Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

Entwicklung von Monitoringverfahren (Luft, Boden) zur Identifizierung von Phytoplasmosen in Weinbauflächen mit Blick auf den Quarantäneschaderreger Flavescence dorée Phytoplasma (PhytoMo) – Teilprojekt C

Förderkennzeichen:

2818718C19

Zuwendungsempfänger:

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Postfach 22 20, 53012 Bonn

Ausführende Stelle:

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn - Landwirtschaftliche Fakultät - Institut für Geodäsie und Geoinformation – Professur für Geodäsie, Nußallee 17, 53115 Bonn

Projektleitung:

Herr Prof. Dr-Ing Kuhlmann

Projektlaufzeit:

15.04.2021 bis 16.06.2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Teil I: Kurze Darstellung

1 Ursprüngliche Aufgabenstellung

Hauptziel des Projektes PhytoMo war die Entwicklung eines auf Methoden der Fern- und Naherkundung basierenden Monitoringverfahres zur Detektion vergilbungskranker Reben (Phytoplasmosen) und die Optimierung der visuellen Bonitur durch flexible Einsatzzeitpunkte und hohe Flächenleistung. Das Verfahren sollte sowohl für die Überwachung von Vermehrungsanlagen (Rebmuttergärten und Rebschulen) als auch für das flächige Monitoring in Ertragsanlagen einsetzbar sein, um möglichst spezifisch Reben zu identifizieren, die der Labordiagnostik zuzuführen sind.

2 Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde

Phytoplasmen sind im Weinbau als Erreger der Vergilbungskrankheiten von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Sie werden über kontaminiertes Vermehrungsmaterial verbreitet und lokal durch phloemsaugende Zikaden übertragen. Während die Schwarzholzkrankheit Bois noir (BN) und deren Hauptvektor *Hyalesthes obsoletus* in Deutschland weit verbreitet sind, galt Deutschland bisher als frei von *Flavescence dorée* (FD) und dem Hauptvektor, der Amerikanischen Rebzikade *Scaphoideus titanus*, abgesehen von einem einzelnen FD-infizierten Rebstock in Rheinhessen, der 2020 entdeckt und 2021 gerodet wurde (Jarausch et al. 2021). Auf Grund des Klimawandels breiten sich aber sowohl Krankheit und Vektor von Südeuropa immer weiter nach Norden aus und seit 2016 hat sich *S. titanus* im Elsass und damit in unmittelbarer Nähe zu deutschen Weinbaugebieten etabliert. In 2024 wurde die Amerikanische Rebzikade nun auch erstmalig in Deutschland nachgewiesen (Fuchs et al. 2024). Mit dem Inkrafttreten der Durchführungsverordnung 2022/1630 vom 21. September 2022 ist ein flächendeckendes systematisches Monitoring notwendig geworden, mit dem Ziel der Früherkennung sowohl des Erregers als auch des Überträgers. Da die FD-Phytoplasmen von bestimmten Typen der in heimischen Erlen weit verbreiteten 16SrV Phytoplasmen abstammen (Malembic-Maher et al. 2020), geht man davon aus, dass einzelne infizierte Reben von Zufallsübertragungen durch Erlenzikaden verursacht werden können. Dieser eher marginale Übertragungszyklus verursacht keine epidemische Ausbreitung, mit dem Auftreten der Amerikanischen Rebzikade kann es jedoch innerhalb kurzer Zeit ausgehend von einzelnen infizierten Rebstöcken zu einer epidemischen Ausbreitung der Krankheit kommen. Daher war es schon vor dem Auftreten des Hauptüberträgers wichtig, ein auf Methoden der Fern- und Naherkundung basierendes Monitoringverfahren zur Detektion vergilbungskranker Reben zu entwickeln und zu erproben, um die derzeit notwendige, visuelle Bonitur durch Begehen von Weinbergen und Vermehrungsanlagen einzuschränken und durch flexible Einsatzzeitpunkte und hohe Flächenleistung zu optimieren.

3 Ablauf

1. Auswahl von Referenzflächen und weiteren Untersuchungsflächen mit Vorkommen von Phytoplasma-infizierten Reben basierend auf vorherigen Untersuchungen.
2. Analyse der auf den Referenzflächen existierenden Phytoplasma-Pathosysteme als Basis einer Risikoanalyse und zur Entschlüsselung der epidemiologischen Parameter.
3. Entwicklung von molekularen Screening-Tools zur Identifizierung von FD-ähnlichen Phytoplasmen.
4. Erstellung von Risikokarten für den süddeutschen Weinbau basierend auf der Identifikation von Erlenstandorten in der Nähe von Weinbergen mit Hilfe von Methoden des maschinellen Lernens.
5. Optimierte Auswahl der im Projekt BigGrape erforschten phytoplasmenspezifischen spektralen Signaturen und Entwicklung eines drauf angepassten multispektralen Bildverarbeitungssystems. Fortführung des Ansatzes einer vorgelagerten Messung per hyperspektraler Kameratechnik und nachgelagerter Auswertung der relevanten multispektralen Wellenlängen für Messungen unter Feldbedingungen.
6. Entwicklung geeigneter Sensorsyteme zur spezifischen Detektion vergilbungskranker Reben vom Boden und aus der Luft durch spezifische Georeferenzierung.

4 Wesentliche Ergebnisse

Auf den ausgewählten Untersuchungsflächen konnten in jedem der drei Versuchsjahre relevante Referenzdaten erfasst und der Infektionsstatus einzelner Reben durch molekulare Analysen für den Abgleich mit spektralen Fernerkundungsdaten ermittelt und validiert werden. Des Weiteren konnte der Infektionsstatus von alternativen Vektor- und Wirtspflanzenarten bestimmt werden und durch die Verwendung und Optimierung molekularer Screening –Tools konnten neue spezifische Wirt- Vektorassoziationen auf den Untersuchungsflächen und in deren Umgebung charakterisiert werden. Vor allem bei der molekularen Charakterisierung von Isolaten der 16SrVC-+D-Gruppe konnte auf die Kooperation mit INRA Bordeaux zurückgegriffen werden. In der Pfalz und Württemberg konnten Versuchsflächen mit BN-Befall und PGY-Befall miteinbezogen und den Verbundpartnern für hyper- und multispektrale Analysen bereitgestellt werden. Da es in Deutschland bisher keine Referenzflächen mit Befall von *Flavescence dorée* sensu stricto gibt, wurde eine Zusammenarbeit mit italienischen Kolleg*innen in Südtirol (Versuchszentrum Laimburg) und Trentino (Fondazione Fmach) aufgebaut, im Rahmen derer auf den dortigen Versuchsflächen eine Beprobung FD-kranker Rebstöcke und die Durchführung spektraler Messungen ermöglicht wurde. Dadurch konnten dem Projekt PhytoMo umfangreiche Datensätze aller relevanten Phytoplasmakrankheiten der Weinrebe zum Abgleich und zur Validierung der Fernerkundungsdaten zugeführt werden.

Teil II: Eingehende Darstellung

1 Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Die wesentlichen Arbeitsschwerpunkte der Universität Bonn lagen in der Entwicklung eines bodengebundenen Monitoringsystems, die gemeinsam mit dem Fraunhofer IOSB und dem JKI durchgeführt wurde. Hauptaspekte waren dabei die Integration von Sensorik zur 3D Erfassung der Laubwand und zur genauen Georeferenzierung aller Sensordaten. Auf diese Weise sollte es möglich werden, die Informationen aus Boden- und Luft-gebundenen Systemen zu kombinieren und einzelnen Rebstöcken zuzuordnen.

1.1 Aufbau eines bodenbasierten Monitoringsystems

Das Ziel des bodenbasierten Monitoringsystems ist die Möglichkeit zur Erfassung multispektraler Signaturen von Krankheiten (insbesondere Flavescence dorée) durch die Befahrung der Reihen. Dazu soll es neben der automatisierten Erkennung der Krankheiten möglich sein, den genauen Ort der Symptome in einem globalen Koordinatensystem zu bestimmen. Dazu wurde innerhalb des Projektes durch den Projektpartner FhG IOSB ein Sensorsystem aufgebaut, welches automatisiert multispektrale Bilder aufnimmt und abspeichert. In dieses System wurden eine Tiefenkamera und eine inertiales Navigationssystem bestehen aus einem GNSS (Global Navigation Satellite System) - Empfänger und einer IMU (Inertial Measurement Unit) integriert.

Eine besondere Herausforderung bestand dabei in der Synchronisierung der Sensordaten, da nur so eine ausreichend genaue Zuordnung zwischen dem Aufnahmeort und den erfassten spektralen und geometrischen Daten möglich ist. Eine weitere Herausforderung war die Integration eines Zugangs zu einem Referenzdienst, der für eine zentimetergenaue Positionsbestimmung der Plattform gebraucht wird. Ohne diesen wäre eine Positionsbestimmung nur mit einer Genauigkeit von einigen Metern möglich, was für eine pflanzenscharfe Zuordnung nicht ausreicht.

Die Entwicklung des Systems wurde zu Beginn parallel bei zwei Projektpartnern durchgeführt, weshalb die Investitionen des Inertialen Navigationssystems wie geplant doppelt durchgeführt wurde. In mehreren Iterationen wurde das System aufgebaut, verbessert und angepasst und es konnten schließlich Messkampagnen in Südtirol sowie in Siebeldingen durchgeführt werden (siehe Abbildung 1). Im Laufe des Projektes stellte sich heraus, dass die Tiefenkamera bei starkem Sonnenlicht nur bedingt zufriedenstellende Ergebnisse liefern konnte. Aus eigenen Mitteln wurde daher eine erst im Laufe des Projektes verfügbar gewordene neuere Version beschafft, die auch bei Tageslicht gute Daten liefern konnte.

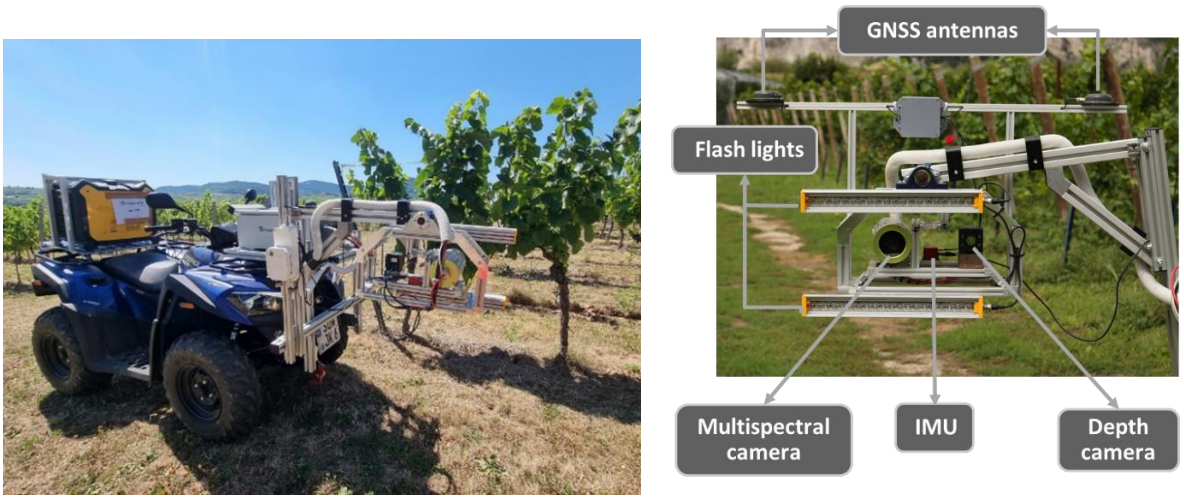

Abbildung 1: Bodengestütztes Monitoringsystem realisiert auf einem Quad (links). Das System besteht aus einer Multispektralkamera, einer Tiefenkamera, und einem Inertialen Navigationssystemmit zwei GNSS Antennen.

1.2 Globale Registrierung der Messdaten

Um die globale Registrierung alles Messdaten zu ermöglichen, also eine globale Koordinate für alle mit den multispektralen Sensoren erfassten Objekte zu erzeugen, sind zwei Schritte notwendig:

a) Bestimmung der Trajektorie der Plattform, also der Position und Orientierung des Sensorsystems für alle Zeitpunkte an denen spektrale und geometrische Informationen aufgenommen wurden.
b) Bestimmung der der räumlichen Bezüge (Rotation und Translation) zwischen dem Inertialen Sensorsystems (GNSS/IMU), der Tiefenkamera und der Multispektralkamera (Systemkalibrierung)

Die Trajektorienschätzung wurde mit der Inertialen Sensoreinheit realisiert. Diese wurde in das System integriert. Über rekursive Schätzalgorithmen werden aus den Daten der beiden GNSS Antennen und den Daten der Inertialen Messeinheit (Drehraten und Beschleunigungen) Positionen und Orientierungen mit Bezug zu einem globalen Referenzsystem (ETRS89) berechnet. Der GNSS Empfänger stellt außerdem die genaue Zeitbasis für alle anderen Sensoren dar. Abbildung 2 (links) zeigt beispielhaft die Position der Plattform während einer Messung in Siebeldingen.

Die Kalibrierung der intrinsischen und extrinsischen Kameraparameter, insbesondere die relative Orientierung zwischen Tiefen- und Multispektralkamera wurde mit Hilfe einer Modifikation von Zhangs Kalibriermethode [1] realisiert, welches auf Aufnahmen eines Schachbrettmusters basiert (siehe Abbildung 2 rechts). Auf diese Weise ist es nun möglich, die 3D Punkte, die mit der Tiefenkamera generiert werden, mit den Daten der Multispektralkamera „einzufärben“.

Die Relation zwischen den Kameras und dem inertialen Sensorsystem konnte durch einen präzisen mechanischen Aufbau als bekannt vorausgesetzt werden.

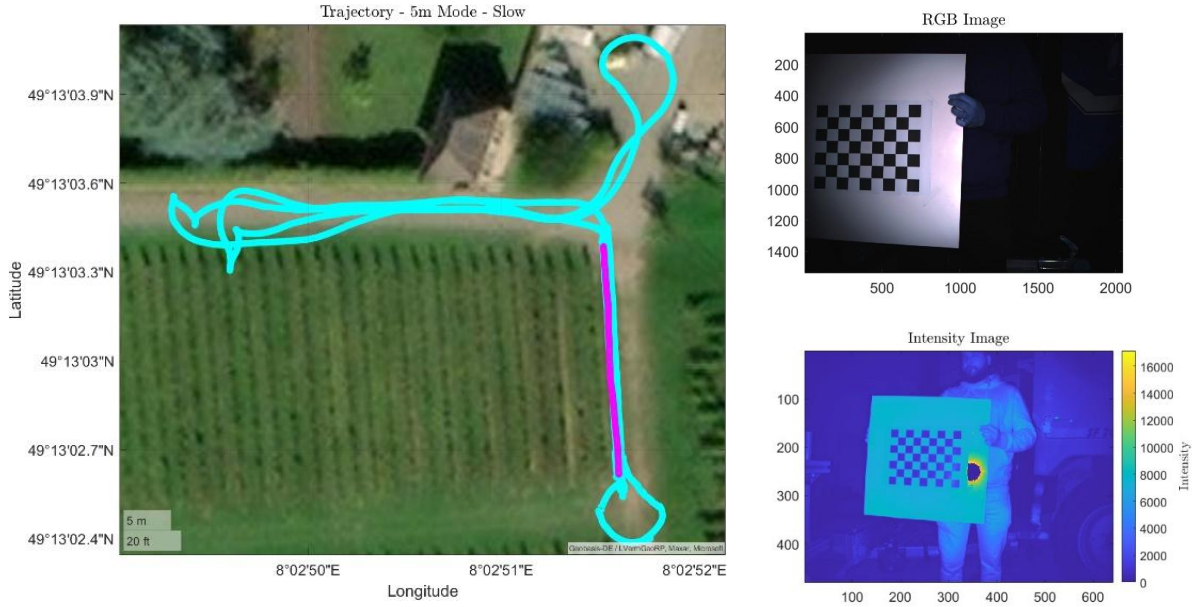

Abbildung 2: Trajektorie während einer Messung in Siebeldingen (links) und Aufnahmen zur Kalibrierung der Parameter zwischen Tiefen- und Multispektralkamera (rechts).

Zur Überprüfung der Qualität der Georeferenzierung der 3D und Spektraldaten, wurde eine Evaluierungsmessung in Siebeldingen durchgeführt. Dazu wurde eine Weinreihe mit Zielzeichen ausgestattet, deren Position mit einem RTK- Empfänger mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern bestimmt wurde (siehe Abbildung 3). Weiterhin wurde mit Hilfe eines hochgenauen terrestrischen Laserscanners (TLS) ein 3D Modell der Weinreihe erzeugt, welches über die Zielzeichen georeferenziert wurde. Durch einen Vergleich der mit dem bodengestützten Monitoringsystem aufgenommen Daten mit dem 3D Modell, und durch Beobachtung der bekannten Zielzeichen mit den Spektral und Tiefenkameras lassen sich nun Aussagen über die Genauigkeit der Registrierung treffen.

Abbildung 3: Testaufbau zur Evaluierung der Registrierungsgenauigkeit. Links: Zielzeichen in der Testweinreihe. Rechts: Bodengestütztes Monitoringsystem.

Abbildung 4 (links) zeigt die Überlagerung der hochgenauen Referenzpunktwolke mit den aus der Tiefenkamera generierten und mit der Plattformtrajektorie georeferenzierten 3D Daten. Wie erwartet ist die Auflösung nicht so hoch wie die des Laserscanners, aber es gut erkennbar, dass die Daten miteinander konsistent sind.

Abbildung 4 (rechts) zeigt die 3D Daten aus der Tiefenkamera, eingefärbt mit den Farbinformationen aus der Spektralkamera. Insbesondere bei Betrachtung des Zielzeichens in der Mitte ist erkennbar, dass auch hier die Daten der beiden Kameras miteinander Konsistent sind.

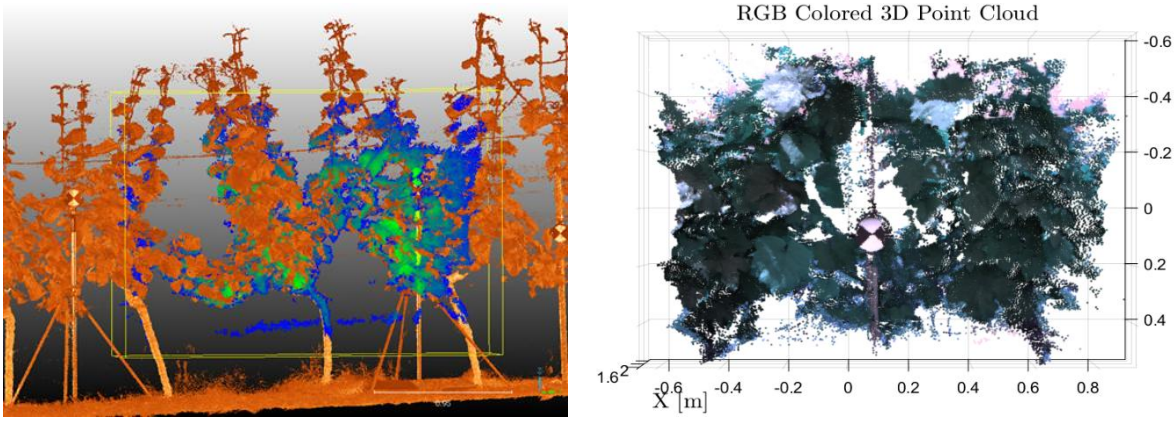

Abbildung 4: Links: Hochgenaue Referenzpunktwolke (rot-braun) mit Punktwolke generiert aus Tiefenkamera (blau-grün). Rechts: Punktwolke aus Tiefenkamera, eingefärbt mit Farbinformationen aus der Spektralkamera.

Um auch quantitative Aussagen treffen zu können, wurden die Mittelpunkte der Zielzeichen aus den Daten der Tiefenkamera (Abbildung 4, links, hier in Form von Intensitäten), den Daten der Spektralkamera (Abbildung 4, Mitte) und den Daten des TLS (Abbildung 4, rechts) berechnet. Der Vergleich der Koordinaten für alle verwendeten Zielzeichen zeigt, dass sowohl die Georeferenzierungsgenauigkeit der Spektraldaten im Bereich weniger Zentimeter liegt. Eine Zuordnung der Daten zu einzelnen Reben ist daher mit dem Aufbau auf jeden Fall möglich.

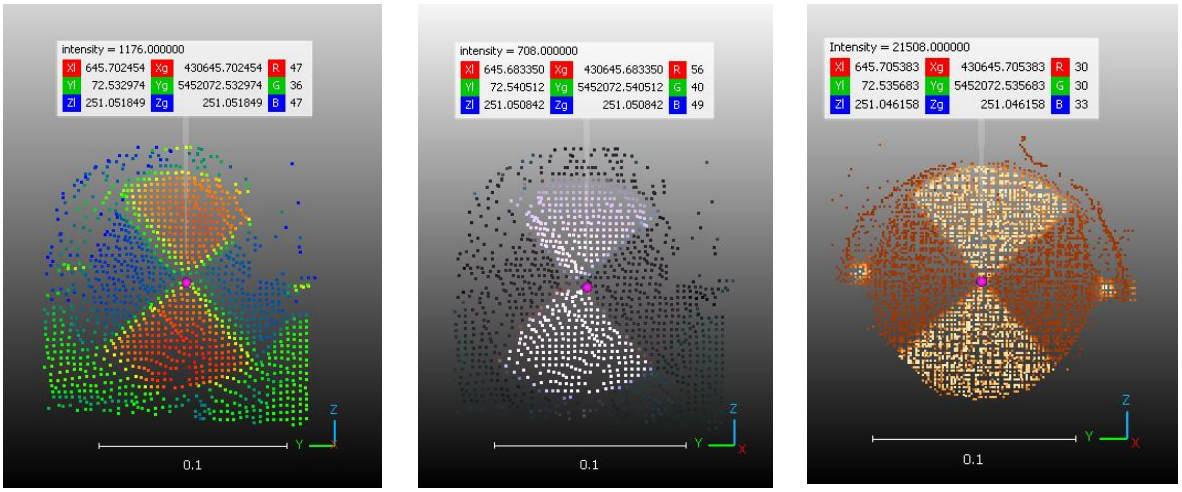

Abbildung 5: Messung von Zielmarken zur Überprüfung der Kalibrier- und Georeferenzierungsgenauigkeit. Links: Tiefenkamera, Mitte: Multispektralkamera. Rechts: Laserscanner

Während den Evaluierungsmessungen wurden auch Daten mit dem luftgestützten Monitoringsystem, insbesondere auch 3D Daten mittels eines Laserscanners aufgenommen.

Diese sind zusammen mit den anderen Daten in Abbildung 6 als schwarze Punkte dargestellt. Es ist zu erkennen, dass obwohl die Punktwolke wie erwartet eine noch geringere Auflösung hat, diese jedoch mit den anderen Informationen konsistent ist.

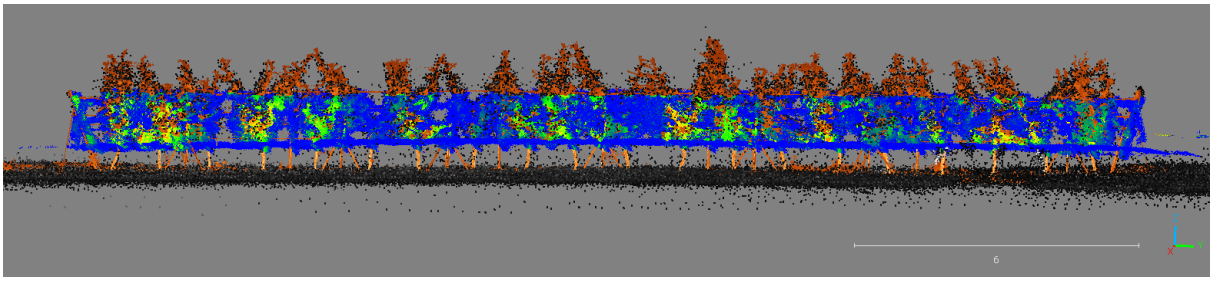

Abbildung 6: Registrierte Punktwolken aus Drohne, Terrestrischem Laserscanner und Bodengebundenem System.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Ziel, alle Daten des Monitoringsystems ausreichendgenau zu georeferenzieren, so dass eine Zuordnung der Daten (inklusive der des luftgestützten Systems) untereinander sowie zu den Koordinaten der einzelnen Weinreben möglich ist, erreicht werden konnte.

Während einer Messkampagne in Südtirol konnte die Trajektorienbestimmung der Plattform ebenfalls demonstriert werden (Abbildung 7), allerdings gab es zu diesem Zeitpunkt wie schon erwähnt noch Probleme mit der Tageslichttauglichkeit der Tiefenkamera, so dass damit keine Daten erhoben werden konnten.

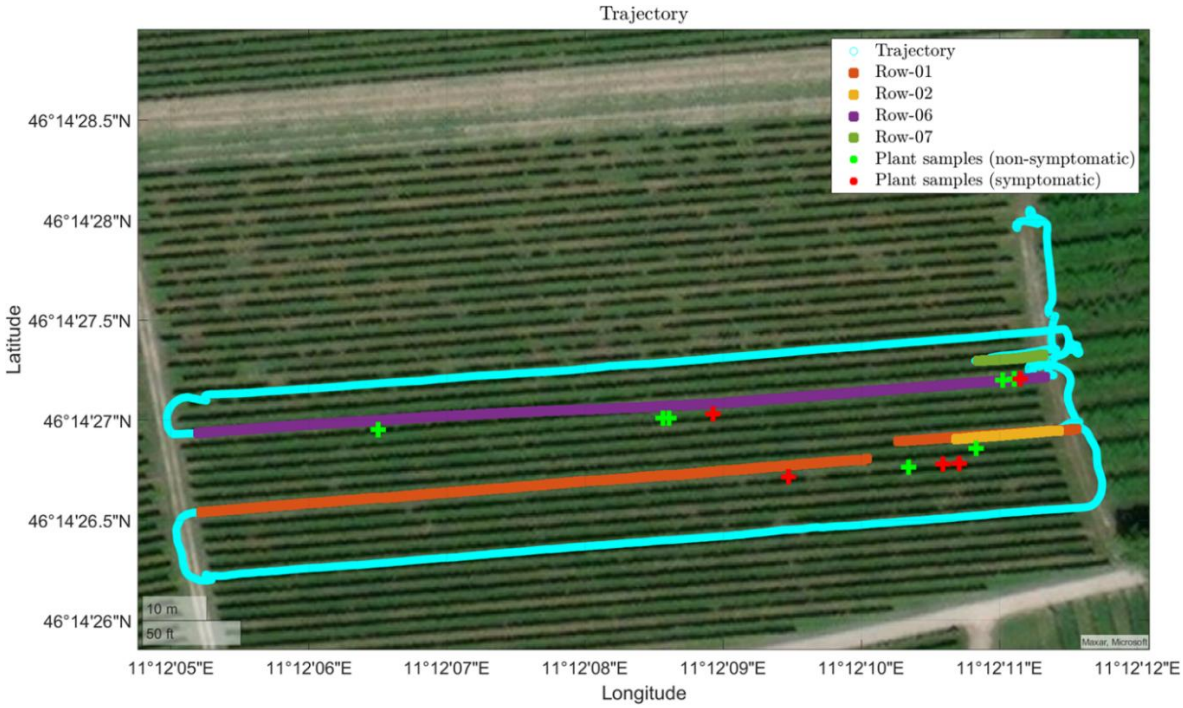

Abbildung 7: Trajektorie der Monitoringplattform bei einer Messkampagne in Südtirol

1.3 Kombination von Tiefen und Farbinformationen

Ein Ziel des Projektes war es, zu untersuchen ob und wie sich die Symptome von Bois Noir (BN) und Flavescens Dorée (FD) mit Hilfe spektraler Signaturen detektieren lassen. Zusätzlich wurden jedoch auch erste Untersuchungen zu der Frage durchgeführt, ob die 3D Daten, die mit der Tiefenkamera aufgenommen wurden bei der Detektion hilfreich sein könnten. Beispielhaft wurde dazu die Blatt-Segmentierung gewählt, da die Symptome von BN und FD blatt-spezifisch auftreten.

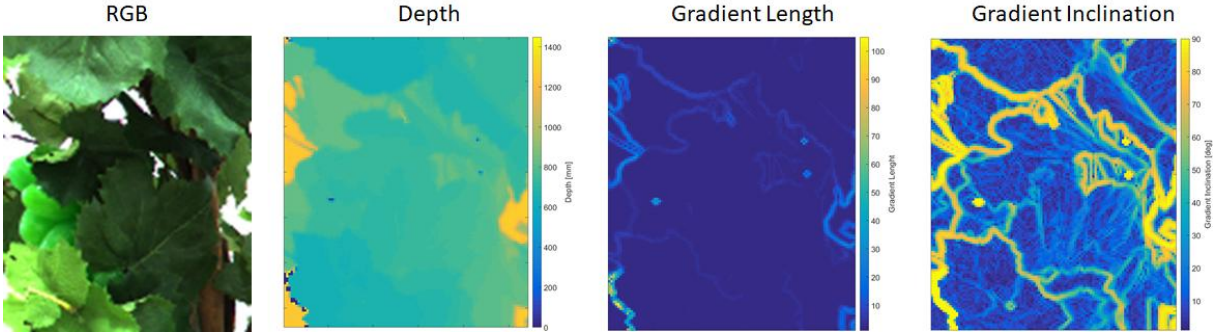

Abbildung 8: Für die Blattsegmentierung genutze Daten. RGB steht für die normalen Bild-Daten, Depth zeigt die Tiefendaten, Gradient Length und Inclination sind Produkte, die aus den Tiefendaten abgeleitet wurden.

Es wurden zum einen wurden die rohen Tiefendaten zur Auswertung genutzt, ebenso wie abgeleitete Produkte wie die Gradientenlänge oder –neigung. Dabei bestand die Hoffnung, dass man das Netzwerk mit diesen Vorinformationen gezielt auf die Erkennung von Kanten trainieren könnte. Beispiele für die genutzen Daten sind in

Abbildung 8 zu sehen.

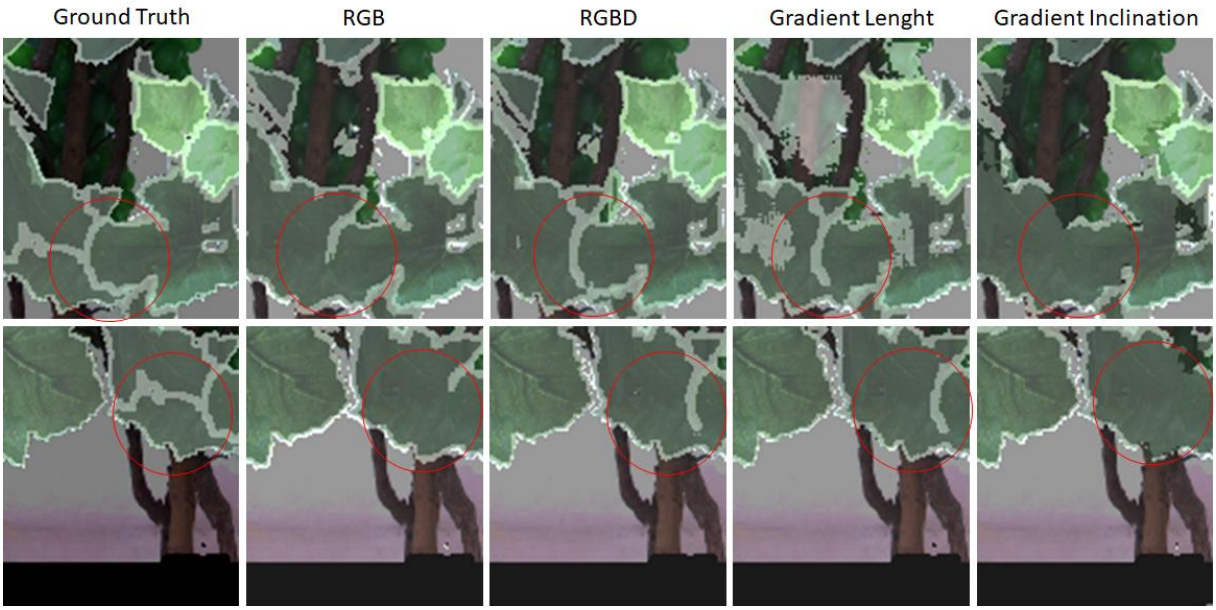

Abbildung 9: Ground Truth und Ergebnisse der Blattsegmentierung bei Hinzunahme zusätzlicher Informationen aus den Tiefenkameras.

Die Ergebnisse zeigen, dass die rohe Tiefe die beste Lösung bereitstellt, was darauf schließen lässt, dass die Kanteninformation durch eine andere Repräsentation als den Gradienten

gefunden werden kann. Des Weiteren ist die Hinzunahme der geometrischen Informationen hilfreich im Vergleich zur ausschließlichen Nutzung der RGB Informationen.

Qualitative Ergebnisse sind in Abbildung 9 zu sehen. Das rein auf RGB Daten trainierte Netz hat Probleme, die Trennung zwischen zwei gleichfarbigen Blättern zu finden. Die Hinzunahme der Tiefeninformation hilft jedoch bei der Erkennung der Kante. Dennoch sind manche Kanten auch so nicht auffindbar.

1.4 Extraktion weiterer Parameter aus Drohnendaten

Im Rahmen der Arbeiten wurden außerdem Verfahren entwickelt, mit denen relevante Parameter wie z.B. Stockposition, Pflanzenhöhe, -breite und Volumen automatisch aus 3D Punktwolken extrahiert werden können (siehe Abb. 6). Diese wurden in einem Zeitschriftenaufsatz veröffentlicht:

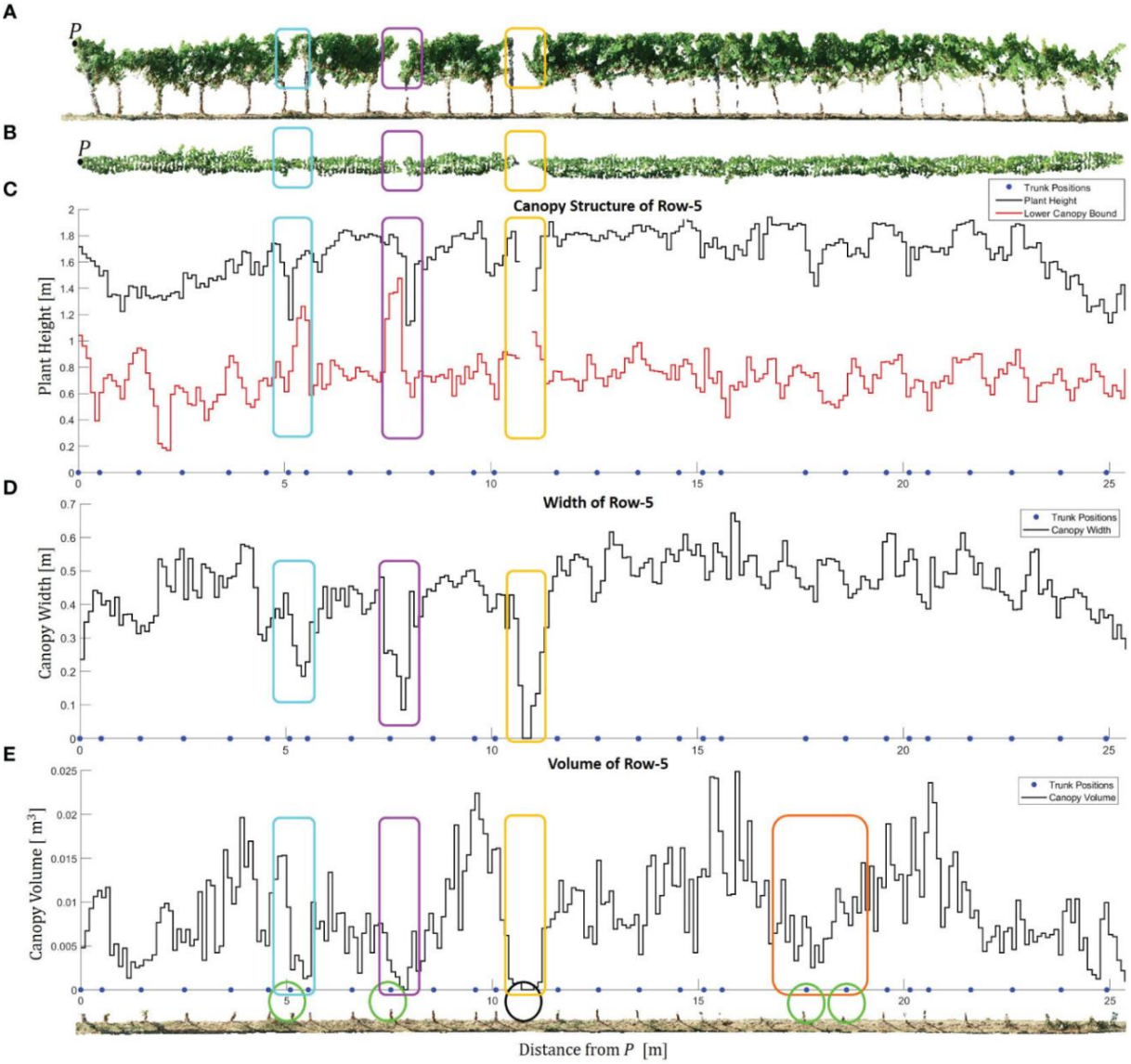

Abbildung 10: Höhe, Breite und Volumen der Laubwand, sowie Positionen einzelner Stöcke. Die Informationen wurden automatisiert aus 3D Punktwolken extrahiert, die aus Drohnen-basierten Bildaufnahmen rekonstruiert wurden.

2 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Personalkosten

- wissenschaftliche Mitarbeiter: 226.825,65 €
- Studentische Hilfskräfte: 5.610,37 €

Geräte über 410 € 16.994,99 €

- Inertiales Navigationssystem (2 Stück)
- Tiefenkamera
- RGB Kamera

Reisekosten: 1.002,09 €

- Projekttreffen
- Datenaufnahme
- Inländische Konferenz

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Zur Erreichung der Ziele, wie sie im Antrag formuliert wurden, war die Projektarbeit notwendig und angemessen. Der Überblick über die durchgeführten Arbeiten (Kap. 1) und die erzielten Ergebnisse, sowie der Überblick über die Ausgaben (Kap.2) zeigen, dass die Mittel auch wie geplant für die Ziele des Projektes eingesetzt wurden. Besonders zu erwähnen ist, dass Sensorsysteme, so wie sie innerhalb des Projektes entwickelt wurden, eben nicht auf dem freien Markt verfügbar waren und sind. Insbesondere die Integration von 3D Informationen und Spektraldaten, sowohl auf Sensorsystemebene, als auch im Bereich der Datenprozessierung, ist ein aktuelles Forschungsthema, bei dem nicht einfach auf bestehende Methoden zurückgegriffen werden kann. Da gleiche gilt für die hochgenaue Georereferenzierung von Daten, die mit mobilen Sensorsystem erfasst werden. Die Synchronisierung und Kalibrierung der Sensoren zueinander, sowie die Erzeugung und Einbindung der genauen Trajektorie erfordert einen hohen wissenschaftlichen und technischen Sachverstand, der hier durch die wissenschaftlichen Mitarbeiter innerhalb des Teilprojektes geleistet wurde.

4 Voraussichtlicher Nutzen

Durch die Beiträge zur Entwicklung der bodengestützen Monitoringplattform wurde eine Technologie weiterentwickelt, die im Sinne der Digitalisierung vielseitig einsetzbar ist. Über das Ziel des Verbundprojektes hinaus, nämlich die Erkennung und das Monitoring von Pflanzenkrankheiten, kann die Plattform erweitert und für zahlreiche andere Monitoringaufgaben angepasst und erweitert werden. Die präzise Georeferenzierung aller Daten spielt dabei eine besondere Rolle, da durch sie eine Verschneidung unterschiedlichster Daten und die Beobachtung gleicher Pflanzen über die Zeit in großem Maße vereinfacht wird.

Abgesehen vom Nutzen der Ergebnisse des gesamten Verbundprojektes, liegen die Nutzungsmöglichkeiten der speziell in diesem Teilprojekt erzielten Ergebnisse außerdem im Einsatz in der Forschung und der Lehre an der Universität. Die Vorhabensergebnisse bestehen im Wesentlichen aus Methoden und Verfahren zur georeferenzierten Aufnahme von ortsaufgelösten Multispektralaufnahmen aus der Luft, sowie der Erzeugung multispektral erweiterter Bestandsstrukturinformation und daraus abgeleiteter Parameter.

Diese Methoden sind vielfältig in der eigenen Forschung einsetzbar. Die Algorithmen zur Parameterextraktion lassen sich auf andere in der Arbeitsgruppe eingesetzte Messgeräte (z.B. Laserscanner) aber auch andere Anwendungen (Vegetationsmonitoring) übertragen. Die Expertise der Gruppe im Bereich der bewegten Sensorsysteme, sowie der Erzeugung und Verarbeitung von 3D-Punktwolken und der Pflanzenphänotypisierung wird gefestigt und erweitert. Diese wird außerdem direkt in verschiedenen Modulen der Lehre, sowohl in der Bachelor- als auch in der Masterausbildung, eingesetzt: Sensorsysteme und Algorithmen zur Sensordatenauswertung in Geodäsie und Geoinformation und in interdisziplinärer Lehre (Agrar + Geodäsie, Präzisionslandwirtschaft, Technologie und Sensorik in den Nutzpflanzen-wissenschaften).

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

Dem ZE sind keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant waren.

6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

6.1 Zeitschriftenbeiträge

- Cantürk, M., Zabawa, L., Pavlic, D., Dreier, A., Klingbeil, L., & Kuhlmann, H. (**2023**). UAV-based individual plant detection and geometric parameter extraction in vineyards. Frontiers in Plant Science, 14, 1244384. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1244384

6.2 Konferenzbeiträge

- L. Zabawa, M. Cantürk, L. Klingbeil, H. Kuhlmann (**2022**): 3D Description of Vineyard Characteristics Based on UAV-Images. 7th International Plant Phenotyping Symposium ‘Plant Phenotyping for a Sustainable Future’. Wageningen, the Netherlands. September 26-30, 2022
- B. Jarausch, E. Alisaac, P. Schumacher, P. Gauweiler, R. Gruna, L. Zabawa, L. Klingbeil, S. Rechkemmer, W. Jarausch, M. Maixner & A. Kicherer (2023): Development of multilevel

monitoring systems for the identification of phytoplasmoses in German viticultural areas. Phytopathogenic Mollicutes Vol. 13 (1), June 2023, 133-135. doi:10.5958/2249-4677.2023.00067.1

6.3 Dissertationen

- Zabawa, Laura (**2023**): Contributions to image-based high-throughput phenotyping in vitiulture. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:5-72561
- Cantuerk, Meltem: Dissertation in Bearbeitung

7 Literaturverzeichnis

[1] Zhang, Z. “A Flexible New Technique for Camera Calibration”. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 22, no. 11 (November 2000): 1330–34. https://doi.org/10.1109/34.888718.