

Projektskizze

Zur Einreichung eines Förderantrages im Rahmen der Bekanntmachung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft „Verbesserung der Nährstoffeffizienz und Emissionsminderung in der Landwirtschaft

Förderungsschwerpunkt

Sensorgestützte und innovative Verfahren zur Bestimmung der Nährstoffversorgung von Pflanzen und im Boden sowie zur Bestimmung weiterer für eine verbesserte Nährstoffeffizienz relevanter Parameter

Projekttitlel

Sensorgestütztes Verfahren für die Charakterisierung von Böden sowie zur Quantifizierung und Optimierung der Nährstoffversorgung und -verfügbarkeit im nachhaltigen Weinbau

Gegenstand des Verbundvorhabens

Gegenstand im Allgemeinen ist der Weinbau. Ziel ist die Entwicklung eines sensorbasierten Verfahrens für die **Charakterisierung von Böden und das Monitoring der Nährstoffversorgung und -verfügbarkeit**. Adressiert wird aus Sicht der Hardwareentwicklung in besonderer Weise ein routinetauglich einsetzbares Handgerät, das es dem Winzer ermöglicht, ohne Laboruntersuchungen auf der Rebfläche sehr schnell Analysen mit Hilfe von Bodenproben durchzuführen, die automatisiert ausgewertet und zur Visualisierung von Empfehlungen in Bezug auf die Bodenbearbeitung zur Verbesserung der Bodenstruktur und in Bezug auf die optimale Düngergabe und ggf. die Bewässerung genutzt werden. Zusätzlich erfolgen Laboruntersuchungen zur Bewertung der biologischen Bodenaktivität in Bezug auf die Aktivierung von Mikroorganismen. Die Fusionierung der Vorort-Analysen unter Einbindung von Temperatur- und Feuchtedaten mit den in den Laboruntersuchungen ermittelten Daten führen insgesamt zu einer neuen Qualität im Anbaumonitoring und final zu Smart Farming System für den nachhaltigen Weinbau.

Laut dem Statistischen Bundesamt wurden im Jahr 2021 in Deutschland insgesamt 8,45 Mio. Hektoliter Wein und Most erzeugt. Etwa 2/3 (68%) der im Jahr 2021 erzeugten Weine waren Weißweine, ein Drittel (32%) Rotweine (einschl. Roséwein und Rotling). Die beiden größten Weinanbaugebiete in Deutschland waren 2021 Rheinhessen mit 2,57 Mio. Hektolitern und die Pfalz mit 1,75 Mio. Hektolitern. Zusammen wurde hier etwa die Hälfte des gesamten deutschen Weins und Mosts erzeugt. Weitere wichtige Anbaugebiete sind das Weinanbaugebiet Mosel sowie Baden und Württemberg. Regional wuchsen die Rebflächen in den Anbaugebieten Sachsen (auf 509 Hektar), Saale-Unstrut (auf 837 Hektar) und Rheinhessen (auf 27.159 Hektar) von 2020 bis 2021 am stärksten. Für das Jahr 2022 wird im Segment Wein ein Marktvolumen von etwa 15 Mrd. Euro prognostiziert. Bis zum Jahr 2025 soll dieser Wert auf 18,5 Mrd. Euro steigen. Dies entspricht einem jährlichen Umsatzwachstum von 6 %.

Im Speziellen adressiert das geplante Verbundvorhaben die sogenannten **PIWI's**, eine neue Generation von Rebsorten. Sie entstehen durch klassische Kreuzung aus amerikanischen und asiatischen Wildreben - die eine natürliche Resistenz besitzen - mit der europäischen Weinrebe (*Vitis Vinifera*). Bis zur Zulassung einer Sorte können durchaus 25 bis 30 Jahre vergehen. Ein wesentliches Charakteristikum dieser Sorten ist eine äußerst hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber bedeutenden Pilzkrankheiten, insbesondere dem echten und falschen Mehltau. PIWI-Pflanzen sind in der Lage, auf Blätterstellen, die von Mehltausporen befallenen sind, Zellen absterben zu lassen. Da die meisten PIWI's locker aufgebaute Trauben mit kleineren Einzelfrüchten bilden, die nach Niederschlägen schnell trocknen, erschweren sie es auch anderen feuchtigkeitsliebenden Pilzsporen, wie Grauschimmel, sich anzusiedeln. Zudem verfügen PIWI's über eine besonders feste Beerenhaut.

Trotz des bislang vergleichbar geringen Anteils an der Gesamtweinproduktion von ca. 3% kann eine zunehmende Bedeutung von PIWI's konstatiert werden. Gerade wegen der möglichen Nachhaltigkeit in der Produktion, insbesondere im Hinblick auf die drastische Senkung des Einsatzes von Spritzmitteln gegen Schädlingsbefall finden diese Sorten starke Beachtung bei Bio-Winzern. Weltweit hat sich die ökologisch bewirtschaftete Rebfläche von 2004 bis 2011 von 88.000 auf 256.000 Hektar fast verdreifacht. Deutschland liegt mit einem Wachstum von durchschnittlich 25 Prozent pro Jahr und mehr als 7.000 Hektar Fläche weltweit auf Platz sechs. 2019 stieg die Rebfläche auf 10.600 Hektar an, was einen Anteil von rund zehn Prozent an der gesamten deutschen Rebfläche ausmacht. In einer im Jahr 2021 publizierten Studie des Marktforschungsinstituts Nielsen wird konstatiert, dass 11% der Haushalte in Deutschland 2020 Biowein gekauft haben und dies zu einem Zuwachs von

jeweils rund 0,5 Prozentpunkten bei den Marktanteilen auf drei Prozent im Absatz und vier Prozent im Umsatz führte.

Laut Analysen des statistischen Amtes der EU (EuroStat) ist der Pflanzenschutzmittel-Einsatz pro Hektar und Jahr im Weinbau mit Abstand der größte im Vergleich zu allen anderen landwirtschaftlichen Produkten in der EU. PIWI-Reben ermöglichen durch ihre hohe Widerstandsfähigkeit wie bereits erwähnt, eine deutliche Reduzierung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln. Sie tragen auf diese Weise maßgeblich zur Umweltentlastung bei. Die Zielstellung eines nachhaltigen Anbaus führt in der Konsequenz dazu, das Ökosystem als Ganzes zu thematisieren, was dann erfordert, den Rebstock im Kontext des ihn umgebenden Milieus zu betrachten. Ein weitgehender Verzicht auf Pflanzenschutzmitteln, die Substitution künstlichen Düngers durch organische Substanzen, eine Bodenbearbeitung, die das Mikroklima positiv beeinflusst und möglichst geringe Belastungen des Bodens durch Befahren sind hier einige der daraus resultierenden Konsequenzen.

Hier routinetauglich umsetzbare Empfehlungen auf der Grundlage objektiv erhobener Daten generieren zu können setzt voraus, ein Parameterpanel zu definieren und im Rahmen eines technischen Unterstützungssystems abzubilden, das die genannten biologisch und bodenbearbeitungsbedingten Faktoren miteinander verknüpft, gleichzeitig aber auch Prioritäten setzt und Korrelationen zwischen den zu wichtenden Einzelparametern berücksichtigt. Um das damit charakterisierte Monitoringsystem umzusetzen und tatsächlich praktikable, routinetaugliche Handlungsempfehlungen zu erzeugen, bedarf es sowohl Hardware- als auch Softwareentwicklungen. Erst die jüngsten Entwicklungen im Bereich der Sensorik, der Mikrointegration und der Informations- und Kommunikationstechnologien machen es überhaupt möglich, eine derart komplexe Fragestellung Erfolg versprechend bearbeiten zu können.

Das geplante Forschungsverbundvorhaben hat zum Ziel, verfügbare Technik zu analysieren, um auf dieser Basis Defizite zu identifizieren und durch die Entwicklung neuer technischer Lösungen bzw. Module zu überwinden. Als Endergebnis entsteht eine Systemlösung, die dazu geeignet ist, einen nachhaltigen, qualitativ hochwertigen Anbau von PIWI's zu unterstützen.

Aus Sicht des **Anwendernutzens** können folgende Aspekte hervorgehoben werden:

- **Monitoring bestimmender Bodenparameter direkt vor Ort mit einem Handmessgerät**
- **Charakterisierung der Bodenart**
- **Datenfusionierung der Vor-Ort-Messung mit Daten aus Laboruntersuchungen**
- **Früherkennung von Ereignissen bzw. Bedingungen, die eine Intervention erfordern**

- **Ressourcensparende Düngung**
- **Ressourcensparender Wassereinsatz**

Mit dem zu entwickelnden Monitoringsystem wird eine Basislösung geschaffen, die über ein erhebliches Skalierungspotenzial in Bezug auf andere Kulturen verfügt.

Entwicklungen auf der Hardwareebene

Im Fokus der Hardwareentwicklung steht ein Handmessgerät, mit dem es möglich ist, vor Ort, ohne die Nutzung von Laborkapazitäten die Bodenqualität sowie die Nährstoffversorgung zu analysieren. Es sei bereits an dieser Stelle zusätzlich erwähnt, dass darüber hinaus eine Messsonde zur kontinuierlichen Erfassung der Bodentemperatur und der Feuchtigkeit eingesetzt wird, um die Basis der verfügbaren Daten für die softwarebasierte Datenauswertung zu stärken. Hierzu bedarf es jedoch keiner vorhabenspezifischen Entwicklungsarbeiten. Zum Einsatz gelangen kommerziell verfügbare Messsonden.

Der Schwerpunkt der Entwicklung liegt dementsprechend auf dem bereits erwähnten Handmessgerät. Im Kontext der Dosierung der Düngung ist zum einen eine genaue Kenntnis der Bodenacidität und des Gehalts wichtiger chemischer Inhaltsstoffe erforderlich. Die Makronährstoffe Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium, Calcium und Schwefel werden aufgrund ihres hohen Bedarfs überwiegend über die Wurzeln aufgenommen. Ziel ist die Entwicklung eines Multisensormoduls, das es gestattet, folgende Parameter zu bestimmen:

- **Redoxpotenzial**
- **pH-Wert**
- **Stickstoff**
- **Kalium**

Der pH-Wert beeinflusst den Geschmack, das Redoxpotential, das Verhältnis von freiem zu gebundenem SO_2 sowie die Möglichkeit zur Bildung oder Verhinderung von Eisenphosphattrübungen. Stickstoff macht sich insbesondere im Rahmen seiner indirekten Wirkungen bemerkbar, wie über die Wüchsigkeit des Rebstockes. So zeigt sich in mastigen, mit Stickstoff gut versorgten Beständen ein übermäßiges Triebwachstum. Die Trauben sind dann kompakt, großbeerig und fäulnisanfällig. Mit bis zu 1,2 g/l im fertigen Wein stellt Kalium die Hauptkomponente des mineralischen Extraktanteils dar. Kalium agiert als Regulator osmotischer Vorgänge, welche z.B. die Spaltöffnungen der Blätter steuern oder die Wanderung der Zucker und Reservestoffe ermöglichen.

Technologisch basiert das in diesem Kontext zu entwickelnde Messsystem auf Sensoren die im Rahmen eines funktionalen Siebdrucks, der sogenannten Screen Printing – Technologie hergestellt werden. Die Verwendung derartiger planarer Messwertgeber hat den Vorteil, dass alle Sensorikbauelemente auf einem einzelnen Keramik-Substrat platziert werden können, was zur Folge hat, dass sich die gesamte Messeinheit einfach und unkompliziert wechseln lässt. Die Verbindung zwischen den elektronischen Bauelementen und den elektrochemischen Sensoren wird unter Verwendung von Edelmetallen realisiert. Der **pH-Wert** lässt sich entweder mit Hilfe einer Polymer-Matrix Ionen-sensitiver Elektroden bzw. Bi- oder Sb-Elektroden basiert, ermitteln. pH-sensitive Materialien lassen sich auch kostengünstig mittels Screen Printing – Technik herstellen. Dementsprechend sind im Rahmen des geplanten Verbundvorhabens detaillierte Materialuntersuchungen zur Bestimmung optimaler Werkstoffkombinationen vorgesehen.

Die **Redox-Elektrode** muss aus Platin bestehen. Wie die pH-Elektrode auch, kann die Redox-Elektrode nur in Kombination mit einer entsprechenden potenzialstabilen Referenzelektrode betrieben werden. Um gerade die Langlebigkeit der Referenzsystems sicherzustellen, werden die aus Silber bzw. Silberchlorid bestehenden Kontaktbereiche mit einem chloridhaltigen Reservoir versehen werden, so dass eine stabile Cl-Konzentration gehalten werden kann. Andererseits muss jedoch mit einem kleinen Bereich der Kontaktfläche elektrolytischer Kontakt zur Probe hergestellt werden. Die besondere Herausforderung besteht hierbei in der Bestimmung einer optimalen Kombination aus Schichtdicke und Aufbau des chloridhaltigen Überzugs sowie der Strukturierung der Kontaktfläche zum Analyt.

Eine besondere technische Herausforderung besteht im geplanten Verbundvorhaben darin, für die Ableitung der notwendigen Düngergabe und die Maßnahmen zur Bodenbearbeitung zusätzlich die Charakterisierung der **Bodenart** und damit verbunden die Klassifikation im Rahmen von Bodengruppen einzusetzen. Dieser Ansatz prägt maßgeblich den innovativen Kern des geplanten Verbundvorhabens. Die bodenphysikalische Größe Bodenart liefert notwendige Aussagen in Bezug auf die Festigkeit bzw. Bearbeitbarkeit der Böden, die Bildung von porösen Zwischenräumen innerhalb der dichten Packung der Partikel, die einen wesentlichen Einfluss auf die Speicherkapazität für Wasser und Luft ausüben, sowie auf das Adsorptionsvermögen bzw. über das Ausmaß von Austauschprozessen an der Oberfläche in Abhängigkeit von der Größenverteilung der Bodenmineralien. Die Analyse erfolgt gegenwärtig typischer Weise gravimetrisch im Labor. Dabei erfolgt nach Abtrennung der Sandpartikel mittels Siebung und der sich anschließenden Wägung eine weitere Auftrennung der Partikel nach ihrem hydrodynamischen Querschnitt mittels Sedimentationsanalyse. Dieses Verfahren ist personalaufwändig und kostenintensiv. Im Unterschied dazu wird im

geplanten Verbundvorhaben die Charakterisierung des Bodens mit Hilfe objektiv erhobener Messwerte vor Ort angestrebt. Der technologische Grundansatz besteht in der Untersuchung der Partikelgrößen mit Hilfe eines impedimetrischen Verfahrens. Dabei werden definierte Mengen der jeweiligen Bodenprobe mit einer Lösung genau bekannter Leitfähigkeit aufgeschlämmt, anschließend in einem Messvolumen mit bekannter Dicke fest zusammengepresst und dadurch das Extraktionsmittel bis auf verbleibende Reste in den Zwischenräumen zwischen den Partikeln entfernt. Zur Messung der Leitfähigkeit, resultierend aus der Restflüssigkeit in der Bodenprobe, dienen Elektrodensysteme, die einander gegenüberliegend in der Messkammerwandung integriert werden könnten. Nach Anlegung einer Wechselspannung niedriger Amplitude kann aus der entstehenden Stromantwort auf die Leitfähigkeit / den Widerstand der Matrix zwischen den Elektroden geschlossen werden. Da das Gesamtvolumen der Zwischenräume und damit des verbleibenden Elektrolytvolumens von der Packung der Partikel und diese wiederum von der Größe der Teilchen abhängt, kann bei Verwendung eines Elektrolyten definierter Leitfähigkeit auf eine mittlere Packungsdichte der Bodenprobe geschlossen werden. Darüber hinaus sollte bei den besonders kleinen Tonpartikeln aufgrund einer elektrostatischen Aufladung der Partikeloberfläche auch eine Frequenzabhängigkeit der Impedanz nachzuweisen sein. Eine mechanische oder fluidische Auftrennung der Körner in zwei oder drei weitere Partikelfractionen erlaubt voraussichtlich nach demselben impedimetrischen Messprinzip eine nähere Charakterisierung dieser Untergruppen und damit eine detaillierte Analyse der Verteilung der Partikeldurchmesser.

Die **Steuerung des gesamten Messablaufes** erfolgt über einen Microcontroller. In den Messablauf selbst bzw. im Übergang zwischen zwei Messungen müssen notwendige Kalibrierungs- und Reinigungsintervalle berücksichtigt werden, die sich sowohl in Messalgorithmen, bei der Datenverarbeitung als auch bei den Fehler Routinen niederschlagen. Dies ist notwendig, um eine möglichst lange Lebensdauer der Sensoren und eine hohe Aussagekraft des Systems gewährleisten zu können. Um möglichst kleine Proben sowie geringe Kalibrierungsflüssigkeiten zu benötigen, muss die Messeinheit des Geräts miniaturisiert und mit einem möglichst gering dimensionierten Schadraum und kurzen Analysewegen versehen werden. Das Handgerät selbst wird weitestgehend wartungsfrei konzipiert.

Die gemessenen Werte werden über ein Gerätedisplay visualisiert. Neben der Datenspeicherung im Gerät ist eine funkbasierte Datenübertragung an das weiter unten beschriebene Cubernetes-Cluster zu implementieren.

Entwicklungen auf der Software-Ebene

Der innovative Kern des geplanten Forschungsvorhabens besteht neben den weiter oben beschriebenen Hardwareentwicklungen aus der adressierten Softwareentwicklung für die Datenfusionierung und automatisierten Dateninterpretation. Thematisch ordnet sich das Verbundvorhaben damit final in den Bereich des **Smart Farming** ein. Dieses Konzept geht zunächst davon aus, dass auf einem hoch technologisierten Bauernhof vielfältige, in heterogener Form vorliegende, große Mengen an Daten anfallen. Dies betrifft Daten unterschiedlichster Quellen, zu denen neben selbst detektierten Messwerten auch frei zugängliche Daten gehören können, wie sie z.B. über Geoinformationssysteme, bereitgestellt durch die Europäische Union, zur Verfügung stehen.

Das zu entwickelnde **Entscheidungsunterstützungssystem** fokussiert primär die optimale Versorgung der PIWI-Reben mit organischen **Düngemitteln**. Weitere Empfehlungen sollen im Hinblick auf die **Bodenbearbeitung** und ggf. **Bewässerung** generiert werden. Als Datenbasis werden genutzt:

- **Messwerte, die mit dem mobil einsetzbaren Handmessgerät engmaschig erhoben werden**
- **Daten aus den stationär verorteten Temperatur-Feuchte-Messsonden**
- **Ergebnisse der diskontinuierlich durchgeführten Laboruntersuchungen zur biologischen Bodenaktivität**

Eine hohe **Bodenaktivität** gilt als Indikator für die Vielfalt einer funktionierenden Lebensgemeinschaft von Bodenorganismen und die Intensität des Stoffumsatzes im Boden. Ein gutes Recycling der Nährelemente, funktionierende Stoffkreisläufe und eine hohe Bodenfruchtbarkeit, aber auch die Toleranz gegenüber schädlichen Umwelteinflüssen sind in ihrer Gesamtheit Produkte einer stabilen Lebensgemeinschaft von Bodenorganismen. Charakteristisch ist ein nährstoffreiches Krümel- oder Wurmlösungsgefüge mit Ton-Humus-Komplexen, in denen mineralische und organische Bodenbestandteile gemischt sind. Dies wirkt sich positiv auf verschiedene Bodeneigenschaften wie Nährstoffversorgung, Bodenfruchtbarkeit, Durchlüftung und Wasserhaushalt aus. Die Bodenaktivität wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst. Eine wesentliche Rolle spielen dabei u.a. Bodenart. Genau deshalb ist die Bestimmung der Bodenart mit dem oben beschriebenen Handgerät auch in diesem Kontext von hoher Bedeutung. Auch zwischen der Bodenaktivität und dem pH-Wert bestehen unmittelbare Korrelationen. Die besonders stoffwechselaktiven Mikroorganismen reagieren überwiegend säureempfindlich und meiden dementsprechend saure Böden. Deshalb werden hier Laboruntersuchungen als dritte der oben genannten Datenquellen genutzt, die mit den anderen erhobenen Messwerten korreliert werden.

Inwieweit zusätzlich die Integration von frei verfügbaren Geodaten sinnvoll ist, wird im Projektverlauf zu beantworten sein.

Alle Daten werden miteinander verknüpft und in Bezug auf bestehende Korrelationen bewertet, um final automatisiert Handlungsempfehlungen in Bezug auf die oben genannten Fragestellungen abzuleiten. Der vorgesehene Lösungsansatz besteht darin, ein Cubernetes-Cluster aufzubauen. Diese Open Source-Plattform erlaubt eine Container-Orchestrierung, auf der verteilte Anwendungen und Services in großem Umfang ausgeführt werden können. Mit Hilfe dieser Technologie sollen die dezentral entstehenden Mess- und Auswertungsdaten gesammelt, fusioniert, aufbereitet und den Anwendern zur Verfügung gestellt werden. Unterstützt werden kann auch ein automatisierter Abgleich von neuen Messwerten mit bereits gespeicherten Daten, um sehr schnell und valide Aussagen zur Nährstoffverfügbarkeit und zum ressourcenschonenden Einsatz von Düngemitteln als Momentaufnahme und als Trenderaussage zu erzeugen. Neben der Übermittlung nutzerspezifischer Informationen ist es möglich, je größer die Anzahl eingebundener Daten wird, die zusammengeführt und ausgewertet wird, diese in anonymisierter Form auch wissenschaftlichen Anwendern zur Verfügung zu stellen.

Aus Sicht der Kommunikationslösung sind die nachfolgend genannten Anforderungen softwareseitig umzusetzen:

- **Mandantenfähigkeit**
- **Verwaltung von Zugriffsberechtigungen mit unterschiedlichen Rechte-Ebenen**
- **Skalierbarkeit**
- **Protokolle und Security gemäß Industriestandards oder höher**
- **Modularität**
- **Hosted in Europe/Germany**
- **Mehrsprachigkeit**

Der embedded Rechner des zu entwickelnden mobil einsetzbaren Gerätes kann über eine Standard-Netzwerkverbindung (TCP-IP) mit dem Cubernetes-Cluster verbunden werden und dadurch die Messergebnisse in einem Upload-Prozess übertragen. Dabei ist ein System zu implementieren, das die **Messwertzuordnung** zeitlich und örtlich **rückverfolgbar** macht. In Bezug auf das Handmessgerät können hierfür neben dem Zeitstempel bei Auslösung eines Messvorganges auch die GPS-Daten zur Verortung genutzt werden. Im Cubernetes-Cluster werden die Messwerte gespeichert, analysiert und in Form von standardisierten Auswertungen zum Abruf bereitgestellt. Die Analyseergebnisse können in - komprimierter Form als Push-Nachrichten an mobile Endgeräte zurückgegeben werden oder über eine zertifizierte SSL-Verbindung von einem beliebigen Rechner aus - nach Eingabe der entsprechenden Zugangsdaten abgerufen werden.

Die Implementierung des Gesamtsystems umfasst jeweils als eigenständige virtuelle Maschinen:

- **Webserver (Apache o.ä.)**
- **Databaseserver (MySQL, MariaDB, oder postgres)**
- **Application-Server (Datensynchronisation, Protokolle, Analyse, Mustererkennung, etc.)**

Der Einsatz von **Methoden** des **Machine learning** unterstützt eine automatisierte Erkennung von Interventionserfordernissen in Bezug auf Düngung, Bodenbearbeitung und ggf. Bewässerung. Die Qualität nimmt dabei naturgemäß mit der Zahl der zur Verfügung stehenden Datensätze zu und ist insofern erst nach längerer Betriebsdauer auf einem sehr hohen Niveau möglich. Bis dahin werden Methoden des Supervised learning zum Einsatz gelangen. Es wird demgemäß in dieser Phase mit ergänzendem Input von Experten gearbeitet.

In mehreren Stufen werden die erfassten Daten bzw. Informationen zusammengeführt, in ihre für den Zweck erforderlichen Bestandteile zerlegt und anschließend mit verschiedenen Verfahren kategorisiert. Die Resultate und Zwischenergebnisse werden auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen visualisiert. Hierbei ist der Beseitigung interpretationseinschränkender Artefakte besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Als Verfahren kommen klassische Segmentierungs- und Schwellwertverfahren, statistische Verfahren, vor allem aber innovative Methoden aus dem Bereich des Maschinellen Lernens (Support Vektor Machines, Hidden Markov Model und weitere) zum Einsatz, die im Bereich der Signalverarbeitung verstärkt eingesetzt werden.

Wie bereits erwähnt, soll im Projektverlauf geprüft werden, inwieweit eine Integration von Geo- bzw. Wetterdaten sinnvoll erscheint. Hieraus ließen sich verschiedene Vorhersagen für den Bestand ableiten. Werden diese Daten z. B. mit der Windgeschwindigkeit (online verfügbar vom Wetterdienst) kombiniert, so lässt sich z. B. der Zuflug von bestimmten Insekten oder die Verbreitung von Pilzkrankheiten gut prognostizieren. Auch die Gestaltung des optimalen Bewässerungsmanagements und die Bestimmung eines optimalen Erntezeitpunktes könnte auf diese Weise zusätzlich unterstützt werden.