

Verbindung hyperspektraler Messungen zur Phänotypisierung in der Pflanzenzüchtung

Anna Brugger, Ulrike Steiner, Anne-Katrin Mahlein

Das Ziel des Projektes „*Deep Phenotyping von Krankheitsresistenten im Hochdurchsatz anhand von hyperspektralen Sensoren und Data Mining Methoden (DePhenSe)*“ ist die Implementierung von hyperspektralen Messungen in automatisierte Prozesse zu erreichen. Hyperspektrale Sensoren messen die spektralen Reflektanzeigenschaften der Pflanzenoberflächen in bestimmten Wellenlängenbereichen und führen bei der Phänotypisierung im Bereich der Pflanzenzüchtung zu hochdimensionalen und komplexen

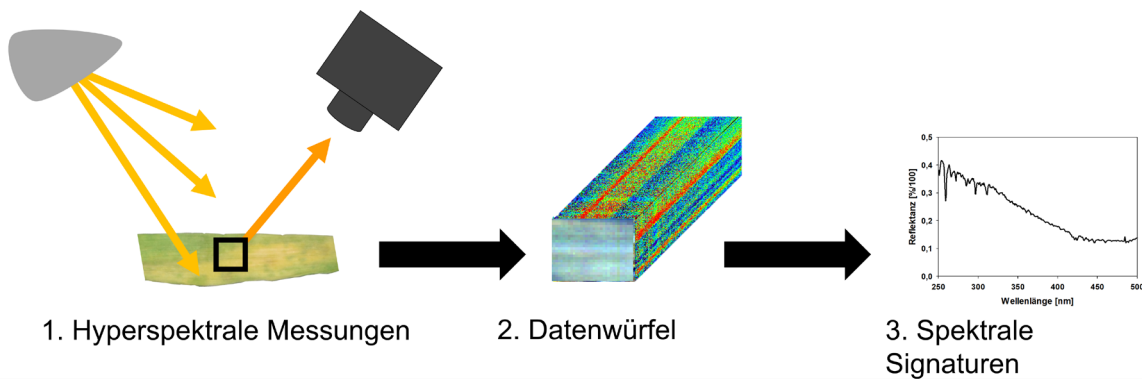


Abbildung 1: Verfahren von hyperspektrale Messungen von Pflanzen. Mit Hilfe eines Sensors und eine Beleuchtung werden hyperspektrale Bilder aufgenommen, aus welchen die Reflexion pro Wellenlänge ermittelt werden kann.

Datensätzen, die mit Hilfe von automatisierten Prozessen interpretiert werden können. Dies führt zu einer Optimierung von Phänotypisierungsprozessen. Da sich hyperspektrale Messungen von Pflanzen bisher auf die Spektralbereiche des sichtbaren Lichts bis kurzwelligen Infrarots (400-2500 nm) fokussierten, wurde im Projekt DePhenSe zusätzlich der ultraviolette Spektralbereich (UV, 200-380 nm) verwendet um den Befall von Pflanzen mit Krankheiten und Resistenzen von Pflanzen zu charakterisieren. Viele sekundäre Pflanzenstoffe, die als Reaktion auf abiotischen oder biotischen Stress produziert werden oder in der Resistenz von Pflanzen eine wichtige Rolle spielen, weisen Absorptionsmaxima im UV-Bereich auf, was diesen Bereich für hyperspektrale Messungen besonders spannend macht. Ein Beispiel hierfür sind Flavonoide, die bei UV-Stress, Krankheitsbefall oder Resistenzen von Pflanzen eine wichtige Rolle spielen.

Ein Ziel des Projektes war es, frühe Wirt-Pathogen Interaktionen und deren Einfluss auf diese pflanzlichen Inhaltsstoffe und Reflexionseigenschaften im UV-Bereich nutzbar zu machen. In Vorstudien wurde zunächst die verwendete UV-Lichtquelle untersucht, da es bei zu hohen Beleuchtungsstärken zu Schäden des Pflanzengewebes kommen kann. Durch mikroskopische Auswertungen wurden Beleuchtungsstärken ermittelt, mit welchen in einem innerhalb des Projekts etablierten hyperspektralen Verfahren im UV-Bereich Gerste- und

Zuckerrübenblätter gemessen wurden, die unterschiedlichem Pilzbefall oder Salzstress ausgesetzt waren.

Gerstenblätter inokuliert mit Echtem Mehltau (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) zeigten 5 Tage nach Inokulation (dai) eine erhöhte Reflektanz im Vergleich zu nicht inokulierten Blättern. Im Bereich von 400-500 nm zeigt das eine Abnahme der Pigmente, was charakteristisch für eine Infektion mit Echtem Mehltau ist. Ein Anstieg der Reflektanz von 250 bis 370 nm lässt auf eine Abnahme der Flavonoide schließen, was zusätzlich mit einer Extraktionsanalyse bestätigt wurde. Gründe für die Abnahme können die Rolle der Flavonoide in der Photosynthese sein, wo sie als Katalysatoren wichtig sind. Da ein Befall mit Echtem Mehltau die Photosynthese herunterreguliert kommt es auch zu einem geringeren Bedarf an Flavonoiden und einem geringeren Flavonoidmetabolismus. Darüber hinaus spielen Flavonoide eine wichtige Rolle bei der Abwehr von Krankheitserregern und in Epidermiszellen gespeicherte Flavonoide können bei einer Infektion abgebaut werden. Die Ergebnisse der hyperspektralen Messungen im UV-Bereich zeigen, dass auch nicht-invasive Verfahren eine Vielzahl von Informationen über die Reaktion von sekundären Pflanzenstoffen auf eine Infektion ermöglichen.

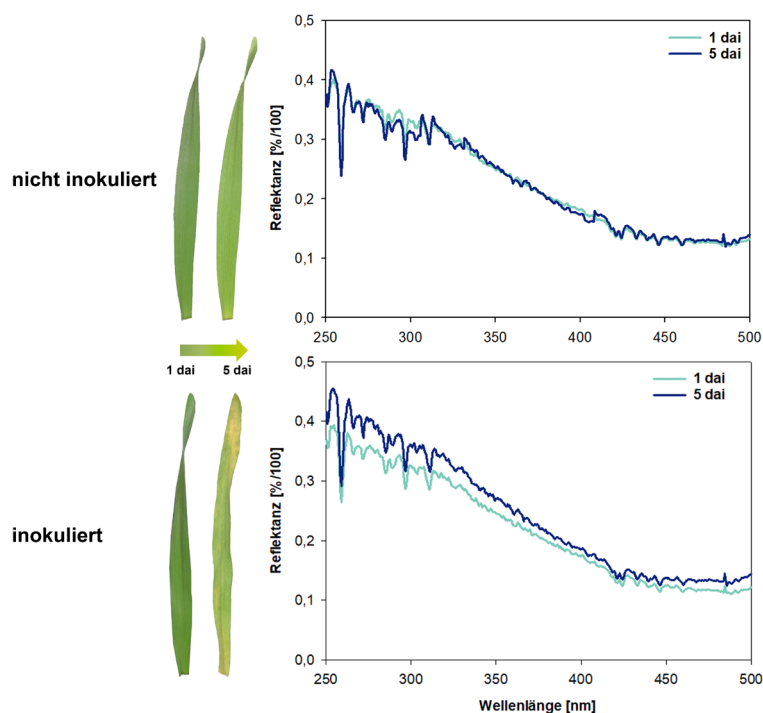


Abbildung 2: Spektrale Signaturen von nicht-inokulierten und inokulierten Gerstenblättern 1 und 5 dai und die dazugehörigen RGB-Bilder.

Das Projekt und der Projekterfolg profitiert in besonderer Weise durch die interdisziplinäre Kooperation mit den Kollegen aus dem Fachbereich Informatik der Technischen Universität Darmstadt, Patrick Schramowski und Prof. Kristian Kersting. Die Pflanzendaten wurden an der TU Darmstadt in Deep Learning Verfahren mit generativen Modellen weiter analysiert. Der Vorteil dieser Modelle ist, dass sie die Decodierung der hochdimensionalen hyperspektralen Daten hin zu einem niedrig-dimensionalen Raum ermöglichen. Die Klassifizierung der Daten

und eine nachfolgende Merkmalsanalyse identifizierte für die Klassifizierung wichtige Wellenlängen, welche mit Absorptionsmaxima von Flavonoiden in Verbindung gebracht werden konnten. Da hyperspektrale Messungen sehr zeitaufwändig sind, jedoch aber für das Trainieren von generativen Modellen in großen Mengen notwendig sind, wurden nicht nur die vorhandenen Daten in den trainierten Modellen rekonstruiert, sondern es konnten auch neue Daten generiert werden. Somit können in Zukunft hyperspektrale Daten vielseitiger und genauer analysiert werden.

Zur Umsetzung und Nutzbarmachung für praktische Anwendungen wurden die trainierten Modelle in Auswertelgorithmen der Firma LemnaTec implementiert und so konnten neue Analysetools für den Hochdurchsatz entwickelt werden. Das Ziel des Projektes DePhenSe, innovative Ansätze für die Phänotypisierung von Nutzpflanzen zu etablieren und somit die Charakterisierung von Pflanzenzuständen unter Krankheitsbefall zu präzisieren wurde mit dem interdisziplinären Ansatz aus den Bereichen Phytopathologie, Maschinelles Lernen sowie Sensorik und Automatisierung erreicht.

Die Arbeiten zu meiner Dissertation an der Universität Bonn am Institut für Nutzpflanzen und Ressourcenschutz bei Frau Prof. Dr. Anne-Katrin Mahlein vom Institut für Zuckerrüben (IfZ) fanden im Projekt DePhenSe statt. Das Projekt wurde vom BMEL innerhalb des Programms zur Innovationsförderung gefördert und lief von 2017 bis 2020. Die Projektpartner waren neben der Universität Bonn und dem IfZ die Technische Universität Darmstadt und die Firma LemnaTec.



Abbildung 3: Interdisziplinärer Ansatz zur Implementierung von hyperspektralen Messungen und Entwicklung von Maschinellen Lernverfahren für Hochdurchsatzmessungen zur Erfassung von Pflanzenkrankheiten und Resistenzen von Pflanzen.