Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Implementierung eines drohnengestützten Borkenkäferfrühdetektionsverfahrens in die FORSTliche PRAXis, Teilvorhaben 2: Automatisierung und Optimierung der georeferenzierten Sensordaten-HeatMap-Erstellung zur Visualisierung von Borkenkäfer-Befallskarten vor Ort im Wald (FORSTPRAX)

Zuwendungsempfänger:

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,
Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen,
Professur für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme FeLis

Förderkennzeichen:

2220NR281B

Laufzeit:

01.05.2021 bis 30.04.2024

Monat der Erstellung:

07/2024

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorenschaft.

Inhaltsverzeichnis

I. Kurzbericht ... 1

1. Aufgabenstellung ... 1
2. Planung und Ablauf des Vorhabens ... 1
3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse ... 2
   a) Arbeitspakete und Meilensteine ... 2
   b) Zusammenfassung ... 4

II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse ... 5

1. Erzielte Ergebnisse ... 5

Arbeitspaket A1: Internes Projektmanagement ... 5

Arbeitspaket A2: Fachliche Besprechungen/Fachkonferenzen ... 5

Arbeitspaket A3: Gemeinsame Feldtests ... 5

Arbeitspaket F1: Berechnung Baumkronenhöhenprofil ... 6

Arbeitspaket F2: Automatisierung HeatMap ... 8

Arbeitspaket F3: Datenvisualisierung/- veröffentlichung ... 10

2. Verwertung ... 11
   a) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen ... 11
   b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende ... 11
   c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende ... 11
   d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit ... 11
3. Erkenntnisse von Dritten ... 12
4. Veröffentlichungen ... 12

I. Kurzbericht

1. Aufgabenstellung

Der Befall von Bäumen durch phytophage Insekten stellt eine akute Bedrohung für den Wirtschaftswald in Deutschland dar. Insbesondere Fichtenbestände waren in den letzten Jahren in vielen Regionen stark von Borkenkäferbefall betroffen. Es ist davon auszugehen, dass der fortschreitende Klimawandel mit Folgen wie zunehmendem Trockenstress die Gefährdung in Zukunft verstärken wird. Die effektivste Maßnahme für die Waldbesitzer ist derzeit die möglichst frühzeitige Erkennung eines Befalls in einem Bestand. Durch die rasche Entnahme befallener Bäume kann häufig eine weitere Ausbreitung verhindert werden. Da die Früherkennung für die Waldbesitzer eine große zeitliche, personelle und logistische Herausforderung darstellt, sind technische Lösungen zur Unterstützung notwendig.

Das Projekt FORSTPRAX hatte zum Ziel, ein auf einem VOC-Halbleitergassensor (Elektronische Nase, E-Nose) basierendes System zur Erkennung von Borkenkäferbefall in Hinblick auf die forstliche Praxis weiterzuentwickeln. Der Sensor wird dabei von einer Drohne getragen, die in geringem Abstand über den Bestand fliegt. Das Messprinzip basiert auf der Detektion von Monoterpenen, die von Bäumen bei Borkenkäferbefall emittiert werden. Diese Reaktion des Baumes setzt sehr früh ein, sodass mit diesem Ansatz eine schnellere Erkennung als mit bisherigen Verfahren möglich sein kann. Die Arbeiten bauen auf dem Vorläuferprojekt PROTECTFOREST auf, in dem die konzeptionellen Grundlagen gelegt wurden.

In Teilvorhaben 2 sollten die informationstechnischen Grundlagen für eine mögliche Anwendung des Verfahrens in der Praxis weiterentwickelt werden. Dazu wurden drei Aspekte bearbeitet:

- Erarbeitung einer Routine zur Erstellung von Höhenprofilberechnungen zur Vorbereitung von Befliegungen im Fall der Nutzung eines Drohnensystems ohne Abstandssensor und ohne Precise Point Positioning (PPP) System.
- Erarbeitung von Verfahren zur möglichst automatisierten und schnellen Erhebung, Übertragung und Darstellung der Sensordaten im Wald unmittelbar nach der Durchführung einer Befliegung, damit Nutzer eine direkte Rückmeldung erhalten können.
- Erarbeitung einer Möglichkeit zur zentralen Speicherung der Testdaten auf einem Server zur Bereitstellung, Visualisierung und möglichen Einbindung in bestehende Waldwirtschaftssysteme basierend auf offenen Standards.

Die Aufgabe des Teilvorhaben 2 bestand somit im Wesentlichen darin, Möglichkeiten für eine schnelle, direkte und anwenderfreundliche Nutzung des Systems im Rahmen informationstechnischer Lösungen zu erarbeiten. Eine echtzeitnahe Erfassung und Darstellung ist eine wichtige Voraussetzung für eine perspektivische Einbindung in bestehende forstwirtschaftliche Steuerungs- und Planungsprozesse.

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Konzeption des Gesamtvorhabens wurde maßgeblich von FORESTOPERATION erarbeitet. Im Rahmen des Vorgängerprojekts standen FeLis und FORESTOPERATION bereits vor Beginn des Vorhabens in regelmäßigem Austausch. Durch den ausgearbeiteten Projektantrag waren die Arbeitsschwerpunkte in den einzelnen Teilvorhaben definiert. Mit dem Start des Vorhabens wurde das weitere Vorgehen abgestimmt.

Die einzelnen Teilvorhaben wurden von den Partnern in eigener Verantwortung durchgeführt. In Treffen, die überwiegend online stattfanden, wurden die Arbeiten vorgestellt, diskutiert und das weitere Vorgehen besprochen. Dabei wurden auch immer wieder Anpassungen am Projektplan vorgenommen, wenn insbesondere technische Herausforderungen dies erforderlich machten oder neue Ideen und Ansätze sinnvoll erschienen. Praxisnähe und Einfachheit im Sinne potenzieller Nutzergruppen waren leitend für die Entscheidungsfindung.

Das Teilvorhaben 2 bestand aus den gemeinsamen Arbeitspaketen A1 bis A3 und den Arbeitspaketen F1 bis F3. Für die gemeinsamen Arbeitspakete übernahm FeLis, über das obligatorische interne Projektmanagement hinaus, vor allem unterstützende technische Aufgaben. So wurde FORESTOPERATION als Projektleitung kontinuierlich bei der externen Kommunikation, bei Veröffentlichungen und bei der Durchfühung der Feldtests unterstützt. Für die Arbeitspakete F1 bis F3 wurde insbesondere in der frühen Vorhabenphase viel Arbeit investiert, um die technischen Grundlagen für die Durchführung der Feldtests zu legen. Im weiteren Vorhabenverlauf wurden auf dieser vorhandenen Basis Korrekturen, Anpassungen und Erweiterungen erarbeitet. Im Vergleich zu den ursprünglichen Planungen kam es zu einigen Änderungen. Hier ist besonders die Verwendung eines anderen Drohnenmodells hervorzuheben, die eine hohe Leistungsfähigkeit aufweist und mehr Flexibilität ermöglichte. Einschränkungen ergaben sich bei der Integration von Winddaten.

3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse

a) Arbeitspakete und Meilensteine

Arbeitspakete (AP) **(lt. Planung im Antrag)**	**Bearbeitungszeitraum** **(lt. Balkenplan im Antrag)**	**Zielerreichung**
AP A1 Internes Projektmanagement	05/2021 bis 04/2023	Die interne Organisation des Projektmanagements wurde von den Projektpartnern für die jeweiligen Teilvorhaben eigenständig aber in Absprache mit FORESTOPERATION durchgeführt. Dazu wurden in der Regel bedarfsabhängig Online-Meetings abgehalten. Die Kommunikation zur FNR erfolgte durch die Projektleitung. Die Zwischenberichte wurden in Form von Einzelberichten fristgerecht erstellt und eingereicht.
AP A2 Fachliche Besprechungen/Fachkonferenzen	05/2021 bis 04/2023	Es fanden fachliche Arbeitstreffen während des Vorhabens statt, insbesondere bilaterale Online-Treffen mit FORESTOPERATION zur Absprache voneinander abhängiger Arbeitsschritte und zur Vorbereitung von Veröffentlichungen. Ein Arbeitstreffen fand auch bei einem Feldtest statt, jedoch nicht im Rahmen von Fachkonferenzen. Von FORESTOPERATION durchgeführte Veröffentlichungen wurden inhaltlich unterstützt.
AP A3 Gemeinsame Feldtests	05/2021 bis 04/2023	Es wurden vor allem technische Arbeiten für die primär von FORESTOPERATION an verschiedenen Standorten durchgeführten Feldtests geleistet. Ein zentraler Aspekt war die Vorbereitung des Drohnenmodells DJI Matrice 300 RTK für den Einsatz als Träger des Gassensors. Im Rahmen eines gemeinsamen Testtags im Schwarzwald wurden umfangreiche Versuche durchgeführt. Über eine Onlineplattform wurden die erhobenen Daten und Ergebnisse ausgetauscht.
AP F1 Berechnung Baumkronenhöhenprofil	05/2021 bis 10/2022	Die verwendete Drohne DJI Matrice 300 RTK verfügt bereits über ein System zur exakten Positionsbestimmung und Hinderniserkennung, sodass von Beginn an Flüge ohne hinterlegtes Baumkronenhöhenprofil möglich waren. Dennoch wurden für exemplarische Bestände Berechnungen von Baumkronenhöhenprofilen durchgeführt. Dafür kamen die Softwareprodukte Agisoft Metashape und UgCS zum Einsatz. Durch die etablierte Routine ist die Erstellung weiterer Oberflächenmodelle bei guter Datenqualität zwar mit nur wenig manuellem Arbeitsaufwand möglich, jedoch wird eine lange Berechnungszeit beansprucht. Grundsätzlich sind präzise Digitale Oberflächenmodelle zur Durchführung möglichst effizienter Befliegungen hilfreich, aber durch den zeitlichen Aufwand nicht praxisgerecht.
AP F2 Automatisierung HeatMap	05/2021 bis 01/2023	Das Arbeitspaket wurde dahingehend angepasst, dass ein stärkerer Fokus auf die Entwicklung eines benutzerfreundlichen und praxisnahen Workflows von der Datenerfassung bis zur Datenvisualisierung mit der Drohne DJI Matrice 300 RTK gelegt wurde. Die Entscheidung für den Einsatz dieses Modells als Träger des Sensors führte im Rahmen des Teilvorhabens zu einem ungeplanten Entwicklungsaufwand. Für die Datenauswertung im Wald wurde neben einer auf PC-Software und USB-Datenübertragung basierenden Lösung auch eine höher automatisierte WLAN-basierte Lösung mit dem Smartphone umgesetzt. Aus Gründen der Praxisnähe wurde auf den Einsatz einer Windmessdrohne verzichtet. Eine automatische Integration von Winddaten wurde evaluiert aber noch nicht umgesetzt.

Arbeitspakete (AP) **(lt. Planung im Antrag)**	**Bearbeitungszeitraum** **(lt. Balkenplan im Antrag)**	**Zielerreichung**
AP F3 Datenvisualisierung/-veröffentlichung	05/2021 bis 04/2023	Das Hauptaugenmerk wurde verstärkt auf die Schaffung einer Serverinfrastruktur zur Datenorganisation gelegt, um die Nutzererwartung in Hinblick auf die Integration von Cloud-Funktionalitäten zur Speicherung und Bereitstellung von Daten abzudecken. Die Daten aus den Testflügen können in einer zentralen Datenbank gespeichert werden. Über die OGC-Standards Web Map Service oder Web Feature Service können sie in Anwendungen oder Webseiten integriert werden. Visualisierungen wurden aufgrund des Prototypenstatus des Gesamtsystems vorerst noch nicht an eine breite Öffentlichkeit verteilt.

Meilensteine (M) **(lt. Planung im Antrag)**	**Fälligkeit** **(lt. Balkenplan im Antrag)**	**Zielerreichung**
M 1 A1 Internes Projektmanagement	10/2021	Das Teilvorhaben wurde entsprechend den Vorgaben eigenverantwortlich verwaltet und organisiert. Der erste Zwischenbericht wurde vorbereitet.
M 1 A2 Fachliche Besprechungen/Fachkonferenzen	10/2021	Es fanden mehrere Treffen statt, bei denen Zwischenergebnisse diskutiert und Entscheidungen zum weiteren Vorgehen getroffen wurden.
M 1 A3 Gemeinsame Feldtests	10/2021	Die Validierung eines Prototyps auf Basis einer kommerziellen Drohnenplattform wurde begonnen und eine automatische Auswertung direkt nach Einsatz war in einer ersten Version möglich.
M 1 F1 Berechnung Baumkronenhöhenprofil	10/2021	Daten für einen ersten Testbestand wurden erhoben und die exemplarischen Berechnungen waren in Bearbeitung. Weitere Bestände können darauf basierend schnell umgesetzt werden, sobald diese festgelegt und beflogen wurden.
M 1 F2 Automatisierung HeatMap	10/2021	Erste schnelle Auswertungen und Visualisierungen der Sensordaten waren mittels einer entwickelten PC-Software möglich. Neben den VOC-Messungen waren auch weitere Flugdaten auswertbar.
M 1 F3 Datenvisualisierung/-veröffentlichung	10/2021	Ein Server mit Datenbank wurde aufgesetzt und mit ersten Sensordaten getestet.
M 2 A1 Internes Projektmanagement	01/2023	Das Teilvorhaben wurde entsprechend den Vorgaben eigenverantwortlich verwaltet und organisiert. Der erste Zwischenbericht wurde erstellt und der zweite Zwischenbericht vorbereitet.
M 2 A2 Fachliche Besprechungen/Fachkonferenzen	01/2023	Es fanden weitere fachliche Besprechungen als Online-Meeting statt. Eine Präsentation wurde gemeinsam vorbereitet und von FORESTOPERATION durchgeführt.
M 2 A3 Gemeinsame Feldtests	01/2023	Der Prototyp des Sensorsystems auf Basis einer kommerziellen Drohnenplattform wurde in mehreren Feldtests unter verschiedenen Bedingungen getestet. Dabei wurde die potenzielle Integration des Systems in den Forstbetriebsablauf berücksichtigt.
M 2 F1 Berechnung Baumkronenhöhenprofil	01/2023	Auf Baumkronenhöhenprofile kann verzichtet werden, wenn eine geeignete Drohne eingesetzt wird. Dies war von Beginn an gegeben. Grundsätzlich kann ein genaues Höhenmodell dennoch hilfreich sein, die Umsetzung ist jedoch aufgrund des Zeitaufwands nicht praxisgerecht.
M 2 F2 Automatisierung HeatMap	01/2023	Die Komponenten für die Speicherung, Verarbeitung und Darstellung der Daten war vorhanden und wurde in den nächsten Schritten zu einer einheitlichen Lösung

Meilensteine (M) **(lt. Planung im Antrag)**	**Fälligkeit** **(lt. Balkenplan im Antrag)**	**Zielerreichung**
		zusammengefügt. Eine Windmessdrohne kam aufgrund mangelnder Praxisnähe nicht zum Einsatz.
M 2 F3 Datenvisualisierung/-veröffentlichung	01/2023	Die Sensordaten konnten zentral gespeichert und über standardisierte Schnittstellen abgerufen und visualisiert werden. Visualisierungen wurden vorerst noch nicht an eine breite Öffentlickeit verteilt.

b) Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Teilvorhabens konnten wesentliche Ziele erreicht werden. Gleichzeitig wurden aus technischen Gründen und im Sinne der Praxisnähe einige Anpassungen im Vorhabenverlauf vorgenommen. Es wurde eine Routine zur Erstellung von Baumkronenhöhenprofilen und Orthomosaiken aus RGB-Luftbildern entwickelt und angewendet. Als Träger des VOC-Halbleitergassensors wurde das Drohnenmodell DJI Matrice 300 RTK ausgewählt und die dafür notwendige Software entwickelt. Die Eigenschaften dieses Modells, insbesondere die Fluggenauigkeit und die bereits integrierten Distanzsensoren, ermöglichten es, Messflüge direkt ohne Digitales Höhenmodell durchzuführen. In einer ersten Version wurden die Daten entsprechend der ursprünglichen Planung mittels einer eigenen PC-Software verarbeitet und visualisiert. Durch Weiterentwicklungen konnte die Verarbeitungslogik vollständig auf den Bordcomputer der Drohne integriert werden, die Steuerung und Datendarstellung wurde über eine WLAN-Verbindung und beispielweise ein Smartphone möglich. Eine zunächst zusätzlich angedachte Windmessdrohne wurde aufgrund mangelnder Praxisnähe nicht einbezogen. Die Übertragung auf einen Server bietet die Möglichkeit der zentralen Datenhaltung und der Einbindung der Daten über die OGC-Standards Web Map Service und Web Feature Service in Geographische Informationssysteme, forstliche Planungssoftware mit Kartenfunktion und in Webanwendungen. Das System ist als Prototyp einzustufen und noch nicht für den operativen Einsatz bereit.

II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

Arbeitspaket A1: Internes Projektmanagement

Das Vorhaben FORSTPRAX war in drei Teilvorhaben strukturiert, deren inhaltliche Schwerpunkte klar voneinander abgegrenzt waren. Die drei Projektpartner FORESTOPERATION, FeLis und CADMIUM konnten so ihre jeweiligen Teilvorhaben entsprechend ihrer Expertise in weitgehender Eigenverantwortung durchführen. Dies betraf auch die allgemeine interne Verwaltung und Organisation im Rahmen des Projektmanagements. Die externe Kommunikation wurde von FORESTOPERATION als Projektleitung übernommen. Für FeLis gab es einige inhaltliche Abhängigkeiten zu den Arbeitspaketen von FORESTOPERATION. Neben allgemeinen Projekttreffen fanden daher thematisch spezifische bilaterale Online-Meetings statt, um Fortschritte vorzustellen, Probleme und Ideen zu diskutieren und weitere Schritte abzustimmen und anzupassen. Bei größeren administrativen oder inhaltlichen Fragen wurde zur Projektleitung Kontakt aufgenommen, die auch die Kommunikation mit der FNR übernahm. Als Plattform für Datenaustausch diente eine OwnCloud-Instanz, die ebenfalls von der Projektleitung zur Verfügung gestellt wurde. Die Berichte wurden entsprechend der beschreibenen Vorgehensweise von den Partnern individuell für die jeweiligen Teilvorhaben erstellt.

Arbeitspaket A2: Fachliche Besprechungen/Fachkonferenzen

Während der gesamten Projektlaufzeit fanden fachliche Besprechungen im Rahmen von Arbeitstreffen statt. Ein besonderer Schwerpunkt lag auf bilateralen Treffen zwischen FeLis und FORESTOPERATION, um voneinander abhängige Arbeitsschritte abzustimmen, neue Ideen zu diskutieren und Veröffentlichungen vorzubereiten. Hier ist insbesondere die Abstimmung der eingesetzten Hardware, also Sensor und Drohnensystem, mit den zu entwickelnden Softwarelösungen zu nennen. Die Treffen fanden in der Regel online statt. Persönliche Arbeitstreffen gab es zusätzlich in Freiburg sowie bei einem gemeinsamen Feldtest in der Nähe von St. Peter im Südschwarzwald. Treffen im Rahmen von Fachtagungen konnten nicht organisiert werden. Die von FORESTOPERATION durchgeführte Außenkommunikation wurde von FeLis inhaltlich unterstützt. Hervorzuheben ist die Präsentation des Projekts auf einem Statusseminar der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe im November 2022 in Kassel.

Arbeitspaket A3: Gemeinsame Feldtests

Die Feldtests wurden im Laufe des Vorhabens hauptsächlich durch FORESTOPERATION schwerpunktmäßig an verschiedenen Standorten im Harz durchgeführt. FeLis konnte diese durch die technische Vorbereitung ermöglichen und begleiten. Neben den Routinen zur automatisierten Prozessierung und Visualisierung wurde dazu ein Konzept für den Einsatz das Drohnenmodells DJI Matrice 300 RTK als Sensorträger ausgearbeitet und umgesetzt (siehe Arbeitspaket F2). Neben den Sensormessungen wurden für ausgewählte Standorte auch RGB-Luftbilder für die Erstellung von georeferenzierten Orthomosaiken und Bestandeshöhenmodellen in Arbeitspaket F1 aufgenommen. Ein Testtag bei St. Peter im Südschwarzwald wurde für umfangreiche gemeinsame Tests in Hinblick auf die Funktionstüchtigkeit und Handhabung des Sensor- und Drohnensystems genutzt (Abbildung 1). Die während der Feldtests gesammelten Daten wurden über eine Austauschplattform gemeinsam genutzt.

Abbildung 1: Das Drohnensystem bei einem Feldtest im Südschwarzwald

Arbeitspaket F1: Berechnung Baumkronenhöhenprofil

Die Berechnung von Baumkronenhöhenprofilen in Form von Digitalen Oberflächenmodellen der Bestände mit RGB-Luftbildern aus Drohnenbefliegungen vor dem eigentlichen Einsatz des E-Nose-Sensors war zunächst als Übergangslösung geplant, solange keine Drohne mit präzisen Distanzsensoren zur Verfügung stand. Dieses Verfahren sollte im Laufe des Vorhabens überflüssig werden, sobald eine entsprechend ausgerüstete Drohne ein sicheres Anfliegen der Bäume ermöglicht. Da zu Beginn des Vorhabens noch keine speziell an die E-Nose angepasste Drohne verfügbar war, wurde alternativ auf das bewährte Standardmodell Matrice 300 RTK des Herstellers DJI zurückgegriffen (siehe Arbeitspaket F2). Dieses Modell verfügt über hochpräzise Abstandssensorik, welche zusätzlich noch durch ein CSM-Radar ergänzt werden kann.

Die Verfügbarkeit eines Baumkronenhöhenprofils als auch eines hochaufgelösten Orthomosaiks wirkt sich in jedem Fall positiv auf die Flugvorbereitung, die Flugdurchführung und auch auf die Auswertung der erhobenen Daten aus. Da jedoch gerade in diesem Teilvorhaben ein verstärkter Fokus auf der Fragestellung lag, wie ein praktischer Einsatz der E-Nose möglichst zeiteffizient und auch flexibel gestaltet werden kann, wurden die Testflüge von FORESTOPERATION von Beginn an, ermöglicht durch die direkte Verfügbarkeit einer geeigneten Drohne, ohne Höhenprofile in einem teilmanuellen Flugmodus bzw. mit einer vereinfachten Flugplanung durchgeführt. Die Erstellung von Oberflächenmodellen aus Luftbildern ist ein sehr zeitintensiver Prozess, da vorbereitende Befliegungen durchgeführt werden müssen und die Berechnung leistungsfähige Hardware und Software voraussetzt. Zudem sollte die Zeitspanne zwischen Luftbild- und E-Nose-Befliegung möglichst gering sein, um auch kurzfristige Änderungen in der Struktur des Bestands abzubilden und in einer festgelegten höhendiskreten Flugroute zu berücksichtigen.

Entsprechend der ursprünglichen Planung wurden für einzelne Testbestände die Berechnungen von Digitalen Höhenmodellen und Orthomosaiken exemplarisch durchgeführt. Verwendet wurde dafür die Photogrammetrie-Software Agisoft Metashape (Abbildung 2). Die erforderlichen Aufnahmen wurden mit der RGB-Kamera Zenmuse P1, ebenfalls von der Firma DJI, erstellt. Dieses Modell verfügt über einen Vollformat-Sensor mit einer Auflösung von 45 Megapixel, ein Objektiv mit 35 mm Festbrennweite und wird über einen an drei Achsen stabilisierten Gimbel an der Matrice 300 RTK montiert. Die Flüge wurden mit einer Bildüberlappung von etwa 80 % in Flugrichtung als auch zu beiden Seiten der Flugrichtung ausgeführt. Die komplexe dreidimensionale Struktur von Wäldern macht dieses hohe Maß an Überschneidung der einzelnen Aufnahmen erforderlich.

Auf die Verwendung von Ground Control Points (GCP) wurde bei den Befliegungen verzichtet. Die photogrammetrische Verarbeitung der Einzelaufnahmen folgt einem Workflow, der im Einzelnen aus diesen Hauptarbeitsschritten besteht:

1. Vorbereitung
    a. Import der Einzelaufnahmen
    b. Import von Referenzdaten aus den Exif-Metadaten
    c. Berechnung der Kameraposition und -orientierung für jede Aufnahme
    d. Optimierung der Kameraausrichtung
2. Berechnung der Modelle
    a. Berechnung einer dichten Punktwolke
    b. Berechnung des Digitalen Höhenmodells
    c. Berechnung des Orthomosaiks
3. Export
    a. Export des Digitalen Höhenmodells als georeferenziertes GeoTiff
    b. Export des Orthomosaiks als georeferenziertes GeoTiff

Die Ergebnisse sind eine Punktwolke, ein Digitales Oberflächenmodell und ein Orthomosaik. Die genauen Konfigurationen und Parameter sowie die einzelnen notwendigen Prozessierungsschritte wurden zunächst getestet und schließlich ein Batch-Prozess für die Automatisierung mittels Python-Skript abgeleitet. Darauf basierend ist die Erstellung neuer Modelle mit nur noch deutlich geringerem Arbeitsaufwand möglich, auch wenn die Berechnung selbst bei hoher Qualität nach wie vor viel Rechenzeit beanspruchen kann.

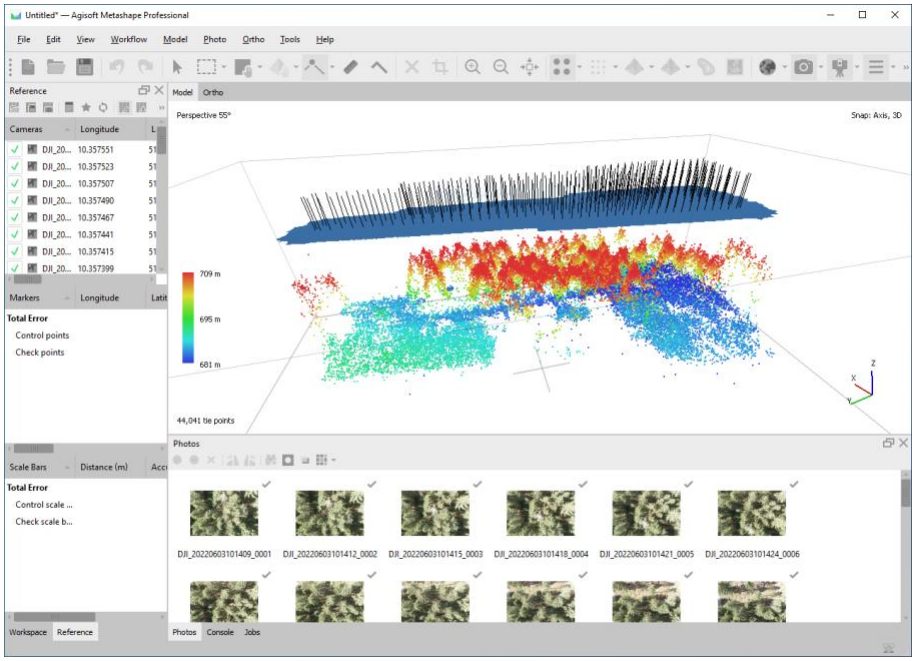

Abbildung 2: Berechnung des Digitalen Höhenmodells mit Agisoft Metashape

Mit der Flugplanungssoftware UgCS wurden Flugrouten erstellt. Sofern ein Terrain-Following-Flug geplant ist, wird dazu das genaue Höhenmodell in die Software importiert. Für eine Photogrammetrie-Befliegung gibt es spezielle Module, die mittels weniger Vorgaben alle benötigten Flugparameter berechnen. Die Vorgaben sind die Fluggeschwindigkeit, die Bodenauflösung (Ground Sampling Distance) und die Kamera (inklusive Kameraparameter wie die Brennweite und der Öffnungswinkel). Daraus werden Fluggassenabstände, die Flughöhe, die einzelnen Wegpunkte und die geschätzte Flugdauer errechnet. Die Flugroute kann mittels UgCS-App direkt auf der Drohnen-Fernsteuerung beflogen werden oder auch mit einem KML-Export. Dies hat den Vorteil, dass kein Laptop bei der Feldarbeit benötigt wird. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel für eine Flugplanung.

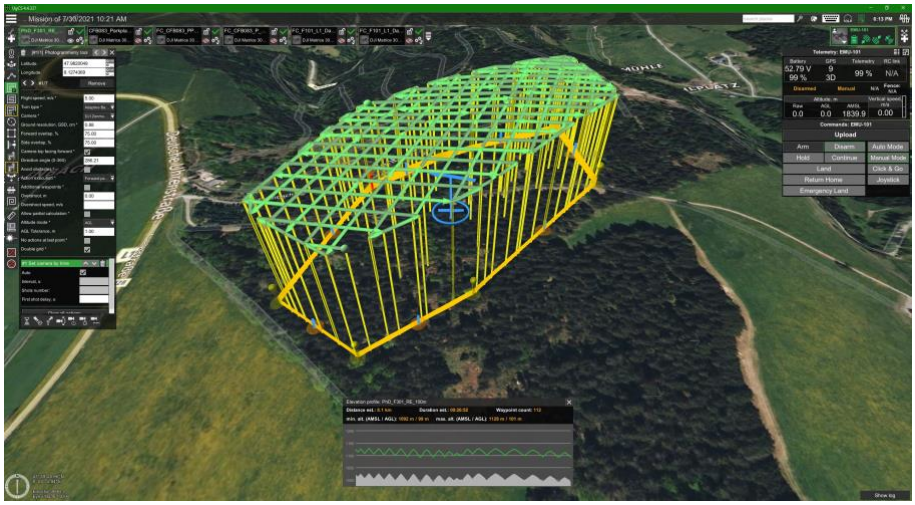

Abbildung 3: Beispiel für eine Flugplanung in der Software UgCS

Arbeitspaket F2: Automatisierung HeatMap

Ein großer Teil dieses Arbeitspakets wurde darauf verwendet, einen Workflow für den Einsatz der marktverfügbaren Drohne DJI Matrice 300 RTK als Träger für den VOC-Sensor zu entwickeln. Abgesehen von dieser ungeplanten Entwicklungsarbeit, die im Rahmen des Teilvorhabens notwendig wurde, hat diese Lösung jedoch eine Reihe von relevanten Vorteilen als Alternative zu einer vollständigen Individuallösung. Hier ist vor allem die umfangreiche Ausstattung mit Distanzsensoren zu nennen (siehe Arbeitspaket F1). Darüber hinaus verfügt das Modell über sehr ausgereifte Flugeigenschaften, sie ermöglicht positionsgenaue Flüge mit großer Flugstabilität. Die integrierte Echtzeitkinematik (RTK, Real Time Kinematic) in Verbindung mit den differentiellen Echtzeit-Korrekturen einer GNSS-Referenzstation gewährleistet eine zentimetergenaue räumliche Positionsbestimmung in alle drei Dimensionen. Zusätzlich ist das UAV (Unmanned Aerial Vehicle) eine sehr flexible Plattform und hat eine große Verbreitung in Wissenschaft und Wirtschaft.

In einer ersten Version bildete die Drohne zusammen mit dem DJI Manifold 2-G als Bordcomputer und dem Triplesensor des Herstellers UST das E-Nose-Gesamtsystem. Beim DJI Manifold 2-G handelt es sich um einen vollwertigen Computer, der mit Ubuntu ein Standard-Linux-Betriebssystem ausführt und entsprechend flexibel und leistungsstark ist. Er kann über eine Halterung sicher an der Drohne befestigt werden, Stromversorgung und Datenaustausch zwischen Drohne und Computer erfolgen über einen USB-C-basierten, aber proprietären Anschluss.

Der Triplesensor ist per USB mit dem Bordcomputer verbunden, über einen virtuellen COM-Port können mit einem entwickelten Python-Skript die Sensor-Messwerte mit einer festgelegten Frequenz von 4 Hz ausgelesen und gepeichert werden. Dazu gehören die Widerstandswerte der drei sensitiven Wirkschichten des VOC-Sensors und die zugehörige Sensortemperatur. Das Onboard SDK von DJI ermöglicht über C++-Bibliotheken parallel das kontinuierliche Auslesen der Flug-Telemetriedaten der Matrice 300 RTK. Mit einer entwickelten Software werden neben sehr präzisen Positionsdaten unter anderem Daten über Fluggeschwindigkeit, Fluglage und über Distanzen zu Hindernissen wie Bäumen mit einer Wiederholungsrate von bis zu 10 Hz abgespeichert. In dieser ersten Ausführung musste der Anwender über einen PC zunächst eine kabelgebundene SSH-Verbindung zum Manifold 2-G aufbauen und mit einem Bash-Befehl die Datenaufzeichnung vor Flugbeginn auslösen. Nach den Flügen können die Daten in Form von Textdateien über die SSH-Verbindung oder alternativ auch direkt per USB-Stick auf den PC übertragen werden. Beide gleichzeitig gespeicherten Datensätze werden mittels eines Algorithmus auf Basis des Zeitstempels homogenisiert und zusammengeführt. Dieser Schritt ist notwendig, da die Messfrequenzen sich unterscheiden und die messtechnische Zeitdrift korrigiert werden muss. Ergebnis ist eine CSV-Datei mit vier georeferenzierten Messwerten pro Sekunde.

Ein wesentliches Ziel bestand darin, die in einem Flug gewonnenen Daten unmittelbar nach der Befliegung für den Nutzer automatisch aufzubereiten und visuell darzustellen. Dazu werden auf einem PC die Dateien in eine entwickelte Desktop-Anwendung mit grafischer Oberfläche eingelesen. Sie basiert auf dem plattformübergreifenden Qt-Framework und verwendet verschiedene Python-Bibliotheken. Es wurde darauf geachtet, dass keine Installation notwendig ist und der Nutzer benötigt auch keine Administratorberechtigungen. Durch das einfache Öffnen der von der Drohne übertragenen Dateien sowie optional einer Grundkarte des untersuchten Gebiets im GeoTiff-Format, erhält der Nutzer automatisch eine korrekt georeferenzierte und interaktive Visualisierung der Daten. Eine Farbskala gibt für die beflogenen Gebiete Auskunft über die einzelnen vom Sensor detektierten VOC-Werte. Die Daten können auch tabellarisch

und in Form von Diagrammen ausgewertet werden. Darüber hinaus werden statistische Werte ausgegeben (Abbildung 4).

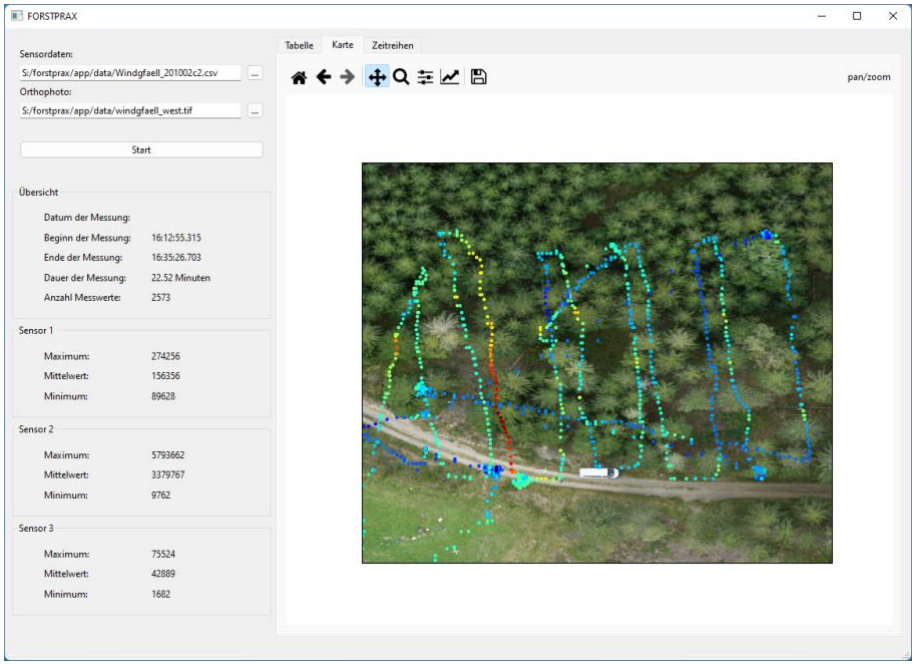

Abbildung 4: Desktop-Anwendung zur Auswertung der Messdaten

In einer zweiten Version wurde der beschriebene Workflow deutlich weiterentwickelt und an die Praxis angepasst. Es wurden folgende drei großen Veränderungen vorgenommen:

Wechsel des Bordcomputers: Das Modell DJI Manifold 2-G verursachte in Tests verschiedene Schwierigkeiten und eine Weiterentwicklung dieser Plattform wurde vom Hersteller eingestellt. Darum wurde stattdessen auf den Minicomputer Raspberry Pi 4 gewechselt, nachdem die Anbindung zur Drohne über das Onboard SDK gelungen war. Dieser ist wesentlich billiger in der Anschaffung, er kann auch auf jedem anderen UAV integriert werden und eine langfristige Verfügbarkeit ist gesichert. Zudem ist ein Einsatz unabhängig von einer Trägerpattform möglich, die Stromversorgung kann auch über eine handelsübliche Powerbank umgesetzt werden. Es stellt insgesamt eine deutlich flexiblere und zukunftssichere Plattform dar.

Erweiterte Funktionen und höhere Integration auf dem Bordcomputer: Einige Verarbeitungsschritte, die zuvor noch über die PC-Software umgesetzt waren, wurden auf den Raspberry Pi übertragen. Nach Abschluss einer Messung werden Datenverschneidung und Korrekturen direkt im Hintergrund durchgeführt. Danach werden die Daten automatisch in eine lokale Datenbank auf dem Bordcomputer importiert. Der Abruf dieser Daten ist dann über eine API möglich.

Verbindung zum Bordcomputer und Abruf der Daten: Die vorherige kabelgebundene Verbindung des Endgeräts des Nutzers zum Bordcomputer wurde auf eine Funkverbindung umgestellt. Dazu wurde der Bordcomputer als WLAN Access Point konfiguriert. Dadurch entstand die Möglichkeit, mit einem beliebigen Endgerät, auch mit einem Smartphone oder Tablet, eine Verbindung über das entsprechende WLAN-Netzwerk aufzubauen. Für den schnellen Datenabruf wurde als Alternative zur PC-Software der ersten Version eine einfache Webanwendung auf der Basis des Flask-Frameworks entwickelt, die über den Bordcomputer ausgeliefert und direkt im Browser aufgerufen wird (Abbildung 5).

Die Berechnung einer flächendeckenden Kartendarstellung der Messwerte für ganze Bestände durch räumliche Interpolationsalgorithmen wurden evaluiert. Um ein aussagekräftiges und vor allem zuverlässiges Ergebnis im Sinne einer einfachen Interpretation zu erhalten, müssen jedoch sehr spezifische Voraussetzungen eingehalten werden. Es ist notwendig, die Befliegung in einem gleichmäßigen und vor allem sehr engmaschigen Raster durchzuführen und eine Pufferzone um den Baumbestand einzubeziehen. Ein zu großer Punktabstand ist geostatistisch nur schwer auszugleichen, da für jeden einzelnen Baum ein individueller Befall und damit eine individuelle VOC-Signatur angenommen werden muss und die Befallsverteilung in komplexen Beständen sehr heterogen sein kann. Somit muss ohnehin jeder Baum einzeln angeflogen und beprobt werden. Es wurde daher entschieden, die Visualisierung der VOC-Messwerte auf die unmittelbare Flugroute zu beschränken. Dazu werden alle jeweils räumlich zusammenhängenden Messungen statistisch aggregiert und über eine auf die Flugroute beschränkte farbcodierte Kacheldarstellung aufbereitet.

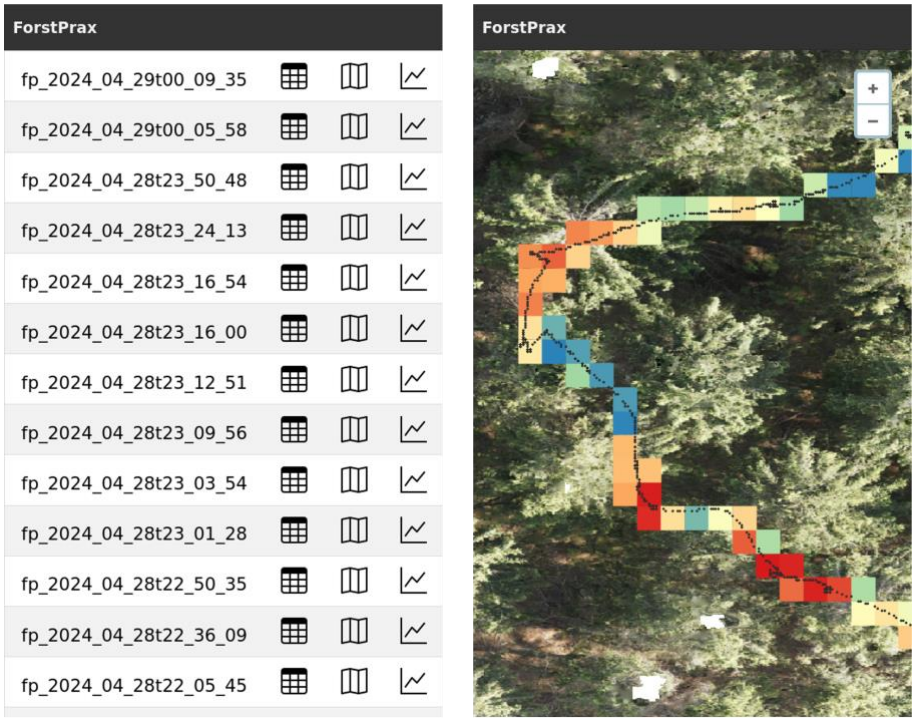

Abbildung 5: Ausschnitte aus der Webanwendung mit der Liste der Messungen und einer Kartendarstellung einer Messung auf dem Smartphone

Zur Unterstützung konventioneller Borkenkäferinspektionen durch das Ablaufen einzelner Bäume mit der E-Nose in der Hand, wurde der Raspberry Pi in Tests mit einem einfachen LC-Display für die unmittelbare Messwertanzeige ausgerüstet. Da in diesem Anwendungsfall die Telemetriedaten der Drohne fehlen, wurde zusätzlich die Möglichkeit für die Verwendung eines externen GNSS-Geräts zur Positionsbestimmung geschaffen, das per USB angeschlossen werden kann.

Wie in Arbeitspaket F1 beschrieben, wurde auf den Einsatz einer eigenen Windmessdrohne aus praktischen Gründen verzichtet. Die IMU-Daten (Inertial Measurement Unit) der Drohne enthalten zwar grundsätzlich die notwendigen Informationen zur Erfassung von Daten zu Windstärke und -richtung, jedoch ermöglicht das Onboard SDK keinen Zugriff auf diese Daten. Eine Berücksichtigung durch den manuellen Zugriff über die externe App Airdata war möglich. Als Alternative wurde unter anderem zusammen mit FORESTOPERATION die Integration eines für den Drohneneinsatz konzipierten Ultraschallanemometers direkt auf der Sensor-Drohne evaluiert.

Arbeitspaket F3: Datenvisualisierung/- veröffentlichung

Der Fokus dieses Arbeitspakets wurde besonders auf die Umsetzung einer zentralen Speichermöglichkeit der Messdaten auf einem Server mit der Möglichkeit des internetbasierten Abrufs gelegt. Eine aktive Ansprache der breiten Öffentlichkeit wurde durch FORESTOPERATION aufgrund des Prototypenstatus, den das Gesamtsystems vorerst noch hat, innerhalb der Vorhabenlaufzeit vorerst nicht angestrebt. Da der Upload der Daten auf den Server eine Internetverbindung voraussetzt, welche in sehr vielen Fällen im Wald zum heuten Zeitpunkt noch nicht vorliegt, muss dieser Schritt zeitlich unabhängig von den Messungen erfolgen. Ausgelöst wird der Upload über die lokale Webanwendung des Bordcomputers. Der verwendete Testserver wird von FeLis betrieben, als Datenbank kommt PostgreSQL mit der Erweiterung PostGIS zum Einsatz. Es werden sowohl die Rohdaten in Form der Gassensormessungen und Telemetriedaten als auch die aufbereiteten und georeferenzierten Datensätze gespeichert. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, eventuell vorliegende Orthomosaike als zugehörige Basiskarten zu hinterlegen. Dieser Arbeitsschritt ist jedoch nicht automatisiert, sondern steht in Zusammenhang mit der lokalen Erstellung der Höhenprofile. Ebenfalls im Vorfeld müssen die Datenbanknutzer angelegt werden, dies ist vorerst noch ein manueller Vorgang. Damit wird bereits in dieser Testversion eine Zugriffskontrolle gewährleistet, die der Tatsache Rechnung trägt, dass für Waldbesitzer eine Veröffentlichung dieser Daten in der Regel nicht in Frage kommt.

Die Bereitstellung und Visualisierung erfolgt über die OGC-Standards Web Map Service und Web Feature Service. Diese werden mit der Software GeoServer ausgeliefert, die direkt auf die Datenbank zugreift. Damit können die Daten in strukturierter Form mit Desktop-Software wie QGIS oder ESRI ArcGIS abgerufen und mit ihnen gearbeitet werden, aber gerade auch die Einbindung als Layer in geeignete forstspezifische

Anwendungen mit Kartenfunktion ist möglich, sofern die Schnittstellen unterstützt werden. Die Verwendung der OGC-Standards ermöglicht auch die Einbettung in Webanwendungen auf Basis von zum Beispiel OpenLayers oder ähnlichen Kartenbibliotheken. Als Grundkarten können dann beliebige zusätzliche Produkte von Anbietern wie Google oder MapBox oder auch aktuelle Erdbeobachtungsdaten zum Beispiel der Sentinel-2 Satelliten hinzugefügt werden.

2. Verwertung

a) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Es wurden in diesem Teilvorhaben keine Erfindungen oder Schutzrechtsanmeldungen gemacht oder in Anspruch genommen.

b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Eine wirtschaftliche Verwertung durch FeLis ist nicht möglich und daher nicht vorgesehen. Im Rahmen des Teilvorhabens konnte prototypisch gezeigt werden, dass eine weitgehende Automatisierung der Datenauswertung und Datenbereitstellung möglich ist. Trotz der Optimierungen ist das Verfahren aufgrund des nicht zu unterschätzenden Kosten- und Zeitaufwands durch den Drohneneinsatz vorerst als Nischenlösung für bestimmte Anwendungsfälle einzustufen, etwa bei schwer zugänglichem Gelände. Wichtig für die Umsetzung in die Praxis ist die Möglichkeit der Integration in bestehende forstliche IT-Systeme unter Verwendung offener Standards und Schnittstellen, um die Erfolgschancen und die Akzeptanz zu erhöhen. Als Anwender kommen nach entsprechenden Weiterentwicklungen insbesondere forstliche Dienstleister in Frage, die Auftragsbefliegungen durchführen. Grundsätzlich ist aber auch ein Einsatz durch große private Waldbesitzer sowie im Kommunal- und Staatswald denkbar, da Drohnen immer häufiger in Forstbetrieben eingesetzt werden. Daher ist die Verwendung eines Standardmodells als Träger des Gassensors sehr sinnvoll.

c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Der Einsatz des entwickelten Systems zur Detektion von Borkenkäferbefall durch die Messung von Monoterpenen bietet für die praktischen Wissenschaft interessante Anwendungsmöglichkeiten. Darüber hinaus hat generell die Durchführung von dreidimensionalen und georeferenzierten Messungen flüchtiger Gase mit UAV-getragenen Halbleitergassensoren in komplexen Umgebungen und mit der Möglichkeit echtzeitnaher Auswertung ein großes Potenzial für weitere wissenschaftlichen Fragestellungen in der Ökosystemforschung und darüber hinaus. Die Automatisierungsroutinen zur Datenerfassung und Datenvisualisierung können Hürden für den Einsatz in der wissenschaftlichen Praxis senken. Ein zentraler Punkt ist die Verwendung offener Standards und Schnittstellen, um die Integration in bestehende Workflows und Software wie beispielsweise QGIS zu ermöglichen. Für den jeweiligen Anwendungsfall müssen jedoch in jedem Fall individuelle Anpassungen wie beispielsweise Kalibrierungsroutinen implementiert werden.

d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Eine Anschlussfähigkeit im Sinne zukünftiger Entwicklungen ist gegeben. Ein unmittelbarer nächster Schritt könnte darin bestehen, die derzeit für den spezifischen, noch prototypischen Anwendungsfall entwickelten Lösungen zur Borkenkäferdetektion zu einer marktreifen universell einsetzbaren Plattform für die räumliche Messung und Analyse flüchtiger Gase weiterzuentwickeln.

Bei der Weiterentwicklung des Verfahrens sollten Möglichkeiten zur Integration von Methoden der Künstlichen Intelligenz einbezogen werden. Die Entwicklungen in diesem Bereich sind derzeit sehr dynamisch und versprechen beispielsweise bei der Auswertung der Messwerte große Potenziale. Aber auch in der Sensorik kann KI eine wichtige Rolle bei der kontinuierlichen Verbesserung der Messergebnisse und auch bei der Kostenreduktion spielen. Ein Beispiel ist das Modell BME688 der Firma Bosch, das als kostengünstige Alternative zu dem in diesem Vorhaben verwendeten Sensor eingesetzt werden könnte.

Die zuverlässige Früherkennung eines Borkenkäferbefall setzt voraus, dass die Befliegungen in einer hohen Frequenz wiederholt werden. Dies wäre mit einer vollständig autonom agierenden Drohne in der Praxis

wesentlich einfacher zu realisieren. Erste Ansätze für autonome Drohnen, die ohne direkte menschliche Einflussnahme in vorgegebenen Abständen Missionen fliegen, gibt es bereits. Die technischen und insbesondere in Deutschland auch die regulatorischen Herausforderungen sind zwar groß, längerfristig kann dies aber als ein realistischer Ansatz gesehen werden, der weiterverfolgt werden sollte.

3. Erkenntnisse von Dritten

Für das Teilvorhaben sind während der Laufzeit keine unmittelbar relevanten Erkenntnisse von dritter Seite bekannt geworden.

Für das Gesamtvorhaben von großer Relevanz sind neue Sensoren und Sensorsysteme, die für die VOC-Detektion geeignet sind und zwischenzeitlich vorgestellt wurden. Bereits erwähnt wurde das Modell BME688 der Firma Bosch. Dieser Sensor ist mit einem Preis von ca. 100 Euro für ein Entwicklungskit vergleichsweise günstig. Er verfügt zwar nur über eine Wirkschicht, kann aber durch die integrierte KI-Funktion individuell trainiert werden. Die Firma Dryad Networks nutzt dieses Modell für solarbetriebene Sensoren, die zu einem LoRaWAN-basierten Messnetz zur Früherkennung von Waldbränden verbunden sind. Das Start-up eyyeon hat einen neuartigen kleinen universellen und kostengünstigen Gassensor entwickelt, dessen Messprinzip auf der Ionisierung des Gases durch die Energie freier Elektronen beruht. Der Sensor ist auch als Basis für den Aufbau von Messnetzen konzipiert.

Erwähnenswert ist, dass nach Ende der Vorhabenlaufzeit im Rahmen der EU-Durchführungsverordnung zu Hochwertigen Datensätzen (DVO (EU) 2023/138) viele Geobasisdaten, die bisher meist käuflich erworben werden mussten, nun von allen Bundesländern kostenfrei und zur freien Nutzung zur Verfügung gestellt wurden. Dazu gehören unter anderem hochaufgelöste Digitale Geländemodelle, die nun deutschlandweit zur Verfügung stehen und für Flugvorbereitungen nützlich sein können.

4. Veröffentlichungen

Veröffentlichungen und Außendarstellung im Rahmen des Vorhabens wurden von FORESTOPERATION als Projektleitung übernommen. FeLis leistete hierzu unterstützende Arbeiten. Hervorzuheben ist die Präsentation des Projektes auf einem Statusseminar der FNR in Kassel im November 2022. Das Manuskript eines Artikels zur Integration des Drohneneinsatzes in den Betriebsablauf wurde beim Croatian Journal of Forest Engineering durch FORESTOPERATION eingereicht.

Berichtsblatt - Kurzfassung des Vorhabens

Förderkennzeichen:	2220NR281B
Zuwendungsempfänger:	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Professur für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme FeLis
Thema (Akronym):	Implementierung eines drohnengestützten Borkenkäferfrühdetektionsverfahrens in die FORSTliche PRAXis, Teilvorhaben 2: Automatisierung und Optimierung der georeferenzierten Sensordaten-HeatMap-Erstellung zur Visualisierung von Borkenkäfer-Befallskarten vor Ort im Wald (FORSTPRAX)

Projektbeschreibung:

Das Projekt FORSTPRAX hat zum Ziel, ein auf einem Halbleitergassensor basierendes System zur Erkennung von Borkenkäferbefall in Hinblick auf die forstliche Praxis weiterzuentwickeln. Der Sensor wird dabei von einer Drohne getragen, die in geringem Abstand über den Bestand fliegt. Das Messprinzip basiert auf der Erkennung von Monoterpenen, die von Bäumen bei Borkenkäferbefall an die Atmosphäre abgegeben werden. Diese Reaktion des Baumes setzt sehr früh ein, sodass mit diesem Ansatz eine schnellere Erkennung als mit bisherigen technischen Verfahren möglich sein kann. In diesem Teilvorhaben werden informationstechnische Grundlagen für eine mögliche Anwendung des Verfahrens in der Praxis weiterentwickelt. Dazu werden drei Aspekte bearbeitet: 1. Die Erarbeitung einer Routine zur Erstellung von Höhenprofilberechnungen zur Vorbereitung von Befliegungen im Fall der Nutzung eines Drohnensystems ohne Abstandssensor und genaue Positionsbestimmung. 2. Die Erarbeitung von Verfahren zur möglichst automatisierten und schnellen Erhebung, Übertragung und Darstellung der Sensordaten im Wald unmittelbar nach der Durchführung einer Befliegung, damit Nutzer eine direkte Rückmeldung erhalten können. 3. Die Erarbeitung einer Möglichkeit zur zentralen Speicherung der Daten zur Bereitstellung, Visualisierung und möglichen Einbindung in bestehende Waldwirtschaftssysteme basierend auf offenen Standards.

Projektergebnisse:

Im Rahmen dieses Teilvorhabens konnte das Konzept eine Früherkennung von Borkenkäferbefall mittels eines drohnengestützten Halbleitergassensors weiterentwickelt werden. Es wurde eine Routine für die Erstellung von Baumkronenhöhenprofilen und Orthomosaiken aus RGB-Luftbildern entwickelt und angewendet. Als Träger des Halbleitergassensors wurde das Drohnenmodell DJI Matrice 300 RTK ausgewählt und die dafür notwendige Software entwickelt. Die Eigenschaften dieses Modells, insbesondere die Fluggenauigkeit und die bereits integrierten Distanzsensoren, ermöglichten es, Messflüge direkt ohne Digitales Höhenmodell durchzuführen. In einer ersten Version wurden die Daten entsprechend der ursprünglichen Planung mittels einer eigenen PC-Software verarbeitet und visualisiert. Durch Weiterentwicklungen konnte die Verarbeitungslogik vollständig auf den Bordcomputer der Drohne integriert werden, die Steuerung und Datendarstellung wurde über eine WLAN-Verbindung und beispielweise ein Smartphone möglich. Eine zusätzlich Windmessdrohne wurde aufgrund mangelnder Praxisnähe nicht einbezogen. Die Übertragung auf einen Testserver bietet die Möglichkeit der zentralen Datenhaltung und der Einbindung der Daten über die OGC-Standards Web Map Service und Web Feature Service in Geographische Informationssysteme, forstliche Planungssoftware mit Kartenfunktion und in Webanwendungen.

Short Project Description

Project number:	2220NR281B
Beneficiary:	University of Freiburg, Faculty of Environment and Natural Resources, Chair of Remote Sensing and Landscape Information Systems
Project title (Acronym):	Implementation of a drone-based bark beetle early detection method in forestry practice, sub-project 2: Automation and optimisation of georeferenced sensor data HeatMap creation for the visualisation of bark beetle infestation maps on site in the forest (FORSTPRAX)

Project objective:

The project FORSTPRAX aims to further develop a system based on a semiconductor gas sensor for detecting bark beetle infestations with regard to forestry practice. The sensor is carried by a drone that flies over the stand at a short distance. The measuring principle is based on the detection of monoterpenes, which are released into the atmosphere by trees in the event of bark beetle infestation. This reaction of the tree starts very early, so that this approach can enable faster detection than with previous technical methods. In this sub-project, the information technology basis for a possible application of the method in practice is being further developed. To this end, three aspects are being addressed: 1. the development of a routine for creating height profile calculations in preparation for aerial surveys when using a drone system without a distance sensor and precise positioning. 2. the development of procedures for the automated and rapid collection, transmission and visualisation of sensor data in the forest immediately after a survey so that users can receive direct feedback. 3. the development of a possibility for central storage of the data for provision, visualisation and possible integration into existing forest management systems based on open standards.

Project results:

As part of this sub-project, the concept of early detection of bark beetle infestation using a drone-based semiconductor gas sensor was further developed. A routine for the creation of tree crown height profiles and orthomosaics from RGB aerial images was developed and applied. The DJI Matrice 300 RTK drone model was selected as the carrier for the semiconductor gas sensor and the necessary software was developed. The characteristics of this model, in particular the flight accuracy and the already integrated distance sensors, made it possible to carry out measurement flights directly without a digital elevation model. In a first version, the data was processed and visualised according to the original planning using a separate PC software. Further developments enabled the processing logic to be fully integrated into the drone's on-board computer, with control and data visualisation possible via a WLAN connection and a smartphone, for example. An additional wind measurement drone was not included due to a lack of practical relevance. The transfer to a test server offers the possibility of centralised data storage and integration of the data via the OGC standards Web Map Service and Web Feature Service in geographical information systems, forestry planning software with map function and in web applications.