



Arbeitsgruppe für
regionale Struktur- und
Umweltforschung GmbH

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Ausweitung des Zielartenspektrums von IdentiFlight

**Methodische Ansätze zur Validierung neuer
Versionen des neuronalen Netzes**

29.07.2024

In Kooperation mit:



Erstellt im Auftrag von:

e3 IDF GmbH



Auftraggeber:

e3 IDF GmbH

Hugh-Greene-Weg 2

22529 Hamburg, www.e3-identiflight.de

Stand:

29.07.2024

Auftragnehmer:**ARSU GmbH**

Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH

Escherweg 1, 26121 Oldenburg

Postfach 11 42, 26001 Oldenburg

Tel. +49 441 971 74 97

Fax +49 441 971 74 73

www.arsu.de

info@arsu.de

OekoFor GbR

Ökologische Datenerfassung und Forschung GbR

Kartäuserstr. 39a, 79102 Freiburg

Tel. +49 761 766 560 16

Fax +49 761 766 560 15

www.oekofor.de

info@oekofor.de

Bearbeiter

Dr. Marc Reichenbach, ARSU GmbH

Dr. Hendrik Reers, OekoFor GbR

Sören Greule, OekoFor GbR

Johanna Grimm, OekoFor GbR

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Aufgabenstellung</i>	1
2	<i>Das System IdentiFlight</i>	3
3	<i>Methode</i>	5
3.1	<i>Virtueller Validierungsansatz</i>	5
3.2	<i>Datenauswahl</i>	6
3.3	<i>Überprüfung der Klassifizierungsleistung</i>	7
3.4	<i>Wahrung der Neutralität</i>	8
4	<i>Ergebnisse</i>	10
5	<i>Einordnung</i>	17
6	<i>Literatur</i>	20

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group

FACHWORTVERZEICHNIS:

Klassifizierungsrate/Richtig-Positiv-Rate (entspricht u.a. in anderen Dokumenten auch der Erfolgsrate, Erkennungsrate): Rate, mit der eine Zielart korrekt als diese bestimmt wird

Falsch-Negativ-Rate: Rate, mit der eine Zielart nicht als diese bestimmt wird

Falsch-Positiv-Rate: Rate, mit der eine Nicht-Zielart fälschlich als Zielart bestimmt wird

Neuronales Netz: Zweig der künstlichen Intelligenz; hier verwendet für die Artklassifizierung von Vögeln

Track: von IdentiFlight zu einer Flugbahn zusammengefasste Datenpunkte bzw. Bilder eines Flugobjekts, die zeitlich und räumlich nah aneinander liegen und eine ähnliche Flugrichtung aufweisen

1 Aufgabenstellung

Antikollisionssysteme sind gemäß Abschnitt 2 der Anlage 1 zu § 45b Abs. 1-5 BNatSchG eine anerkannte Schutzmaßnahme zur Vermeidung der Tötung oder Verletzung von Exemplaren kollisionsgefährdeter Brutvogelarten. Dieser Maßnahmentyp kommt in Deutschland laut dieser Anlage 1 allerdings derzeit nur für den Rotmilan in Frage, für den ein nachweislich wirksames, kamerabasiertes System zur Verfügung steht. Hierbei handelt es sich um das System IdentiFlight, für das umfangreiche Studien zur Wirksamkeit für den Rotmilan (REICHENBACH *et al.* 2021) und seit Neuestem auch für den Seeadler vorliegen (REICHENBACH *et al.* 2023a; REICHENBACH *et al.* 2023b).

Die Anlage 1 betont ausdrücklich, dass es möglich erscheint, die Anwendung von Antikollisionssystemen zukünftig auch für weitere kollisionsgefährdete Großvögel, wie Seeadler, Fischadler, Schreiadler, Schwarzmilan und Weißstorch, einzusetzen. Antikollisionssysteme, deren Wirksamkeit noch nicht belegt ist, können im Einzelfall im Testbetrieb angeordnet werden, wenn begleitende Maßnahmen zur Erfolgskontrolle durchgeführt werden. Insbesondere für die Adlerarten, die Windparkstandorte meist auf Wechselflügen zwischen Brutplatz und Nahrungshabitaten passieren, wäre die Verwendbarkeit von Antikollisionssystemen ein großer Fortschritt, da für diese Arten außer einer maximal nur sechswöchigen phänologiebedingten Abschaltung kaum wirksame Schutzmaßnahmen zur Verfügung stehen. Auch aus den Anforderungen der aktuellen Erneuerbaren-Energien-Richtlinie der EU (RED III), bereits auf Planungsebene Schutzmaßnahmen für die sogenannten Beschleunigungsgebiete festzulegen, ergibt sich der Bedarf einer breiteren artspezifischen Palette an wirksamen Schutzmaßnahmen.

Vor diesem Hintergrund laufen derzeit für das System IdentiFlight Bemühungen, das Spektrum an kollisionsgefährdeten Zielarten, für die eine artspezifische bedarfsgesteuerte Abschaltung von Windenergieanlagen (WEA) erfolgen kann, zu erweitern. Das Ziel besteht darin, möglichst viele kollisionsgefährdete Arten zuverlässig zu erkennen und zu klassifizieren, wobei für die jeweilige Vogelart sowohl die Falsch-Negativ-Rate (Individuen der Zielart werden irrtümlich nicht als diese klassifiziert) als auch die Falsch-Positiv-Rate (Individuen einer ähnlichen Zielart werden irrtümlich als Zielart klassifiziert) möglichst gering bleiben sollen. Ersteres dient der Optimierung des Schutzniveaus für die betreffende kollisionsgefährdete Vogelart, letzteres dient der Minimierung der damit verbundenen Ertragsverluste durch Fehlabschaltungen.

Beide Parameter hängen in erster Linie von der korrekten Klassifizierung des jeweiligen Vogels ab (Zielart versus Nicht-Zielart). Für Rotmilan und Seeadler wurden für IdentiFlight bereits Klassifizierungsraten von bis zu 99 % nachgewiesen.

Das vorliegende Papier stellt eine Methode vor, mittels derer das Spektrum an verlässlich klassifizierten Zielarten für IdentiFlight erweitert werden soll und präsentiert erste beispielhafte Ergebnisse. Im Einzelnen werden dabei folgende Arten betrachtet:

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Durch die Erweiterung des neuronalen Netzes neu hinzukommende kollisionsgefährdete Arten zur Minimierung der Falsch-Negativ-Rate:

- Schwarzmilan (gemeinsame Kategorie mit Rotmilan)
- Schreiadler und Kaiseradler (gemeinsame Kategorie)
- Fischadler
- Wespenbussard
- Rohrweihe
- Weißstorch

Ähnliche Arten zur Minimierung der Falsch-Positiv-Rate (potenzielle Verwechslungsarten, die jedoch nicht kollisionsgefährdet sind):

- Schwarzstorch
- Kranich

Bisher schon validierte Arten:

- Rotmilan
- Seeadler

Abschließend wird ein Ausblick auf die weiteren geplanten Arbeiten zur Erweiterung des Zielartenspektrums gegeben.

2 Das System IdentiFlight

IdentiFlight ist ein Antikollisionssystem und basiert auf optischer Detektion in Kombination mit der artspezifischen Klassifizierung von Flugobjekten, wobei windkraftsensible Vogelarten hier von besonderer Relevanz sind.

Ein IdentiFlight-System besteht aus der Kombination von acht festen Weitwinkelkameras mit einer beweglichen, hochauflösenden Stereokamera (Abbildung 1). Die Weitwinkelkameras überwachen einen 360 Grad - Umkreis und detektieren Flugobjekte in Abhängigkeit von deren Größe bis in eine Entfernung von zirka 1.200 Metern, wobei bereits zwischen relevanten und nicht-relevanten Flugbewegungen unterschieden wird (z. B. Vogel versus Flugzeug). Sobald ein relevantes Objekt detektiert wird, richtet sich die Stereokamera darauf aus und ermittelt kontinuierlich Entfernung, Winkel, Größe und Artklassifikation. In einer Datenbank werden sekundlich Information u. a. Lokalisierung des Vogels, Flughöhe, Entfernung zur nächsten WEA und Artbestimmung abgelegt und sind dort jederzeit abrufbar. Unterschreitet der Vogel einen gewissen, frei programmierbaren und je nach WEA-Typ und Zielart zu berechnenden Abstand zur WEA, wird automatisch ein Abschaltsignal generiert (innerer Abstandszylinder bzw. Reaktionsbereich). Eine Aufzeichnung des Flugweges durch die Stereokamera erfolgt jedoch bereits außerhalb dieser Entfernung in einem äußeren Abstandszylinder, in dem bei hohen Fluggeschwindigkeiten in Richtung WEA ebenfalls eine Abschaltung erfolgen kann.

Maßgeblich für die Entscheidung des Systems, ob ein Abschaltsignal für einen detektierten Vogel generiert wird, ist in erster Linie dessen Klassifizierung bzw. Zuordnung zu der programmierten Zielart. Die Klassifizierung eines detektierten Vogels basiert auf einem neuronalen Netz, das auf der Grundlage größerer Mengen eingespeister Fotos auf bestimmte Zielarten (bisher Rotmilan und Seeadler) trainiert wird. Informationen der Stereokamera – Fotos und Entfernung – werden in Echtzeit vom neuronalen Netz verwendet, um das Flugobjekt zu klassifizieren. Die Klassifizierungsrate kann durch zusätzliche Trainingsdurchläufe mit erweitertem Fotomaterial verbessert werden, wie dies im Verlauf der dreijährigen Untersuchung am Rotmilan bereits gezeigt werden konnte (REICHENBACH *et al.* 2021).

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group



Abbildung 1: Installiertes IdentiFlight-System

3 Methode

3.1 Virtueller Validierungsansatz

Der Klassifizierung durch IdentiFlight liegt ein neuronales Netz zugrunde, dessen Leistungsfähigkeit unter anderem von der Datenquantität und -qualität bestimmt wird, auf deren Basis es trainiert wurde. Tendenziell gilt hier der Grundsatz: je mehr Trainingsdaten, desto besser die erreichbare Leistung des neuronalen Netzwerks.

Damit das IdentiFlight-System eine Zielart zuverlässig von Nicht-Zielarten unterscheiden kann, müssen beim Trainieren des neuronalen Netzwerkes ausreichend viele Bilder der Zielart (sog. True Files) eingespeist werden. Die Trennschärfe kann weiterhin verbessert werden, indem Bilder von anderen Arten, die der Zielart ähnlich sind, zur Verfügung stehen. Wie viele Trainingsbilder benötigt werden, um eine zuverlässige Erkennung einer Zielart zu erreichen, hängt jedoch stark von der Qualität sowie Repräsentativität der Trainingsbilder ab (z. B. Vielfalt bzgl. der Entfernung des aufgenommenen Objekts und unterschiedlicher Blickwinkel). Indem weitere ornithologisch verifizierte Trainingsbilder eingespeist werden, lässt sich die Klassifizierungsleistung des neuronalen Netzes optimieren. Dies wurde bereits während der dreijährigen Studie zum Rotmilan nachgewiesen, in deren Verlauf die korrekte Klassifizierungsrate durch Einsatz einer neuen Version von rd. 80 % auf über 96 % gesteigert werden konnte (REICHENBACH *et al.* 2021).

In den bisherigen Studien zur Leistungsfähigkeit von IdentiFlight in Bezug auf Rotmilan und Seeadler (REICHENBACH *et al.* 2021; REICHENBACH *et al.* 2023a; REICHENBACH *et al.* 2023b) wurde die Klassifizierungsleistung im Rahmen aufwendiger Felderprobungen ermittelt, bei denen auch weitere Leistungsparameter wie räumliche und zeitliche Abdeckung, Erfassungsreichweite sowie Erfassungsrate untersucht wurden. Dabei wurden reale Vogelflüge von IdentiFlight aufgezeichnet und mit der entsprechenden Klassifizierung in einer Datenbank gespeichert. Für das der Arterkennung zugrunde liegende neuronale Netz macht es jedoch keinen Unterschied, ob es im Live-Betrieb die Kamerabilder mit einer Art-Kennung versieht oder ob entsprechende Bilder, die von der betreffenden Version des neuronalen Netzes zuvor noch nicht bearbeitet wurden, klassifiziert werden. Insofern ist die verwendete Methode der virtuellen Validierung grundsätzlich geeignet, die Klassifizierungsleistung neuer Versionen des neuronalen Netzes zu testen, ohne dass dabei vor allem optisch bedingte Parameter wie die Detektionsleistung einbezogen werden müssen.

Hierauf beruht der vorliegende methodische Ansatz: einer neuen Version des neuronalen Netzes, die zuvor vom Hersteller mit Bildmaterial unterschiedlicher Arten trainiert worden war, wurde eine größere Menge an Fotos, die nicht im Trainingsmaterial enthalten und vom Hersteller nicht nachbestimmt waren, präsentiert. Die dabei von IdentiFlight vergebenen Klassifizierungen wurden daraufhin von Ornithologen der OekoFor GbR überprüft.

Die Klassifizierungsleistung des neuen neuronalen Netzes wurde somit virtuell getestet. Es erfolgte keine Felderprobung, also eine tatsächliche Installation von IdentiFlight an einem

Standort und eine nachträgliche Datenanalyse. Stattdessen wurde die Leistungsfähigkeit basierend auf bereits vorhandenen Daten getestet, die nicht zum Training des Neuronalen Netzes verwendet worden waren. Zudem handelt es sich um einen konservativen Ansatz, da die Klassifizierung anhand von Einzelbildern erfolgt und somit kontextbezogene Informationen (vorherige Bestimmung innerhalb desselben Tracks) nicht berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.3.). Im Realbetrieb führen letztere zu einem höheren Klassifizierungserfolg als die kontextlose Bestimmung von Einzelbildern.

3.2 Datenauswahl

In einem ersten Schritt musste geeignetes Bildmaterial für das Training des neuronalen Netzes ausgewählt werden. Hierfür wurde der Datensatz der beiden 2022 in Brandenburg bearbeiteten Erprobungsstandorte genutzt, die durch hohe Flugaktivität zahlreicher Greif- und Großvogelarten gekennzeichnet waren (REICHENBACH *et al.* 2023b). Dieser wurde zu einem Großteil gezielt auf die in Kapitel 1 genannten Arten durchgesehen und nachbestimmt. Mit diesen entsprechend annotierten Bildern wurde daraufhin vom Hersteller das neuronale Netz trainiert.

In einem zweiten Schritt wurden für eine erste stichprobenartige Überprüfung der Leistungsfähigkeit des so trainierten neuronalen Netzes Bilder ausgewählt, die von 20 Tagen im Zeitraum Juli bis August 2022 stammen und nicht Bestandteil des Trainingsdatensatzes waren. Zudem handelt es sich um Bilder, die in der dortigen Feldstudie der Systemvalidierung (REICHENBACH *et al.* 2023b) nicht für die Bestimmung der Klassifizierungsleistung herangezogen worden waren. Die seinerzeit vom System vorgenommene Klassifizierung wurde entfernt.

Diese Daten wurden daraufhin dem zuvor trainierten neuronalen Netz zur Klassifizierung präsentiert. Insgesamt wurden hierfür 12.222 Flugbahnen mit 156.463 Bildern nachbestimmt und für die vorliegende Prüfung herangezogen. Diese enthielten 56.299 Bilder der in Kapitel 1 genannten zehn Zielarten.

Zum Vergleich: In der dreijährigen Rotmilanstudie (REICHENBACH *et al.* 2021) mit insgesamt 364 Aufzeichnungstragen wurden 863.100 Bilder ausgewertet. In der IdentiFlight-Seeadlervalidierungsstudie (REICHENBACH *et al.* 2023a) wurden bei insgesamt 517 Erfassungstagen die Bilder von 920.800 Datenpunkten nachbestimmt. Es handelt sich vorliegend somit nur um eine erste Stichprobe, mit der die Methode einer virtuellen Überprüfung der Klassifizierungsleistung getestet und für einige Arten erste Ergebnis-Tendenzen aufgezeigt werden sollten. Allerdings bedarf es für die Einbeziehung neuer Arten in das neuronale Netz nicht einer derart großen Datenmenge wie in den vorangegangenen grundlegenden Studien zu Rotmilan und Seeadler. Anhaltspunkte für die Beurteilung der Stichprobengröße liefern die zeitliche und räumliche Abdeckung (verschiedene Jahreszeiten, Sichtbedingungen sowie Standorte) und die Relation des Konfidenzintervalls zum angestrebten Leistungsniveau.

3.3 Überprüfung der Klassifizierungsleistung

Das zu validierende Datenmaterial wurde in gleicher Weise wie in früheren Studien (REICHENBACH *et al.* 2021; REICHENBACH *et al.* 2023a; REICHENBACH *et al.* 2023b) skriptbasiert mit der Statistik-Programmiersprache R unter Zuhilfenahme der integrierten Entwicklungsumgebung RStudio bearbeitet, ausgewertet und visualisiert. Zusätzlich wurde durch die OekoFor GbR eine eigene interaktive Softwarelösung (Web-App) auf Basis der Programmiersprachen R und JavaScript sowie HTML entwickelt, um die von IdentiFlight klassifizierten Bilder manuell nachzubestimmen.

Durch ein solches manuelles Nachbestimmen der Fotos und dem anschließenden Abgleich mit der jeweiligen Klassifizierung durch IdentiFlight wurde die IdentiFlight-Klassifizierungsrate (Zielart versus Nicht-Zielart) ermittelt. Das Ergebnis stellt die Richtig-Positiv-Rate dar, die sich mit der Falsch-Negativ-Rate auf 100 % addiert. Je höher also erstere ausfällt, desto niedriger ist letztere, was das angestrebte Ziel darstellt.

Die Nachbestimmung erfolgte auf Art- oder Artgruppenniveau, soweit je nach Bildqualität möglich. Konnte keine genaue Bestimmung eines Greifvogels erfolgen, wurde entweder die Kategorie „Greifvogel“ gewählt, oder – wenn nicht ausgeschlossen werden konnte, dass es sich um eine Zielart handelt – die Kategorie „Greifvogel unbestimmbar“ vergeben. Vögel, bei denen es sich nicht um Greifvögel handelte, wurden entweder auf Artniveau bestimmt oder in der Kategorie „anderer Vogel“ geführt bzw. wenn keine eindeutige Zuordnung erfolgen konnte, die Kategorie „Vogel unbestimmbar“ vergeben. Wurde von IdentiFlight ein anderes Flugobjekt erfasst (Flugzeug, Ballon, Drohne etc.) oder war kein Vogel auf dem Bild zu sehen, wurde die Kategorie „Kein Vogel“ gewählt. Bei der Beurteilung der Klassifizierungsleistung wurden nur Vögel berücksichtigt, bei denen anhand der Bilder sicher festgestellt werden konnte, ob es sich um eine Zielart handelte oder nicht. Bei Flugbahnen, in denen IdentiFlight fälschlicherweise Aufzeichnungen unterschiedlicher Vogelarten zusammenfasste, wurde dies vermerkt und keine Nachbestimmung vergeben.

Die genannten Ausschlusskriterien führten dazu, dass 4 % der Tracks bzw. 2 % der Bilder aufgrund von Unbestimmbarkeit ausgeschlossen werden mussten. In weiteren 2 % der Tracks bzw. 5 % der Bilder waren mehrere Arten vorhanden, was ebenfalls zu einem Ausschluss führte. Es wird nicht davon ausgegangen, dass diese Ausschlüsse die Klassifikationsergebnisse beeinflussen, weil nicht bestimmbare Tracks nur einen sehr kleinen Anteil ausmachen und der Anteil der von IdentiFlight in diesen Tracks vergebenen Zielart Klassifikationen mit 63 % sogar 4 Prozenpunkte höher liegt als im Rest der Stichprobe. Der selektive Ausschluss von Tracks, die mehrere Individuen enthalten, sollte unproblematisch sein, weil kein funktionaler Zusammenhang zwischen der Klassifikationsleistung und dem fälschlichen Zusammenfügen zweier Flugbahnen besteht.

Die Klassifizierung wurde als korrekt bewertet, wenn IdentiFlight für eine nachbestimmte Zielart die zutreffende Kategorie vergeben hatte. Dabei wurden die Arten Rot- und Schwarzmilan sowie Kaiser- und Schreiadler jeweils entsprechend ihrer IdentiFlight-Kategorie zusammengefasst („Red-or-Black Kite“ sowie „Imperial-or-Spotted Eagle“) bei der Berechnung der Klassifizierungsleistung berücksichtigt.

Im nächsten Schritt wurde die Präzision bzw. die enthaltene Unsicherheit der Klassifikationsratenschätzung per Bootstrapping ermittelt. Bei diesem Verfahren werden durch wiederholtes Ziehen mit Zurücklegen neue Stichproben (die Stichprobenwiederholungen) erzeugt, auf deren Grundlage dann Statistiken sowie deren Verteilungen berechnet werden können. Hierfür wurde die folgenden zwei Schritte 1.000-mal wiederholt:

1. Zufällige Ziehung so vieler Track-IDs wie im Datensatz enthalten sind, allerdings mit Zurücklegen, so dass der gleiche Track mehrfach gezogen werden kann, während andere nicht gezogen werden.
2. Berechnung der Klassifikationsrate der gezogenen Tracks. Tracks werden so oft gewertet, wie sie gezogen wurden.

Anschließend wurde aus der Verteilung der 1.000 berechneten Klassifikationsraten das 2,5 %- sowie das 97,5 %-Perzentil berechnet. Die Spanne dieser Werte repräsentiert das 95 %-Konfidenzintervall der Klassifikationsratenschätzung.

Allerdings kann das per Bootstrapping ermittelte Konfidenzintervall nur Unsicherheiten der Schätzung wiedergeben, die im Datensatz tatsächlich abgebildet sind. Nicht repräsentiert sind hingegen systematische Einflüsse von Bedingungen (z.B. Wetter, Federkleider, Lichtverhältnisse), die während der Aufzeichnung des Datensatzes nicht vorlagen.

Hinsichtlich der Übertragbarkeit der hier vorgenommenen virtuellen Prüfung ist zu berücksichtigen, dass es sich um eine kontextlose Einzelbildbestimmung handelt. Das IdentiFlight-System nimmt jedoch beim Einsatz im Feld eine kontextbezogene Bestimmung vor, indem die Zugehörigkeit der Bilder zu einem Track berücksichtigt wird und daher die vorgenommene Bestimmung vorheriger Bilder desselben Tracks einen Einfluss auf die Bestimmung nachfolgender Bilder hat. Auf diese Weise wird erreicht, dass ein bereits als Zielart identifizierter Vogel weiterhin als Zielart angesehen wird, auch wenn sich Blickwinkel, Beleuchtung oder Verhalten merklich ändern und ggf. die Bestimmung erschweren. In der hier vorgenommenen kontextlosen Bestimmung von Einzelbildern können daher Verwechslungen häufiger auftreten, so dass die gewählte Methode im Vergleich zum Feld-Einsatz als konservativ anzusehen ist.

3.4 Wahrung der Neutralität

Um eine Beurteilung über die Wahrung der Neutralität bei den Prozessen der Auswahl, Übermittlung und Auswertung der Daten zu gewährleisten, wurde die TÜV Nord EnSys GmbH Co. KG als weitere neutrale Instanz eingebunden. Zusätzlich verpflichteten sich alle Beteiligten, dass keine Manipulation der Daten stattfindet.

Im Einzelnen waren die unterschiedlichen Parteien in folgender Weise an der Datenbehandlung beteiligt (Abbildung 2):

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group

- Die e3 IDF GmbH begleitete den Prozess als Projektkoordinator und beauftragt unabhängige Gutachter für die Umsetzung der geplanten Durchführung.
- Die OekoFor GbR wählte Bildmaterial zur Bewertung der Klassifizierungsleistung des neuronalen Netzes aus und ermittelt die Leistungsfähigkeit des neuronalen Netzes.
- Die ARSU GmbH erstellte in Zusammenarbeit mit OekoFor einen Abschlussbericht zur Darstellung und Bewertung der Ergebnisse.
- IdentiFlight International LLC ließ die von OekoFor erhaltenen Bilder von dem neuronalen Netz klassifizieren, und stellt die Ergebnisse OekoFor zur Verfügung, um diese zu bewerten.
- Die TÜV Nord AG stellte einen Datenserver zur Übermittlung der Daten zur Verfügung und plausibilisiert das Vorgehen aller Parteien und der Ergebnisse.

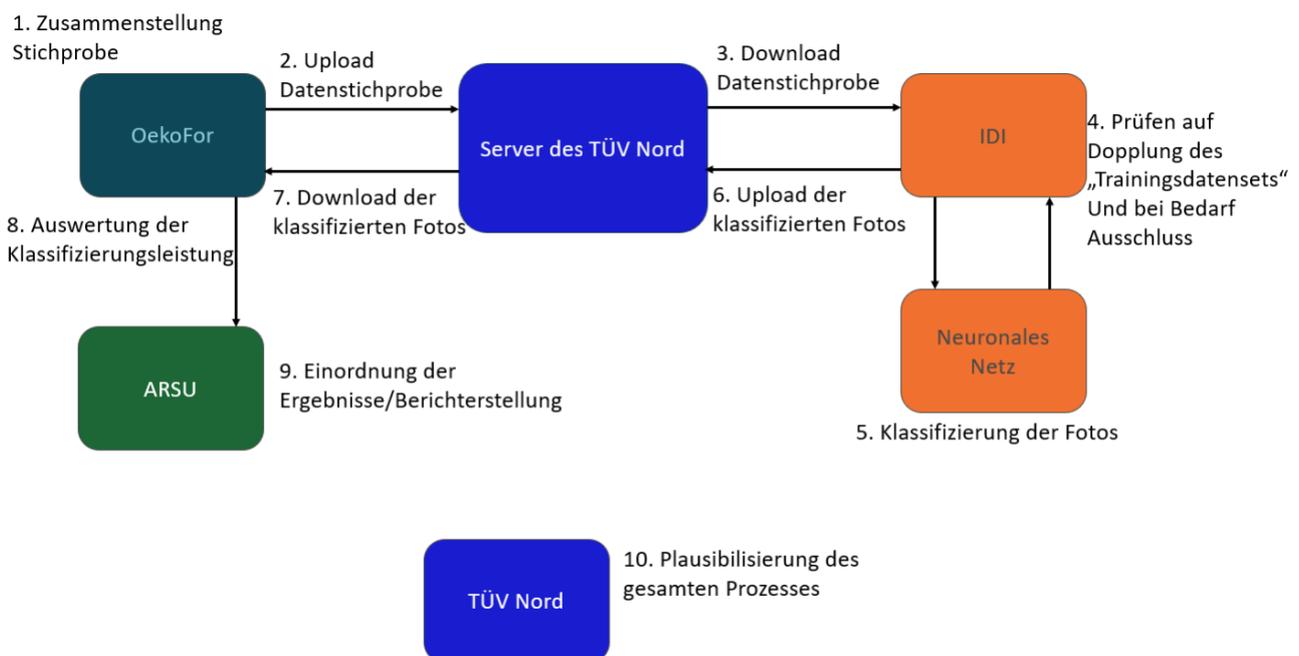


Abbildung 2: Ablaufschema der Datenbehandlung

4 Ergebnisse

Die erreichte Klassifizierungsrate (Zielart wird korrekt als Zielart erkannt) für die jeweilige geprüfte Zielart ist in Tabelle 1 gelistet.

Eine hohe Klassifizierungsrate wurde bei den Arten Seeadler, Rot- und Schwarzmilan sowie dem Schreiadler, Schwarzstorch und Kranich erreicht, wobei die Raten hier deutlich über 90 % und für den Seeadler bei 99 % liegen. Für die Arten Fischadler und Rohrweihe liegt die Klassifizierungsrate bei 89 %; für den Wespenbussard wurden 81 % erreicht. Die niedrigste Klassifizierungsrate wurde für den Weißstorch festgestellt, sie liegt bei 74 % (Tabelle 1). Die Präzision der Klassifizierung, dargestellt als 95 %-Konfidenzintervall, hängt erkennbar von der Stichprobengröße ab; so zeigen Seeadler, Rot- und Schwarzmilan sowie Rohrweihe deutlich kleinere Intervalle als die übrigen Arten (Abbildung 3). Relevant ist dabei insbesondere die Anzahl der verwendeten Tracks, da diese jeweils Flugabschnitte mit demselben Individuum, gleichen Lichtbedingungen und ähnlichem Blickwinkel darstellen. Daher weisen Seeadler und Rohrweihe sowie Rot- und Schwarzmilan annähernd vergleichbare Stichprobengrößen auf, die zu kleinen Konfidenzintervallen führen.

Bemerkenswert ist, dass die hier einbezogenen, nicht kollisionsgefährdeten potenziellen Verwechslungsarten bereits gut von den Zielarten unterschieden und überwiegend korrekt klassifiziert werden (Kranich vs. Adler, Schwarzstorch vs. Weißstorch und Adler, Mäusebussard vs. Wespenbussard). Außerdem wird auch der Geschlechtsdimorphismus bei der Rohrweihe berücksichtigt und trotz der Variabilität der Gefiederfärbung richtig derselben Art zugordnet (Abbildung 4 und Abbildung 5).

In Abbildung 6 und Abbildung 7 wird deutlich, dass es bei der Klassifizierung insbesondere in Abhängigkeit vom Blickwinkel zu Verwechslungen kommen kann, wobei das methodische Vorgehen der kontextlosen Bestimmung diesen Effekt verstärken kann.

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Tabelle 1: Anteil korrekt von IdentiFlight klassifizierter Zielarten-Bilder (Klassifizierungsrate)

Art	Anzahl nachbestimmter Bilder	Anteil korrekt von IdentiFlight klassifiziert (Klassifizierungsrate)
Kollisionsgefährdete Zielarten		
Rotmilan	12.012	97 %
Schwarzmilan	6.976	94 %
Seeadler	22.103	99 %
Schreiadler	156	93 %
Fischadler	797	89 %
Wespenbussard	2.626	81 %
Rohrweihe	10.807	89 %
Weißstorch	76	74 %
Verwechslungsarten		
Schwarzstorch	619	96 %
Kranich	127	91 %

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group

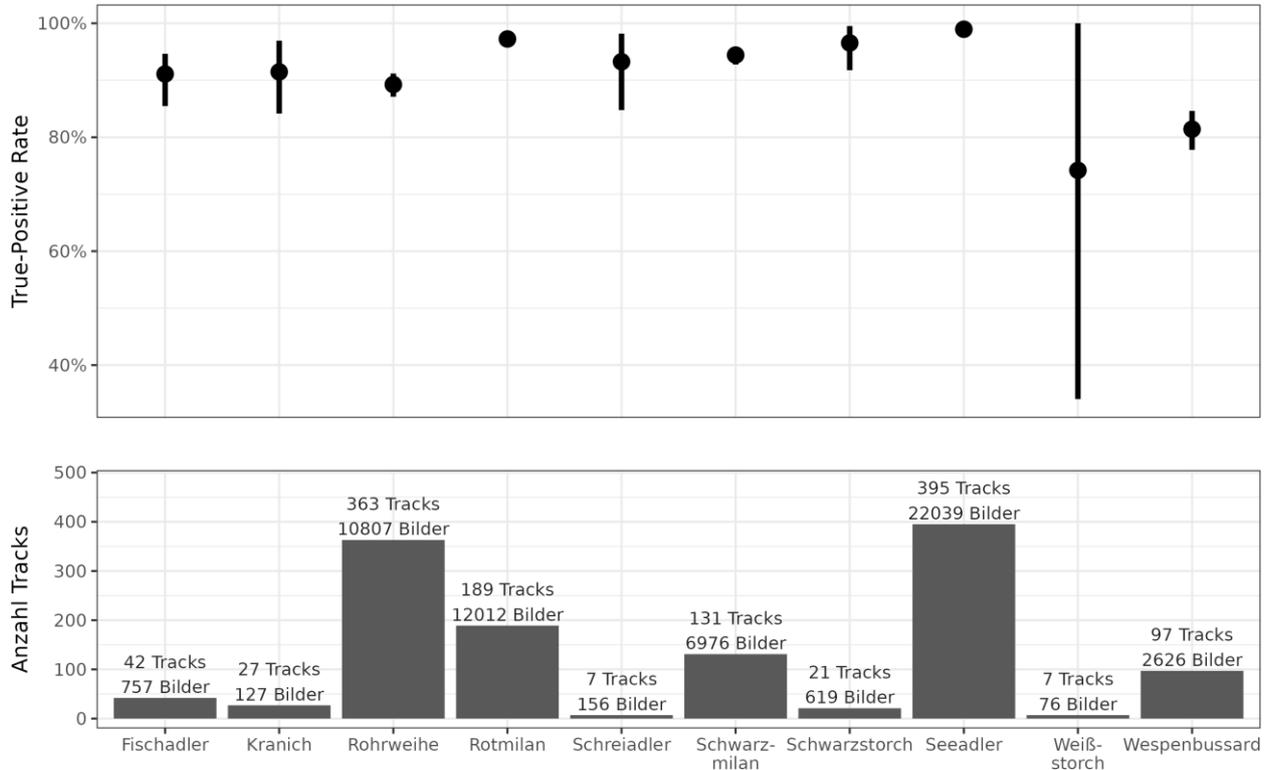


Abbildung 3: Ergebnisse des Bootstrapping zur Präzision der Klassifikation. Die Schwankungsbereiche stellen das 95%-Konfidenzintervall der Klassifikationsratenschätzung dar. Unten ist der Stichprobenumfang der einzelnen Arten bezogen auf die Anzahl der verwendeten Tracks (zusammenhängende Flugabschnitte) dargestellt.

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group

2022-08-15 10:39:10.651 | cec3b842-c55a-4346-88a4-cf58f908d49e



MARSH-HARRIER - 1 HONEY-BUZZARD - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1
 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1
 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1 MARSH-HARRIER - 1

Artbestimmung
 Rohrweihe

anderer Vogel Baumfalke Bussard Fischadler Graureiher Greifvogel Greifvogel unbestimmbar kein Vogel Kormoran Kornweihe Kranich Milan sp. NA Rohrweihe Rotmilan Schreiadler Schwarzmilan Schwarzstorch Seeadler
 Silberreiher Turmfalke Vogel unbestimmbar Wanderfalke Weißstorch Wespenbussard Wiesenweihe  Track aufteilen

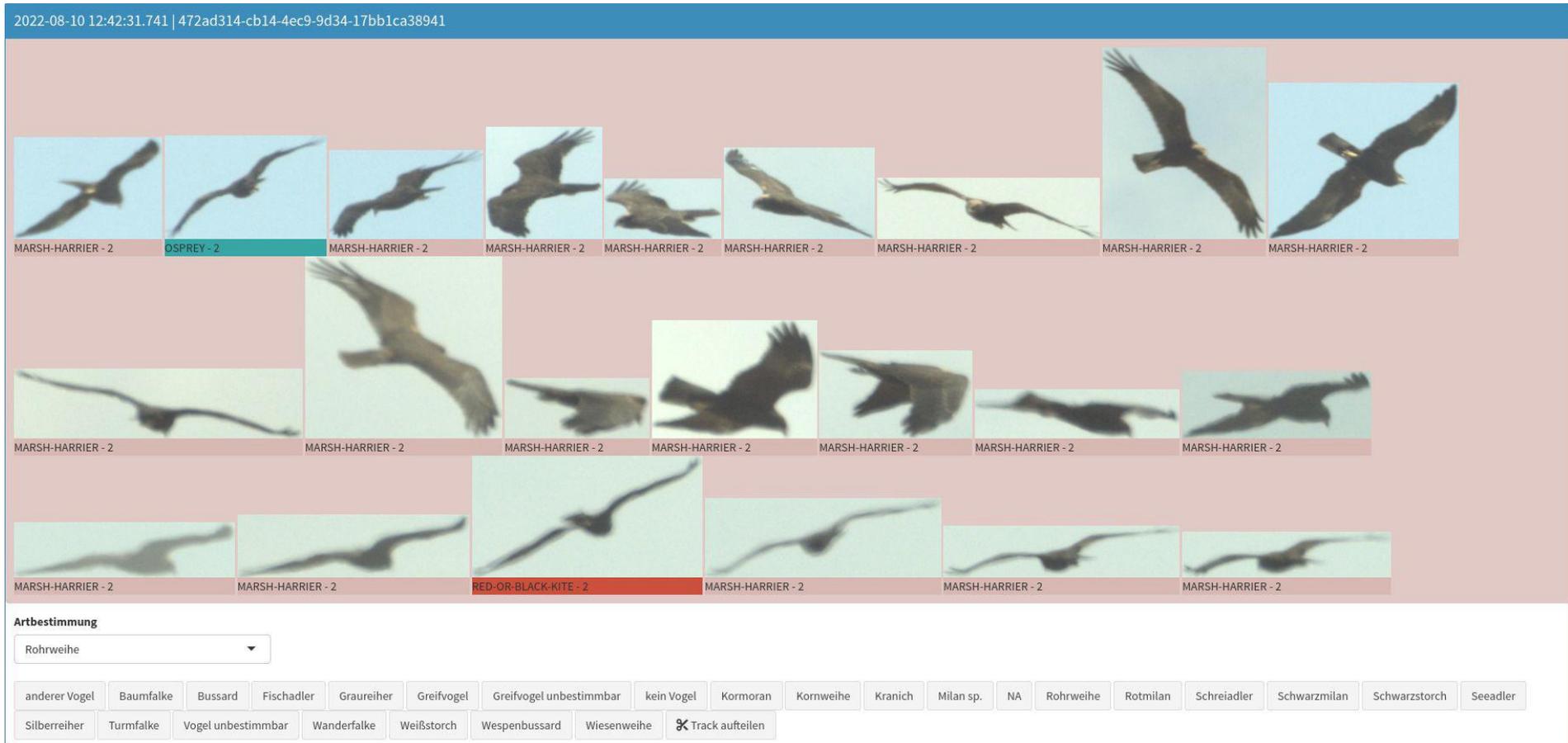
Abbildung 4: Männchenfarbene Rohrweihe und ihre IdentiFlight-Klassifizierung. Die Rohrweihe wurde überwiegend korrekt von IdentiFlight klassifiziert („Marsh-Harrier“). Die Gefiederfärbung kann – im Besonderen zwischen den Geschlechtern – sehr variabel sein (vgl. Abbildung 5).

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group

2022-08-10 12:42:31.741 | 472ad314-cb14-4ec9-9d34-17bb1ca38941



MARSH-HARRIER - 2 OSPREY - 2 MARSH-HARRIER - 2

MARSH-HARRIER - 2 MARSH-HARRIER - 2 MARSH-HARRIER - 2 MARSH-HARRIER - 2 MARSH-HARRIER - 2 MARSH-HARRIER - 2 MARSH-HARRIER - 2

MARSH-HARRIER - 2 MARSH-HARRIER - 2 RED-OR-BLACK-KITE - 2 MARSH-HARRIER - 2 MARSH-HARRIER - 2 MARSH-HARRIER - 2

Artbestimmung
 Rohrweihe

anderer Vogel Baumfalke Bussard Fischadler Graureiher Greifvogel Greifvogel unbestimmbar kein Vogel Kormoran Kornweihe Kranich Milan sp. NA Rohrweihe Rotmilan Schreiadler Schwarzmilan Schwarzstorch Seeadler

Silberreiher Turmfalke Vogel unbestimmbar Wanderfalke Weißstorch Wespenbussard Wiesenweihe  Track aufteilen

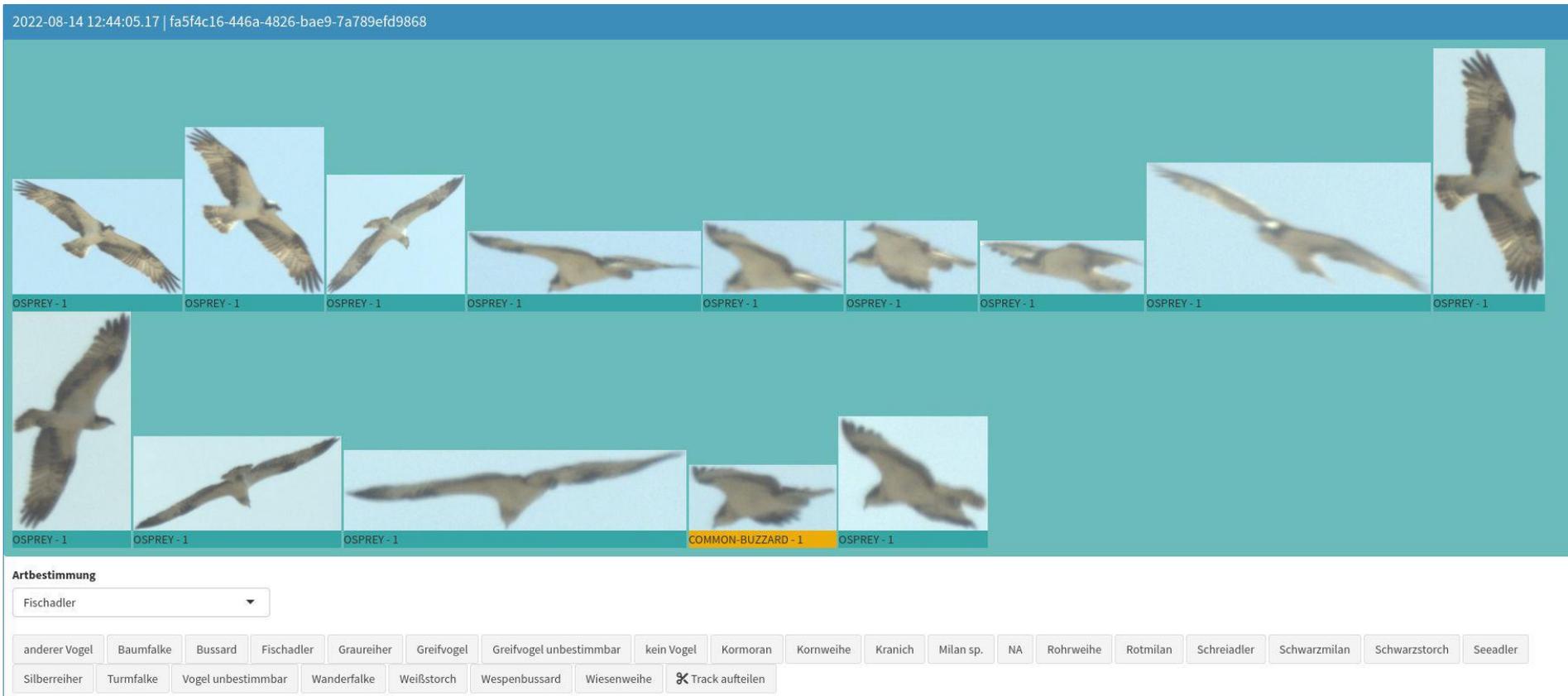
Abbildung 5: Weibchenfarbene Rohrweihe und ihre IdentiFlight-Klassifizierung. Die Rohrweihe wurde überwiegend korrekt von IdentiFlight klassifiziert („Marsh-Harrier“).

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group

2022-08-14 12:44:05.17 | fa5f4c16-446a-4826-bae9-7a789efd9868



OSPREY - 1
 OSPREY - 1 OSPREY - 1 OSPREY - 1 COMMON-BUZZARD - 1 OSPREY - 1

Artbestimmung
 Fischadler

anderer Vogel Baumfalke Bussard Fischadler Graureiher Greifvogel Greifvogel unbestimmbar kein Vogel Kormoran Kornweihe Kranich Milan sp. NA Rohrweihe Rotmilan Schreiadler Schwarzmilan Schwarzstorch Seeadler
 Silberreiher Turmfalke Vogel unbestimmbar Wanderfalke Weißstorch Wespenbussard Wiesenweihe Track aufteilen

Abbildung 6: Fischadler und seine IdentiFlight-Klassifizierung. Der Fischadler wurde überwiegend korrekt von IdentiFlight klassifiziert („Osprey“), die Klassifizierung als Mäusebussard („Common Buzzard“) ist wahrscheinlich auf die methodische Vorgehensweise bei der virtuellen Prüfung zurückzuführen, bei der die Bilder einzeln von IdentiFlight bestimmt werden. Im realen Einsatz im Feld, werden Kontextinformationen bei der Bestimmung des Flugobjekts einbezogen und die Informationen aus vorangegangenen Bildern berücksichtigt.

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group

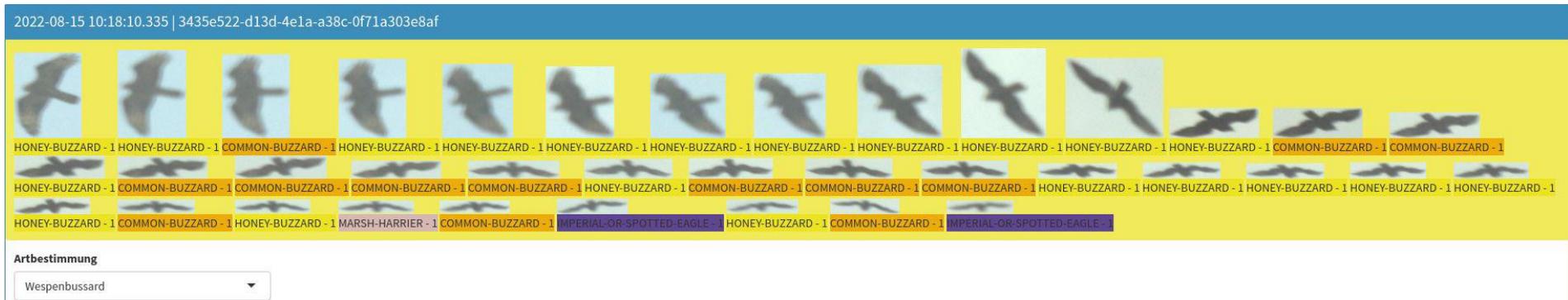


Abbildung 7: Wespenbussard und seine IdentiFlight-Klassifizierung. Verwechslungen wahrscheinlich aufgrund der kontextlosen Einzelbildbestimmung, bedingt durch das methodische Vorgehen werden hier besonders deutlich, wobei das System in diesem Fall bei der schwierigen Ansicht von hinten häufiger zwischen Wespen- und Mäusebussard wechselt.

5 Einordnung

Insgesamt zeigen diese ersten Ergebnisse, dass trotz einer noch geringen Stichprobengröße für alle untersuchten Arten bereits hohe Klassifizierungsraten erreicht werden. Für Rotmilan und Seeadler werden die in früheren Studien erzielten Werte von knapp unter 100 % bestätigt. Für die neuen Zielarten Schwarzmilan, Schrei- und Fischadler, und Rohrweihe sowie für die beiden nicht kollisionsgefährdeten „Verwechslungsarten“ Schwarzstorch und Kranich werden bereits Werte um 90 % erzielt. Nur Wespenbussard und Weißstorch bleiben demgegenüber noch zurück.

Eine Einordnung dieser Ergebnisse erlauben die Anforderungen von BRUNS *et al.* (2021). Demnach sollte die Klassifizierungsrate (Erfolgsrate der Zielartenerkennung) im Überwachungsbereich – also auch über den Reaktionsbereich hinaus – mindestens 75 Prozent betragen. Im Reaktionsbereich – bzw. an dessen äußerer Grenze – sollte die Erfolgsrate die 75 Prozent deutlich überschreiten und idealerweise als Orientierungswert bei mindestens 90 Prozent liegen.

Insgesamt muss die jeweilige Datengrundlage bei den einzelnen Arten berücksichtigt werden. So wurde im Besonderen beim Weißstorch mit 76 Bildern aus 7 Tracks nur eine sehr geringe Stichprobengröße erreicht. Auch bei den Arten Kranich und Schreiadler ist die Stichprobengröße mit deutlich unter 200 Bildern noch deutlich zu klein für eine verlässliche Beurteilung der Klassifizierungsleistung. Für alle Arten gilt, dass die zeitliche Stichprobe nur 20 Tage aus den Monaten Juli und August umfasst und daher unterschiedliche Jahreszeiten bzw. Licht- und Wetterverhältnisse noch nicht hinreichend repräsentieren kann. Dennoch ist bemerkenswert, dass abgesehen vom Weißstorch alle neuen Arten bereits eine Klassifizierungsrate von > 80 % aufweisen, Schreiadler, Kranich und Schwarzstorch sogar von > 90 %. Die geringe Stichprobengröße bzw. die noch bestehende Unsicherheit bei den neu aufgenommenen Arten Fischadler, Kranich, Schreiadler, Schwarzstorch und insbesondere Weißstorch zeigt sich in der Größe des jeweiligen Konfidenzintervalls (siehe Abbildung 3). Im Gegensatz dazu weisen die bereits mit großem Umfang im neuronalen Netz enthaltenen Arten Schwarzmilan, Rotmilan und Seeadler minimale Konfidenzintervalle und auch die höchsten Klassifizierungsraten auf. Die größte Stichprobe bei den neuen Arten liegt für die Rohrweihe mit rd. 10.000 Bildern vor, was sich in dem kleinen Konfidenzintervall um die erzielte Klassifizierungsrate von knapp 90 % widerspiegelt (siehe Abbildung 3).

Insofern lassen sich derzeit folgende Aussagen ableiten:

- Die verwendete Methode der virtuellen Prüfung ist grundsätzlich geeignet einen schnelleren iterativen Trainingsprozess des neuronalen Netzes zu ermöglichen.
- Die vorliegenden Ergebnisse zeigen erste Tendenzen, wonach IdentiFlight absehbar in der Lage sein wird, neben Rotmilan und Seeadler auch für weitere kollisionsgefährdete Arten eine artspezifische Abschaltung mit sehr geringer Falsch-Negativ-Rate von WEA

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group

umzusetzen (Exemplare der Zielarten werden nur in sehr wenigen Fällen nicht als Zielart erkannt).

- Die verwendete Methode führt zu einer konservativen Beurteilung der Klassifizierungsrate, so dass die Ergebnisse im Feldeinsatz noch besser sein sollten.
- Die Datengrundlage muss für eine belastbare Beurteilung und zur Minimierung der noch bestehenden Klassifizierungsunsicherheit (erkennbar in der Größe der Konfidenzintervalle) noch ausgeweitet werden.

Der Vorteil dieser virtuellen Prüfmethode besteht darin, dass die Validierung des neuronalen Netzes auf diese Weise viel schneller und effektiver sowie unabhängig vom saisonalen Auftreten spezifischer Vogelarten erfolgen kann. Außerdem ist der gesamte Prüfprozess reproduzierbar und damit transparent sowie nachprüfbar. Dementsprechend kann auch eine schnellere Implementierung in der Praxis erfolgen, indem die Wirksamkeit des untersuchten Antikollisionssystems für weitere Arten nachgewiesen und anerkannt werden kann.

Allgemeine Aussagen zu Falsch-Positiv-Raten – im Gegensatz zu den Klassifizierungsraten – lassen sich mit der verwendeten Methode hingegen nicht treffen. Es kann derzeit nicht abgeschätzt werden, ob eine kontextlos ermittelte Falsch-Positiv-Rate höher oder niedriger ausfällt als eine Schätzung anhand eines Feldversuches, weil es sowohl Wirkpfade gibt, die zu einer Überschätzung der Rate führen können, als auch Wirkpfade, die zu einer Unterschätzung führen. Beispielsweise kann die Klassifizierung der Bilder im Kontext dazu führen, dass ein Bild nicht fälschlicherweise als Zielart klassifiziert wird, wenn das IdentiFlight-System bereits aus den vorherigen Bildern ableiten kann, dass es sich nicht um eine Zielart handelt. Andererseits kann eine falsche Festlegung auf eine Zielartklassifizierung im Feld auch im weiteren Verlauf des Tracks beliebig oft reproduziert werden. Generell führt jedoch die Verbesserung der Trennschärfe zwischen ähnlichen Arten, insbesondere in Bezug auf den häufigen Mäusebussard, zu einer Reduzierung der Falsch-Positiv-Raten. Diese lagen bei der brandenburgischen Systemerprobung in Bezug auf Rotmilan und Seeadler bereits deutlich unter 5 % (REICHENBACH *et al.* 2023b).

Für den Einsatz von IdentiFlight als Antikollisionssystem für die hier untersuchten neuen Zielarten kann von einer hinreichenden Schutzwirkung ausgegangen werden, sobald die artspezifische Klassifikationsleistung entsprechend nachgewiesen ist. Andere Leistungsparameter, wie z.B. Detektionsreichweite und Detektionsrate können begründet aus bereits vorliegenden umfangreichen Studien zu Rotmilan und Seeadler übertragen werden. Dies beruht für die hier betrachteten Arten insbesondere auf deren ähnlicher Körpergröße bzw. Spannweite. Die Rohrweihe weist zwar einen hohen Anteil an schwieriger zu detektierenden niedrigen Flügen auf, dieser ist jedoch zum einen nicht kollisionsrelevant und kann zum anderen durch ein Anheben der Unterkante des Abstandszylinders des IdentiFlight-Systems „ausgeblendet“ werden. Relevant sind somit in der Regel nur Flüge oberhalb der Horizontlinie, für die bei der Rohrweihe begründet von einer ähnlichen Detektionsleistung wie bei den Milanen ausgegangen werden kann.

Validierung neuronales Netz IdentiFlight

Oldenburg, 29.07.2024

The Regional Planning and
Environmental Research Group

Die künftigen Arbeiten konzentrieren sich somit darauf, die Stichprobenumfänge zu vergrößern und iterativ ein erneutes Re-Training durchzuführen, um für die genannten Arten belastbare Klassifikationsraten von über 90 % zu etablieren. Darin eingebettet werden auch neue Ansätze zur Schätzung der Falsch-Positiv-Rate. Hierfür soll zunächst an Standorten, bei denen IdentiFlight im Feld validiert wurde, die dabei ermittelte Falsch-Positiv-Rate mit den Ergebnissen verglichen werden, die sich für dasselbe Bildmaterial bei einer virtuellen Validierung ergeben würden. Es handelt sich somit um einen Vergleich einer kontextbezogenen mit einer kontextlosen Klassifizierung für dieselben Bilder. Das sich dabei ergebende Verhältnis kann dann im Weiteren auf die Falsch-Positiv-Rate bei neuen rein virtuellen Validierungen bezogen werden. Auf diese Weise sollen bei weiteren virtuellen Validierungen sowohl Aussagen zur Falsch-Negativ-Rate als auch zur Falsch-Positiv-Rate ermöglicht werden.

6 Literatur

- BRUNS, E., E. SCHUSTER & J. STREIFFELER (2021): Anforderungen an technische Überwachungs- und Abschaltssysteme an Windenergieanlagen - Abschlussbericht der Workshopreihe "Technische Systeme". BfN-Skripten, 57 S. <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript610.pdf>.
- REICHENBACH, M., H. REERS & S. GREULE (2021): Wie gut schützt IdentiFlight den Rotmilan (*Milvus milvus*)? - Untersuchungen zur Wirksamkeit eines Kamerasystems zum Schutz vor Kollisionen an Windenergieanlagen. im Auftrag der erneuerbare energien europa e3 GmbH, 161 S. <https://www.e3-gmbh.de/identiflight/>.
- REICHENBACH, M., H. REERS, S. GREULE & J. GRIMM (2023a): IdentiFlight als Schutzmaßnahme für den Seeadler (*Haliaeetus albicilla*) - Untersuchungen zur Wirksamkeit sowie artenschutzrechtliche Einordnung. 121 S. https://www.e3-identiflight.de/wp-content/uploads/2023/05/23-05-03_IdentiFlight-als-Schutzmassnahme-fuer-den-Seeadler_Abschlussbericht-IdentiFlight.pdf.
- REICHENBACH, M., T. STEINKAMP, J. ASCHWANDEN, H. REERS, S. GREULE & J. GRIMM (2023b): Durchführung von Leistungsnachweisen für Detektionssysteme zur Verminderung von Vogelkollisionen an Windenergieanlagen in Brandenburg. Kamera- und Radar-Datenauswertung und gutachterliche Einordnung., Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE), 146 S. https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/Bericht_SystemtestBrandenburg_ARSU_August-2023.pdf.