Beck, J. Moll, and V. Krozer, "Towards radar barriers for animal fatality detection at wind turbines: numerical and preliminary experimental results," *IET Radar Sonar Navig.*, vol. 14, no. 11, pp. 1767–1772, Nov. 2020.
- [16] A. Taremi Zadeh, M. Mälzer, J. Simon, S. Beck, J. Moll, and V. Krozer, "Range-doppler analysis for rain detection at ka-band: Numerical and experimental results from laboratory and field measurements," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 13, no. 1, pp. 1027–1033, 2020.
- [17] M. Reichenbach, H. Reers, and S. Greule, "Wie gut schützt IdentiFlight den Rotmilan (*Milvus milvus*)? Untersuchungen zur Wirksamkeit eines Kamerasystems zum Schutz vor Kollisionen an Windenergieanlagen," 2021.