



„Entwicklung von Geräten mit Sensorik zur schnellen, nicht invasiven Analyse des Versorgungszustandes von Pflanzen“

Abschlussbericht

gefördert unter dem Az.: 35500/89 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU)
Green Start-up Programm

Thomas Berberich und Daniel Weber

Phytoprove Pflanzenanalytik UG

Projektbeginn 06.08.2020

Laufzeit 24 Monate

Frankfurt am Main, Oktober 2022

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	35500/89	Referat	34/0	Fördersumme	97.250,00 €
----	-----------------	---------	-------------	-------------	--------------------

Antragstitel **Entwicklung von Geräten mit Sensorik zur schnellen, nicht invasiven Analyse des Versorgungszustandes von Pflanzen**

Stichworte Bedarfsgerechtes Düngen, Photosynthese, Optoelektronik, Sensorik

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
24 Monate	06.08.2020	05.08.2022	1

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger	Phytoprove Pflanzenanalytik UG (haftungsbeschränkt) Georg-Voigt-Starße 14 60325 Frankfurt am Main	Tel	069 75421843
		Fax	
		Projektleitung	Dr. Thomas Berberich
		Bearbeiter	

Kooperationspartner Agrathaer GmbH, Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg
 Circle Kommunikation GmbH, Hasengasse 5-7, 60311 Frankfurt am Main
 TU Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, Hochschulstr. 4a, 64289 Darmstadt
 Studio Wagner: Design, Adam-Opel-Strasse 16-18, 60386 Frankfurt am Main

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Düngemittel und Wasser werden im Pflanzenbau meist nicht bedarfsgerecht ausgebracht, was zur Fehlversorgung der Pflanzen und zu Umweltproblemen durch Überdüngung der Böden mit Gewässer- und Grundwasserbelastung führt und die menschliche Gesundheit gefährdet. Der Stickstoffkreislauf, insbesondere der Stickstoffeintrag in die Umwelt, stellt neben dem Verlust genetischer Vielfalt das größte Problem beim Überschreiten der planetaren Belastbarkeitsgrenzen dar. Auf Grundlage einer neuartigen Messmethode, die auf der Analyse von Änderungen des Photosynthese-Prozesses von Pflanzen beruht, werden innovative, mobile Messgeräte zur schnellen, nicht-invasiven Bestimmung von Stickstoff-Düngestatus und Wasserversorgung von Pflanzen entwickelt. Die Anwendung ermöglicht 1) Einsparung von Ressourcen (Dünger, Wasser) und Kostensenkung, 2) höhere Erträge durch optimierte Versorgung, 3) Verringerung der Umweltbelastung durch Nitrat, 4) Vermeidung nitratbelasteter Lebensmittel. Handmessgeräte sollen bis zur Marktreife geführt und die Anwendung für den Einsatz an Landmaschinen weiterentwickelt werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Ausgehend von einem Labormuster (Technologischer Reifegrad 4) inklusive App wurde während der Projektlaufzeit in Zusammenarbeit mit dem Design-Studio Wagner (Frankfurt am Main) sowie dem Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung der TU-Darmstadt das Produktdesign (Gehäuse und Hardware) für die Handmessgeräte entwickelt und in ein Funktionsmuster umgesetzt. In einer Erprobungsphase bei Pilotkunden wurde die Stickstoff-Düngestatusbestimmung für den Einsatz in relevanter Einsatzumgebung erfolgreich im Gemüsebau getestet (TRL 6). Basierend auf den Erkenntnissen dieser Tests wurde die Elektronik und Firmware weiter optimiert und eine Software zur Kalibrierung der Handmessgeräte programmiert.

Ergebnisse und Diskussion

Im 24-monatigen Förderzeitraum von Anfang August 2020 bis Ende August 2022 wurde ausgehend vom Technologiereifegrad 4 (Labormuster) die Elektronik und Sensorik des Handmessgerätes zur schnellen, nicht-destruktiven Messung des Stickstoff-Versorgungszustands von Pflanzen bis zum Technologie-

reifegrad 6 (Prototyp) entwickelt und erfolgreich sowohl unter definierten Bedingungen in Klimakammern als auch in relevanter Umgebung im Gemüseanbau an Pflanzen getestet. Die Ergebnisse zeigen, dass i) die Messung der Stickstoffversorgung der Pflanzen mit unserem Handgerät zuverlässig ist, da die Werte den zugegebenen Düngermengen entsprechen, und ii) die Methode spezifisch für die Stickstoffversorgung ist, da Pflanzen, die mit stickstofffreiem Medium versorgt wurden, ähnliche Werte aufwiesen wie Pflanzen, die ohne Dünger bewässert wurden, während phosphatfreies Medium ähnliche Werte wie Vollmedium ergab. Auch an Pflanzen, die unter Anbaubedingungen wuchsen, konnte die Stickstoffversorgung bestimmt werden. Bereits im frühen Wachstumsstadium Pflanzen konnten Pflanzen mit geringer Stickstoffversorgung identifiziert werden, obwohl sich die Unterversorgung noch nicht sichtbar manifestierte. Auf dieser Basis kann durch gezielte, dem Bedarf entsprechende Düngergaben die Unterversorgung rechtzeitig wieder ausgeglichen werden.

Aufgrund der in den letzten Jahren zunehmenden Dürreperioden und der damit verbundenen negativen Auswirkungen auf die Landwirtschaft, speziell der verhinderten Aufnahmefähigkeit von Dünger bei Pflanzen, haben wir uns dazu entschlossen, den Messkopf unseres Handgerätes um einen weiteren optoelektronischen Sensor zu erweitern. Dadurch lässt sich die vom Chlorophyll emittierte Fluoreszenz aufzeichnen, ein zweites Messverfahren, das parallel zur Düngestatusbestimmung die zeitsynchrone Messung des Wasserstatus, der Leistungsfähigkeit und der Vitalität der Pflanze ermöglicht. Somit kann mit nur einem Messvorgang sowohl der Dünge- als auch Wasserbedarf der Pflanzen bestimmt werden, sodass bedarfsgerecht gedüngt und bewässert werden kann. Die Elektronik und Firmware wurde entsprechend weiter optimiert und eine Software zur Kalibrierung der Handgeräte programmiert.

Die technische Ausstattung, das Layout und Design des Handgerätes wurde durch unsere Partner Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung der TU-Darmstadt und den Industriedesigner Studio Wagner:Design entwickelt und verwirklicht.

In Zusammenarbeit mit der Firma Circle Kommunikation wurde der Produktname *yield-e* entwickelt und als Wortbildmarke beim Deutschen Patent- und Markenamt eingetragen (302022200656). Entsprechend wurden die Namen *yield-e pro*, *yield-e sens* und *yield-e motion* für die geplanten Produkte gewählt.

Das internationale Patent für unser Messverfahren zur Bestimmung der Stickstoffversorgung von Pflanzen (Patent Nummer: WO2020253915) wurde durch unseren Patentanwalt Dr. Langfinger & Partner (Frankfurt am Main) eingereicht. Die europäische Phase wurde im März 2021 eingeleitet.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Firmen- und Produktvideo wurde im März 2021 produziert und die Phytoprove-Webseite mit neuem Design angelegt (www.phytoprove.com). Nach zahlreichen Präsentationen und Auszeichnungen wurde Phytoprove von der Gründerinitiative „Passion for Business“ in die Top 50 Start-ups 2020 aufgenommen. Mit Platz 13 im Gesamt-Ranking war Phytoprove das am besten ausgezeichnete Agrartechnologie-Unternehmen. Phytoprove erreichte im Mai 2022 bei „Kick-Start Green Innovations“ der Landeskampagne Start-up BW des Landes Baden-Württemberg unter 25 von einer Jury aus 80 Bewerbungen zur Teilnahme ausgewählten Gründerteams als „Green Innovator 2022“ den öffentlichkeitswirksamen 3. Platz.

Fazit

Durch die finanzielle Unterstützung durch das DBU – Green Start-Up Sonderprogramm konnte die Weiterentwicklung der *yield-e* Handgeräte für die nicht-destruktive Analyse des Versorgungszustandes von Pflanzen sowie die weitere Firmenentwicklung von Phytoprove entscheidend vorangebracht werden. Das bestehende Netzwerk an Partnern, die Phytoprove in der Entwicklung und Umsetzung der Prototypen unterstützen, wurde während der Projektlaufzeit um wichtige Kooperations- und Geschäftspartner erweitert.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt	Seite 1
Zusammenfassung	Seite 3
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens	Seite 4
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden	Seite 4
Ergebnisse und Diskussion	Seite 5
Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation	Seite 10
Fazit	Seite 11

Zusammenfassung:

Phytoprove entwickelt auf der Basis eigener Forschungsergebnisse aus der Pflanzenphysiologie Messgeräte zur schnellen, nicht-destruktiven Erfassung des Düngeszustands von Pflanzen mit dem Ziel, bedarfsgerechtes Düngen zu ermöglichen, um damit die Überdüngung von Böden zu verhindern und gleichzeitig den Nutzern eine Kostensenkung über Einsparungen beim Düngerverbrauch zu ermöglichen. Während der Projektlaufzeit konnte ein bestehendes Labormuster (Technologie Reifegrad 4, TRL 4) in Zusammenarbeit mit dem Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung der TU-Darmstadt, dem Elektronikentwickler Freaktronic sowie dem Industriedesigner Studio:Wagner zu einem bei Modellkunden getesteten Prototyp (TRL 6) weiterentwickelt werden. Der Produktname *yield-e* wurde gemeinsam mit der Agentur Circle Kommunikation entwickelt und als Wortbildmarke beim Deutschen Patent- und Markenamt eingetragen (30 2022 200 656). Zur Präsentation von Phytoprove wurde ein Firmen- und Produktvideo produziert, das im Zuge der Neugestaltung der Firmenwebseite integriert wurde. 2020 nahm Phytoprove am AgTech Accelerator Growth Alliance der Landwirtschaftlichen Rentenbank teil und belegte Platz 13 in der Liste der Top 50 Start-ups Deutschlands und damit Platz 1 im AgTech-Bereich. Phytoprove belegte den 3. Platz bei *Kick-Start Green Innovations 2022* des Landes Baden-Württemberg. Im September 2022 erhielt Phytoprove eine Förderzusage für *push! Hessen*, das Stipendium des Landes Hessen, um Start-ups mit nachhaltigen Produkten zu fördern. Phytoprove konnte sein Netzwerk um wichtige Kooperationspartner zur Weiterentwicklung seiner *yield-e* Messtechnologie erweitern.

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Düngemittel und Wasser werden im Pflanzenbau meist nicht bedarfsgerecht ausgebracht, was zur Fehlversorgung der Pflanzen und zu Umweltproblemen durch Überdüngung der Böden mit Gewässer- und Grundwasserbelastung führt und die menschliche Gesundheit gefährdet. Der Stickstoffkreislauf, insbesondere der Stickstoffeintrag in die Umwelt, stellt neben dem Verlust genetischer Vielfalt das größte Problem beim Überschreiten der planetaren Belastbarkeitsgrenzen dar (Abb. 1). Auf Grundlage einer neuartigen Messmethode, die auf der Analyse von Änderungen des Photosynthese-Prozesses von Pflanzen beruht, werden innovative Messgeräte zur schnellen, nicht-invasiven Bestimmung von Stickstoff-Düngestatus und Wasser-versorgung von Pflanzen

entwickelt. Die Anwendung ermöglicht 1) Einsparung von Ressourcen (Dünger, Wasser) und Kostensenkung, 2) höhere Erträge durch optimierte Versorgung, 3) Verringerung der Umweltbelastung durch Nitrat, 4) Vermeidung nitratbelasteter Lebensmittel. Handmessgeräte sollen bis zur Marktreife geführt und die Anwendung für den Einsatz an Landmaschinen weiterentwickelt werden.

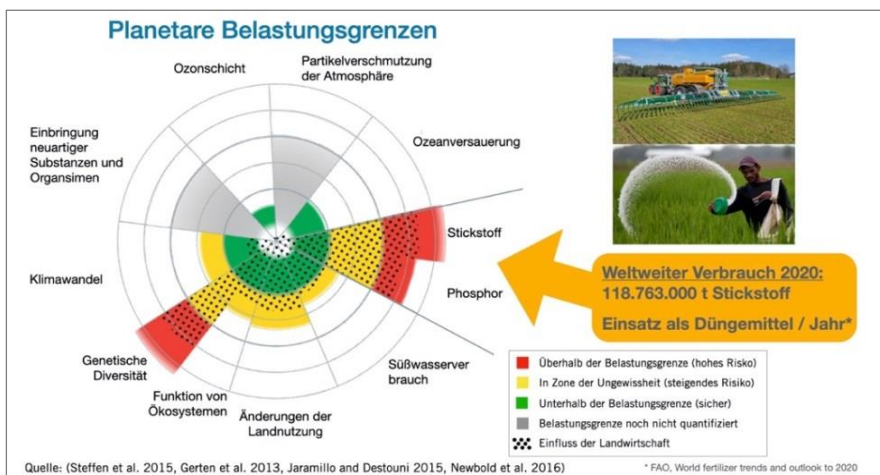


Abb. 1: Planetare Belastungsgrenzen und deren aktuelle Überschreitung

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Ein Machbarkeitsnachweis (proof-of-concept, TRL 3) wurde früh durch Forschungsarbeiten der Gründer mit wissenschaftlichen Laborgeräten erbracht. Basierend auf diesem Nachweis wurde bereits vor Beginn der Projektförderung durch die DBU ein erstes Labormuster (Technologischer Reifegrad 4) inklusive App als Auftragsarbeit durch das Ingenieurbüro Krieger MIS (Groß-Zimmern) entwickelt.

Während der Projektlaufzeit wurde in Zusammenarbeit mit dem Design-Studio Wagner (Frankfurt am Main) sowie dem Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung der TU-Darmstadt das Produktdesign (Gehäuse und Hardware) für die Handmessgeräte entwickelt und in ein Funktionsmuster umgesetzt. In einer Erprobungsphase wurde die Stickstoff-Düngestatusbestimmung erster Funktionsmuster bei unserem Pilotkunden DieKooperative Frankfurt für den Einsatz in relevanter Einsatzumgebung erfolgreich im Gemüsebau getestet (TRL 6). Basierend auf den Erkenntnissen dieser Erprobungsphase hat das mit dem Fachgebiet Adaptive Lichttechnische Systeme assoziierte Unternehmen Freaktronic die Elektronik und Firmware weiter optimiert und eine Software zur Kalibrierung der Handgeräte programmiert.

Neben der Weiterentwicklung von Hard- und Software für unser erstes Produkt wurde ein passender Produktname in Zusammenarbeit mit der Firma Circle Kommunikation entwickelt. Der Produktname *yield-e* wurde als Wortbildmarke beim Deutschen Patent- und Markenamt eingetragen (30 2022 200 656). Entsprechend wurden die Namen *yield-e pro*, *yield-e sens* und *yield-e motion* für die geplanten Produkte gewählt (siehe Abbildung 10). Zur Aktualisierung und Erweiterung der Phytoprove-Webseite wurde ein Firmen- und Produktvideo produziert, das in Teilen auch zur Einreichung des Vorantrags beim EIC Accelerator-Programm der EU verwendet wurde. Ausgehend vom Prototyp (TRL 6) wird nun gemeinsam mit Kooperationspartnern und

Pilotkunden (siehe Liste) in mehreren Schritten das Serienprodukt yield-e pro entwickelt (TRL 9) und mit den Kooperationspartnern Circle Kommunikation und Agrathaer eine Markteintrittsstrategie entwickelt und umgesetzt. Die Markteinführung der Handgeräte yield-e pro ist für das dritte Quartal 2024 geplant. Basierend auf der Handgerätektechnik wird das Produktportfolio für weitere Anwendungsgebiete erweitert (siehe Abbildung 10).

Liste der Partner und Pilotkunden:

- Senckenberg Biodiversität und Klima Forschungszentrum, Georg-Voigt-Str. 14-16, 60325 Frankfurt
- Agrathaer GmbH, Eberswalder Straße 84, 15374 Müncheberg
- Circle Kommunikation GmbH, Hasengasse 5-7, 60311 Frankfurt am Main
- TU Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, Hochschulstr. 4a, 64289 Darmstadt
- Freaktronic, Hösbacher Weg 52, 63773 Goldbach
- CORAmaps GmbH, Am Kavalleriesand 5, 64295 Darmstadt
- Studio Wagner: Design, Adam-Opel-Strasse 16-18, 60386 Frankfurt am Main
- Best-SH, Digitales Experimentierfeld, Grüner Kamp 11, 24783 Osterrönfeld
- LIKA GmbH, Axenbach 2, 84431 Heldenstein
- Holzwart GbR, Erzstrasse 29, 89522 Heidenheim-Oggenhausen
- Die Kooperative eG, Im Bäregarten 5, 60599 Frankfurt am Main
- Delmas Fresh Herbs, Olifantsfontein Farm 196, Delmas, Mpumalanga, 2200, Südafrika
- Arianetech Pte. Ltd., 102E, Pasir Panjang Road, #08-02, Citilink, Singapore 118529
- Kalender Flowers Gaziler Mah. 240.Sokak 13/A, Kepez, Antalya, Türkei

Zur Entwicklung bis zur Markteinführung sind weitere Finanzierungsschritte notwendig. Hierfür hat Phytoprove beim European Innovation Council (EIC) Accelerator-Programm, dem KMU-Instrument der EU zur Unterstützung hoch-innovativer Innovationsprojekte, einen Förderantrag eingereicht. Nach erfolgreicher Begutachtung und exzellenter Bewertung des Vollantrags erhielt Phytoprove bereits das Seal-of-Excellence der Europäischen Kommission für besonders förderungswürdige Unternehmen. Zum Jahresbeginn 2023 wird über unseren Antrag zur Förderung endgültig entschieden werden, nachdem wir im Oktober 2022 eine veränderte Version des Vollantrags eingereicht hatten, der statt unter der Förderlinie „Blended Grant and Investment“ nunmehr unter der passenderen Förderlinie „Grant First“ läuft. Gleichzeitig wird bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank über das Förderprogramm für agrarnahe Start-Ups ein Nachrangdarlehen beantragt.

Ergebnisse und Diskussion

Entwicklungsstand der Handgeräte

Bereits vor Beginn der Projektförderung durch die DBU wurde ein erstes Labormuster (Technologischer Reifegrad 4) für ein Handgerät zur nichtdestruktiven Analyse des Düngezustandes von Pflanzen inklusive App in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Krieger MIS (Groß-Zimmern) entwickelt. Dieses Labormuster wurde zu Beginn der Projektlaufzeit bei unserem Modellkunden Die Kooperative getestet (Abbildung 2).



Abb. 2: Labormuster im Einsatz bei einem Pilotkunden und technischer Aufbau mit App.

Industriedesigner des Studio Wagner:Design haben von September 2020 bis Februar 2021 das Produktdesign der Handgeräte entwickelt. Bei der Entwicklung der Gehäuseform standen ergonomische Gesichtspunkte im Vordergrund (Abbildung 3). Die Gehäuseausstattung wurde auf Langlebigkeit und die Verwendung energiesparender Komponenten ausgelegt. Die CAD-Dateien werden dazu genutzt, um Gehäuseprototypen im 3D-Druckverfahren herzustellen. Der Geschmacksmusterschutz für die Form der Geräte wurde beim „Amt der Europäischen Union für geistiges Eigentum“ (EUIPO) im März 2021 eingetragen (Register Nr. 008478648-0001).

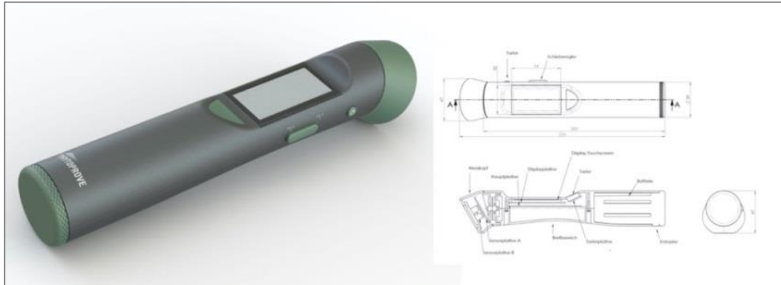


Abb. 3: Visualisierung und Konstruktionszeichnung des Handgeräts yield-e pro.

Die Hardware wurde ausgehend vom Labormuster (TRL 4) durch unseren Partner, der Arbeitsgruppe Prof. Khanh (TU Darmstadt) zu einem Funktionsmuster (TRL 5) weiterentwickelt. Ein energiesparendes E-Ink-Display zur direkten Anzeige der Messresultate am Gerät wurde in das optimierte Design implementiert. Die Funktionsmuster der Handgeräte wurden in den Klimakammern des Senckenberg BiK-F unter definierten Bedingungen (Abb. 4) sowie bei unserem Pilotkunden DieKooperative unter relevanten Nutzungsbedingungen (Abb. 5) getestet.

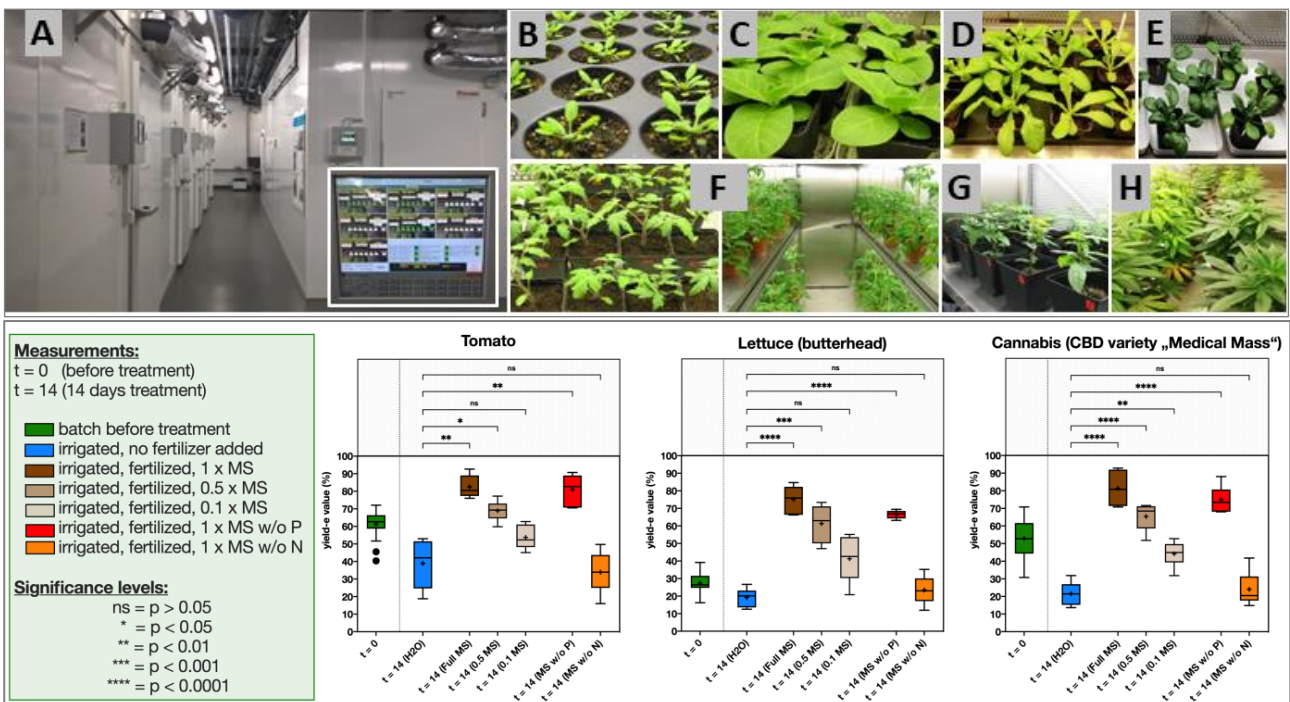


Abb. 4: Test der yield-e Funktionsmuster in Klimakammern. A) Blick auf die Klimakammern und die Steuereinheit. B) Modellpflanze Acker-Schmalwand, C) Tabak, D) Salat, E) Spinat, F) Tomatenpflanzen im Jungstadium und kurz vor der Blüte, G) Süßkartoffelpflanzen und H) Cannabispflanzen. Die Ergebnisse der Gerätetests werden als Diagramme (Box-Plots) einschließlich Statistik dargestellt. Tomate, Kopfsalat und Cannabis als Beispiele.

Die obigen Ergebnisse aus Abbildung 4 zeigen, dass i) die Messung der Stickstoff-versorgung der Pflanzen mit unserem *yield-e*-Handgerät zuverlässig ist, da die Werte den zugegebenen Düngermengen entsprechen, und ii) die Methode spezifisch für die Stickstoffversorgung ist, da Pflanzen, die mit stickstofffreiem Medium versorgt wurden, ähnliche Werte aufwiesen wie Pflanzen, die ohne Dünger bewässert wurden, während phosphatfreies Medium ähnliche Werte wie Vollmedium ergab.

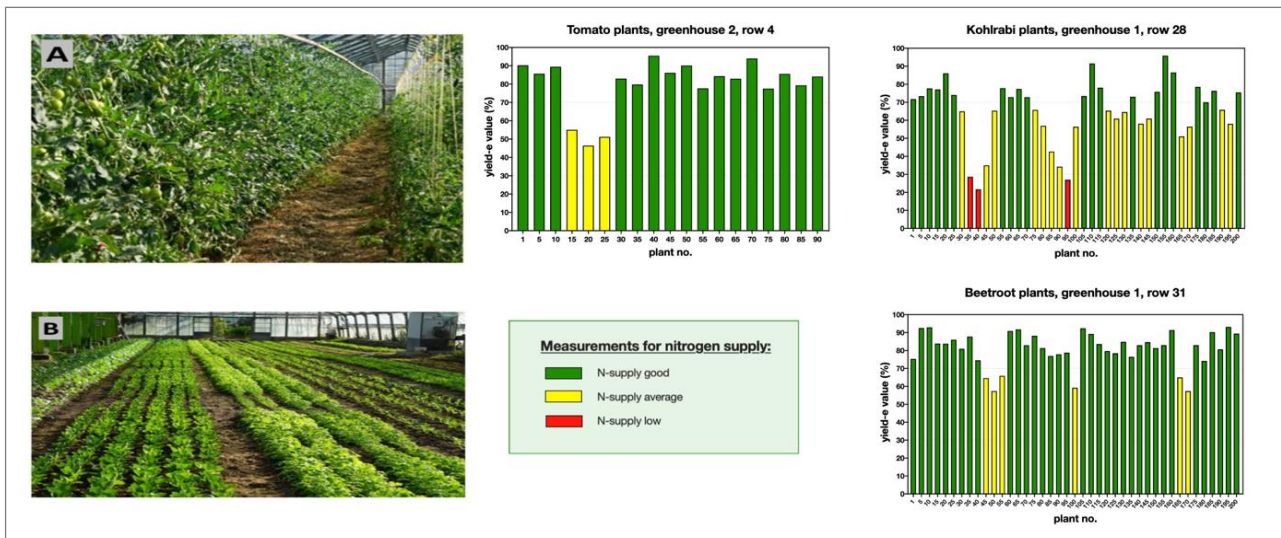


Abb. 5: Messreihen mit dem *yield-e* Funktionsmuster an Tomaten (A), Kohlrabi und Rote Bete (B) im Gewächshaus des Pilotkunden Die Kooperative.

Auch an Pflanzen, die unter Anbaubedingungen wuchsen, konnte die Stickstoffversorgung bestimmt werden (Abbildung 5). Einige Pflanzen in den gemessenen Reihen wiesen eine schlechtere Versorgung auf als andere. So können bereits im frühen Wachstumsstadium Pflanzen mit geringer Stickstoffversorgung identifiziert werden, obwohl sich die Unterversorgung noch nicht sichtbar manifestiert. Auf dieser Basis kann durch gezielte, dem Bedarf entsprechende Düngergaben die Unterversorgung rechtzeitig wieder ausgeglichen werden.

Die Versuche an Nutzpflanzen sowohl in Klimakammern unter kontrollierten Bedingungen als auch im realen Gemüseanbau zeigen, dass wir mit unserem aktuellen *yield-e pro*-Prototyp den Technologie-Reifegrad 6 (Technology Readiness Level 6, TRL6) gemäß der Definition der Europäischen Union (Technologie in relevanter Umgebung demonstriert) erreicht haben.

In zukünftigen Versuchen mit steigenden Düngergaben in Kulturen (Weizen, Raps, Kohl) auf den digitalen Versuchsfeldern der Fachhochschule Kiel sollen die *yield-e*-Messungen auf parallel durch Laboranalysen ermittelte Werte des Stickstoffgehaltes von Blatt- und Bodenproben bezogen werden. Mit den Ergebnissen sollen für *yield-e* Schwellenwerte für eine ausreichende Stickstoffversorgung und eine Unterversorgung definiert werden.

Aufgrund der in den letzten Jahren zunehmenden Dürreperioden und der damit verbundenen negativen Auswirkungen auf die Landwirtschaft, speziell der verhinderten Aufnahmefähigkeit von Dünger bei Pflanzen, haben wir uns dazu entschlossen, den Messkopf unseres *yield-e pro* um einen weiteren optoelektronischen Sensor zu erweitern. Dadurch lässt sich die vom Chlorophyll emittierte Fluoreszenz aufzeichnen, ein zweites Messverfahren, das parallel zur Düngestatusbestimmung die zeitsynchrone Messung des Wasserstatus, der Leistungsfähigkeit und der Vitalität der Pflanze ermöglicht. Somit kann dann mit nur einem Messvorgang mit *yield-e pro* sowohl der Dünge- als auch Wasserbedarf der Pflanzen bestimmt werden, sodass bedarfsgerecht gedüngt und bewässert werden kann. Das mit dem Fachgebiet Adaptive

Lichttechnische Systeme assoziierte Unternehmen Freaktronic hat die Elektronik und Firmware entsprechend weiter optimiert und eine Software zur Kalibrierung der Handgeräte programmiert (siehe Abbildung 6).



Abb. 6: Technische Entwicklungsstufen des Funktionsmusters und des Gehäuses.

Insgesamt hat sich die Hardwareentwicklung durch die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie verzögert. Die von uns verwendeten modernen integrierten ARM-Schaltkreise „STM32F4“ (Elektronik-Chips) sind aktuell der Industriestandard für eine Vielzahl von Anwendungen und waren auf dem Markt vergriffen, bzw. nur in großer Stückzahl von mehr als 1000 zu erhalten. Nach einer Wartezeit von drei Monaten konnten dennoch 20 Exemplare erworben werden, jedoch zum Vierfachen des üblichen Preises.

Weiterentwicklung der Geräte

Während der Entwicklungsarbeit der Messtechnik hat sich gezeigt, dass der nächste logische Schritt die Entwicklung stationär installierbarer Sensoren und für den Einsatz in Robotersystemen sein wird. Solche Sensoren können vor allem in kontrollierten und automatisierten Anbauumgebungen eingesetzt werden (Gewächshäuser, Vertical Farming, Indoor Farming, Urban Farming). Für den Einsatz in Vertical Farming Systemen konnte mit dem auf Komplettlösungen für vertikale Anbausysteme spezialisierten Unternehmen Arianetech Pte. Ltd. (Singapur) bereits ein kompetenter Partner gewonnen werden. Gemeinsam mit diesem Partner und den Ingenieuren des Fachgebiets für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung der TU Darmstadt (Prof. Khanh) wird die yield-e Messtechnik für den Einbau in Roboterarme angepasst.

Der Beginn der technischen Weiterentwicklung zur Anwendung an Traktoren und Drohnen war ursprünglich innerhalb des Förderzeitraums durch das DBU Green Start-up Programm geplant. Durch Verzögerungen der Arbeiten an der Entwicklung von yield-e pro, vorwiegend pandemiebedingt, konnten wir jedoch nicht mit den Arbeiten zu yield-e motion, der Sensorik für Traktoren und Drohnen, beginnen. Aus diesem Grund wird angestrebt, diese Entwicklungsarbeiten im Rahmen einer weiteren Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt im Rahmen des Förderthemas 9, Reduktion von Emissionen reaktiver Stickstoffverbindungen in die Umweltkompartimente, umzusetzen, hierfür wurde bereits gemeinsam mit den Partnern der TU

Darmstadt, Prof. Khanh, und der Firma CORAMaps eine Projektskizze eingereicht. Über die Zusammenarbeit soll zum einen die yield-e Sensorik weiterentwickelt werden, zum anderen auch die Software zur Nutzung der yield-e Messdaten zur Erstellung von Applikationskarten und zur Steuerung von Düngerausgabegeräten (siehe Abbildung 7).

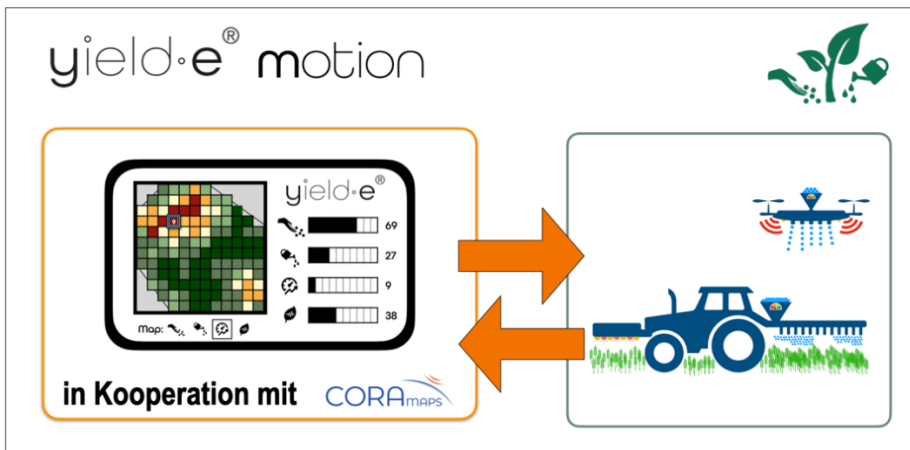


Abb. 7: Schematische Darstellung der Weiterentwicklung der yield-e Messtechnik für bewegliche Landmaschinen, yield-e motion, zur Steuerung von Düngerausgabegeräten und zur Erstellung von Applikationskarten für bedarfsgerechtes Düngen.

Entwicklung des Produkt- / Markennamens

Zusammen mit der Firma Circle Kommunikation (ehemals SSW) wurde der Produktname für die Messgeräte im Frühjahr 2021 entwickelt. Die Produkte von Phytoprove werden künftig unter dem **Markennamen yield-e** angeboten werden, die entsprechenden Internet-Domänen wurden angemeldet (yield-e.com; .de; .eu). Das Handmessgerät für professionelle Anwender wird *yield-e pro* heißen (B2B). Die einfachere Version für Privatanwender (B2C), *yield-e home*, wird keine Chlorophyll-Fluoreszenz-Sensorik enthalten und auch entsprechend eine weniger umfangreiche App. Produkte für die Anwendung an Roboterarmen und fest installierbaren Sensoren (beispielsweise für automatisierte Indoor-Anbausysteme / Vertical Farming) werden als *yield-e sens* entwickelt. Die yield-e Produktpalette wird wie geplant um Sensorik für bewegliche Landmaschinentechnik erweitert (*yield-e motion*). Das geplante Produkt-Portfolio ist in Abbildung 8 dargestellt.

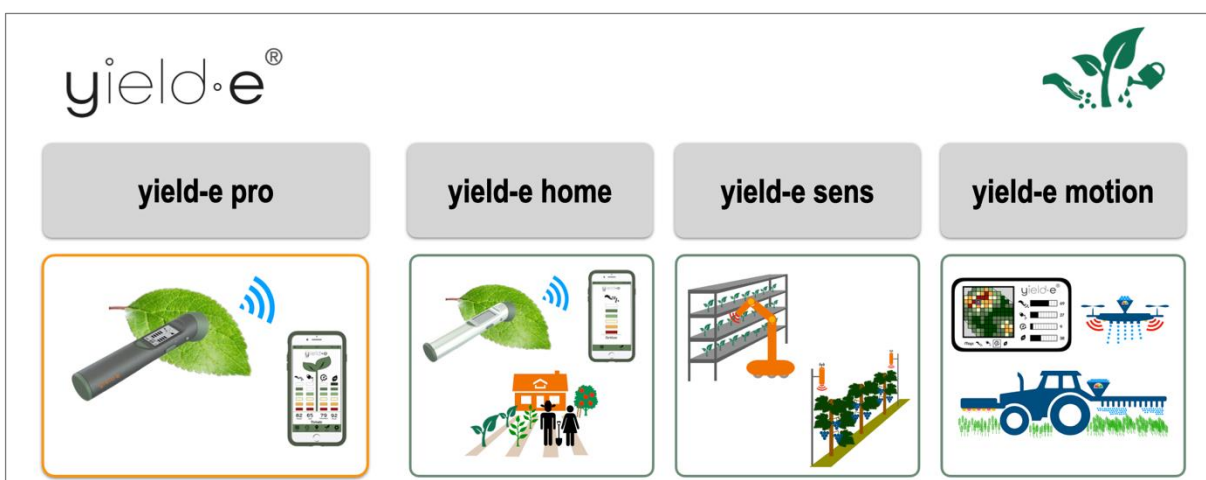


Abb. 8: Das yield-e Produktportfolio von Phytoprove.

Produktvideo und Webseite

Gemeinsam mit Circle Kommunikation wurde ein Konzept für ein modular aufgebautes Produkt- / Firmenvideo entwickelt und im Frühjahr 2021 durch den Videoproduzenten Leon Spanier verwirklicht. Dieses Video wird künftig zu Werbezwecken eingesetzt. Eine abgewandelte Version dieses Videos wurde bereits für die Antragstellung beim European Innovation Council Accelerator genutzt.

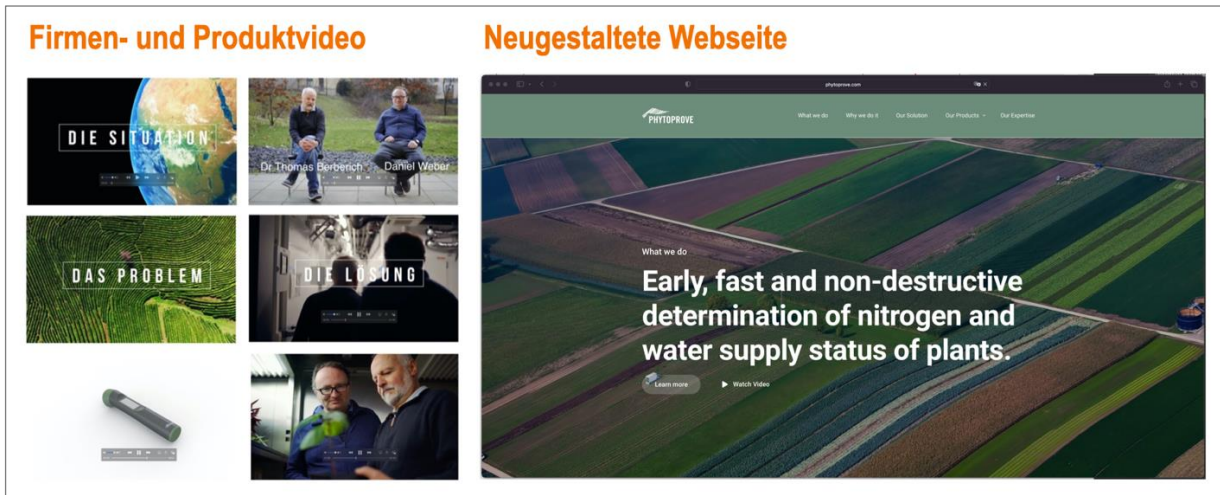


Abb. 9: Screenshots des Produktvideos und der neugestalteten Firmenwebseite.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Phytoprove wurde zur Teilnahme am „Growth Alliance, AgTech and FoodTech Accelerator“ (28.-30. September 2020 in Frankfurt am Main) der Landwirtschaftlichen Rentenbank und des StartUp-Netzwerks TechQuartier eingeladen. Aus der Teilnahme resultierten neue Kooperationen zur Erprobung der Messgeräte und zur Internationalisierung, wie mit dem digitalen Experimentierfeld BeSt-SH des Forschungs- und Entwicklungszentrums der Fachhochschule Kiel, der Wirtschaftsförderung Süd-Australien, mit den AgTech-Demonstrationsfarmen des South Australian Research and Development Institute – SARDI in Adelaide und CORAmaps, eine auf Fernerkundung, maschinelles Lernen, bildgebendes Radar und Geodäsie für die fernerkundliche Bewertung landwirtschaftlicher Flächen spezialisierte Ausgründung der TU-Darmstadt. Gemeinsam mit diesem Unternehmen sollen flächenspezifische Kartenlösungen entwickelt werden.

Im Januar 2021 wurde Phytoprove von der Gründerinitiative „Passion for Business“ in die Top 50 Start-ups 2020 aufgenommen. Phytoprove belegt im Ranking Platz 13 und ist dabei das am besten ausgezeichnete Agrartechnologie-Unternehmen <https://www.top50startups.de/startups/ranking/2020/phytoprove-pflanzenanalytik>. Die öffentlichkeitswirksame Auszeichnung führte zur Vernetzung mit dem Digitalen Experimentierfeld „Agro-Nordwest“ des Agrotech Valley Forums Osnabrück, zum Kontakt mit der international agierenden Messgerätetechnik-Firma „Meter“ (München).

Über das Referat „Strategische Partnerschaft Technologie in Afrika“ der „Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit“ (GIZ) wurden die Grundlagen für Innovationspartnerschaften zu afrikanischen Kleinbauern ausgearbeitet. Die kleinbäuerlich strukturierten Betriebe verwenden überwiegend regional erzeugten organischen Dünger. Hierzu werden z.B. Abfälle aus Geflügelhaltung (Exkremete, Federn usw.), Ernterückstände etc. aufbereitet. Die Dosierung solcher Dünger ist schwierig, da der Stickstoff- und Phosphorgehalt stark variiert. Durch den

Einsatz des yield-e kann die Wirkung der organischen Dünger direkt überprüft werden. Den Kleinbauern wird so ein bedarfsgerechtes Düngen ermöglicht. Gemeinsam mit dem Gemüsebaubetrieb Delmas Fresh Herbs (Südafrika) und mit Unterstützung durch die „Deutsche Industrie und Handelskammer für das südliche Afrika“ (AHK) sollen Weiterbildungsmöglichkeiten zur Nutzung der yield-e-Technik für Fachkräfte im Erwerbsgemüsebau aufgebaut werden.

Im Rahmen der Herbsttagung des Photonics Hubs Wetzlar, einer Veranstaltung des Optence Netzwerks, dem Interessenverband der deutschen optischen und optoelektronischen Industrie, konnte Phytoprove vom 28.-29. September 2021 die neue Messtechnik präsentieren. Phytoprove ist inzwischen Mitglied in diesem Netzwerk. Für die Weiterentwicklung der Geräte bis zur Serienreife wird ein Industrieunternehmen aus diesem Netzwerk gesucht, das die Produktion der Elektronik der Nullserie und Serie übernimmt.

Phytoprove erreichte im Mai 2022 bei „Kick-Start Green Innovations“ der Landeskampagne Start-up BW des Landes Baden-Württemberg unter 25 von einer Jury aus 80 Bewerbungen zur Teilnahme ausgewählten Gründerteams als „Green Innovator 2022“ den öffentlichkeitswirksamen 3. Platz.

Eine der wichtigsten Auszeichnungen Phytoproves stellt das im Juni 2022 verliehene Seal-of-Excellence der Europäischen Kommission dar. Ein Gütesiegel, das an besonders förderungswürdige Unternehmen vergeben wird.

Im September 2022 erhielt Phytoprove eine Förderzusage für push! Hessen, das Start-up-Stipendium des Landes Hessen. Die 12-monatige Förderung wird Anfang November 2022 beginnen.

Fazit

Durch die finanzielle Unterstützung durch das DBU – Green Start-Up Sonderprogramm konnte die Weiterentwicklung der yield-e Handgeräte für die nicht-destruktive Analyse des Versorgungszustandes von Pflanzen sowie die weitere Firmenentwicklung von Phytoprove entscheidend vorangebracht werden. Das bestehende Netzwerk an Partnern, die Phytoprove in der Entwicklung und Umsetzung der Prototypen unterstützen, wurde während der Projektlaufzeit um wichtige Kooperations- und Geschäftspartner erweitert. Bedingt durch die Umstände der COVID-19-Pandemie wurden wir zwar mit einer eingeschränkten Bauteileverfügbarkeit elektronischer Komponenten konfrontiert, was zu einer deutlichen Verzögerung in der Entwicklung des Handmessgerätes führte, konnten aber dennoch während der Förderlaufzeit das Projekt bis zur Fertigstellung und Überprüfung der Prototypen in relevanter Umgebung abschließen, womit der Technologie-Reifegrad 6 erreicht wurde. Jedoch konnte mit der geplanten Weiterentwicklung der Sensorik für die Anwendung an fahrenden Landmaschinen und Drohnen im Förderzeitraum noch nicht begonnen werden, diese Arbeiten sind nun ab 2023 geplant. Aufgrund der bis in den Sommer 2022 bestehenden Reisebeschränkungen konnten die Handmessgeräte statt wie geplant bei Pilotkunden in Südafrika und Australien ausschließlich in Deutschland getestet werden. In den nächsten Schritten werden nun umfangreiche Test- und Kalibrierungsmessungen bei internationalen Pilotkunden durchgeführt, um die Prototypen unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen und für unterschiedliche Anbauprodukte zu optimieren. Zur Umsetzung der weiteren Schritte bis zur Serienproduktion und Markteinführung sind weitere Finanzmittel notwendig. Zu deren Einwerbung werden im Moment Anträge für Fördermittel gestellt und Gespräche mit Investoren geführt. Die ursprünglich für Mitte 2022 geplante Markteinführung der Handmessgeräte wird deshalb um 2 Jahre auf 2024 verschoben.