Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Schlussbericht

Autonome Offshore-Drohne

Förderkennzeichen: 45UAS1047C

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

AOD

Autonome Offshore-Drohne

Herr Prof. Dr. Dirk Nowotka

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel - Technische Fakultät - Institut für Informatik

Förderkennzeichen: **45UAS1047C**

Berichtszeitraum: **01.01.2021 – 31.12.2021**

Bewilligungszeitraum: **01.01.2021 – 31.12.2022**

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Inhalt

1. Ausgangssituation des Vorhabens 5

1.1 Aufgabenstellung 5

1.2 Voraussetzungen 5

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 6

- Recherche der State-of-the-Art Methoden zur Bildverarbeitung bei geringer Datenmenge (April-Mai 21) - Recherche möglicher Datenquellen für vorzeitigen Trainingsbeginn (April-Mai 21) 6

- Absprachen mit der Rolawind GmbH (Mai – Juni 21): Vermitteln was und in welcher Form benötigt die CAU Wie arbeitet die Rolawind GmbH? 6

- Programmentwicklung zum Markieren der Bilder um die gemeinsamen Kriterien zu erfüllen (Juni – September 21 + kleinere Anpassung die von der Rolawind GmbH gefordert wurden) 6

- Preprocessing (September 21 – Januar 22) - Entwicklung/Umsetzung erster Modelle (November 21 – Januar 22) - Umsetzung der Hyperparameteroptimierung und Anpassung der Modelle + Evaluierung (Februar – März 2022) - Rotorblatt Detektionsalgorithmus umgesetzt / Damit nicht Rotorblattbildabschnitte aussortiert werden können, um das Rauschen beim Training zu verringern (April 22 + Optimierung im Mai) - Rolawind GmbH Schadensschlüsselüberarbeitung (April 22) - Anpassung der Markierungssoftware mit Tutorial (Text im Programm wie die einzelnen Funktionen verwendet werden können) (Mai 22) - Optimierung der Modelle mit Eingliederung neuer Daten (Juni 22 – Juli 22) - Fusion optischer Bilder und thermografischer Bilder Juni 22) - DJI Colormapping für thermografische Bilder extrahieren (Juni – Juli 22) - (Experimentelles Stichting auf Basis von Florians Masterarbeit (Juli 22)) - Optimierung der Geschwindigkeit des Trainings durch automatische Parallelisierung des Trainings - Optimierung des Rotorblattdetektionsalgorithmus (Juli 22 – August 22) - Überführung aller Verarbeitungsschritte in ein Abgeschlossenes Produkt (September 22) - Visualisierungsprogramm der Trainingsergebnisse (Vorher nur Metriken zur Auswertung genutzt (September 22) - Fortlaufende Verbesserung der Modelle (Juni – Dezember 22) - Programmerweiterung um explicit Trainingsmodelldurchläufe nach zu trainieren und weiter zu analysieren (Oktober 22) - Ausgabeprogramm für gesamte Rotorblattanalyse (Oktober 22 – November 22) - Anpassung der Parameter der Kombination von optischen und thermischen Bilder auf die automatisierten Flüge (November 22) - Abschlussbereicht (Dezember 22) 6

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand 7

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 8

2. Eingehende Darstellung 8

2.1 Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse 8

AP 3 Entwicklung Datenauswertung & Datenübertragung 8

2.1.6 AP 6 Entwicklung der normativen Grundlagen/Zertifizierung 12

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....13
2.3 Notwendigkeit der Arbeit.....13
2.4 Verwertbarkeit der Ergebnisse 13
2.5 Relevante Ergebnisse von dritter Seite 13
2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen 13

1. Ausgangssituation des Vorhabens

1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieses Projektes soll ein ganzheitliches Inspektionskonzept entwickelt werden, mit welchem die Rotorblätter von der Küste vorgelagerten (Eng. offshore) Windenergieanlagen (WEA) unter Einsatz von unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS; Engl. Unmanned Aircraft Systems) kosten- und zeiteffizient inspiziert werden können. Hierbei sollen äußere und insbesondere innere Schäden (z.B. Ablösungen am Steg oder Beam, Erosionen, Eindringen von Feuchtigkeit sowie Wasser in die Gel-Coat-Schicht und Öleinschlüsse im Laminat usw.) an Rotorblättern festgestellt werden können, um die Betriebssicherheit zu gewährleisten, Standzeiten zu reduzieren und das Risikopotential für die Banken- und die Versicherungsbranche qualitativ festzustellen. Dazu wird ein unbemannten Luftfahrtsystem (UAS) mit speziell abgestimmter Sensorik und einer Recheneinheit zur Datenerfassung und Flugsteuerung ausgestattet. Da dieses UAS auch im Offshore-Bereich eingesetzt wird, muss es seewetterbeständig und schwimmfähig sein. Das UAS soll unter Einfluss von Offshore-Umweltbedingungen (bis Windstärke 7 = 17 m/s) aus definierten Rahmenbedingungen erzeugte Flugbahnen am Rotorblatt zuverlässig automatisiert abfliegen und Messdaten von der Oberfläche sowie vom Inneren des Rotorblattes mittels eines patentierten Verfahrens aufnehmen können. Die aufgezeichneten Messdaten werden für das Training eines künstlichen neuronalen Netzes verwendet, welches einen Baustein für die teilautomatisierte Erstellung von Prüfberichten darstellt. Die Ausstattung des UAS mit Sensorik und Recheneinheit erfolgt hierbei gemäß den Verordnungen der EU und den Vorschriften der Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (EASA; Engl. European Union Aviation Safety Agency) für den gewerblichen Betrieb von UAV / UAS. Die ausgearbeiteten Flugverfahren werden bei der Landesluftfahrt-behörde zur Genehmigung eingereicht. Parallel zu den technischen Entwicklungen sollen Zertifizierungsverfahren zur Prüfung der Inspektionsverfahren im Rahmen einer Normung entwickelt werden. Die CAU übernimmt hierbei die Analyse der thermografischen und optischen Bilder sowie die Auswertung der Komponenten des maschinellen Lernens innerhalb des Projekts. Hierbei sollen die optischen und thermografischen Aufnahmen zusammengeführt werden und Rotorblattanomalien erkannt werden.

1.2 Voraussetzungen

Die Voraussetzungen werden im Folgenden in den Bezug zur Datenanalyse gesetzt, da diese der Schwerpunkt des Arbeitspaketes der CAU ist. Die Untersuchung der maschinellen Lernkomponenten der Steuerungssoftware, die im Rahmen dieses Projektes umgesetzt werden soll, setzt zunächst die Entwicklung einer solchen voraus und ist daher zum Projektstart nicht möglich.
Ebenfalls waren die für die Auswertung und das Trainieren der Neuronalen Netze benötigten thermographischen und visuellen Aufnahmen zum Projektstart nicht vorhanden. Diese werden erst im Laufe der Umsetzung seitens der Rolawind Gmbh erhoben. Hierbei ist es notwendig, dass die Techniker der Rolawind GmbH, die Schäden der Rotorblätter entsprechend markieren, damit diese anschließend zum Trainieren der maschinellen Modelle verwendet werden können. (s. 1.5)

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

- Recherche der State-of-the-Art Methoden zur Bildverarbeitung bei geringer Datenmenge (April-Mai 21)
- Recherche möglicher Datenquellen für vorzeitigen Trainingsbeginn (April-Mai 21)
- Absprachen mit der Rolawind GmbH (Mai – Juni 21):
  - Vermitteln was und in welcher Form benötigt die CAU
  - Wie arbeitet die Rolawind GmbH?
- Programmentwicklung zum Markieren der Bilder um die gemeinsamen Kriterien zu erfüllen (Juni – September 21 + kleinere Anpassung die von der Rolawind GmbH gefordert wurden)
- Preprocessing (September 21 – Januar 22)
- Entwicklung/Umsetzung erster Modelle (November 21 – Januar 22)
- Umsetzung der Hyperparameteroptimierung und Anpassung der Modelle + Evaluierung (Februar – März 2022)
- Rotorblatt Detektionsalgorithmus umgesetzt / Damit nicht Rotorblattbildabschnitte aussortiert werden können, um das Rauschen beim Training zu verringern (April 22 + Optimierung im Mai)
- Rolawind GmbH Schadensschlüsselüberarbeitung (April 22)
- Anpassung der Markierungssoftware mit Tutorial (Text im Programm wie die einzelnen Funktionen verwendet werden können) (Mai 22)
- Optimierung der Modelle mit Eingliederung neuer Daten (Juni 22 – Juli 22)
- Fusion optischer Bilder und thermografischer Bilder Juni 22)
- DJI Colormapping für thermografische Bilder extrahieren (Juni – Juli 22)
- (Experimentelles Stichting auf Basis von Florians Masterarbeit (Juli 22))
- Optimierung der Geschwindigkeit des Trainings durch automatische Parallelisierung des Trainings
- Optimierung des Rotorblattdetektionsalgorithmus (Juli 22 – August 22)
- Überführung aller Verarbeitungsschritte in ein Abgeschlossenes Produkt (September 22)
- Visualisierungsprogramm der Trainingsergebnisse (Vorher nur Metriken zur Auswertung genutzt (September 22)
- Fortlaufende Verbesserung der Modelle (Juni – Dezember 22)
- Programmerweiterung um explicit Trainingsmodelldurchläufe nach zu trainieren und weiter zu analysieren (Oktober 22)
- Ausgabeprogramm für gesamte Rotorblattanalyse (Oktober 22 – November 22)
- Anpassung der Parameter der Kombination von optischen und thermischen Bilder auf die automatisierten Flüge (November 22)
- Abschlussbereicht (Dezember 22)

Meilenstein	CAU
M1 (12M)	statische Softwareanalyse der Steuerungssoftware des UAV abgeschlossen
M1 (22M) *verschoben*	statische Softwareanalyse der Steuerungssoftware des UAV abgeschlossen
M2 (17M)	Fusion optischer Aufnahmen mit IR-Aufnahmen abgeschlossen
M2 (19M) *verschoben*	Fusion optischer Aufnahmen mit IR-Aufnahmen abgeschlossen
M4 (20M)	Finale Tests in Offshore-Windpark erfolgt
M4 (22M) *verschoben*	Finale Tests in Offshore-Windpark erfolgt
M5 (24M)	Abschlussbericht erstellt und Projektergebnisse publiziert

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

In diesem Projekt ist die CAU maßgeblich für die Bildverarbeitung zuständig. In diesem Bereich haben sich Verfahren des maschinellen Lernens bewährt, die sich auf Convolutional Neural Networks stützen. Auf Grund der voraussichtlich geringen Datenmenge, wird sich hierbei auf Modelle des EfficientNets gestützt. Diese Netzwerkarchitekturen besitzen eine geringere Anzahl an Trainingsparametern als Vergleichbare Modelle und können daher mit weniger Daten bereits zu einem Ergebnis führen. Moderne Technologien die sich zum Beispiel auf die aufkommenden Transformer stützen, müssen sehr wahrscheinlich verworfen werden, da diese auf eine hohe Anzahl von Trainingsdaten angewiesen sind. (> 1000000 Datenpunkte (Bilder))
Sowohl beim Training selbst als auch bei der Erkennung von Bildartefakten kann die Fourier Transformation Anwendung finden. Diese ermöglicht die Zerlegung der Bilddaten in Ihre

Frequenzbestandteile. In dieser Zerlegung lassen sich leichter Unregelmäßigkeiten im Bild erkennen. Dieses Verfahren kann daher zu dem Detektieren von Bildartefakten verwendet werden. Da Schäden in einem Rotorblatt auch als eine Unregelmäßigkeit im Rotorblatt angesehen werden können, wäre eine Trainingsverbesserung durch die Fourier Transformation zu erwarten.
Des Weiteren wird sich im Bereich des Preprocessings auf gängige Verfahren im maschinellen Lernkontext gestützt. Um Bereiche abzutrennen, z.B. das Rotorblatt vom Hintergrund, wird sich auf die State-of-the-art Architekturen der Unsupervised Image Segmentation gestützt. Diese ist in der Lage das Bild in Bereiche zu unterteilen ohne das manuell Informationen hinzugefügt werden müssen.
Im Bereich der Einzelbilderzusammenführung (Stitching) kann auf eine Technologie zurückgegriffen werden, die zur Erstellung von Panoramaaufnahmen entwickelt wurde. [M. Brown and D. G. Lowe. Automatic panoramic image stitching using invariant features. 2007 Pipeline] Diese stützt sich auf die Implementierung einer Pipeline die auf dem Detektieren von Schlüsselpunkten im Bild fußt und Anhand derer die Bilder zusammengeführt werden. Eine Implementierung auf Basis der Geolocation ist ebenfalls denkbar. Zur Umsetzung des Stitchings kam es im Laufe dieses Projekts leider nicht.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Dieses Projekt wurde als Verbundprojekt mit der VDE Renewables GmbH und der UzL durchgeführt sowie der Rolawind GmbH als Unterauftragsnehmer. Die CAU nahm hierbei an den regelmäßigen JourFix-Terminen teil.
Die Zusammenarbeite mit der Rolawind GmbH fand in dem Rahmen statt, dass diese die Daten für die Klassifzierungsaufgaben zur Verfügung stellen sollte. Dafür sollten Befliegungen stattfinden und anschließend die aufgenommen optischen und thermografischen Bilddatensätze seitens der Rolawind GmbH markiert werden. Für diese Aufgabe wurde extra ein Tool entwickelt, das sich in den Arbeitsfluss der Rolawind GmbH eingliedert.
Mit der UzL mussten die Flugmanöver abgesprochen werden, damit das Stitching erleichtert werden kann und eine automatische Positionsangabe der Schäden ermöglich wird. Dies geschieht dadurch, dass zunächst die Rotorblattnarbe als Referenzpunkt angeflogen wird und damit als Ausgang für die Berechnung dienen kann. Die Steuerungssoftware verwendet bisher keine Softwarekomponenten, die durch Verfahren des maschinellen Lernens trainiert oder erstellt wurden, daher ist eine Verifikation solcher Komponenten nicht von Nöten. Die funktionale Sicherheit stützt sich daher noch auf statische Methoden seitens der UzL (Testsimulationen) und des Sichergehens, dass die DJI Sicherheitsmechanismen weiterhin greifen.
Die VDE Renewables GmbH diente in der Zusammenarbeit mit der CAU als Vermittler zwischen den Parteien, organisierte die regelmäßigen JourFix-Termine und half bei der Markierung der Bilder, die von der Rolawind GmbH zur Verfügung gestellt wurden. Des Weiteren fanden Absprachen im Bereich normative Grundlagen und Zulassung hinsichtlich der verarbeiteten Daten seitens der CAU statt.

2. Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse

AP 3 Entwicklung Datenauswertung & Datenübertragung
Das Arbeitspaket 3 ist in diesem Projekt für die Datenauswertung und Weiterverarbeitung zuständig. Die Kompetenzen, die vom AP3 in das Projekt einfließen beginnen daher bei der Festlegung, welche

Daten für eine effektive Verarbeitung benötigt werden. Des Weiteren sollen die Projektpartner in die Lage versetzen werden, die Daten entsprechend vorbereiten zu können.
Die anschließende Weiterverarbeitung soll eine (teil-)automatisierte Schadensanalyse und Erkennung von Bildartefakten sowie die Kombination der thermographischen Bilder mit den optischen Bildern beinhalten.
Abschließend soll eine Analyse der Steuerungssoftware auf funktionale Sicherheit und Robustheit durchgeführt werden. Der Fokus soll hierbei auf die Komponenten gerichtet sein, die mit Methoden des maschinellen Lernens erstellt wurden.

Ergebnis	Erzieltes Ergebnis bis 31.12.2021	Erreicht am	Kommentar zur Einhaltung des Zeitplans
Fusion der optischen Aufnahmen mit den Aufnahmen der IR-Kamera	Nicht begonnen	22.06.22	Unter der Annahme konstanter Zoomfaktoren der Kameras beim automatisierten Flug abgeschlossen
Programm entwickelt zur Markierung von Fehlern in den Aufnahmen	Programm fertiggestellt (Version 1.0 mit der die bisherigen Anforderungen erfüllt werden konnten)	03.09.21	Im Zeitplan erfüllt
Entwicklung der automatisierten Erkennung von Strukturfehlern	Preprocessing gestartet	29.11.22	Verzögerung durch fehlende Bilddaten und geringe Datenmenge
Entwicklung Behandlung von Bildfehlern	(bisher nicht implementiert)	14.09.22	Im Zeitplan erfüllt
Die statische Softwareanalyse der maschinellen Lernkomponenten der Steuerungssoftware des UAV	Nicht begonnen		Wurden auf Grund des Nichtvorhandenseins zum Projektstart verschoben und wegen fehlender Umsetzung von ML-Komponenten bis zum 22 Monat nicht durchgeführt.

Die CAU als Datenspezialist nimmt in dem Projekt eine gesonderte Stellung ein, weil sie auf Grund der Ausgangssituation auf die Ergebnisse der Projektpartner angewiesen ist, bevor die eigentlichen Aufgaben sinnvoll begonnen werden können. Daher sind die Meilensteine im Zuwendungsbescheid zum Großteil für 2022 festgelegt.
Der erste Meilenstein sollte am Ende des 12. Monats erreicht sein und wurde wie folgt definiert: „Die statische Softwareanalyse der Steuerungssoftware des UAV ist abgeschlossen.“ Da die Steuerungssoftware jedoch zunächst von der UzL entwickelt werden muss, wurde dieser Meilenstein zunächst verschoben, bis der Entwicklungsstand der Steuerungssoftware weitestgehend abgeschlossen ist.

Für die Verwendung maschineller Lernmethoden zur Erkennung von Fehlern wird eine möglichst große Datenmenge benötigt. Die Abwesenheit von Bilddaten zum Projektstart machte es daher notwendig, dass die Generierung der Datensätze und die Recherche zur Reduktion der benötigten Datenmenge die höchste Priorität im AP3 einnahm.
Die Recherche ergab, dass die aktuellen State-of-the-art Ansätze der Bildverarbeitung auf Transformermodellen basieren. Diese Modelle benötigen jedoch in der Regel deutlich größere Datensätze (>1000000 Bildern). Daher wurden Modelle des „EfficientNet“ als mögliche Kandidaten für die spätere Bildklassifizierung ausgewählt und als Referenz für die benötigten Daten verwendet. Diese besitzen wesentlich weniger Trainingsparameter und benötigen daher tendenziell weniger Bilder, um erste Ergebnisse zu erzielen.
Des Weiteren hat sich die Möglichkeit des Transfer Learning, als Alternative für das Projekt herauskristallisiert. Durch diese Methode werden die Trainingsmodelle mit Daten, die der Anwendungsdomänen des Projekts ähneln, vortrainiert, wodurch die von der Rolawind GmbH zu

erhebende Datenmenge reduziert werden könnte. Die Recherche zu möglichen Datensätzen ergab, dass nur ein Projekt zu diesem Zeitpunkt in Frage kam, das Projekt Ikarus(BAM). Allerdings war es auch nach Anfrage durch die VDE Renewables GmbH nicht möglich die projektinternen Daten zu erhalten.
Parallel zu der Recherche wurden Meetings mit der Rolawind GmbH durchgeführt, um den Prozess der Datenerhebung und Verarbeitung der Rolawind GmbH nachzuvollziehen und die für die Verarbeitung der CAU benötigten Daten festzulegen. Hierbei stellte sich heraus, dass der bisherige Prozess der Rolawind GmbH zur Schadensmarkierung für das Projekt ungeeignet war.
Die Schäden wurden mit Hilfe des Snipping-Tools von Microsoft Windows ausgeschnitten und im Anschluss daran mit einem manuell erstellten Dokumentenschlüssel versehen. Des Weiteren wurden die Schäden mit Hilfe von Microsoft Paint auf den Bildern markiert. Dieser Prozessablauf hat den Nachteil, dass durch das Ausschneiden die Metadaten des Bildes, wie zum Beispiel die Geolocation verloren gehen, die Zuordnung zum Originalbild nicht ohne einen bedeutenden Mehraufwand möglich ist, die Bilder durch die Markierungen mit Microsoft Paint unbrauchbar werden und der Dokumentenschlüssel nicht auf dem Originalbild vorhanden ist. Da ein doppelter Aufwand für die Rolawind GmbH nicht tragbar gewesen wäre, der durch das nochmalige Markieren aller Fehler mit einem gesonderten Programm, dem Hinzufügen des Dokumentenschlüssels und dem Managen des individuellen Datensatzes, zustande gekommen wäre, wurde ein auf das Projekt zugeschnittenes Programm durch die CAU entwickelt.
Dieses ermöglicht es die Schäden zu markieren und integriert sich in den Arbeitsfluss der Rolawind GmbH. Durch das angepasste Programm können bereits während der Verarbeitung alle Informationen, die sich vorher in dem Dokumentenschlüssel befanden, in einem geeigneten Format abgespeichert werden, sodass diese beim Training nicht erneut extrahiert werden müssen. Die Extraktion der Bildmetadaten, wie zum Beispiel die Geolocation, sowie die Verknüpfung dieser mit den entsprechenden Datensätze, kann ebenfalls ohne einen gesonderten Schritt durchgeführt werden. Des Weiteren werden die Originalbilder mit den zugehörigen Informationen für die CAU gesondert vom Programm ausgegeben, sodass die Bilder nicht wie vorher durch Markierungen übermalt werden.
Zum Start der Entwicklung wurde mit der Rolawind GmbH abgesprochen, welche Funktionen das Programm beinhalten muss, damit es sinnvoll verwendet werden kann. Die weitere Entwicklung erfolgte im regelmäßigen Austausch. Allerdings kam es zu Verzögerungen, da sich die Anforderungen an das Programm während der Entwicklungsphase mehrfach geändert haben. Zum Beispiel wurde der Schadenskatalog mehrfach überarbeitet, wobei unter anderem eine ganze Kategorie entfernt wurde, wodurch die Programmstruktur im Nachhinein mehrfach angepasst werden musste.
Im Anschluss an die Programmentwicklung wurde sich auf eine Datenmenge von 500 (min. 300) optischen Bildern bis 30.09.2021 und 500 thermographischen bis 15.10.2021 geeinigt und einer möglichen Verdoppelung bis Ende November. Die Daten wurden seitens der Rolawind GmbH nicht zur Verfügung gestellt. Als Lösung erhielt die CAU Altdatensätze, die die Rolawind GmbH bis zu diesem Moment ebenfalls nicht markiert hatte, um die Markierung selbst vorzunehmen. Die Einschränkung bei diesem Vorgehen ist, neben einem deutlichen zeitlichen Mehraufwand für die CAU, dass die CAU keine Techniker für Windkraftanlagen besitzt und daher der Schweregrad der Schäden und somit eine spätere Einschätzung dieses nicht möglich wurde. Ein weiterer Nachteil, der durch die Verwendung des Datensatzes entstand ist, dass die Bilder keine einheitliche Auflösung besaßen, die Motive sehr unterschiedlich aufgenommen worden sind (z.B. weit entfernte Fotografie des gesamten Flügels in niedriger Auflösung) und teilweise Schäden besaßen die nicht markiert wurden, da Schäden teilweiße und nur beispielhaft für einen Prüfbericht markiert wurden. Dadurch wurde die Qualität des Datensatzes, im Gegensatz zu den Aufnahmen, die mit der in diesem Projekt verwendeten Drohne, möglich gewesen wären, deutlich reduziert.

In dem Zeitraum in dem die Rolawind GmbH die Daten markieren sollte, wurde die Entwicklung des Preprocessings begonnen. Dabei wurde der Fokus daraufgelegt, ein erstes Training mit den Daten zu ermöglichen und erst im späteren Verlauf Erweiterungen, wie zum Beispiel die Bildverbesserung, einzufügen.
Daher wurde für das Preprocessing, die Bildverbesserung zunächst hintenangestellt. Dieses könnte die Ergebnisse zwar möglicherweise verbessern, ist aber keinesfalls notwendig, um ein erstes Training durchzuführen. Dasselbe gilt für das Stitching der Bilder, da diese bereits ohne Stitching eine zu große Auflösung für eine sinnvolle Datenverarbeitung besitzen (5.184 × 3.888) und in der Folge unterteilt werden müssten.

Das erste Preprocessing wurde folgendermaßen unterteilt:

- Eine Maske wird jeweils während der Verarbeitung aus den markierten Bildern erstellt. Diese dient beim Training der Modelle als sogenannter Goldstandard.
- Die Bilder müssen auf Grund ihrer Größe unterteilt weiterverarbeitet werden. Bewährt haben sich Abschnitte von beispielsweise 512*512 oder 256*256 je nachdem was in den Trainings bessere Ergebnisse erzielt. (Wurde modular programmiert und kann jederzeit angepasst werden)
- Das Rotorblatt muss vom Hintergrund unterschieden werden, damit die Segmente verworfen werden können, die ausschließlich Hintergrund zeigen. Hierbei kam zunächst die Unsupervised Image Segmentation zum Tragen, wurde im späteren Verlauf durch einen eigens entwickelten Algorithmus, zum Erkennen der Umrisse eines Windrades ersetzt. (Dieser wurde so konzipiert, dass ausschließlich das Windrad erkannt wird und keine weiteren Umrisse)

Anschließend kann ein erstes Training stattfinden. Die Bilder zu verkleinern anstatt sie zu unterteilen wäre keine gute Lösung, da Details verloren gehen würden. Kleine Schäden, wie zum Beispiel Pinholes, wären dadurch nicht mehr detektierbar. Zu beachten ist, dass das Unterteilen nicht in allen Anwendungsfällen von Neuronalen Netzen sinnvoll ist. Bei der Analyse von Windkraftanlagen kann allerdings davon ausgegangen werden, dass keine Informationen zu einem lokalen Schaden verloren gehen, wenn nicht alle globalen Daten zur Verfügung stehen.
Weitere Preprocessing-Schritte wie die Daten-Augmentation, die zum Beispiel durch eine Änderung des Kontrastes künstlich den Datensatz vergrößern könnte, wurden auf einen späteren Zeitpunkt verschoben.
Aufgrund des Mangels an Daten konnte das weitere Preprocessing zu diesem Zeitpunkt nur sehr rudimentär getestet und weiterentwickelt werden. Weiterhin kam es zu Verzögerungen, weil die Rolawind GmbH weitere Funktionalitäten in der Markierungssoftware benötigten (IDs in den ausgeschnittenen Bildbereichen).
Witterungsbedingt und auf Grund der Auftragslage der Rolawind GmbH konnten im Winter 2021 und im Frühjahr 2022 keine weiteren Befliegungen durchgeführt werden und somit wurden auch keine Daten generiert, die den Datensatz ergänzen könnten. Die Anzahl der thermografischen Bilder, die in dem selbst erstellten Datensatz enthalten waren, war so gering, dass diese vernachlässigbar waren. Dadurch war eine Analyse mit thermografischen Daten ausgeschlossen. Neue Daten wurden erst ab Mai – Juni 22 übermittelt, die Anzah der thermografischer Bilder bleibt auch dann noch zu gering.

2.1.6 AP 6 Entwicklung der normativen Grundlagen/Zertifizierung

Bei der Erstellung der normativen Grundlagen und Zertifizierung trat die CAU in einer unterstützenden Rolle auf. In dieser teilte Sie der VDE Renewables GmbH Informationen mit, die sie für die Erstellung dieser benötigten. Beispielsweise welche Daten für das Training der Modelle erhoben werden müssen.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis erfolgte separat über die Buchhaltung der CAU.

2.3 Notwendigkeit der Arbeit

2.4 Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Programme, die als Ergebnisse entstanden sind, werden derzeit aktiv genutzt und können auch im weiteren Verlauf und über das Projekt hinaus Anwendung finden. Die thermografischen und optischen Bilder können nach der automatisierten Befliegung, die in diesem Projekt umgesetzt wurde, mit Hilfe der im AP3 umgesetzten Programme kombiniert werden. Ebenfalls ermöglicht die teilautomatisierte Schadensanalyse eine Unterstützung des Technikers bei der Auswertung von Windkraftanlagen.

2.5 Relevante Ergebnisse von dritter Seite

Bisher sind der CAU während des Projekts keine nennenswerten Erfolge der maschinellen Bildsegmentierung von Rotorblättern mit Hilfe von thermografischen Aufnahmen bekanntgeworden. Lediglich Informationen über begonnene Projekte ohne Veröffentlichungen sind bekannt.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Bisher fanden keine Veröffentlichungen seitens der CAU im Rahmen des Projektes statt und sind bis zu diesem Stand auch nicht geplant.