

Multispektral-Analyse im Weinbau – Weit entwickelt aber noch nicht perfekt

Autoren: Jan Reustle, Martin Joos und Dr. Manuel Becker
Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein- und Obstbau Weinsberg, Referat Weinbau und Rebschutz, Traubenplatz 5, 74189 Weinsberg

Einleitung

Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung in der Landwirtschaft erfordert Schlag- bzw. teilflächenspezifische Informationen um qualitätserhaltende bzw. qualitätssteigernde Bewirtschaftungsmaßnahmen durchführen zu können. Georeferenzierte Flächenunterschiede stellen somit einen wichtigen Baustein in der Digitalisierung der Landwirtschaft und zukünftig auch im Weinbau dar.

Bisher haben sich Bewertungen zur Qualität und zum Gesundheitszustand von Weinreben fast ausschließlich auf Einzelstockmessungen konzentriert. Messungen wie Laubflächenindex, Nährstoff-Analysen oder Phenolbestimmung sind jedoch sehr zeitaufwendig und kostenintensiv. Seit einigen Jahren können sensorbasierte Methoden zur Bestimmung der Flächenvariabilität auf Basis nicht-destruktiver Analysen mit hoher Flächenleistung durchgeführt werden.

Der Einsatz von Multispektralkameras ist im Ackerbau bereits etabliert und leistet dort einen entscheidenden Beitrag zum nachhaltigen und standortspezifischen Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln bei Getreide, Mais und Kartoffeln. In Raumkulturen wird diese Technologie bisher jedoch nur in geringem Umfang eingesetzt. Gründe hierfür sind die komplexe Laubwand-Geometrie, die Orientierung der Laubfläche bei Raumkulturen sowie das Fehlen von Referenzwerten zur Korrelation von qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffen mit multispektralen Vegetationsindices. Im Weinbau zielt der Einsatz von Multispektralkameras darauf ab verschiedene Teilflächen einer Rebfläche

voneinander unterscheiden zu können und dadurch z.B. eine gezielte Pflanzenschutzbehandlung durchführen zu können oder unterschiedliche Qualitäten innerhalb einer Rebfläche zu ernten.

Was sind Multispektralkameras?

Optische Sensoren dienen zur Messung der Reflexion von Laubfläche oder einzelnen Blättern im sichtbaren und Nahinfrarot-Bereich. Hierbei wird zwischen multispektralen und hyperspektralen Kamerasystemen unterschieden. Multispektrale Sensoren können im Weinbau und der Landwirtschaft zur Messung der Pflanzenvitalität und des allgemeinen Pflanzenstresses eingesetzt werden. Diese Messungen setzen sich gewöhnlich aus den Messungen von mindestens zwei Sensoren zusammen, jeweils ein Sensor mit einem Filter im sichtbaren Bereich (blau bzw. rot) und ein Sensor mit Filter im Nahinfrarot-Bereich. Die Wahl der Filter mit unterschiedlichen Wellenlängen und deren Transmissionsbreite haben ebenso einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Ergebnisse wie die Flugparameter der Geräteträger auf dem die Sensoren installiert sind. Es existiert eine Vielzahl verschiedener multispektraler Filter zur Erfassung der unterschiedlichen Bereiche (Rot, Grün, Blau und NIR) der Blattreflexion. Während Multispektralkameras einzelne Bereiche der Reflexion messen zeichnen hyperspektrale Kamerasysteme hingegen eine Vielzahl einzelner Wellenlängen der Blattreflexion auf, wodurch erheblich größere Datenmengen anfallen können. Der Einsatz von Hyperspektralkameras beschränkt jedoch bisher

auf die Forschung und Industrieanwendungen.

Die Multispektralkamera MicaSense Altum (MicaSense Inc., Seattle, USA) verfügt beispielsweise über fünf Kamerasensoren mit einer Auflösung von 3,2 MP (2064 x 1544 Pixel) je Kamerasensor bei einem Gewicht von 357 g. Die Kamerasensoren

enthalten folgende Filter: Blau (475 nm +/- 20 nm), Grün (560 nm +/- 20 nm), Rot (668 nm +/- 10 nm), Red edge (717 nm +/- 10 nm) und Nahinfrarot (NIR, 840 +/- 40 nm). Zudem verfügt die MicaSense Altum über einen Wärmebild-Sensor (LWIR: 8-14 µm) mit 160 x 120 Pixel.



Abbildung 1: Multispektralkamera an einem UAV (unbemanntes Luftfahrzeug)

Prinzip der Blattreflexionsmessung

Die Reflexion von Reblättern enthält charakteristische Merkmale. Reflektiertes Licht erhält im sichtbaren Bereich einen hohen Grün-Anteil, der die geringen Rot- und Blau-Anteile im sichtbaren Spektrum überlagert. Der Grund hierfür ist, dass die Lichtbereiche Rot und Blau vom Chlorophyll für die Photosynthese absorbiert und nur in geringem Maße reflektiert werden. Die Blattreflexion im Nahinfrarot-Bereich (NIR) wird durch weitere Faktoren beeinflusst, z.B. die Wasserversorgung der Pflanze oder einen Krankheitsbefall.

Eine gesunde Pflanze hat eine hohe Reflexion im NIR-Bereich und eine geringe Reflexion im roten und blauen Bereich. Eine kranke Pflanze reduziert aufgrund eines Stressfaktors die Photosyntheseleistung, wodurch sich der reflektierte Anteil an rotem und blauem Licht erhöht. Gleichzeitig wird die Reflexion von NIR-Strahlung reduziert, da diese bei kranken Pflanzen tiefer ins Gewebe eindringen kann.

Die multispektralen Kameraaufnahmen werden für die Berechnungen von Vegetationsindices z.B. des NDVIs (normierter differenzierter Vegetationsindex) verwendet werden. Der NDVI berechnet sich mit der Formel: $(NIR - Rot) / (NIR + Rot)$. Die Werte des NDVIs liegen zwischen -1 und +1, wobei hohe Werte auf eine gesunde Vegetation hinweisen. Werte um 0 oder im negativen Bereich zeigen abgestorbene Vegetation oder vegetationsfreie Flächen wie Erde, Straßen oder Gewässer an. Der NDVI kann jedoch nur Aussagen über die Vitalität bzw. photosynthetische Aktivität treffen, aber keine Aussage über die tatsächliche Stressursache machen. Im Beispiel von Abbildung 2 lassen sich ein NDVI-Wert von 0,92 für das gesunde Blatt und ein Wert von 0,76 für das mit Peronospora befallene Blatt berechnen. Die Auswertung spektraler Daten durch die Berechnung von Vegetationsindices bildet die Grundlage von Fernerkundungssystemen.

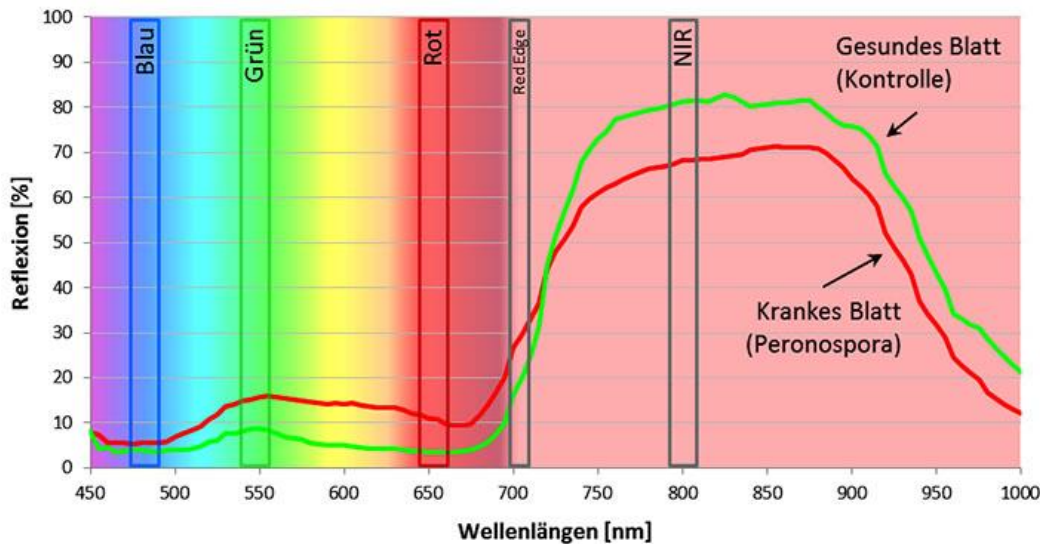


Abbildung 2: Spektrale Signaturen eines gesunden und kranken Rebenblattes (Peronospora) sowie die multispektralen Filterbereiche (Blau, Grün, Rot, Red Edge und NIR)

UAV und Software

Unbemannte Luftfahrzeuge (UAV = unmanned aerial vehicle) können relativ einfach als Geräteträger bzw. Sensorplattformen für Multispektralkameras im Weinbau eingesetzt werden. Sie sind damit günstiger im Vergleich zu Satelliten- oder Flugzeug-basierten Datenerhebungen. UAVs als Sensorplattformen eignen sich hervorragend, um kamerabasierte Sensorsysteme auf eine Höhe von bis zu 100m zu transportieren und Flugrouten softwaregesteuert über GPS-Koordinaten automatisch abzufliegen. Der begrenzende Faktor für eine höhere Flächenleistung mit den Multikoptern ist derzeit nur die Akkukapazität der UAVs.

Als Sensorplattform für die Multispektralkamera wurde der Quadrocopter Matrice 210 V2 RTK der Firma DJI (SZ DJI Technology Co., Ltd., Shenzhen, China) verwendet und mittels DJI Pilot App im automatischen Flugmodus betrieben. Diese App ist auf dem Tablet der Fernsteuerung vorinstalliert. In der App wurde der Flugplan über die Rebflächen erstellt. Die Abstände zwischen den Flugbahnen wurden entsprechend der eingestellten Bild-Überlappung bzw. der Flughöhe in Abhängigkeit zum Kamera-

sensor automatisch berechnet. Mittels eigener RTK-Station kann das UAV den Flugplan Zentimeter genau absolvieren. Die Flughöhe beeinflusst maßgeblich die Pixelgröße und damit die graphische Auflösung der späteren Datenvisualisierung. Je höher die Flughöhe, desto größer die am Boden oder Laubwand aufgenommene Kantenlänge der Pixel. Gleichzeitig beeinflusst die Flughöhe auch die Anzahl der Flugbahnen, die benötigt werden um eine korrekte Überlappung der Bilder zu gewährleisten. Hier muss berücksichtigt werden, dass eine Verringerung der Flughöhe durch ansteigendes Gelände die Anzahl übereinstimmender Pixel zwischen den Bildern aufgrund reduzierter Bilder-Überlappung verringert. Allgemeingültige Bildaufnahme- und Flug-Parameter können nicht definiert werden, da je nach Einsatzzweck unterschiedliche Pixelgrößen erforderlich sind. Entsprechend müssen die Flug-Parameter verändert werden. Eine detaillierte Aufnahme der Laubwand erfordert mehrere Pixel pro Blatt während für die Darstellung einer größeren Rebfläche ein Pixel pro Blatt ausreichend ist.

Ein Flug mit der Multispektralkamera MicaSense Altum auf 30 m Höhe erzeugt

1680 Bilder/ha mit einem Speicherbedarf 4,13 GB. Die Flugzeit beträgt bei einer Fluggeschwindigkeit von 5 km/h und einer Bildüberlappung (vorwärts und seitlich) von 75% ca. 23 min (2,62 ha/Stunde). Bei einer Flughöhe von 100 m werden 135 Bilder/ha erzeugt mit einem Speicherbedarf von 0,43 GB. Hier beträgt die Flugzeit unter gleichen Bedingungen 8 min/ha (7,77 ha/h). Die Bildauflösung unterscheidet sich zwischen den verschiedenen Flughöhen sehr stark, bei einem Flug mit der MicaSense Altum auf

einer Höhe von 30 m beträgt die Kantenlänge eines Pixels 1,29 cm, auf einer Höhe von 100 m bereits 4,31 cm.

Für die Visualisierung und Auswertung der Multispektraldaten wurde die Software Agisoft Metashape (Agisoft LLC, St. Petersburg, Russland) verwendet. Parallel dazu wurden die Datensätze der Multispektralkamera MicaSense Altum auf die Cloud-Plattform PrecisionAnalytics (<https://agriculture.precisionanalytics.net>) geladen, prozessiert und verfügbare vegetationsbasierte Indices berechnet.



Abbildung 3: Das UAV DJI Matrice 210 V2 RTK mit den Multispektralkameras Tetracam Macaw (links) und MicaSense Altum (rechts) sowie Fernsteuerung mit Tablet



Abbildung 4: Das UAV DJI Matrice 210 V2 RTK in der Luft mit RTK-Station

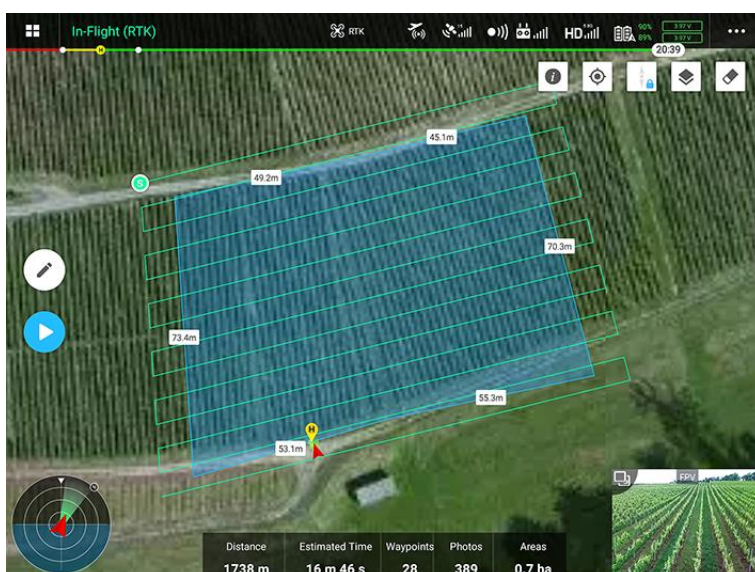


Abbildung 5: Flugplanung mit der DJI Pilot App auf der Fernsteuerung

Workflow

Die Rebfläche wurden mittels UAV und Multispektralkamera MicaSense Altum in einem Raster überflogen. Die Multispektralkamera verfügt über mehrere Kamerasensoren mit verschiedenen multispektralen Filtern. Die multispektralen Aufnahmen wurden mit der Software Agisoft Metashape verrechnet. Nach dem Erstellen der Punktwolke und anschließender Vermaschung der Punkte wurden die unterschiedlichen Bereiche (Boden, Vegetation, Laubwand usw.) kategorisiert um alle Bereiche mit Ausnahme der Laubwand auszublenden. Anschließend wur-

den Vegetationsindices auf Basis der verfügbaren multispektralen Bänder (Rot, NIR, etc.) berechnet. Als Vegetationsindices wurde beispielsweise der NDVI in Falschfarbendarstellung erzeugt. Die Visualisierung der Laubwand als 3D-Modell in Verbindung mit der Falschfarben-Darstellung (grün = gesund, rot = gestresst) eines Vegetationsindex ermöglicht eine Bewertung der ganzen Rebfläche hinsichtlich der Pflanzenvitalität. Auf Basis des Vegetationsindex können räumliche Informationen auch zum Krankheitsbefall in der Laubwand visualisiert werden.

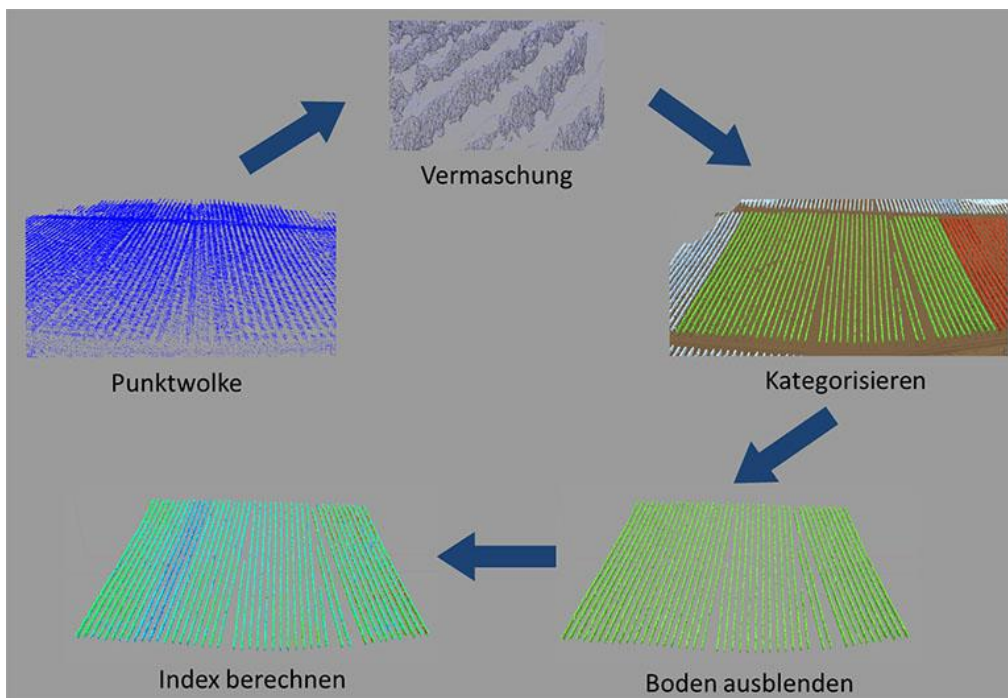


Abbildung 6: Workflow zur Verrechnung von multispektralen Datensätzen zu einem 3D-Modell mit der Software Agisoft Metashape und anschließender Darstellung von Vegetationsindices

Warum so viel Aufwand?

Der Erfolg und der Nutzen von multispektralen Kamerasystemen in Raumkulturen sind sehr stark von der Berechnungsmethode der Kameradaten

abhängig. Eine 2-dimensionale (2D) Auswertung lässt Rückschlüsse ausschließlich auf Basis des Gipfellaubs zu, während eine 3-dimensionale (3D) Auswertung die vollständige Laubwand abbilden kann.

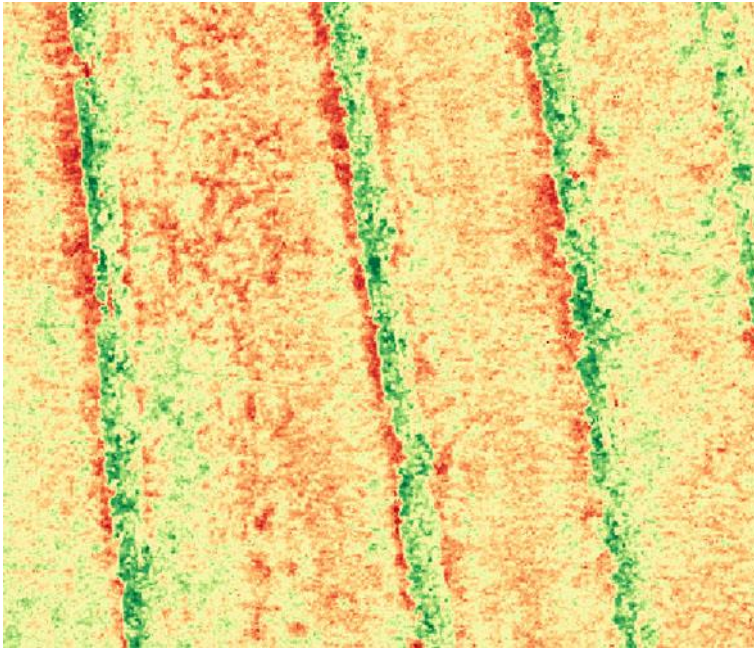


Abbildung 7 a: Ausschnitt von drei Rebzeilen (grün) aus dem Luftbild (2D) einer Rebfläche auf Basis von MicaSense Altum-Daten. Darstellung des NDVI in Falschfarben (NDVI-Werte: grün = hoch, orange = mittel, rot = gering bis 0)

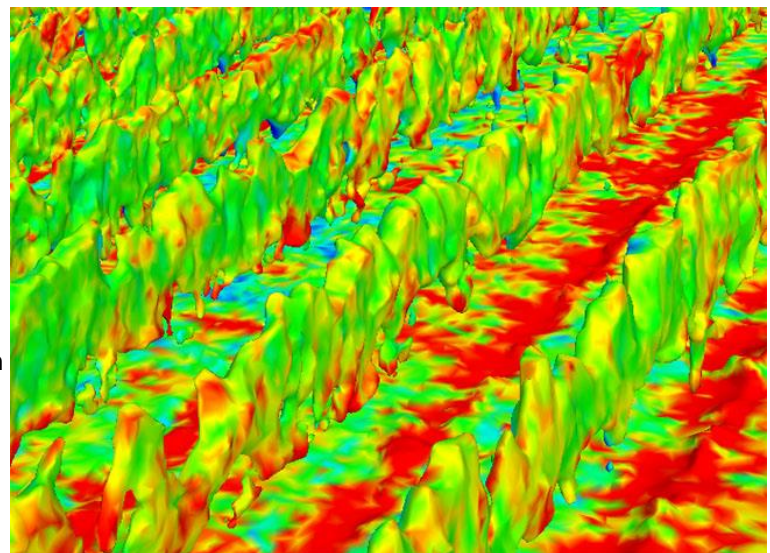


Abbildung 7 b: Ausschnitt von mehreren Rebzeilen aus dem 3D-Modell einer Rebfläche auf Basis von MicaSense Altum-Daten. Darstellung des NDVI in Falschfarben (NDVI-Werte: grün = hoch, orange = mittel, rot = gering bis 0)

Diese Auswertung erlaubt derzeit nur die Software Agisoft Metashape, sie lässt jedoch keine automatisierte teilflächen-spezifische Differenzierung in verschiedene Zonen zu. Dieser Prozess ist zum jetzigen Zeitpunkt nur mit 2D-berechneten Datensätzen möglich, beispielsweise durch die Software Pix4Mapper oder der Cloud-Plattform PrecisionAnalytics. Diese Software-Systeme können jedoch keine 3D-Karten aus multispektralen Kameradaten berechnen. Daher lassen sich auf

dieser Basis keine Qualitätszonen bilden bzw. keine maschinenlesbaren Datensätzen generieren. Hier wird deutlich, dass sich die aktuell verfügbaren Softwaresysteme vorwiegend auf Flächenkulturen konzentrieren und über keine gesonderten Auswertemöglichkeiten für Raumkulturen verfügen.

Der Einsatz von Fernerkundungsmethoden in Raumkulturen ist nach den aktuellen Erkenntnissen möglich. Die Integration von 3D-basierten Multispektral-

daten als Grundlage für Handlungsempfehlungen für Precision Farming-Systemen, z.B. für die teilflächen-spezifische Ausbringung von Dünger oder

Pflanzenschutzmittel, wird im Weinbau erst durch weitere technische Fortschritte möglich sein.

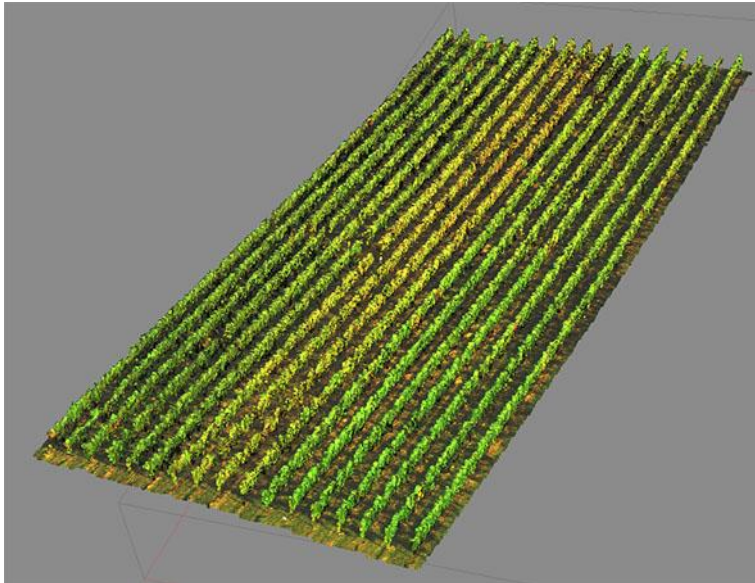


Abbildung 8 a: 3D-Modell einer Rebfläche

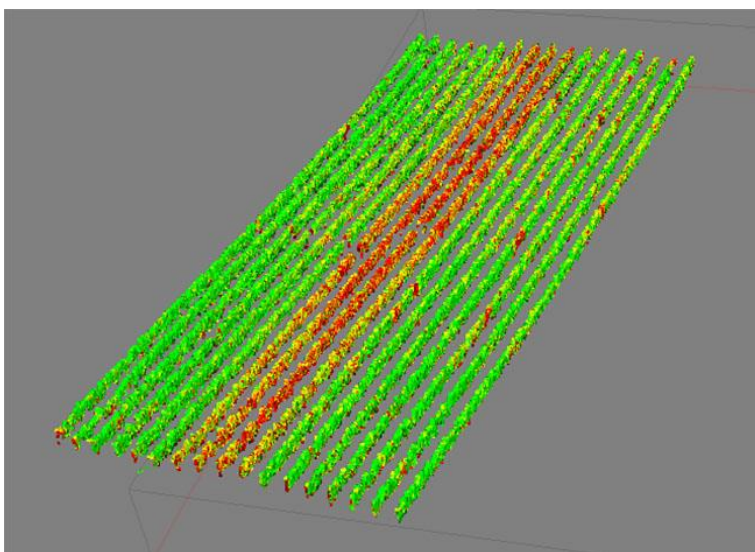


Abb. 8 b: Multispektrale Messung eines Oidiumbefalls in einer Versuchsfläche der LVWO Weinsberg mit Visualisierung des Vegetationsindex NDVI in Falschfarben-Darstellung als 3D-Modell (grün = gesundes Laub, rot = Oidiumbefall)

Schlussfolgerung

Die Fernerkundung von Rebflächen kann durch die Kombination von multispektralen Kamerasensoren, UAVs und geeigneter Software zum Prozessieren der Kameraaufnahmen durchgeführt werden. Die Verwendung von Multispektralkameras und UAVs zur Messung der Pflanzenvitalität bzw. zur Beobachtung von Krank-

heiten ist eine schnelle, zuverlässige und kostengünstige Messmethode für Raumkulturen. Die sinkenden Investitionskosten für diese Systeme und die zunehmende Benutzerfreundlichkeit der Steuerungssoftware ermöglicht es Winzern und Landwirten innerhalb kurzer Zeit entsprechende Geräte selbstständig zu bedienen. Sie ermöglichen bei ent-

sprechender Flughöhe eine hohe räumliche Auflösung im Zentimeterbereich und gleichzeitig eine hohe Flächenleistung bzw. einen geringen Zeitaufwand für die Befliegung.

Die Ergebnisse zeigen, dass Multispektraldaten der Blattreflexion zur Erkennung von Krankheiten sowie zur Bestimmung deren Befallsgrad mittels Vegetationsindices verwendet werden können. Jedoch können mit NDVI-basierten Indices keine Aussage zum jeweiligen Stressfaktor bzw. zur Krankheitsursache getroffen werden.

Die multispektralen Aufnahmen können mit spezieller Software zu Luftbildern zusammengefügt und anhand der spektralen Informationen zu Index-Karten prozessiert werden. Diese georeferenzierten Flächeninformationen bilden die Basis für standort- bzw. teilflächen-spezifische Bewirtschaftungsmaßnahmen. Die eingesetzte Software unterscheidet sich erheblich in ihren Funktionen und Möglichkeiten zur Auswertung von Multispektraldaten. Die Extraktion von einzelnen Zonen bzw. Flächenbereichen aus einem 3D-Modell war jedoch zum Zeitpunkt der Untersuchungen mit den verwendeten Softwaresystemen nicht ohne weiteres möglich.

Die Herausforderung dieser Fernerkundungsmethode liegt in der Anwendung bei

Raumkulturen wie im Wein- oder Obstbau. Die berechneten 3D-Modelle können georeferenzierte Informationen über die Verbreitung von Krankheiten visualisieren und dadurch unterschiedlicher Zonen innerhalb einer Rebfläche aufzeigen. Weitere Untersuchungen sind jedoch notwendig um die gemessenen 3D-Daten als Grundlage für die Informationsweitergabe an Bearbeitungsgeräte bzw. Managementsysteme verwenden zu können. Dadurch soll die Weitergabe bzw. der Austausch von Flächendaten in Form von Maschinen-lesbaren Karten zukünftig auch zur Steuerung von Lesemaschinen oder Bearbeitungsgeräten dienen. Des Weiteren sind weitere Untersuchungen zur Interpretation von multispektralen Vegetationsindices notwendig.

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages und aus Mitteln des Ausschuss für Technik im Weinbau (ATW). Die Projektträgerschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.