



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 99 | Ausgabe 1

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Detektion von Blattlausbefall in Salatpflanzen

Möglichkeiten der Messung spektraler Reflektion

Von Laura Verena Junker-Frohn, Bastian Siegmann, Michael Quarten, Tobias Tholen, Hannah Jaenicke, Uwe Rascher und Onno Muller

1 Einleitung

Blattläuse gehören zu den Hauptschädlingen im Salatanbau. Das Vorkommen auch weniger Blattläuse im Produkt wird nicht von Kunden toleriert [Morales et al. 2013]. Insbesondere die Salatblattlaus *Nasonovia ribisnigri* bedeutet eine große Herausforderung für Salatproduzenten. Zwischenzeitlich konnten große Erfolge durch die Züchtung resistenter Sorten (Nr:0) erreicht werden [McCreight 2008; McCreight and Liu 2012]. Inzwischen kommen immer häufiger *N. ribisnigri* Populationen vor, die diese Resistenz überwinden konnten [ten Broeke et al. 2013; van der Arend 2003]. Zudem wächst die Resistenz gegen häufig verwendete Insektizide [Barber et al. 1999].

In einem frühen Befallsstadium ist das Auftreten von Blattläusen in einer Kultur sehr heterogen. Nichtsdestotrotz müssen komplette Kulturen mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden, um Ernteverluste zu vermeiden [Mackenzie and Vernon 1988]. Eine frühzeitige Erkennung der biotischen Stressantwort blattlausbefallener Salatpflanzen anhand der spektralen Reflektion würde eine selektive Behandlung im Rahmen der Präzisionslandwirtschaft ermöglichen [Alves et al. 2015]. Möglichkeiten zur nicht-invasiven Detektion von Blattlausbefall umfassen dabei:

- spektrale Verfahren, die sensitiv für die Änderung der Inhaltsstoffe von Blättern sind,
- thermographische Verfahren, die die Stomataöffnung und somit indirekt die Photosyntheseaktivität quantifizieren, sowie
- die Messung der Chlorophyllfluoreszenz, ebenfalls ein Indikator für die Photosyntheseaktivität.

Pflanzen reagieren auf biotischen Stress durch Blattlausbefall mit der Anreicherung giftiger Alkaloide, phenolischer Verbindungen und wachstumshemmender Proteine im Phloem [Goggin 2007; Smith and Chuang 2014].

In frühen Befallsstadien sind meist keine optischen Veränderungen der Pflanzen zu beobachten, jedoch konnten messbare Veränderungen der spektralen Reflektion von Weizen-, Soja-, Baumwoll- und Hirsepflanzen beobachtet werden [Alves, Macrae and Koch 2015; Chen et al. 2018; Elliott et al.

2015; Mirik et al. 2012; Mirik et al. 2007; Riedell and Blackmer 1999; Yang et al. 2009]. Andauernder Blattlausbefall beeinflusst die Morphologie der Pflanzen und beeinflusst die Photosyntheseaktivität der Pflanzen [Sorensen 2009]. Anfällige Pflanzen zeigen als Antwort auf längeren Blattlausbefall meist eine geringere Photosyntheseaktivität und einen reduzierten Chlorophyllgehalt der Blätter, wohingegen resistente Pflanzen eine erhöhte Photosyntheseaktivität zeigen [Burd and Elliott 1996; Heng-Moss et al. 2003; Smith and Boyko 2007]. Da die Schadschwelle für Blattlausbefall bei Salat sehr gering ist und eine frühzeitige Erkennung angestrebt wurde, haben wir uns bei der Detektion von Blattlausbefall auf Messungen der spektralen Reflektion fokussiert. Diese Messungen können mittels Punktsensoren innerhalb von Millisekunden bis Sekunden durchgeführt werden, und sind daher auch geeignet für einphasige Detektions- und Applikationssysteme, d.h. die Erkennung und Behandlung befallener Pflanzen in einem Arbeitsschritt anhand von der Spritze vorgeschalteter Sensoren.

Im Rahmen des EIP-AGRI Projektes OG Präzisionsgartenbau wurde untersucht, wie sich die spektrale Reflektion von Mini-Romana-Salatpflanzen bei Blattlausbefall ändert. Angesichts der messbaren Veränderungen der spektralen Reflektion beim Blattlausbefall von Weizen-, Soja-, Baumwoll- und Hirsepflanzen wurde erwartet, dass die biotische Stressantwort der Salatpflanzen zu charakteristischen Veränderungen der spektralen Reflektion führt. Verschiedene Experimente unter Feld-, Freiland-, Gewächshaus und Laborbedingungen wurden durchgeführt, um die spektrale Reflektion von Salatpflanzen mit und ohne Blattlausbefall zu vergleichen. Unterschiede in der spektralen Reflektion, die eine Erkennung von Blattlausbefall ermöglichen, wären eine Möglichkeit zur selektiven Behandlung blattlausbefallener Salatpflanzen.

2 Material und Methoden

2.1 Feldmessungen

Auf dem Betrieb Konrad&Markus GbR in Bornheim, nordwestlich von Bonn in Nordrhein-Westfalen wurden regelmäßige Messungen der spektralen Reflektion von Salatpflanzen mit und ohne Blattlausbefall unter Feldbedingungen durchgeführt.

Mini-Romana-Salatpflanzen der Sorten *Lactuca sativa* Thimble (HILD Samen, Marbach; jetzt Graines Voltz, Colmar), Xamena und Xiomara (beide von Enza Zaden, Dannstadt-Schauernheim), jeweils mit Nr:0 Resistenz wurden als Jungpflanzen mit einem Reihenabstand von 30 cm und einem Abstand in der Reihe von 20 cm ausgepflanzt und rund sieben Wochen im Feld kultiviert.

In vier verschiedenen Feldern wurden insgesamt zehn Plots von je 10m Länge und 1,80m Breite (entspricht 5 Reihen) markiert, innerhalb derer die Pflanzen nicht mit Insektiziden behandelt wurden, um den Befall durch Blattläuse zu forcieren.

Von Juni bis September 2018 wurde wöchentlich die spektrale Reflektion der Pflanzen der inneren drei Reihen jedes verfügbaren Plots sowie eines gleich großen mit Insektizid behandelten Bereichs mit einem Feldspektrometer (vgl. zu RoX, JB Hyperspectral, Düsseldorf), aus einer Distanz von 90cm gemessen. Mit dem Messgerät, das auf einem von Hand verschiebbaren Versuchstand (field4cycle)

montiert war, wurden zunächst ganze Reihen jeweils rund eine Minute lang gemessen und stichprobenartig der Blattlausbefall innerhalb einer Reihe geprüft.

Aufgrund des sehr heterogenen Auftretens von Blattläusen wurden ab Juli jeweils 10 Einzelpflanzen pro Plot mit jeweils zehn technischen Replikaten gemessen und deren Blattlausbefall anschließend bestimmt.

Auftretende Blattlausarten waren neben dem Hauptschädling der großen Salatblattlaus (auch große Johannisbeerblattlaus genannt, *Nasonovia ribisnigri*) auch grünstreifige Kartoffelläuse (*Macrosiphum euphorbiae*), grüne Pfirsichblattläuse (*Myzurn persicae*) und braune Gänsedistel-Blattläuse (*Uroleucon sonchi*). Zudem wurden selten Raupen entdeckt, die meist als kleiner Kohlweißling (*Pieris rapae*) identifiziert wurden.

2.2 Freilandexperimente

Um den Befall mit Blattläusen unter Freilandbedingungen aktiv beeinflussen zu können, wurden insgesamt drei Experimente unter Freilandbedingungen am Forschungszentrum Jülich GmbH durchgeführt. Hierzu wurden die Salatpflanzen in Käfigen, die mit blattlaussicheren Netzen bespannt waren, im Garten des Instituts für Pflanzenwissenschaften (IBG-2) kultiviert. Jeder Käfig war 1,5 m lang, 0,3 m breit, und 0,25 m hoch und mit Insektennetzen mit einer Maschenweite von 0,4mm bespannt. In jeden Käfig wurden 5 Pflanzen im Abstand von 30 cm gepflanzt.

Im **ersten** Experiment wurden am 17.8.2017 30 Salatjungpflanzen (*Lactuca sativa* 'Thimble', Nr:0) in sechs blattlaussichere Käfige gepflanzt. Grünstreifige Kartoffelläuse (*Macrosiphum euphorbiae*), wurden in einer Laborkultur, die mit einem ungeflügelten Weibchen gestartet wurde, vermehrt. Drei Tage nach Setzen der Salatpflanzen wurden an jeder Pflanze jedes zweiten Käfigs (Käfig 2, 4, 6) zwei Blattläuse ausgesetzt. Die Etablierung der Blattläuse wurde überwacht und gegebenenfalls durch Aussetzen weiterer Blattläuse sichergestellt. Ursprünglich war ein längerer Versuchszeitraum angedacht, jedoch gab es technische Probleme mit dem Messgerät, sodass die letzten Messungen 11 Tage nach Versuchsbeginn durchgeführt wurden. An den Tagen 0, 4, 7 und 11 nach Befall wurde die spektrale Reflektion von Einzelpflanzen mit einem Feldspektrometer (vgl. zu RoX, JB Hyperspectral, Düsseldorf) aus einer Distanz von 30 cm gemessen (n=6 technische Replikate). Die Auswertung von Vegetationsindices hat keine Unterschiede zwischen den beiden Behandlungen, mit und ohne Blattlausbefall, gezeigt (siehe auch Junker et al., 2018).

Im **zweiten** Experiment wurde die Anzahl der Käfige auf acht erhöht. Am 8.5.2018 wurde in je vier Käfigen an 5 Positionen im Abstand von 30 cm jeweils zwei Samen der Kopfsalatsorten (*Lactuca sativa* var. *capitata*) Analena (Nr:0 Resistenz gegen Blattläuse; Duerr Samen, Reutlingen, Deutschland) und Briweri (keine Blattlausresistenz; Bingenheimer Saatgut, Echzell, Deutschland) ausgesät. Bei Keimung beider Samen wurde die jeweils kleinere Pflanze pikiert. Wenn an einer Position keine Keimung erfolgte, wurden zusätzliche Pflanzen von außerhalb der Käfige gepflanzt. In zwei der Käfige jeder Sorte

wurden am 30.5. jeweils drei Blattläuse der Art *N. ribisnigri* aus einer Laborkultur, begründet durch ein ungeflügeltes Weibchen, ausgesetzt. Am 21. und 27.6. wurde die spektrale Reflektion mit einem Prototyp des RoX Feldspektrometers (JB Hyperspectral, Düsseldorf, Deutschland) aus einer Distanz von 90 cm über Bodenniveau gemessen (n=6 technische Replikate). Darüber hinaus wurden am 21.6. multiparametrische Chlorophyllfluoreszenzmessungen mithilfe eines Multiplex Research (Force A, Orsay, Frankreich) durchgeführt (n=4 technische Replikate). Hierbei haben sich für keinen der gemessenen Indices Unterschiede zwischen Kontroll- und blattlausbefallenen Pflanzen gezeigt (Daten nicht gezeigt).

In einem **dritten** Experiment wurden jeweils 20 Pflanzen der Kopfsalatsorten (*Lactuca sativa* var. *capitata*) ‚Analena‘ (Nr:0 Resistenz gegen Blattläuse; Duerr Samen, Reutlingen, Deutschland) und ‚Briweri‘ (keine Blattlausresistenz; Bingenheimer Saatgut, Echzell, Deutschland) in insgesamt vier Käfigen pro Sorte kultiviert. Die Pflanzen wurden am 2.8.2018 ausgesät und im Gewächshaus (19 °C Tagestemperatur für 18h am Tag, 17 °C Temperatur für 6h in der Nacht, relative Luftfeuchtigkeit 60%) in drei Wochen angezogen, bevor sie ausgepflanzt wurden.

Kurz nach dem Auspflanzen wurden fast alle Pflanzen mit *Macrosiphum euphorbiae* (Grünstreifige Kartoffellaus) befallen. Aus diesem Grund standen keine Kontrollpflanzen für Vergleichsmessungen der spektralen Reflektion von Pflanzen mit und ohne Blattlausbefall zur Verfügung. Das Experiment musste aus diesem Grund abgebrochen werden.

2.3 Gewächshausexperimente

Um die Stressantwort resistenter und anfälliger Salatsorten miteinander vergleichen zu können, wurden drei Gewächshausexperimente mit einer großen Anzahl von jungen Pflanzen geplant. Diese Experimente mussten aufgrund der Übertragungsgefahr der Schädlinge auf andere Pflanzen in einem separaten Forschungsgewächshaus durchgeführt werden, das lediglich beheizt, nicht jedoch gekühlt werden konnte. Aus diesem Grund konnten die Experimente nur zwischen Dezember und April durchgeführt werden.

Am 18.12.2017 wurden in 10 Töpfen jeweils zwei Samen der Wildsalatarten *Lactuca serriola*, Linien LAC1159 und LAC 1194, *L. saligna*, Linien LAC236 und LAC 239, und *L. virosa*, Linien LAC 267 und LAC 1203, angezogen. Das Saatgut wurde vom Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK, Gatersleben, Deutschland) bezogen. Bei Keimung beider Samen wurde die jeweils kleinere Pflanze entfernt.

Geplant war, in drei Käfigen jeweils 12 Pflanzen, je 2 Pflanzen pro Linie, in einem jungen Stadium mit der großen Salatblattlaus (*N. ribisnigri*) aus einer Nr:0-Laborkultur zu infizieren. Ebenso sollten 6 Pflanzen pro Linie als unbefallene Kontrollpflanzen außerhalb der Käfige kultiviert werden. Um vergleichbare Lichtbedingungen sicherzustellen und einen Einfluss der Lichtbedingungen auf die spektrale Reflektion der Pflanzen auszuschließen, sollten die Kontrollpflanzen unter einer Bedeckung aus dem gleichen Insektenschutznetzmaterial angezogen werden.

Die Laborkultur sollte aus großen Salatblattläusen (*N. ribisnigri*), Biotyp Nr:0, etabliert werden, die von Alejandro Lucatti, Bayer Nunhems, zur Verfügung gestellt wurden. Jedoch hat nur eine einzige Laus den Transport überlebt, und die Etablierung der Laborkultur dauerte länger als geplant. Aus diesem Grund war die Anzahl an Blattläusen für einen gezielten Befall der Pflanzen in einem jungen Stadium nicht ausreichend. Die Laborkultur umfasste erst eine ausreichende Anzahl an Blattläusen zum gezielten Befall der Pflanzen, als sie zu groß waren, um auf dem zur Verfügung stehenden Platz weiter kultiviert werden zu können.

Aus diesem Grund wurde die Pflanzenanzahl auf insgesamt 36 Pflanzen, 6 Pflanzen pro Linie, reduziert. Diese Pflanzen wurden genutzt, um die Anfälligkeit der verschiedenen Linien gegenüber *N. ribisnigri* zu testen. Am 14.2.2018 wurden je 2 Pflanzen je Linie, d.h. insgesamt 12 Pflanzen, in drei Käfige überführt und jede Pflanze mit einer *N. ribisnigri*-Laus besetzt und der Befall über drei Wochen beobachtet.

In 2018 wurde das Experiment wiederholt, mit jeweils einer resistenten und einer anfälligen Linie von drei kommerziell genutzten Salatsorten sowie drei Wildsalatarten:

- Romanasalat, resistente Sorte Tantan (Dürr Samen, Reutlingen, Deutschland) und anfällige Sorte Valmaine (Bingenheimer Saatgut, Echzell, Deutschland),
- Eichblatt, resistente Sorte Smile (Dürr Samen) und anfällige Sorte Piro (Bingenheimer Saatgut),
- Kopfsalat, resistente Sorte Analena (Dürr Samen) und anfällige Sorte Briweri (Bingenheimer Saatgut),
- Weidenlattich (*L. saligna*), CGN 05308, eine Linie mit hoher Resistenz [Walley et al. 2017] und LAC 239, eine Linie die im vorherigen Experiment eine hohe Anfälligkeit gezeigt hatte,
- Stachel-Lattich (*L. serriola*), CGN 15670, eine Linie mit hoher Resistenz CGN 15670 und CGN 05152, eine Linie mit niedriger Resistenz [Walley, Hough, Moore, Carder, Elliott, Mead, Jones, Teakle, Barker, Buchanan-Wollaston, Hand, Pink and Collier 2017], sowie
- Gift-Lattich (*L. virosa*), CGN 13355, eine Linie mit hoher Resistenz [Walley, Hough, Moore, Carder, Elliott, Mead, Jones, Teakle, Barker, Buchanan-Wollaston, Hand, Pink and Collier 2017] und LAC 1203, eine Linie, die im vorherigen Experiment eine hohe Anfälligkeit gezeigt hatte.

Das Saatgut wurde aus folgenden Quellen bezogen: resistente Salatsorten von Dürr Samen (Reutlingen, Deutschland), anfällige Salatsorten von Bingenheimer Saatgut (Echzell, Deutschland), CGN-Wildsalatlinien vom Centrum voor Genetische Bronnen (Wageningen, Niederlande) sowie LAC Wildsalatlinien vom IPK Gatersleben. Am 16.3.2018 wurden in 9 Töpfen je Sorte/ Linie je zwei Samen im Gewächshaus ausgesät. Obwohl der empfohlene zeitliche Abstand von zwei Wochen zwischen Keimung der neuen Pflanzen nach dem Beenden des vorherigen Experiments eingehalten wurde, hatten einige Blattläuse im Gewächshaus überlebt, denn über die Osterfeiertage wurden alle Pflanzen mit Blattläusen befallen. Diese Pflanzen konnten nur noch dazu genutzt werden, die Anfälligkeit gegenüber Blattläusen zu überprüfen, da keine unbefallenen Kontrollpflanzen zur Verfügung standen. Der Befall durch Blattläuse wurde am 18.4. ausgezählt.

Im Januar 2019 sollte das für 2018 geplante Experiment wiederholt werden.

Die Blattlauslaborkultur ist jedoch kurz bevor die Pflanzen ausgesät werden sollten, kollabiert. Aus diesem Grund konnte das Experiment nicht wie geplant durchgeführt werden.

Aufgrund der wiederholten Probleme bei der experimentellen Durchführung der Gewächshausexperimente und der Schwierigkeiten bei der Beschaffung von Nr:0-Blattläusen der Art *N. ribisnigri* wurde von weiteren Gewächshausexperimenten abgesehen, und stattdessen auf Laborexperimente fokussiert.

2.4 Laborexperimente

Die vorherigen Experimente haben gezeigt, dass die Messung der Salatpflanzen mit Punktsensoren durch die Morphologie der Pflanzen erschwert wird. Die Morphologie der Salatpflanzen ist wegen ihrer engen und steilen Blattstellung sowie ihrer schnellen Kopfbildung komplex. Der Sensor kann nur die äußeren Blattbereiche erfassen, und es kommt zudem durch die steile Blattstellung zu starker Selbstbeschattung. Daher können mittels Punktsensoren nur starke systemische Stressreaktionen detektiert werden. Um die lokale Stressantwort von Salatpflanzen auf Blattlausbefall zu überprüfen, haben wir Laborexperimente mit jungen Salatpflanzen durchgeführt, deren Reflektion hyperspektral bildgebend gemessen wurde.

Junge Kopfsalatpflanzen (*Lactuca sativa var. capitata*) der anfälligen Sorte Briweri sowie der resistenten Sorte Analena wurden im Gewächshaus unter natürlichen Lichtbedingungen bei einer Tagestemperatur von 19 °C und Nachttemperatur von 17 °C sowie einer Luftfeuchtigkeit von 60 % angezogen.

Drei Wochen alte Pflanzen wurden anschließend in ein Dunkellabor transferiert, wo sie unter einer Halogen-Metall dampflampe mit 14 Stunden Beleuchtung bei Raumtemperatur kultiviert wurden. Nach zwei Tagen Akklimatisierung an die veränderten Lichtbedingungen wurden jeweils vier Pflanzen beider Sorten gezielt mit adulten großen Salatblattläusen (*N. ribisnigri*) besetzt. Jeweils vier weitere Pflanzen wurden mit einem Netz von den anderen Pflanzen separiert und dienten so als Kontrollpflanzen. Im Laufe der nächsten zwei Wochen wurde zu jeweils drei Zeitpunkten nach Initiation des Befalls die spektrale Reflektion mit einem hyperspektralen Linienscanner (Specim, Spectral Imaging Ltd Oy, Finland) erfasst. Hierfür wurden die Töpfe der Pflanzen mit einem schwarzen Filz abgedeckt, um die Hintergrundreflektion zu minimieren. Um die Position der Blattläuse an der Unterseite im Bild zu markieren, wurden leichte Gummiringe auf die Blätter gelegt. Am letzten Versuchstag wurden repräsentative Blätter von den Pflanzen abgeschnitten und zusätzlich hyperspektral-bildgebend erfasst.

Dieser Versuch wurde insgesamt dreimal wiederholt, allerdings gab es nur in einer Versuchsreihe eine ausreichende Anzahl von Kontrollpflanzen ohne Blattlausbefall.

2.5 Statistische Auswertung

Die Daten wurden mit Hilfe von Excel bzw. R ausgewertet [R Core Team 2014]. Da sich in keinem Experiment offensichtliche Unterschiede der spektralen Reflektion zwischen von Kontroll- und Blattlauspflanzen gezeigt haben, wurden zudem Hauptkomponentenanalysen (PCA) durchgeführt. Dieses multivariate Statistikverfahren ermöglicht, komplexe Datensätze zu visualisieren, indem die statistischen Variablen (in unserer Analyse entspricht dies den Wellenlängen der spektralen Reflektion) in möglichst aussagekräftigen Hauptkomponenten zusammengefasst werden. Hierzu wurde die Reflektion von 21 fundamentalen Wellenlängenbereichen (Bandweite 10 nm) im Abstand von 25 nm im Spektralbereich von 400 bis 900 nm berechnet [Köksal 2011]. Die PCA erlaubt eine Visualisierung der Unterschiede zwischen untersuchten Gruppen. Eindeutige Unterschiede, wie sie zum Beispiel notwendig sind, um unbefallene und befallene Pflanzen im Feld zu detektieren, würden sich in einer Clusterung der untersuchten Gruppen zeigen. Das bedeutet, dass die jeweiligen Gruppen voneinander getrennte Punktwolken bilden, die sich möglichst kaum überlappen.

3 Ergebnisse

3.1 Feldmessungen

Bei den Messungen im Feld zeigte sich, dass der Blattlausbefall insgesamt unerwartet gering war, auch in den unbehandelten Versuchsplots.

Dies ist wahrscheinlich insbesondere auf die hohen Temperaturen zurückzuführen, bei denen die Verbreitung und Vermehrung von Blattläusen eingeschränkt ist [Diaz and Fereres 2005]. Die häufigste Form des Auftretens von Blattlausbefall waren einzelne geflügelte Blattläuse. Sie treten insbesondere dann auf, wenn neue Populationen etabliert werden sollen und sind daher erste Anzeichen für einen Befall [Walley, Hough, Moore, Carder, Elliott, Mead, Jones, Teakle, Barker, Buchanan-Wollaston, Hand, Pink and Collier 2017]. Insgesamt konnten sich jedoch nur sehr wenige geflügelte Blattläuse etablieren, d.h. auf den besetzten Pflanzen weiter vermehren, sodass der Befall insgesamt sehr heterogen war und sich zwischen vielen Pflanzen ohne Blattlausbefall nur vereinzelt Pflanzen mit mehreren Blattläusen fanden. Aus diesem Grund wurde nach einigen Versuchstagen das Versuchsprotokoll von der Messung ganzer Reihen auf die Messung von Einzelpflanzen angepasst. Darüber hinaus wurde bei der Auswertung auf Vergleiche zwischen dem Befall mit verschiedenen Blattlausarten verzichtet, da deren Anzahlen insgesamt sehr niedrig waren (Fig.1).

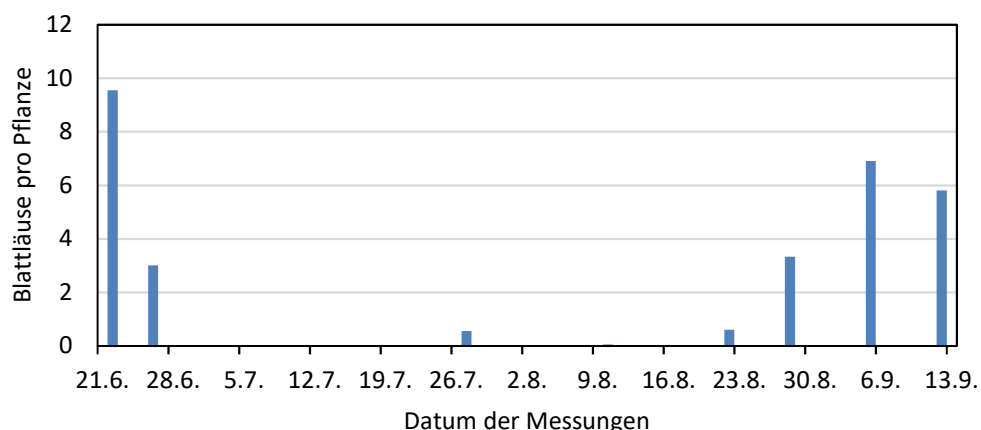


Abbildung 1: Durchschnittliche Anzahl an Blattläusen pro untersuchter Salatpflanze über den Zeitraum der Messungen von Juni bis September 2018.

Wie in Abbildung 1 zu erkennen ist, traten nur am 22.6., 26.6., 28.8., 5.9., und 12.9. Blattläuse in nennenswerter Anzahl auf. Da am 22.6. und 26.6. keine Einzelpflanzenmessung erfolgte, konnten die gemessenen Spektren nicht direkt mit dem Auftreten von Blattläusen verknüpft werden. Daher ist in Abbildung 2 die spektrale Reflektion am 28.8., 5.9. und 12.9. dargestellt.

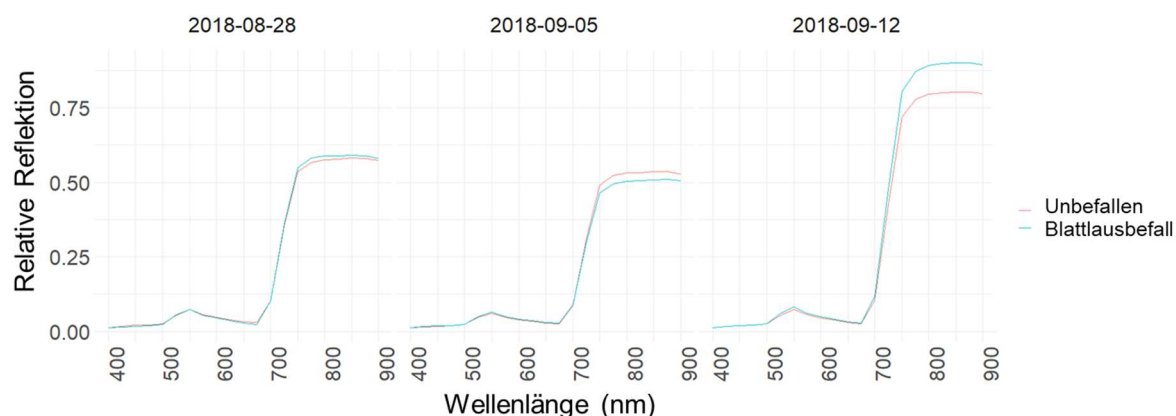


Abbildung 2: Spektrale Reflektion von im Feld gewachsenen Mini-Romanapflanzen ohne/mit Befall durch Nasonovia ribisnigri am 28.8., 5.9. und 12.9.2018. Am 28.8. waren 14 von 80 Pflanzen in 4 Plots mit 8.29 ± 11.91 Blattläusen pro Pflanze befallen, am 5.9. waren 29 von 60 Pflanzen in 3 Plots mit 14.14 ± 28.33 Blattläusen pro Pflanze und am 12.9. waren 16 von 20 Pflanzen in einem Plot mit 7.19 ± 7.88 Blattläusen pro Pflanze befallen. Die Daten beziehen daher 66, 31 und 4 Kontrollpflanzen ein.

Die in Abbildung 2 gezeigte spektrale Reflektion ist typisch für eine grüne Vegetation. Es zeigten sich keine Auswirkungen des Blattlausbefalls auf die spektrale Reflektion der Salatpflanzen. Da Blattlausbefall in unbehandelten und mit Pflanzenschutzmitteln behandelten Pflanzen auftrat, wurde zuvor überprüft, dass sich die Pflanzenschutzmittelbehandlung nicht auf die spektrale Reflektion auswirkt (Abbildung 3). Zwischen den verschiedenen Messtagen zeigte sich eine hohe Variabilität der spektralen Reflektion, die auf unterschiedliche Pflanzenalter und Wetterbedingungen bei der Anzucht

sowie ggf. leicht unterschiedliche Bedingungen zwischen den verschiedenen Plots zurückzuführen sind.

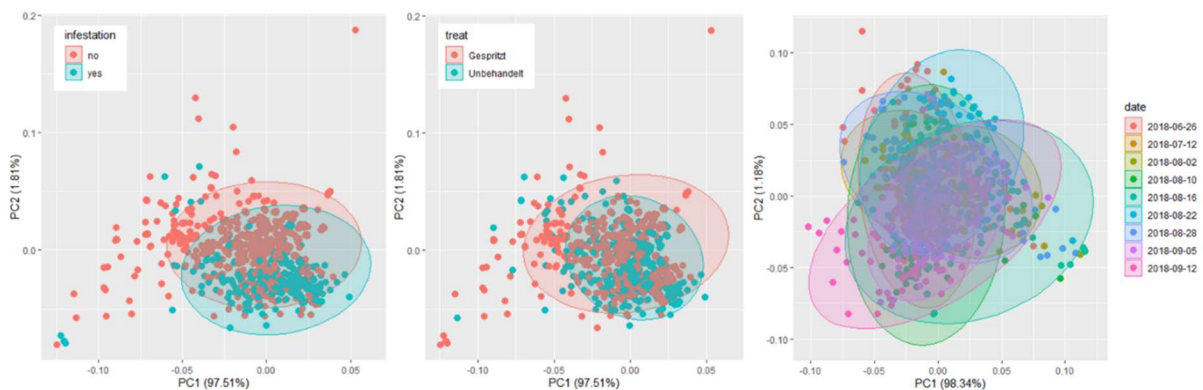


Abbildung 3: Hauptkomponentenanalyse der spektralen Reflektion von im Feld gewachsenen Salatpflanzen A) mit und ohne Befall durch *Nasonovia ribisnigri*, B) mit und ohne Pflanzenschutzmittelbehandlung sowie C) zwischen neun verschiedenen Messtagen.

3.2 Freilandexperimente

Der experimentelle Aufbau in 2017 erlaubte ein Ausschließen natürlich vorkommender Blattläuse an Kontrollpflanzen sowie einen kontrollierten Befall mit *M. euphorbiae*. Über einen Zeitraum von drei Wochen ohne Befall und mit Befall bis zu einem Maximum von 497 Blattläusen pro Pflanze zeigten sich keine optischen Auswirkungen des Befalls. Es gab auch keine Unterschiede im Wachstum gemessen an der Biomasse der Pflanzen bei der Ernte. Leider gab es technische Probleme bei den Messungen, sodass die letzte auswertbare Messung elf Tage nach Blattlausbefall stattfand. Zu diesem Zeitpunkt waren die Pflanzen mit durchschnittlich 0,0 bzw. 9,1 Blattläusen pro Pflanze in Kontroll- und Blattlauskäfigen befallen. Die Ergebnisse der Messungen zeigten keine offensichtlichen Unterschiede in der spektralen Reflektion im Wellenlängenbereich von 400-900 nm zwischen den Kontrollpflanzen und den blattlausbefallenen Pflanzen (Abbildung 4). Es gab auch keine offensichtlichen Unterschiede der häufig verwendeten Vegetationsindices zwischen Kontroll- und Blattlauspflanzen (Daten nicht gezeigt, siehe auch Junker et al., 2018).

Auch die Hauptkomponentenanalyse, mit Hilfe derer komplexe Datensätze visualisiert werden können, zeigt keine Unterschiede der Messergebnisse zwischen Kontroll- und Blattlauspflanzen (Abbildung 5).

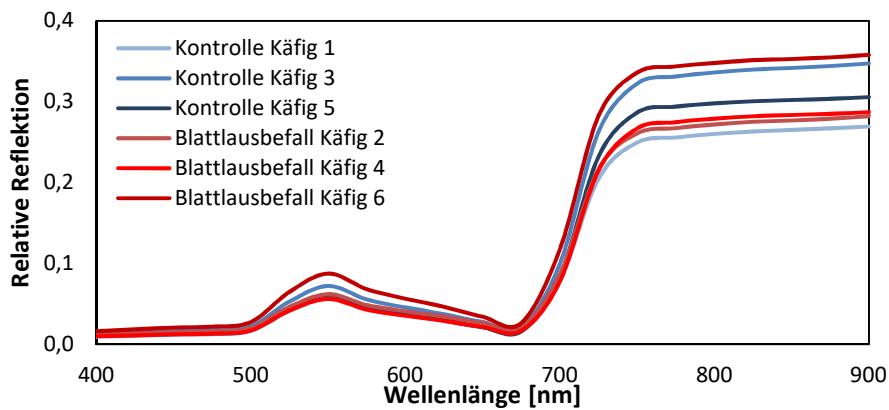


Abbildung 4: Spektrale Reflektion von Salatpflanzen mit und ohne Befall durch *Macrosiphum euphorbiae* nach 11 Tagen. N=4-5 Pflanzen pro Käfig.

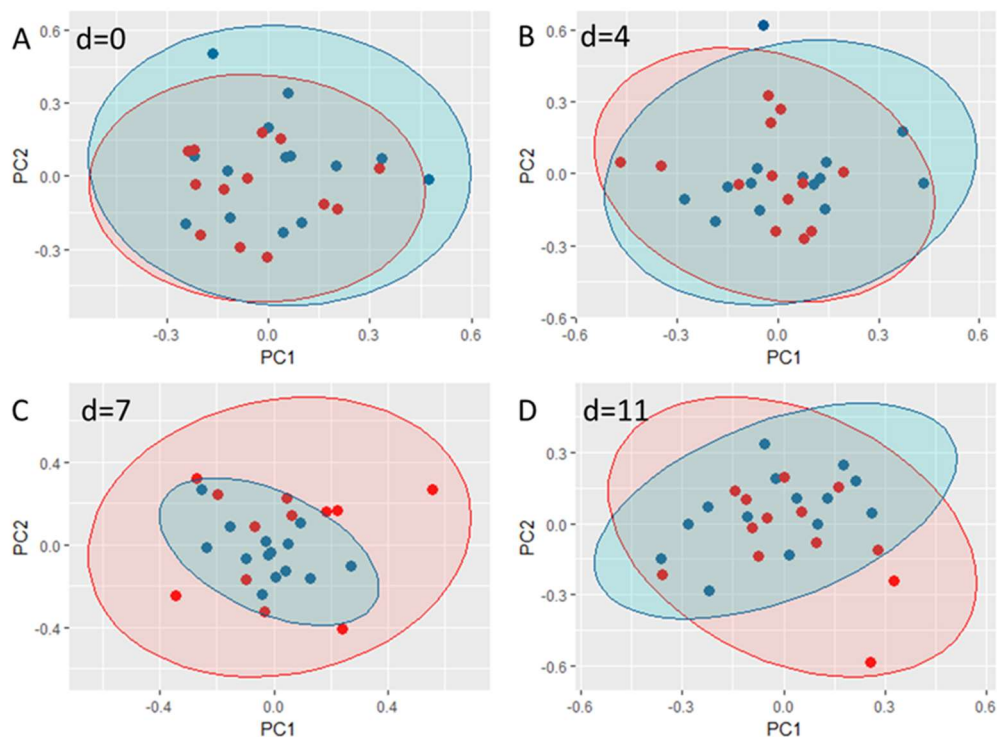


Abbildung 5: Hauptkomponentenanalyse der spektralen Reflektion von Salatpflanzen mit und ohne Befall durch *Macrosiphum euphorbiae* 0,4,7 und 11 Tage nach Befall.

In Sommer 2018 konnte das Experiment erfolgreich mit einer anfälligen und einer resistenten Kopfsalatsorte wiederholt werden. Leider zeigten sich auch hier trotz der längeren Versuchsdauer von vier Wochen und hohem Befall durch *M. euphorbiae* (Analena: 165 ± 94 Blattläuse, Briweri: 424 ± 101 Blattläuse) keine Unterschiede bei den Messergebnissen, die eine eindeutige Identifizierung befallener Pflanzen erlauben würden, wie die Hauptkomponentenanalyse zeigt (Abbildung 7).

Auch multiparametrische Chlorophyllfluoreszenzmessungen haben keine Unterschiede ergeben (Daten nicht gezeigt).

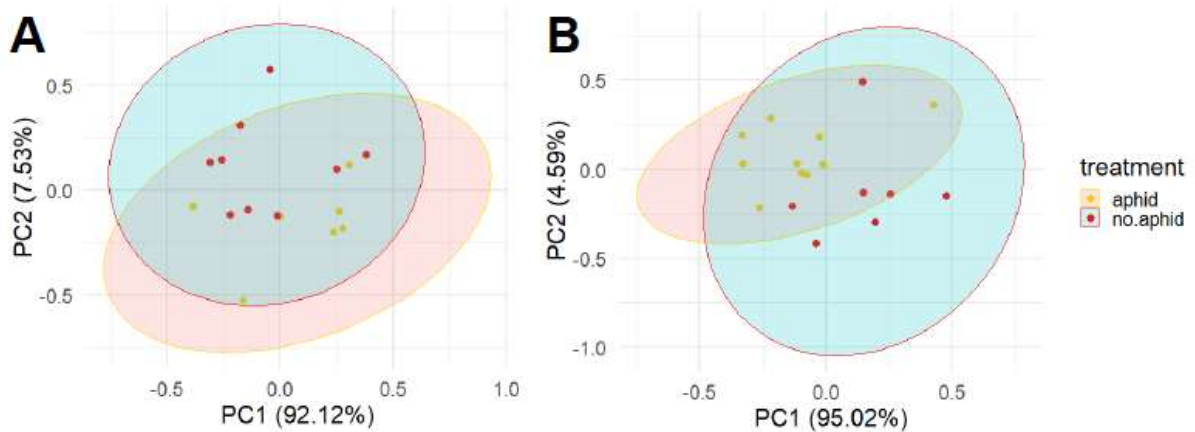


Abbildung 6: Hauptkomponentenanalyse der spektralen Reflektion von Salatpflanzen nach einem Monat mit und ohne Befall durch *Macrosiphum euphorbiae*. Analena, 165±94 Blattläuse; Briweri 424±101 Blattläuse. N=6-10 Pflanzen pro Behandlung.

3.3 Gewächshausexperimente

Aufgrund der Probleme bei der experimentellen Durchführung der Gewächshausexperimente konnten diese lediglich dazu genutzt werden, Unterschiede in der Anfälligkeit bzw. Resistenz gegen Befall mit *N. ribisnigri* zu untersuchen.

Im **ersten** Versuch zeigte sich, dass die Wildsalatart *L. virosa* eine geringere Anfälligkeit gegenüber Blattläusen hatte, verglichen mit den Wildsalatarten *L. serriola* und *L. sativa* (Abbildung 7). Jedoch zeigten sich auch innerartliche Unterschiede. Bei der Art *L. serriola* wies die Linie LAC 1159 verglichen mit der Linie LAC 1194 eine signifikant höhere Anfälligkeit auf.

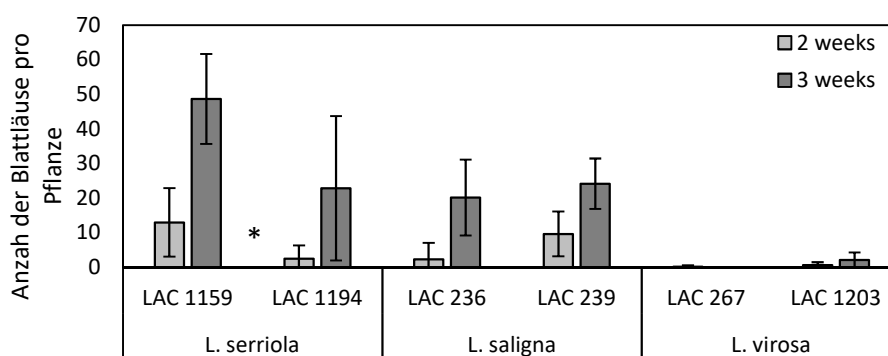


Abbildung 7: Blattlausbefall durch *Nasonovia ribisnigri* zwei und drei Wochen nach Besatz mit je einer Blattlaus (Migration zwischen Arten möglich). N=6 Pflanzen.

Im zweiten Versuch zeigten sich insbesondere Unterschiede zwischen den Kultursalatsorten (Abbildung 8), da diese aufgrund Ihrer Nr:0-Resistenz bzw. dem Fehlen derselben ausgewählt wurden. Aufgrund der Erfahrungen mit diesen Experimenten der offeneren Morphologie der Kopfsalatpflanzen

verglichen zu Mini-Romanasalatpflanzen wurden in den weiteren Freilandexperimenten die Kopfsalatsorten Analena und Briweri verwendet.

Die Anfälligkeit von CGN 13355 war höher, als es aufgrund von Literaturergebnissen angenommen wurde [Walley, Hough, Moore, Carder, Elliott, Mead, Jones, Teakle, Barker, Buchanan-Wollaston, Hand, Pink and Collier 2017]. Um in weiteren Experimenten eine Linie von *L. virosa* mit hoher Resistenz einzubeziehen, wurde für das dritte Gewächshausexperiment die Linie LAC 267 anstelle der Linie CGN 13355 verwendet.

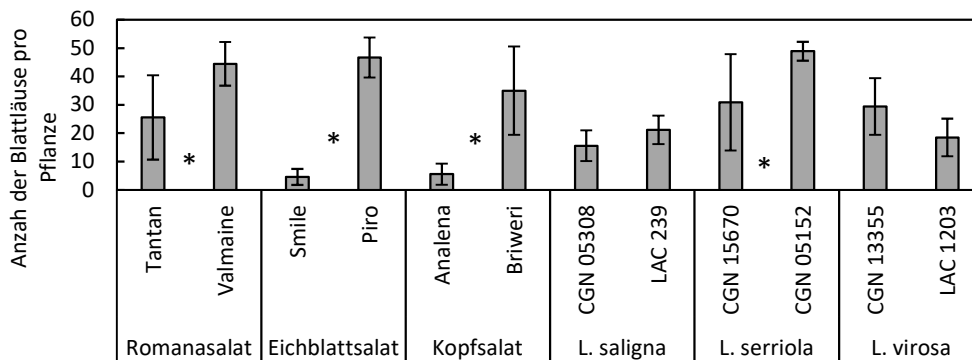


Abbildung 8: Blattlausbefall durch *Nasonovia ribisnigri* zwei und drei Wochen nach Besatz mit je einer Blattlaus (Migration zwischen Arten möglich). N=9 Pflanzen.

3.4 Laborexperimente

Durch das gezielte Besetzen junger Salatpflanzen mit Blattläusen und die bildgebende Messung der spektralen Reflektion konnte untersucht werden, ob sich die spektrale Reflektion punktuell an der Position der Blattläuse oder an befallenen Blättern ändert. Die komplexe experimentelle Durchführung und Auswertung ist in Abbildung 9 bildhaft dargestellt.

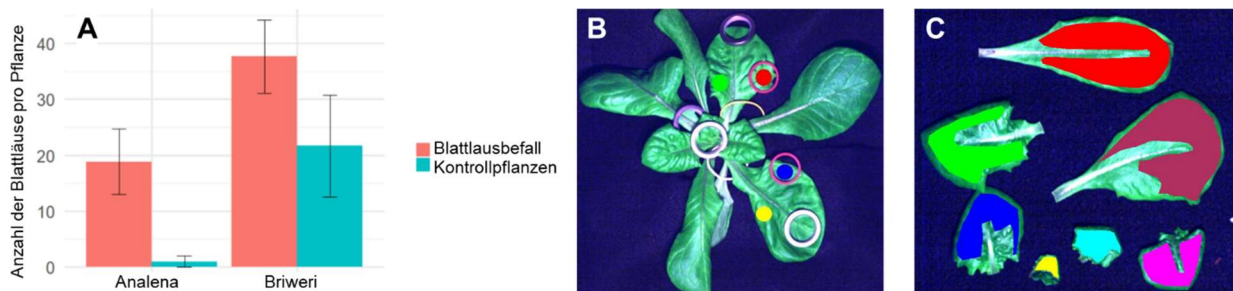


Abbildung 9: A) Befall von jungen Kopfsalatpflanzen durch *Nasonovia ribisnigri* nach elf Tagen (N=4 Pflanzen). Der Befall der anfälligen Briweri Kontrollpflanzen konnte nicht verhindert werden, sodass nur Daten der Sorte Analena sinnvoll ausgewertet werden konnten B) Normalfarbendarstellung des Hyperspektralbildes einer Salatpflanze, Sorte Analena. Die Gummiringe markieren die Position der Blattläuse, bunte Punkte markieren die Stellen, an denen Blattläuse am längsten saßen, und die für die Auswertung genutzt wurden. C) Normalfarbendarstellung des Hyperspektralbildes der abgetrennten Blätter nach Beendigung des Experiments, bunte markierte Bereiche Felder zeigen die Bereiche an, die zur Auswertung der Reflektion der Blätter herangezogen wurden.

Es konnte keine lokalisierte Stressantwort detektiert werden. Weder zwischen den Einstichstellen und unbesetzten Stellen noch zwischen Blättern mit und ohne Blattlausbefall waren Unterschiede in der spektralen Reflektion (Abbildung 10) feststellbar, was sich auch in der fehlenden Clusterung bei einer Hauptkomponentenanalyse zeigte (Fig. 11).

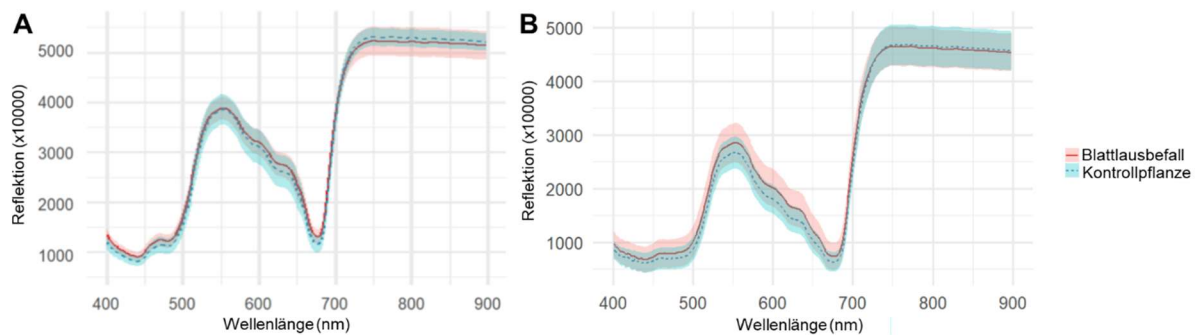


Abbildung 10: Spektrale Reflektion von A) abgetrennten Blättern und B) Positionen mit und ohne saugende Blattläuse auf Blättern intakter Salatpflanzen der Sorte Analena nach 11 Tagen mit und ohne Befall durch *Nasonovia ribisnigri*. N=4 Pflanzen pro Behandlung.

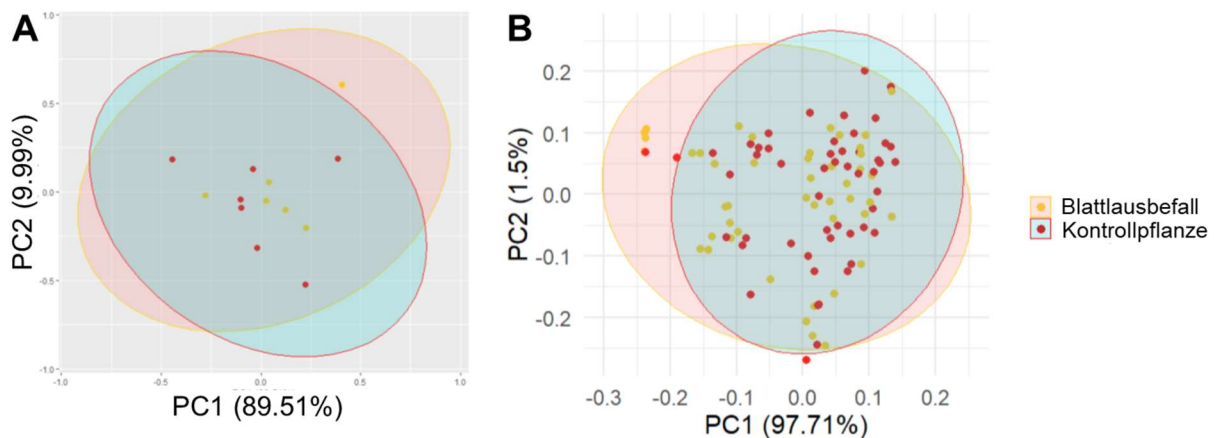


Abbildung 11: Hauptkomponentenanalyse der spektralen Reflektion A) abgetrennten Blättern und B) Positionen mit und ohne saugende Blattläuse auf Blättern intakter Salatpflanzen der Sorte Analena nach 11 Tagen mit und ohne Befall durch *Nasonovia ribisnigri*. N=4 Pflanzen pro Behandlung.

4 Diskussion

In den verschiedenen Experimenten konnte kein Einfluss von Blattlausbefall auf die spektrale Reflektion von Salatpflanzen festgestellt werden.

Dies steht im Gegensatz zu unserer Annahme, dass sich die biotische Stressantwort der Pflanzen mittels Messungen der spektralen Reflektion von Pflanzen detektieren lässt, wie dies bereits für Weizen-, Soja- und Hirsepflanzen auf der Bestandesebene gezeigt werden konnte [Alves, Macrae and Koch 2015; Elliott, Backoulou, Brewer and Giles 2015; Mirik, Ansley, Michels and Elliott 2012; Yang, Rao, Elliott, Kindler and Popham 2009]. Insbesondere aufgrund der frühen Änderung der pflanzlichen Genexpression bei Blattlausbefall und Anreicherung insektizidaler Phloembestandteile (Smith & Boyko, 2007) waren frühzeitige Veränderungen der spektralen Reflektion erwartet worden.

Im Folgenden diskutieren wir mögliche Faktoren, die die Detektion charakteristischer Veränderungen der spektralen Reflektion erschwert haben könnten.

Salatpflanzen, insbesondere die Sorte Mini-Romana, haben nur in einem sehr jungen Stadium offene liegende Blätter, anschließend formen die Blätter der Pflanze zunächst einen Trichter, bevor sich nach ca. 3 Wochen ein geschlossener Kopf entwickelt, von dem von oben betrachtet nur die äußeren Blattränder sichtbar sind [Nothmann 1976]. Diese komplexe Morphologie der Salatpflanzen führt zu starker Selbstbeschattung, was die Messung der spektralen Reflektion negativ beeinflusst und so die Detektion subtiler Veränderungen der Blattinhaltsstoffe erschwert.

Zudem haben aufgrund der trichterförmig aufrecht stehenden Blätter bzw. der Kopfbildung vor allem die Außenränder der Blätter Einfluss auf die gemessenen Spektren, wohingegen die Blattläuse vor allem im Herz und an der Unterseite der Blattbasis zu finden sind [Liu 2004; Shrestha et al. 2017]. Aus diesem Grund ist eine systemische biotische Stressreaktion der Pflanzen notwendig, um diese mittels Punktsensoren detektieren zu können.

Um zu untersuchen, ob lokale Stressreaktionen an der Einstichstelle der Blattlaus auftreten, wurden Pflanzen und Blätter aus den Laborexperimenten bildgebend untersucht. Leider haben sich bei der Anwendung klassischer Methoden der Auswertung mittels Vegetationsindices keine lokalen Veränderungen gezeigt. Hier hat sich allerdings auch gezeigt, dass die gewellte Form der Blätter zusammen mit der stark gewachsenen Cuticula [Lu et al. 2015] zu einer starken Reflektion einfallenden Lichts führen und die Messung der spektralen Reflektion beeinflussen [vgl. Holmes and Keiller 2002].

Die im Feldversuch und den Laborversuchen erreichten Befallsstadien sind als verhältnismäßig gering einzustufen, und könnten zu gering gewesen sein, um eine systemische Stressantwort der Pflanzen hervorzurufen [vgl. Yang et al. 2005]. Bei einem stärkeren Blattlausbefall sind Änderungen der Photosynthesekapazität und des Chlorophyllgehalts zu erwarten, die sich auch auf die spektrale Reflektion auswirken [Franzen et al. 2007; Rascher et al. 2010]. Jedoch ist die Schadschwelle für Blattlausbefall an Salatpflanzen extrem gering, da nicht die Beeinflussung der Pflanzenqualität, die erst bei starken, langanhaltendem Befall zu erwarten ist, sondern die bloße Anwesenheit von Blattläusen einen Ausschluss von der Vermarktung bedeuten [Morales, Diaz, Mendoza, Nebreda and Fereres 2013]. Die Vermarktung der von Herrn Schwarz produzierten Mini-Romana-Pflanzen von Landgard wird gestoppt, sobald in einer Charge auch nur ein Salatkopf mit einer Laus entdeckt wird (pers. Kommunikation mit Hr. Schwarz).

Die Anwendung von Messungen der spektralen Reflektion unter Feldbedingungen wird zudem durch weitere Einflussfaktoren stark beeinflusst, wie Pflanzenalter, Sorte, Wetterbedingungen. Dies erschwert eine praxistaugliche Anwendung, da komplexe Algorithmen notwendig wären, um die genannten Einflussfaktoren zu berücksichtigen, was das angestrebte einphasige Verfahren, d.h. die Erkennung und direkte Behandlung befallener Pflanzen, potentiell verlangsamt.

5 Fazit

In einer Reihe von Experimenten unter Feld-, Freiland-, Gewächshaus- und Laborbedingungen konnte kein Unterschied in der spektralen Reflektion von Kontroll- und Blattlausbefallenen Pflanzen festgestellt werden. Dies deutet darauf hin, dass Salatpflanzen keine optisch detektierbare systemische Stressantwort auf Blattlausbefall zeigen, d.h. dass nur marginale bzw. optisch nicht detektierbare Veränderungen der Blattinhaltsstoffe auftreten. Die Detektion von Blattlausbefall mittels Punktsensoren wird jedoch durch die Morphologie der Pflanzen sowie unter den Feldbedingungen auftretenden weiteren Einflussfaktoren erschwert. Jedoch konnten auch mittels bildgebender Verfahren keine lokale Stressreaktion der Pflanzen detektiert werden.

Als Fazit bleibt daher zu sagen, dass die frühzeitige Detektion von Blattlausbefall, d.h. der Befall durch einzelne Blattläuse, nicht anhand von Messungen der spektralen Reflektion detektiert werden kann. Der Einsatz selektiver Behandlungsmethoden von Pflanzen ist daher vielversprechender für den Einsatz von Pflanzen mit offenerer Morphologie sowie einer höheren Schadschwelle für Blattlausbefall.

Zusammenfassung

Detektion von Blattlausbefall in Salatpflanzen

Möglichkeiten der Messung spektraler Reflektion

Blattläuse sind häufig auftretende Schädlinge in Salatkulturen. Selbst ein geringer Befall wird von Konsumenten nicht toleriert und führt somit zu einem Ausschluss von der Vermarktung. Um Blattläuse im Produkt zu vermeiden, werden Salatfelder bei ersten Anzeichen von Befall mit Pflanzenschutzmitteln behandelt, um jegliche Ausbreitung von Blattläusen zu unterbinden. Der Befall mit Blattläusen ist innerhalb eines Feldes in einem frühen Befallsstadium jedoch oft sehr heterogen. Das heißt, dass nur ein kleiner Teil der mit Pflanzenschutzmitteln behandelten Pflanzen tatsächlich von Blattläusen befallen ist. Im Sinne der Präzisionslandwirtschaft könnte eine selektive Behandlung blattlausbefallener Pflanzen mit Pflanzenschutzmitteln den Pflanzenschutzmitteleinsatz reduzieren, ohne zu Ernteeinbußen zu führen. Jedoch gibt es bisher keine Detektionsmethode für blattlausbefallene Salatpflanzen. Für andere Nutzpflanzen wie Weizen, Soja und Hirse konnte bereits gezeigt werden, dass eine systemische Stressreaktion der Pflanzen auf Blattlausbefall durch Messung der spektralen Reflektion von Blättern und Pflanzen auf der Bestandsebene detektiert werden kann. Um zu untersuchen, wie sich Blattlausbefall auf die spektrale Reflektion von Salat auswirkt, haben wir eine Reihe von Experimenten unter Feld-, Freiland-, Gewächshaus- und Laborbedingungen durchgeführt, um Unterschiede in der spektralen Reflektion von Kontroll- und blattlausbefallenen Pflanzen zu identifizieren. Hierbei wurden sowohl Punktsensoren zur Erfassung der systemischen Stressreaktion von Einzelpflanzen sowie hyperspektrale Bildgebungsverfahren zur Identifikation

lokalisierter Stressreaktionen eingesetzt. Leider ließen sich keine charakteristischen Veränderungen der spektralen Reflektion unter Blattlausbefall identifizieren, anhand derer Blattlausbefall detektierbar wäre. Die Detektion der anscheinend subtilen biotischen Stressreaktion von Salatpflanzen auf Blattlausbefall mittels Punktsensoren wird durch die Kopfbildung der Pflanzen sowie weitere unter Feldbedingungen auftretende Einflussfaktoren wie Pflanzenalter, Sorte und abiotische Bedingungen erschwert. Als Fazit bleibt daher zu sagen, dass die frühzeitige Detektion von Blattlausbefall in Salat, d.h. der Befall durch einzelne Blattläuse, nicht anhand von Messungen der spektralen Reflektion detektiert werden kann. Der Einsatz von Messungen der spektralen Reflektanz zur Detektion von biotischem Stress auf Blattlausbefall ist daher vielversprechender bei Pflanzen mit offenerer Morphologie sowie einer höheren Schadschwelle für Blattlausbefall.

Summary

Detection of aphid infestations in lettuce cultivations Potential of spectral reflectance measurements

Lettuce cultures are prone to aphid infestations, but consumer tolerance for aphids in fresh lettuce is close to zero. To avoid losses of harvest due to aphids, lettuce plants are sprayed with pesticides at the first signs of aphid infestation. Broadcast spraying of pesticides is costly, pollutes the environment and may lead to pesticide residues in lettuce. Typically, early aphid infestation of lettuce cultures is not uniform, but shows a heterogeneous distribution. An early identification of aphid-infested lettuce plants prior to widespread infestation of whole fields would allow for selective spraying, which reduces the use of pesticides without yield losses. Although aphids have been shown to trigger physiological adjustments in plants, optical detection methods for aphid-infested lettuce plants based on their biotic stress response have yet to be developed. For other crop plants including wheat, soy beans and sorghum, an effect of the systemic stress response to aphid infestation on plants' spectral reflectance has been shown. To investigate the effects of aphid infestation on the spectral reflectance of lettuce plants, we conducted several experiments under field, garden, green house and laboratory conditions to compare the spectral reflectance of plants with and without aphid infestation. We used point sensors to detect the systemic stress response of individual plants as well as hyperspectral imaging to reveal localized stress responses on leaves with aphids. Unfortunately, we were unable to detect characteristic changes in the spectral reflectance of lettuce plants upon aphid infestation that would allow for a detection of aphid-infested plants in the field. The detection of subtle changes in spectral reflectance due to systematic stress responses is hampered by the head formation of lettuce plants as well as occurrence of additional factors influencing spectral reflectance in the field, such as plant age, cultivar and abiotic conditions. We therefore conclude that the early detection of aphid infestation in lettuce by spectral reflectance measurements is not possible. Use of spectral reflectance measurements to detect aphid infestation is more likely to be successfully applied to plants with a open morphology and a higher damage threshold for aphid infestation.

Literatur

1. ALVES, T.M., MACRAE, I.V. AND KOCH, R.L. Soybean Aphid (Hemiptera: Aphididae) Affects Soybean Spectral Reflectance. *Journal of Economic Entomology*, 2015, vol. 108, no. 6, p. 2655-2664.
2. BARBER, M.D., MOORES, G.D., TATCHELL, G.M., VICE, W.E. AND DENHOLM, I. Insecticide resistance in the currant-lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae) in the UK. *Bulletin of Entomological Research*, 1999, vol. 89, no. 1, p. 17-23.
3. BURD, J.D. AND ELLIOTT, N.C. Changes in Chlorophyll a Fluorescence Induction Kinetics in Cereals Infested with Russian Wheat Aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*, 1996, vol. 89, no. 5, p. 1332-1337.
4. CHEN, T., ZENG, R., GUO, W., HOU, X., LAN, Y. AND ZHANG, L. Detection of Stress in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Caused by Aphids Using Leaf Level Hyperspectral Measurements. *Sensors*, 2018, vol. 18, no. 9, p. 2798.
5. DIAZ, B.M. AND FERERES, A. Life Table and Population Parameters of *Nasonovia ribisnigri* (Homoptera: Aphididae) at Different Constant Temperatures. *Environmental Entomology*, 2005, vol. 34, no. 3, p. 527-534.
6. ELLIOTT, N.C., BACKOULOU, G.F., BREWER, M.J. AND GILES, K.L. NDVI to Detect Sugarcane Aphid Injury to Grain Sorghum. *Journal of Economic Entomology*, 2015, vol. 108, no. 3, p. 1452-1455.
7. FRANZEN, L.D., GUTSCHE, A.R., HENG-MOSS, T.M., HIGLEY, L.G., SARATH, G. AND BURD, J.D. Physiological and Biochemical Responses of Resistant and Susceptible Wheat to Injury by Russian Wheat Aphid. *Journal of Economic Entomology*, 2007/10/01 2007, vol. 100, no. 5, p. 1692-1703.
8. GOGGIN, F.L. Plant-aphid interactions: molecular and ecological perspectives. *Current Opinion in Plant Biology*, 2007/08/01/ 2007, vol. 10, no. 4, p. 399-408.
9. HENG-MOSS, T.M., NI, X., MACEDO, T., MARKWELL, J.P., BAXENDALE, F.P., QUISENBERRY, S.S. AND TOLMAY, V. Comparison of chlorophyll and carotenoid concentrations among Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae)-infested wheat isolines. *J Econ Entomol*, Apr 2003, vol. 96, no. 2, p. 475-481.
10. HOLMES, M.G. AND KEILLER, D.R. Effects of pubescence and waxes on the reflectance of leaves in the ultraviolet and photosynthetic wavebands: a comparison of a range of species. *Plant, Cell & Environment*, 2002, vol. 25, no. 1, p. 85-93.
11. KÖKSAL, E.S. Hyperspectral reflectance data processing through cluster and principal component analysis for estimating irrigation and yield related indicators. *Agricultural Water Management*, 2011/05/30/ 2011, vol. 98, no. 8, p. 1317-1328.
12. LIU, Y.B. Distribution and population development of *Nasonovia ribisnigri* (Homoptera: Aphididae) in iceberg lettuce. *J Econ Entomol*, 2004, vol. 97, no. 3, p. 883-890.
13. LU, L., KU, K.-M., PALMA-SALGADO, S.P., STORM, A.P., FENG, H., JUVIK, J.A. AND NGUYEN, T.H. Influence of Epicuticular Physicochemical Properties on Porcine Rotavirus Adsorption to 24 Leafy Green Vegetables and Tomatoes. *PLOS ONE*, 2015, vol. 10, no. 7, p. e0132841.
14. MACKENZIE, J.R. AND VERNON, R.S. Sampling for distribution of the lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Homoptera: Aphididae), in fields and within heads. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, 1988, no. No. 85, p. 10-14.
15. MCCREIGHT, J.D. Potential Sources of Genetic Resistance in *Lactuca* spp. to the Lettuce Aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Mosely) (Homoptera: Aphididae). *HortScience*, August 1, 2008 2008, vol. 43, no. 5, p. 1355-1358.
16. MCCREIGHT, J.D. AND LIU, Y.-B. Resistance to Lettuce Aphid (*Nasonovia ribisnigri*) Biotype 0 in Wild Lettuce Accessions PI 491093 and PI 274378. *HortScience*, February 1, 2012 2012, vol. 47, no. 2, p. 179-184.

17. MIRIK, M., ANSLEY, R.J., MICHELS, G.J. AND ELLIOTT, N.C. Spectral vegetation indices selected for quantifying Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) feeding damage in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Precision Agriculture*, August 01 2012, vol. 13, no. 4, p. 501-516.
18. MIRIK, M., MICHELS, G.J., KASSYMZHANOVA-MIRIK, S. AND ELLIOTT, N.C. Reflectance characteristics of Russian wheat aphid (Hemiptera: Aphididae) stress and abundance in winter wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2007/07/01/ 2007, vol. 57, no. 2, p. 123-134.
19. MORALES, I., DIAZ, B.M., MENDOZA, A.H.D., NEBREDA, M. AND FERERES, A. The Development of an Economic Threshold for *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae) on Lettuce in Central Spain. *Journal of Economic Entomology*, 2013/04/01 2013, vol. 106, no. 2, p. 891-898.
20. NOTHAMANN, J. Morphology of Head Formation of Cos Lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Romana): 1. The Process of Hearting1. *Annals of Botany*, 1976, vol. 40, no. 5, p. 1067-1072.
21. R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. [Version for R 2.12.1. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2014.
22. RASCHER, U., DAMM, A., VAN DER LINDEN, S., OKUJENI, A., PIERUSCHKA, R., SCHICKLING, A. AND HOSTERT, P. Sensing of Photosynthetic Activity of Crops. In E.-C. OERKE, R. GERHARDS, G. MENZ AND R.A. SIKORA. *Precision Crop Protection - the Challenge and Use of Heterogeneity*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010, p. 87-99.
23. RIEDELL, W.E. AND BLACKMER, T.M. Leaf Reflectance Spectra of Cereal Aphid-Damaged Wheat. *Crop Science*, 1999, vol. 39, no. 6, p. 1835-1840.
24. SHRESTHA, G., SKOVGÅRD, H., REDDY, G.V.P., STEENBERG, T. AND ENKEGAARD, A. Role of the aphid species and their feeding locations in parasitization behavior of *Aphelinus abdominalis*, a parasitoid of the lettuce aphid *Nasonovia ribisnigri*. *PLOS ONE*, 2017, vol. 12, no. 8, p. e0184080.
25. SMITH, C.M. AND BOYKO, E.V. The molecular bases of plant resistance and defense responses to aphid feeding: current status. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2007, vol. 122, no. 1, p. 1-16.
26. SMITH, C.M. AND CHUANG, W.-P. Plant resistance to aphid feeding: behavioral, physiological, genetic and molecular cues regulate aphid host selection and feeding. *Pest Management Science*, 2014, vol. 70, no. 4, p. 528-540.
27. SORENSEN, J.T. Chapter 8 - Aphids. In V.H. RESH AND R.T. CARDÉ. *Encyclopedia of Insects (Second Edition)*. San Diego: Academic Press, 2009, p. 27-31.
28. TEN BROEKE, C.J.M., DICKE, M. AND VAN LOON, J.J.A. Feeding behaviour and performance of different populations of the black currant-lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri*, on resistant and susceptible lettuce. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2013, vol. 148, no. 2, p. 130-141.
29. VAN DER AREND, A. The possibility of *Nasonovia ribisnigri* resistance breaking biotype development due to plant host resistance: a literature study. *Eucarpia leafy vegetables 2003 : proceedings of the Eucarpia meeting on leafy vegetables genetics and breeding, Noordwijkerhout, The Netherlands, 19-21 March 2003.*, 2003, p. 69-74.
30. WALLEY, P.G., HOUGH, G., MOORE, J.D., CARDER, J., ELLIOTT, M., MEAD, A., JONES, J., TEAKLE, G., BARKER, G., BUCHANAN-WOLLASTON, V., HAND, P., PINK, D. AND COLLIER, R. Towards new sources of resistance to the currant-lettuce aphid (*Nasonovia ribisnigri*). *Molecular Breeding*, 2017/01/03 2017, vol. 37, no. 1, p. 4.
31. YANG, Z., RAO, M.N., ELLIOTT, N.C., KINDLER, S.D. AND POPHAM, T.W. Using ground-based multispectral radiometry to detect stress in wheat caused by greenbug (Homoptera: Aphididae) infestation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2005/05/01/ 2005, vol. 47, no. 2, p. 121-135.
32. YANG, Z., RAO, M.N., ELLIOTT, N.C., KINDLER, S.D. AND POPHAM, T.W. Differentiating stress induced by greenbugs and Russian wheat aphids in wheat using remote sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*, 6// 2009, vol. 67, no. 1-2, p. 64-70.

Danksagung

Das Projekt wird durch das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft „Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-AGRI) gefördert. Die Autoren danken den Projektpartnern der OG Präzisionsgartenbau, insbesondere Herrn Markus Schwarz, sowie Tobias Tholen und Anna Pfeiffenschneider für ihre Hilfe bei der experimentellen Durchführung.

Anschrift der Autoren

Laura Verena Junker-Frohn, PhD

E-Mail: L.Junker-Frohn@fz-juelich.de

Dr. Bastian Siegmann

E-Mail: B.Siegmann@fz-juelich.de

Michael Quarten

E-Mail: M.Quarten@fz-juelich.de

Tobias Tholen

E-Mail: T.Tholen@fz-juelich.de

Prof. Dr. Uwe Rascher

E-Mail: U.Rascher@fz-juelich.de

Dr. Onno Muller

E-Mail: O.Muller@fz-juelich.de

Alle:

Forschungszentrum Jülich GmbH

Institut für Bio- und Geowissenschaften

Pflanzenwissenschaften (IBG-2)

Wilhelm-Johnen-Str. 0

52428 Jülich

Hannah Jaenicke,

E-Mail: h.jaenicke@uni-bonn.de

Center for Development Research (ZEF)

ZEF C: Department of Ecology and Natural Resources Management

Universität Bonn

Genscherallee 3

53113 Bonn

