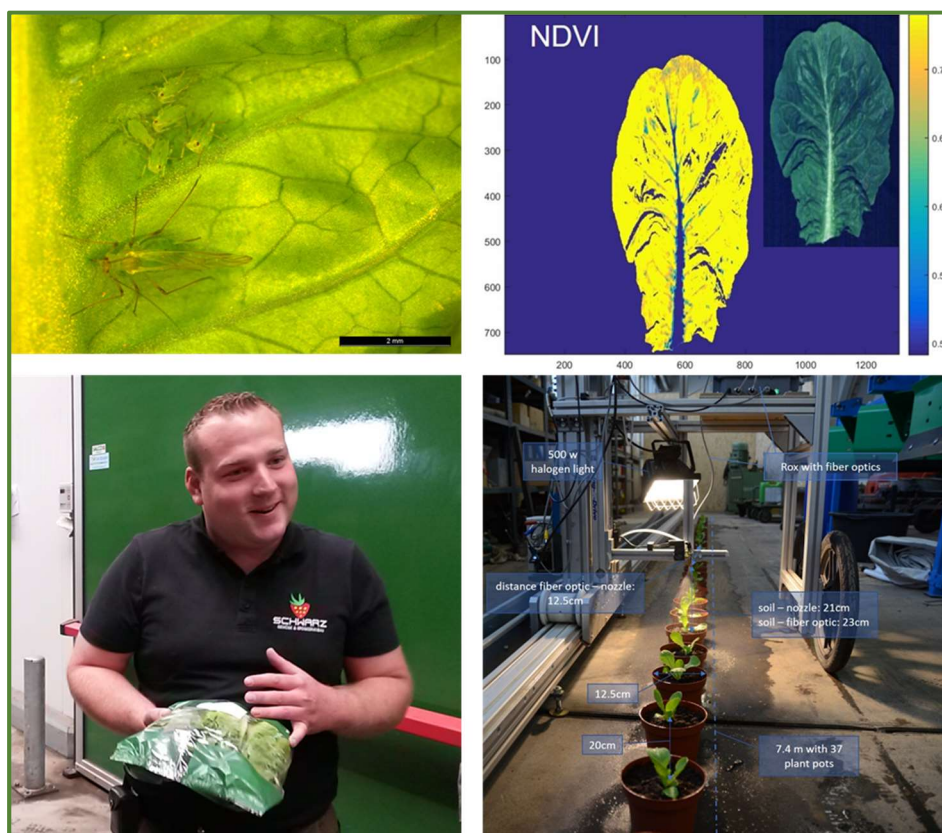




Abschlussbericht  
der  
Operationellen Gruppe „Präzisionsgartenbau“  
mit dem  
Innovationsprojekt „Optimierung des Anbaus von  
Pflücksalaten mittels Präzisionserkennung und –applikation  
von Pflanzenschutzmitteln“



Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete unter Beteiligung des Landes Nordrhein-Westfalen.

Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete unter Beteiligung des Landes Nordrhein-Westfalen.



**Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Alle Fotos © OG Präzisionsgartenbau

Lead Partner:

Universität Bonn

Kompetenzzentrum Gartenbau

Campus Klein-Altendorf 2

53359 Rheinbach

© 2021

# Inhalt

A Kurzdarstellung (in Alltagssprache).....	1
1 Ausgangssituation und Bedarf.....	1
2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung .....	1
3 Mitglieder der OG.....	2
4 Projektgebiet .....	2
5 Projektlaufzeit und – dauer .....	2
6 Budget .....	2
7 Ablauf des Vorhabens .....	2
8 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	4
B Eingehende Darstellung .....	5
1 Verwendung der Zuwendung.....	5
2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn .....	5
2.1 Ausgangssituation .....	5
2.2 Projektaufgabenstellung .....	6
3 Ergebnisse der OG in Bezug auf.....	7
3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet (ggf. mit Beispielen, wie die Zusammenarbeit sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)?.....	7
3.2 Was war der besondere Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projekts?.....	8
3.3 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen? .....	8
4 Ergebnisse des Innovationsprojektes.....	9
4.1 Zielerreichung (wurde eine Innovation im Projekt generiert?).....	9
4.2 Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen .....	9
4.3 Projektverlauf (ggf. mit Fotodokumentation).....	10
4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen .....	17
4.5 Nebenergebnisse.....	17
4.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben .....	18
5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis.....	18
6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse .....	18
7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit .....	18
8 Wo relevant: Nutzung Innovationsdienstleister (IDL) .....	19
9 Kommunikations- und Disseminationskonzept.....	19
10 Fazit .....	25
C ANHANG .....	27

## A Kurzdarstellung (in Alltagssprache)

### 1 Ausgangssituation und Bedarf

NRW ist eins der Bundesländer in dem Gemüseanbau, und hier speziell der Salatanbau, eine große Rolle spielt. Die hohe Bevölkerungsdichte führt zu einer sehr starken regionalen Vermarktung mit steigender Nachfrage an frischen Produkten. Dies spiegeln die zunehmenden Anbauflächen verschiedener Salate in NRW zwischen 2010 und 2015 wider: Rucola von 70 auf 122 ha, Feldsalat von 73 auf 93 ha, andere Salate von 1.715 auf 1.961 ha.

Dem intensiven Anbau (speziell von Salaten) stehen Schaderreger wie z.B. saugende und beißende Insekten gegenüber, die die Erträge gefährden. Die Toleranzschwelle des Einzelhandels für z.B. Blattläuse in Salat liegt bei nahezu Null, d.h. die Gefahr des teilweisen oder sogar völligen Verlusts der Ernte ist groß. Pflanzenschutzmaßnahmen (PSM) beanspruchen einen großen Anteil der Betriebsausgaben und belasten sowohl die Produktion als auch die Umwelt, da sie bisher nur flächig ausgebracht werden können. Dies ist besonders bei den kurzen Kulturzeiten der Salate ein großes Problem, für das das hier vorgestellte Projekt einen Lösungsansatz suchen will.

Bisher werden PSM im Feldgemüsebau im Wesentlichen durch Spritzen unterschiedlicher Arbeitsbreite und verschiedener Düsentchnik ausgebracht, bei denen PSM flächig oder reihig sowohl auf die Kulturpflanzen als auch auf dem Boden gleichverteilt appliziert werden, unabhängig vom tatsächlichen oft kleinräumigen Befallszustand.

Während für die Unkrautbekämpfung verschiedene mechanische und thermische Verfahren als Alternative zur chemischen Bekämpfung entwickelt wurden, bei denen optische Erkennungssysteme zur Erkennung der Beikräuter in den Reihen der Kulturpflanzen eingesetzt werden können, steht bislang kein befriedigendes System für die Bekämpfung von Schadinsekten auf den Kulturpflanzen zur Verfügung. Ein weiteres Problem ist, dass die Bekämpfung der verschiedenen Schadinsekten frühzeitig, spätestens beim Erreichen einer geringen Schadschwelle erfolgen muss, da andernfalls eine sehr schnelle Ausbreitung zu befürchten ist. Eine effektive und effiziente Bekämpfung der Schadinsekten muss also früher und präziser als bei der Unkrautbekämpfung erfolgen. Vorhandene Methodik und Technik muss daher basierend auf den bisherigen Kenntnissen optimiert und angepasst werden.

### 2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Ziel war die Optimierung von Anbaumaßnahmen in der Produktion von Blattsalaten. Dabei sollte die Ausbringungsmenge von PSM reduziert werden (= Senkung der Betriebsausgaben) und dadurch auch eine Reduktion von Rückständen in Pflanze und Boden angestrebt werden (= Ressourcenschutz). Insgesamt wird dadurch ein Beitrag zur effizienten Ertragsicherung geleistet.

Es war angedacht, ein zweistufiges Verfahren zu entwickeln, in dem 1. die Identifikation von befallenen Pflanzen durch ein optisches Erkennungsverfahren (z.B. bildgebenden Verfahren im Infrarot oder thermischen Bereich) realisiert wird und 2. ein dazu passendes Maßnahmenpaket eingesetzt wird, d.h. ein Spritzverfahren, in dem lediglich die befallenen Pflanzen (und einige Umgebungspflanzen) gespritzt werden.

Die Reduzierung der Aufwandmenge an PSM sollte durch eine dem tatsächlichen Befall angepasste Applikation erreicht werden.

Das Projekt sollte exemplarisch an zwei unterschiedlichen Salatkulturen durchgeführt werden, die anhand der folgenden Kriterien ausgewählt werden: Anteil der Produktion in NRW, Sensibilität auf Blattlausbefall sowie Praktikabilität in Bezug auf die Bemessung mit den vorhandenen Instrumenten (z.B. Blattform, -stellung, -farbe), so dass die Methode zunächst als „Proof of concept“ kalibrieren werden kann.

### 3 Mitglieder der OG

- Universität Bonn: Kompetenzzentrum Gartenbau (*KoGa*, Leadpartner) und Institut für Landtechnik (*ILT*)
- Landgard GmbH & Co. KG (*Landgard*)
- Betrieb Konrad und Markus Schwarz, Bornheim (*Betrieb Schwarz*)
- Forschungszentrum Jülich, Institut für Bio- und Geowissenschaften-II (*FZJ*)

### 4 Projektgebiet

Bornheim, Rheinland, NRW

### 5 Projektlaufzeit und –dauer

1.4.2017 – 31.12.2020 (42 Monate)

### 6 Budget

Die Zuwendung belief sich auf € 717.171,32.

### 7 Ablauf des Vorhabens

**Abbildung 1** zeigt die Entwicklung und den Verlauf des Projekts und **Abbildung 2** zeigt den bei Projektende geltenden Ablaufplan des Projekts.

Am 1. April 2017 begann das Projekt, die Stellen für die Projektmitarbeiter/innen wurden ausgeschrieben und sowohl bei FZJ als auch bei KoGa und ILT bis zum 1.6.2020 besetzt. Das Projekt-Kick-Off Treffen fand am 11. April in den Räumlichkeiten der Landgard in Bornheim statt.

Zunächst wurden in den beiden Hauptarbeitspaketen (AP) 1: „Entwicklung von optischen Erkennungsmethoden“ und 2: „Entwicklung eines Applikationsverfahrens“ unabhängig voneinander an Lösungsansätzen gearbeitet. Dabei wurde in AP 1 in mehrere Versuchsreihen im Gewächshaus und auf dem Partnerbetrieb Blattlausbefall an verschiedenen Salatsorten stimuliert und die Stressreaktion der Pflanzen mit Hilfe eines Hyperspektralsensors detektiert. Die spektrale Reflektion kann die physiologische Stressantwort von Pflanzen bei Krankheits- oder Schädlingsbefall aufzeigen.

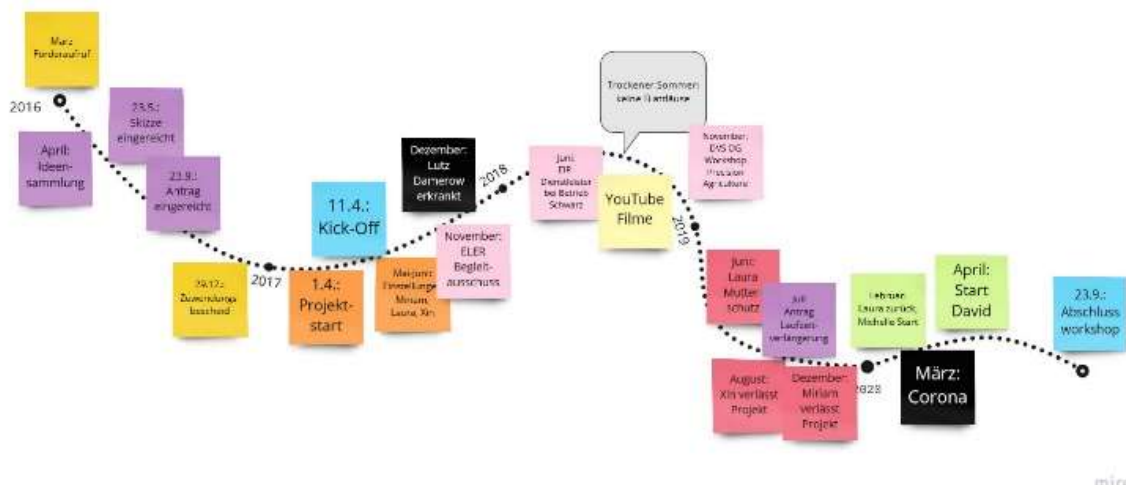


Abbildung A1: Projektverlauf.

Itd. Nr.	Bezeichnung des AP	Dauer (Monate)	Ph1		Phase 2			Phase 3			Phase 4			Phase 5							
			2017		2018			2019			2020										
			Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4				
1	Entwicklung von optischen Erkennungsmethoden	38				M1.1a	M1.1b	M1.1c								M1.3					
2	Entwicklungs eines Applikationsverfahrens	29				M2.1						M2.2									
3	Zusammenführen der Komponenten	30	M3.1															M3.2			
4	Praxistests	32				M4.1a	M4.1b									M4.2		M4.3			
5	Qualitätsprüfung	33														M5.1					
6	Koordination	45	M6.1						M6.2									M6.3a	M6.3b	M6.4	M6.5

**Liste der Meilensteine:**

- M1.1: Erkennung der Effekte von Blattlausbefall auf Salatkulturen mit nicht-invasiven optischen Sensoren ist möglich (12 Monate nach Projektbeginn)
- M1.2: Auswahl von geeigneten Sensoren für die benutzerfreundliche Kamera (Monat 12)
- M1.3: Benutzerfreundliche Kamera kann Effekte von biotischem bzw. abiotischem Stress auf Salatkulturen erkennen (Monat 38)
- M2.1: Erste Testreihe zur Zerstäubertechnik durchgeführt (Monat 12)
- M2.2: Auswahl einer geeigneten Zerstäubertechnik abgeschlossen (Monat 29)
- M3.1: Auswahl eines geeigneten Applikationssystems auf dem Kick-Off Workshop (Monat 3)
- M3.2: Vorführung eines benutzerfreundlichen Systems zu Projektende in digitaler Form (Monat 42, s. M 6.4)
- M4.1a: Erste Testreihe mit Einzelkomponenten aus AP1 auf Praxisbetrieb durchgeführt (Monat 10)
- M4.1b: Erste Testreihe mit Einzelkomponenten aus AP2 unter Laborbedingungen durchgeführt, um hochgradige Feldvariabilität, die die Applikationsgenauigkeit kompromittiert, auszuschließen (Monat 10)
- M4.2: Erste Testreihe der zusammengeführten Komponenten wird im Testlabor unter feldnahen Bedingungen durchgeführt (Monat 38)
- M4.3: Vorführung der Resultate der Arbeit an der Zusammenführung der Komponenten auf Praxisbetrieb in digitaler Form (Monat 40)
- M5.1: Qualitätsprüfungen nach Messungen mit den zusammengeführten Komponenten aus AP 3 auf Praxisbetrieb durchgeführt (Monat 39)
- M6.1: Kickoff-Treffen der OG Mitglieder, detaillierter Workplan erarbeitet (Monat 3)
- M6.2: Interimsergebnisse aus AP1 und AP2 werden auf einer öffentlichen Veranstaltung vorgestellt (Monat 18)
- M6.3: Digitale Veranstaltung zur Vorstellung des kombinierten Konzepts (AP3) (kombiniert mit M6.4, Monat 42)
- M6.4: Abschlussveranstaltung ggf. in digitaler Form (Monat 42)
- M6.5: Abschlussbericht/Abrechnung (Monat 45)

Abbildung A2: Gantt-Chart und Meilensteine des Projekts bei Projektende.

Es zeigte sich jedoch, dass die Stressantwort der Pflanzen zu gering ausfiel und Blattlausbefall weder auf lokaler noch auf systemischer Ebene zu messbaren Veränderungen der spektralen Reflektion von Salatpflanzen führte. Die Versuche wurden auch dadurch erschwert, dass im heißen Sommer 2018 im Freiland kaum nennenswerter Blattlausbefall festgestellt wurde.

In AP 2 wurde im Institut für Landtechnik der Universität Bonn ein Versuchstand entwickelt und aufgebaut, mit dessen Hilfe verschiedene Spritzdüsen auf ihre Eignung für ein Präzisions-spritzverfahren getestet wurden. Es ließ sich abschließend eine Flachstrahldüse als besonders geeignet für die weiteren Arbeitsschritte identifizieren.

Die Kombination des Sensors mit dem Spritzverfahren (AP 3) ließ sich zunächst nicht realisieren. Durch den Ausfall der Mitarbeiterin in AP 1 sowie den Weggang des Mitarbeiters in AP 2 wurden die Arbeiten am Kombinationsgerät verzögert. Die Spritzung von Einzelpflanzen nach Erkennung durch

den Hyperspektralsensor wurde dann im letzten Projektabschnitt unter Laborbedingungen am Prüfstand der Uni Bonn erfolgreich durchgeführt. Die geplanten Versuche mit dem Kombigerät unter Feldbedingungen (AP 4) sowie die daran anschließenden Qualitätsprüfungen (AP 5) konnten nicht mehr durchgeführt werden.

Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit wurde während der gesamten Projektlaufzeit durchgeführt.

## 8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das entwickelte Verfahren zeigt, dass der Einsatz selektiver Verfahren im Gartenbau möglich ist, jedoch sind die Einsatzmöglichkeiten bislang begrenzt.

- Aufgrund der sehr niedrigen Schadschwelle von Blattläusen an Salatpflanzen kann unter realistischen Bedingungen mit dem Hyperspektralsensor keine biotische Stressantwort detektiert werden. Faktoren wie Pflanzenalter, -sorte, und Umweltbedingungen haben einen vergleichsweise großen Einfluss auf die spektrale Reflektion, so dass das große „Grundrauschen“ die Erkennung einer möglichen Stressantwort erschwert.
- Beim Vergleich verschiedener Düsentypen zeigte sich, dass die selektive Behandlung von Einzelpflanzen unter Laborbedingungen möglich ist.
- Durch die Optimierung der Messparameter konnte der Hyperspektralsensor in das Spritzsystem so integriert werden, dass Einzelpflanzen innerhalb einer Reihe behandelt werden konnten. Allerdings liegt die Erkennungs- und Auslösegeschwindigkeit nur bei sehr niedrigen Fahrgeschwindigkeiten in einem zufriedenstellenden Bereich. Bei größeren, sich überlappenden Pflanzen konnte der Sensor Einzelpflanzen nicht zufriedenstellend erkennen. Ein Einsatz im Feld erscheint bei derzeitigem Stand der Entwicklung nur bei Kulturen mit einem großen Pflanzabstand, wie z.B. Kohlgemüse, realisierbar.
- Die Entkopplung von Detektion und Applikation, z.B. durch den Einsatz drohnenbasierter Systeme, könnte möglicherweise auch datenintensivere Detektionsmethoden zulassen.



## B Eingehende Darstellung

### 1 Verwendung der Zuwendung

*d.h. Verwendung im Einzelnen (inklusive Auflistung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises) mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele und möglicher weiterer Verwendung von Investitionsgütern*

Die Ausgaben der OG beliefen sich auf ca. € 136.000.

Die Ausgaben des IP verteilten sich wie folgt: Personal € 420.700, Aufwandsentschädigungen € 20.000, Material und Reisekosten: € 55.000. Es handelt sich hierbei um vorläufige Zahlen.

Es wurden keine Investitionsgüter beschafft.

### 2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

#### 2.1 Ausgangssituation

NRW ist eins der Bundesländer in dem Gemüseanbau, und hier speziell der Salatanbau, eine große Rolle spielt. Die hohe Bevölkerungsdichte führt zu einer sehr starken regionalen Vermarktung mit steigender Nachfrage an frischen Produkten. Dies spiegeln die zunehmenden Anbauflächen verschiedener Salate in NRW zwischen 2010 und 2015 wider: Rucola von 70 auf 122 ha, Feldsalat von 73 auf 93 ha, andere Salate von 1.715 auf 1.961 ha.

Dem intensiven Anbau (speziell von Salaten) stehen Schaderreger wie z.B. saugende und beißende Insekten gegenüber, die die Erträge gefährden. Die Toleranzschwelle des Einzelhandels für z.B. Blattläuse in Salat liegt bei nahezu Null, d.h. die Gefahr des teilweisen oder sogar völligen Verlusts der Ernte ist groß. Pflanzenschutzmaßnahmen (PSM) beanspruchen einen großen Anteil der Betriebsausgaben und belasten sowohl die Produktion als auch die Umwelt, da sie bisher nur flächig ausgebracht werden können. Dies ist besonders bei den kurzen Kulturzeiten der Salate ein großes Problem, für das das hier vorgestellte Projekt einen Lösungsansatz suchen will.

Bisher werden PSM im Feldgemüsebau im Wesentlichen durch Spritzen unterschiedlicher Arbeitsbreite und verschiedener Düsenteknik ausgebracht, bei denen PSM flächig oder reihig sowohl auf die Kulturpflanzen als auch auf dem Boden gleichverteilt appliziert werden, unabhängig vom tatsächlichen oft kleinräumigen Befallszustand.

Während für die Unkrautbekämpfung verschiedene mechanische und thermische Verfahren als Alternative zur chemischen Bekämpfung entwickelt wurden, bei denen optische Erkennungssysteme zur Erkennung der Beikräuter in den Reihen der Kulturpflanzen eingesetzt werden können, steht bislang kein befriedigendes System für die Bekämpfung von Schadinsekten auf den Kulturpflanzen zur Verfügung. Ein weiteres Problem ist, dass die Bekämpfung der verschiedenen Schadinsekten frühzeitig, spätestens beim Erreichen einer geringen Schadschwelle erfolgen muss, da andernfalls eine sehr schnelle Ausbreitung zu befürchten ist. Eine effektive und effiziente Bekämpfung der Schadinsekten muss also früher und präziser als bei der Unkrautbekämpfung erfolgen. Vorhandene Methodik und Technik muss daher basierend auf den bisherigen Kenntnissen optimiert und angepasst werden.

Einen Überblick über die Kultur von Romanasalat bietet die Zusammenstellung von M. Kremers (2020). (s. Anhang 1)

## 2.2 Projektaufgabenstellung

### **Beitrag des Vorhabens zur Unterstützung einer umweltgerechten Entwicklung sowie Nachhaltigkeit im Gartenbau**

Viele Gemüsekulturen wie z.B. Salate stehen bereits nach kurzer Kulturdauer zur Ernte an (5-8 Wochen). Innerhalb dieser kurzen Anbaudauer unterliegen die Produkte häufig Einflüssen von Schaderregern, die zu deutlichen Ertragsverlusten bis hin zu Ertragsausfällen führen können. Um den Ertrag zu sichern, werden nach guter agrarwissenschaftlicher Praxis Pflanzenschutzmittel eingesetzt. Um Resistenzen zu vermeiden, stehen verschiedene Präparate bzw. Wirkstoffe zur Verfügung. Pflanzenschutzmittel mit insektizider Wirkung können jedoch auch negative Auswirkungen auf das Vorkommen bestäubender Insekten haben und damit unsere Umwelt belasten.

Mit einem punktuellen und schadspezifischen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln kann somit der Gesamteinsatz chemischer Wirkstoffe minimiert, bestäubende Insekten aktiv geschont und der Ertrag gleichzeitig erhöht werden. Diese rein ökologischen Parameter führen darüber hinaus auch zu einer ökonomischen Optimierung des Salatanbaus und einer Reduzierung von Lebensmittelabfällen durch eine erhöhte Abernte.

### **Beitrag des Vorhabens zu einer Stärkung der Wertschöpfungsketten sowie der Wettbewerbsfähigkeit des Gartenbaus in NRW**

Im deutschen Erwerbsgartenbau nimmt der Gemüseanbau die Sparte mit der wichtigsten Bruttowertschöpfung ein. Auf rund 1/3 der Anbaufläche werden Blatt- und Stängelgemüse kultiviert. Alleine in den letzten 10 Jahren stieg die Anbaufläche der Salatkulturen um rund 20% an. NRW nimmt hier eine führende Rolle ein und bedient die hohe Bevölkerung in den Ballungsgebieten mit frischen, regionalen Produkten.

Den gesteigerten Qualitäts- und Quantitätsansprüchen des Verbrauchers stehen die Klimabedingungen und das verstärkte Auftreten von Schaderregern mit immensen Auswirkungen auf die Ertragssicherheit gegenüber. Aktuell betragen die Abernteraten bei Salaten durchschnittlich 85% der gepflanzten bzw. gesäten Kulturen. Durch eine spezifische chemische Einzelpflanzenbehandlung soll trotz reduziertem Pflanzenschutzmitteleinsatz der Ertrag gesichert und bestenfalls gesteigert werden. Die Anbauoptimierungen sind notwendig, um künftig den in NRW ansässigen, regionalen Erwerbsgartenbau unter Umweltschutzaspekten zu sichern.

Ziele einer punktuellen Pflanzenschutzbehandlung nur einzelner, befallener Pflanzen sind somit eine deutliche Reduktion der gesamten Aufwandmenge der Pflanzenschutzmittel sowie eine Minimierung der Betriebsausgaben bei gleichzeitiger Ertragssicherung und Erhöhung des Umweltschutzes.

### **Beitrag zum Transfer von Wissen und Know-How zum Nutzen der Praxis**

Innerhalb des KoGa-Verbundes finden jährlich Veranstaltungen, Seminare und Feldtage statt, die für einen Ergebnistransfer dieses Vorhabens genutzt werden. Diese zielen weitgehend auf die Praktiker, schließen aber auch die breite Öffentlichkeit ein (z.B. „Tag der Offenen Tür“ des Campus Klein-Altendorf mit über 1,000 Besuchern, „Tag der Neugier“ am FZJ mit über 20,000 Besuchern).

KoGa wird im Rahmen dieses Vorhabens speziell für Gemüseproduzenten in NRW und Rheinland-Pfalz jährlich Seminare und Vorführungen auf ausgewählten Landgard-Mitgliedsbetrieben anbieten

und im letzten Projektjahr einen Prototyp des Geräts auf der Grünen Woche in Berlin auch einem internationalen Publikum vorstellen.

Der Betrieb K. Schwarz wird durch Vorführungen des Versuchsmodells zu Kollegen in der Region wesentlich zum Wissenstransfer in die Praxis beitragen.

Schriftliches Informationsmaterial wird durch eine Broschüre bzw. ein Faltblatt zur Verfügung gestellt. Die wissenschaftlichen Ergebnisse werden in der Fachpresse insbesondere in „Open Access“ Journalen einem breiten Fachpublikum, auch über die Grenzen NRWs bzw. Deutschlands hinaus, zugänglich gemacht werden.

Des Weiteren bietet sich eine Vorstellung des Verfahrens beim Feldtag Gemüseanbau der LWK NRW an, der in mehrjährigem Abstand an verschiedenen Standorten durchgeführt wird.

### 3 Ergebnisse der OG in Bezug auf

#### 3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet (ggf. mit Beispielen, wie die Zusammenarbeit sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)?

Das Kompetenzzentrum Gartenbau (KoGa) ist ein Verbund der Universität Bonn, des Dienstleistungszentrums Ländlicher Raum, Rheinland-Pfalz, des Forschungszentrums Jülich und der Landwirtschaftskammer NRW. Fokus der Zusammenarbeit ist der schnelle Austausch zwischen Forschung und Praxis unter den Themenbereichen „Adaptationsstrategien an sich ändernde Klimabedingungen“, „Mechanisierung von Prozessen“ sowie „Optimierung der Ressourceneffizienz und umweltschonender Verfahren“. Das Thema für das vorliegende Projekt wurde aus der Praxis an den KoGa-Verbund herangetragen und die Partner für die Operationelle Gruppe Präzisionsgartenbau fanden sich aus dem Kreis der am KoGa beteiligten Einrichtungen mit diesen neuen Praxispartnern zusammen.

Während der Projektlaufzeit fand eine enge Abstimmung der Partner in Bezug auf geplante Aktivitäten im Rahmen von zweimal jährlichen Projekttreffen statt. Diese fanden im Wechsel an den verschiedenen Standorten statt: Bornheim: Landgard bzw. Betrieb Schwarz, Jülich: FZJ, Bonn: ILT. Außerdem wurde der Kontakt zwischen den OG-Partnern per Telefon und Email gepflegt. Wegen der Kontaktbeschränkungen im Jahr 2020 wurde verstärkt online kommuniziert, auch das Abschlusstreffen fand im digitalen Raum statt.

Insgesamt war der Austausch zwischen den Partnern konstruktiv. Allerdings war die Kommunikation mit dem Praxisbetrieb – vermutlich aufgrund von anderer Prioritätensetzung – zuweilen schwierig. Dies führte auch dazu, dass wichtige Datensätze nicht einsehbar waren. Der Partner Landgard nahm aktiv an Besprechungen teil, konnte aber seine im Antrag geplanten Aktivitäten nicht durchführen und zu Ende des Projekts überwogen auch dort andere Prioritäten.

Im Laufe des Projekts kristallisierten sich Enttäuschungen in Hinblick auf die Machbarkeit einzelner Aktivitäten heraus. Dies wurde unter allen Partnern offen kommuniziert und es wurde konstruktiv nach Lösungen gesucht, die in den Zwischenberichten dargelegt wurden.

Im Jahr 2019 wurde eine interne Evaluierung mit Hilfe der von der Deutschen Vernetzungsstelle Ländliche Räume (dvs) zur Verfügung gestellten „Checkliste zur Selbstbewertung der Operationellen Gruppe“ durchgeführt. Es nahmen fünf Personen daran teil. Insgesamt wurden die gute

Zusammenarbeit in der OG und der konstruktive Umgang mit aufgetretenen Schwierigkeiten in der Projektdurchführung gelobt.

Im September 2020 fand eine Projektabschlussevaluierung statt. An dieser schriftlich durchgeführten Befragung nahmen ebenfalls fünf Personen, mit teilweiser Überschneidung zu den Teilnehmern der ersten Befragung, teil. Die Fragen lauteten:

- Warum haben Sie sich an diesem Projekt beteiligt?
- Welche Erwartungen hatten Sie an das Projekt? Haben sich diese erfüllt? Inwieweit haben sich Ihre Erwartungen im Laufe des Projektes geändert?
- Gab es irgendwelche Probleme/Schwierigkeiten? Wenn ja – Welche?
- Was würden Sie beim nächsten Mal anders machen?
- Was war besonders zufriedenstellend?
- Inwieweit sind die Ergebnisse Ihrer Meinung nach auf die Praxis anwendbar?
- Zum Schluss: Was nehmen Sie aus diesem Projekt mit? Was ist Ihr persönliches Highlight aus diesem Projekt?

Es wurde deutlich, dass die Erwartungen durch einen Realitätscheck im Laufe des Projekts angepasst wurden. Als besonders zufriedenstellend wurden die gute Zusammenarbeit, die offenen Diskussionen in der OG und der konstruktive Umgang mit Schwierigkeiten herausgestellt. Auch wenn die Ergebnisse dieses Innovationsprojekts noch nicht direkt auf die Praxis anwendbar sind, wurde mit Optimismus in die Zukunft geschaut, in der es gute Möglichkeiten gibt, durch verbesserte Ansätze, wie zum Beispiel andere Erkennungsverfahren und die Nutzung von künstlicher Intelligenz praxisrelevante Ergebnisse entwickeln zu können.

Ein Zusammenschnitt der Antworten ist auf dem einem Video zu sehen:

(<https://youtu.be/2cpOdlA27-A>).

### 3.2 Was war der besondere Mehrwert des Formates einer OG für die Durchführung des Projekts?

In großen Verbundprojekten ist ein Gremium mit Vertretern der Partnereinrichtungen eine Notwendigkeit. Auch bei unserem Projekt war das Gremium „OG“ in Projektplanungstreffen aktiv. Da an unserem Projekt eine überschaubare Anzahl von Personen beteiligt war, war die OG mit dem IP nahezu deckungsgleich. Das vorliegende Format hat durch die administrative Trennung bei uns eher für eine verwaltungstechnische Mehrbelastung und für Verwirrung gesorgt (unterschiedliches Abrechnen, Zeitanrechnung OG/IP). Insgesamt hat die enge Zusammenarbeit in OG/IP aber für ein gutes Vertrauensverhältnis der Partner zueinander geführt, so dass weitere Kooperationsmöglichkeiten für die Zukunft positiv gesehen werden können.

### 3.3 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen?

Eine Zusammenarbeit einiger Partner bestand bereits vor Abschluss des vorliegenden Projekts. Im Verlauf des Projekts haben sich Möglichkeiten der weiteren Zusammenarbeit insbesondere der Partner FZJ und Uni Bonn ILT ergeben. KoGa, FZJ, Uni Bonn und Betrieb Schwarz arbeiten mit weiteren Partnern auch in einem neuen EIP-Agri Projekt („OPTIKO“) zusammen.

## 4 Ergebnisse des Innovationsprojektes

### 4.1 Zielerreichung (wurde eine Innovation im Projekt generiert?)

#### 4.2 Abweichungen zwischen Projektplan und Ergebnissen

Anhand der Entwicklung der Meilensteine (**Tabelle B1**) ist sichtbar, dass die Planung in der ersten Phase des Projekts gut eingehalten werden konnte. Abweichungen ergaben sich im weiteren Verlauf. Aufgrund von Personalentwicklung (Erkrankung, Mutterschutz, Kündigung) wurden einige Aktivitäten später als geplant durchgeführt. Aufgrund der heißen Sommer 2018 und 2019 und dadurch geringem Blattlausbefall in den Kulturen, konnte die Erkennung von biotischem Stress mit Hilfe von Hyperspektralreflektanz nicht abschließend geklärt werden. Insbesondere die Versuche im Praxisbetrieb konnten nicht wie geplant durchgeführt werden, da das entwickelte System noch weiterer Kalibrierung unter Laborbedingungen bedurfte. Dadurch konnten auch die geplanten Qualitätsprüfungen, die der Validierung des Systems dienen sollten, nicht durchgeführt werden.

**Tabelle B1:** Gegenüberstellung der Meilensteine: Planung vis-à-vis Durchführung

Meilenstein	Ursprüngliche Planung	Durchführung
M1.1:	Erkennung der Effekte von Blattlausbefall auf Salatkulturen mit nicht-invasiven optischen Sensoren ist möglich (12 Monate nach Projektbeginn)	Der Meilenstein wurde termingerecht erreicht.
M1.2:	Auswahl von geeigneten Sensoren für die benutzerfreundliche Kamera (Monat 12)	Der Meilenstein wurde termingerecht erreicht.
M1.3:	Benutzerfreundliche Kamera kann Effekte von Blattläusen auf Salatkulturen erkennen (Monat 27)	Benutzerfreundliche Kamera kann Effekte von biotischem bzw. abiotischem Stress auf Salatkulturen erkennen. Der Meilenstein wurde im Monat 38 erreicht.
M2.1:	Erste Testreihe zur Zerstäubertechnik durchgeführt (Monat 12)	Der Meilenstein wurde termingerecht erreicht.
M2.2:	Auswahl einer geeigneten Zerstäubertechnik abgeschlossen (Monat 27)	Der Meilenstein wurde im Monat 29 erreicht.
M3.1:	Zwei Versuchsmodelle für die kombinierten Komponenten stehen für Praxistests zur Verfügung (Monat 21)	Auswahl eines geeigneten Applikationssystems auf dem Kick-Off Workshop. Bereits beim Kick-off Workshop wurde anhand von Expertenwissen beschlossen, mit einem integrierten Versuchsmodell zu arbeiten, daher wurde dieser Meilenstein bereits zu Projektbeginn erreicht.
M3.2:	Auswahl eines geeigneten Modells (Monat 27)	Entfällt (s. M3.1)
M3.3:	Vorführung eines benutzerfreundlichen Prototyps auf der Abschlussveranstaltung (Monat 36)	M3.2 (neue Nummerierung!) Vorführung eines benutzerfreundlichen Systems zu Projektende in digitaler Form. Aufgrund der Corona-Pandemie sowie einer Laufzeitverlängerung wurde dieser Meilenstein umformuliert. Das System konnte auf der Abschlussveranstaltung vorgeführt werden (s. M 4.2).
M4.1:	Erste Testreihe mit Einzelkomponenten aus AP 1 und 2 auf Praxisbetrieb	Für AP 1 wurde dieser Meilenstein ohne weitere Änderungen erreicht; für AP 2 wurden die Testreihen unter Laborbedingungen

	erfolgreich durchgeführt und Feedback an AP1 und 2 (Monat 10)	durchgeführt, um hochgradige Feldvariabilität, die die Applikationsgenauigkeit kompromittiert, auszuschließen. Der Meilenstein wurde termingerecht erreicht.
M4.2:	Erste Testreihe mit den zusammengeführten Komponenten aus AP 3 auf Praxisbetrieb durchgeführt und Feedback an AP3 (Monat 22)	Erste Testreihe der zusammengeführten Komponenten im Testlabor unter feldnahen Bedingungen durchgeführt (Monat 38) Aufgrund der bestehenden Feldvariabilität beschlossen die OG Partner, die Komponenten zunächst unter Laborbedingungen weiter zu testen. Der abgeänderte Meilenstein wurde termingerecht erreicht.
M4.3:	Vorführung eines Versuchsmodells auf Praxisbetrieb (Monat 27)	Vorführung der Resultate der Arbeit an der Zusammenführung der Komponenten auf Praxisbetrieb in digitaler Form (Monat 40) Aufgrund der Corona-Pandemie sowie einer Laufzeitverlängerung wurde dieser Meilenstein umformuliert und im Monat 40 für die digitale Abschlussveranstaltung erreicht.
M5.1:	Qualitätsprüfungen nach Messungen mit den zusammengeführten Komponenten aus AP 3 auf Praxisbetrieb durchgeführt (Monat 23)	Qualitätsprüfungen nach Messungen mit den zusammengeführten Komponenten aus AP 3 auf Praxisbetrieb durchgeführt (Monat 39). Aufgrund der nicht durchzuführenden Feldspritzungen (s. M 4.2), wurden im Projektverlauf keine Qualitätsprüfungen durchgeführt.
M5.2:	Qualitätsprüfungen bei allen Versuchsreihen auf Praxisbetrieb durchgeführt (Monat 30)	Entfällt, s.o.
M6.1:	Kickoff-Treffen der OG Mitglieder, detaillierter Workplan erarbeitet (Monat 3)	Der Meilenstein wurde termingerecht erreicht.
M6.2:	Interimresultate aus AP1 und AP2 werden auf einer öffentlichen Veranstaltung vorgestellt (Monat 18)	Erreicht (Tag der offenen Tür CKA 2018 und Tag der Neugier Jülich 2019)
M6.3:	Zweite öffentliche Veranstaltung zur Vorstellung des kombinierten Konzepts (AP3) auf Betrieben (Monat 27)	Digitale Veranstaltung zur Vorstellung des kombinierten Konzepts (AP3) auf Betrieben (Monat 42) Aufgrund der Corona-Pandemie sowie einer Laufzeitverlängerung wurde dieser Meilenstein umformuliert und als digitale Abschlussveranstaltung erreicht.
M6.4:	Abschlussveranstaltung (Monat 36)	Abschlussveranstaltung in digitaler Form (Monat 42) Aufgrund der Corona-Pandemie sowie einer Laufzeitverlängerung wurde dieser Meilenstein umformuliert und termingerecht erreicht.

#### 4.3 Projektverlauf (ggf. mit Fotodokumentation)

##### 1: Einrichten der OG (April – Juni 2017)

Das Projekt begann am 1.4.2017, der Kick-Off-Workshop mit Vertretern aller Partner sowie der LWK-NRW fand am 11.4.2017 in Bornheim statt.

Es wurde festgestellt, dass es bereits eine Reihe von sensor-gestützten Erkennungsmethoden gibt, bei denen z.B. der Chlorophyllgehalt der Pflanzen als Indikator für Abreife bzw. auch Kulturart genutzt werden kann. Auch Krankheits- bzw. Blattlausbefall kann mit Sensoren erkannt werden. Direkte Arbeiten zu Blattlausbefall an Salat gab es bisher noch nicht so dass das Projekt auf diesem Gebiet Pionierarbeit leisten wird.

In Bezug auf das zu entwickelnde Verfahren (M3.1) wurden bereits erste Entscheidungen getroffen. Im Anschluss an das Planungstreffen in den Räumen der Landgard fand eine Feldbesichtigung auf dem Betrieb Schwarz statt, bei dem Details zur Kultur von Romanasalat, der einzigen Salatsorte, die auf dem Betrieb Schwarz angebaut wird, erklärt wurden.



**Abbildung B1:** Links: Das Projektteam und Gäste beim Kick-Off Workshop. Rechts: Einführung in die Kultur von Romanasalaten auf dem Praxisbetrieb.

Bis zum 1.6.2020 war das Projektteam komplett und Aktivitäten konnten mit leichter Verspätung beginnen.

## **2: Entwicklungen der Einzelkomponenten (Juni 2017 – August 2020)**

### *Arbeitspaket 1: Entwicklung von optischen Erkennungsmethoden*

Zum Zeitpunkt des Projektstarts wurde auf dem Partnerbetrieb ausschließlich Mini-Romanasalat angebaut. Die morphologischen Eigenschaften der Salatköpfe erschwerten die Arbeiten, da sich die Blattläuse vor allem im Herz der Salatköpfe und innen an der Unterseite der Blätter befinden. Ein Sensor kann jedoch nur die äußeren, oben frei liegenden Blattbereiche messen. Eine starke systemische Stressantwort der Pflanzen mit messbaren Effekten an den äußeren Blättern wäre erforderlich gewesen, um Blattlausbefall zu detektieren. Diese konnte jedoch experimentell nicht hervorgerufen werden. Eine Erkennung von Blattlausbefall war daher mit dem im Projekt eingesetzten Hyperspektralsensor nicht möglich.

Versuche unter Gewächshausbedingungen am FZJ wurden durch Schwierigkeiten mit der Laborkultivierung der Blattläuse sowie den eingeschränkten Versuchsmöglichkeiten (es konnten nur räumlich vom Versuchsgewächshaus getrennte Gewächshausabteile genutzt werden, um einen Befall anderer Versuchspflanzen auszuschließen) erschwert.



**Abbildung B2:** Ein Salatfeld auf dem Praxisbetrieb und ein aufgeschnittener Romanosalatkopf, bei dem das Herz und die eng aneinander liegenden Blätter gut zu sehen sind.

Bei den Laborexperimenten mit kontrolliertem Blattlausbesatz und bildgebenden Messungen der spektralen Reflektion zur Erfassung von möglichen lokalen Stressantworten der Pflanzen konnten keine zufriedenstellenden Ergebnisse erreicht werden.

Auch Versuche unter Freilandbedingungen im Garten des FZJ mit starkem Befall (hunderte Blattläuse pro Pflanze) haben die spektrale Reflektion der Pflanzen nicht beeinflusst, d.h. die physiologische Stressantwort der Pflanzen blieb hinter den Erwartungen zurück.



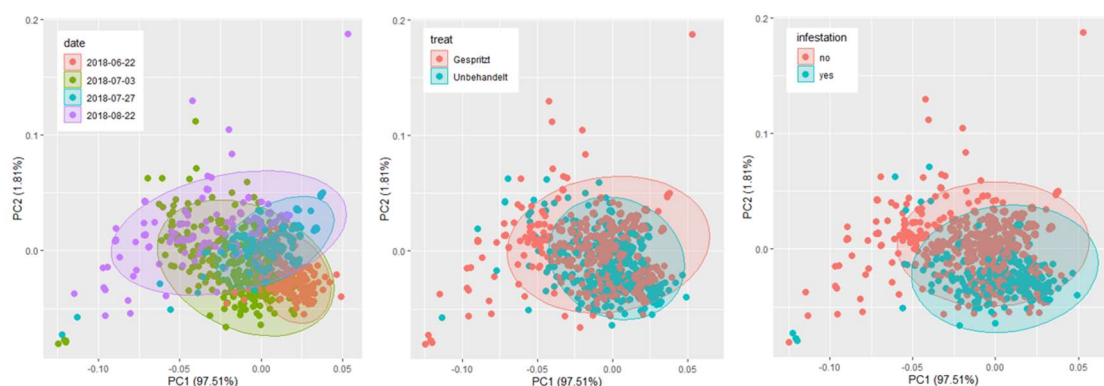
**Abbildung B3:** Versuchsaufbau zum Messen der hyperspektralen Reflektanz unter kontrollierten Bedingungen am FZJ.





**Abbildung B4:** Links: Messungen mit dem Hyperspektralsensor im Garten des FZJ unter semi-kontrollierten Bedingungen. Rechts: das „Fieldbike“ für Feldmessungen beim Praxisbetrieb..

Im Feldversuch war die Anzahl der Blattläuse im Versuchszeitraum aufgrund von Umwelteinflüssen, insbesondere der hohen Temperaturen im Sommer 2018, erheblich geringer als erwartet. Unter Feldbedingungen konnten daher keine Unterschiede in der spektralen Reflektion der Pflanzen mit und ohne Blattläuse festgestellt werden, jedoch zeigte sich ein starker Einfluss anderer Faktoren (Tag der Messung, Pflanzenalter, Entwicklungsstatus). Diese Faktoren konnten trotz intensiver Bemühungen leider nicht genauer identifiziert werden und einige Datensätze konnten im Rahmen dieses Projekts nur unvollständig ausgewertet werden (s. Anhang 2).

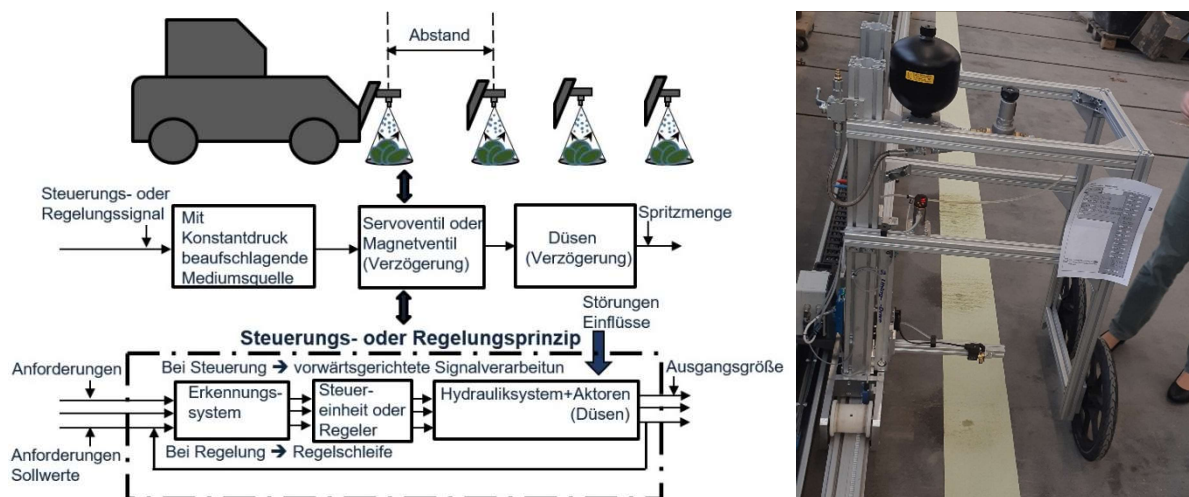


**Abbildung B5:** Die Hauptkomponentenanalyse zeigt, dass die spektrale Reflektion der Pflanzen stärker zwischen verschiedenen Messtagen als zwischen Pflanzen mit/ ohne Pflanzenschutzmittelbehandlung und Pflanzen mit/ ohne Blattlausbefall variiert.

Als Fazit bleibt daher, dass die frühzeitige Erkennung von Blattlausbefall an Salat mittels spektraler Reflektion nicht möglich ist. Als sich die Schwierigkeiten bei der Detektion von Blattlausbefall im Laufe des Projektes abzeichneten, wurde der Hyperspektralsensor dazu genutzt, die Pflanzenposition innerhalb einer Reihe zu bestimmen. Dies ist eine Voraussetzung zum Erreichen des Projektziels, der Entwicklung eines selektiven Spritzverfahrens zur Behandlung von Einzelpflanzen.

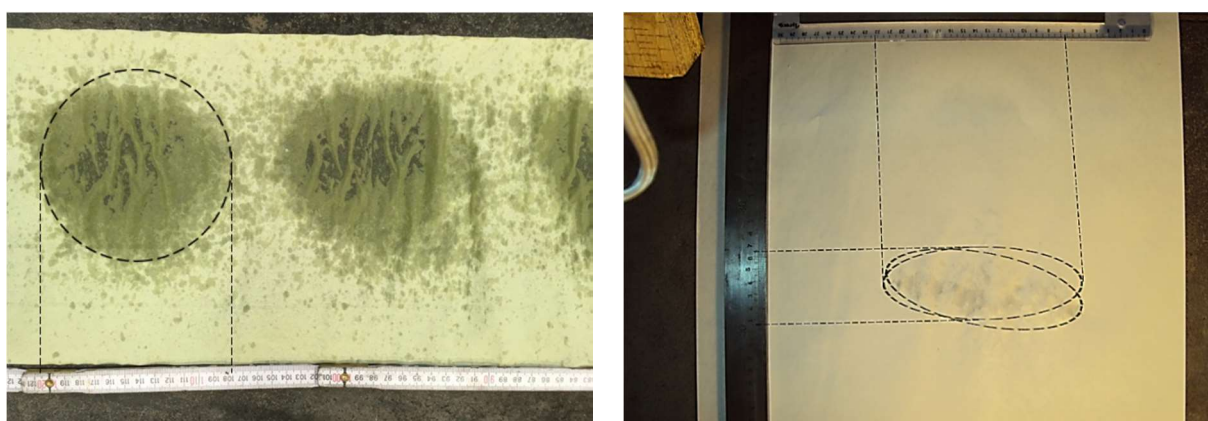
*Arbeitspaket 2: Entwicklung eines Applikationsverfahrens*

Zunächst wurde am Institut für Landtechnik ein Laborprüfstand aufgebaut, um die Eigenschaften verschiedener Spritzdüsen sowie deren Arbeitsparameter zu untersuchen und dadurch zu helfen, geeignete Düsen auszuwählen. Ebenso sollte die Dynamik der Regelung optimiert werden sowie die mechanische Funktionalität (z.B. Fahrgeschwindigkeit) getestet werden.



**Abbildung B6:** Links: Planskizze für die Applikationstechnik. Rechts: Der Spritzstand an der Uni Bonn beim Versuchslauf mit verschiedenen Düsentypen.

Für die Steuerung des Systems wurde eine SPS (Speicherbare Programmierbare Steuerung) der Firma National Instruments verwendet. Mit der Labview FPGA (field-programmable gate array) konnte die Steuerung ein echtes Laufen des Programms realisieren. Danach wurden verschiedene Flachstrahl- und Runddüsentypen auf ihre Spritzgenauigkeit getestet (s. Anhang 3).



**Abbildung B7:** Links: Testergebnis mit einer ungeeigneten Düse - Spritzflüssigkeit zu breit gestreut. Rechts: Testergebnis mit einer geeigneten Düse - Präzisere Applikation der Spritzflüssigkeit durch Nutzung einer Flachstrahldüse.

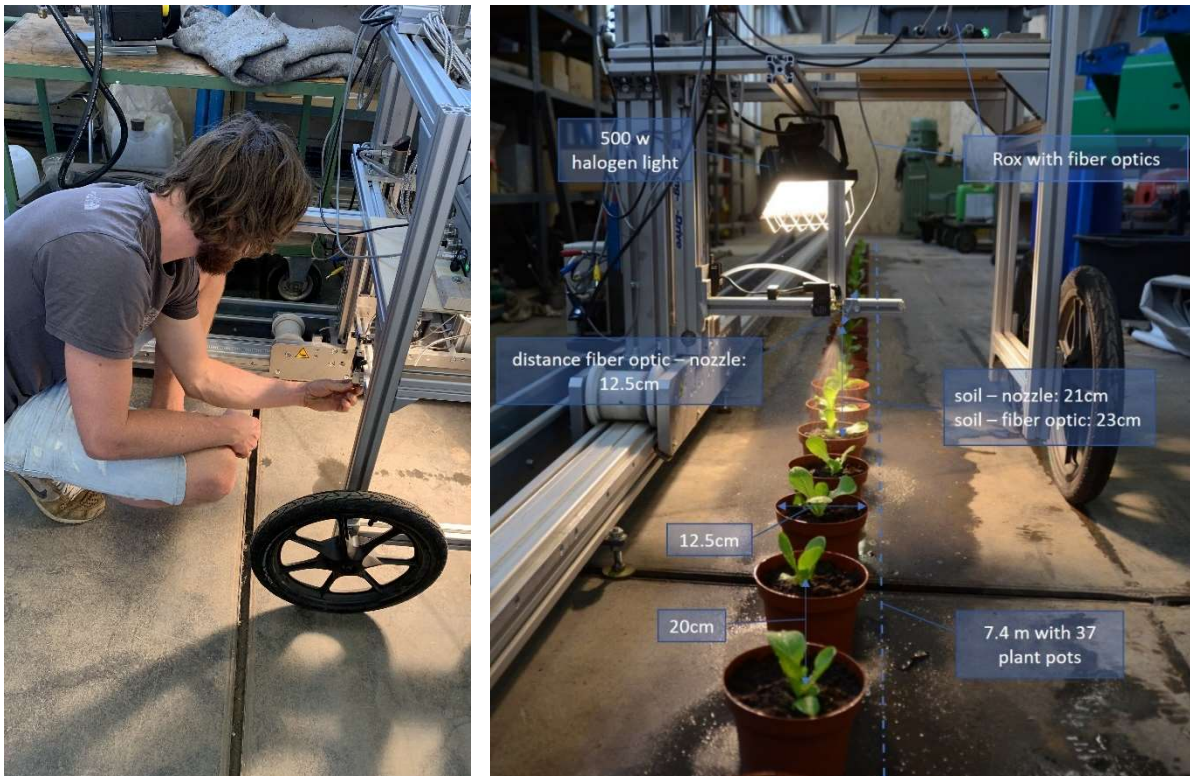
Im Jahr 2018 wurden auch zwei YouTube-Filme entwickelt, in denen die Arbeiten an der Spritztechnik (<https://www.youtube.com/watch?v=PiwsCLJzL2o>) sowie an der optischen Erkennung (<https://www.youtube.com/watch?v=ggVA-uldL38>) gezeigt werden (s. Abschnitt IX).

### 3: Zusammenführen der Komponenten (April 2019 – September 2020)

#### Arbeitspaket 3: Zusammenführen der Komponenten

Ab Frühjahr 2019 wurde versucht, die Signale des Hyperspektralsensors mit der Spritztechnik zu kombinieren. Dabei gab es zunächst Schwierigkeiten bei der Signalerkennung. Durch intensiven Kontakt mit dem Entwickler (JB Hyperspectral) konnten diese Schwierigkeiten gelöst werden. Leider wurden die Aktivitäten durch die Kündigung des Projektmitarbeiters am ILT, Dr. Wu, sowie weitere Personalentwicklungen am Institut (u.a. neue Leitung) verzögert.

Im Sommer 2019 fanden mehrfach Gespräche zwischen den Partnern FZJ und uni Bonn ILT statt, um das weitere gemeinsame Vorgehen in Bezug auf die Zusammenführung der Komponenten zu besprechen. Aufgrund des Ausscheidens von Dr. Wu wurde beschlossen, die Stelle mit einem schon mit dem Projekt vertrauten Master-Absolventen zu besetzen. Dieser fand aber noch vor Einstellung eine unbefristete Stelle in der Privatwirtschaft. Ein weiterer Kandidat wurde im April 2020 eingestellt, um eine letzte Laborversuchsreihe durchführen, um die notwendigen Erkenntnisse für ein kombiniertes Gerät zu generieren. Durch die Kontaktbeschränkungen während des Corona-Lockdowns im April 2020 kam es zu weiteren Verzögerungen. Es gelang aber, eine Einzelpflanzenenerkennung mittels Hyperspektralsensor mit einer Einzelspritzung zu kombinieren.



**Abbildung B8:** Der Versuchsaufbau für die Tests mit der Kombination Sensor und Applikationstechnik für Einzelpflanzenbehandlung.

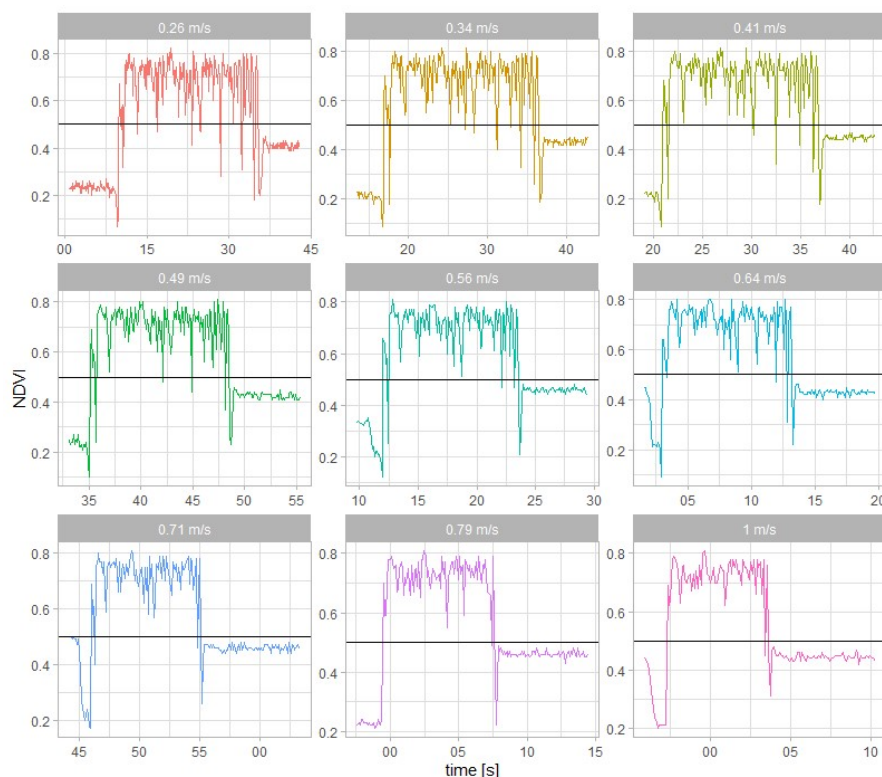
Der Hyperspektralsensor wurde genutzt, um die Position von Einzelpflanzen zu detektieren. Sobald ein Schwellenwert überschritten wurde, wurde ein Signal an das Sprühsystem weitergeleitet, das daraufhin Pflanzenschutzmittel (im Versuch: Wasser) auf die entsprechende Salatpflanze sprühte.

Pflanzen wurden mittels des Vegetationsindex NDVI (Normalised difference vegetation index) detektiert, der die Reflektion bei zwei Wellenlängen miteinander verrechnet. Dies ist aussagekräftiger und erlaubt eine verlässlichere Detektion als die Messung bei nur einer Wellenlänge.

Je länger die Messzeit dauert, desto geringer darf die Fahrgeschwindigkeit sein, um einzelne Pflanzen zuverlässig zu erkennen. Aus diesem Grund wurde die Messzeit durch verschiedene technische Maßnahmen minimiert (Messung nur zweier Wellenlängen anstelle der kompletten Spektrums, zusätzliche Beleuchtung der Pflanzen, Reduzierung der Referenzmessungen der Lichtbedingungen auf eine anfängliche Messung, Ausschalten aller Zusatzfunktionen des Geräts, wie z.B. des Displays, etc.)

Durch den Einsatz eines Punktsensors ist das Messfeld umso größer, je schneller sich der Sensor bewegt, und je länger die Messung dauert. Hohe Geschwindigkeiten führen daher zu einer ungenauen Pflanzendetektion, so dass manche Pflanzen ausgelassen wurden.

Zudem erschwerte das Überlappen der Blätter bei größeren Pflanzen die Detektion einzelner Pflanzen und führte zu fortwährendem Auslösen des Sprühvorgangs.



**Abbildung B9:** NDVI-Werte während der Überfahrt von 37 großen Salatpflanzen (Blattlänge > 20cm) bei 9 verschiedenen Arbeitsgeschwindigkeiten, Position des Sensors in Sekunden der Messung. Die schwarze horizontale Linie stellt den gesetzten NDVI-Grenzwert von 0,5 dar.

Das System aus Hyperspektralsensor und Spritzsystem hat deutlich gezeigt, dass ein selektiver Spritzvorgang von Einzelpflanzen ausgelöst vom Signal des Sensors grundsätzlich möglich ist. Eine Übertragung des Versuchsmodells in die praktische landwirtschaftliche Anwendung, insbesondere bei Salatkulturen, die mit geringem Pflanzabstand gesetzt werden, ist jedoch fraglich, da die Pflanzen in kurzer Zeit das Feld nahezu lückenlos bedecken. Dadurch würde die Spritzdüse dauerhaft ausgelöst und ein selektives Spritzverfahren hätte keinen Mehrwert. Bei anderen, breiter angepflanzten Kulturen, wie z.B. Kohl, wäre die Verwertbarkeit weiter zu prüfen (s. Anhang 4).

Aufgrund dieser erst zu Projektende vorliegenden Ergebnisse konnten Arbeitspaket 4 (Praxistests) und 5 (Qualitätsprüfung) nicht mehr wie geplant durchgeführt werden.

#### **4: Abschluss (September – Dezember 2020)**

Aufgrund der Verzögerungen wurde eine kostenneutrale Projektverlängerung notwendig. Diese fiel in die Zeit der Corona-Pandemie, so dass insbesondere Öffentlichkeitsaktivitäten nicht wie geplant stattfinden konnten. Auch die Abschlussveranstaltung fand in nur kleinem Kreis als Digitalveranstaltung statt. Dort konnte schließlich das kombinierte Erkennungs-/Spritzverfahren vorgestellt werden. Leider waren die Vertreter der Praxis bei dem Abschlusstreffen nicht anwesend.

Eine abschließende Evaluierung des Projekts unter den OG-Mitgliedern zeigte eine reflektierende Analyse der Bedingungen unter denen das Projekt stattgefunden hatte und die Hoffnung, dass die Untersuchungen für zukünftige Entwicklungen von Nutzen sein werden. Die Informationen wurden in einem Video zusammengestellt (<https://youtu.be/9rR4ZX5INjA>).

#### 4.4 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP Zielen

Die Projektergebnisse tragen bei zum Themenschwerpunkt: „Weiterentwicklung von wettbewerbsfähigen Ackerbau-, Grünland-, Gartenbau- und Dauerkulturbewirtschaftungssystemen, insbesondere für ein ressourcenschonendes und effizientes Nährstoff- und Pflanzenschutzmanagement im konventionellen und ökologischen Landbau“.

Auch wenn das untersuchte System nicht bis zur Praxisreife gekommen ist, ist der Ansatz hin zu einer Reduktion von Pflanzenschutzmittellandwendungen mit Hilfe von Einzelpflanzenbehandlung ein wichtiger Baustein für eine nachhaltigere Landbewirtschaftung. Die Erkenntnisse unseres Projekts leisten auch einen Beitrag zu weiteren momentan laufenden bzw. kürzlich abgeschlossenen Projekten, in denen Einzelpflanzenerkennung, sensorgestütztes Pflanzenschutzmonitoring und Präzisions-spritzsysteme untersucht werden (z.B. PlantSens (<https://projekt.beuth-hochschule.de/plantsens>), BigGrape ([www.jki.de](http://www.jki.de)) oder die Projekte des PhenoRob Exzellenzclusters (<http://www.phenorob.de/research/>)).

#### 4.5 Nebenergebnisse

Blattläuse, insbesondere *Nasonovia ribisnigri* befallen ein Salatfeld im Allgemeinen von außen, wo sie an ihren primären Wirtspflanzen (u.a. Beerensträucher) geflügelte Individuen produzieren. Ein beginnender Befall zieht dann von außen nach innen – oft mit dem Wind – in das Salatfeld und kann

unter Umständen von mehreren Ausbruchsgeschehen gleichzeitig stattfinden. Bei einer Generationsdauer von wenigen Tagen kann es ohne Behandlung zu einer explosionsartigen Verbreitung kommen.

Daher ist eine Behandlung mit Pflanzenschutzmitteln schon bei sehr geringem Befall notwendig. In diesem Stadium sind die Pflanzen noch nicht so gestresst, dass sie ein Signal emittieren.

Es stellte sich auch heraus, dass Blattlausbefall bei Romanasalaten – die einen geschlossenen Kopf bilden (s. Abbildung B2) – im Allgemeinen im Herzen der Pflanze beginnt. Wächst die Pflanze weiter und schließt den Kopf, sind die Blattläuse im Inneren nicht mehr detektierbar. Eine mögliche Stressantwort der Pflanze auf Blattlausbefall ist unter diesen Umständen fast unmöglich in einem Frühstadium zu detektieren.

Des Weiteren ist eine präzise Überfahrt über die Salatpflanzenreihen unter normalen Feldbedingungen nicht so glatt, dass eine Präzisionsspritze mit der notwendigen Genauigkeit kleine Salatpflanzen zielgenau spritzen kann. Durch den unebenen Untergrund führen schon kleine Schwankungen dazu, dass der optische Sensor vorn und die Applikationstechnik hinten am Traktor möglicherweise nicht mehr ausgerichtet sind. Hier sind weitere Untersuchungen und technische Innovationen nötig.

#### 4.6 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Wie in den Abschnitten 4.3 und 4.5 bereits beschrieben, konnte bei dem im Projekt untersuchten Mini-Romanasalat keine ausreichend starke physiologische Stressantwort bei Blattlausbefall nachgewiesen werden, um befallene Pflanzen mit Hilfe eines Hyperspektralsensors zu identifizieren. Einige Ergebnisse wie z.B. die Einzelpflanzenerkennung und –spritzung mit dem kombinierten Verfahren konnten im Rahmen der Projektlaufzeit nur unter Laborbedingungen erzielt werden. Eine großflächige Feldtestung hierzu steht noch aus.

#### 5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Die Ergebnisse unseres Projekts sind derzeit für die Praxis nur eingeschränkt zu nutzen. Die generierten Erkenntnisse sind aber wichtig, um zukünftig eine zielgerichtete (Weiter-)Entwicklung robotischer Systeme voranzutreiben.

#### 6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse könnten in weitere Projekte zum Präzisionsgartenbau, z.B. innerhalb des PhenoRob Clusters der Universität Bonn einfließen. Die kann durch die bestehenden Kooperationen insbesondere des FZJ und Uni Bonn ILT verstärkt werden.

#### 7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Bildgebende Verfahren zur Erkennung von Stressantworten bei Pflanzen werden in verschiedenen Systemen untersucht. Um einige der vorliegenden Schwierigkeiten zu umgehen, wurde das EIP-Projekt OPTIKO („Optimierung des Kohlanbaus durch Messungen mit UAVs und maschinellem Lernen“) ins Leben gerufen. Hier arbeiten einige der OG-Partner des vorliegenden Projekts an einer Kombination von bildgebenden Verfahren und maschinellen Lernverfahren (künstliche Intelligenz),

um Wachstumsparameter und auch Stress-Signale von Kohlpflanzen mit Hilfe von Drohnenüberflügen zu detektieren.

### 8 Wo relevant: Nutzung Innovationsdienstleister (IDL)

Die Einrichtung der Position der Innovationsdienstleisterin war für unser Projekt sehr wichtig und sehr nützlich. Die Möglichkeit, Fragen, insbesondere zur Administration, schnell und kompetent beantwortet zu bekommen, hat die Durchführung des Projekts maßgeblich unterstützt. Ebenso wurden durch die Organisation von Veranstaltungen und ein sehr gutes Informationsangebot seitens der IDL das Netzwerk der laufenden EIP-Projekte in NRW maßgeblich gestaltet.

### 9 Kommunikations- und Disseminationskonzept

Die Kommunikation der Ergebnisse erfolgte über zahlreiche Workshops bzw. Besprechungen der OG, die über die gesamte Projektlaufzeit stattgefunden haben. Außerdem wurden verschiedene Veranstaltungen besucht, auf denen das Projekt mittels Poster oder Präsentationen vorgestellt wurde. Nähere Informationen zum Projekt lassen sich auf der Homepage des Kompetenzzentrums Gartenbau finden (<https://www.ko-ga.eu/deutsch/projekte/optimierung-der-ressourceneffizienz-und-umweltschonender-verfahren/#O05>).

#### 1. Veranstaltungen (wissenschaftlich und nicht-wissenschaftlich):

##### 2017

- Vortrag „Detection of plant stress responses in aphid-infested lettuce using non-invasive detection methods“ bei der Tagung der International Organisation for Biological Control (IOBC-WPRS) in der Schweiz vom 2. bis 6.10.2017 (Dr. Junker).
- Teilnahme an der Veranstaltung EIP-Agri & Horizon2020 - den Brückenschlag gestalten - how to bridge?" in Kiel am 26. und 27.9.2017 (Dr. Damerow)
- Teilnahme und Projektvorstellung beim Agri-Innovation Summit 2017 in Lissabon (Portugal) am 11. und 12.10.2017 (Dr. Junker)
- Besuch des ELER Begleitausschusses auf Campus Klein-Altendorf und Vorstellung des Projekts am 12.10.2017 (Dr. Jaenicke, Dr. Damerow, Dr. Muller, Wu)
- Teilnahme an der EIP Infoveranstaltung in Düsseldorf am 19.10.2017 (Dr. Jaenicke, Dr. Damerow, Robertz)

##### 2018

- Vorstellung des Projekts im Rahmen der Präsentation des Instituts für Pflanzenwissenschaften (IBG-2, Forschungszentrums Jülich) bei der Internationalen Pflanzenmesse, Essen, 22.-25.1.2018 (Dr. Junker).
- Vortrag „Entwicklung einer nicht-invasiven Detektionsmethode zur Identifizierung von Blattlausbefall von Salatpflanzen“ bei der 52. Gartenbauwissenschaftlichen Jahrestagung, Geisenheim, 28.2.-2.3.2018 (Dr. Jaenicke, Dr. Junker)
- Teilnahme am 2. bundesweiten Workshop für Operationelle Gruppen und Innovationsdienstleister, Weimar, 5.-6.3.2018 (Dr. Jaenicke).

- Projektvorstellung aus Anlass des Besuchs von sieben Mitgliedern des Arbeitskreis Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des NRW Landtags auf dem Campus Klein-Altendorf, 5.6.2018 (Dr. Jaenicke).
- Teilnahme an der Veranstaltung Brückenbildung NRW, Düsseldorf, 6.6.2018 (Dr. Jaenicke).
- Besuch der EIP Innovationsdienstleister beim Betrieb Konrad und Markus Schwarz, 12.6.2018 (Schwarz, Dr. Junker, Dr. Jaenicke, Wu)
- Beitrag des FZJ beim Tag der Offenen Tür, Campus Klein-Altendorf, 17.06.2018 (Dr. Junker, Dr. Müller)
- Projektvorstellung beim Gartenbau-Kolloquium, Bonn, 12.9.2018 (Dr. Jaenicke)
- Vortrag „Experimentelle Untersuchungen von charakteristischen Veränderungen der spektralen Reflektanz von Salatpflanzen bei Blattlausbefall“ auf der 61. Deutschen Pflanzenschutztagung, Hohenheim, 11.-14.9.2018 (Dr. Junker)
- Projektvorstellung beim EIP Innovationstag, Straelen, 4.10.2018 (Dr. Jaenicke, Dr. Junker, Wu, Zeitzem, Dr. Pacyna-Schürheck)
- Organisation und Teilnahme des Precision Farming Workshops der Deutschen Vernetzungsstelle Ländliche Räume (dvs), Campus Klein-Altendorf, 5.-6.11.2018 (Dr. Junker, Tholen, Dr. Jaenicke)
- Teilnahme an der NKS Veranstaltung zum neuen Rahmenprogramm Horizont Europa, Köln, 21.11.2018 (Dr. Jaenicke)
- Teilnahme an der EIP Infoveranstaltung, Düsseldorf, 27.11.2018 (Dr. Jaenicke)
- Teilnahme an der Veranstaltung „RENN.West Agrarwende“, Oberhausen, 10.12.2018 (Dr. Jaenicke)

## 2019

- Vortrag „Detektion von Blattläusen in Salatkulturen durch spektrale Reflektanz“ bei der 53. Gartenbauwissenschaftlichen Jahrestagung, Berlin, 3.- 7.3.2019 (Tholen)
- Teilnahme und Projektposter beim „Tag der Neugier“ am FZJ, 7.7.2019, FZJ (Quarten, Dr. Müller)
- Projektvorstellung beim INRES Tag, Uni Bonn, 11.9.2019 (Dr. Jaenicke)
- Teilnahme und Projektposter beim „Agrikulturfest“, Bonn Münsterplatz, 28.9.2019 (Dr. Jaenicke)
- Teilnahme und Projektvorstellung bei der innovate! Osnabrück, 16.-18.10.2019 (Dr. Jaenicke)
- Teilnahme und Projektvorstellung bei der Veranstaltung „Ideen für Feld und Teller“. Haus Düssel Bad Sassendorf, 25.10.2019 (Dr. Jaenicke)
- Teilnahme bei der EIP-Infoveranstaltung MULNV Düsseldorf, 20.11.2019 (Dr. Jaenicke)
- Teilnahme an der AGRITECHNICA. Hannover, 10.-16.11.2019 (Schwarz)
- Vorstellung des Projektfortschritts beim KoGa-Informationstag, Uni Bonn, 10.12.2019 (Dr. Jaenicke)

## 2020

- Vorstellung der Projektergebnisse beim 4. bundesweiten Workshop für Operationelle Gruppen und Innovationsdienstleister „EIP-Agri: Ergebnistransfer – aber wie?“, 12.8.2020 und Workshops in den Folgetagen, online (Dr. Jaenicke, Dr. Junker-Frohn, Kremers)



2. Poster

**Hintergrund**  
Der Salatbau in NRW ist mit über 2.000 ha ein wichtiges Standbein der Gemüseproduktion und der regionalen Vermarktung. In der Vergangenheit standen einige blattlästler-tolerante Sorten zur Verfügung, aber es gibt zunehmend Hinweise auf einen graduellen Verlust dieser Resistenz, was zu einer häufigeren bzw. flächendeckenden Anwendung von Insektiziden führt. Dies ist teuer und wirkt dem umweltschonenden Gemüsebau entgegen. Aufgrund der kurzen Kulturdauer von Salaten erschwert es auch die Einhaltung der gesetzlichen und sekundären Standards bezüglich der Pflanzenschutzmittel (PSM)-Rückstände.

In diesem EIP-Innovationsprojekt arbeiten Universität Bonn (Kompetenzzentrum Gartenbau und Institut für Landtechnik (ILT)), Forschungszentrum Jülich (BG-2), Landgard GmbH & Co. KG und Betrieb Schwarz GbR zusammen an einer praxistauglichen Lösung.

**Projektziele**  
Unser innovativer Ansatz verfolgt das Ziel, durch optische Verfahren gezielt befallene Pflanzen identifizieren zu können, die dann durch ein geeignetes Spritzverfahren-gerät punktuell behandelt werden. Dadurch wird die Ausbringungsmenge von PSM reduziert (= Senkung der Betriebsausgaben und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit) und eine Reduktion von Rückständen in Pflanze und Boden erreicht (= Ressourcen-, Umwelt- und Verbraucherschutz).

**Arbeitspakete**

- AP 1: Erkennung von befallenen Pflanzen mit einem optischen Verfahren (BG-2)
- AP 2: Entwicklung des Applikationsverfahrens (ILT)
- AP 3: Zusammenführen der Komponenten (ILT, BG-2)
- AP 4: Felderprobung (ILT, BG-2, Schwarz, Landgard)
- AP 5: Qualitätsprüfung (Landgard)

**Verwertung**

- Auf Praxisebene durch die Entwicklung eines innovativen Verfahrens zum selektiven Pestizideinsatz.
- Auf Ebene des Landmaschinenbaus durch die Kommerzialisierung des Geräts.
- Auf wissenschaftlicher Ebene durch neue Erkenntnisse in der Phänotypisierung von biotischen Stressantworten.

Partner in der Operationellen Gruppe Präzisionsgartenbau:  
 Universität Bonn, Forschungszentrum Jülich, BG-2, Landgard GmbH & Co. KG, Betrieb Schwarz GbR, Bonnheim  
 Kontakt:  
 Dr. Hannah Jaenicke, Uni Bonn/Kompetenzzentrum Gartenbau, Campus Klein-Altendorf 2, 53229 Weibersbach, H.Jaenicke@kz.gard.de

Poster 1: Projektvorstellung (2017)

**Hintergrund**  
Salatbau ist in NRW mit über 2.000 ha ein wichtiges Standbein der regionalen Gemüseproduktion und Vermarktung. Blattlästler-tolerante Sorten wie auch andere Schäden an Salat werden vom Verbraucher nicht toleriert. Während in der Vergangenheit einige blattlästler-tolerante Sorten zur Verfügung standen, gibt es zunehmend Hinweise auf einen graduellen Verlust dieser Resistenz, was zu einer häufigeren bzw. flächendeckenden Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) führt. Dies ist teuer und wirkt einem auf Umwelt- und Ressourcenschonung ausgerichteten Gemüsebau entgegen.

**Projektziele**  
Unser Ansatz verfolgt das Ziel, erkrankte Pflanzen durch optische Erkennungsverfahren gezielt zu identifizieren und diese durch ein geeignetes Spritzverfahren punktuell zu behandeln. Dadurch wird die Ausbringungsmenge von PSM reduziert, somit die Betriebsausgaben gesenkt und die Wettbewerbsfähigkeit gefördert. Zusätzlich wird eine Reduktion von PSM-Rückständen in Pflanze und Boden erreicht und somit ein Beitrag zu Ressourcen-, Umwelt- und Verbraucherschutz geleistet.

**Erste Ergebnisse**

- Die Konstatation des Spitzstands an der Uni Bonn sowie die Auswahl eines ultravioletten Hyperspektralcameras (F0xR0x) im FZ Jülich waren wichtige Meilensteine für das Projekt.
- Aus neun getesteten Rund- und Flachstrahlendüsen wurde eine für weitere Anwendungen ausgewählt.
- Blattlästler an Salat konnte bisher aufgrund des Fehlens von Blatt im heißen Sommer (noch nicht mit dem Hyperspektralsensor) nachgewiesen werden. Eine weitere Testreihe ist geplant.
- Die Zusammenführung der optischen Sensortechnologie und der Applikationstechnik muss noch verfeinert werden und ist in weiteren Versuchen in einem „Jäger-Käfer“-Szenario verbessert.

**Bisherige Untersuchungen**  
Ein Versuchsaufbau für die Applikationsentwicklung wurde am Institut für Landtechnik der Uni Bonn entwickelt und verschiedene Düsentypen für eine möglichst genaue Applikation getestet.

An Forschungszentrum Jülich wurde die spektrale Reflexanz von befallenen und nicht-befallenen Salatpflanzen in Labor- und Feldversuchen untersucht, um ein funktionsfähiges Erkennungsverfahren zu entwickeln. Auf dem Betrieb Schwarz wurden Feldversuche mit einem „Jäger-Käfer“ durchgeführt.

Partner in der Operationellen Gruppe Präzisionsgartenbau:  
 Universität Bonn, Forschungszentrum Jülich, BG-2, Landgard GmbH & Co. KG, Betrieb Schwarz GbR, Bonnheim  
 Kontakt:  
 Dr. Hannah Jaenicke, Uni Bonn/Kompetenzzentrum Gartenbau, Campus Klein-Altendorf 2, 53229 Weibersbach, H.Jaenicke@kz.gard.de

Poster 2: Erste Ergebnisse (2019)

**Hintergrund**  
Blattlästler sind für viele Gartenbesitzer, wenn sie bei den Blattlästler sind, Gegen um Hausgartenbau Ressourcen-Intensiv sind. Gegen um die Vegetations- und Blattlästler-tolerante Sorten zur Verfügung, die in der Regel durch punktuell aufzufindende Blattlästler zu erkennen und häufige flächendeckende Pflanzenschutzmittel-Anwendungen notwendig.

**Projektziele**  
Im Jahr 2017/2018 lieferten Projekt wurden die Möglichkeiten für ein selektives Spritzverfahren zur Blattlästler-tolerante Blattlästler-erkennung untersucht. Ziel war die Reduzierung der eingesetzten Pflanzenschutzmittelmengen zur Abmilderung von Spitzständen am Produkt sowie die Entlastung der Boden und damit einen Beitrag zu Ressourcen-, Umwelt- und Verbraucherschutz zu leisten.

**Nicht-invasive Erkennung**  
An kompetenzorientierten Jülich wurden Experimente unter Gewächshaus- und Freilandbedingungen durchgeführt, um die spektrale Reflexanz von befallenen und nicht-befallenen Salatpflanzen zu messen.

**Präzisions-spritzverfahren**  
An der Universität Bonn wurde ein Versuchsstand für die Entwicklung des selektiven Spritzverfahrens entwickelt, um die „dünne“ verschleißende Düsenkopf zu verwenden.

**Fazit**

- Die Spritzmethode von Blattlästler an Blattlästler ist zu gering, um eine detaillierte biotische Unterscheidung zu ermöglichen. Zudem haben weitere Einflussfaktoren wie Pflanzensort, -höhe, und Unkrautbewegungen, einen vergleichsweise großen Einfluss auf die spektrale Reflexanz.
- Bei freigelegten verschiedenen Düsentypen zeigte sich, dass die selektive Behandlung von Einzelpflanzen unter Laborbedingungen möglich ist.
- Durch die Optimierung der Messparameter konnte der Hyperspektralsensor in das Spritzsystem integriert werden, um Einzelpflanzen selektiv ohne Herbeiz zu erkennen.
- Das erzielbare Ergebnis zeigt, dass der freilebende selektive Verfahren im Gartenbau möglich ist, jedoch sind die Einsatzmöglichkeiten begrenzt.

Partner in der Operationellen Gruppe Präzisionsgartenbau:  
 Universität Bonn, Forschungszentrum Jülich, BG-2, Landgard GmbH & Co. KG, Betrieb Schwarz GbR, Bonnheim  
 Kontakt:  
 Dr. Hannah Jaenicke, Uni Bonn/Kompetenzzentrum Gartenbau, Campus Klein-Altendorf 2, 53229 Weibersbach, H.Jaenicke@kz.gard.de

Poster 3: Ergebnisse und Fazit (2020)

**Operational Group: High precision detection and spraying of aphids for optimization of lettuce production**  
 Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels Präzisionserkennung und -applikation von Pflanzenschutzmitteln

**Practical problem**  
Lettuce cultures are routinely pesticide-treated to avoid widespread infestation with aphids which are not tolerated by consumers. An increased location of infestation events would allow for selective spraying which reduces the costs for pesticide treatments and losses of source of revenues.

**Partners**

Type: Competitive Centre Horticulture (KOCA)  
 Research network: Competence Centre Horticulture (KOCA)  
 Research Institutes: Research Center Jülich GmbH, Institute for plant sciences (BG-2), Bonn University, Systems Engineering in Plant Production (Landgard GmbH & Co. KG)  
 Marketing organism: -name: Schwarz Gemüse und Erdbeerenbau

**Project**

Objectives: The aim is to identify suitable sensors for the remote detection of aphid-infested lettuce plants and to develop an improved spraying device for small-scale application of pesticides. Both objectives will be combined in a tractor-borne setup for the selective spraying of individual lettuce plants.

Expected results: We expect that the remote sensing response of lettuce plants to aphid infestation leads to altered spectral reflectance signatures. Suitable sensors will be selected to remotely detect aphid-infested plants. Furthermore, we will develop a custom designed spraying mechanism for individual plants by combination of high-precision valve and jets for small-scale application of pesticides.

Results so far/next lessons: In a first experimental approach, lettuce plants with different infestation intensities of the polyphagous potato aphid (Macrosiphum euphorbiae) were evaluated to detect characteristic spectral reflectance requirements. Furthermore, a detailed study of lettuce morphology and growth patterns was done for the establishment of a technical test facility to develop the spraying device.

Who will benefit: Farmers can reduce costs for pesticide treatments, and consumers benefit from products with low pesticide residues.

Start: 01.06.2017  
 End: 31.03.2020  
 Budget: 717.233 €

Contact: Laura Vienna Junker  
 Email: l.junker@kz.gard.de

Poster 4: Projektvorstellung beim Agri-Innovation Summit in Lissabon (2017)

### 3. Projektvorstellung im KoGa-Newsletter



**Partner:**

- Universität Bonn (Leadsport KoGa, sowie Institut für Landtechnik)
- Forschungszentrum Jülich (IBG-2)
- Landgard GmbH & Co. KG
- Betrieb Schwarz Gemüse- und Erdbeeranbau, Bornheim

**Landzeit:**  
1.4.2017 – 31.3.2020

**Finanzierung:**  
EU-EIP und Land NRW

**Kontakt:**  
Dr. Hannah Jaenicke (h.jaenicke@ko-ga.eu)



Dr. Hannah Jaenicke (h.jaenicke@ko-ga.eu)



Dr. Orna Muller und Dr. Laura Junker untersuchen Salatpflanzen auf dem Betrieb Schwarz. © M. Robertz/Uni Bonn

#### Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels Präzisionserkennung und -applikation von Pflanzenschutzmitteln

Am 11. April 2017 startete das Projekt mit dem Kick-off Workshop beim Betrieb Schwarz in Bornheim. EIP Mitglieder und Partner der Operationellen Gruppe des Projekts besprachen das im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft (EIP-Agri) durchgeführt innovativprojekt und planten die ersten Aktivitäten für das Jahr 2017. Im Anschluss hatte die Teilnehmer Gelegenheit, auf dem Betrieb Schwarz die Salatproduktion zu sehen.

#### Hintergrund

Der Salatbau in NRW ist mit über 2.000 ha ein wichtiges Standbein der Gemüseproduktion und der regionalen Vermarktung. In der Vergangenheit standen einige blattlaustolerante Sorten zur Verfügung, aber es gibt zunehmend Hinweise auf einen graduellen Verlust dieser Resistenz, was zu einer häufigeren bzw. flächendeckenden Anwendung von Insektiziden führt. Dies ist teuer und wirkt dem umweltchonenden Gemüsebau entgegen. Aufgrund der kurzen Kulturdauer von Salaten erschwert es auch die Einhaltung der gesetzlichen und sekundären Standards bezüglich der Pflanzenschutzmittel (PSM)-Rückstände.

In diesem EIP-Innovationsprojekt arbeiten Universität Bonn (Kompetenzzentrum Gartenbau und Institut für Landtechnik (ILT)), Forschungszentrum Jülich (IBG-2), Landgard GmbH & Co. KG und Betrieb Schwarz GbR zusammen an einer praxisrelevanten Lösung.

#### Projektziele

Unser innovativer Ansatz verfolgt das Ziel, durch optische Verfahren gezielt befallene Pflanzen identifizieren zu können, die dann durch ein geeignetes Spritzverfahren/-gerät punktuell behandelt werden. Dadurch wird die Ausbringungsmenge von PSM reduziert (= Senkung der Betriebsausgaben und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit) und eine Reduktion von Rückständen in Pflanze und Boden erreicht (= Ressourcen-, Umwelt- und Verbraucherschutz).

#### Arbeitspakete



#### Verwertung

- Auf Praxisebene durch die Entwicklung eines innovativen Verfahrens zum selektiven PSM.
- Auf Ebene des Landmaschinenbaus durch die Kommerzialisierung des Geräts.
- Auf wissenschaftlicher Ebene durch neue Erkenntnisse in der Phänotypisierung von biotischen Stressantworten.

Die Europäische Innovationspartnerschaft Landwirtschaft (EIP-Agri) ist ein neues Förderinstrument unter dem Schirm des EU Forschungsförderprogramm Horizont2020. Beim EIP-Agri steht die Zusammenarbeit von Praktikern mit Forschern im Vordergrund. Diese schließen sich zu einer Operationellen Gruppe (OG) zusammen und bearbeiten gemeinsam ein Innovationsprojekt (IP).

2017



**Partner:**

- Universität Bonn (Leadsport KoGa, sowie Institut für Landtechnik)
- Forschungszentrum Jülich (IBG-2)
- Landgard GmbH & Co. KG
- Betrieb Schwarz Gemüse- und Erdbeeranbau, Bornheim

**Landzeit:**  
1.4.2017 – 31.3.2020

**Finanzierung:**  
EU-EIP und Land NRW

**Kontakt:**  
Dr. Hannah Jaenicke (h.jaenicke@ko-ga.eu)

#### Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels Präzisionserkennung und -applikation von Pflanzenschutzmitteln

#### EIP Dienstleister—Besuch in Klein-Altendorf

Im Jahr 2018 fanden verschiedene Veranstaltungen statt, bei denen das Projekt Präzisionsgartenbau vorgestellt werden konnte. Vom 22.-25.1.2018 war Dr. Laura Junker im Rahmen der Präsentation des Instituts für Pflanzenwissenschaften (IBG-2, Forschungszentrum Jülich) bei der Internationalen Pflanzenmesse in Essen. Dr. Hannah Jaenicke vertrat das Projekt beim 2. bundesweiten Workshop für Operationelle Gruppen und Innovationsdienstleister in Weimar 5.-6.03.2018 und bei der Veranstaltung „Brückenklausur NRW“ am 6.06.2018.



#### Drittes Projekttreffen

Am 27. April fand das dritte Projekttreffen im Institut für Landtechnik in Bonn statt. Hierbei wurden die ersten Ergebnisse des Vorjahres vorgestellt sowie die Planung für 2018 besprochen. Erste Ergebnisse zeigten die Schwierigkeiten, mit bildgebenden Verfahren Blattläusbefall bei Salatpflanzen darstellen zu können. Des Weiteren wurde ein Versuchstand für die Spritztechnik entwickelt, der auch vorgeführt wurde. Nun kommt es darauf an, die Schnittstellen zwischen optischer Erkennung und Spritzung zu entwickeln, und die jeweiligen Verfahren weiter zu entwickeln und auf dem Praxisbetrieb zu testen.



#### Das Projekt im Film

Zwei Kurzfilme zur Spritztechnik und dem optischem Verfahren sind dieses Jahr entstanden...

#### Öffentlichkeitsarbeit im Projekt

#### ELER Begleitausschuss besucht KoGa

Am 12. Oktober besuchte der Begleitausschuss des ELER (Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums) mit Partnern im Rahmen einer Exkursion mit dem Thema "Digitalisierung in der Landwirtschaft" den Campus Klein-Altendorf der Universität Bonn. Dort informierten sich die etwa 50 Exkursionsmitglieder über das Projekt. Nachdem Frau Dr. Jaenicke einen Überblick über die Struktur des KoGa und eine Einführung in das Projekt gegeben hatte, berichteten Dr. Orna Muller vom Forschungszentrum Jülich sowie Dr. Lutz Damerow und Herr Xin Wu vom Institut für Landtechnik der Universität Bonn von ersten Entwicklungen aus den Arbeitspaketen "Erkennung von befallenen Pflanzen mit einem optischen Verfahren" und "Entwicklung eines Applikationsverfahrens". Leider waren auf Grund der fortgeschrittenen Saison nur noch wenige Salatpflanzen im Versuch, so dass den Teilnehmern an Hand von Postern die Arbeiten näher betrachtet wurden. Ein besonderes Interesse der ELER Teilnehmer galt der Zusammenarbeit im KoGa von Praktikern und Wissenschaftlern, da eine solche Zusammenarbeit in EIP-Projekten im Fokus steht.



#### EIP-Agri & Horizont2020 in Kiel

Als Vertreter der vom KoGa geleiteten Operationellen Gruppe "Präzisionsgartenbau" nahm Dr. Lutz Damerow (Uni Bonn) an der Tagung **EIP-Agri & Horizont2020 - den Brückenschlag gestalten - How to bridge?** am 25. und 26. September 2017 in Kiel teil. Ziel der Veranstaltung, mit ausgewählten Beträgen aus dem In- und Ausland, war der Informationsaustausch der nationalen und europaweit agierenden Operationellen Gruppen des Europäischen Innovationsprogramms. Teilnehmer waren Mitglieder von OGs und mehrere EIP-Innovationsdienstleister. Die Tagung wurde von der LWK Schleswig-Holstein organisiert.

#### Präsentation des KoGa Präzisionsgartenbauprojektes beim Agri Innovation Summit 2017 in Lissabon, Portugal

Dr. Laura Junker (FZJ) wurde vom EIP-Agri Netzwerk eingeladen, das Projekt in einer Posterpräsentation beim **Agri Innovation Summit 2017** zu präsentieren. Bei diesem Meeting in Lissabon (organisiert vom EIP-Agri Netzwerk, der portugiesischen Regierung und dem europäischen Netzwerk für ländliche Entwicklung) kamen mehr als 500 Teilnehmer zusammen, um die Möglichkeiten der Digitalisierung der Landwirtschaft zu diskutieren. Bei diesem Treffen wurde der Austausch zwischen Landwirten, Firmen des landwirtschaftlichen Sektors, Regierungsvertretern und Wissenschaftlern gefördert, um Möglichkeiten der Digitalisierung der Landwirtschaft aufzuzeigen und Impulse für die EU-Innovationspolitik nach 2020 zu erhalten.



#### Mitarbeiter in diesem Projekt



Frau Dr. Laura Junker arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin beim Forschungszentrum Jülich und bearbeitet das Arbeitspaket 1 in dem die nicht-invasive Detektion von Blattläusbefall an Salatpflanzen untersucht werden.



Herr Xin Wu vertritt das Team im Institut für Landtechnik der Universität Bonn. Er bearbeitet zusammen mit Herrn Dr. Lutz Damerow das Arbeitspaket 2, die Entwicklung des Applikationsystems.



Frau Miriam Robertz unterstützt als Projektassistentin die Projektassistentin im Bereich der Administration, der Organisations- und Durchführung von Veranstaltungen.

2018

#### Präsentation des KoGa-Projektes Präzisionsgartenbau bei Konferenzen zu Gartenbau und Pflanzenschutz

Auf der 52. Gartenbauwissenschaftlichen Jahrestagung der DGG und des BHEL vom 28.02. bis 03.03.2018 in Geisenheim sowie der 61. Deutschen Pflanzenschutztagung in Hohenheim vom 11. bis 14. September 2018 stellte Dr. Laura Junker das Projekt in Vorträgen und Posterbeiträgen vor. Beide Konferenzen behandelten aktuelle Herausforderungen für die gartenbauliche Produktion von Pflanzen und den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Die Auswahl der Vorträge und anschließende Diskussionen haben gezeigt, dass der zukünftige Einsatz von Pflanzenschutzmitteln von großem Interesse ist. Insbesondere vor dem Hintergrund des Verbots von Samenbeizungen mit Neonicotinoiden, die einen systemischen Schutz der jungen Pflanzen gegen Blattläusbefall geboten haben, ist der Pflanzenschutz gegen Blattläuse im Salatbau von besonderem Interesse.

#### Precision Farming Workshop der Deutschen Vernetzungsstelle Ländliche Räume (dvs) auf dem Campus Klein-Altendorf

Auf Anregung von Dr. Laura Junker hat die Deutsche Vernetzungsstelle Ländliche Räume (dvs) vom 5. bis 6. November einen Workshop zum Thema Precision Farming am Campus Klein-Altendorf, Bonn, durchgeführt. Rund 20 Teilnehmer kamen zusammen, um die aktuellen und zukünftigen Möglichkeiten der Präzisionslandwirtschaft zu diskutieren. Zunächst fand eine Führung zu einigen Projekten des Forschungszentrum Jülich auf dem Campus statt ("MiniPlots facility for greenhouse and field" (Gewächshausbereiche mit verschiedenen Sensoren) sowie "BREED-FACE Field phenotyping under elevated CO2" ein FACE-Experiment zur Erhöhung der CO2-Konzentration der Luft). Danach stellten die Teilnehmer ihre Projekte vor, die im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft "Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit" (EIP-Agri) unterschiedliche Aspekte der Präzisionslandwirtschaft untersuchen und innovative Lösungsansätze verfolgen. Hierzu gehörte auch das vom KoGa koordinierte EIP-Agri Projekt zur Optimierung des Salatbaus mittels Präzisionserkennung und -applikation von Pflanzenschutzmitteln.



...Die Filme sind auf der KoGa-Webseite oder auf unserem YouTube Kanal zu sehen.





Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels Präzisionserkennung und -applikation von Pflanzenschutzmitteln

Das Jahr 2019 war für das EIP-Projekt „Optimierung des Salatbaus mittels Präzisionserkennung und -applikation von Pflanzenschutzmitteln“ durchwachsen. Während in der ersten Jahreshälfte Fortschritte in der Durchführung der Sensoruntersuchungen sowie in der Auswahl einer geeigneten Spritzdüse für die weiteren Entwicklungen stattfanden, stand die zweite Jahreshälfte im Zeichen von personellen Veränderungen im Projektteam.

- Partner:
- Universität Bonn (Leadpartner ko-Go, sowie Institut für Landtechnik)
- Forschungszentrum Jülich (IGG-2)
- Landgard GmbH & Co. KG
- Konrad und Markus Schwarz GbR, Bornheim



Laufzeit: 1.4.2017 - 31.3.2020

Finanzierung: EU-EIP und Land NRW

Kontakt: Dr. Hannah Jaenicke (h.jaenicke@ko-go.eu)

Erste Ergebnisse

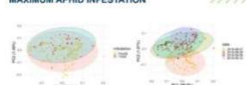
Die Konstruktion des Spritzstands an der Uni Bonn sowie die Auswahl eines ultraschnellen Hyperspektralsensors (Fluo/Rox) am FZ Jülich waren wichtige Meilensteine für das Projekt. Aus neun getesteten Rund- und Flachstrahlendüsen wurde eine für weitere Anwendungen ausgewählt.

Die Gartenversuche 2017 und 2018 mit Salatpflanzen in blattsauberen Käfigen auf dem Gelände des FZ Jülich wurden ausgewertet und die Ergebnisse u.a. mit Hilfe der Principal Component Analyse analysiert. Es zeigte sich eine Unterscheidung zwischen Kontrolle- und blattausgefallenen Pflanzen aber kein klares Clustering, während hyperakute Images eine Variation in jungen Blättern zeigten konnte. Die Auswirkungen der Feldversuche des Jülicher Teams auf dem Partnerbetrieb in Bornheim zeigten lediglich minimale Variation in der lokalen Stressantwort bei hoher Inzestation.



Das Spritzergebnis der Flachstrahldüse D-3 (Spritzhöhe 27,2 cm) sowie das mit der Software Imagi bearbeitete und ausgewertete Bild zeigen eine relativ hohe Präzision dieser Düse.

AVERAGE SPECTRAL REFLECTANCE ON DAYS WITH MAXIMUM APHID INFESTATION



Variation over time exceeds variation due to aphid infestation by far. Die Principal Component Analyse zeigt, dass die Unterschiede zwischen den Messtagen größer sind, als zwischen den Behandlungen (befallen/nicht befallen).

Zwei Projekttreffen fanden dieses Jahr statt: Anfang Januar in den Räumlichkeiten der Landgard und Ende Mai im Institut für Landtechnik der Uni Bonn.

Präzisionsgartenbau für Neugierige

Beim diesjährigen „Tag der Neugier“ des Forschungszentrums Jülich am 7. Juli kamen rund 28.000 Besucher auf den Wissenschafts-Campus.



FZ-Mitarbeiter Michael Quarten erklärt Besuchern das Projekt.

Viele der großen und kleinen Neugierigen besuchten dabei den Stand der Feld-Phänotypisierungsgruppe des IGG-II. Hier konnten sich die Besucher auch über erste Ergebnisse des durch den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums geförderten Projekt „Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels Präzisionserkennung und -applikation von Pflanzenschutzmitteln“ informieren und den neu entwickelten schnellen Hyperspektralsensor sehen. Dieser wird im Projekt zur Erkennung von Salatpflanzen genutzt, um Pflanzenschutzmittelbehandlungen präziser applizieren zu können.

Das EIP-Projekt „Präzisionsgartenbau“ präsentiert sich bei Veranstaltungen zu Innovationen in der Landwirtschaft

Vom 16. - 17. Oktober fand in Osnabrück die „innovatel 2019“ statt. Die Veranstaltung hat einen Fokus auf die Themen Food, Agrar und Digitalisierung. Über 300 Gründer, Studierende, Unternehmer, Vertreter aus Forschung & Lehre sowie ganz einfach Interessierte waren eingeladen, mitzumachen, sich auszutauschen und gemeinsam zu lernen. Dieses Jahr wurde die große Bühne für eine Vorstellung der Europäischen Innovationspartnerschaften im Agrarbereich geöffnet. Während einer Poster-session wurde dabei auch das neue Poster der „OG Präzisionsgartenbau“ präsentiert.



Vertreter der EIP-Projekte mit Staatssekretär im MULNV-NRW, Dr. Heinrich Bottermann (S.v.r.).

Am 25. Oktober fand die Veranstaltung „Ideen für Feld und Teller. Innovationen in der Land- und Ernährungswirtschaft“ im Versuch- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Dasse statt. Auch hier konnte das Projekt den interessierten Teilnehmern vorgestellt werden. Staatssekretär im Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz NRW, Dr. Heinrich Bottermann, interessierte sich dabei besonders für innovative Möglichkeiten der Einzelplantzenerkennung.

Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete unter Beteiligung des Landes Nordrhein-Westfalen.

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen



2019



Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels Präzisionserkennung und -applikation von Pflanzenschutzmitteln: Projekt erfolgreich abgeschlossen



Nachdem das Projekt eine 3-monatige Laufzeitverlängerung erhalten hatte, wurde es Ende September mit einer Online-Veranstaltung abgeschlossen. Die Veranstaltung erlaubte den Teilnehmern, das Projekt in all seinen Stärken und Schwächen noch einmal Revue passieren zu lassen, die Ergebnisse der Arbeitspakete zur optischen Erkennung von Blattläusen, zur gezielten Präzisionsspritzung und der Kombination von Erkennung und Spritzung mit den Partnern zu besprechen und Gedanken zur weiteren Verwertung der Erkenntnisse zu diskutieren.

In den Monaten zuvor wurden im Endspurt die vorliegenden Daten aus der optischen Erkennung intensiv ausgewertet.

Ab April wurden—so gut es während der Corona-Beschränkungen im Frühjahr ging—die Funktion des Kombi-Geräts getestet. Dabei wurde der Hyperspektralsensor genutzt, um die Position von Einzelpflanzen zu detektieren. Sobald ein Schwellenwert überschritten wurde, wurde ein Signal an das Sprühsystem weitergeleitet, das daraufhin Wasser auf die entsprechende Salatpflanze spritzte. Die Pflanzen wurden mittels des Vegetationsindex NDVI (Normalized difference vegetation index) detektiert, der die Reflektion bei zwei Wellenlängen miteinander verrechnet. Dies ist aussagekräftiger und erlaubt eine verlässlichere Detektion als die Messung bei nur einer Wellenlänge. Es zeigte sich, dass die Fahrgeschwindigkeit recht niedrig sein musste, um eine verlässliche Detektion zu erreichen. Bei größeren Pflanzen ergab sich aufgrund der überlappenden Blätter ein Dauersignal, so dass die Spritzfunktion dauerhaft ausgelöst wurde.

Abschließend lässt sich sagen, dass durch das im Projekt entwickelte Verfahren das Projektziel, durch optische Verfahren gezielt befallene Pflanzen identifizieren zu können und diese dann mit Hilfe eines geeigneten Spritzverfahrens punktuell zu behandeln, erreicht werden konnte.

Allerdings kann aufgrund der sehr niedrigen Schwellenschwelle von Blattläusen an Salatpflanzen unter realistischen Bedingungen mit dem Hyperspektralsensor keine biotische Stress-

antwort detektiert werden. Faktoren wie das Alter oder die Sorte der Salatpflanzen und die Umweltbedingungen haben einen vergleichsweise großen Einfluss auf die spektrale Reflektion, so dass das große „Grundrauschen“ der Erkennung einer möglichen Stressantwort erschwert.



Der Versuchsaufbau für die Tests mit der Kombination Sensor und Applikationsmethode für Einzelplantzenerkennung. Unter dem Licht fließen Pflanzen auf einem Förderband, bis sie eine Applikation während der Spritzung zu sehen. © D. Lenzen

Ein Einsatz der Einzelplantzenerkennung im Feld erscheint bei dem derzeitigen Stand der Entwicklung nur bei Kulturen mit einem großen Pflanzabstand, wie z.B. Kohlgemüse, realisierbar. Weiterführende Studien und Zusammenarbeit mit relevanten Agrartechnik-Firmen sind denkbar.

Im neuen Projekt OPTIKO (s. nächste Seite) wird an der Thematik von mehreren der in diesem Projekt beteiligten Partner weiter gearbeitet und neue Lösungsansätze gesucht.

Auch wenn einige Resultate hinter den Erwartungen zurück blieben, zogen die Projektteilnehmer ein abschließendes sehr positives Fazit zu der sehr guten und offenen Kommunikation innerhalb des Projektteams. Fachliche Schwierigkeiten wurden in offenen Gesprächen konstruktiv thematisiert und Lösungen gefunden.

Ansprechpartnerin bei der Uni Bonn ist Dr. Hannah Jaenicke (h.jaenicke@uni-bonn.de).

Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete unter Beteiligung des Landes Nordrhein-Westfalen.

Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

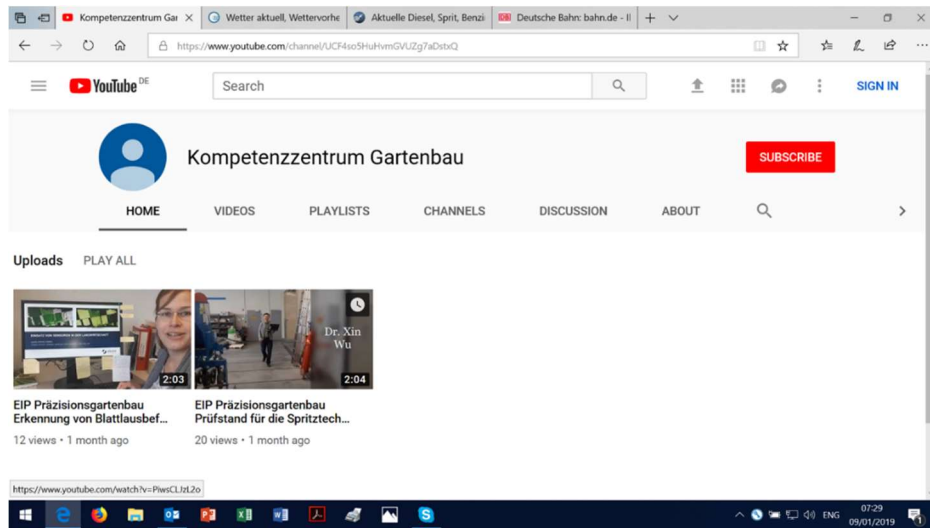
Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete unter Beteiligung des Landes Nordrhein-Westfalen.



2020

#### 4. Videos

2018 wurden zwei Erklärvideos auf dem YouTube-Kanal des KoGa veröffentlicht (<https://www.youtube.com/channel/UCF4so5HuHvmGVUZg7aDstxQ>)



1. EIP Präzisionsgartenbau. Prüfstand für die Spritztechnik:  
<https://www.youtube.com/watch?v=PiwsCLJzL2o>
2. EIP Präzisionsgartenbau. Erkennung von Blattlausbefall an Salatpflanzen  
<https://www.youtube.com/watch?v=ggVA-uldL38>

2020 folgte ein abschließendes Resümee einiger der Projektbeteiligten: <https://youtu.be/2cpOdlA27-A>.

Ein Versuchslauf des kombinierten Verfahrens ist auf [https://youtu.be/JVoePei\\_5rk](https://youtu.be/JVoePei_5rk) eingestellt.

## 5. Publikationen (s. a. Anhang 5)

Junker, L.V., Jaenicke, H., Rascher, U., Muller, O. 2018. Experimentelle Untersuchungen von charakteristischen Veränderungen der spektralen Reflektanz von Salatpflanzen bei Blattlausbefall. Julius-Kühn-Archiv 461: 345-346.

Junker, L.V., Jaenicke, H., Rascher, U., Muller, O. 2019. Detection of plant stress responses in aphid-infested lettuce using non-invasive detection methods. Integrated protection in field vegetables. IOBC-WPRS Bulletin Vol. 142: 8-16.

Junker, L.V., Rascher, U., Jaenicke, H., Muller, O. 2018. Entwicklung einer nicht-invasiven Detektionsmethode zur Identifizierung von Blattlausbefall von Salatpflanzen. BGHL-Tagungsband 33/2018: 63.

Kremers, M. 2020. Anbau, Pflegemaßnahmen und Vermarktung des Romanasalates. Kompetenzzentrum Gartenbau. 12pp.

Tholen, T.W., Junker, L.V., Jaenicke, H., Roscher, R., Rascher, U., Muller, O. 2019. Detektion von Blattläusen in Salatkulturen durch spektrale Reflektanz. BGHL-Tagungsband 34/2019: 57.

## 6. Abschlussarbeiten

Tholen, Tobias. 2019. Detection of aphid infestations in lettuce cultivations by measuring spectral reflectance. Masterarbeit Universität Bonn.

## 10 Fazit

Nach der in diesem Projekt generierten Erfahrung ist das Instrument EIP-Agri grundsätzlich gut geeignet, um landwirtschaftliche Innovationen im Grenzbereich Wissenschaft und Praxis zu fördern. Es bietet einen Raum, in dem der Praxis eine Stimme gegeben wird und kreative Lösungsansätze gemeinsam von Vertretern der Wissenschaft und der landwirtschaftlichen Praxis entwickelt werden können.

Wie mit vielen anderen ähnlichen Programmen auch, ist es aber auch nach unserer Erfahrung schwer, Praxisbetriebe zur Erfüllung der administrativen Vorgaben zu bewegen. Schon die Notwendigkeit, einen Kooperationsvertrag vor Projektbewilligung zu erstellen, war eine große Hürde. Das komplizierte Abrechnungsverfahren und die Notwendigkeit zur Vorfinanzierung über Zeiträume von z.T. über 12 Monate macht die Mitarbeit von kleineren Firmen in dem Konstrukt EIP-Agri sehr schwierig, wenn nicht unmöglich.

Insgesamt wirkt das eigentlich als flexibel gedachte EIP-Agri durch seinen administrativen Überhang an Prüfinstanzen sehr unbeweglich.



## C ANHANG

Anhang 1: Kremers, M. 2020. Anbau, Pflegemaßnahmen und Vermarktung des Romanasalates

Anhang 2: Junker-Frohn, L.V. et al. 2020. Erkennung von blattlausbefallenen Salatpflanzen durch ein optisches Verfahren

Anhang 3: Wu, X. 2019. Entwicklung eines Applikationsverfahrens

Anhang 4: Lenzen, D. und Junker-Frohn, L.V. 2020. Zusammenführung der Erkennungs- und Applikationskomponente

Anhang 5: Abstracts bzw. Veröffentlichungen

5.1: Junker, L.V., Jaenicke, H., Rascher, U., Müller, O. 2018. Experimentelle Untersuchungen von charakteristischen Veränderungen der spektralen Reflektanz von Salatpflanzen bei Blattlausbefall. Julius-Kühn-Archiv 461: 345-346.

5.2: Junker, L.V., Rascher, U., Jaenicke, H., Müller, O. 2018. Entwicklung einer nicht-invasiven Detektionsmethode zur Identifizierung von Blattlausbefall von Salatpflanzen. BGHL-Tagungsband 33/2018: 63.

5.3: Junker, L.V., Jaenicke, H., Rascher, U., Müller, O. 2019. Detection of plant stress responses in aphid-infested lettuce using non-invasive detection methods. Integrated protection in field vegetables. IOBC-WPRS Bulletin Vol. 142: 8-16.

5.4: Tholen, T.W., Junker, L.V., Jaenicke, H., Roscher, R., Rascher, U., Müller, O. 2019. Detektion von Blattläusen in Salatkulturen durch spektrale Reflektanz. BGHL-Tagungsband 34/2019: 57.

Operationelle Gruppe:  
Präzisionsgartenbau



Innovationsprojekt:

Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels Präzisions-  
erkennung und -applikation von Pflanzenschutzmitteln

# Anbau, Pflegemaßnahmen und Ver- marktung Romanasalat

von

Michelle Kremers  
(Universität Bonn)

01.07.2020



Landgard®





Die Quelle all der in diesem Text verwendeten Bilder ist die OG Präzisionsgartenbau.

*Koordinationsstelle:*

Frau Dr. Hannah Jaenicke

Campus Klein-Altendorf 2

53359 Rheinbach

Tel: 02225-9808735

E-Mail: [info@Ko-Ga.eu](mailto:info@Ko-Ga.eu)



**Inhaltsverzeichnis**

Einleitung .....	4
Anbau.....	4
Krankheiten & Schädlinge im Salatanbau.....	5
Unkrautbekämpfung .....	8
Verluste durch äußere Einflüsse.....	8
Vermarktung.....	9
Zusammenfassung.....	9
Quellenverzeichnis .....	10

## Anbau, Pflegemaßnahmen und Vermarktung des Romanasalates

Von Michelle Kremers, Universität Bonn

### Einleitung

Der Pro-Kopf-Verbrauch von Gemüse in Deutschland lag 2018/2019 insgesamt bei 96,9 kg. Davon fielen 3,3 kg auf Salatsorten wie Eichblattsalat, Endiviensalat und Romanasalat. Kopf- und Eisbergsalat hatten dagegen nur 2,3 kg/Kopf (BMEL, 2020). Die Anbaufläche von Blatt- und Stängelgemüse im Freiland lag 2018 bei 51.199 ha. Romanasalat hatte davon eine Fläche von etwa 1.700 ha und damit die siebtgrößte Anbaufläche. Von den Salatsorten hatten nur Eis- und Feldsalat eine größere Fläche (Hortipendium, 2020).

Romanasalat (*Lactuca sativa* var. *longifolia*), der auch als Römersalat, Römischer Salat, Binde-salat oder Sommerendivie bezeichnet wird, ist eine Variante des Gartensalats (*Lactuca sativa*) und ist eng verwandt mit Blatt-, Eis-, Kopf- und Schnittsalaten (Hortipendium, 2020). Er wird vor allem im Mittelmeerraum angebaut (Krug et al., 2002, Lissek-Wolf et al., 2009). In Deutschland wird der Bedarf an Romanasalat über Eigenproduktion und Importe als Miniware gedeckt (Wonneberger & Keller, 2004).

Der Anbau von Romanasalat hat außerdem in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen, da die Anbaufläche von etwa 1.500 ha auf etwa 1.700 ha gestiegen ist (Hortipendium, 2020). Aufgrund seiner kurzen Vegetationszeit und seiner Kälteresistenz, ist es eines der ersten Blattgemüse, die es im Frühling auf dem Markt gibt (Yordanova & Nikolov, 2017).

### Anbau

Während der vegetativen Phase bildet Romanasalat eine dichte Rosette und hat überwiegend längliche, spatel- bis keilförmige, ungeteilte und ganzrandige Blätter. Die Blätter sind bei vielen Sorten leicht nach innen gebogen. Im Gegensatz zu den Blattsalaten bilden die Blätter des Romanasalates Köpfe (Herzen). Die inneren Blätter haben eine steile, schräg aufrecht gerichtete Stellung (Krug et al., 2002). Bei der Variante des Mini-Romanasalates gibt es aufrechte, kleinköpfige Sorten, deren gelbe und feste Salatherzen einen kräftigen Geschmack haben. Daher geht der Trend beim Anbau auch zu solchen Mini-Romana-Sorten (Wonneberger & Keller, 2004).

## Romanasalat

Bei der Aussaat ist darauf zu achten, dass Sorten gewählt werden, die gut geschlossene Köpfe ausbilden, Bremiaresistent<sup>1</sup>, virustolerant und unempfindlich gegen Randen bzw. „Drehen“ der Blätter sind. Außerdem sollten sie kälte- und hitzeverträglich sein und eine Schossfestigkeit besitzen (Wonneberger & Keller, 2004).

In den meisten Fällen wird Romanasalat im Freiland kultiviert. Jungpflanzen werden für die Anzucht in etwa 4 cm oder kleineren Erdpresstöpfen angezogen und es gibt sie meist nur in spezialisierten Jungpflanzenbetrieben. Für den Anbau von Romana Salaten werden überwiegend Pflanzmaschinen genutzt, in die die einzelnen Pflanzen von Hand eingelegt werden. Außerdem wird eine Fruchtfolgeoptimierung schon bei der Planung des Anbaus angestrebt, bei der eine Anbaupause von Korbblütlern über etwa zwei Jahre eingehalten werden sollte (Hor- tipendium, 2020).

Romanasalat wird in wöchentlichen Sätzen angebaut, dessen Pflanztermine von Anfang März bis Anfang August liegen. Die Bestandsdichte liegt im Freiland bei 30 x 35 cm und neun bis elf Pflanzen/m<sup>2</sup> (Abb. 1) und bei einer Vlieskultur bei 30 x 30 cm. Die Kulturdauer von Romanasalat ist nur sechs bis neun Wochen recht kurz. Mini-Romanasalat wird enger gepflanzt (z.B. 25 x 25 bis 30 cm, das in etwa zwölf bis 16 Pflanzen/m<sup>2</sup>) und hat eine 15 bis 20 Tage kürzere Kulturdauer. Allerdings ist der Anbau aufgrund von Innen- und Außenbrand, besonders als Nachkultur im Herbst, riskanter (Wonneberger & Keller, 2004).



**Abb. 1: Jungpflanzen im Feld**

Zur Ernte ist der Kopf des Romana-Salates etwa 250 g bis 1 kg schwer und hat einen Ertrag von 400 bis 600 dt/ha. Mini-Romanasalat hat ohne Umblatt ein Gewicht von 125 bis 250 g. Geerntet wird ab Ende April (Mini-Romana) bis Ende September und zum Teil bis in den Oktober hinein (Wonneberger & Keller, 2004).

### Krankheiten & Schädlinge im Salatanbau

Verschiedene Krankheiten und Schädlinge können die Salatpflanze befallen. Daher werden beim Anbau entsprechend vorbeugende Maßnahmen ergriffen und auch direkt Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt, um Totalausfälle zu vermeiden, sobald erste Anzeichen eines Befalls bestehen. Die häufigsten Krankheiten und Schädlinge, die den Romanasalat wie

---

<sup>1</sup> *Bremia lactucae* oder auch Falscher Salatmehltau ist ein Erreger bzw. ein Eipilz, der alle Salatarten der Gattung *Lactuca* befällt (BLE, 2019).

## Romanasalat

auch andere Salatsorten befallen sind unter anderem Glasigkeit<sup>2</sup>, Falscher Mehltau (*Bremia lactucae*), Rhizoctonia Fäule (*Rhizoctonia solani*), Sklerotinia Fäule (*Sclerotinia*), Brauschimmel (*Botrytis cinerea*), Blattläuse und Schnecken (Hortipendium, 2020).

Vor allem im Inneren des Salatkopfes (Abb. 2) kommt es häufig zu einem Befall durch Schädlinge, wie zum Beispiel der Blattlaus. Dies kann bei der Vermarktung zu Problemen führen und den Ertrag mindern, da Kunden auch eine geringe Anzahl von Blattläusen im Produkt nicht tolerieren (Morales et al., 2013).

Es kann vorkommen, dass sich Dutzende, bis Hunderte Läuse im Kopf unentdeckt entwickeln und weiter fortpflanzen können. Die am häufigsten im Salatanbau vorkommende Blattlaus ist die Grüne Salatblattlaus (*Nasonovia ribisnigri*) (Abb. 3), gefolgt von der etwas seltener vorkommenden Kartoffellaus (*Macrosiphum euphorbiae*). Die Grüne Salatblattlaus ist die unbeliebtere Art, da sie schwieriger zu bekämpfen ist. Die Innenblätter weisen bei einem starken Befall braune Stellen auf und fangen schnell an zu faulen.



**Abb. 3: Nahaufnahme Blattlaus**



**Abb. 2: Aufgeschnittener Romanasalat**

Der Befall durch verschiedene Blattlausarten wird bereits ab Mai beobachtet, wobei das Schadbild immer gleich ist, egal welche Art von Blattlaus den Salat befallt (Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau & LWG Gartenakademie, 2017; Regierungspräsidium Gießen, o. J.). Wird der Befall nicht früh genug entdeckt, kommt es zu Ertragsverlusten. Um diese zu verhindern, muss eine gezielte Bekämpfung durchgeführt werden. Wird

der Befall früh genug erkannt, können die zu Anfang kleinen Mengen Blattläuse bei kleinen Beständen per Hand, durch beispielsweise Zerquetschen oder Abstreifen oder durch das Abspritzen mit einem härteren Wasserstrahl, entfernt werden. (Merbold, 2016; Quentin et al.,

<sup>2</sup> Bei Salat zeigt sich die Glasigkeit durch Farbveränderungen an den Blatträndern und dunklen Verfärbungen der betroffenen Gewebepartien, die durch Blattadern abgegrenzt sind. Bei weiterem Verlauf der Krankheit stirbt das Gewebe nach einiger Zeit ab und verfärbt sich braun. Der Befall durch diese Bakterien wird deutlich, wenn man das Blatt gegen das Licht hält, da die betroffenen Stellen gelblich erscheinen.

## *Romanasalat*

1995). Jedoch müssen auch bei einem geringen Befall meist ganze Kulturen komplett mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden, um Ertragsverluste zu vermeiden (Mackenzie & Vernon, 1988).

Durch den Befall durch Blattläuse kommt es zu biotischem Stress. Die Pflanze reagiert darauf, indem sie giftige Alkaloide, phenolische Verbindungen und wachstumshemmende Proteine im Phloem anreichert (Smith & Chuang, 2014). Es werden meist keine optischen Veränderungen entdeckt, wenn sich die Pflanze in einem frühen Befallsstadium befindet. Jedoch kommt es bei andauerndem Blattlausbefall anfälliger Pflanzen zu einer geringeren Photosyntheseaktivität und reduzierten Chlorophyllgehalt, wohingegen resistente Pflanzen erhöhte Photosyntheseaktivität zeigen (Smith & Boyko, 2007). Zudem zeigen sich bei Befall morphologische Veränderungen, häufig wird ein Kräuseln der Blätter beobachtet (Markus Schwarz, persönliche Kommunikation).

Es wird heute vermehrt auf blattlausresistente Salatsorten zurückgegriffen. Diese sind beim Romanasalat beispielsweise die Sorten ‚Xamena‘, ‚Xiomara‘ und ‚Thimble‘ (Hageneder, 2017; L. Junker-Frohn, persönliche Kommunikation). Da einige Sorten in einigen Regionen ihre Resistenzen verloren haben, empfiehlt es sich, verschiedene Sorten auszuprobieren (Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau & LWG Gartenakademie, 2017; Merbold, 2016). Viele Blattlauspopulationen haben Toleranzen gegen die Nr:0<sup>3</sup> Resistenz von Salatpflanzen entwickelt. Aus diesem Grund bedeutet auch der Anbau von Nr:0-resistenten Sorten nicht notwendigerweise einen Schutz einem Befall. Daher wird die Zucht der sogenannten Nr:1-Toleranz angestrebt (Walley et al., 2017). Neben der Bekämpfung bei Befall bietet es sich an, schon vorher Maßnahmen zu treffen, die der Blattlaus den Befall erschweren. Es sollte beispielsweise der passende Standort gewählt und auf die Nährstoffversorgung geachtet werden, damit die Pflanze stark genug ist, die Blattlaus von selbst abzuwehren. Außerdem empfiehlt sich ein Standort, an dem genug Luftbewegung herrscht, da Blattläuse keinen Wind mögen, der es den geflügelten Läusen erschwert, von einem Ort zum anderen zu fliegen (Merbold, 2016).

---

<sup>3</sup> Bei genetischen Analysen wurde herausgefunden, dass durch ein dominantes Gen, bekannt als Nr, die Resistenz kontrolliert wird ((Walley et al., 2017).

### Unkrautbekämpfung

Ebenso wie mit Schädlingen und Krankheiten hat der Romanasalat auch mit Unkrautdruck zu kämpfen. Deswegen ist es unvermeidlich, auf eine gute Feldhygiene beim Anbau zu achten, da die Unkrautbekämpfung sehr zeit- und geldaufwändig ist. Ergänzend wird eine mechanische Unkrautbekämpfung durchgeführt und beim konventionellen Anbau wird zusätzlich auf den Einsatz von Herbiziden zurückgegriffen (Abb. 4). Eine



**Abb. 4: Traktor bringt Pflanzenschutzmittel auf Feld aus**

gute Feldhygiene beinhaltet vor allem vorbeugende Maßnahmen. Dauerunkräuter werden schon beim ersten Auftreten bekämpft und bevor sich die Bestände vergrößern. Jegliche Samenbildung sollte verhindert werden. Wird sorgfältig auf eine gute Feldhygiene geachtet, lässt sich der Unkrautdruck eindämmen und von Jahr zu Jahr verringern. Eine weitere Möglichkeit bietet das „Falsche Saatbeet“, bei dem die Felder schon zwei bis drei Wochen vor der eigentlichen Aussaat oder Bepflanzung hergerichtet werden. Dadurch werden die Unkrautsamen zur Keimung angeregt und können schon vorher einfach mechanisch bekämpft werden (Hortipendium, 2020).

### Verluste durch äußere Einflüsse

Es gibt beim Salatanbau weitere Gründe, wieso es zu Verlusten kommt, dies hat das Thünen-Institut bei einer Fallstudie in Osnabrück 2017 ermittelt. Einer der Gründe ist unter anderem die Witterung, die etwa 90 % der Verluste verursacht. Bei Hitzeperioden wird das Wachstum beschleunigt. Außerdem kann es bei einer Ernte in nassen Perioden zu Druckstellen und Braunfärbungen kommen. Der Pflanzzeitpunkt kann sich bei einem nassen Feld verschieben und Frost kann bei sehr frühen oder späten Sätzen Schäden verursachen. Bei Hagelschlag und Gewitter kann es im schlimmsten Fall zu einem Totalausfall kommen. Krankheiten, Schädlinge und Fraßschäden durch andere Tiere wie beispielsweise Hasen, Rehe, Tauben oder auch Schnecken können verminderte Erträge nach sich ziehen. Neben der Witterung sorgen auch die Marktlage und ein möglicher Erntestau für Verluste. Da beim Anbau von Salat immer

## Romanasalat

mehrere Sätze gepflanzt werden, kann es bei der Ernte zu einem sogenannten Erntestau kommen, wenn mehrere Sätze gleichzeitig erntereif werden. Auch eine verminderte Nachfrage während Kälteperioden kann zu Verlusten führen. (Klockgether & Dirksmeyer, 2017).

### Vermarktung

Bei der Vermarktung von Salat (Abb. 5) gelten die EU-Vermarktungsnormen. Diese regeln die Mindesteigenschaften und die Klasseneinteilungen. Für den Romanasalat, sowie auch für andere Salatsorten, krause Endivie und Eskariol gilt die EG-Verordnung Nr. 1308/2013. Die Mindesteigenschaften, die der Salat erfüllen muss, sind unter anderem, dass er ganz, gesund und sauber ist und praktisch frei von jeglichen Schädlingen und von den durch Schädlinge verursachten Schäden. Außerdem sollte er nicht geschlossen sein, frei von anormaler äußerer Feuchtigkeit und von fremdem Geruch und/oder Geschmack sein. Eine rötliche Färbung, die während des Wachstums durch niedrige Temperaturen hervorgerufen wurden, ist zulässig. Die Wurzeln werden direkt unter dem Blattansatz geschnitten und die Entwicklung des Salates muss normal verlaufen sein. Außerdem wird der Salat bei der Vermarktung in Klassen eingeteilt. Der Salat wird so gut wie immer in Klasse 1 eingeteilt. In Klasse 1 müssen die Erzeugnisse von guter Qualität sein und die typischen Merkmale der Sorte aufweisen. Leichte Fehler in Form, Entwicklung und Färbung sind erlaubt. In Klasse 2 werden all jene Erzeugnisse eingeteilt, die nicht in Klasse 1 eingestuft werden können, aber trotzdem den Mindesteigenschaften entsprechen (Klockgether & Dirksmeyer, 2017; BLE, 2013; Rösch & Icking, o.J.). Die Vorgaben des Lebensmitteleinzelhandels sind oft strenger als die Vorgaben der EU.



**Abb. 5: Geerntete Salatköpfe, reif für Vermarktung**

### Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Salatanbau viele Herausforderungen mit sich zieht, vor allem im Bereich Ertragsverluste durch Schädlinge und Krankheiten. Da der Verbraucher hohe Anforderungen an das Produkt stellt, muss eine gute Feldhygiene angestrebt und darauf geachtet werden, den Befall durch beispielsweise Blattläuse oder andere Schädlinge zu vermeiden. Sollte es dennoch zu einem Befall kommen, muss zügig mit Pflanzenschutzmitteln gearbeitet werden, um die Verluste möglichst gering zu halten.



## Quellenverzeichnis

- Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, & LWG Gartenakademie. (2017). *Blattlausresistente Salate*. <https://d-nb.info/991570359/34>
- BLE. (2013). *Verordnung (EU) Nr. 1308/2013 des europäischen Parlaments und des Rates über eine gemeinsame Marktorganisation für landwirtschaftliche Erzeugnisse und zur Aufhebung der Verordnungen (EWG) Nr. 922/72, (EWG) Nr. 234/79, (EG) Nr 1037/2001 und (EG) Nr. 1234/2007 des Rates*.
- BLE. (2019). *Falscher Salatmehltau (Bremia lactucae)*. [oekolandbau.de. /landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/pflanzenschutz/schaderreger/schadorganismen-im-gemuesebau/salat/falscher-mehltau/](http://oekolandbau.de/landwirtschaft/pflanze/grundlagen-pflanzenbau/pflanzenschutz/schaderreger/schadorganismen-im-gemuesebau/salat/falscher-mehltau/)
- BMEL. (2020). *Pro-Kopf-Verbrauch von Gemüse nach Arten 2018/2019 vorläufig*. <https://www.bmel-statistik.de/fileadmin/daten/GBT-0070004-2019.pdf>
- Hageneder, F. (2017). *Versuche im deutschen Gartenbau 2013*. 10.
- Hortipendium. (2020). *Romana Salat*. [http://www.hortipendium.de/Romana\\_Salat](http://www.hortipendium.de/Romana_Salat)
- Klockgether, K., & Dirksmeyer, W. (2017). *Lebensmittelverluste in der dt. Gemüseproduktion – Erkenntnisse aus Fallstudien zur Erzeugung von Möhre und Salat*. [https://refowas.de/images/Refowas\\_DGG\\_2017.pdf](https://refowas.de/images/Refowas_DGG_2017.pdf)
- Krug, H., Liebig, H.-P., & Stützel, H. (Hrsg.). (2002). *Gemüseproduktion*. In *Gemüseproduktion*. Eugen Ulmer GmbH & Co.
- Lissek-Wolf, G., Lehmann, C., & Huyskens-Keil, S. (2009). *Die Vielfalt alter Salatsorten—Ein Dokumentation*. 167.
- Mackenzie, J. R., & Vernon, R. S. (1988). Sampling for distribution of the lettuce aphid, *Nasonovia Ribisnigri* (Homoptera: Aphididae), in fields and within heads. *J. Entomol. Soc. Brit. Columbia*, 85, 10–14.

- Merbold, I. (2016, April 12). *Blattläuse: Unbeliebte Gartenbesucher* [Text]. Umweltbundesamt; Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/blattlaeuse-unbeliebte-gartenbesucher>
- Morales, I., Diaz, B. M., Hermoso De Mendoza, A., Nebreda, M., & Fereres, A. (2013). The Development of an Economic Threshold for *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae) on Lettuce in Central Spain. *Journal of Economic Entomology*, *106*(2), 891–898. <https://doi.org/10.1603/EC12275>
- Quentin, U., Hommes, M., & Basedow, Th. (1995). Untersuchungen zur biologischen Bekämpfung von Blattläusen (Hom., Aphididae) an Kopfsalat im Unterglasanbau. *Journal of Applied Entomology*, *119*(1–5), 227–232. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1995.tb01275.x>
- Regierungspräsidium Gießen. (o. J.). *Blattläuse an Salat*. Regierungspräsidium Gießen. Pflanzenschutzinfothek Garten. <https://pflanzenschutzdienst.rp-giessen.de/pflanzenschutzinfothek/gemuese/kopf-und-schnittsalat/blattlaeuse/>
- Rösch, R., & Icking, J. (o.J.). *Salate: Einkauf und Kennzeichnung: Beim Einkauf ist Frische Trumpf*. Bundeszentrum für Ernährung. <https://www.bzfe.de/inhalt/salate-einkauf-und-kennzeichnung-6560.html>
- Smith, C. M., & Boyko, E. V. (2007). The molecular bases of plant resistance and defense responses to aphid feeding: Current status. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *122*(1), 1–16. [https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00503.x@10.1002/\(ISSN\)15707458.ecenaples](https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00503.x@10.1002/(ISSN)15707458.ecenaples)
- Smith, C. M., & Chuang, W.-P. (2014). Plant resistance to aphid feeding: Behavioral, physiological, genetic and molecular cues regulate aphid host selection and feeding: Plant resistance to aphid feeding. *Pest Management Science*, *70*(4), 528–540. <https://doi.org/10.1002/ps.3689>
- 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., & Collier, R. (2017). Towards

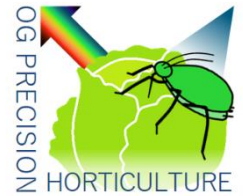
*Romanasalat*

new sources of resistance to the currant-lettuce aphid (*Nasonovia ribisnigri*). *Molecular Breeding*, 37(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s11032-016-0606-4>

Wonneberger, Prof. Dr. C., & Keller, Dipl.-Ing. F. (2004). *Gemüsebau*. Eugen Ulmer GmbH & Co.

Yordanova, M., & Nikolov, A. (2017). Influence of Plant Density and Mulching on Growth and Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* var. *Romana* L.). *International Journal of Environmental and Agriculture Research*, 3(10), 10–14. <https://doi.org/10.25125/agriculture-journal-IJOEAR-OCT-2017-1>

Operationelle Gruppe:  
Präzisionsgartenbau



Innovationsprojekt:  
Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels  
Präzisionserkennung und -applikation von  
Pflanzenschutzmitteln

# Erkennung von blattlausbefallenen Salatpflanzen durch ein optisches Verfahren

von

Laura Verena Junker-Frohn, Bastian Siegmann, Michael Quarten,  
Tobias Tholen, Uwe Rascher und Onno Muller  
(Forschungszentrum Jülich)

30.09.2020



Landgard®



*EIP-Agri Projekt OG Präzisionsgartenbau***Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels Präzisionserkennung und -applikation von Pflanzenschutzmitteln***Arbeitspaket 1***Erkennung von blattlausbefallenen Salatpflanzen durch ein optisches Verfahren**

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

**Einleitung**

Blattläuse gehören zu den Hauptschädlingen im Salatanbau, da das Vorkommen auch weniger Blattläuse im Produkt nicht von Kunden toleriert wird (Morales et al. 2013). Insbesondere die Salatblattlaus *Nasonovia ribisnigri* bedeutet eine große Herausforderung für Salatproduzenten. Zwar konnten zwischenzeitlich große Erfolge durch die Züchtung resistenter Sorten (Nr:0) erreicht werden, jedoch kommen immer häufiger *N. ribisnigri* Populationen vor, die diese Resistenz überkommen konnten (McCreight 2008; McCreight and Liu 2012; 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 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 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 Alkaloiden, 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 messbaren Veränderungen der spektralen Reflektion von Weizen-, Soja-, Baumwoll- und Hirsepflanzen beobachtet werden (Alves et al. 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 in Antwort auf längeren Blattlausbefall meist eine geringere Photosyntheseaktivität und reduziertem Chlorophyllgehalt der Blätter, wohingegen resistente Pflanzen 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 ein einphasiges Detektions- und Applikationssystem, wie es zum Erreichen des Projektziels für sinnvoll angesehen wurde.<sup>1</sup> Bisher gibt es keine vergleichbaren Ansätze in EIP-Agri in Deutschland.

Im Rahmen des ersten Arbeitspaktes des Projektes OG Präzisionsgartenbau wurde untersucht, wie sich die spektrale Reflektion von Mini-Romana-Salatpflanzen bei Blattlausbefall ändert. Es wurde erwartet, dass die biotische Stressantwort der Salatpflanzen zu charakteristischen Veränderungen der spektralen Reflektion führt. Es wurden verschiedene Experimente unter Feld-, Freiland-, Gewächshaus und Laborbedingungen durchgeführt, um die spektrale Reflektion von Salatpflanzen mit und ohne Blattlausbefall zu vergleichen. Unterschiede in der spektralen Reflektion, die eine Erkennung von Blattlausbefall ermöglichen, sind die Voraussetzung zum Erreichen des Projektziels, der Entwicklung eines Prototyps für die selektive Behandlung blattlausbefallener Salatpflanzen.

## **Material und Methoden**

### *Feldmessungen (2018)*

Es wurden regelmäßige Messungen auf dem Betrieb Konrad & Markus Schwarz GbR in Bornheim durchgeführt, um die spektrale Reflektion von Salatpflanzen mit und ohne Blattlausbefall unter Feldbedingungen zu messen. 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 30cm und einem Pflanzabstand von 20cm 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, das auf einem von Hand verschiebbaren Versuchstand (field4cycle) montiert war. Hierbei wurden zunächst ganze Reihen über jeweils rund eine Minute 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

---

<sup>1</sup> Beim Kick-Off-Treffen wurde beschlossen, nur ein einphasiges Verfahren, d.h. die Erkennung und direkte Behandlung befallener Pflanzen (AP3, M 3.2) zu untersuchen, da ein zweiphasiges/sequentielles Verfahren, d.h. die Erstellung einer Applikationsdatei der GPS Daten der als befallen erkannten Pflanzen während einer ersten Überfahrt und die Behandlung während einer zweiten Überfahrt, für Landwirte zu personalintensiv bzw. teuer wäre. Aus diesem Grund wurde frühzeitig die Anwendung von Punktsensoren zur Detektion befallener Einzelpflanzen beschlossen, da die Datenauswertung bildgebender Systeme zu langsam für einphasige Verfahren ist.

anschließend bestimmt. Auftretenden 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 (*Uroleuchon sonchi*). Zudem wurden selten Raupen entdeckt, die meist als kleiner Kohlweißling (*Pieris rapae*) identifiziert wurden.

#### *Freilandexperimente (2017-2018)*

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 0,4 mm Insektennetzen bespannt und wurde mit je 5 Pflanzen bepflanzt.

Im ersten Experiment wurden am 17.8.2017 30 Salatjungpflanzen (*Lactuca sativa* Thimble, Nr:0) in sechs blattlaussicheren Käfigen gepflanzt. Grünstreifige Kartoffelläuse (*Macrosiphum euphorbia*), wurden in einer Laborkultur, begründet durch ein ungeflügeltes Weibchen, vermehrt. Drei Tage nach Setzen der Salatpflanzen wurde jede Pflanze jedes zweiten Käfigs (Käfig 2, 4, 6) mit zwei Blattläusen besetzt. Die Etablierung der Blattläuse wurde für 11 Tage überwacht und gegebenenfalls durch Besetzen mit weiteren Blattläusen sichergestellt. Ursprünglich war ein längerer Befall angedacht, jedoch gab es leider technische Probleme. An Tag 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 Behandlungen gezeigt (siehe auch Junker et al., 2018).

Im zweiten Experiment wurde die Anzahl der Käfige auf acht erhöht, und je zwanzig Kopfsalatpflanzen (*Lactuca sativa* var. *capitata*) der Kultivare Analena (Nr:0 Resistenz gegen Blattläuse; Duerr Samen, Reutlingen, Deutschland) und Briweri (keine Blattlausresistenz; Bingenheimer Saatgut, Echzell, Deutschland) in je vier Käfigen mit einer Dichte von 5 Pflanzen pro Käfig am 8.5.2018 ausgesät. Große Salatblattläuse (*N. ribisnigri*), wurden in einer Laborkultur, begründet durch ein ungeflügeltes Weibchen, vermehrt. In einem der Käfige mit Briweri wurden am 19.6. Blattläuse der Art *N. ribisnigri* identifiziert, und weitere Blattläuse aus der Laborkultur in einem der Käfige mit Analena ausgesetzt. Am 6.7. wurde zudem schwacher bis starker Befall mit grünstreifigen Kartoffelläusen (*M. euphorbiae*) in diesen Käfigen festgestellt. Am 19., 21. und 27.6. wurde mit die spektrale Reflektion mit einem Prototyp des RoX Feldspektrometers (JB Hyperspectral, Düsseldorf, Deutschland) aus einer Distanz von 90cm über Bodenniveau gemessen (n=6 technische Replikate), sowie am 21.6. wurden multiparametrische Chlorophyllfluoreszenzmessungen mithilfe eines Multiplex Research (Force A, Orsay, Frankreich) durchgeführt (n=4 technische Replikate).

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 Nachttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit 60%) für drei Wochen angezogen, bevor sie ausgepflanzt wurden. Leider zeigte sich kurz nach dem Auspflanzen ein Befall fast aller Pflanzen mit *Macrosiphum euphorbiae*, sodass keine Kontrollpflanzen für spätere Vergleiche der spektralen Reflektion von Pflanzen mit und ohne Blattlausbefall zur Verfügung stehen würden und das Experiment aus diesem Grund abgebrochen werden musste.

#### *Gewächshausexperimente (2017/2018/2019)*

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 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. Im Dezember 2017 wurden jeweils 16 Pflanzen der Wildsalatsorten *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 IPK Gatersleben bezogen. Jeweils 12 Pflanzen jeder Linie wurden zwei Wochen nach der Keimung in drei Käfigen mit blattlaussicheren Netzen angezogen sowie die gleiche Pflanzenanzahl wurde unter einem gespannten Netz kultiviert, um gleiche Lichtbedingungen sicherzustellen. Die Pflanzen sollten in einem jungen Stadium mit der großen Salatblattlaus (*N. ribisnigri*) aus einer Nr:0-Laborkultur, die mit Tieren von Alejandro Lucatti, Bayer Nunhems, begründet wurde. Aufgrund von Transportschwierigkeiten hat nur eine einzige Laus den Transport überlebt, und eine ausreichende Anzahl zur gezielten Besetzung der Pflanzen war erst zu einem Zeitpunkt möglich, als die Pflanzen zu groß waren, um auf dem zur Verfügung stehenden Platz weiter kultiviert werden zu können. Aus diesem Grund wurde die Pflanzenanzahl auf 36 Pflanzen reduziert und Ihre Anfälligkeit für Blattlausbefall getestet, indem jede Pflanze mit einer Laus besetzt wurde und der Befall über drei Wochen beobachtet wurde. In 2018 wurde das Experiment wiederholt, mit jeweils einer resistenten und einer anfälligen Linie der Sorten Romana (Tantan und Valmaine), Eichblatt (Smile und Piro), Kopfsalat (Analena und Briweri), *L. saligna* (CGN 05308 und LAC 239), *L. serriola* (CGN 15670 und CGN 05152) und *L. virosa* (CGN 13355 und LAC 1203). Das Saatgut wurde von Bingenheimer Saatgut, Dürr Samen, Enza Zaden, dem IPK Gatersleben sowie dem Centrum voor Genetische Bronnen in den Niederlanden. Die Pflanzen wurden im Februar 2018 im Gewächshaus ausgesät. Leider scheinen trotz des empfohlenen Abstands von zwei Wochen zu dem vorherigen Experiment einige Blattläuse im Gewächshaus überlebt zu haben, denn über die Osterfeiertage wurden alle Pflanzen mit Blattläusen befallen, und die Pflanzen konnten nur noch dazu genutzt werden, die Anfälligkeit gegenüber Blattläusen zu überprüfen, da keine unbefallenen Kontrollpflanzen zur Verfügung standen. Im Januar 2019 sollte das für 2018 geplante Experiment wiederholt werden. Leider ist die Blattlauslaborkultur kollabiert, kurz bevor die Pflanzen ausgesät werden sollten. Aufgrund der wiederholten Probleme bei der experimentellen Durchführung der



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

#### *Laborexperimente (2018-2019)*

Aufgrund der komplexen Morphologie der Salatpflanzen, die enge und steile Blattstellung sowie die schnelle Kopfbildung von Salatpflanzen nach der Pflanzung im Freiland haben wir zusätzliche Laborexperimente mit jungen Salatpflanzen und einer bildgebenden Messung der hyperspektralen Reflektion durchgeführt, um die lokale Stressantwort von Salatpflanzen auf Blattlausbefall zu überprüfen. 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-Metalldampflampe 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, und jeweils vier Pflanzen wurden mit einem Netz von den anderen Pflanzen separiert und dienten als Kontrollpflanzen. Im Laufe der nächsten zwei Wochen wurde an 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 zur Markierung auf die Blätter gelegt. Am letzten Tag wurden repräsentative Blätter von den Pflanzen abgeschnitten und zusätzlich hyperspektral-bildgeben erfasst. Dieser Versuch wurde insgesamt dreimal wiederholt, allerdings gab es nur in einer Versuchsreihe eine ausreichende Anzahl von Kontrollpflanzen ohne Blattlausbefall.

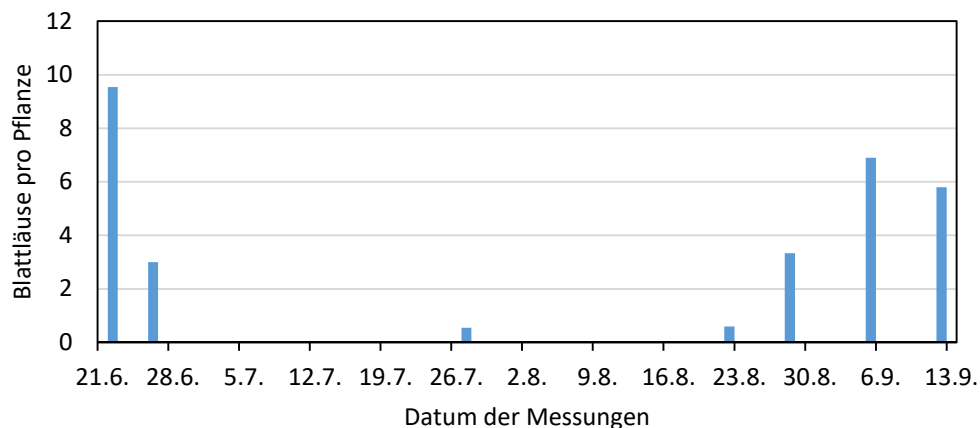
#### *Statistische Auswertung*

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, wurde zudem Hauptkomponentenanalysen (PCA) durchgeführt. 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.

## Ergebnisse

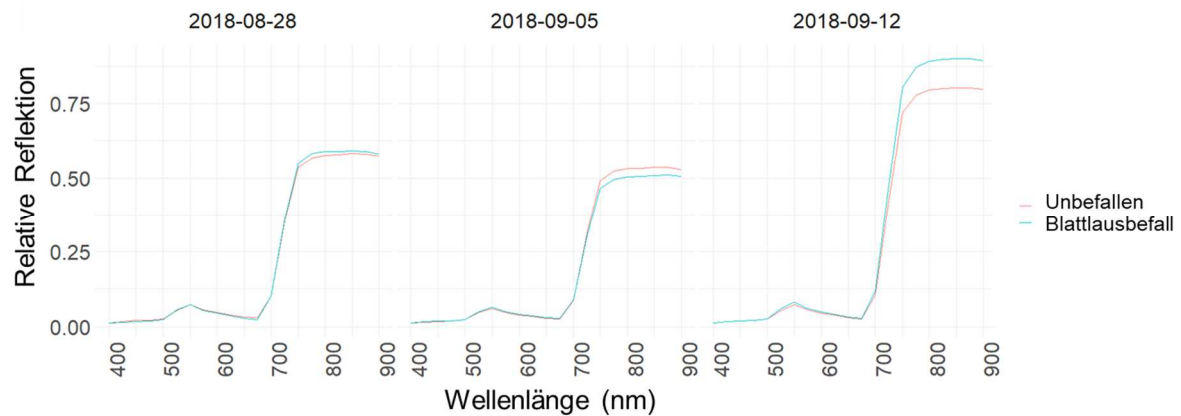
### Feldmessungen

Bei den Messungen im Feld zeigte sich, dass der Blattlausbefall insgesamt unerwartet gering war, auch in den unbehandelten Versuchsploots. 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. Geflügelte Blattläuse treten insbesondere dann auf, wenn neue Populationen etabliert werden sollen und sind daher erste Anzeichen für einen Befall (Walley et al. 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. Zum wurde bei der Auswertung auf Vergleiche zwischen dem Befall mit verschiedenen Blattlausarten verzichtet, da die Anzahlen insgesamt sehr niedrig waren (Fig.1).



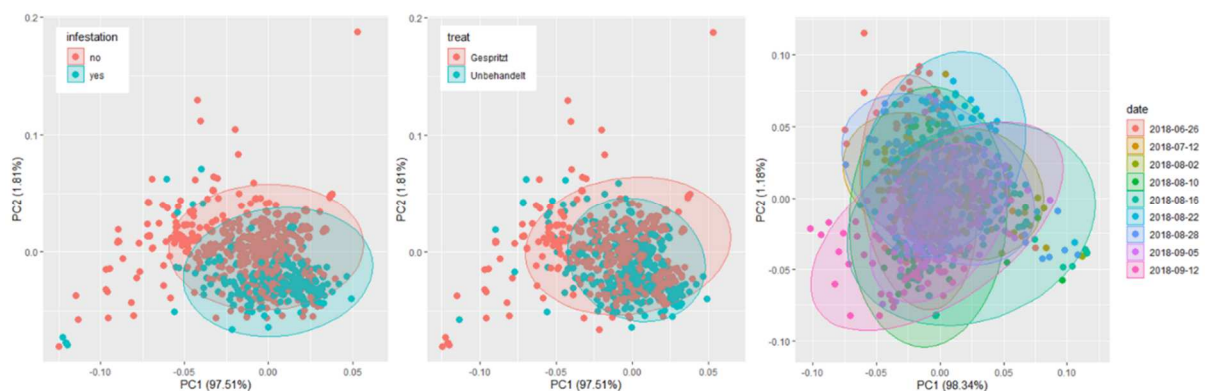
**Fig. 1: Durchschnittliche Anzahl an Blattläusen pro untersuchter Salatpflanze über den Zeitraum der Messungen von Juni bis September 2018.**

Wie in Fig. 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 Fig. 2 die spektrale Reflektion am 28.8., 5.9. und 12.9. dargestellt.



**Fig. 2: Spektrale Reflektion von im Feld gewachsenen Mini-Romanpflanzen 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  $8.29 \pm 11.91$  Blattläusen pro Pflanze befallen, am 5.9. waren 29 von 60 Pflanzen in 3 Plots mit  $14.14 \pm 28.33$  Blattläusen pro Pflanze und am 12.9. waren 16 von 20 Pflanzen in einem Plot mit  $7.19 \pm 7.88$  Blattläusen pro Pflanze befallen. Die Daten beziehen daher 66, 31 und 4 Kontrollpflanzen ein.**

Die in Fig. 2 gezeigte spektrale Reflektion ist typisch für grüne Vegetation. Leider zeigen sich keine Auswirkungen des Blattlausbefalls auf die spektrale Reflektion der Pflanzen. Da Blattlausbefall in unbehandelten und mit Pflanzenschutzmitteln behandelten Pflanzen auftrat, haben wir zuvor überprüft, dass sich die Pflanzenschutzmittelbehandlung nicht auf die spektrale Reflektion auswirkt (Fig. 3). Stattdessen zeigte sich eine hohe Variabilität der spektralen Reflektion zwischen den verschiedenen Messtagen, die auf unterschiedliche Pflanzenalter und Wetterbedingungen bei der Anzucht sowie ggf. leicht unterschiedliche Bedingungen zwischen verschiedenen Plots zurückzuführen sind.



**Fig. 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.**

### 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 mit und ohne Befall bis zu einem Maximum von 497 Blattläusen pro Pflanze zeigten sich keine optischen Auswirkungen des Befalls oder Unterschiede im Wachstum. 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. Es zeigten sich keine offensichtlichen Unterschiede in der spektralen Reflektion im Wellenlängenbereich von 400-900 nm zwischen Kontroll- und blattlausbefallenen Pflanzen (Fig. 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 zeigt keine Unterschiede zwischen Kontroll- und Blattlauspflanzen (Fig. 5).

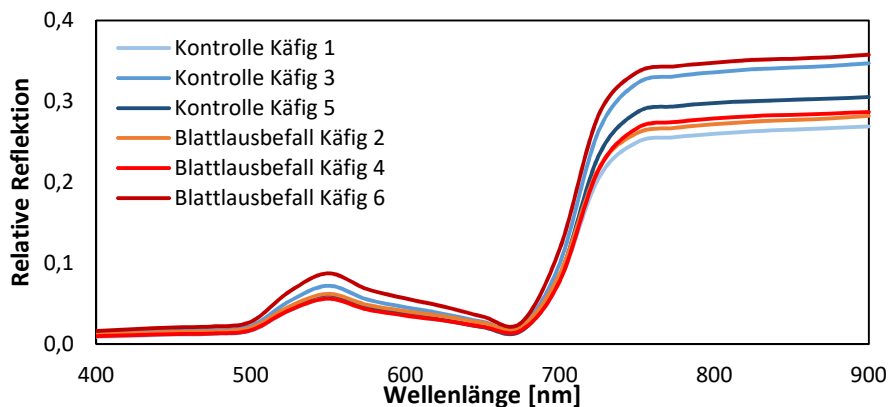
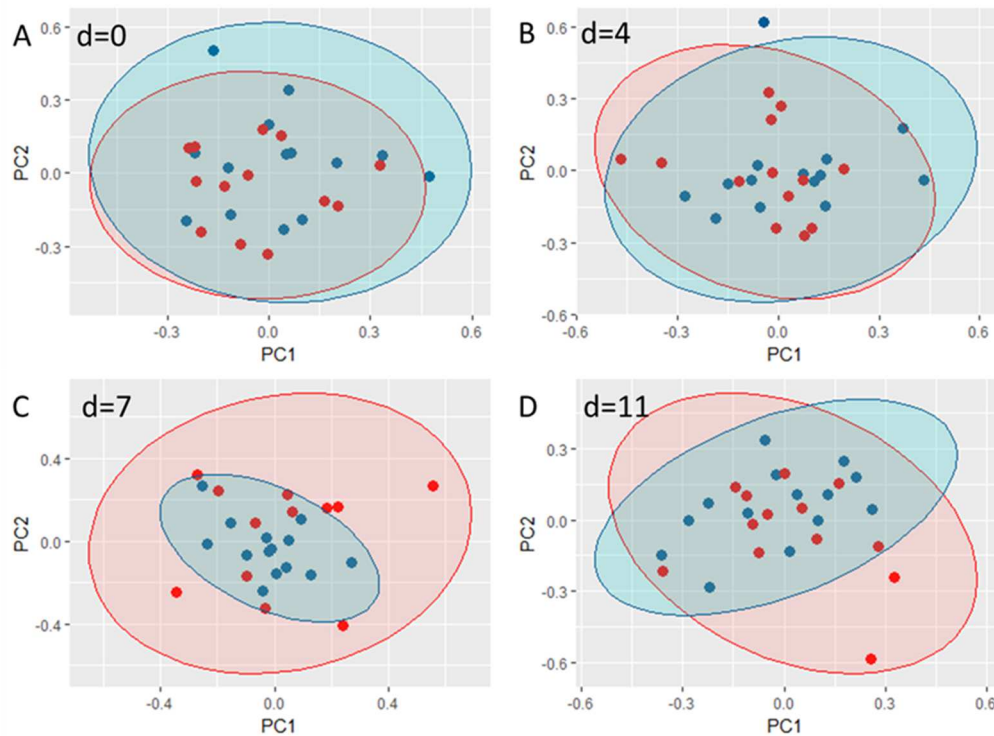
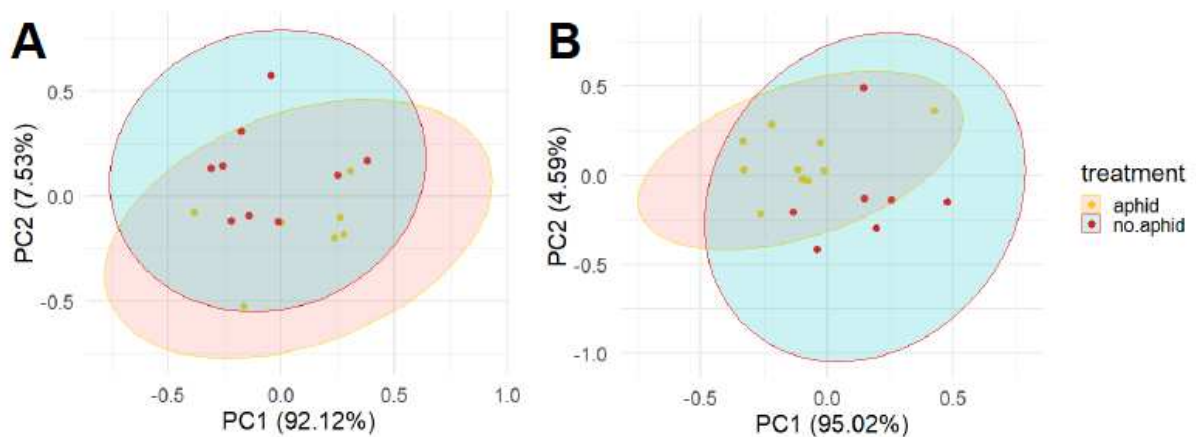


Fig. 4: Spektrale Reflektion von Salatpflanzen mit und ohne Befall durch *Macrosiphum euphorbiae* nach 11 Tagen. N=4-5 Pflanzen pro Käfig.



**Fig. 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 einem 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:  $165 \pm 94$  Blattläuse, Briweri:  $424 \pm 101$  Blattläuse) keine Unterschiede, die eine eindeutige Identifizierung befallener Pflanzen erlauben würden, wie die Hauptkomponentenanalyse zeigt (Fig. 7). Auch multiparametrische Chlorophyllfluoreszenzmessungen haben keine Unterschiede gezeigt (Daten nicht gezeigt).

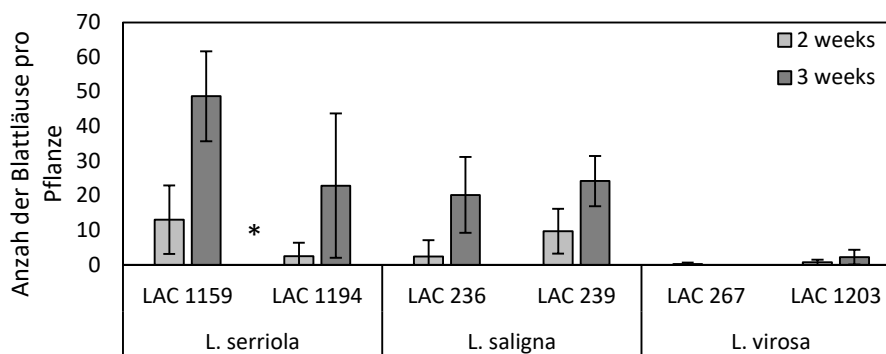


**Fig. 6: Hauptkomponentenanalyse der spektralen Reflektion von Salatpflanzen nach einem Monat mit und ohne Befall durch *Macrosiphum euphorbiae*. Analena,  $165 \pm 94$  Blattläuse; Briweri  $424 \pm 101$  Blattläuse. N=6-10 Pflanzen pro Behandlung.**

### Gewächshausexperimente

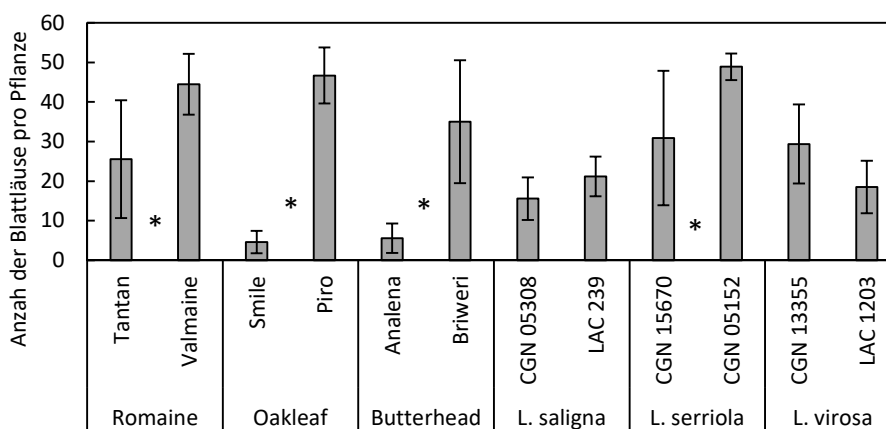
Aufgrund der Probleme bei der experimentellen Durchführung der Gewächshausexperimente konnten diese lediglich dazu genutzt werden, Unterschiede in der Anfälligkeit bzw. Resistenz gegen Befall mit *N. ribisnigri* zu untersuchen.

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* (Fig. 7). Jedoch zeigten sich auch innerartliche Unterschiede, *L. serriola* LAC 1159 zeigte eine signifikant höhere Anfälligkeit verglichen mit LAC 1194.



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

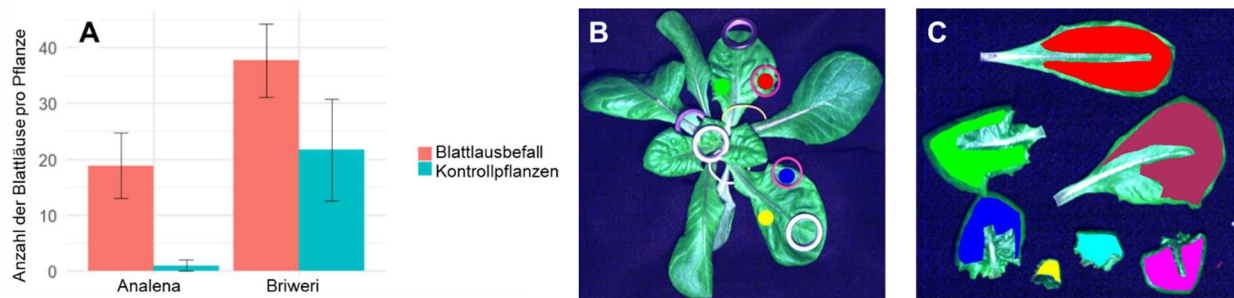
Im zweiten Versuch zeigten sich insbesondere Unterschiede zwischen den Kultursalatsorten (Fig. 8), da diese aufgrund Ihrer Nr:0-Resistenz bzw. dem Fehlen derselben ausgewählt wurden. Aufgrund dieses Experimentes sowie Ihrer offenen Morphologie wurden in den weiteren Freilandexperimenten die Kopfsalatsorten Analena und Briweri verwendet. Für das dritte Gewächshausexperiment wurde LAC 267 anstelle von CGN 13355 verwendet, da die Anfälligkeit von CGN 13355 höher war als aufgrund von Literaturergebnissen angenommen wurde (Walley et al. 2017).



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

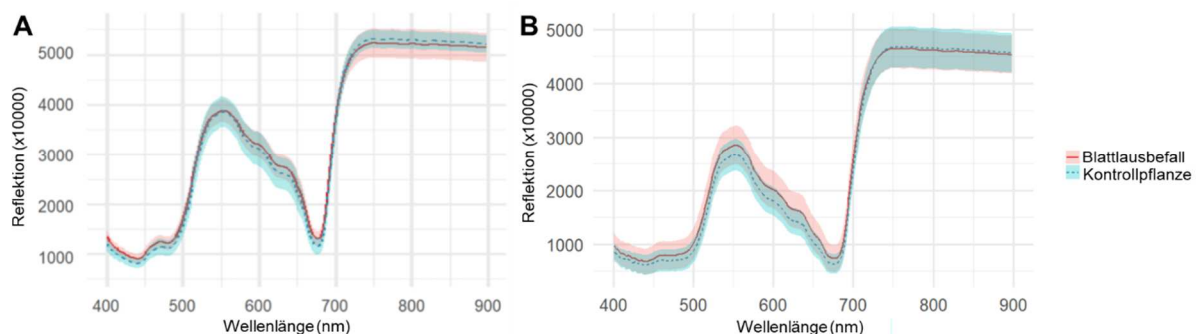
### Laborexperimente

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 Fig. 9 bildhaft dargestellt.

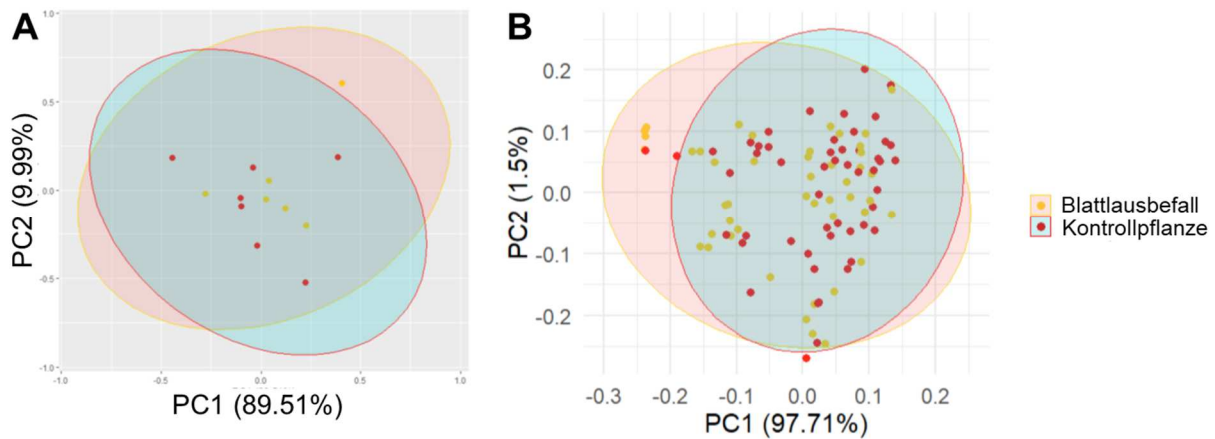


**Fig. 9:** A) Befall von jungen Kopfsalatpflanzen durch *Nasonovia ribisnigri* nach elf Tagen (N=4 Pflanzen). Der Befall der anfälligen Briweri Kontrollpflanzen konnte nicht verhindert werden, sodass nur Daten von Analena sinnvoll ausgewertet werden konnten B) Normalfarbendarstellung des Hyperspektralbildes 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.

Leider konnten keine lokalisierte Stressantwort detektiert werden, es zeigten sich weder zwischen den Einstichstellen und unbesetzten Stellen noch zwischen Blättern mit und ohne Blattlausbefall Unterschiede in der spektralen Reflektion (Fig. 10), was sich auch in der fehlenden Clusterung bei einer Hauptkomponentenanalyse zeigte (Fig. 11).



**Fig. 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.



**Fig. 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.**

## Diskussion

In den verschiedenen Experimenten konnte kein Einfluss von Blattlausbefall auf die spektrale Reflektion von Salatpflanzen festgestellt werden. Dies ist im Gegensatz zu unserer Annahme, dass sich die biotische Stressantwort der Pflanzen mittels Messungen der spektralen Reflektion von Pflanzen detektieren lässt, wie es bereits für Weizen-, Soja- und Hirsepflanzen auf der Bestandsebene gezeigt werden konnte (Alves et al. 2015; Elliott et al. 2015; Mirik et al. 2012; Yang et al. 2009). Insbesondere aufgrund der frühen Änderung der pflanzlichen Genexpression bei Blattlausbefall und Anreicherung insektizidaler Phloembestandteile (Smith & Boyko, 2007) haben wir frühzeitige Veränderungen der spektralen Reflektion erwartet. 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 gut sichtbare Blätter, anschließend formt sich zunächst eine Trichter, bevor sich nach ca. 3 Wochen ein geschlossener Kopf entwickelt, von dem von oben nur die äußeren Blattränder sichtbar sind (Nothamann 1976). Diese komplexe Morphologie 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 könnte 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 et al. 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 diese Einflussfaktoren einzubeziehen, was das angestrebte einphasige Verfahren, d.h. die Erkennung und direkte Behandlung befallener Pflanzen, potentiell verlangsamt.

### **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 Feldbedingungen auftretende weitere 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 des im Projekt entwickelten Prototyps zur selektiven Behandlung von Pflanzen ist daher vielversprechender für den Einsatz von Pflanzen mit offenerer Morphologie sowie einer höheren Schadschwelle für Blattlausbefall.

### **Beteiligungen der Autoren**

LJF, UR und OM haben die Experimente geplant, die von LJF durchgeführt wurde, z.T. zusammen mit TT. BS hat LJF bei der Auswertung der Hyperspektraldaten unterstützt. MQ war vor allem mit der Wartung der technischen Geräte sowie der Weiterentwicklung des RoX-Spektrometers zur Integration in das Spritzsystem betraut.

## Literatur

- Alves, T.M., I.V. Macrae and R.L. Koch. 2015. Soybean Aphid (Hemiptera: Aphididae) Affects Soybean Spectral Reflectance. *Journal of Economic Entomology*. 108:2655-2664.
- Barber, M.D., G.D. Moores, G.M. Tatchell, W.E. Vice and I. Denholm. 1999. Insecticide resistance in the currant-lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae) in the UK. *Bulletin of Entomological Research*. 89:17-23.
- Burd, J.D. and N.C. Elliott. 1996. Changes in Chlorophyll a Fluorescence Induction Kinetics in Cereals Infested with Russian Wheat Aphid (Homoptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology*. 89:1332-1337.
- Chen, T., R. Zeng, W. Guo, X. Hou, Y. Lan and L. Zhang. 2018. Detection of Stress in Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Caused by Aphids Using Leaf Level Hyperspectral Measurements. *Sensors*. 18:2798.
- Diaz, B.M. and A. Fereres. 2005. Life Table and Population Parameters of *Nasonovia ribisnigri* (Homoptera: Aphididae) at Different Constant Temperatures. *Environmental Entomology*. 34:527-534.
- Elliott, N.C., G.F. Backoulou, M.J. Brewer and K.L. Giles. 2015. NDVI to Detect Sugarcane Aphid Injury to Grain Sorghum. *Journal of Economic Entomology*. 108:1452-1455.
- Franzen, L.D., A.R. Gutsche, T.M. Heng-Moss, L.G. Higley, G. Sarath and J.D. Burd. 2007. Physiological and Biochemical Responses of Resistant and Susceptible Wheat to Injury by Russian Wheat Aphid. *Journal of Economic Entomology*. 100:1692-1703.
- Goggin, F.L. 2007. Plant-aphid interactions: molecular and ecological perspectives. *Current Opinion in Plant Biology*. 10:399-408.
- Heng-Moss, T.M., X. Ni, T. Macedo, J.P. Markwell, F.P. Baxendale, S.S. Quisenberry and V. Tolmay. 2003. Comparison of chlorophyll and carotenoid concentrations among Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae)-infested wheat isolines. *J Econ Entomol*. 96:475-81.
- Holmes, M.G. and D.R. Keiller. 2002. 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*. 25:85-93.
- Köksal, E.S. 2011. Hyperspectral reflectance data processing through cluster and principal component analysis for estimating irrigation and yield related indicators. *Agricultural Water Management*. 98:1317-1328.
- Liu, Y.B. 2004. Distribution and population development of *Nasonovia ribisnigri* (Homoptera: Aphididae) in iceberg lettuce. *J Econ Entomol*. 97:883-90.
- Lu, L., K.-M. Ku, S.P. Palma-Salgado, A.P. Storm, H. Feng, J.A. Juvik and T.H. Nguyen. 2015. Influence of Epicuticular Physicochemical Properties on Porcine Rotavirus Adsorption to 24 Leafy Green Vegetables and Tomatoes. *PLOS ONE*. 10:e0132841.
- Mackenzie, J.R. and R.S. Vernon. 1988. Sampling for distribution of the lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Homoptera: Aphididae), in fields and within heads. *Journal of the Entomological Society of British Columbia*:10-14.
- McCreight, J.D. 2008. Potential Sources of Genetic Resistance in *Lactuca* spp. to the Lettuce Aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Mosely) (Homoptera: Aphididae). *HortScience*. 43:1355-1358.
- McCreight, J.D. and Y.-B. Liu. 2012. Resistance to Lettuce Aphid (*Nasonovia ribisnigri*) Biotype 0 in Wild Lettuce Accessions PI 491093 and PI 274378. *HortScience*. 47:179-184.
- Mirik, M., R.J. Ansley, G.J. Michels and N.C. Elliott. 2012. Spectral vegetation indices selected for quantifying Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) feeding damage in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Precision Agriculture*. 13:501-516.

- Mirik, M., G.J. Michels, S. Kassymzhanova-Mirik and N.C. Elliott. 2007. Reflectance characteristics of Russian wheat aphid (Hemiptera: Aphididae) stress and abundance in winter wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*. 57:123-134.
- Morales, I., B.M. Diaz, A.H.D. Mendoza, M. Nebreda and A. Fereres. 2013. The Development of an Economic Threshold for *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae) on Lettuce in Central Spain. *Journal of Economic Entomology*. 106:891-898.
- Nothamann, J. 1976. Morphology of Head Formation of Cos Lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Romana): 1. The Process of Hearting. *Annals of Botany*. 40:1067-1072.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rascher, U., A. Damm, S. van der Linden, A. Okujeni, R. Pieruschka, A. Schickling and P. Hostert. 2010. Sensing of Photosynthetic Activity of Crops. *In Precision Crop Protection - the Challenge and Use of Heterogeneity* Eds. E.-C. Oerke, R. Gerhards, G. Menz and R.A. Sikora. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 87-99.
- Riedell, W.E. and T.M. Blackmer. 1999. Leaf Reflectance Spectra of Cereal Aphid-Damaged Wheat. *Crop Science*. 39:1835-1840.
- Shrestha, G., H. Skovgård, G.V.P. Reddy, T. Steenberg and A. Enkegaard. 2017. 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*. 12:e0184080.
- Smith, C.M. and E.V. Boyko. 2007. The molecular bases of plant resistance and defense responses to aphid feeding: current status. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 122:1-16.
- Smith, C.M. and W.-P. Chuang. 2014. Plant resistance to aphid feeding: behavioral, physiological, genetic and molecular cues regulate aphid host selection and feeding. *Pest Management Science*. 70:528-540.
- Sorensen, J.T. 2009. Chapter 8 - Aphids. *In Encyclopedia of Insects (Second Edition)* Eds. V.H. Resh and R.T. Cardé. Academic Press, San Diego, pp 27-31.
- ten Broeke, C.J.M., M. Dicke and J.J.A. van Loon. 2013. Feeding behaviour and performance of different populations of the black currant-lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri*, on resistant and susceptible lettuce. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 148:130-141.
- van der Arend, A. 2003. 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.*:69-74.
- Walley, P.G., G. Hough, J.D. Moore, J. Carder, M. Elliott, A. Mead, J. Jones, G. Teakle, G. Barker, V. Buchanan-Wollaston, P. Hand, D. Pink and R. Collier. 2017. Towards new sources of resistance to the currant-lettuce aphid (*Nasonovia ribisnigri*). *Molecular Breeding*. 37:4.
- Yang, Z., M.N. Rao, N.C. Elliott, S.D. Kindler and T.W. Popham. 2005. Using ground-based multispectral radiometry to detect stress in wheat caused by greenbug (Homoptera: Aphididae) infestation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 47:121-135.
- Yang, Z., M.N. Rao, N.C. Elliott, S.D. Kindler and T.W. Popham. 2009. Differentiating stress induced by greenbugs and Russian wheat aphids in wheat using remote sensing. *Computers and Electronics in Agriculture*. 67:64-70.

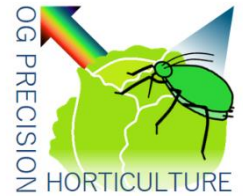
Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete unter Beteiligung des Landes Nordrhein-Westfalen.



**Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Operationelle Gruppe:  
Präzisionsgartenbau



Innovationsprojekt:  
Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels  
Präzisionserkennung und -applikation von  
Pflanzenschutzmitteln

# Entwicklung eines Applikationsverfahrens

von

Xin Wu  
(Universität Bonn)

31.08.2019



Landgard®



# Bericht

## Inhalt

K. 1 Motivation und Hintergrund .....	2
K. 2 Technische Realisierung des Versuchstandes .....	3
k. 2.1 Konstruktion der mechanischen Teilen.....	3
k. 2.2 Programmierung für das Steuerungssystem unter Verwendung von Labview .....	13
k. 2.3 Aufbau Optimierung des Versuchsstandes.....	16
K. 3 Versuche mit verschiedenen Düsen .....	16
k. 3.1 Versuche mit Düsen von Firma ATK .....	16
k. 3.2 Versuche mit Düsen von Firma Lechler.....	30
k. 3.3 Analysieren und Zusammenfassung .....	52
k. 4 Aufbau des feldtauglichen Versuchsstands.....	52
k. 5 Zusammenfassung und Ausblick .....	56

## K. 1 Motivation und Hintergrund des Projektes

NRW verfügt über 2.000 ha Ackerfläche für Salatanbau ist deswegen ein wichtiges Standbein der Gemüseproduktion und der regionalen Vermarktung. Aktuell zeigt es die zunehmende Tendenz, dass die einige blattlaustolerante Sorten Ihre Toleranz graduell verliert, was zu einer häufigeren bzw. flächendeckenden Anwendung von Insektiziden führt. Dies ist teuer und wirkt dem umweltschonenden Gemüsebau entgegen. Es erschwert auch bei der kurzen Kulturdauer der Blattsalate die Einhaltung der gesetzlichen und sekundären Standards bezüglich der Pflanzenschutzmittel (PSM)-Rückstände. Um die Nachteile der Insektizide zu reduzieren, ist es von großer Bedeutung, die Schädlinge näher in Betracht zu ziehen und damit eine genaue punktuelle Applikation der Pflanzenschutzmittel durchgeführt werden zu können.

Die Entwicklung der Pflanzenschutzgeräte erfüllt exakt und zuverlässig die hohen Ansprüche in Bezug auf Anwenderschutz, Arbeitssicherheit und Umweltschutz. Erwartet wird, dass Precision Farming zielgenaue Pflanzenschutzapplikationen verstärkt, anstatt Pflanzen eines Schlages zu vereinheitlichen (GANZELMEIER, H.; NORDMEYER, H. (2008): Innovationen in der Applikationstechnik.).

Unser innovativer Ansatz verfolgt das Ziel, durch optische Verfahren gezielt befallene Pflanzen identifizieren zu können, die dann durch ein geeignetes Spritzverfahren/-gerät punktuell behandelt werden. Dadurch wird die Ausbringungsmenge von PSM reduziert (= Senkung der Betriebsausgaben und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit) und eine Reduktion von Rückständen in Pflanze und Boden erreicht (= Ressourcen-, Umwelt- und Verbraucherschutz).

Die Verwertung erfolgt auf drei Ebenen: auf Praxisebene durch das innovative Verfahren, auf Ebene des Landmaschinenbaus durch die Kommerzialisierung des Geräts sowie auf wissenschaftlicher Ebene durch neue Erkenntnisse in der Phänotypisierung von Stressoren.

## K. 2 Technische Realisierung des Versuchstandes

Um die grundlegenden technischen Vorstellungen zu prüfen ist für das Projekt ein Aufbau eines Versandes vorgesehen, mit dem Ziel den Mechanismus der Applikation unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu untersuchen. Dafür wurde die folgende Vorgehensweise für die Konstruktion des Versuchsstands verwendet.

Im ersten Schritt sollen die technischen Ziele des Versuchsstands abgeleitet werden. Im 2ten Schritt werden Basis auf den abgeleiteten Zielen die technischen Anforderungen, welche auch die benötigten Funktionalitäten des Versuchstands angewiesen haben, für den Versuchstand definiert. Schließlich im dritten Schritt ist die Erstellung der morphologischen Kaste geplant, mit dem Ziel die geeignete Konstruktionslösung zu finden. Hier dienen den definierten Funktionalitäten als die Basis der Programmierung für die Steuerung.

### k. 2.1 Konstruktion der mechanischen Teile

Nach der Überlegung, die sich auf den Zielen dieses Projekts basiert, werden folgende Arbeitsziele:

1. Eigenschaften der Düsen testen
2. Arbeitsparameter der Düsen untersuchen
3. Geeignete Düsen auswählen
4. Dynamik der Regelung optimieren
5. Mechanische Funktionalität wie z.B. Fahrgeschwindigkeit testen.

welche mit Hilfe des Versuchstands realisiert werden sollen, zunächst definiert.

Mit Hilfe der festgestellten Ziele werden die folgenden Anforderungen für Konstruktion des Versuchsstandes weit abgeleitet:

1. Horizontale Bewegung des Versuchstandes
2. Geschwindigkeitsregulierung
3. Umstellbare Vertikale Bewegung der Düse
4. Konstantes Hydrauliksystem mit Druckregulierung für Düse
5. Veränderbare Spritzfrequenz

Nun auf Basis der Anforderungen wurde ein morphologischer Kasten (s. S. Abbildung 1) für die Suche der optimalen Konstruktionslösung definiert.



Subsysteme	Variant 1	Variant 2	Variant 3	.....
Antriebsquelle	Elektromoto	Dieselmotor	.....	.....
Zugsystem	Seilzugsystem	Gewindestange	Zahnriemengetriebe	.....
Antriebsstrang	Antriebsrad+ Klauenkopplung+ Zugseil	Zahngetriebe	Riemengetriebe	.....
Bremse	Seilbremse	Mechanische Bremsen	Hydraulische mechanische Bremsen	ABS
Steuerung	SPS	Mikrocontroller		.....
Fahrwerk	Reifen	Schienenräder		.....

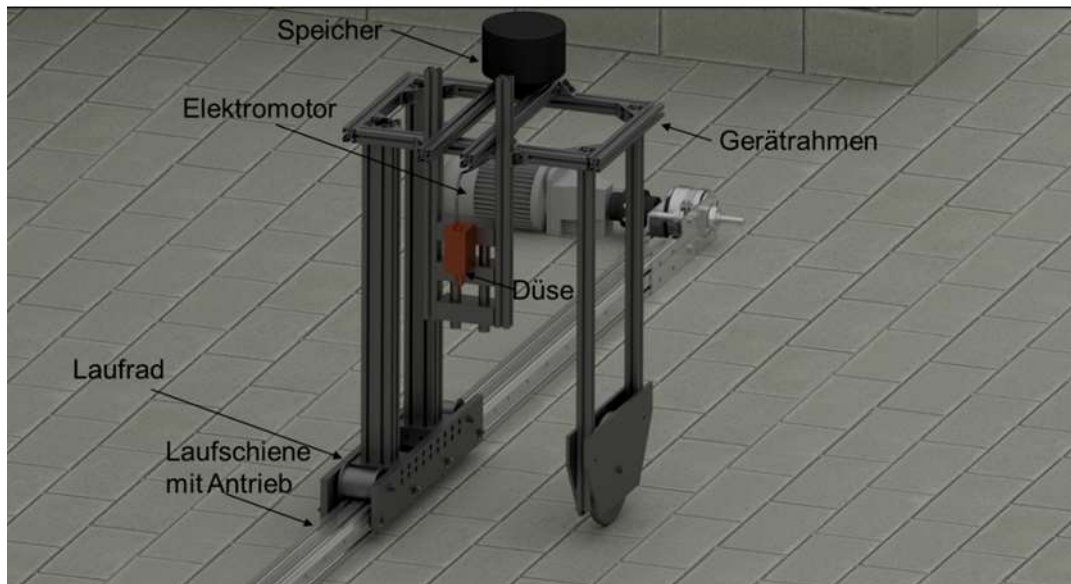
Abbildung 1 Morphologische Kaste für Konstruktion

In der Abbildung 1 ist die mit dem roten Pfad bezeichnete Lösung die nach der Wertung der Nutzbarkeit und Zuverlässigkeit sowie Kosten ausgewählte optimale Lösung.

Die Gründe sind:

1. Stirnradgetriebemotor (elektronisch SEVS, Bestellnr. 3.064493.17, Link s. S. im Anhang), ist in der Sicht der Kosten und Wartung eine bessere Auswahl als Dieselmotor
2. Der Aufbau und die Wartung der Seilgetriebe ist einfacher als die anderen Variante
3. SPS arbeitet stabiler als Mikrocontroller
4. Mit Schienenrädern fährt das System stabiler als nur mit Reifen
5. Elektromotor ist in der Sicht Kosten und Wartung viel besser

Mit Hilfe der definierten Konstruktionslösung wurde ein versuchsstand mit folgendem CAD Modell mithilfe Software Autodesk Inventor (s. S. Abbildung 2) gezeichnet.



**Abbildung 2 Konstruktionsmodell für den Versuchsstand**

Die Schienen sind aus Aluminium und die Produkte von Firma SMT (Link: <https://www.smt-montagetechnik.de/produkte/k-110.htm>; Best.-Nr. 2.064323.17), Welche ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis garantiert Die Laufräder bestehen aus Kunststoff PVC, die einen geringen Reibungskoeffizienten besitzt. Der Geräterahmen wird von einem Seilgetriebe zusammen mit einem 1.1 kW Elektromotor angetrieben und damit gewährleistet eine maximale Fahrgeschwindigkeit von 12 km/h.

Das Hydrauliksystem für den Spritzprozess besteht ausfolgenden Bauteilen:

1. Hydac 2 Liter Hydraulikspeicher,
2. Druckminderventil von Firma Götz
3. Magnetventil (50 Hz Schaltfrequenz Firma SFB)

Der Hydac Hydraulikspeicher gewährleistet das Hydrauliksystem mit einem Konstantdruck beaufschlagt zu werden. Gleichzeitig durch das Druckminderventil wird der Druck bis gewünschte Größe eingestellt. Schließlich kontrolliert das Magnetventil mit seinem umstellbaren Arbeitstakt die Spritzfrequenz. Abbildung 4 stellt das Hydraulikdiagramm des Systems dar.



**Abbildung 3 Pumpe von Firma Comet**

Für die Füllung des Hydraulikspeichers ist eine Pumpe von Firma Comet (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, Bestellnr. 500836, AgriEuro, Link s. S. im Anhang) aus Italien zuständig. Die Pumpe besitzt eine Förderleistung mit 23 L/min und einen maximalen Förderdruck mit 20 Bar.

In der Abbildung 4 wird das Hydraulikdiagramm des Versuchsstands dargestellt, um das Funktionsprinzip des Systems zu zeigen. Die

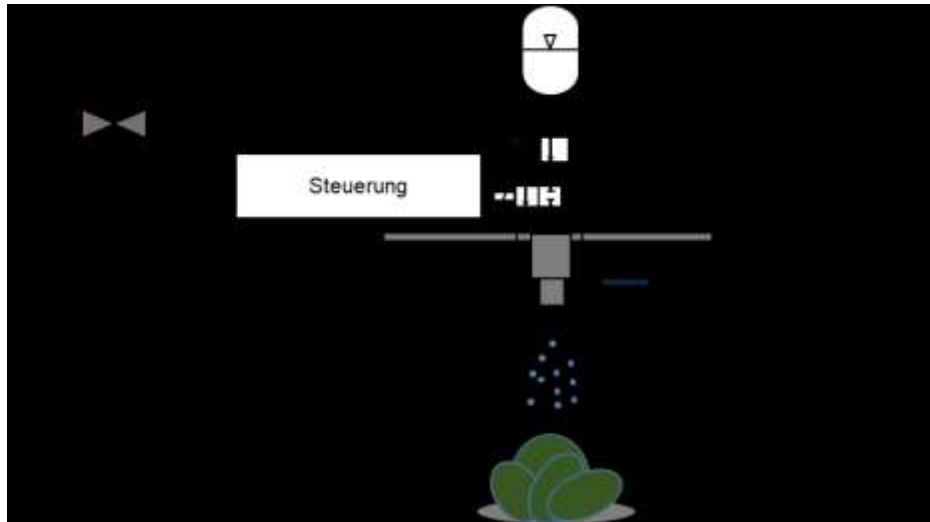


Abbildung 4 Hydraulikdiagramm des Systems



Abbildung 5 Verbindungselemente des Hydrauliksystems

Durch eine auf dem Kugelhahn eingebaute Steckkupplung kann die Pumpe (

Abbildung 5) mit Speicher angeschlossen werden, damit der Füllungsprozess des Hydraulikspeichers ermöglicht wird. Die SPS (Speicherbar Programmierbar Speicher, Abbildung 12) dient als „Gehirn“ des Systems, d.h., die Steuerung sendet Spannungssignale zu dem Magnetventil (Abbildung 6), mit dem Ziel die Spritzfrequenz zu regeln. Das von Firma Goetze hergestellte Druckminderventil (Abbildung 7 effektives Regelbereich: Vordruck max. 60 bar, Hinterdruck 0,5 bis 15 bar) reguliert den Druck, welcher im Hydrauliksystem vorkommt, im gewünschten Einstellungswert.



Abbildung 6 Hydrauliksystem des Versuchstands



**Abbildung 7 Druckminderventil (Firma Goetze)**

**<https://www.goetze-armaturen.de/de/produkte/industrietechnik/druckminderer/baureihe-484/>**

Die Umfassung der Druckwerte ist mithilfe eines von Firma ifm hergestellten Drucksensors PN2271 (Abbildung 8), welcher über einem Display zum Zeigen des aktuellen Wertes verfügt, realisierbar.

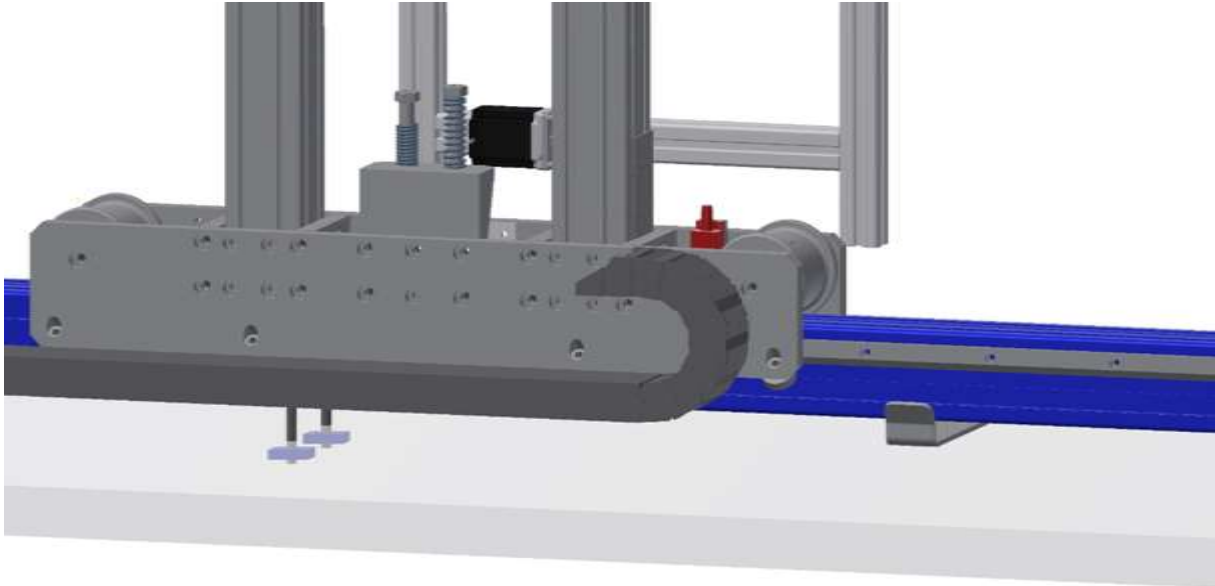


**Abbildung 8 Drucksensor**

**(ifm <https://www.ifm.com/de/de/product/PN2271>)**

Die genauen Parameter des Sensors werden in dem Anhangen dargestellt.

Die Stromversorgung während des Versuchszustands gewährleistet die bewegbare Energiekette (Abbildung 9 und Abbildung 10 igus @ e-kette Serie E4.28, Trennsteg, igus KMA Satz) von Fima Igus, in die die Stromkabel befestigt werden und mitbewegt.



**Abbildung 9 CAD Modell von Energiekette**



**Abbildung 10 Die in der Energiekette gekapselten Stromkabel**

Die Zeichnungen der Komponenten und das vollständige Modell der Energiekette befinden sich im Anhang.

Die Einstellung der Höhe des Sensors ist durch einen von Firma Joachim Uhing GmbH & Co. KG gelieferten Zahnriemenantrieb (Abbildung 11, Bestellnr. 3.065351.18) realisiert.

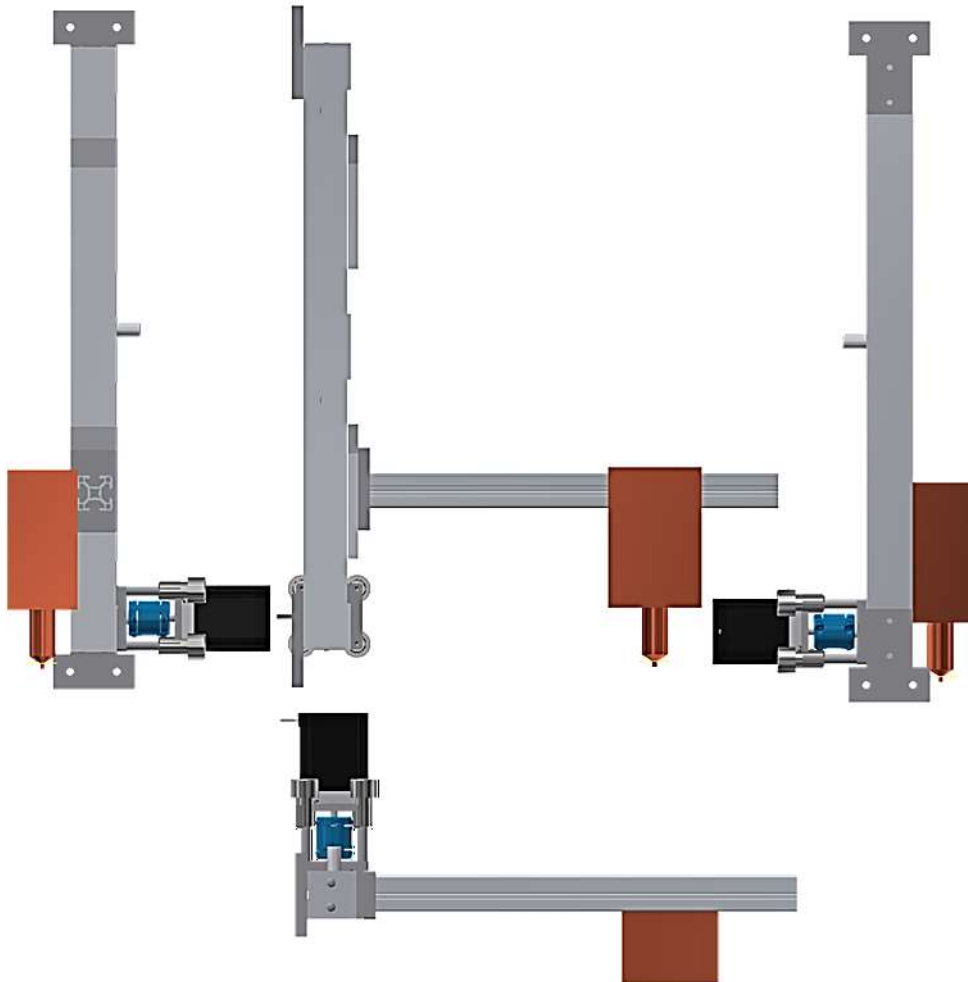


Abbildung 11 Zahnriemenantrieb (Firma Joachim Uhing GmbH & Co. KG)

Die genauen technischen Angaben befinden sich im Anhang.

Für die Steuerung wird ein SPS (Speicherbar Programmierbar Steuerung) von Firma Instrument verwendet. Mit der Labview FPGA (field-programmable gate array) kann die Steuerung ein echtes Laufen des Programms realisieren. In der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die verwendete SPS vorgestellt.



Abbildung 12 SPS National Instrument

<http://www.ni.com/pdf/manuals/375102g.pdf>

<https://www.ni.com/de-de/support/model.crio-9022.html>

Durch erweiterbare Schnittstelle (Abbildung 13 Firma National Instrument)) können hier verschiedene Sensoren und Aktoren, welche z.B. der Drucksensor und der Elektromotor (Aktor) und die Riemenzahngetriebe (Aktor) sind, mit dieser SPS, welche als das Gehirn-Steuerungssystem dient, zusammengeschlossen werden.



Abbildung 13 Multifunktionsmodul als Schnittstelle (SPS & Sensoren Aktoren)

<http://www.ni.com/de-de/support/model.ni-9381.html>

[http://www.ni.com/pdf/manuals/375983a\\_02.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/375983a_02.pdf)





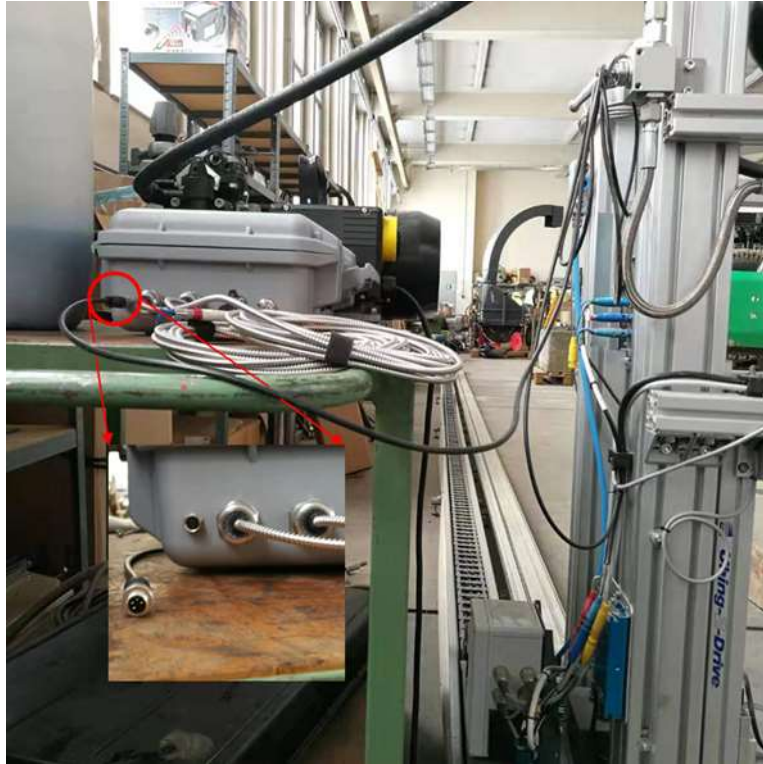
**Abbildung 14 Der aufgebaute Versuchsstand**

In der Abbildung 14 ist der fertig aufgebaute Versuchstand bereits zu besichtigen. Die wichtigen Komponenten sind Steuerkasten, Hydraulikspeicher, Drucksensor, Druckminderventil, Antriebssystem (inklusive Motor, Siel Getriebe), Rahmen (inklusive Fahrwerk).



**Abbildung 15 Steuerkasten**

Durch Drehen des Potentiometers „OK“ ist die Fahrgeschwindigkeit des Rahmens verstellbar. Die rote Tastatur und der grüne farbige Knopf dienen als Notfallschalter und Systemschalter (Abbildung 15).



**Abbildung 16 Schnittstelle zu Spektrometer**

Der Versuchstand verfügt über einen an ein schwarzes Kabel montierten fünfpoligen Stecker (Abbildung 16), mit dem kann der Spektrometer am Versuchstand angeschlossen werden.

#### k. 2.2 Programmierung für das Steuerungssystem unter Verwendung von Labview

Eine von den vorher definierten Anforderungen des Versuchstands weiter abgeleitet der Anforderungsliste des Programms der SPS wird in der folgenden Tabelle 1 vorzeigt.

**Tabelle 1 Anforderungsliste für die Programmierung**

Anforderungsliste des Programms	
Beschreibung der Anforderungen	Wert (wenn Möglich) oder Beschreibung
Geschwindigkeit kontrollieren	(Vorwärts/Rückwärts)
Geschwindigkeit einstellen	Max 10 km/h
Spritzfrequenz einstellen	Max 20 Hz
Spritzfrequenz auslesen	Werte
Signal vom Sensor empfangen (Ja/Nein)	Lampe ein und ausschalten
Spritzzahlen auslesen	Werte

Auf Basis von der Anforderungsliste wurde ein Programm für die SPS erstellt. Die Bedienungsoberfläche des Programms (Abbildung 17) wird in dargestellt.

### Realtime.vi



Abbildung 17 Bedienungsoberfläche der Software

Im Optionsbereich Z-Achse (Orange Farbe, Abbildung 17) ist eine Verstellung der Höhe der verwendeten Düse möglich. Mit dem Knopf Up/Dn Kann die Richtung der Höheeinstellung angegeben werden. Weiter der Kasten Limit ermöglicht eine Eingabe der Fahrlänge der Höheeinstellung. Der Fahrzustand des Versuchsrahmens ist verstellbar im Optionsbereich Wagen. Die Knöpfe Zurück und Vor steuern die Fahrriichtung.

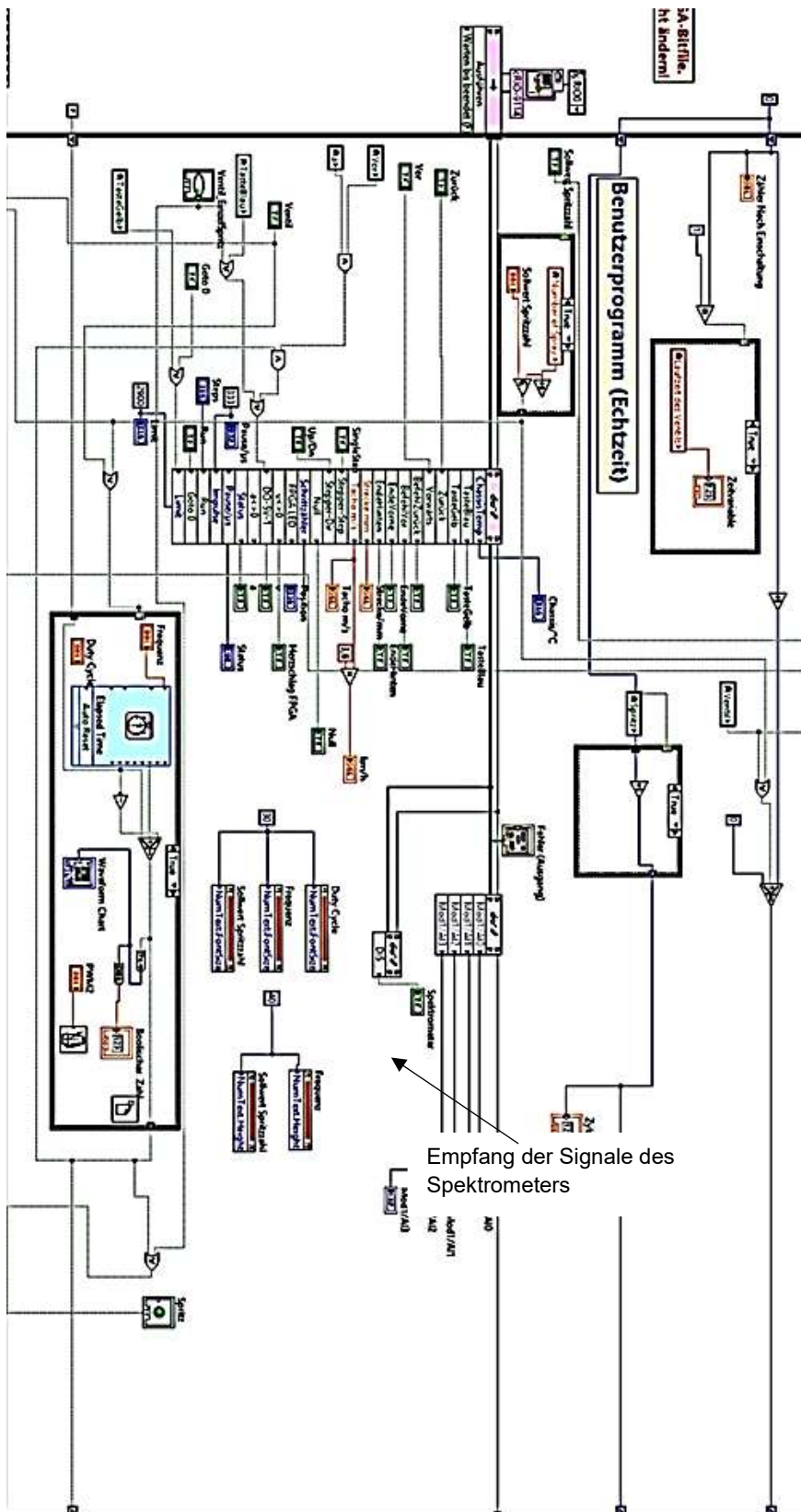


Abbildung 18 Code des Programms

In dem Code des Programms steht ein Knoten DI5 (Abbildung 18), welcher die Schnittstelle zwischen dem Spektrometer und Versuchsstand in der Softwareebene herstellt.

### k. 2.3 Aufbau Optimierung des Versuchsstandes

Während der Versuche wurde es festgestellt, dass der Verschleiß des Zugseils wegen des ungünstigen geometrischen Kontaktes vorkommt. Aus diesem Grund werden die Scherungen des Zugseils auf dem Antriebsrad von zweieinhalb zu ein Halb reduziert. Gleichzeitig die Kerbe für die Wicklung des Seils wurde vertieft.

## K. 3 Versuche mit verschiedenen Düsen

Um die geeigneten Düsen auszuwählen, werden verschiedenen Düsen von Firma ATK und Firma Lechler geprüft und bewertet.

### k. 3.1 Versuche mit Düsen von Firma ATK

Die von Zerstäubungsprozessen abhängenden Spritzqualitäten der Düsen sind entscheidende Rolle für die präzise Applikation der Pflanzenschutzmittel. Aus diesem Grund mit dem aufgebauten Versuchsstand werden verschiedenen Düsen geprüft, mit dem Ziel die Spritzprozesse der Düsen zu analysieren und die geeigneten Düsen auszuwählen.

Weit werden zunächst folgende Düsen von (s. S. Abbildung 19 Reihenfolge von links nach rechts) Firma ATK geprüft.

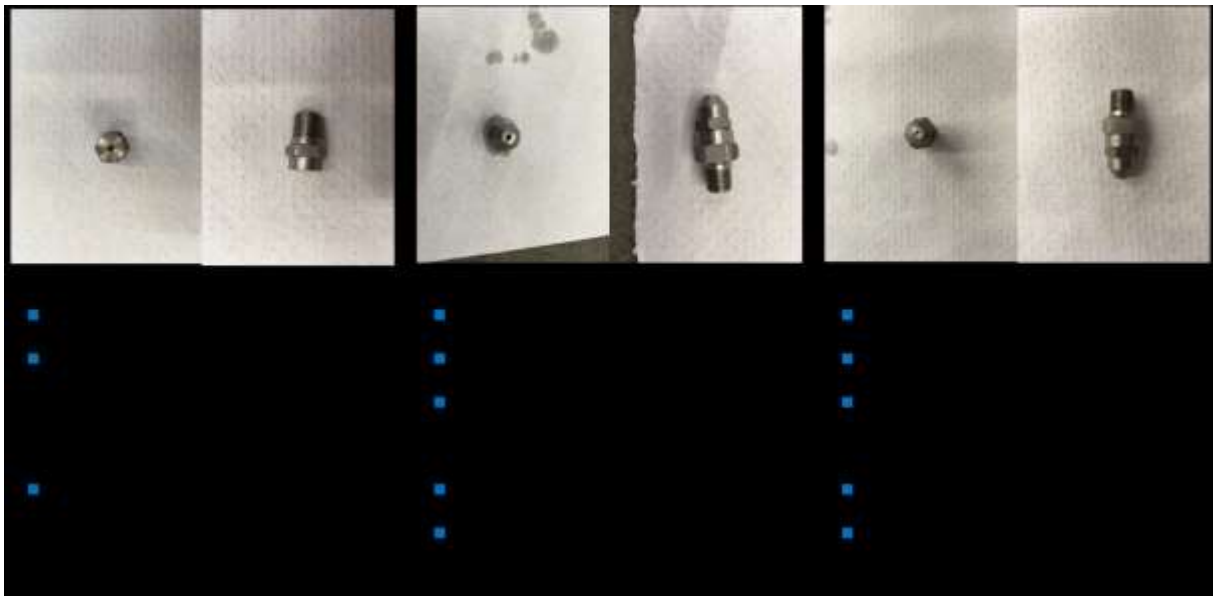


Abbildung 19 Düsen der Firma ATK

Die Versuche sind mit 2 unterschiedlichen Spritzhöhen 26,8 und 47,2 cm durchgeführt. Ziel ist die nach der Spritzung interessierende Spritzfläche der verschiedenen Düse zu messen und vergleichen, damit die geeigneten Düsen für die präzise Applikation ausgewählt werden können.

Die Versuche von der drei Düsen der Firma ATK werden in folgende **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** bis Abbildung 37 dargestellt.

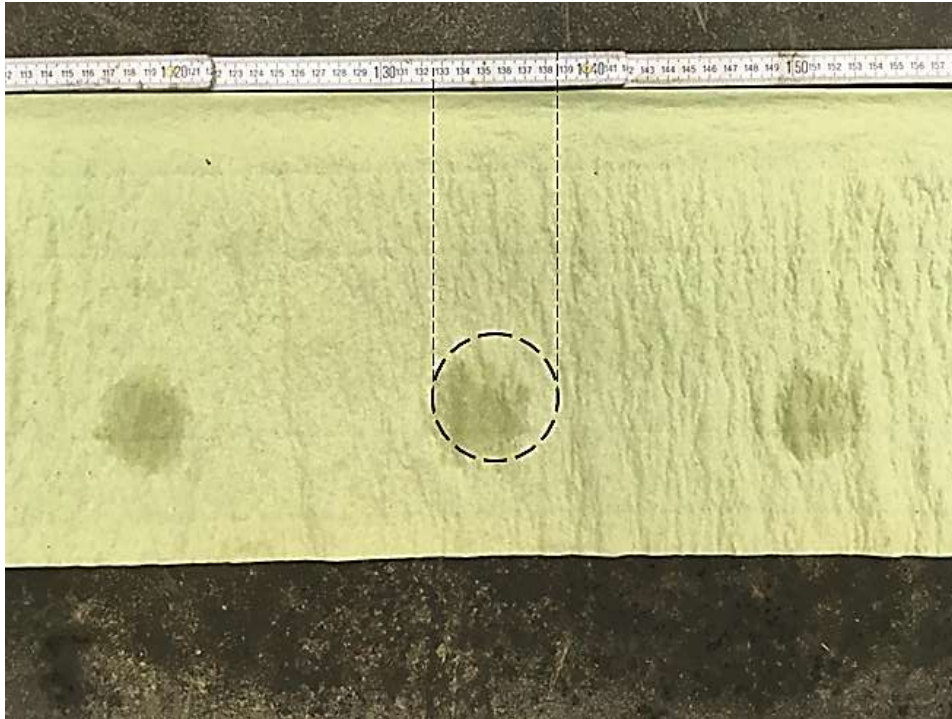


Abbildung 20 Spritzfläche von Düse mit 45° Düsenwinkel (Spritzhöhe 26,8 cm)

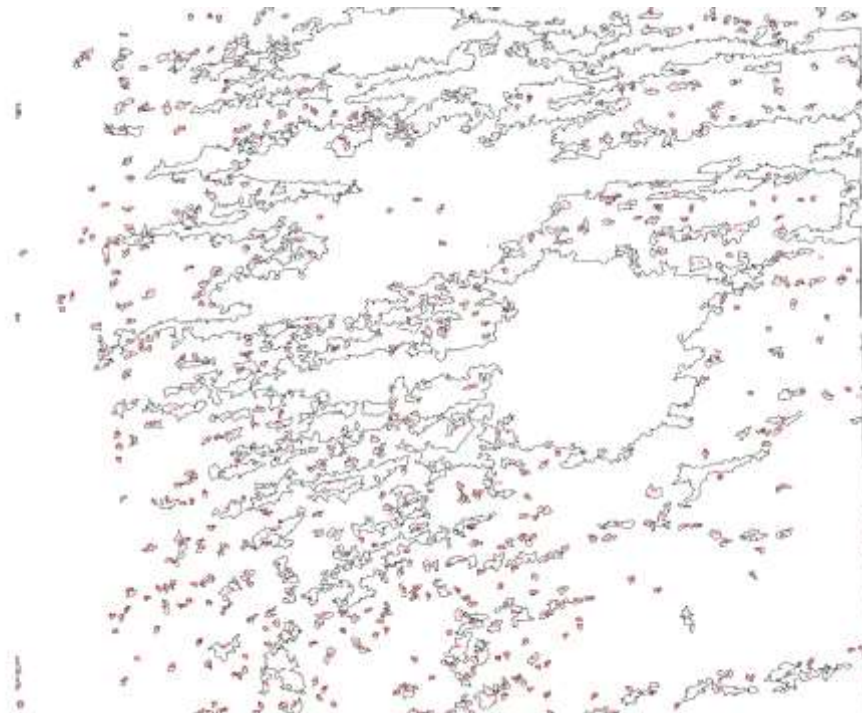


Abbildung 21 Von ImagJ bearbeitetes Bild (Düse mit 45° Düsenwinkel, Spritzhöhe 26,8 cm)

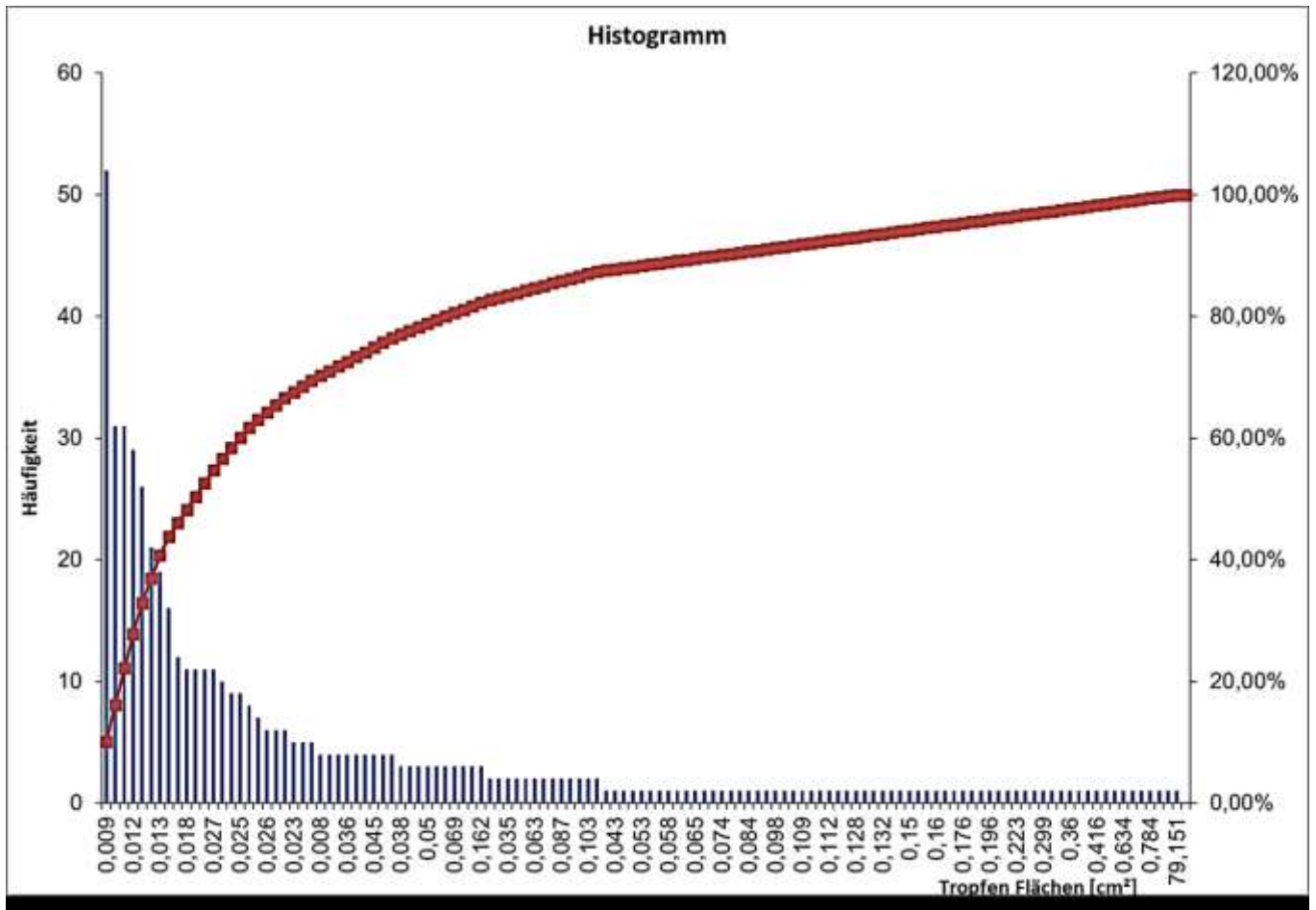


Abbildung 22 Die Verteilung der Flächen der Tropfen (Düse mit 45° Düsenwinkel, Spritzhöhe 26,8 cm)

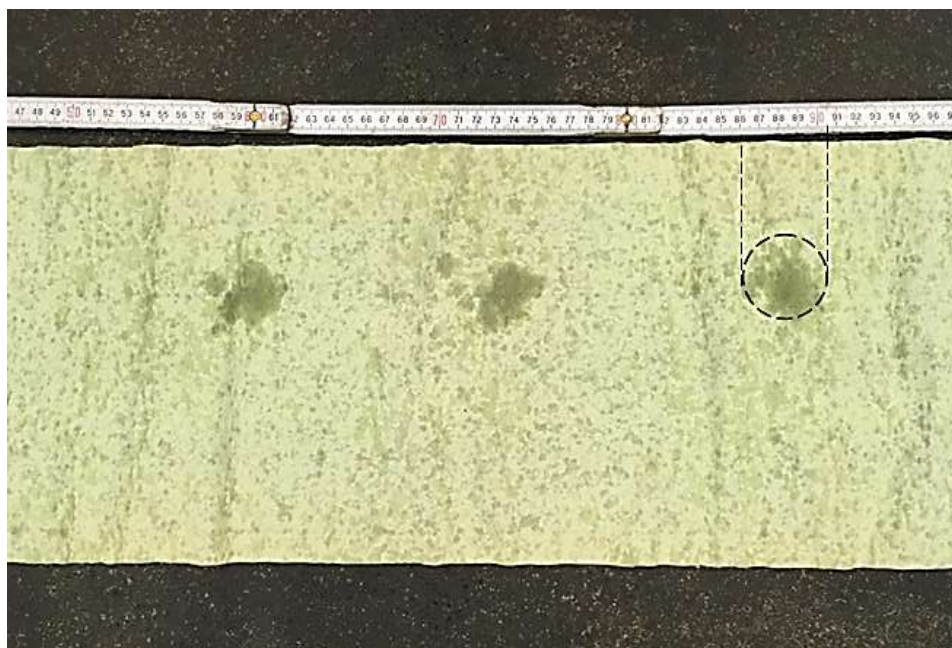


Abbildung 23 Spritzfläche von Düse mit 45° Düsenwinkel (Spritzhöhe 47,2 cm)

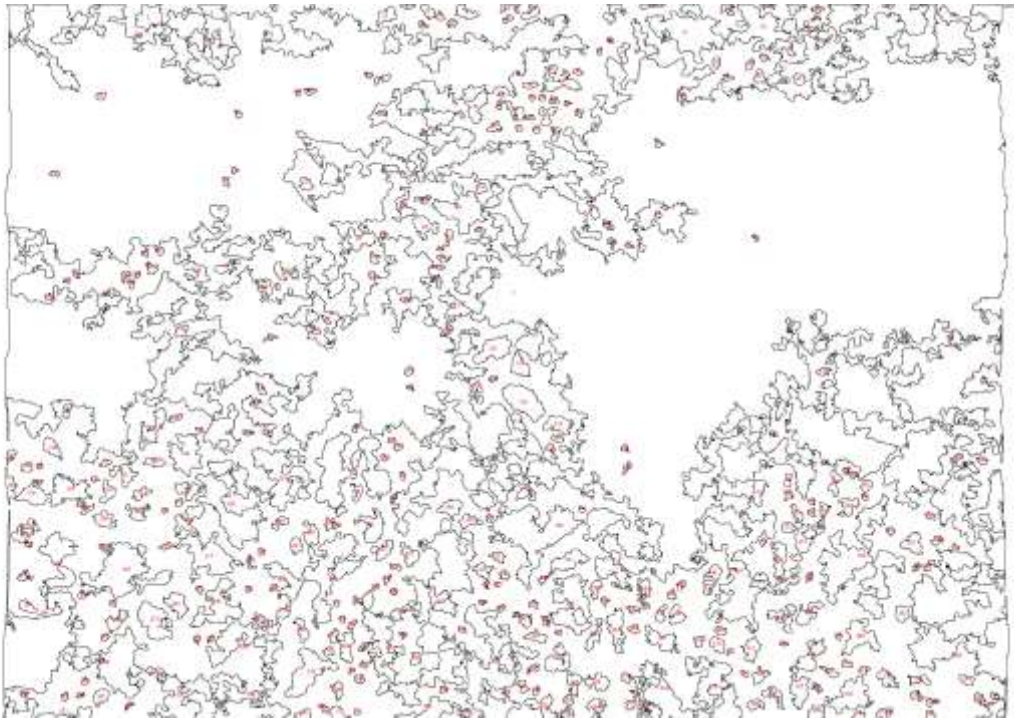


Abbildung 24 Von ImagJ bearbeitetes Bild (Düse mit 45° Düsenwinkel, Spritzhöhe 47,2 cm)

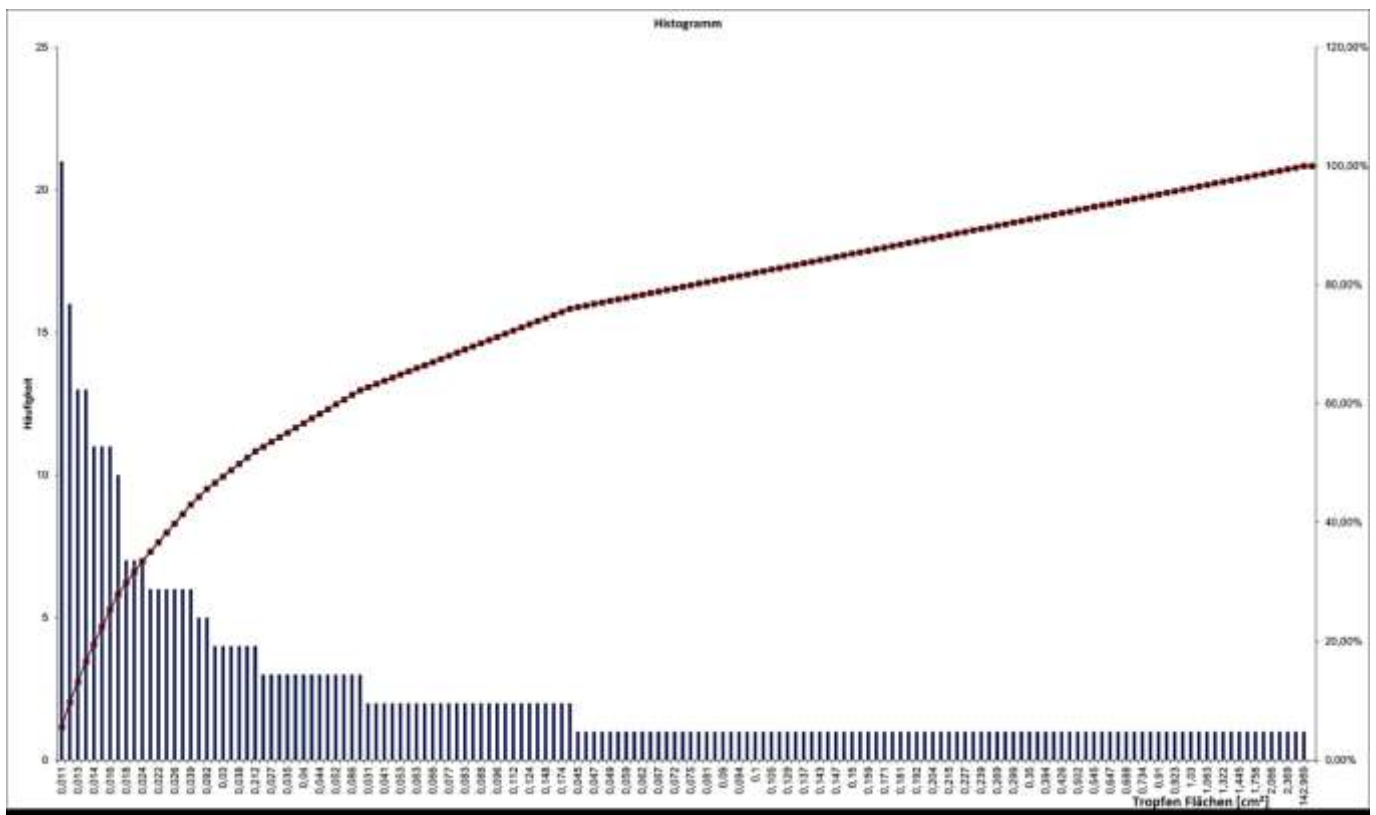
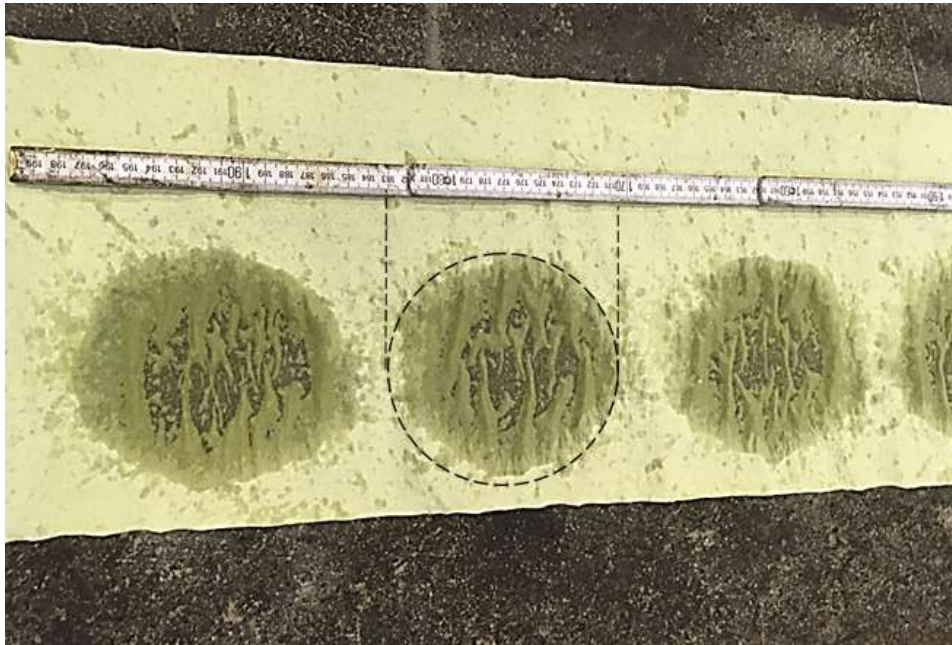


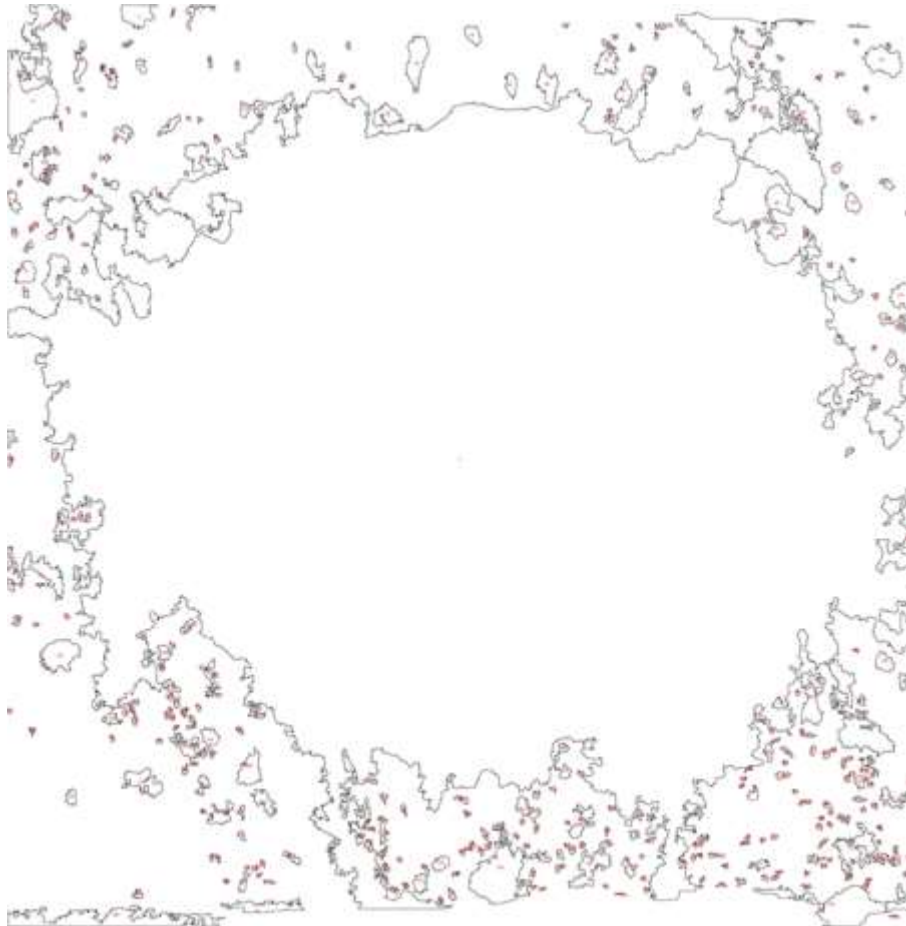
Abbildung 25 Die Verteilung der Flächen der Tropfen (Düse mit 45° Düsenwinkel, Spritzhöhe 47,2 cm)



Den beiden Bildern zeigen, dass die beiden Spritzflächen der verschiedenen Spritzhöhen jeweils aus einem Kerngebiet, welcher bei Spritzhöhe von 26,8 cm einen Durchmesser von 6,1 cm und bei Spritzhöhe von 47,2 cm einen Durchmesser von 4,5 cm besitzen, und einem großen Streubereich bestehen.



**Abbildung 26 Spritzfläche von Düse mit 30° Düsenwinkel (Spritzhöhe 26,8 cm)**



**Abbildung 27 Von ImajJ bearbeitetes Bild (Düse mit 30° Düsenwinkel, Spritzhöhe 27,2 cm)**

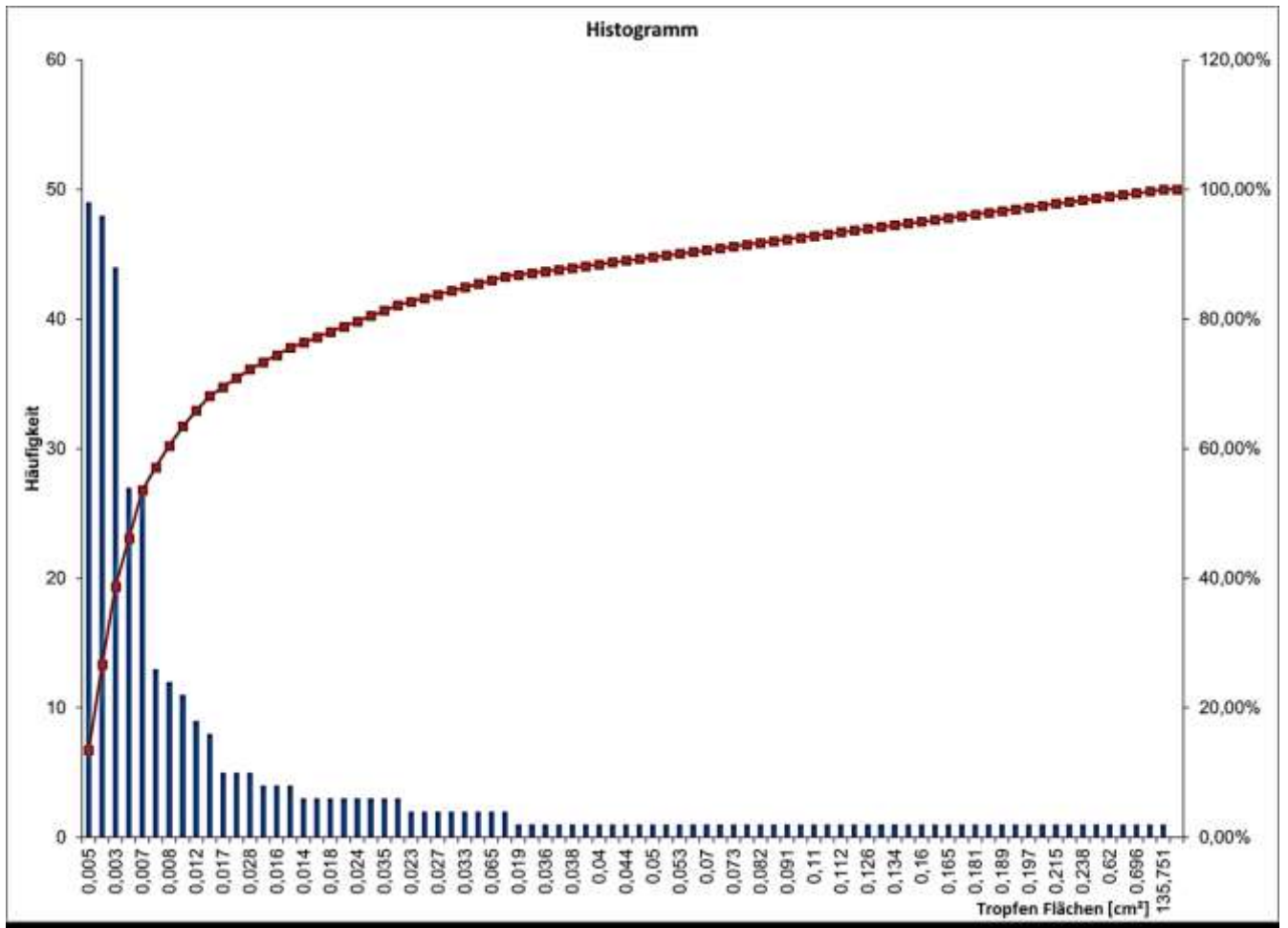


Abbildung 28 Die Verteilung der Flächen der Tropfen (Düse mit 30° Düsenwinkel, Spritzhöhe 27,2 cm)

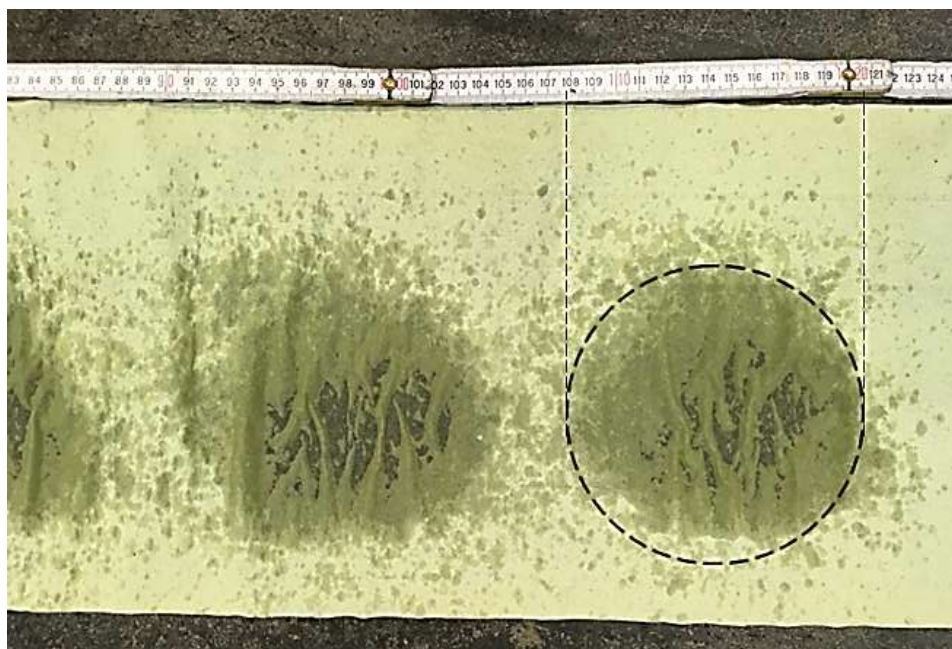
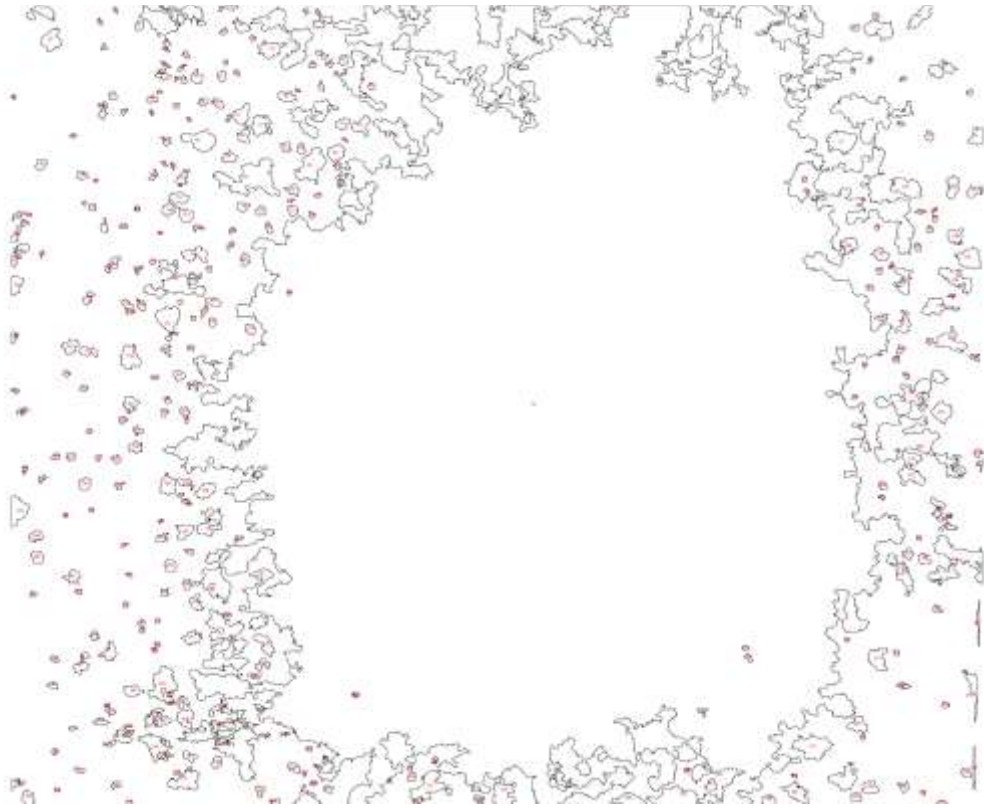


Abbildung 29 Spritzfläche von Düse mit 30° Düsenwinkel (Spritzhöhe 47,2 cm)



**Abbildung 30 Von ImagJ bearbeitetes Bild (Düse mit 30° Düsenwinkel, Spritzhöhe 47,2 cm)**

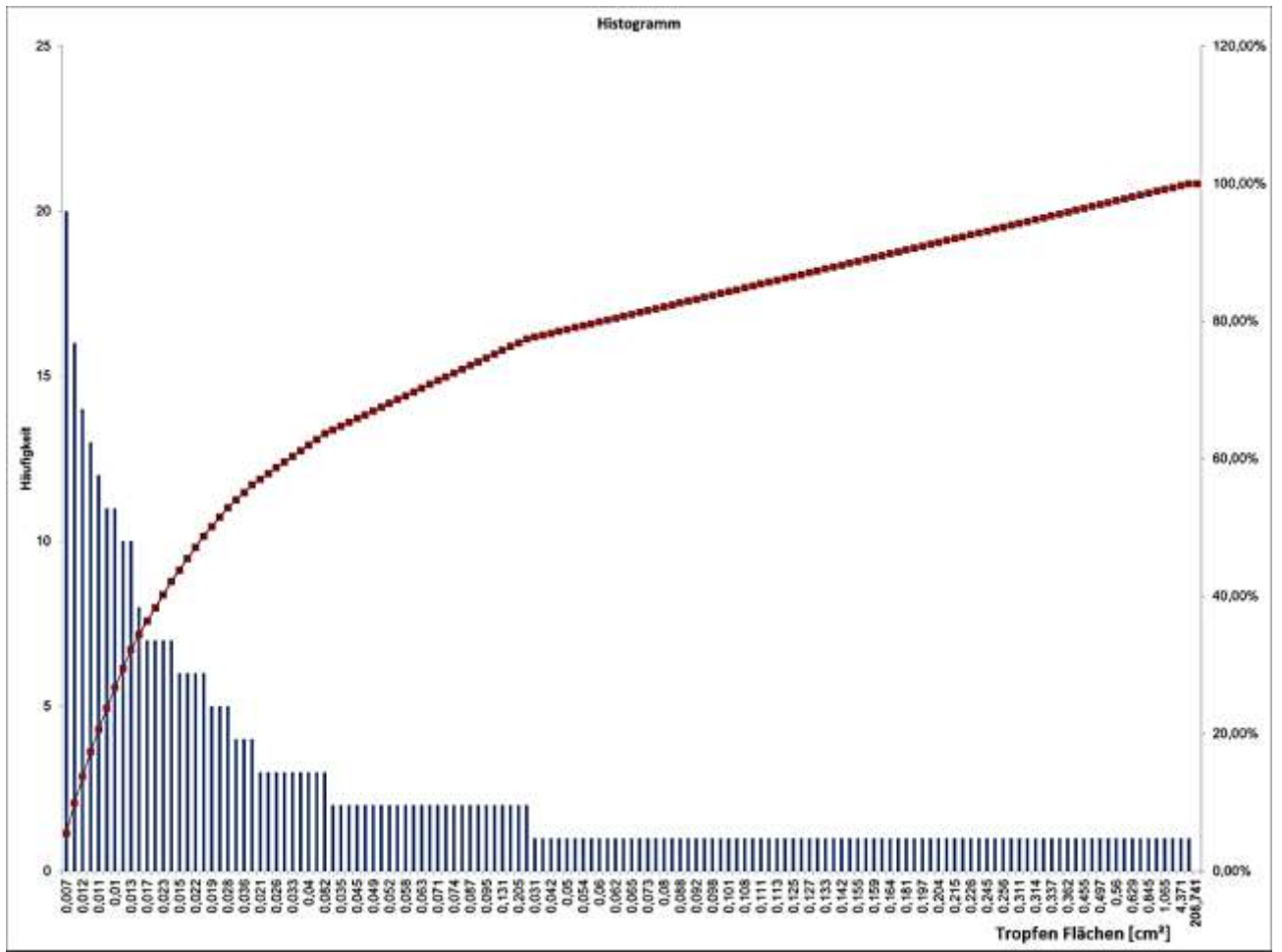
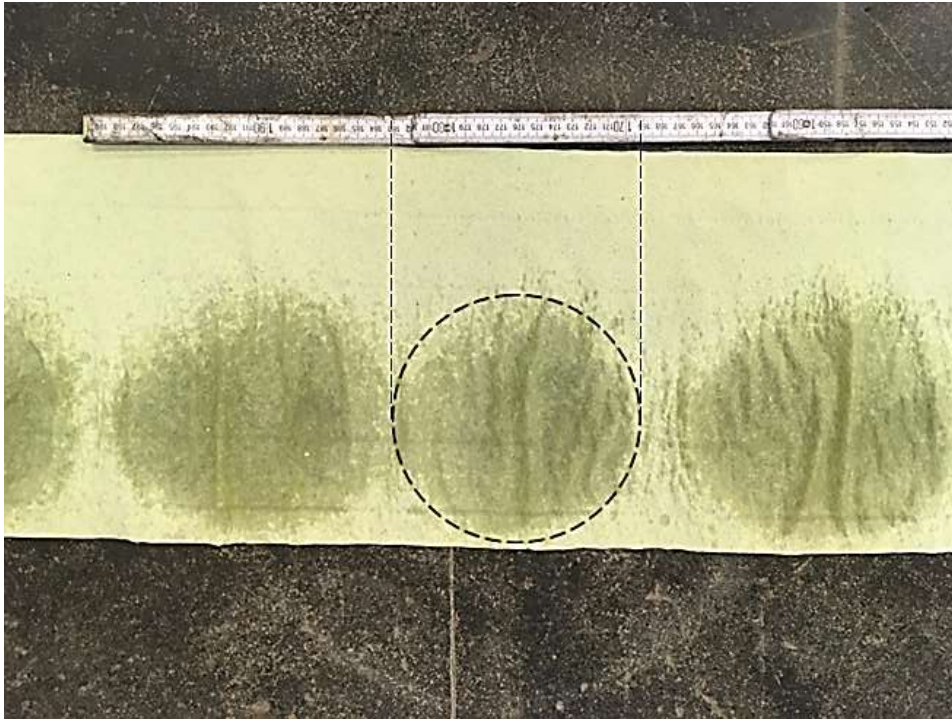
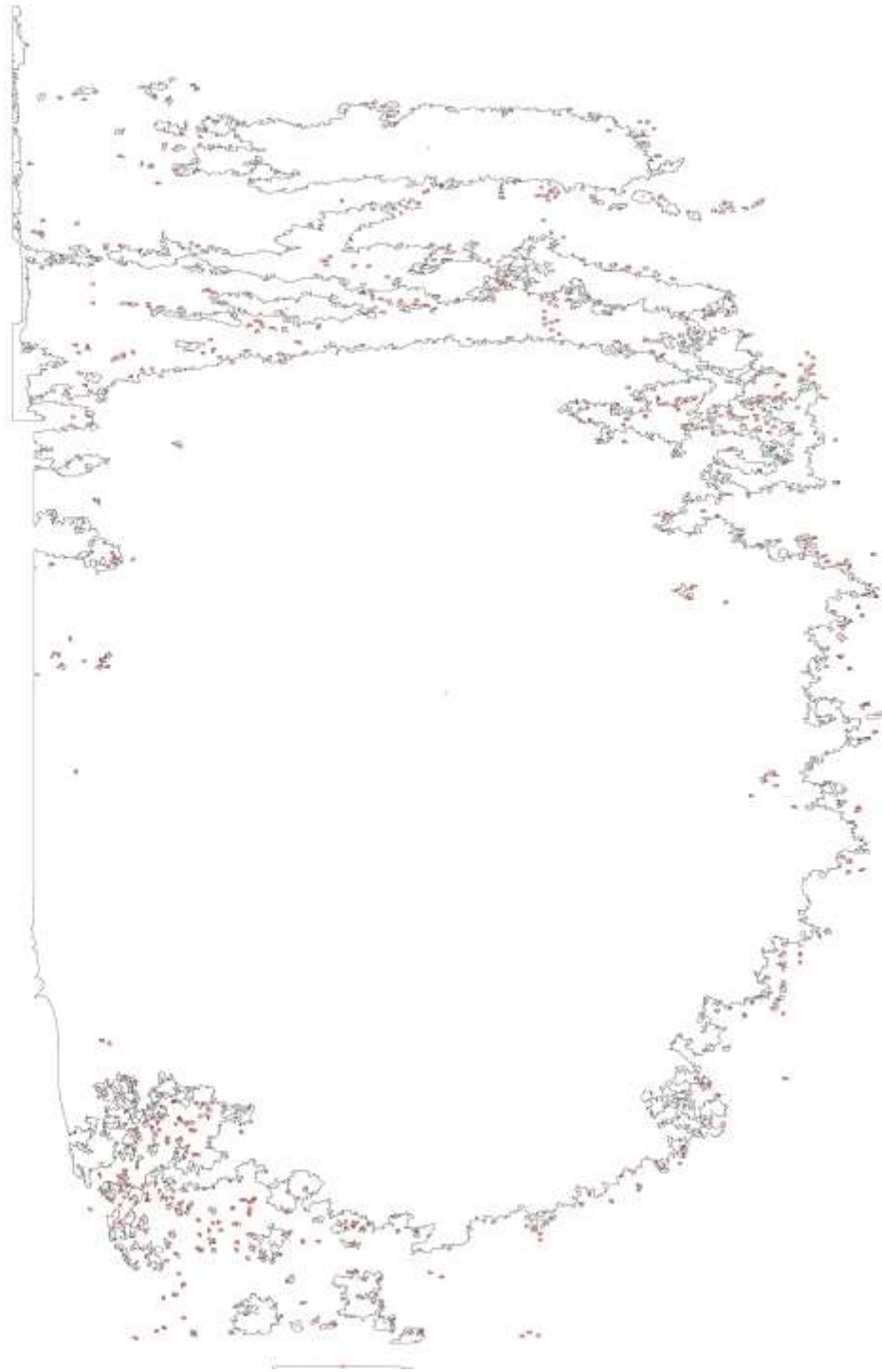


Abbildung 31 Die Verteilung der Flächen der Tropfen (Düse mit 30° Düsenwinkel, Spritzhöhe 47,2 cm)

Im Gegenteil zeigen die beiden Versuche der Düse mit 30° Düsenwinkel eine zu große Kernfläche und eine wenige steuerten Anteil in der Spritzspur.



**Abbildung 32 Spritzfläche von Düse mit 15° Spritzwinkel (Spritzhöhe 26,8 cm)**



**Abbildung 33 Von ImagJ bearbeitetes Bild (Düse mit 15° Düsenwinkel, Spritzhöhe 26,8 cm)**

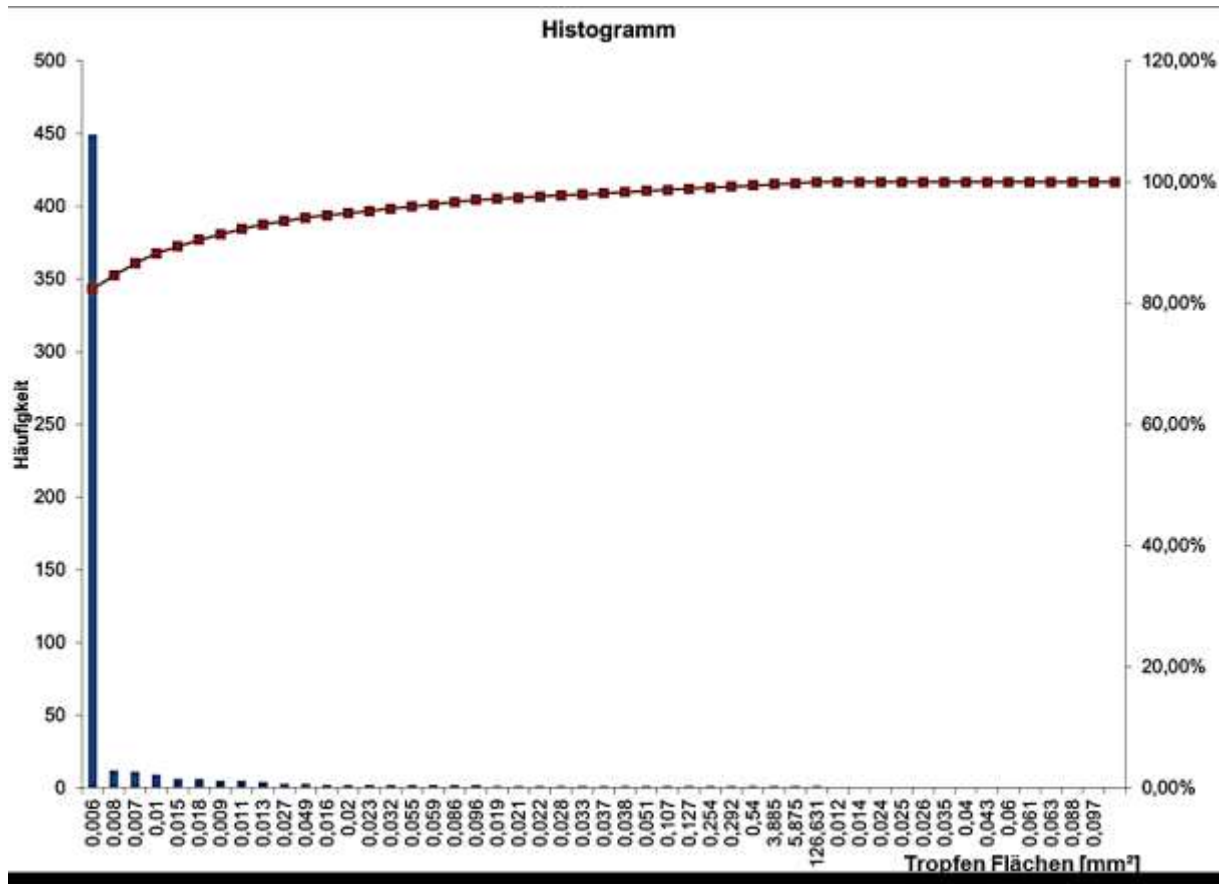
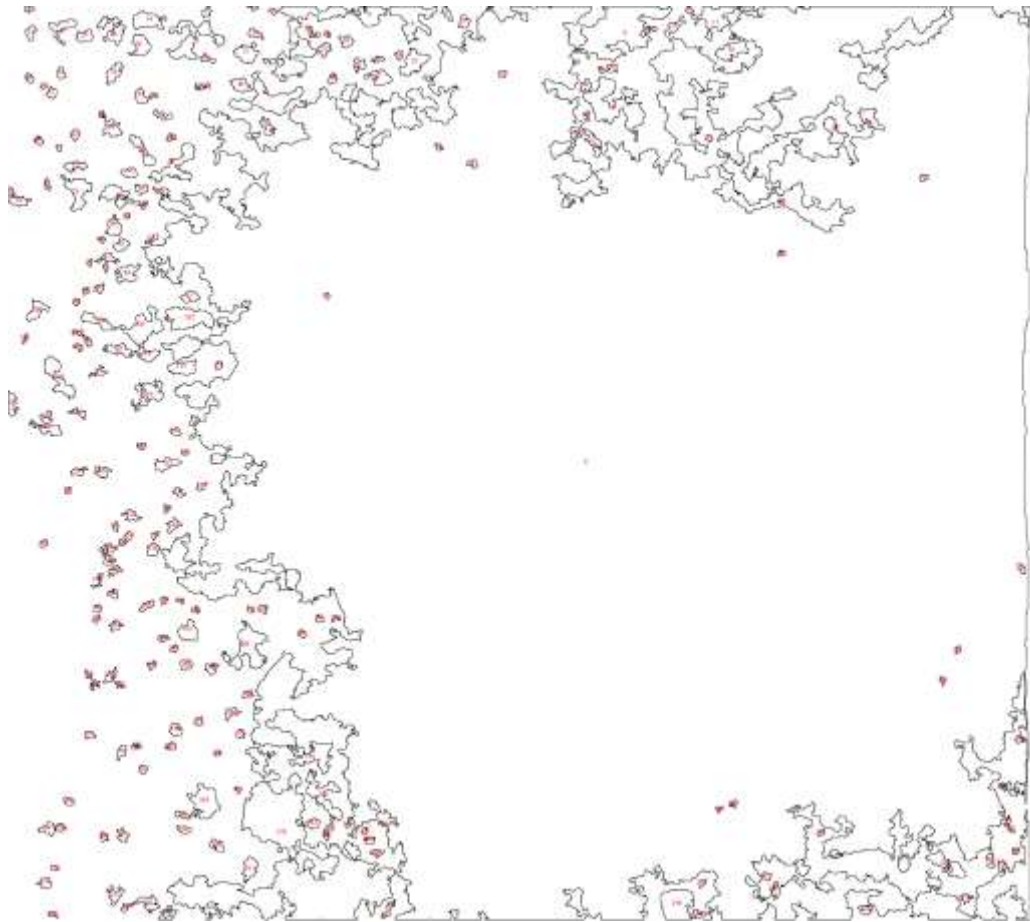


Abbildung 34 Die Verteilung der Flächen der Tropfen (Düse mit 15° Düsenwinkel, Spritzhöhe 26,8 cm)

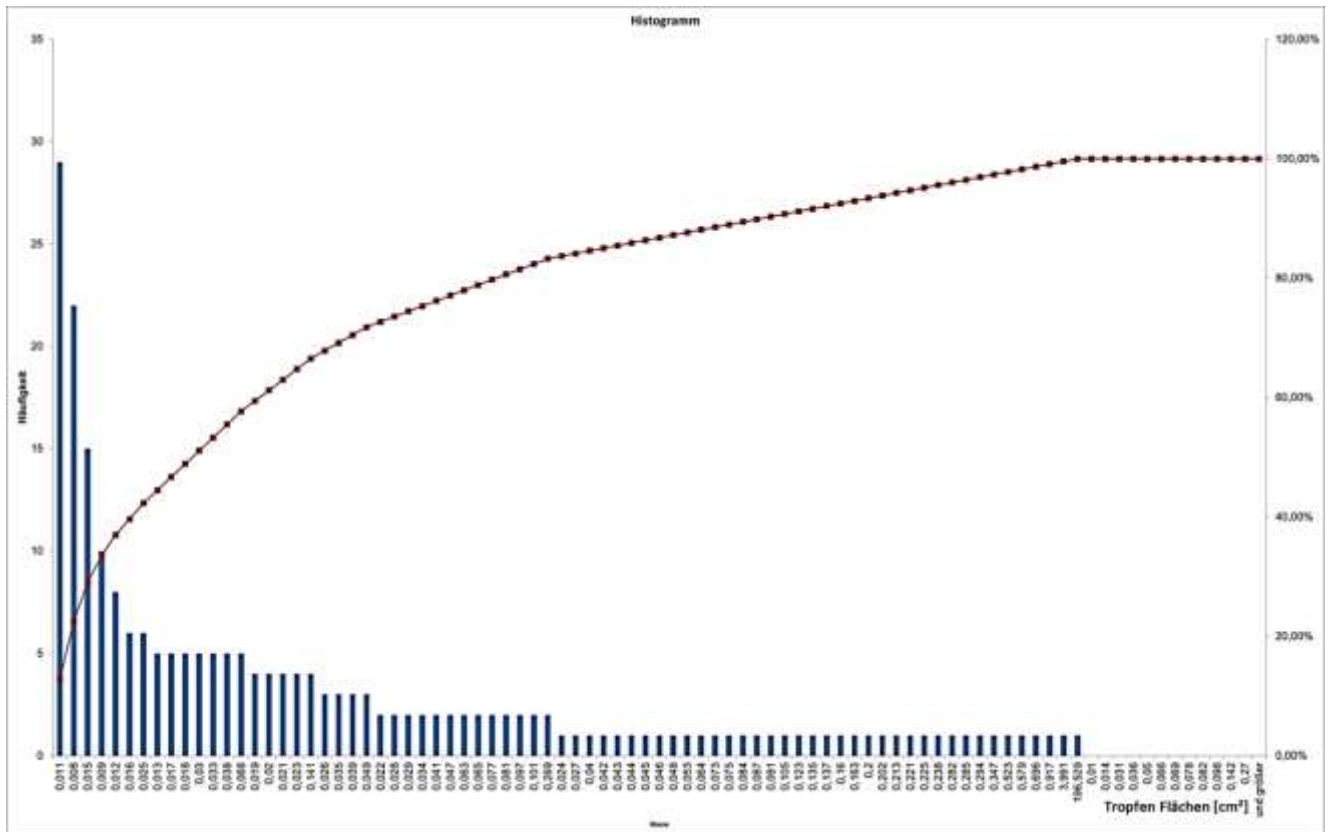


Abbildung 35 Spritzfläche von Düse mit 15° Spritzwinkel (Spritzhöhe 47,2 cm)





**Abbildung 36 Von ImagJ bearbeitetes Bild (Düse mit 15° Düsenwinkel, Spritzhöhe 47,2 cm)**



**Abbildung 37 Die Verteilung der Flächen der Tropfen (Düse mit 15° Düsenswinkel, Spritzhöhe 47,2 cm)**

Die Spritzspur vom Versuch der 15°-Spritzwinkel Düse mit einer Spritzhöhe von 26,8 cm zeigt eine sehr große Kernfläche (Durchmesser=14.1 cm) und einen geringen gestreuten Anteil. Dagegen zeigt die Spritzspur vom Versuch mit einer Spritzhöhe von 47.2 cm eine relativ kleine Kernfläche (Durchmesser=14.1 cm) und einen großen Streubereich (geschätzter Durchmesser=17.9cm).

Nach den Versuchen werden folgende Abschlusspunkte:

1. Die Durchmesser der Kernflächen der Spritzflächen liegen bei der Spritzhöhe von 47,2 cm zwischen 4,5 cm und 20,5 cm bei der Spritzhöhe von 26,8 zwischen 6,1 cm und 14,1 cm
2. Die allen Düsen von der Firma ATK haben entweder eine große Kernfläche oder einen zu großen Streuanteil von Spritzspur.

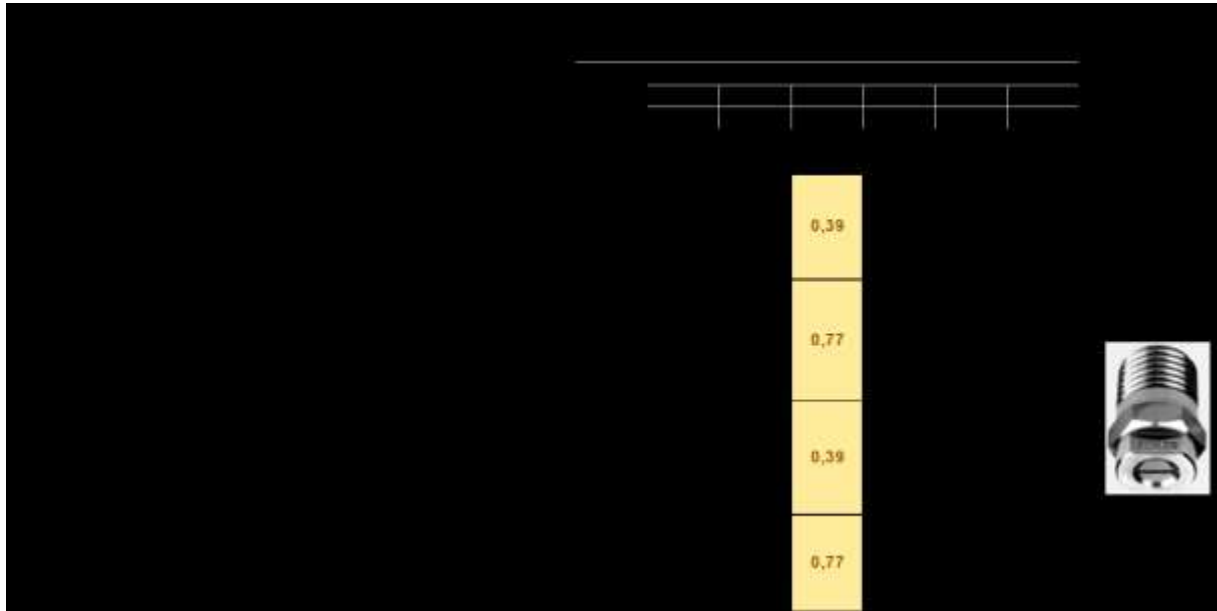
Wegen der zu großen Spritzspur sind die Düsen von Firma ATK nicht geeignet für die präzise Applikation von Pflanzenschutzmitteln.

Zum Vergleich werden weiter die Vollkegeldüsen (s. S. Tabelle 1) und die Flachstrahldüsen (s. S. Tabelle 2) über Ihre Eigenschaften geprüft.

### k. 3.2 Versuche mit Düsen von Firma Lechler

Die Flachstrahldüsen (s. S. Tabelle 2) und die Vollkegeldüsen (s. S. Tabelle 3) von Firma Lechler wurden zunächst mit Hilfe der neuen Verfahren getestet und der Software Imagej, welche einen Zugang zu der Kalkulation der Flächen der Spritztropfen ermöglicht, bewertet.

**Tabelle 2 Flachstrahldüsen von Firma Lechler**



**Tabelle 3 Vollkegeldüsen von Firma Lechler**



Das Versuchen und die Bewertungen der Düsen werden in Abbildung 38 bis Abbildung 73 dargestellt. Insgesamt werden 2 Spritzhöhen (27,2 und 47,2 cm) für jede Düse getestet.

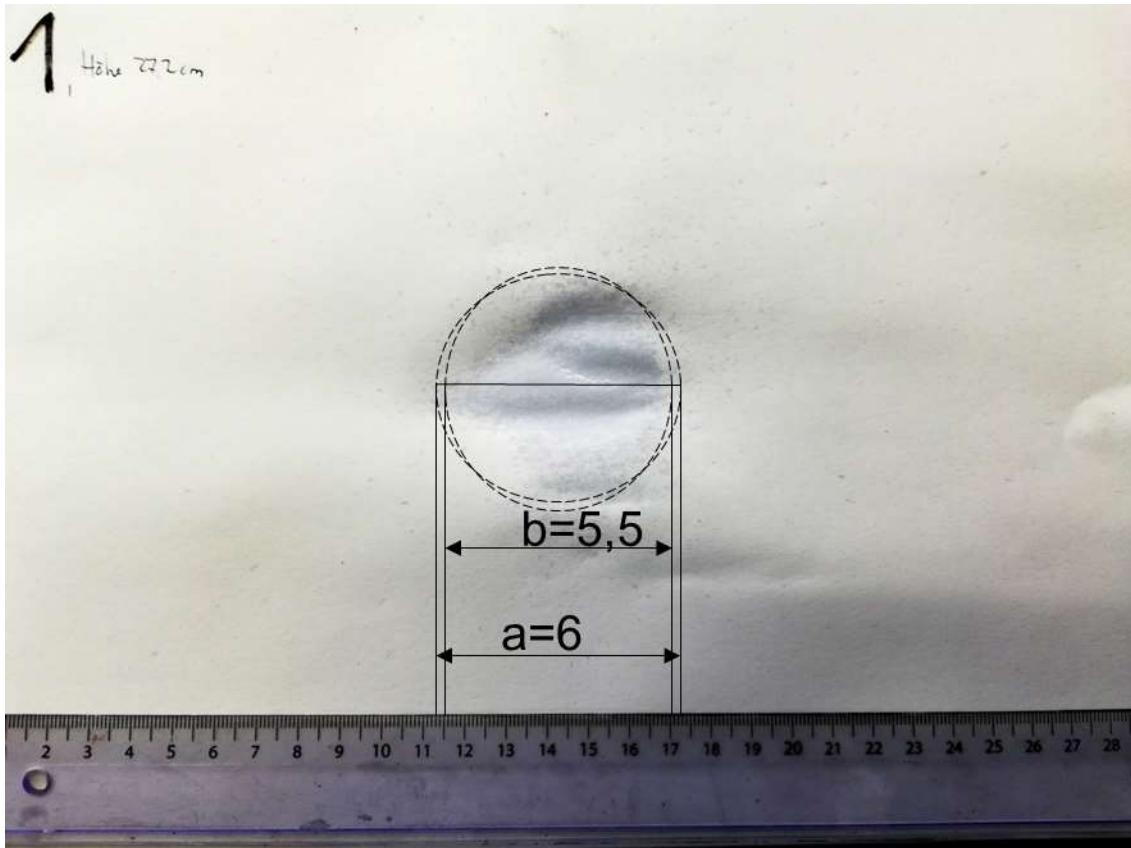


Abbildung 38 Lechler 63230130CA000 Flachstrahl Düse-1 (Spritzhöhe 27,2 cm)

Nach der Bearbeitung von ImagJ wird das obige Bild in einem Bild mit den nummerierenden Tropfen umgewandelt, um eine Auswertung zu ermöglichen.

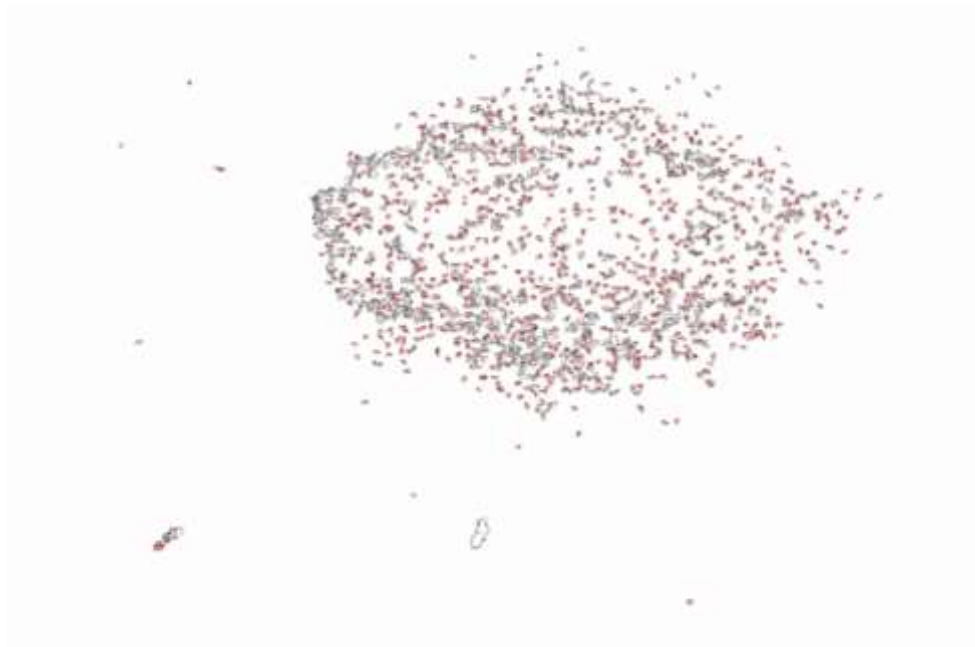


Abbildung 39 Von ImagJ bearbeitetes Bild D-1 (Spritzhöhe 27,2 cm)

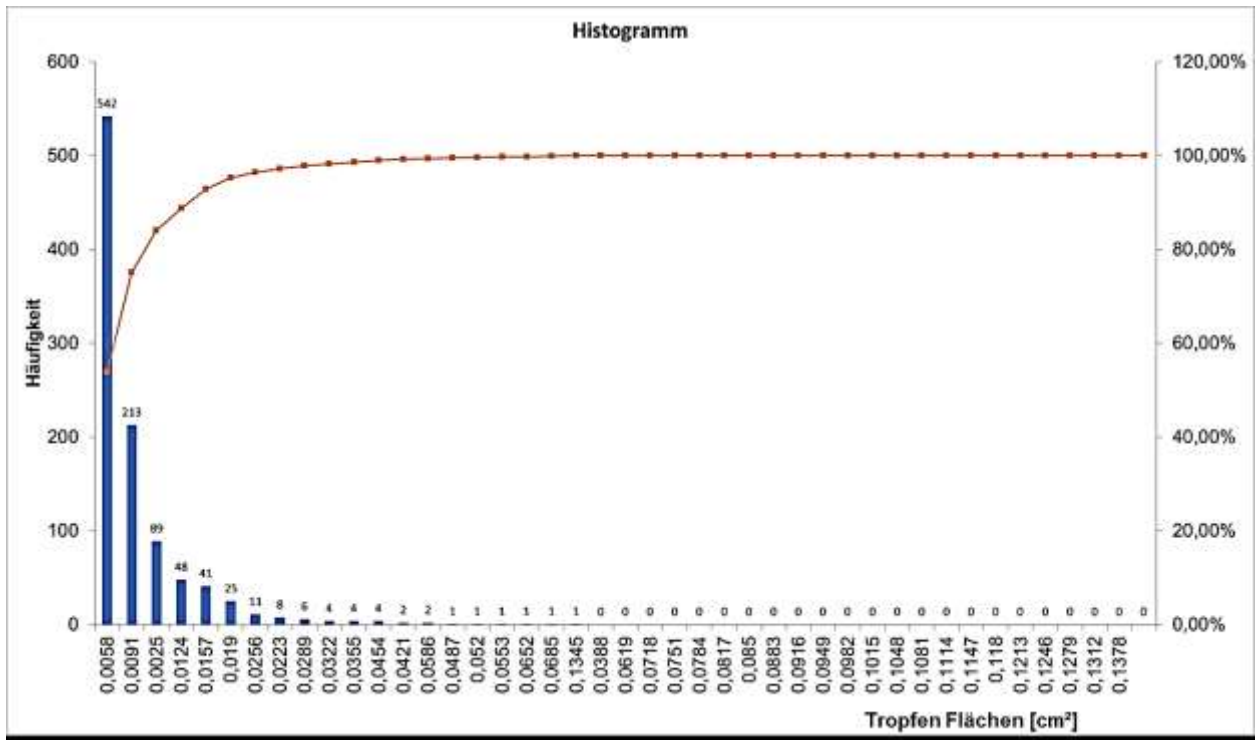


Abbildung 40 Die Verteilung der Flächen der Tropfen D-1 (Spritzhöhe 27,2 cm)

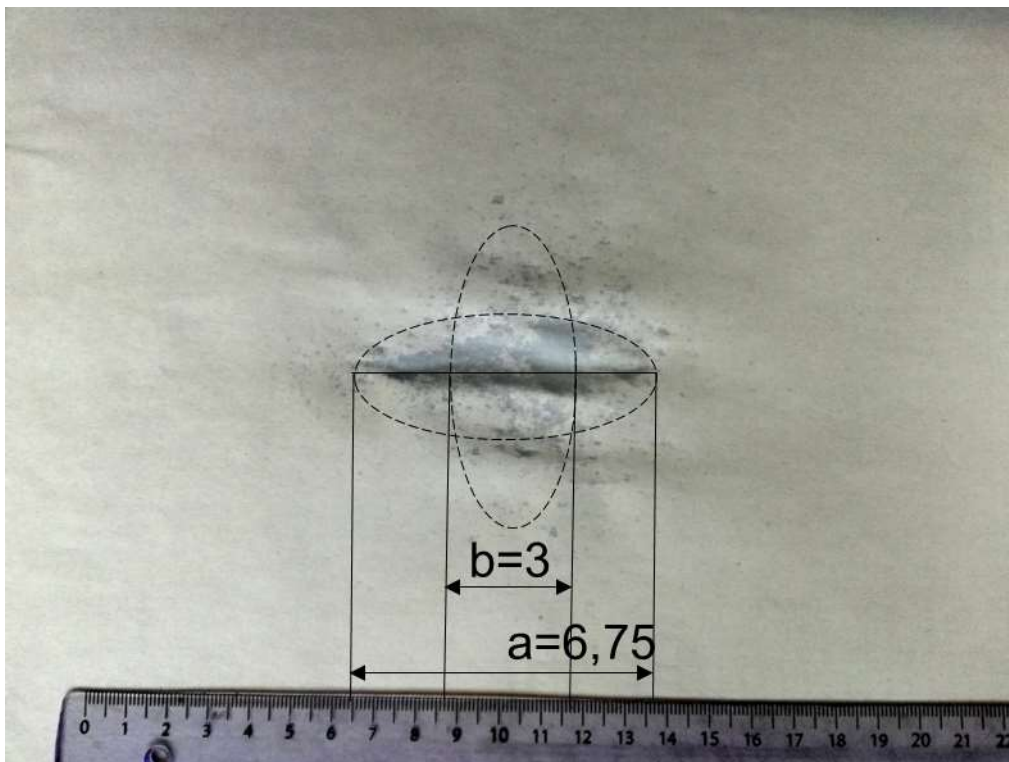


Abbildung 41 Lechler 63230130CA000 Flachstrahl Düse-1 (Spritzhöhe 47,2 cm)

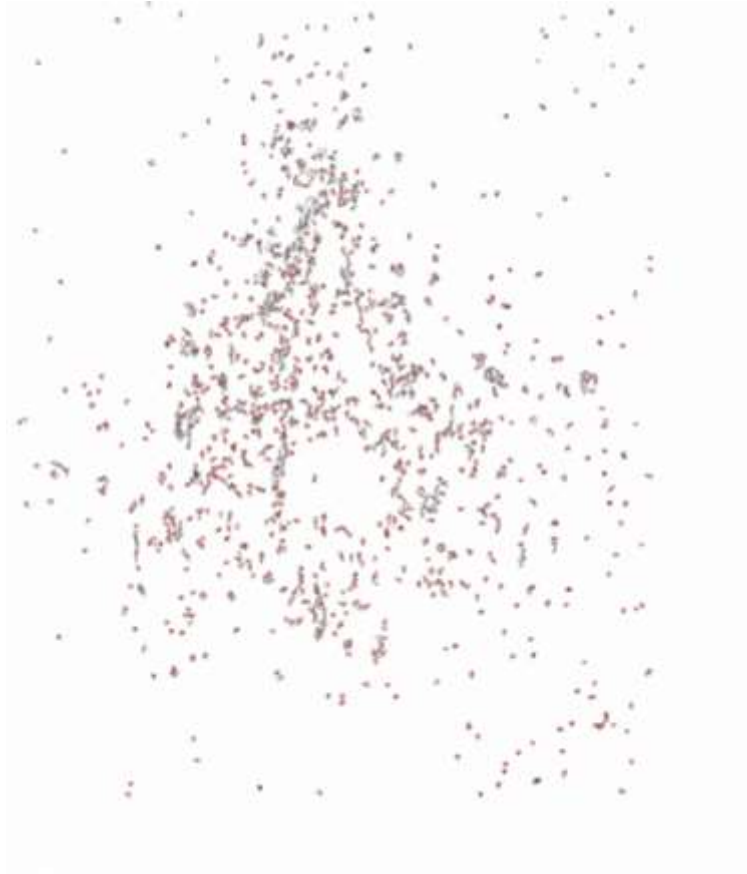


Abbildung 42 Von ImagJ bearbeitetes Bild D-1 (Spritzhöhe 47,2 cm)

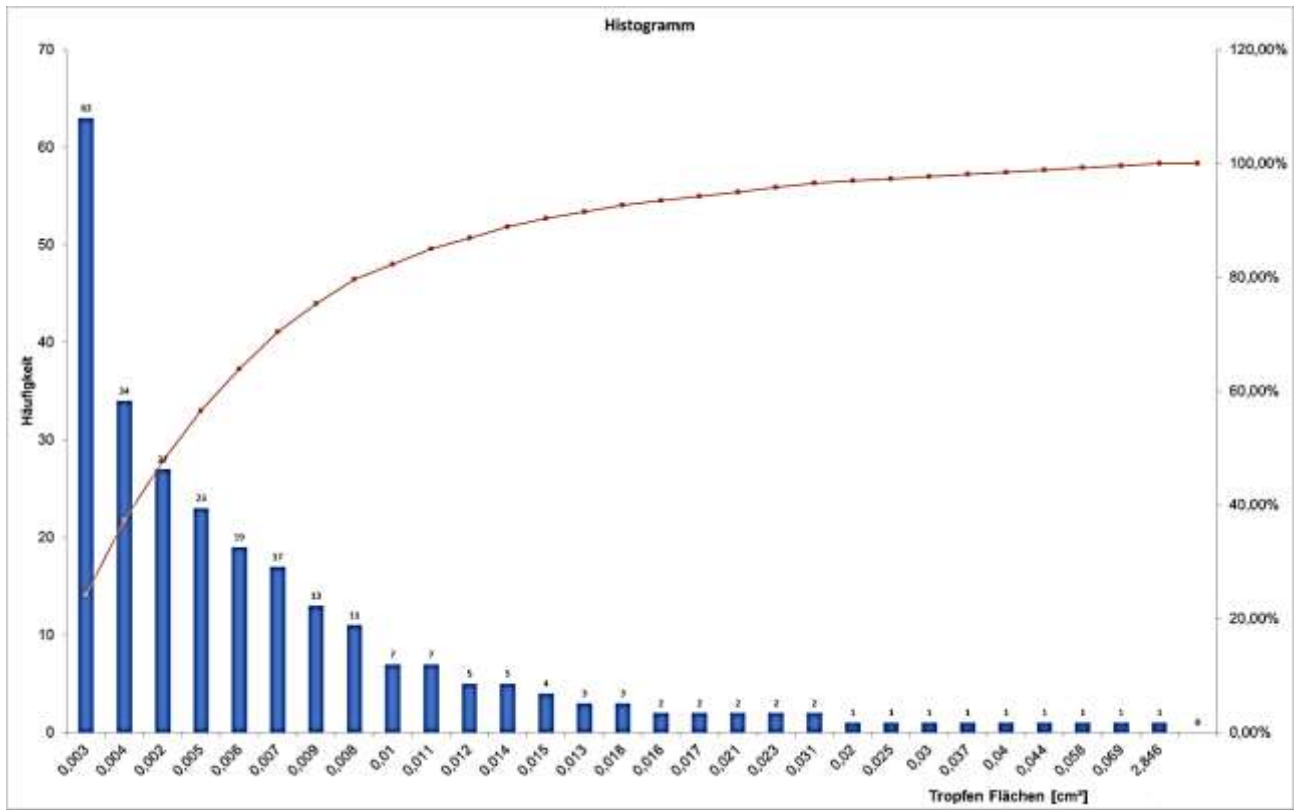


Abbildung 43 Die Verteilung der Flächen der Tropfen D-1 (Spritzhöhe 47,2 cm)

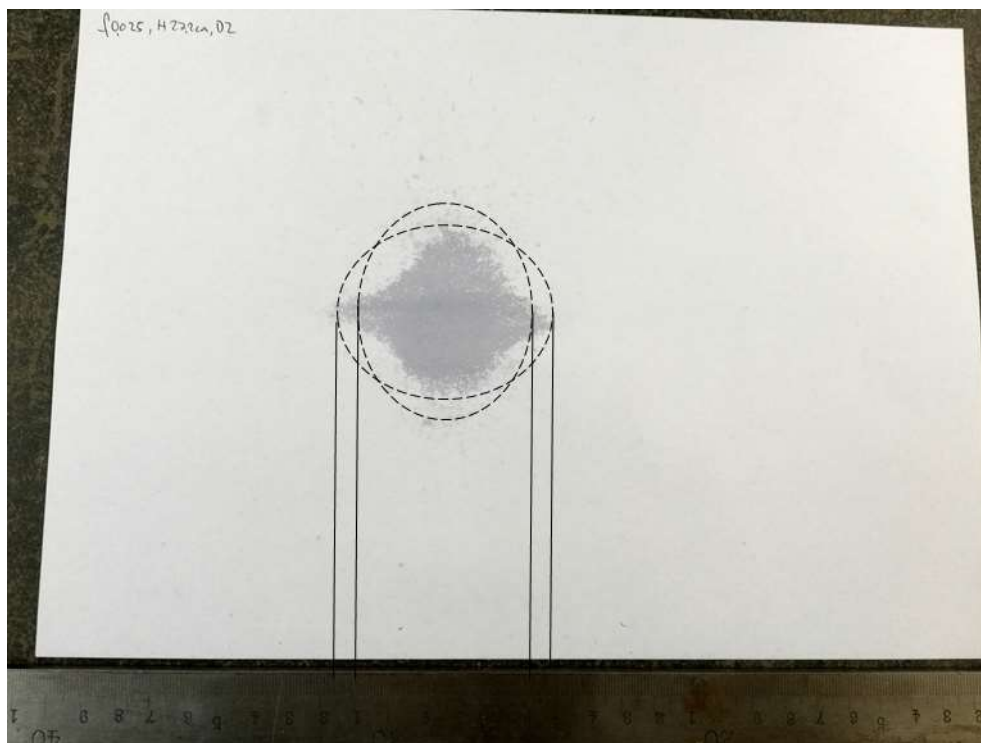


Abbildung 44 Lechler 63236230CA000 Flachstrahl Düse-2 (Spritzhöhe 27,2 cm)

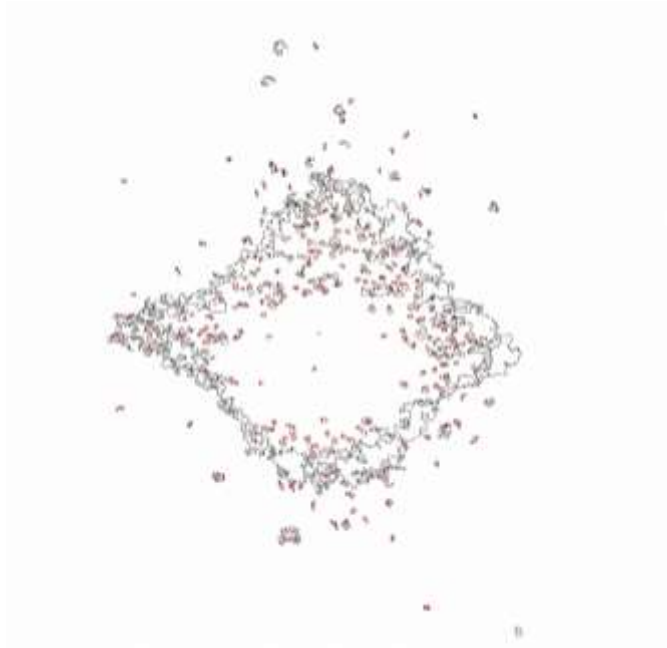


Abbildung 45 Von ImajJ bearbeitetes Bild D-2 (Spritzhöhe 27,2 cm)

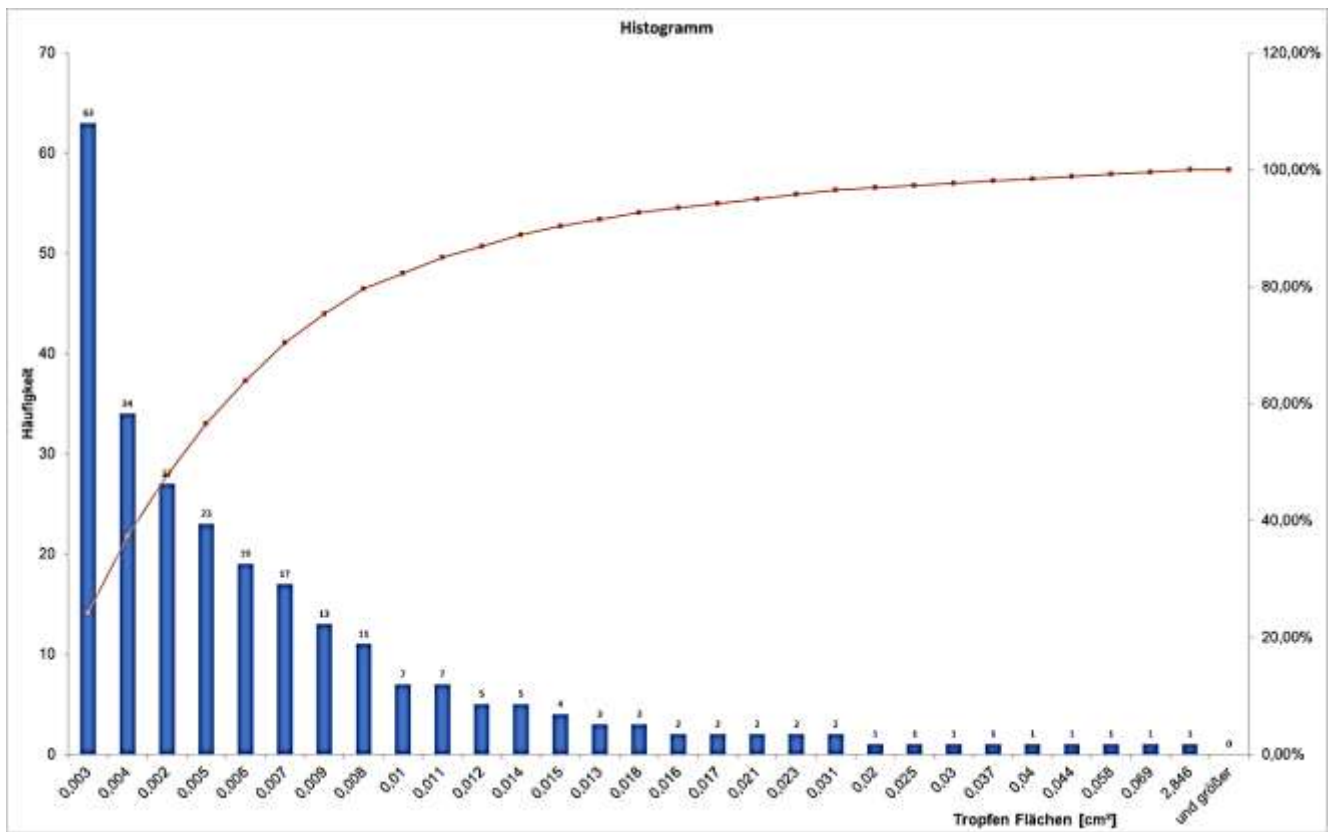


Abbildung 46 Die Verteilung der Flächen der Tropfen



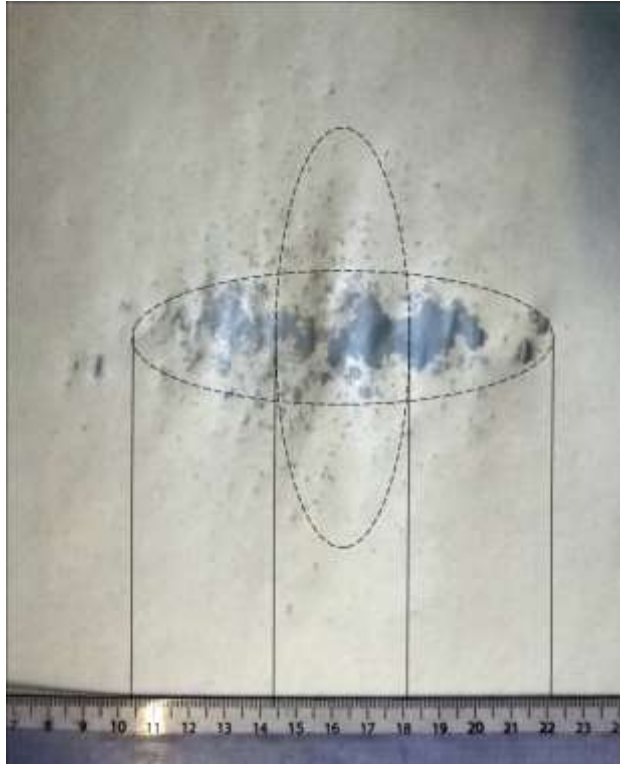


Abbildung 47 Lechler 63236230CA000 Flachstrahl Düse-2 (Spritzhöhe 47,2 cm)

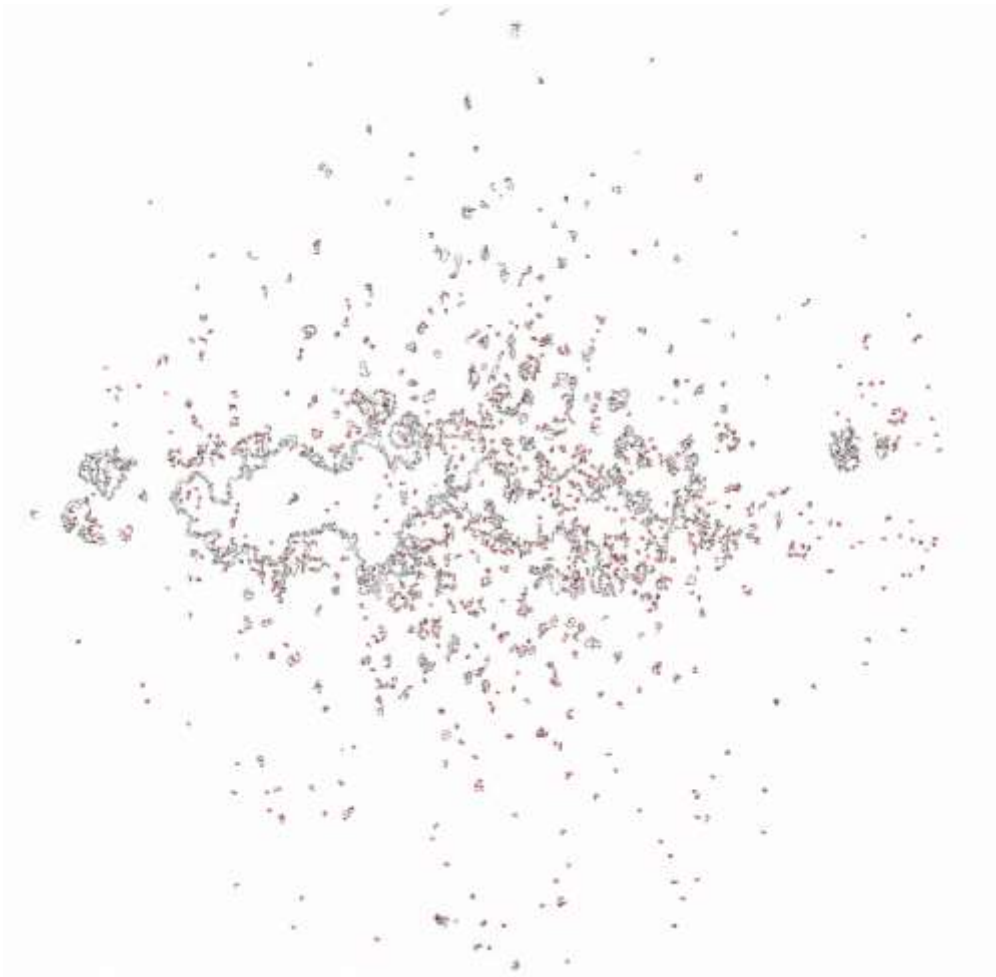


Abbildung 48 Von ImagJ bearbeitetes Bild D-2 (Spritzhöhe 47,2 cm)

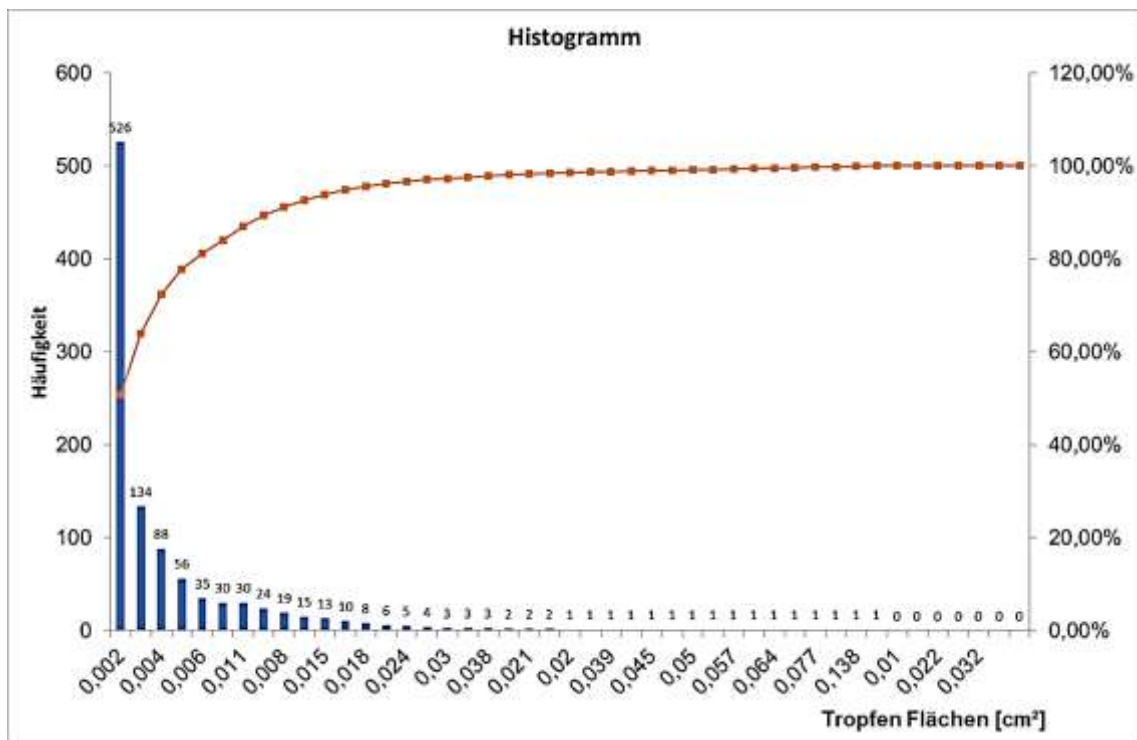
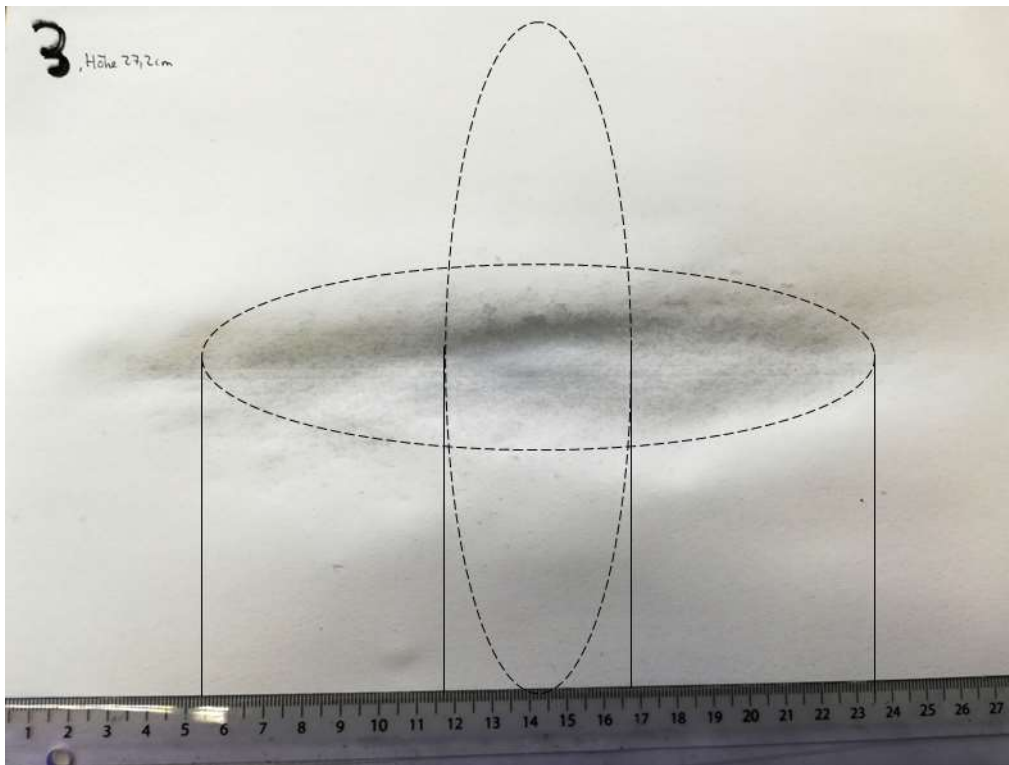


Abbildung 49 Die Verteilung der Flächen der Tropfen D-2 (Spritzhöhe 47,2 cm)



**Abbildung 50 Lechler 63230330CA000 Flachstrahl Düse-3 (Spritzhöhe 27,2 cm)**



**Abbildung 51 Von ImagJ bearbeitetes Bild D-3 (Spritzhöhe 27,2 cm)**

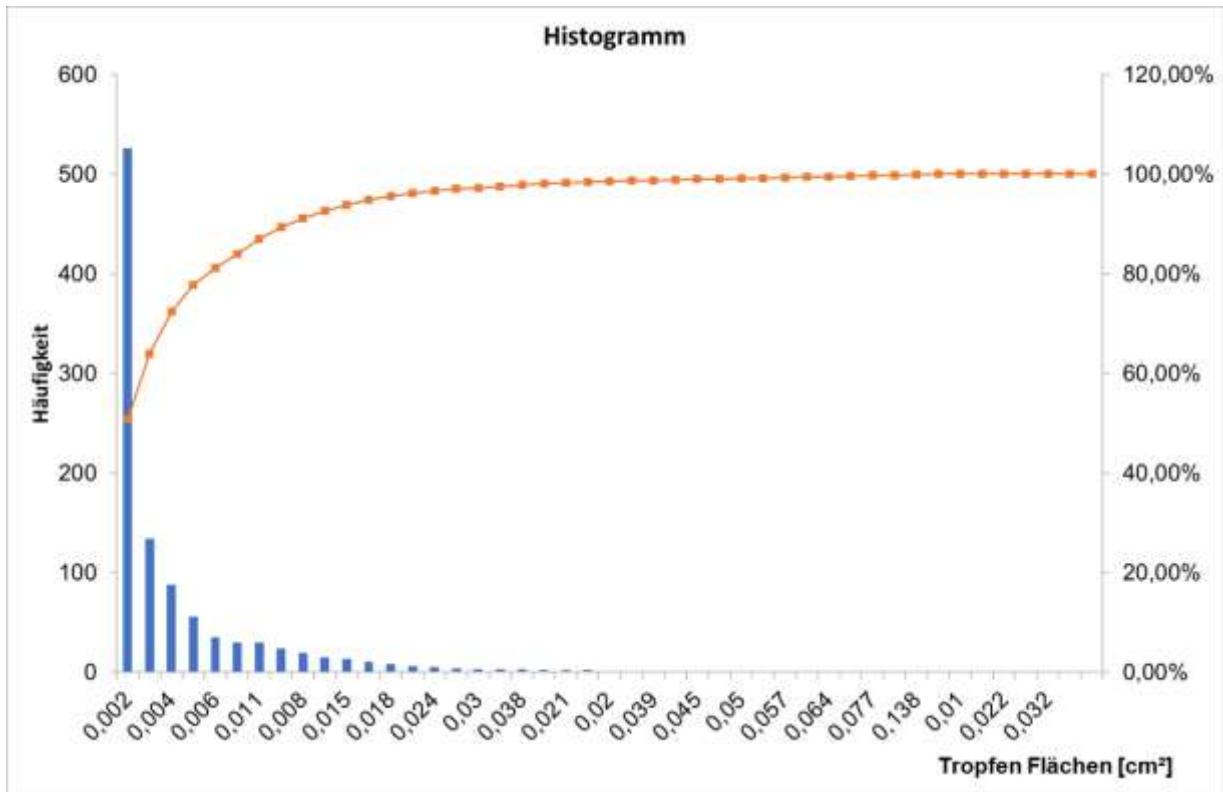


Abbildung 52 Die Verteilung der Flächen der Tropfen D-3 (Spritzhöhe 27,2 cm)

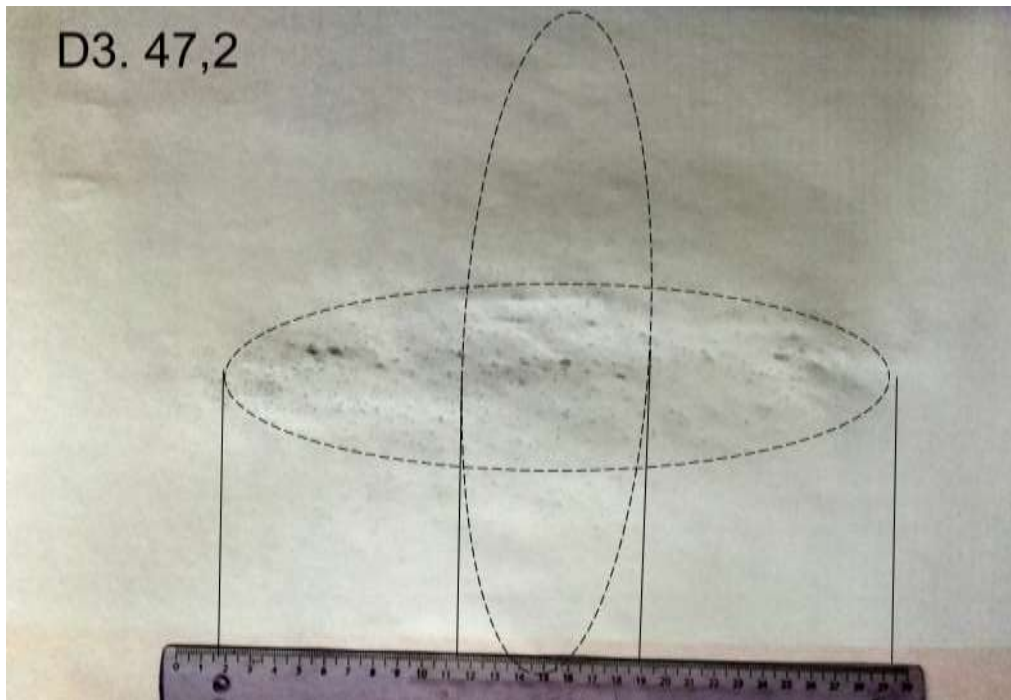


Abbildung 53 Lechler 63230330CA000 Flachstrahl Düse-3 (Spritzhöhe 47,2 cm)



Abbildung 54 Von ImagJ bearbeitetes Bild D-3 (Spritzhöhe 47,2 cm)

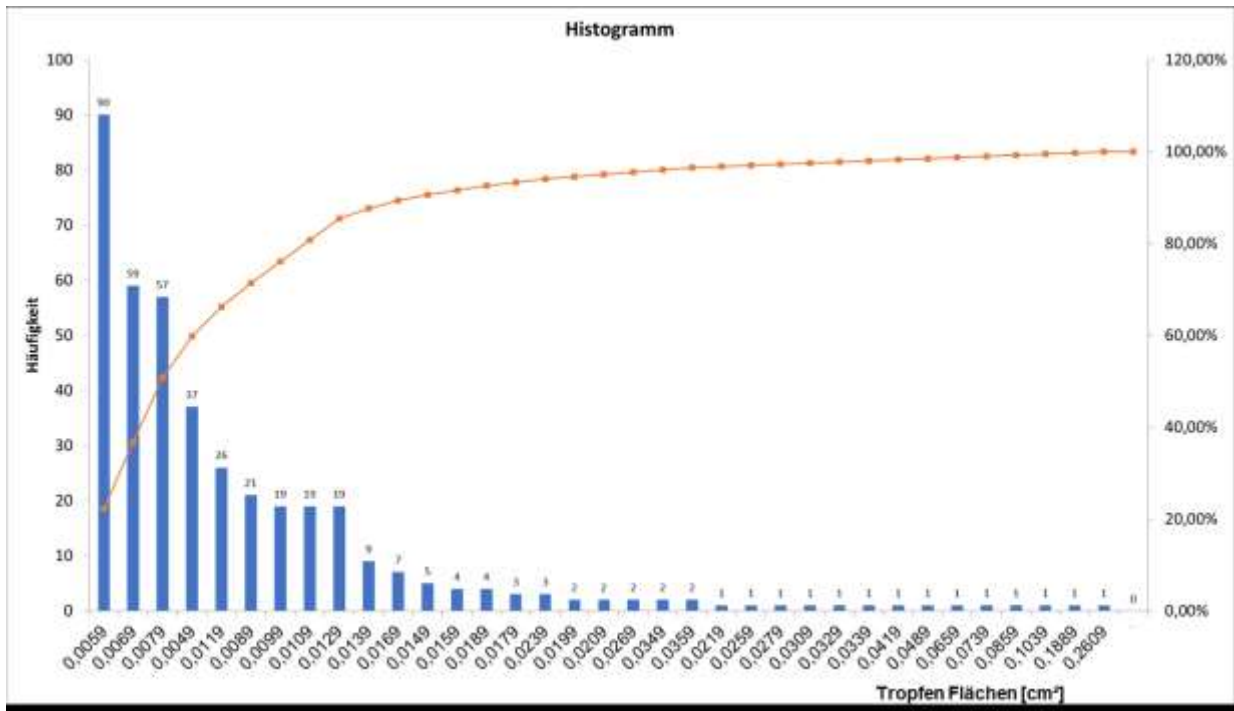


Abbildung 55 Die Verteilung der Flächen der Tropfen D-3 (Spritzhöhe 47,2 cm)

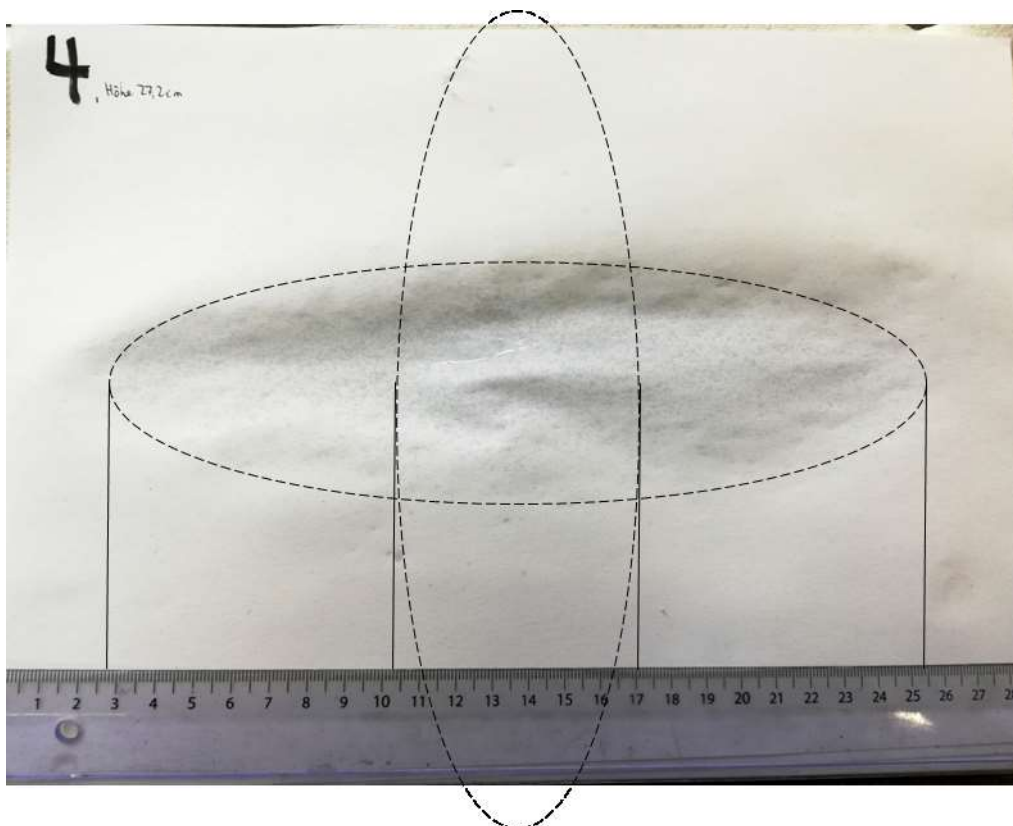


Abbildung 56 Lechler 63236330CA000 Flachstrahl Düse-4 (Spritzhöhe 27,2 cm)

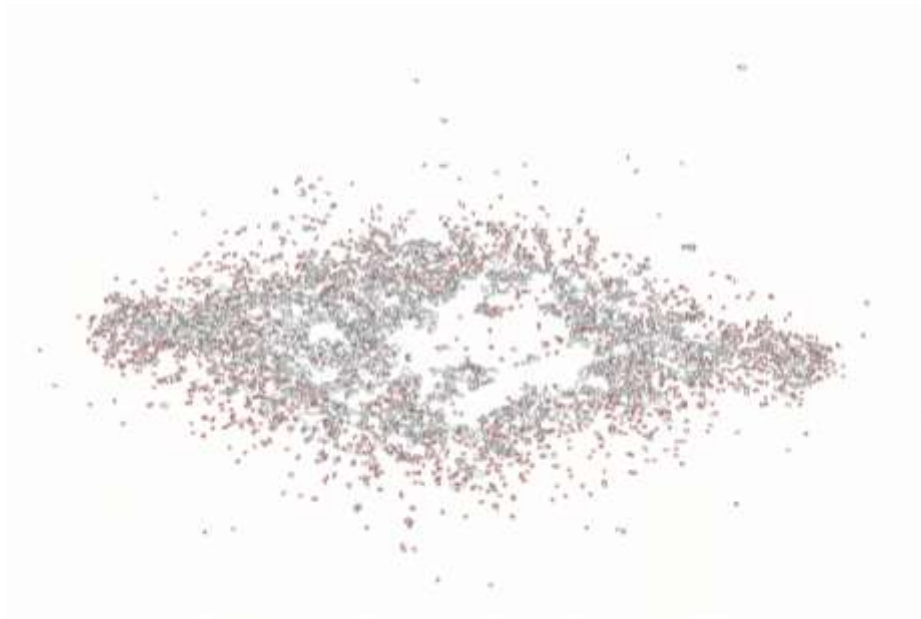


Abbildung 57 Von ImagJ bearbeitetes Bild D-4 (Spritzhöhe 27,2 cm)

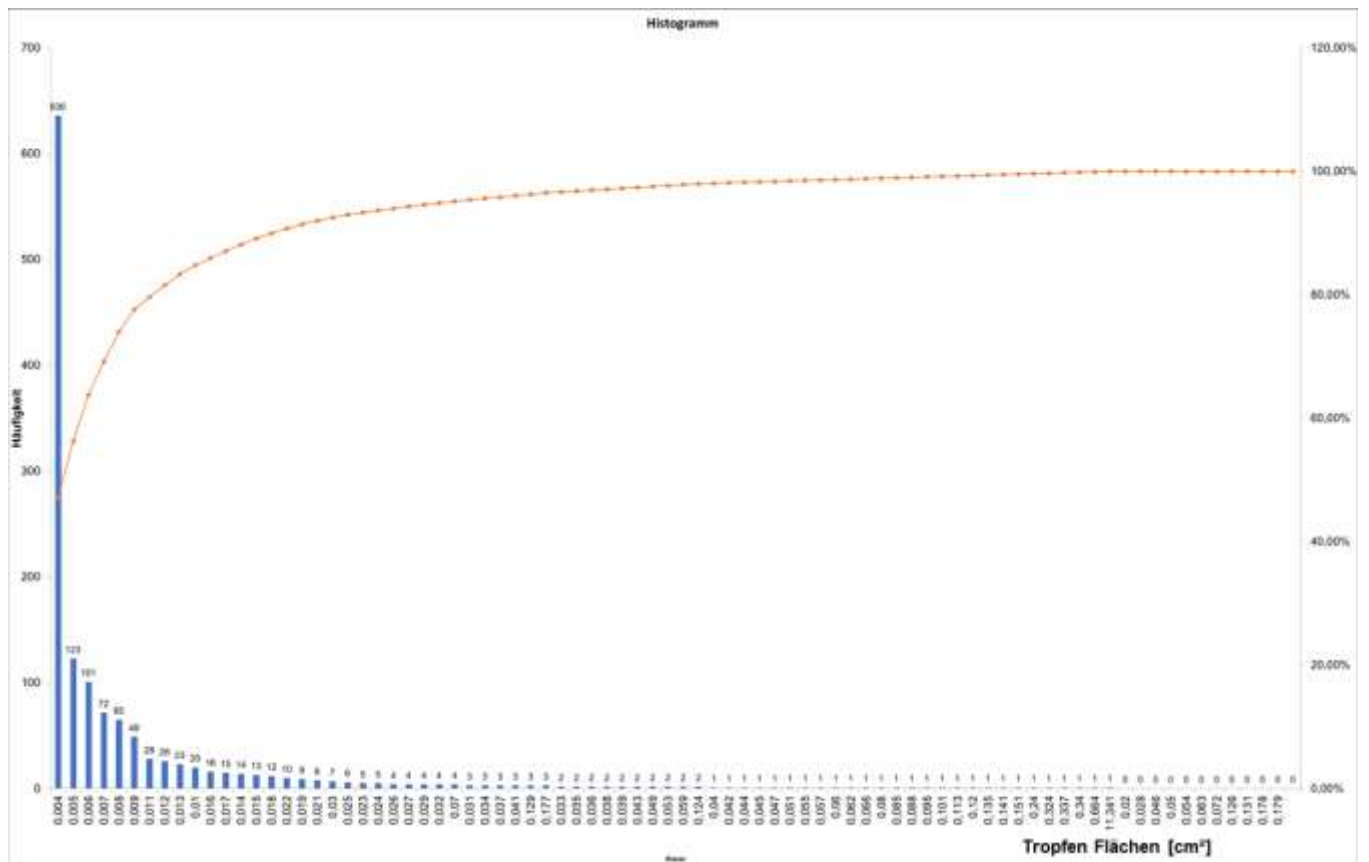


Abbildung 58 Die Verteilung der Flächen der Tropfen D-4 (Spritzhöhe 27,2 cm)

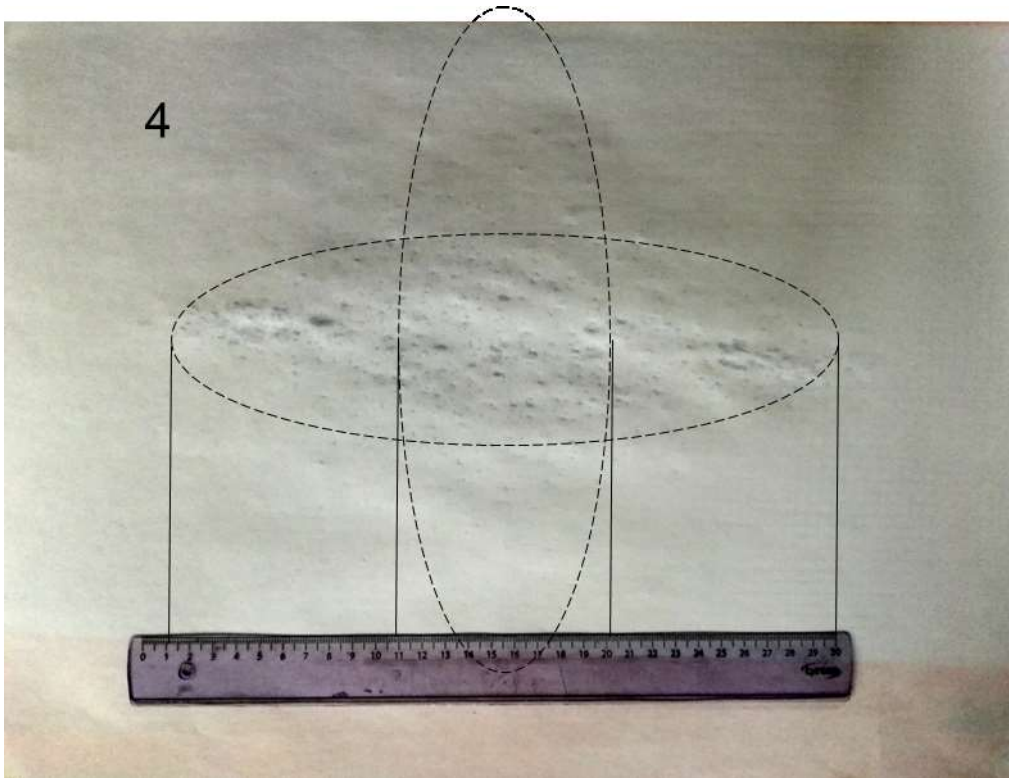


Abbildung 59 Lechler 63236330CA000 Flachstrahl Düse-4 (Spritzhöhe 47,2 cm)

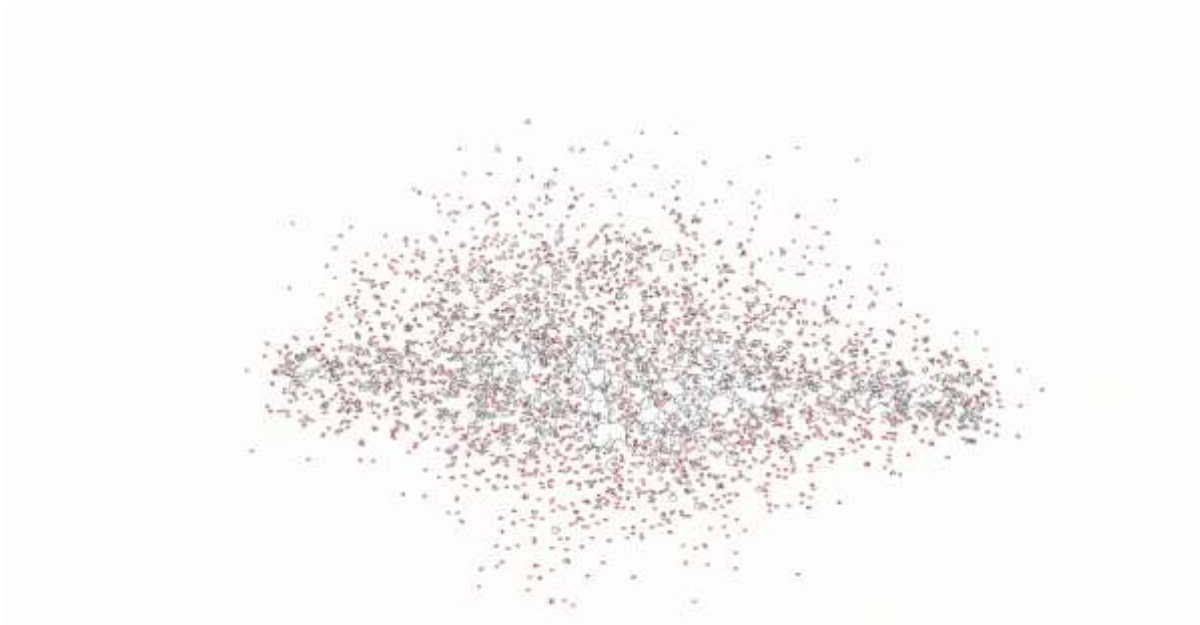


Abbildung 60 Von ImagJ bearbeitetes Bild D-4 (Spritzhöhe 47,2 cm)



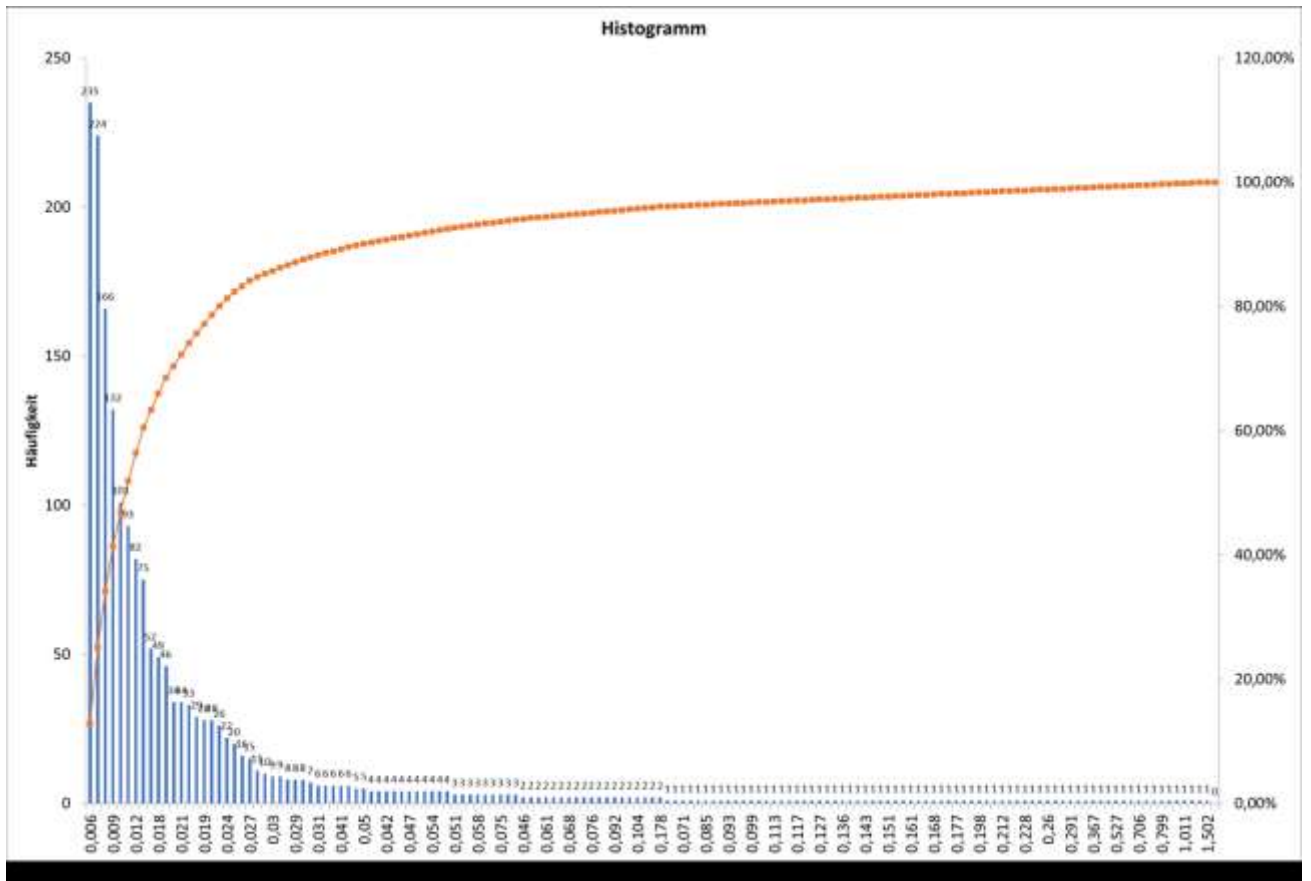


Abbildung 61 Die Verteilung der Flächen der Tropfen D-4 (Spritzhöhe 47,2 cm)

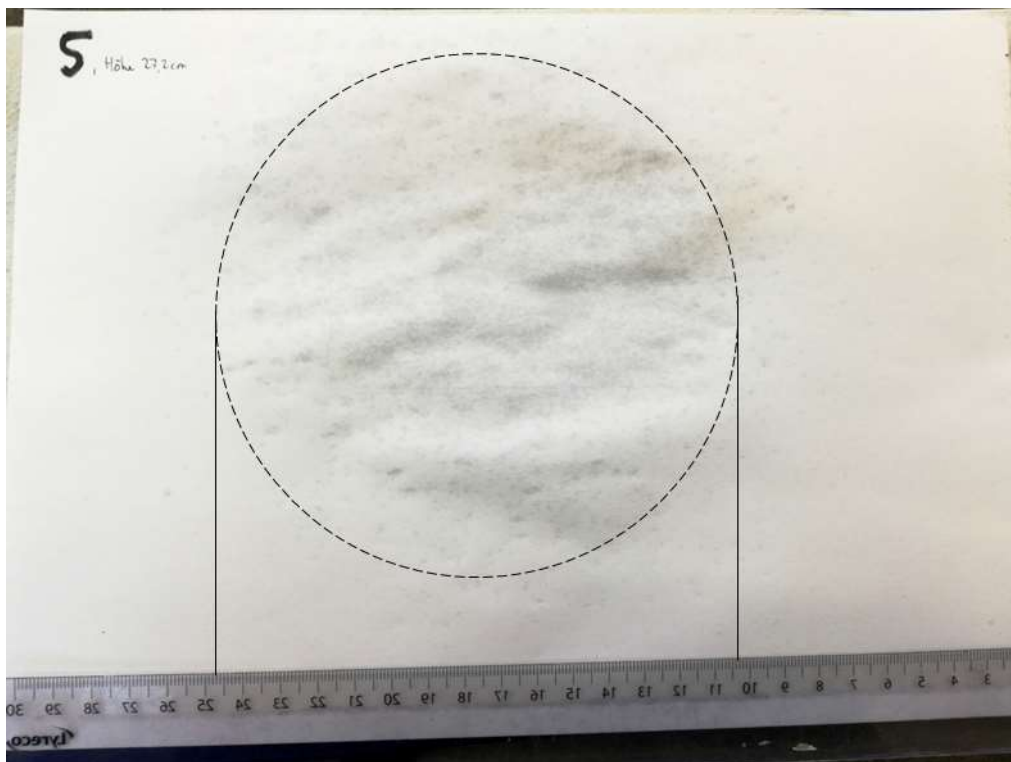


Abbildung 62 Lechler 49040330CA000 Vollkegel Düse-5 (Spritzhöhe 27,2 cm)

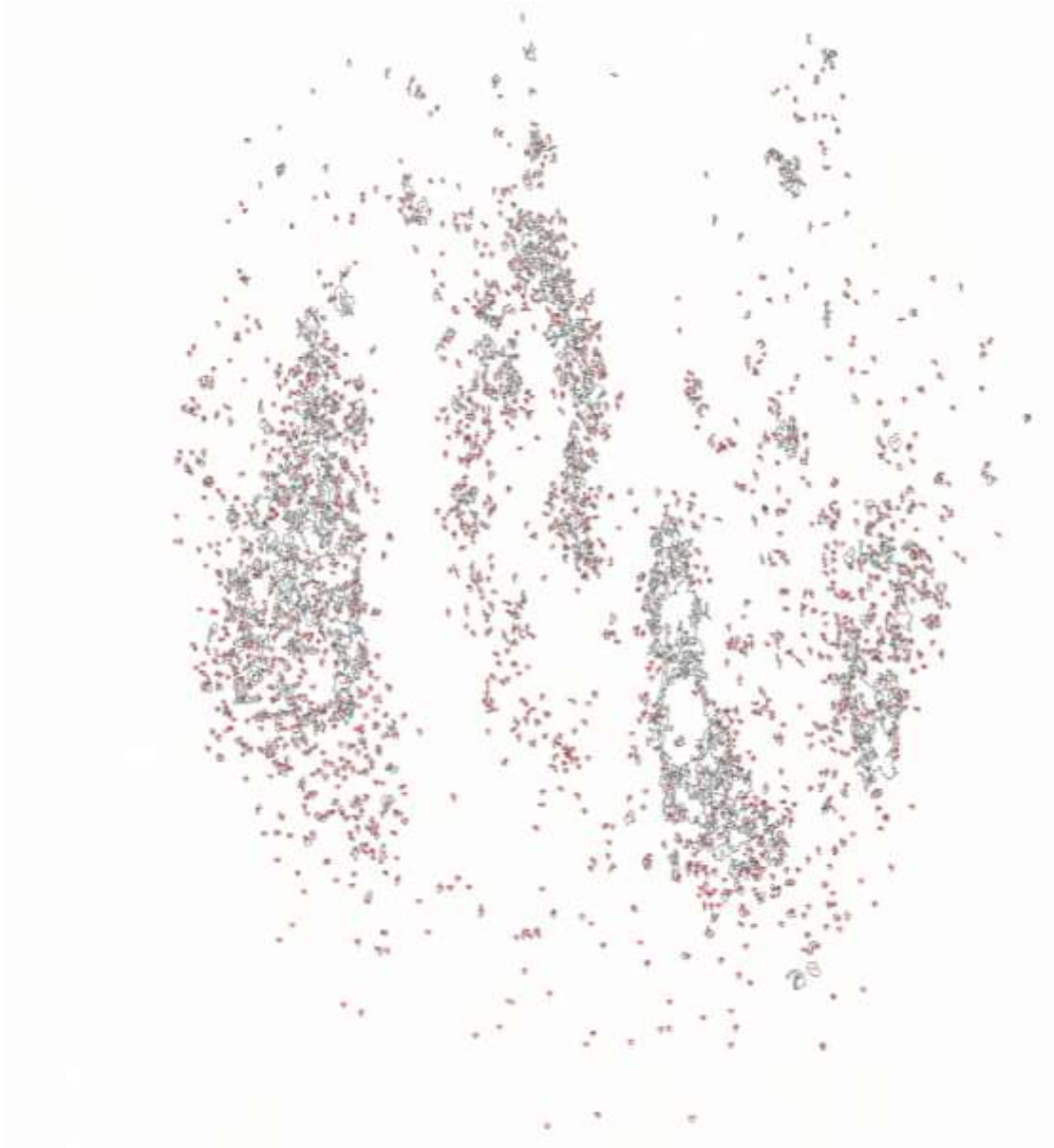


Abbildung 63 Von ImajJ bearbeitetes Bild D-5 (Spritzhöhe 27,2 cm)

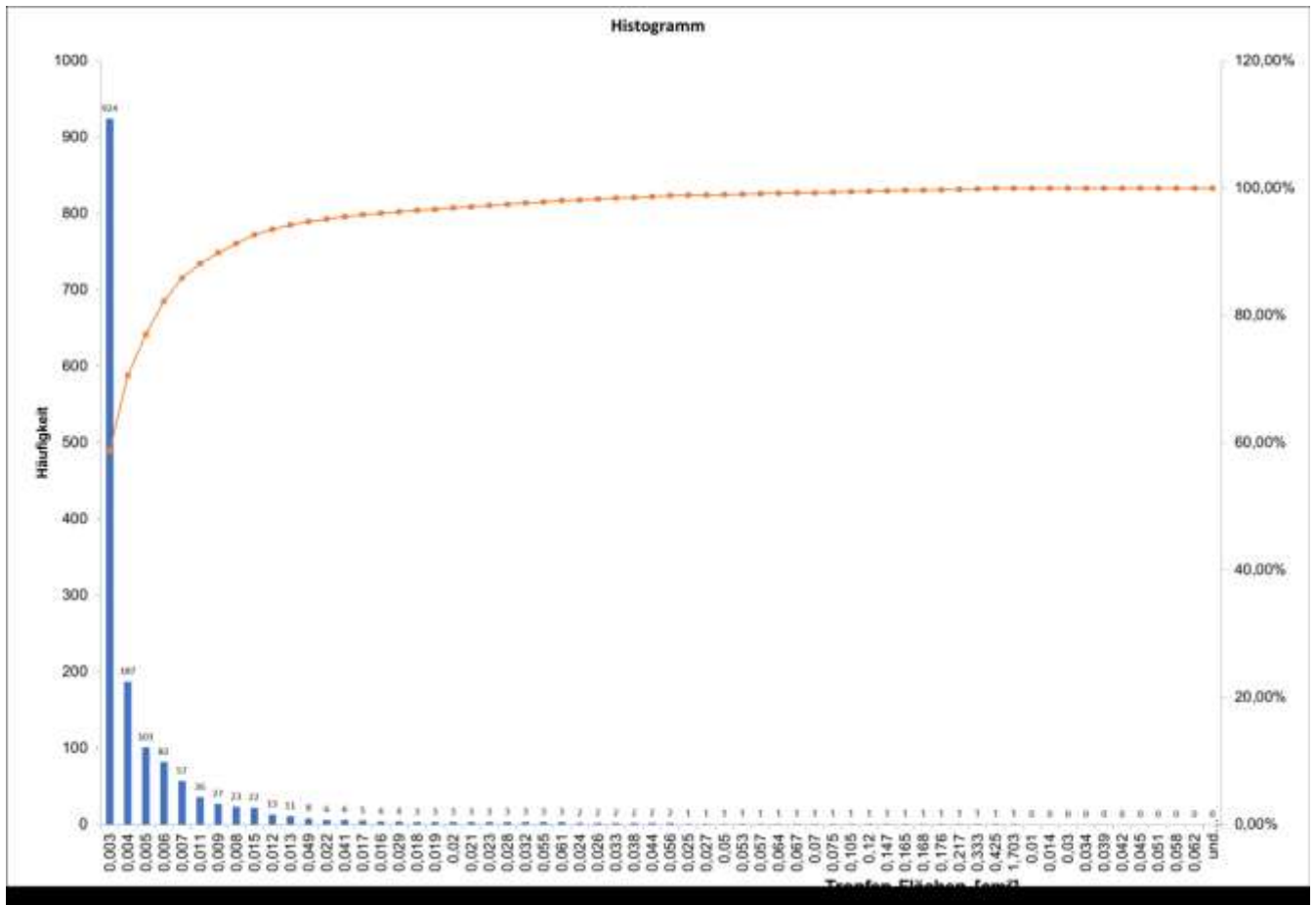
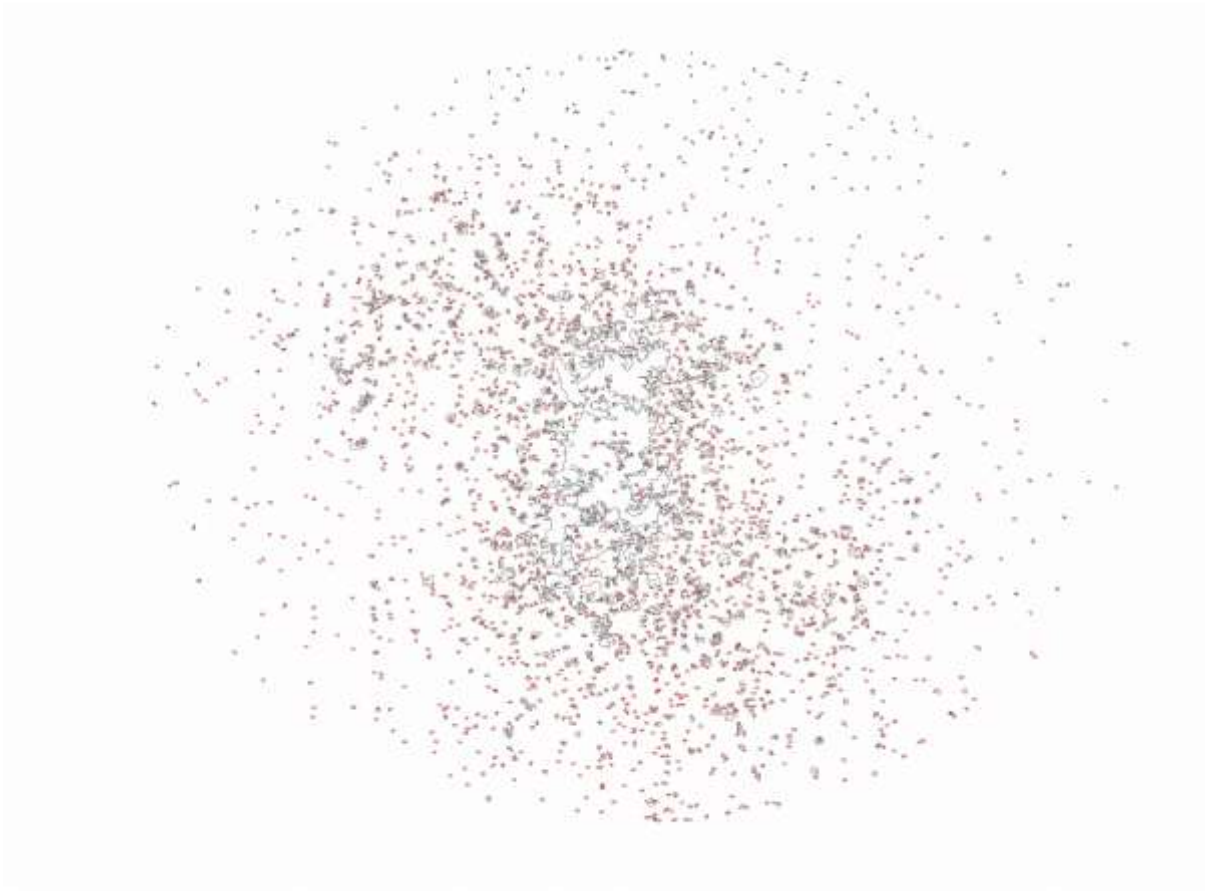


Abbildung 64 Die Verteilung der Flächen der Tropfen D-5 (Spritzhöhe 27,2 cm)



**Abbildung 65 Lechler 49040330CA000 Vollkegel Düse-5 (Spritzhöhe 47,2 cm)**



**Abbildung 66 Von ImagJ bearbeitetes Bild D-5 (Spritzhöhe 47,2 cm)**

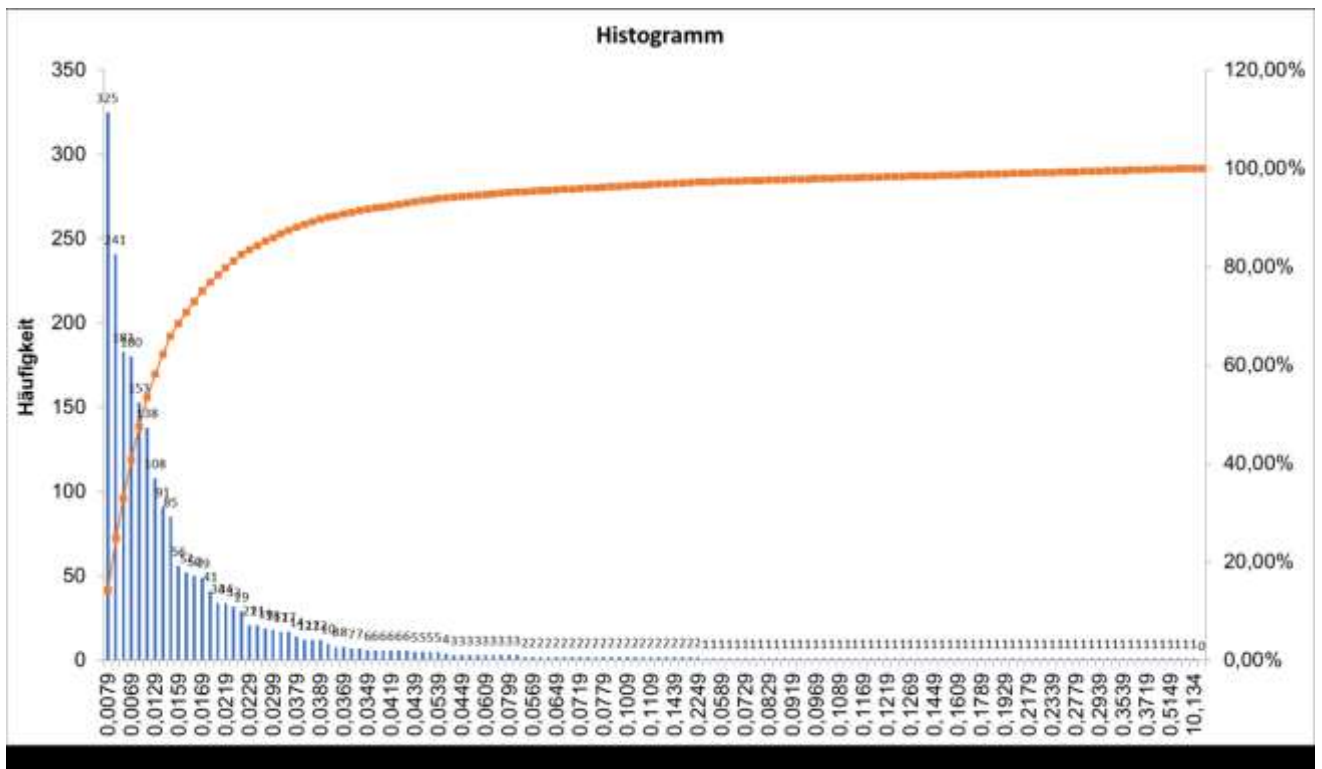


Abbildung 67 Die Verteilung der Flächen der Tropfen D-5 (Spritzhöhe 47,2 cm)

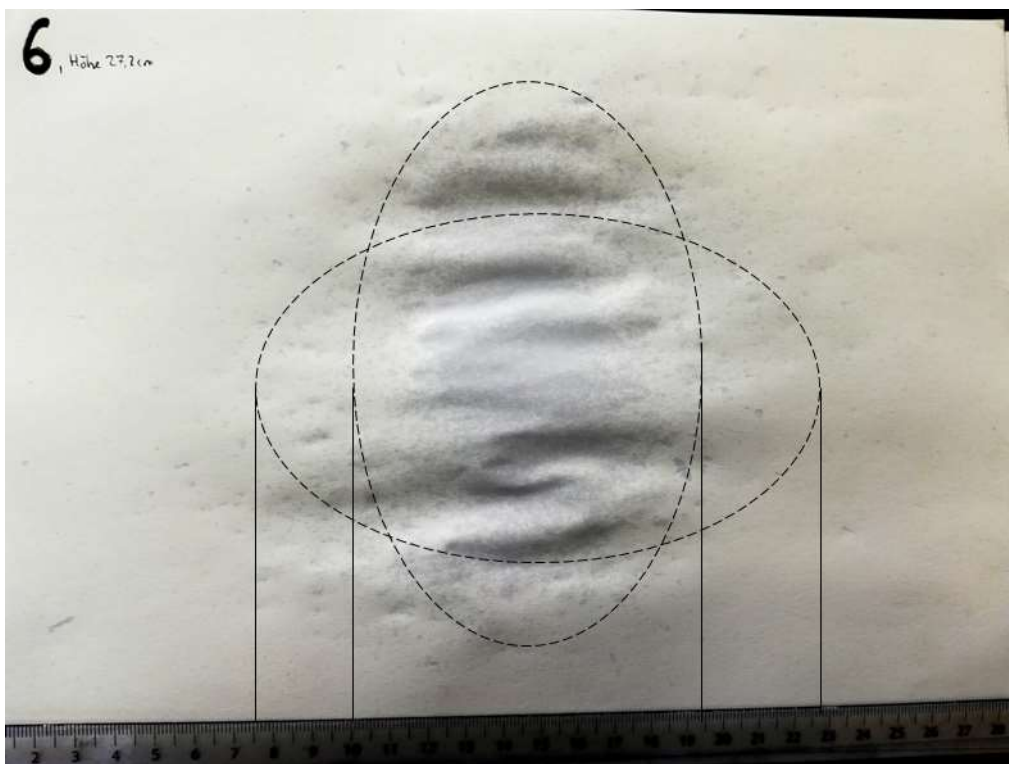
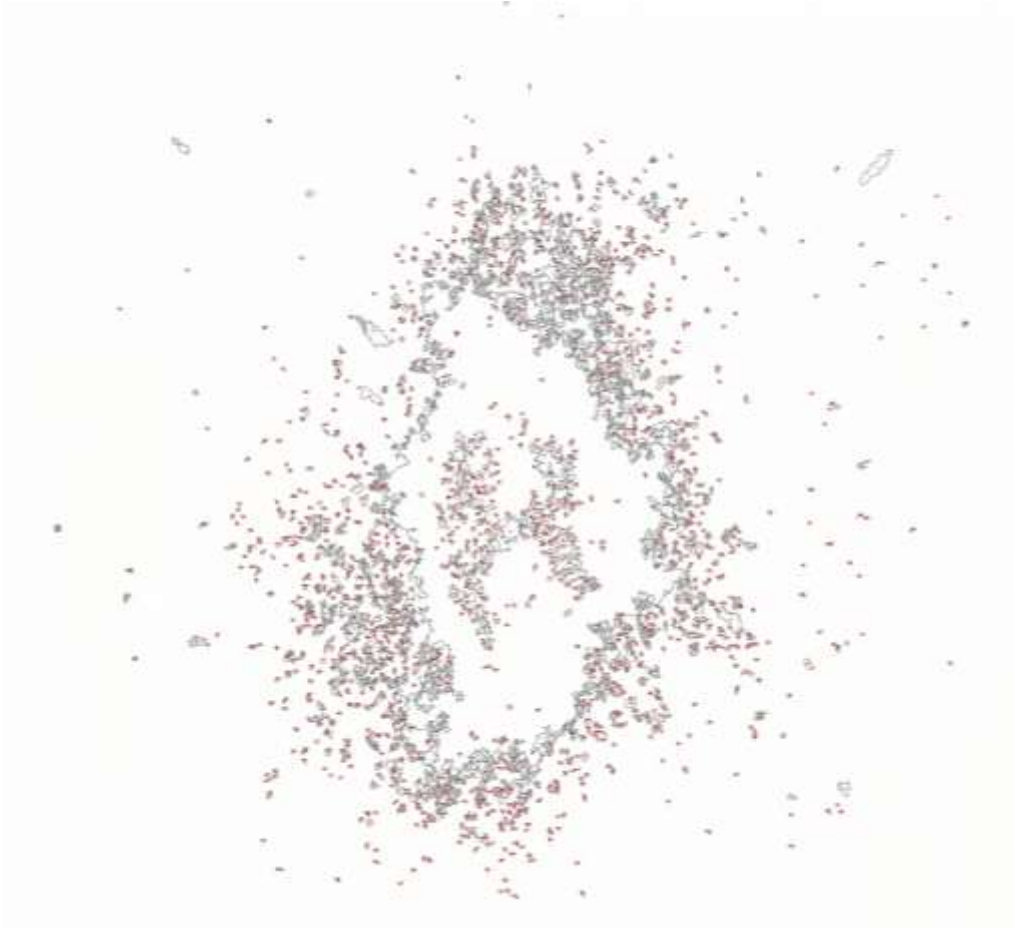


Abbildung 68 Lechler 49044430CA000 Vollkegel Düse-6 (Spritzhöhe 27,2 cm)



**Abbildung 69 Von ImagJ bearbeitetes Bild D-6 (Spritzhöhe 27,2 cm)**

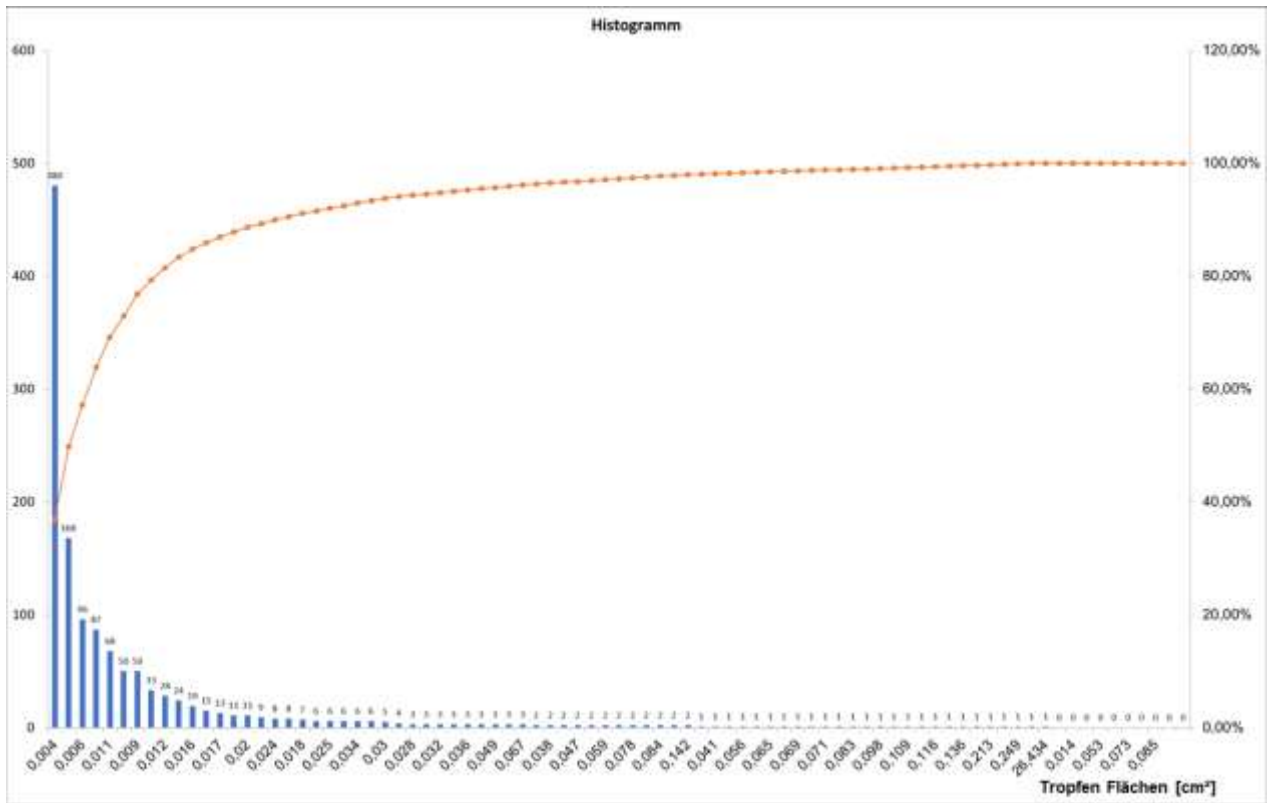


Abbildung 70 Die Verteilung der Flächen der Tropfen D-6 (Spritzhöhe 27,2 cm)



Abbildung 71 Lechler 49040330CA000 Vollkegel Düse-6 (Spritzhöhe 47,2 cm)

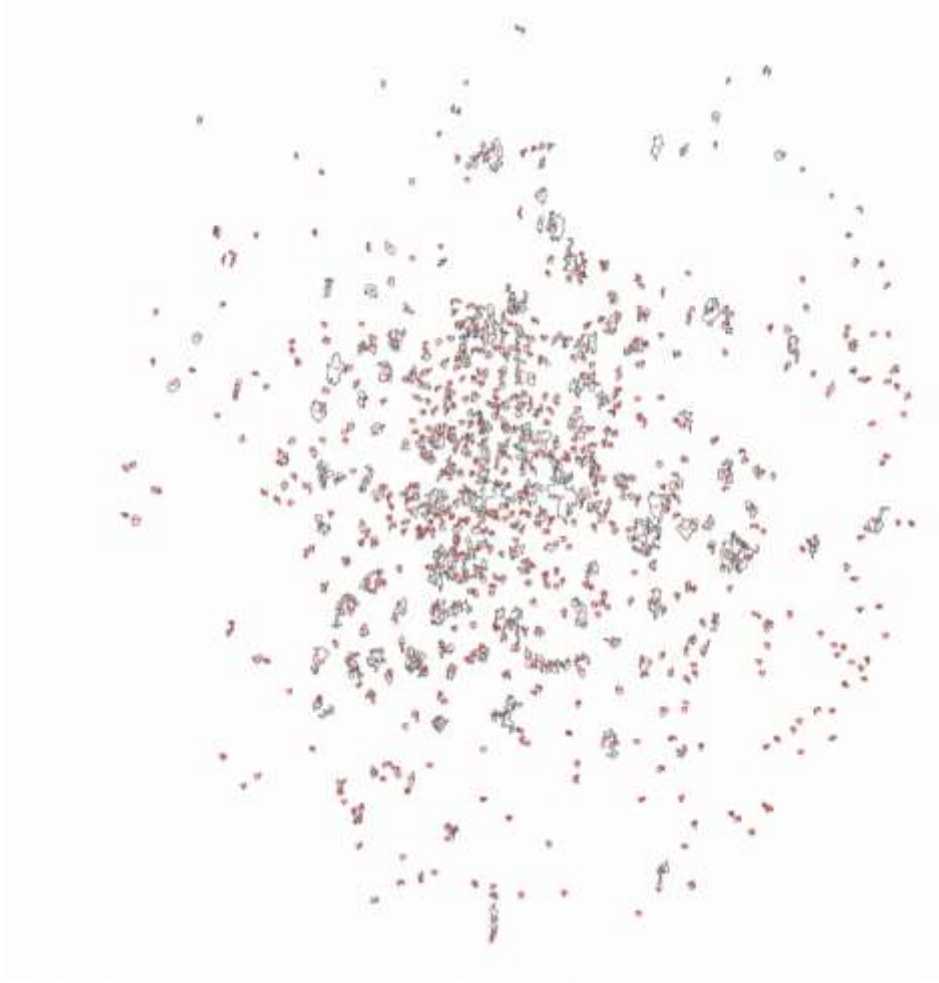


Abbildung 72 Von ImagJ bearbeitetes Bild D-6 (Spritzhöhe 47,2 cm)

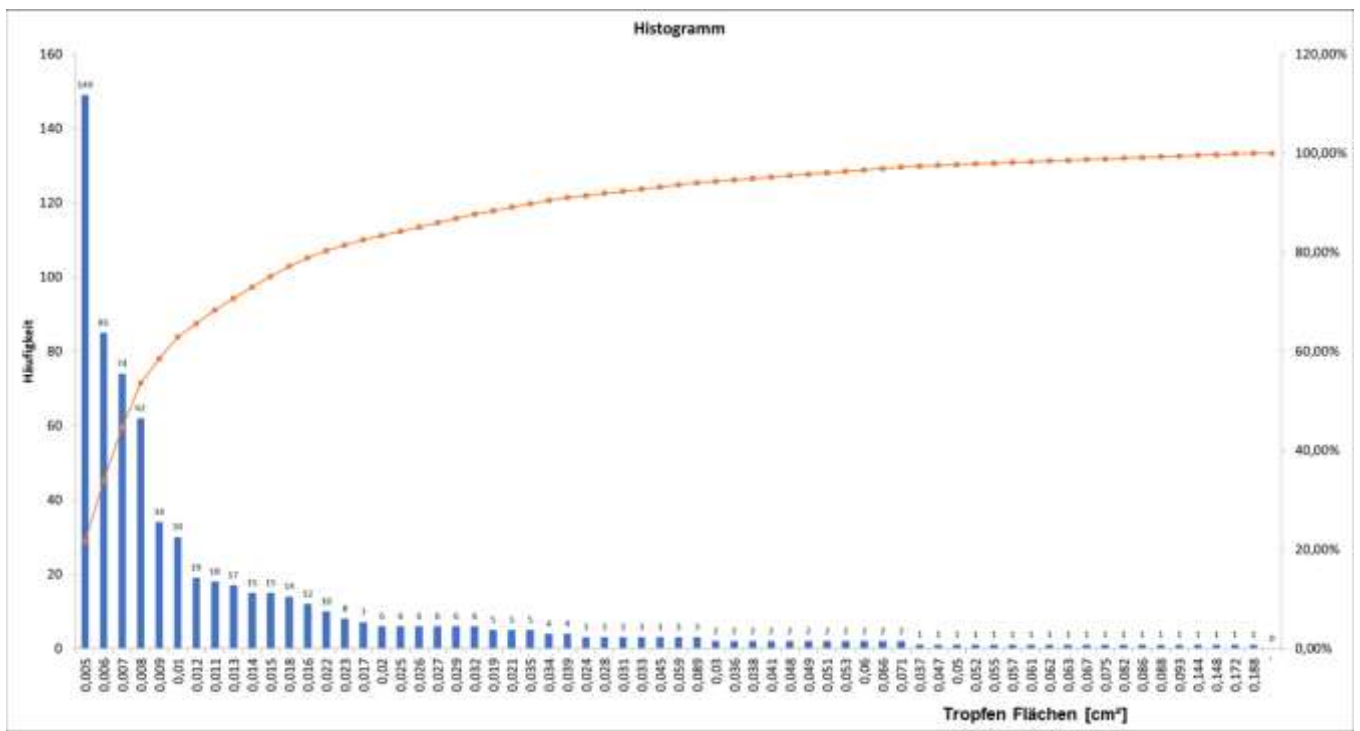


Abbildung 73 Die Verteilung der Flächen der Tropfen D-6 (Spritzhöhe 47,2 cm)

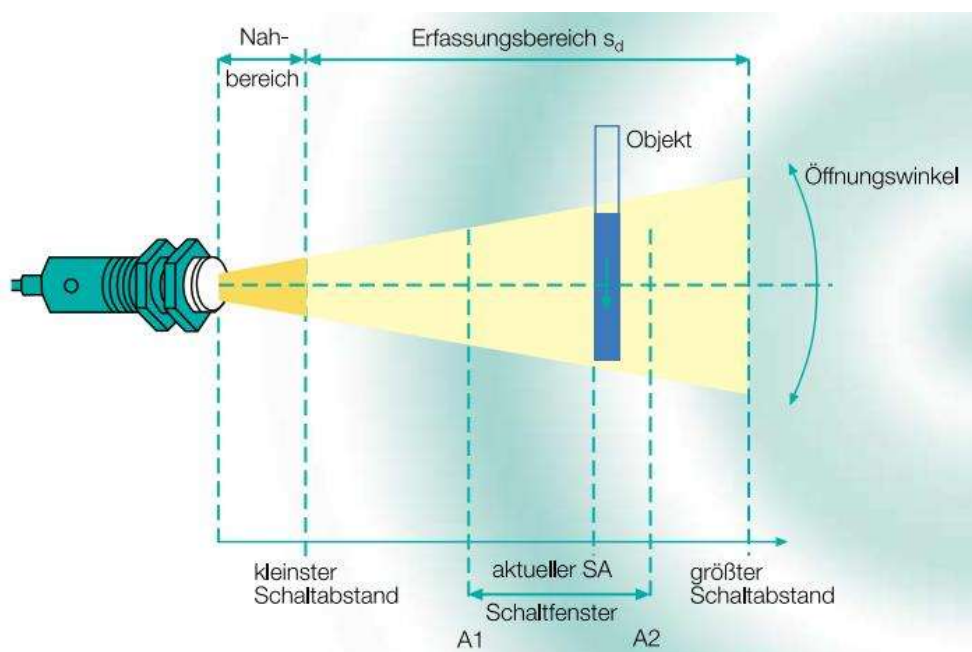


### k. 3.3 Analysieren und Zusammenfassung

Die Versuche zeigen, dass die Düsen der Firma Lechler über eine gute Zerstäubungseigenschaft und eine gute Verteilung der applizierten Flüssigkeit verfügen. Aus diesem Grund sind die Düsen der Firma Lechler gut geeignet für die Aufgabe der Applikation der Flüssigkeit.

### k. 4 Aufbau des feldtauglichen Versuchstands

Mit dem Zweck das System ihre Eigenschaften in der Kombination mit einer möglichen Sensorik zu testen, wurde ein im Institut für Landtechnik vorhandener Ultraschallsensor „VariKont“ von Pepperel+ Fuchs GmbH im Versuchstand eingebaut. Der vorher geplante Einsatz des Spektrometers ist wegen der zu langen Erkundungszeit des ersten Gerätes und der verspäteten Korrektur der Pinbelegung des Steckers des zweiten Gerätes in späterer Zeit verschoben. Bei diesem Abstand erfolgte im Versuch erneut ein Anstieg in der Detektionsrate. Pflanzentypen wurden alle in zwei Fahrten detektiert und gespritzt.



**Abbildung 74 Funktionsschema des Ultraschallsensor**

Der Versuch (s. S. Abbildung 74) zeigt, dass elf der zwölf Pflanzen detektiert und gespritzt wurde. So beträgt die Detektionsrate mit diesem Pflanzenabstand 97,2%. Der Versuch weist darauf eine gute Funktionalität bei der Kombination zwischen dem Spritzsystem und der Sensorik an.



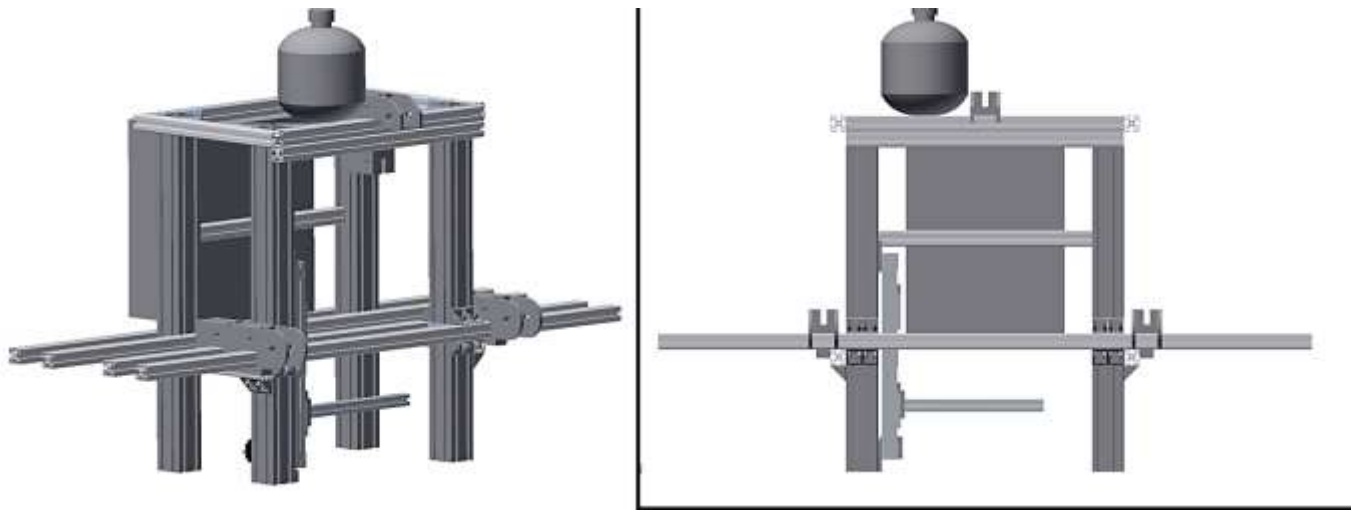
**Abbildung 75 Versuch mit dem Ultraschallsensor**

Ein feldtauglicher Prüfstand wurde für die späteren Feldversuche konstruiert. Der Prüfstand verfügt über ein drei Punkte System, ist damit in der Lage an einem Traktor gehängt werden zu können. Im Mittel des Testprüfstands ist der Einbau einer von Zapfwelle angetriebene Pumpe (Abbildung 76 der Firma ANNOVI REVERBERI) geplant. Die genauen technischen Daten befinden sich auf der Webseite <https://www.annovireverberi.it/en/agriculture/medium-pressure/medium-pressure-anodized-pumps/ar-202-sp-vri-cod-153>.



**Abbildung 76 Pumpe**

Die Abbildung 77 stellt das 3D-Modell des Prüfstands vor. Mit den nach den beiden Seiten ausgestreckten Alu-Schienen bilden sich die reservierenden Träger für die späteren Bedarfe der Einbauten der Tank und Pumpe.



**Abbildung 77 CAD 3D-Modell des Prüfstandes**

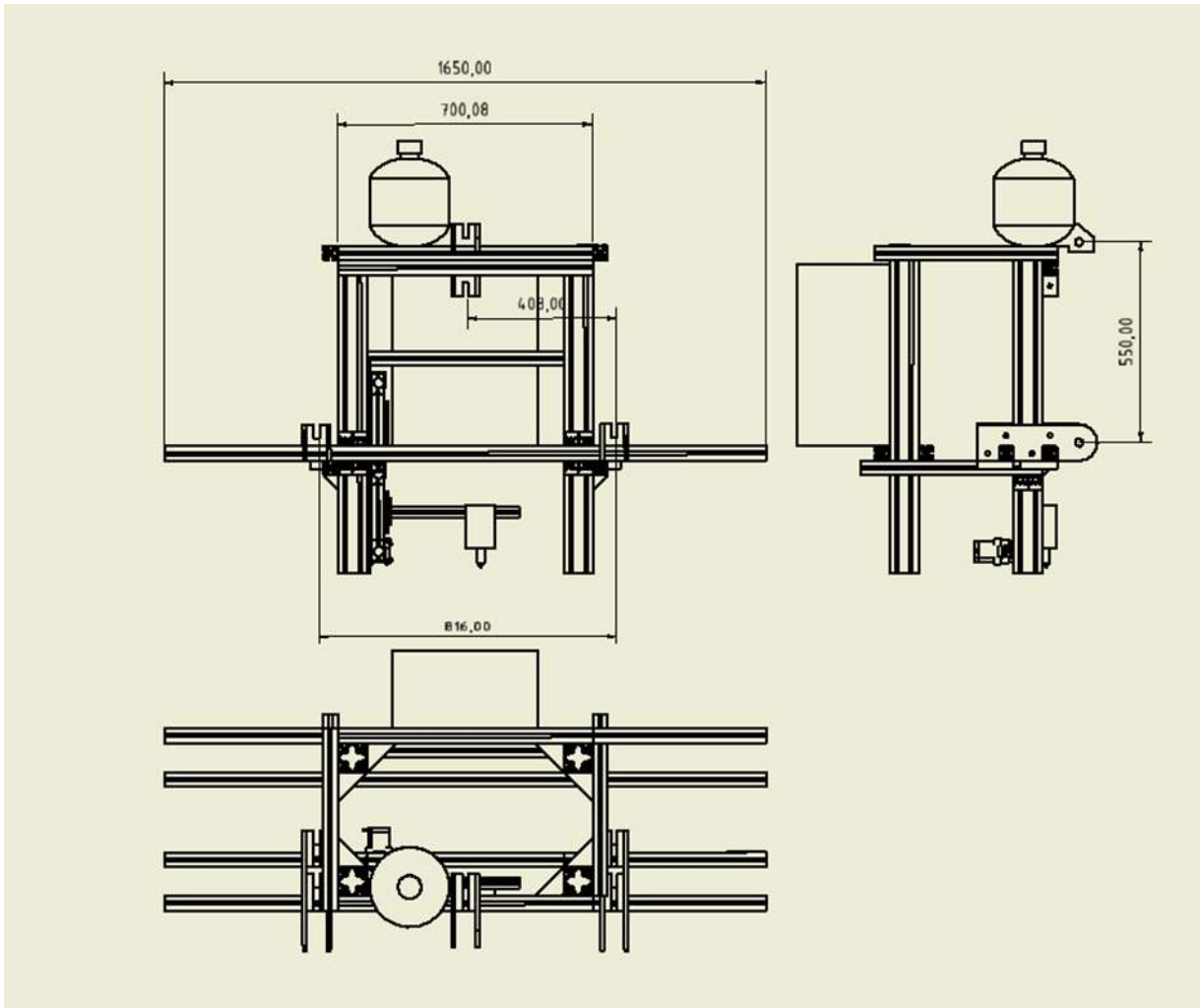


Abbildung 78 CAD Modell des Prüfstandes 2D

In der Abbildung 78 ist die 3 Sichte Zeichnung mit geometrischen Maßstäben des konstruierten feldtauglichen Prüfstands bereits zu besichtigen.

## k. 5 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel des Projektes ist es, eine neue Applikationsmöglichkeit und das entsprechende hydraulische- und mechanische System zu entwickeln und zu überprüfen. Dafür wurde zunächst eine Anforderungsliste, die als die Basis des Aufbaus des morphologischen Kastens dient, für einen Versuchstand erstellt. Mit dem abgeleiteten morphologischen Kasten eröffnet sich einen guten Zugang zur Definition einer optimalen Konstruktionslösung. Nach der Herstellung des auf der Konstruktionslösung basierte CAD Modells schließt sich der Aufbauarbeit des Versuchstands ab. Gleichzeitig eine Anforderungsliste für die Programmierung der Steuerung wurde definiert

Bei der Testphase kann die Ursache des vorkommenden Verschleißproblems des Zugseils festgestellt und das Problem aufgehoben werden.

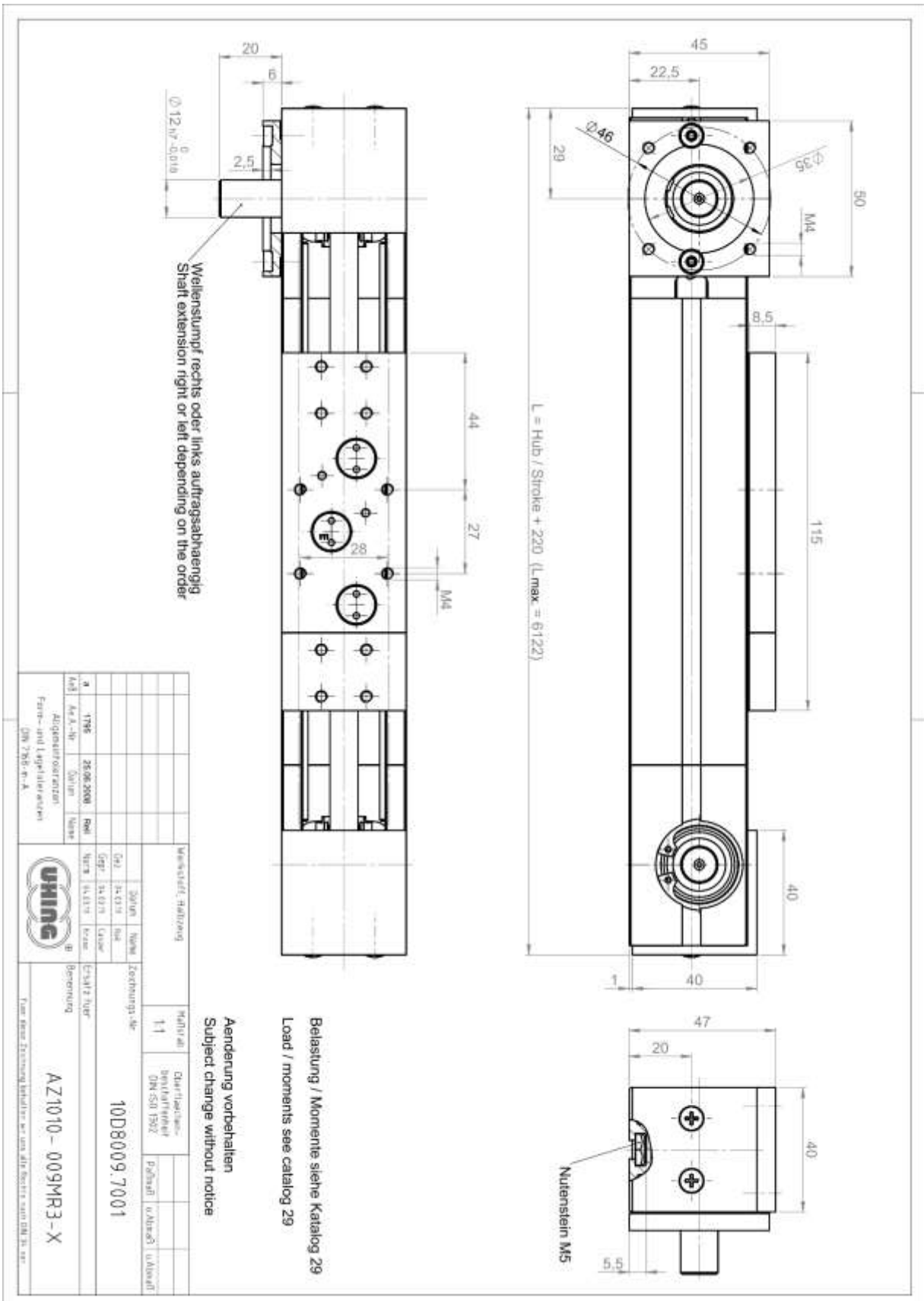
Durch die Tests der Spritzspur von zwei Spritzhöhe (niedrige Höhe 27 cm, große Höhe 47 cm) der verschiedenen Düsen hinsichtlich ihrer Verteilungsfläche werden die Düsen von Firma Lechler als bessere Variante für die Applikationsprozesse festgestellt. Die Analyse wurde unter Verwendung der Softwares Gimp (für Bildbearbeitung) und ImagJ (Bildanalyse) durchgeführt.

In den zukünftigen Arbeitsschritten sollen zunächst das Applikationssystem mit dem integrierten Spektrometer in bezüglich auf den praktischen Anwendungen (mit Pflanzentöpfen) getestet werden. Dafür ist die Korrektur des Protokolls der Pinbelegung des Spektrometers eine dringende unvermeidbare Aufgabe. Der Testvorgang kann ähnlich wie die Tests mit Ultraschallsensor (s. S. k. 4 Aufbau des feldtauglichen Versuchstands), geplant werden.

Parallel ist der Aufbau des feldtauglichen Prüfstandes, welcher bereits schon konstruiert wird (s. S. k. 4 Aufbau des feldtauglichen Versuchstands), vorgesehen.

# Anhang

## Zahnriemengetriebe



Engelfeld  
Berechnungsfeld  
Übernahmefeld

Angebot / Auftrag:  
Kunde: Uni Bonn

11702117

Bemerkung:

Tabelle

Typ	Weg/Umdr. [r]	$d_s$ [mm]	$\mu$	$M_0$ [Nm]	$v_{max}$ [m/s]	$m_s$ [kg]
1010	81	25,78	0,02	0,1	3,5	0,2
1040	200	63,66	0,02	0,7	5	2,3
2000	114	36,3	0,1	0,35	1,5	1,5
2001	144	45,83	0,02	0,35	5	1,5
2004	190	60,48	0,02	0,7	5	2,3
2005	190	60,48	0,02	0,7	5	2,3

**Beschleunigungsrechner**

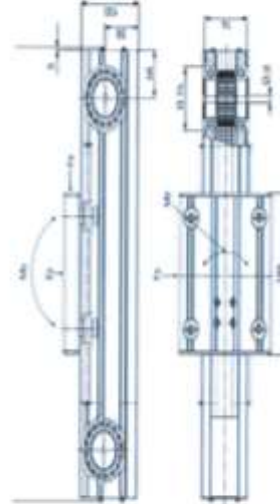
Endgeschwindigkeit	$v$ [m/s]	5
Beschl. Weg	$m$	
Beschl. Zeit	$t$ [sec]	0,1
$a = v/t$ oder $a = v^2/(2*s)$		50

**Antreibdrehzahl**

Geschwindigkeit	$v$ [m/s]	5
Weg/Umdr.	[mm]	81
$n =$	umdr./min	3703,7037

**Antriebsleistung**

$P = M * n / 9,55$	$P$ [Watt]	490,166192
--------------------	------------	------------



Einheit	Wert	Bemerkung
$m_s$ [kg]	1	Eintragen
$a$ [m/sec <sup>2</sup> ]	50	aus Berechnung
$m_s$ [kg]	0,2	aus Tabelle
[ohne] (1,2-2)	3,5	Eintragen
$\mu$	0,02	aus Tabelle

erforderliche Schubkraft  $F$  [N] **90,2943** Ergebnis  $F = (m * a + \mu * m * g) * S$

**Vertikal** erforderliche Schubkraft  $F$  [N] **107,9523** Ergebnis  $F = (m * a + F_{x,m} * g) * S$   
 $m * m_y + m_h$

Zischenergebnisse:  
 $F_x$  [N] 0,1962 N  $F_x * m * g * \mu$

Leerlaufdrehmoment	$M_0$ [Nm]	0,1	aus Tabelle
erforderliche Schubkraft	$F$ [N]	90,2943	wird übernommen
Wirturchmesser R.Sch.	$d_s$ [mm]	25,78	aus Tabelle
Zusatzkraft in $F_x$	[N]		eintragen

Erf. Antriebsdrehmoment  $M_d$  [Nm] **1,26389353**

Erf. Antriebsdrehmoment mit Zusatzkraft  $M_d$  [Nm] **1,26389353**

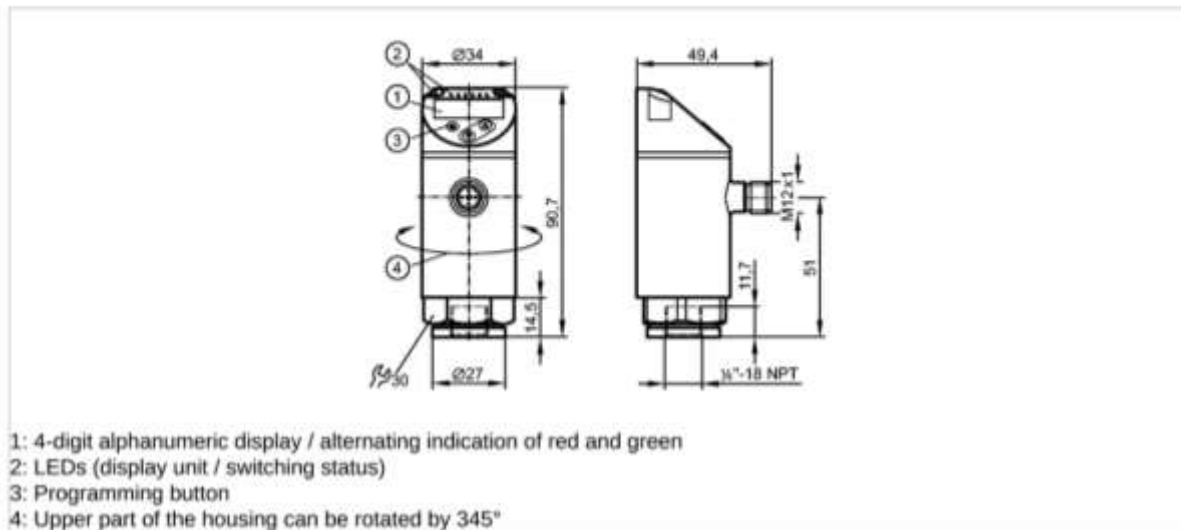
**Vertikal** Erf. Antriebsdrehmoment  $M_d$  [Nm] **1,49150515**

# Drucksensor

## PN2271

PN-250-SEN14-MFRKG/US/ IV

Pressure sensors



- 1: 4-digit alphanumeric display / alternating indication of red and green
- 2: LEDs (display unit / switching status)
- 3: Programming button
- 4: Upper part of the housing can be rotated by 345°



### Product characteristics

Electronic pressure sensor

M12 connector

Function programmable

Measuring element: metal thin film cell

Process connection: 1/8" NPT

2 outputs

OUT1 = switching output

OUT2 = switching output or analog output

4-digit alphanumeric display / alternating indication of red and green

Measuring range: 0...3625 psi / 0...250 bar / 0...25 MPa

### Application

Application

Type of pressure: relative pressure  
Group 2 fluids according to the Pressure Equipment Directive (PED),  
group 1 fluids on request

Pressure rating	7250 psi	500 bar	50 MPa
Bursting pressure min.	17400 psi	1200 bar	120 MPa
Vacuum resistance [mbar]	-1000		
Medium temperature [°C]	-25...80		

### Electrical data

Electrical design	DC PNP/NPN
Operating voltage [V]	18...30 DC (1)
Current consumption [mA]	< 35
Insulation resistance [MΩ]	> 100 (500 V DC)
Protection class	III
Reverse polarity protection	yes

### Outputs

Output	2 outputs OUT1 = switching output OUT2 = switching output or analog output
--------	--



**PN2271**

PN-250-SEN14-MFRKG/US/ IV

**Pressure sensors**

Output function	2 x normally open / closed programmable or 1 x normally open / closed programmable + 1 x analog (4...20 mA / 0...10 V; programmable 1:5)		
Current rating [mA]	250		
Voltage drop [V]	< 2		
Short-circuit protection	yes (non-latching)		
Overload protection	yes		
Switching frequency [Hz]	≤ 500		
Analog output	4...20 mA; 0...10 V		
Max. load [Ω]	4...20 mA: max. 500		
Min. load resistance [Ω]	0...10 V: min. 2000		

**Measuring / setting range**

Measuring range	0...3625 psi	0...250 bar	0...25 MPa
Setting range			
Set point, SP	25...3625 psi	1.5...250 bar	0.15...25 MPa
Reset point, rP	10...3610 psi	0.5...249 bar	0.05...24.9 MPa
Analog start point, ASP	0...2900 psi	0...200 bar	0...20 MPa
Analog end point, AEP	725...3625 psi	50...250 bar	5...25 MPa
in steps of	5 psi	0.5 bar	0.05 MPa

**Accuracy / deviations**

Accuracy / deviations (in % of the span) Turn down 1:1	
Switch point accuracy	< ± 0.4
Characteristics deviation *)	< ± 0.25 (BFSL) / < ± 0.5 (LS)
Hysteresis	< ± 0.1
Repeatability **)	< ± 0.1
Long-term stability ***)	< ± 0.05
Temperature coefficients (TEMPCO) in the temperature range -25...80° C (in % of the span per 10 K)	
Greatest TEMPCO of the zero point	0.2
Greatest TEMPCO of the span	0.2

**Reaction times**

Power-on delay time [s]	0.3
Min. response time switching output [ms]	< 1.5
Delay time programmable dS, dr [s]	0...50
Damping for the switching output (dAP) [s]	0...4
Damping for the analog output (dAA) [s]	0...4
Response time analog output [ms]	< 3
Integrated watchdog	yes

**Software / programming**

Programming options	hysteresis / window function; NO / NC; on delay, off delay; damping; display unit; current/ voltage output
---------------------	--


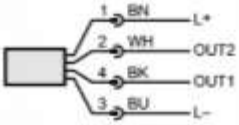
**Interfaces**

IO-Link Device	
Transfer type	COM2
IO-Link revision	1.1

# PN2271

PN-250-SEN14-MFRKG/US/ IV

Pressure sensors

SDCI standard	IEC 61131-9	
IO-Link Device ID	470 d / 00 01 d6 h	
Profiles	Smart Sensor: Process Data Variable; Device Identification, Device Diagnosis	
SIO mode	yes	
Required master port class	A	
Process data analogue	1	
Process data binary	2	
Min. process cycle time [ms]	2.3	
<b>Environment</b>		
Ambient temperature [°C]	-25...80	
Storage temperature [°C]	-40...100	
Protection	IP 65 / IP 67	
<b>Tests / approvals</b>		
Pressure equipment directive	97/23/EG: sound engineering practice	
EMC	DIN EN 61000-6-2 DIN EN 61000-6-3	
Shock resistance	DIN EN 60068-2-27	50 g (11 ms)
Vibration resistance	DIN EN 60068-2-6	20 g (10...2000 Hz)
MTTF [Years]	124	
UL approval number	J014	
<b>Mechanical data</b>		
Process connection	¼" NPT	
Materials (wetted parts)	1.4542 (17-4 PH / 630) <sup>2</sup>	
Housing materials	1.4542 (17-4 PH / 630) <sup>2</sup> ; stainless steel (316L / 1.4404); PBT+PC-GF 30; PBT-GF 20; PC	
Min. pressure cycles	100 million	
Tightening torque [Nm]	50 <sup>3)</sup>	
Restrictor element integrated	no (can be retrofitted)	
Weight [kg]	0.219	
<b>Displays / operating elements</b>		
Display	Display unit 3 x LED green (bar, psi, MPa) Switching status 2 x LED yellow 4-digit alphanumeric display / alternating indication Measured values of red and green	
<b>Electrical connection</b>		
Connection	M12 connector; gold-plated contacts	
<b>Wiring</b>		
Core colors		
BK black		
BN brown		
BU blue		
WH white		
	<p>OUT1: switching output or IO-Link            OUT2: switching output or 4...20 mA / 0...10 V            Colours to DIN EN 60947-5-2</p>	

## PN2271

PN-250-SEN14-MFRKG/US/ IV

Pressure sensors

Remarks	
Remarks	<p>*) BFSL = Best Fit Straight Line / LS = Limit Value Setting **) with temperature fluctuations &lt; 10 K ***) in% of the span / 6 months 1) to EN50178, SELV, PELV 2) Characteristics similar to stainless steel (e.g. 304/1.4301) but higher strength. 3) Depends on lubrication, seal and pressure rating</p>
Pack quantity	[piece] 1

ifm efector, inc. • 1100 Atwater Drive • Malvern • PA 19355 — We reserve the right to make technical alterations without prior notice. — US — PN2271 — 16.06.2015

# Pumpe für Versuchsstand MC 20/20

## MC 20/20

## MC 25

**Pompe a membrana per piccola irrorazione e usi speciali**  
**Diaphragm pumps for small spraying jobs and special uses**  
**Pompes a membrane pour petits pulvérisation et usages spéciaux**  
**Bombas a membrana para pequeñas rociaduras y trabajos especiales**  
**Kleine Membranpumpen und spezielle Verwendung**

**MC SERIES**

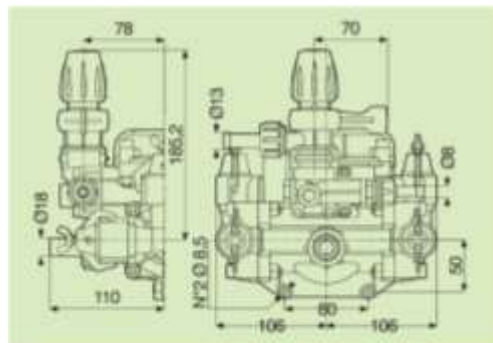
Configurazione a due membrane, con accumulatore di pressione. Parti a contatto con il liquido in alluminio anodizzato. Riduttore incorporato per applicazione diretta a motore elettrico o a motore a scoppio 2/4 tempi. Versione senza riduttore per applicazione a puleggia o presa di potenza.

Two membrane type, with pressure accumulator. Parts in contact with the liquid made of anodised aluminium. Built-in adapter for direct connection to an electric motor or a 2/4 stroke combustion engine. Version without adapter for connection to a pulley or power point.

Configuration à deux membranes, avec accumulateur de pression. Les parties en contact avec le liquide sont en aluminium anodisé. Réducteur incorporé pour application directe sur moteur électrique ou sur moteur à explosion à 2/4 temps. Version sans réducteur pour application sur poulie ou prise de puissance.

Configuración de dos membranas, con acumulador de presión. Partes en contacto con el líquido de aluminio anodizado. Reductor incorporado para aplicación directa a motor eléctrico o a motor de explosión de 2/4 tiempos. Versión sin reductor para aplicación a polea o a toma de potencia.

2-Membranen-Bauweise, mit Druckspeicher mit Flüssigkeit in Berührung kommende Teile aus Eloxal eingebautes Untersetzungsgetriebe zum direkten Anschließen an Elektromotor oder 2 bzw. 4Takt-Verbrennungsmotor Ausführung ohne Untersetzungsgetriebe zum Anschließen an Riemenscheibe oder Zapfwelle.



### MC 20/20

Giri/min R.P.M. Tours Revoluciones Umdrehungen	0 bar - 0 p.s.i.		5 bar - 72 p.s.i.		10 bar - 145 p.s.i.		15 bar - 217 p.s.i.		20 bar - 290 p.s.i.		Peso Weight Poids Peso Gewicht										
	Portata Delivery Débit Caudal Förderleistung	Potenza Power Puissance Potencia Leistung	Portata Delivery Débit Caudal Förderleistung	Potenza Power Puissance Potencia Leistung	Portata Delivery Débit Caudal Förderleistung	Potenza Power Puissance Potencia Leistung	Portata Delivery Débit Caudal Förderleistung	Potenza Power Puissance Potencia Leistung	Portata Delivery Débit Caudal Förderleistung	Potenza Power Puissance Potencia Leistung											
<b>400</b>	13.5	3.8	0.12	0.09	11.4	3.0	0.18	0.13	11.2	3.0	0.36	0.26	11.1	2.9	0.54	0.40	11.0	2.9	0.71	0.52	4,7 10,4
<b>500</b>	16.3	4.3	0.15	0.11	14.3	3.8	0.23	0.17	14.1	3.7	0.46	0.34	14.0	3.7	0.68	0.50	13.8	3.6	0.89	0.66	
<b>600</b>	20.2	5.3	0.18	0.13	17.5	4.8	0.28	0.21	17.1	4.5	0.55	0.40	16.9	4.5	0.82	0.60	16.7	4.4	1.08	0.79	
<b>650</b>	23.0	6.1	0.20	0.15	19.5	5.2	0.32	0.24	19.1	5.0	0.62	0.46	18.9	5.0	0.91	0.67	18.5	4.9	1.20	0.88	

### MC 25

Giri/min R.P.M. Tours Revoluciones Umdrehungen	0 bar - 0 p.s.i.		5 bar - 72 p.s.i.		10 bar - 145 p.s.i.		15 bar - 217 p.s.i.		20 bar - 290 p.s.i.		25 bar - 362 p.s.i.		Peso Weight Poids Peso Gewicht								
	Portata Delivery Débit Caudal Förderleistung	Potenza Power Puissance Potencia Leistung	Portata Delivery Débit Caudal Förderleistung	Potenza Power Puissance Potencia Leistung	Portata Delivery Débit Caudal Förderleistung	Potenza Power Puissance Potencia Leistung	Portata Delivery Débit Caudal Förderleistung	Potenza Power Puissance Potencia Leistung	Portata Delivery Débit Caudal Förderleistung	Potenza Power Puissance Potencia Leistung	Portata Delivery Débit Caudal Förderleistung	Potenza Power Puissance Potencia Leistung									
<b>400</b>	13.5	3.6	0.12	0.09	11.4	3.0	0.18	0.13	11.2	3.0	0.36	0.26	11.1	2.9	0.54	0.40	11.0	2.9	0.71	0.52	4,7 10,4
<b>500</b>	16.3	4.3	0.15	0.11	14.3	3.8	0.23	0.17	14.1	3.7	0.46	0.34	14.0	3.7	0.68	0.50	13.8	3.6	0.89	0.66	
<b>600</b>	20.2	5.3	0.18	0.13	17.5	4.8	0.28	0.21	17.1	4.5	0.55	0.40	16.9	4.5	0.82	0.60	16.7	4.4	1.08	0.79	
<b>650</b>	23.0	6.1	0.20	0.15	19.5	5.2	0.32	0.24	19.1	5.0	0.62	0.46	18.9	5.0	0.91	0.67	18.5	4.9	1.20	0.88	

# MC 20/20 MC 25

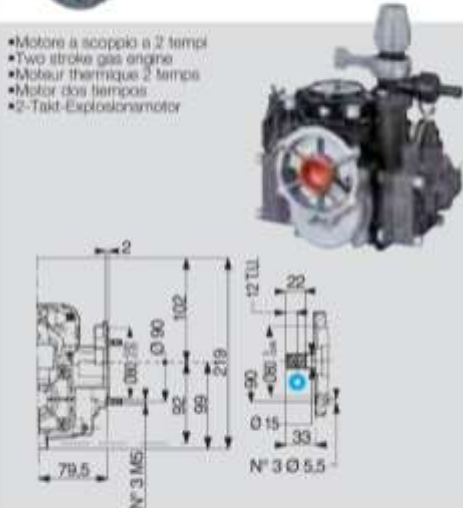
Pompe a membrana per piccola irrorazione e usi speciali  
 Diaphragm pumps for small spraying jobs and special uses  
 Pompes a membrane pour petits pulvérisation et usages spéciaux  
 Bombas a membrana para pequeñas rociaduras y trabajos especiales  
 Kleine Olnembranpumpen und spezielle Verwendung

**VERSIONI STANDARD — STANDARD VERSIONS  
 VERSIONS STANDARD — VERSIONES ESTÁNDAR  
 STANDARD AUSFÜHRUNG**

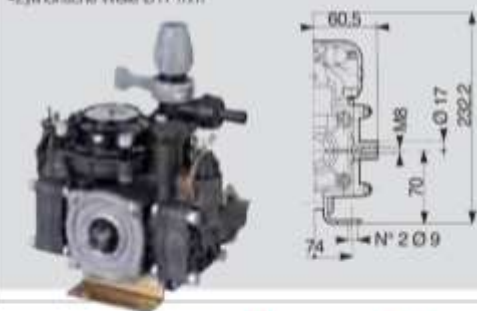
- Motore elettrico monofase/trifase •Electrical single/three phase engine •Moteur électrique mono/triphasé •Motor eléctrico mono/tri-fásico •Einphasiger /drephasiger Elektromotor



- Motore a scoppio a 2 tempi •Two stroke gas engine •Moteur thermique 2 temps •Motor dos tiempos •2-Takt-Explosionmotor



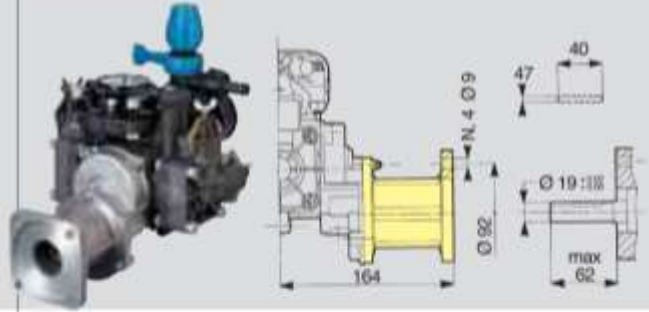
- Abero cilindrico Ø17 mm •Solid shaft Ø17 mm •Cardan mâle cyl. diamètre Ø17 mm •Cigüeñal cilíndrico diámetro Ø17 mm •Zylindrische Welle Ø17 mm



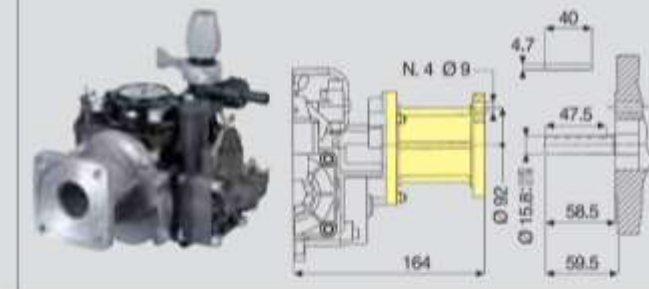
	⊙	★
NUMERO DENTI Number of teeth	Z = 8 ELIDICALI Z = 8 metal	Z = 12 ELIDICALI Z = 12 metal
ANGOLO DI PRESSIONE Pressure angle	90 gals = 20°	90 = 20°
ANGOLO DI INCLINAZIONE DEL CA. SINISTRA Left pinion angle of inclination	beta = 32°	beta = 19°
MODULO NORMALE Normal module	m = 1.25	m = 1.25
DIAMETRO PRIMITIVO Pitch diameter	OP = 10.864	OP = 15.864
RAPPORTO DI TRASMISSIONE Gear ratio	1:6.75	1:4.31

**VERSIONE DERIVATA DA STANDARD — DERIVED VERSION — VERSION DERIVEE DE LA  
 VERSION STANDARD — VERSION DERIVADA DE LA ESTÁNDAR — VON DER  
 STANDARDVERSION ABGELEITETE AUSFÜHRUNG**

- Motore a scoppio a 4 tempi 3/4" •3/4" Four stroke gas engine •Moteur thermique 4 temps 3/4" •Motor cuatro tiempos 3/4" •4-Takt-Explosionmotor 3/4"



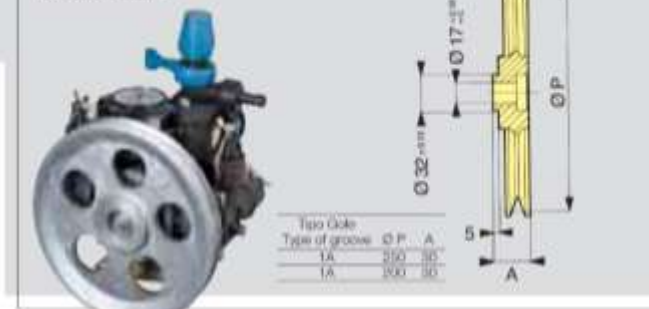
- Motore a scoppio a 4 tempi 5/8" •5/8" Four stroke gas engine •Moteur thermique 4 temps 5/8" •Motor cuatro tiempos 5/8" •4-Takt-Explosionmotor 5/8"



- Cardano 1" 3/8 •1" 3/8 male PTO •Cardan mâle 1" 3/8 •Cigüeñal restricto 1" 3/8 •Für Kardan 1" 3/8



- Puleggia •Pulley •Poulie •Polas •Kettenscheibe





Vielen dank für Ihren Einkauf bei uns.  
Vielen Dank für Ihre Bestellung auf AgriEuro.  
Hier finden Sie die Details Ihrer Bestellung

Bestellungsnummer 500836  
Bestellungsdetails [Klicken Sie hier um die Details anzuschauen](#)  
Bestellungsdatum 01/03/2018 - Uhr 11:44  
Kommentare Sehr geehrte Damen und Herren. Ich bitte Sie die Rechnung bei der Lieferung auch einpacken, damit ich das Geld zu Ihnen überweisen kann. Vielen Danke. Mit freundlichen Grüßen Xin Wu

### Bezahlungsart

Bankueberweisung  
Überweisen Sie an :  
Settimi S.r.l.  
Bank: Banca Popolare di Spoleto  
CAB: 21803  
ABI: 05704  
CIN: H  
C/C: 000000001123  
IBAN: IT69H0570421803000000001123  
SWIFT: BIC (swift): BPSFIT31

Sobald wir die Bezahlung erhalten werden, wir versenden die bestellte Ware.

Artikel	Preis <i>(inkl. MwSt.)</i>	Anzahl	Gesamtbetrag <i>(inkl. MwSt.)</i>
Membranpumpe mit Elektroantrieb Comet MC 20/20 – Einphasenmotor	€ 327.50	1	€ 327.50
		Betrag:	€ 275.21
		MwSt.(19%):	€ 52.29
		Zwischensumme:	€ 327.50
		Versand per Kurierdienst	€ 0.00
		Gesamtbetrag:	€ 275.21
		Total MwSt. (19%):	€ 52.29
		Gesamtbetrag:	€ 327.50

### Versandadresse

### Rechnungsadresse

[https://www.agrieuro.de/membranpumpe-comet-mc-2020-mit-benzinmotor-loncin-100-p-5312.html?lgw\\_code=12149-5312&gclid=CjwKCAjwqZPrBRBnEiwAmNJsNoszWAL5\\_4N17GcuhdYInIpu2rJo9Eov0DKv28NVLyhRwWypR8KiHRoCx8oQAvD\\_BwE](https://www.agrieuro.de/membranpumpe-comet-mc-2020-mit-benzinmotor-loncin-100-p-5312.html?lgw_code=12149-5312&gclid=CjwKCAjwqZPrBRBnEiwAmNJsNoszWAL5_4N17GcuhdYInIpu2rJo9Eov0DKv28NVLyhRwWypR8KiHRoCx8oQAvD_BwE)

Druckminderer

→ **Baureihe 484**

8.8

**484**

Druckminderventile  
aus Edelstahl mit  
Muffenschlüssen



■ MATERIAL



■ SPEZIFIZIERUNG



1/4" - 2"



-40°C bis +120°C  
je nach Ausführung



**Vordruck:**  
bis 60 bar  
**Hinterdruck:**  
0,5 bis 50 bar  
je nach Ausführung

■ GEEIGNET FÜR

Flüssigkeiten	neutral und nicht neutral	
Luft, Gase und technische Dämpfe	neutral und nicht neutral	

■ VERWENDUNG / ANWENDUNGSBEISPIELE

Schutz von:  
- gewerblichen und industriellen Anlagen vor zu hohem Versorgungsdruck  
Einsatz von Druckminderern, wenn im Leitungsnetz trotz unterschiedlicher Drücke auf der Eingangsseite ein bestimmter Druck auf der Ausgangsseite gehalten werden soll.

- Druckluftversorgungsanlagen
- Pneumatische Steuereinheiten
- Druckerhöhungsanlagen luftseitig
- Schiffsbau und Offshoreanlagen
- Industriegas-Anlagenbau
- PET-Blasmaschinen
- Strahlanlagen

■ ZULASSUNGEN

Europäische Druckgeräterichtlinie	
TR ZU 032/2013 - TR ZU 010/2011	
Anforderungen	
DGR 2014/68/EU	
Klassifizierungsgesellschaften	
Lloyd's Register EMEA	LR EMEA
Bureau Veritas	BV
Russian Maritime Register of Shipping	RS

■ WERKSTOFFE

Bauteil	Werkstoff	DIN EN	ASME
Eintrittskörper	Edelstahl	1.4408	CF8M
Austrittskörper	Edelstahl	1.4408	CF8M
Innentteile	Edelstahl	1.4404	316 L
Druckfeder	Edelstahl	1.4568	631



Stand 2017 / 02

www.goetze-armaturen.de | info@goetze-armaturen.de | Telefon: +49(0)7141.48894-60

## Baureihe 484 ■ VENTILAUSFÜHRUNG

<b>m</b>	mit Membrane	hochwertige, wärmebeständige Elastomer-Membrane mit Gewebeeinlage. Druckverstellung über nicht steigende Einstellspindel. Entlastetes Einsitzventil, Gehäuse beiderseits mit Manometeranschluss G 1/4". Bitte beachten Sie den Hinterdruckbereich.
<b>k</b>	mit Kolben	Edelstahlkolben mit Dichtung und Stützring. Druckverstellung über nicht steigende Einstellspindel. Entlastetes Einsitzventil, Gehäuse beiderseits mit Manometeranschluss G 1/4". Bitte beachten Sie die Hinterdruckbereiche.

### ■ MEDIUM

<b>GS</b>	gasförmig mit Sekundärentlüftung	Pressluft und Gase. Nicht neutrals, giftige Gase nur mit gefasster Abluft.
<b>GFO</b>	gasförmig und flüssig ohne Sekundärentlüftung	für Wasser und nicht klebende Flüssigkeiten, Pressluft und Gase

### ■ HINTERDRUCKBEREICHE

<b>SM</b>	Standardausführung mit Membrane	Vordruck: bis 60 bar	Hinterdruck: 0,5 bis 15 bar
<b>SK</b>	Standardausführung mit Kolben	Vordruck: bis 60 bar	Hinterdruck: 5 bis 30 bar
<b>HK</b>	Hochdruckausführung mit Kolben	Vordruck: bis 60 bar	Hinterdruck: 10 bis 50 bar

Festeinstellung auf gewünschten Hinterdruck gegen Aufpreis.

### ■ VERFÜGBARE NENNWEITEN UND ANSCHLUSSGRÖSSEN

Nennweite DN	8	10	15	20	25	40	50
Eintritt Muffengewinde	1/4" (8)	3/8" (10)	1/2" (15)	3/4" (20)	1" (25)	1 1/2" (40)	2" (50)
Austritt Muffengewinde	1/4" (8)	3/8" (10)	1/2" (15)	3/4" (20)	1" (25)	1 1/2" (40)	2" (50)

### ■ ANSCHLUSSART EINTRITT / AUSTRITT GEWINDEANSCHLÜSSE

<b>1/1</b>	Standard	Innengewinde BSP-P / Innengewinde BSP-P	DIN EN ISO 228-1 / DIN EN ISO 228-1
------------	----------	---	-------------------------------------

### ■ DICHTUNGEN

<b>FKM</b>	Fluorcarbon	Elastomer-Formmembrane und Dichtungen	-10°C bis +120°C
<b>EPDM</b>	Ethylen-Propylen-Diene	Elastomer-Formmembrane und Dichtungen	-40°C bis +120°C

### ■ OPTIONEN GEGEN AUFPREIS

Manometer 40, 42, 44, 45, 48 und 47	Kapitel Zubehör
GA: Gefasste Abluft bei Medium GS (gezielte Ableitung der Sekundärentlüftung)	
GA - SV	Schneidringverschraubung nach EN ISO 8434-1 für Rohrdurchmesser 6mm
GA - CK	CK-Schnellverschraubung für Schlauchdurchmesser 6mm bis max. 10 bar
Wandhalterung	Bestellbezeichnung: 484 Wandhalterung-DN
<b>Serviceteile:</b>	
Servicepack (Dichtungen und Kegel) 484 Kolbenausführung <b>k</b> ; FKM bzw. EPDM	Bestellbezeichnung: 484k-DN... <FKM bzw. EPDM> Servicepack
Servicepack (Dichtungen und Kegel) 484 Membranausführung <b>mGS</b> ; FKM bzw. EPDM	Bestellbezeichnung: 484mGS-DN... <FKM bzw. EPDM> Servicepack
Servicepack (Dichtungen und Kegel) 484 Membranausführung <b>mGFO</b> ; FKM bzw. EPDM	Bestellbezeichnung: 484mGFO-DN... <FKM bzw. EPDM> Servicepack

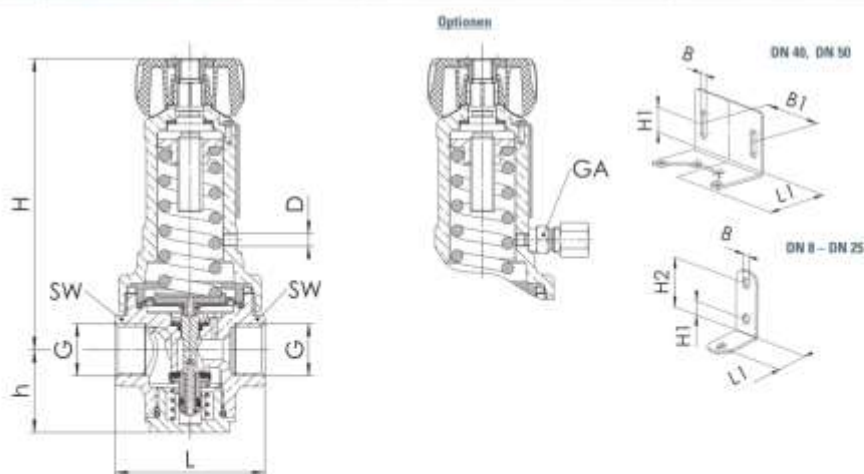


■ NENNWEITEN, ANSCHLÜSSE, EINBAUMASSE

Baureihe 484: Anschluss, Einbaumaße, Einstellbereiche								
Nennweite	DN	8	10	15	20	25	40	50
Anschluss DIN EN ISO 228	G	1/4" (8)	3/8" (10)	1/2" (15)	3/4" (20)	1" (25)	1 1/2" (40)	2" (50)
Verdruck bis	bar	60	60	60	60	60	60	60
Hinterdruck:	SM	0,5-15	0,5-15	0,5-15	0,5-15	0,5-15	0,5-15	0,5-15
	SK	5-30	5-30	5-30	5-30	5-30	5-30	5-30
	HK	10-50	10-50	10-50	10-50	10-50	10-50	10-50
Einbaumaße in mm	L	68	68	60	78	102	136	136
	H	120	120	120	180	215	260	270
	h	33	33	33	40	56	63	70
	SW	26	26	26	32	44	58	70
	D	M5	M5	M5	M5	1/8"	1/8"	1/8"
Anschluss gefasste Abluft								
Abmessungen optionaler Wandhalter	L1	38	38	38	51	61	85	85
Wandhalter	H1 / H2	18 / 62	18 / 62	18 / 62	18 / 58	22 / 80	15	15
	B / B1	5,5	5,5	5,5	6,5	8,5	10,5 / 90	10,5 / 90
Gewicht	kg	1,1	1,1	1,1	2,5	4,5	8,1	8,8
Durchflusskoeffizient $K_v$	m <sup>3</sup> /h	1,6	1,6	1,6	3,4	5,5	12,7	12,7

Der  $K_v$ -Wert wurde nach DIN EN 60534-2-3 ermittelt. Anleitung zur Größen- und Leistungsbestimmung siehe Kapitel 2.

■ HAUPTABMESSUNGEN, EINBAUMASSE



■ EIGENE AUSWAHL / VENTILKONFIGURATION

Baureihe	Ventilanzuführung	Medium	Hinterdruckbereich	Nennweite DN	Anschlussart		Anschlussgröße		Dichtung	Optionen	Zusatz optional	Stückzahl
					Eintritt	Austritt	Eintritt	Austritt				
484	m	GS	SM	20	f	f	20	20	FKM	Manometer 40	GA-SV	3
484	h	GFO	SK	40	f	f	40	40	EPDM			1
484					f	f						
484					f	f						

In dieser Tabelle haben Sie die Möglichkeit, ein Ventil nach Ihren individuellen Anforderungen zu konfigurieren (ähnlich dem *aufgeführten Beispiel*, welches Sie vor Ihrem Eintrag bitte streichen sollten). Füllen Sie die Felder einfach handschriftlich aus, indem Sie die gewünschten Abkürzungen aus diesem Datenblatt verwenden.

Danach faxen Sie diese Seite an: +49(0)7141.4889488  
Bitte vergessen Sie Ihre persönlichen Angaben nicht, damit unser Service-Team Sie kontaktieren kann.

Name \_\_\_\_\_

Vorname \_\_\_\_\_

Firma \_\_\_\_\_

Telefon \_\_\_\_\_

E-Mail \_\_\_\_\_



Stand 2017 / 02

www.goetze-armaturen.de | info@goetze-armaturen.de | Telefon: +49(0)7141.48894-60

# Stirradgetriebemotor

Stirradgetriebemotoren 002 802 1,1 kW 497 Upm | Seva-tec GmbH

<https://www.seva-tec.de/produkte/getriebemotoren/stirradgetriebemot...>



**SEVA-tec GmbH**  
Antriebstechnik & Energieanlagen

[< Übersicht](#) | [Stirradgetriebemotoren M Serie](#)

## SEVA-MV002-802-1,1KW-497Upm Stirradgetriebemotor



Lieferzeit ca. 28 Werktage

### Einbaulage für Getriebemotoren:

M1

### Bauform:

Fußausführung MV B3

♥ [Merken](#)

**Artikel-Nr.:** Y3084970025.57.2

**Versandgebühren:** Getriebemotor + Verpackung

**Für Preisansicht:** [Bitte unter "Mein Konto" einloggen](#)

### Beschreibung

Stirradgetriebemotor (Getriebe mit IEC-Flansch zum Elektromotor), Spannung= 3 x 230/400...

### Produktinformationen "SEVA-MV002-802-1,1KW-497Upm

Diese Website verwendet Cookies, um Ihnen die bestmögliche Funktionalität bieten zu können.

[Mehr Informationen](#)

**Einverstanden**

Leistung= 1,1 kW, Drehzahl= 497 U/min, Übersetzung (i)= 5,57, Drehmoment (M<sup>2</sup>)= 20Nm, Betriebsfaktor (fs)= 2,5,

Bauform= B3 (B5 gegen Aufpreis), Welle= 20mm x 40mm, Gewicht= 21,2kg, Lackierung= RAL5010.

Temperaturfühler= 3 x PTC Kaltleiter, Betriebsart= S1- 100% ED, Klemmkasten= oben (drehbar).

Das Stirnradgetriebe ist für den Frequenzumrichter-Betrieb geeignet und entspricht der IEC 60034-30:2008. Das Stirnradgetriebe kann in beide Drehrichtungen betrieben werden und enthält eine Ölfüllung bei Lieferung. Alle Produktfotos sind unverbindliche Beispiele!

**Bei Bestellung bitte gewünschte Einbaulage und Ausführung auswählen!**

> [Fragen zum Artikel?](#)

#### Verfügbare Datenblätter / Zeichnungen:

- > [SEVA- MV002 / MV003 - Maßzeichnung / Drawing](#)
- > [SEVA- ac-motor, 1,1 kW, 2 polig, Datenblatt / Data sheet](#)
- > [SEVA- MV002 / MV003 - MX80 - Step](#)
- > [SEVA- MV / NV - Betriebsanleitung](#)

#### Zubehör 1



SEV  
Fremdlüfteraggre

#### Motoroptionen



Diese Website verwendet Cookies, um Ihnen die bestmögliche Funktionalität bieten zu können.

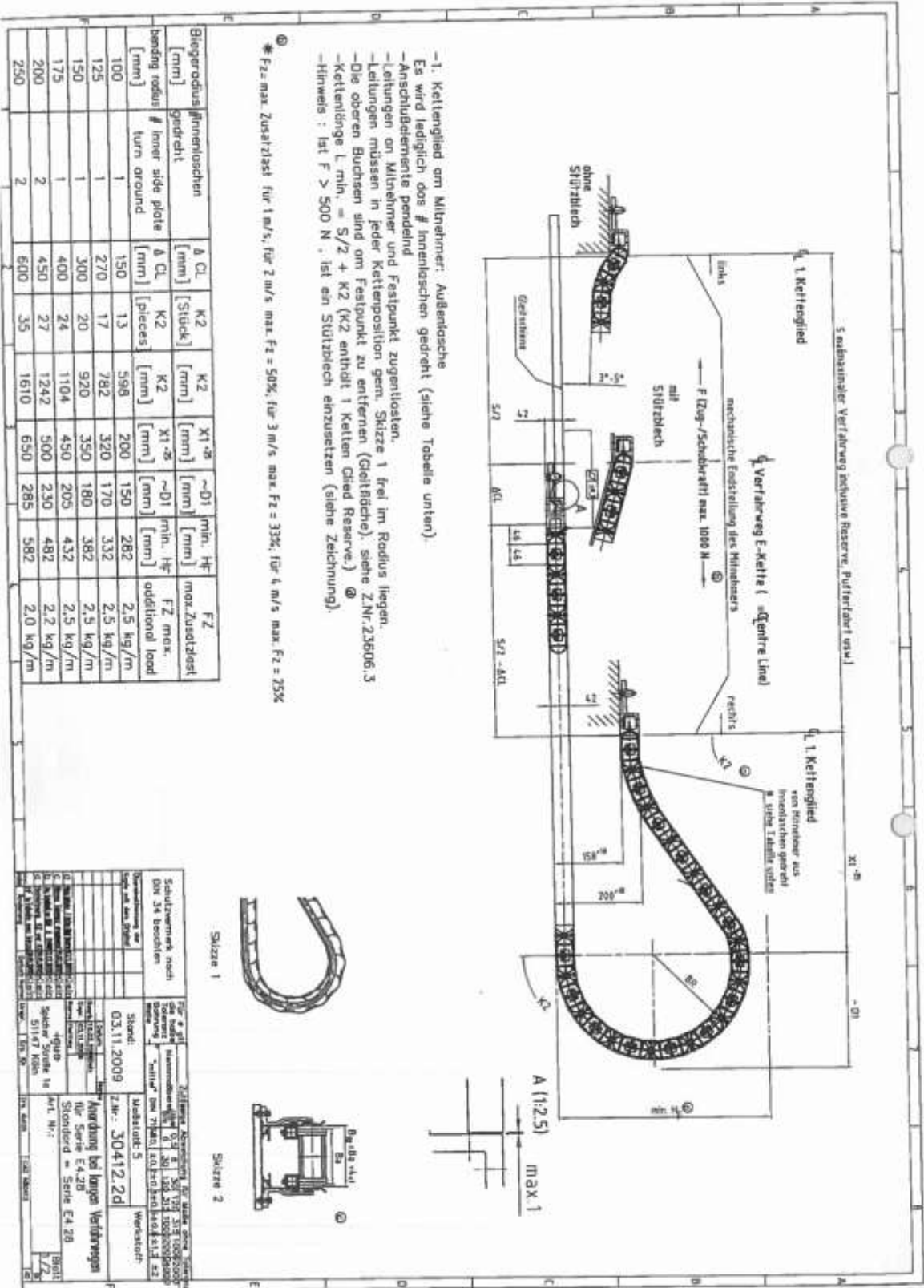
[Mehr Informationen](#)

**Einverstanden**



230V-Option 1,1kW-2pol für Stirradgetriebemotoren

<https://www.seva-tec.de/produkte/getriebemotoren/stirradgetriebemotoren-m-serie/6210/seva-mv202-10011-2-2kw-169upm-stirradgetriebemotor>



Biegeradius [mm]	Innenlinsen		$\Delta$ CL [mm]	K2 [mm]	K2 [mm]	X1 <sup>SB</sup> [mm]	$\sim$ D1 [mm]	min. H <sub>F</sub> [mm]	max. Zusatzlast [kg/m]
	gedreht	# inner side plate							
100	1	turm around	150	13	598	200	150	282	2,5 kg/m
125	1		270	17	782	320	170	332	2,5 kg/m
150	1		300	20	920	350	180	382	2,5 kg/m
175	1		400	24	1104	450	205	432	2,5 kg/m
200	2		450	27	1242	500	230	482	2,2 kg/m
250	2		600	35	1610	650	285	582	2,0 kg/m

Skizzen mark nach DIN 24 beachten

Stand: 03.11.2009

Zulassung: **30412.2d**

Änderung bei langen Verfahrenen für Serie E4 2B

Standard = Serie E4 2B

- 1. Kettenglied am Mittelnäher: Außenschale
  - Es wird lediglich das # Innenlinsen gedreht (siehe Tabelle unten).
  - Anschlusskette pendelnd
  - Leitungen an Mittelnäher und Festpunkt zugentlastet.
  - Leitungen müssen in jeder Kettenposition gem. Skizze 1 frei im Radius liegen.
  - Die oberen Buchsen sind am Festpunkt zu entfernen (Gleisfläche). siehe Z.Nr. 23606.3
  - Kettenlänge L min. =  $S/2 + K2$  (K2 enthält 1 Ketten Glied Reserve.)
  - Hinweis : bei  $F > 500$  N : ist ein Stützblech einzusetzen (siehe Zeichnung).
- \* Fz = max Zusatzlast für 1m/s ; für 2 m/s max. Fz = 50%; für 3 m/s max. Fz = 33%; für 4 m/s max. Fz = 35%

Speicher Hydac (Hydac Bezeichnung: SBO100-2E1/116U-100AK, Hydac Materialnummer: 2110614, Membranspeicher, Fluid Gruppe 2. Kategorie I, Modul A)

# HYDAC INTERNATIONAL

## Hydro-Membranspeicher



### 1. BESCHREIBUNG

#### 1.1. FUNKTIONSWEISE

Flüssigkeiten sind praktisch inkompressibel und können deshalb keine Druckenergie speichern.

In hydropneumatischen Speichern wird die Kompressibilität eines Gases zur Flüssigkeitsspeicherung genutzt. HYDAC Membranspeicher basieren auf diesem Prinzip, mit Stickstoff als kompressiblem Medium.

Sie bestehen aus einem Flüssigkeits- und einem Gasteil mit einer Membrane als gasdichtes Trennelement.

Der Flüssigkeitsteil steht mit dem hydraulischen Kreislauf in Verbindung, so dass beim Anstieg des Druckes der Membranspeicher gefüllt und das Gasvolumen komprimiert wird. Beim Absinken des Druckes expandiert das verdichtete Gasvolumen und verdrängt dabei die gespeicherte Druckflüssigkeit in den Kreislauf.

Im Membranboden ist ein Ventilteller eingesetzt. Dieser verschließt bei völliger Entleerung den hydraulischen Ausgang und verhindert so eine Beschädigung der Membrane.

#### Hinweis:

HYDAC Membranspeicher, ausgerüstet mit einem HYDAC Sicherheits- und Absperrblock, erfüllen die Vorschriften der Europäischen Druckgeräterichtlinie (DGRL) und der Betriebssicherheitsverordnung Betr.Sich.V. Siehe hierzu Prospektteil:

- Sicherheits- und Absperrblock SAF/DSV Nr. 3.551

### 1.2. AUFBAU

Die HYDAC-Membranspeicher sind in 2 Ausführungen lieferbar:

#### 1.2.1 Schweißkonstruktion



Diese bestehen aus:

- dem geschweißten Druckbehälter, gassseitig nachfüllbar oder unkösbar verschlossen; mit Ventilkörper in verschiedenen Ausführungen.
- der zur Trennung zwischen Gastteil und Druckflüssigkeit erforderlichen Membrane,
- dem im Membranboden eingesetzten Ventilteller.

#### 1.2.2 Schraubkonstruktion



Diese bestehen aus:

- dem geschmiedeten Speicheroberteil mit Gasfüllanschluss.
- dem geschmiedeten Speicherunterteil mit Ventilkörper.
- der austauschbaren elastischen Membrane zur Trennung von Gas und Druckflüssigkeit.
- dem am Membranboden an vulkanisierten Ventilteller.
- der Überwurfmutter zur Verbindung des Ober- und Unterteils.

#### 1.2.3 Membranwerkstoff

Die Auswahl des Membranwerkstoffs ist auf das jeweilige Betriebsmedium bzw. die Betriebstemperatur abzustimmen, siehe hierzu Abschnitt 1.5. Unter ungünstigen Entnahmeverhältnissen (hohes Druckverhältnis  $p_2/p_1$ , schnelle Entnahmegeschwindigkeit) kann das Gas unter die zulässige Temperatur abkühlen. Dadurch können Kältebrüche entstehen. Mit dem HYDAC Speichersimulationsprogramm ASP kann die Gastemperatur berechnet werden.

#### 1.2.4 Korrosionsschutz

Für den Betrieb mit chemisch aggressiven Flüssigkeiten kann der Speicher mit Korrosionsschutz wie Kunststoffbeschichtung oder galvanischem bzw. chemischem Oberflächenschutz geliefert werden. Sollte diese Schutzart nicht ausreichend sein, können fast alle Typen in Edelstahl gefertigt werden.

### 1.3. EINBAULAGE

Beliebig, bei Gefahr von Schmutzansammlung senkrecht (Druckflüssigkeitsanschluss nach unten).

D 3.100.25/11.16

#### 1.4. BEFESTIGUNGSART

Bis zu 2 l Nennvolumen können die Speicher direkt auf die Rohrleitung aufgeschraubt werden.

Bei starken Vibrationen muss der Speicher gegen Losdrehen gesichert werden. Für geschweißte Speicher empfehlen wir HYDAC Befestigungsschellen zu verwenden. Für Membranspeicher in Schraubkonstruktion mit Überwurfmutter kann eine passende Konsole bestellt werden.

Zusätzliches Außengewinde am hydraulischen Anschluss zum Festschrauben in Befestigungslöcher siehe Tabelle 3.1.

Siehe hierzu Prospektteil:

- Befestigungselemente für Hydro-Speicher Nr. 3.502

#### 1.5. ALLGEMEINES

##### 1.5.1 Zulässiger Betriebsüberdruck

siehe Tabellen 3.1. und 3.2.

Bei ausländischen Abnahmen kann der zulässige Betriebsüberdruck vom Nenndruck abweichen.

##### 1.5.2 Nennvolumen

siehe Tabellen 3.1. und 3.2.

##### 1.5.3 Effektives Gasvolumen

entspricht dem Nennvolumen der Membranspeicher.

##### 1.5.4 Nutzvolumen

Flüssigkeitsvolumen, das zwischen den Betriebsdrücken  $p_2$  und  $p_1$  zur Verfügung steht.

##### 1.5.5 Gasfüllung

Anlieferungszustand mit Konservierungsfüllung. Höhere Gasfülldrücke nach Angabe sind möglich (Füllschraube bzw. unlösbarer Gasverschluss).

Hydro-Speicher dürfen nur mit Stickstoff gefüllt werden.

Keine anderen Gase verwenden.

##### Explosionsgefahr!

Grundsätzlich darf nur Stickstoff der Klasse 4.0 mit einer Filtration  $< 3 \mu\text{m}$  eingefüllt werden.

Wenn andere Gase verwendet werden sollen, sprechen Sie uns bitte an, wir helfen Ihnen gerne weiter.

##### 1.5.6 Grenzwerte des Gasfülldruckes

$$p_0 \leq 0,9 \cdot p_1$$

Für Membranspeicher mit Voll-PTFE-Membrane gilt:

$$p_{\text{max}} \leq 200 \text{ bar}$$

weitere Informationen siehe Prospektteil

- HYDAC Speichertechnik Nr. 3.000

##### 1.5.7 Zulässiges Druckverhältnis

Verhältnis von max. Betriebsdruck  $p_2$  zum Gasfülldruck  $p_0$ .

##### 1.5.8 Max. Druckflüssigkeitsstrom

Zur Erreichung des in den Tabellen angegebenen max. Druckflüssigkeitsstromes ist zu beachten, dass ein Restvolumen an Flüssigkeit von ca. 10 % des effektiven Gasvolumens im Speicher zurückbleibt.

Der maximale Druckflüssigkeitsstrom wurde unter bestimmten typischen Bedingungen ermittelt und ist nicht für alle Einsatzbedingungen anwendbar.

##### 1.5.9 Einsatztemperatur und Betriebsmedium

Die zulässige Einsatztemperatur eines Membranspeichers ist abhängig von den Einsatzgrenzen der metallischen Werkstoffe und der Membrane. Außerhalb dieser Temperaturbereiche müssen spezielle Materialien eingesetzt werden. Das Betriebsmedium ist außerdem zu beachten. Folgende Tabelle zeigt eine Auswahl an Elastomerwerkstoffen mit Temperaturbereich und einer groben Übersicht beständiger und nicht beständiger Flüssigkeiten, im Einzelfall ist die Beständigkeit nachzufragen und spezifisch zu prüfen:

Werkstoffe		Materialkennziffer <sup>1)</sup>	Temperaturbereich	Übersicht der Flüssigkeiten <sup>2)</sup>	
				Beständig gegen	Nicht beständig gegen
NBR	Acrylnitril-Butadien-Kautschuk	2	-15 °C ... + 80 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mineralöl (HL, HLP)</li> <li>● Schwer entflammbare Flüssigkeiten der Gruppen HFA, HFB, HFC</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aromatische Kohlenwasserstoffe</li> <li>● Chlorierte Kohlenwasserstoffe (HFD-S)</li> </ul>
		5	-50 °C ... + 50 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Synthetische Ester (HEES)</li> <li>● Wasser</li> <li>● Seewasser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amine und Ketone</li> <li>● Hydraulikflüssigkeiten der Gruppe HFD-R</li> <li>● Kraftstoffe</li> </ul>
ECO	Äthylenoxyd-Epichlorhydrin-Kautschuk	3	-40 °C ... +120 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mineralöl (HL, HLP)</li> <li>● Schwer entflammare Flüssigkeiten der Gruppe HFB</li> <li>● Synthetische Ester (HEES)</li> <li>● Wasser</li> <li>● Seewasser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Aromatische Kohlenwasserstoffe</li> <li>● Chlorierte Kohlenwasserstoffe (HFD-S)</li> <li>● Amine und Ketone</li> <li>● Hydraulikflüssigkeiten der Gruppe HFD-R</li> <li>● Schwer entflammare Flüssigkeiten der Gruppen HFA und HFC</li> <li>● Kraftstoffe</li> </ul>
IIR	Butyl-Kautschuk	4	-50 °C ... +120 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Hydraulikflüssigkeiten der Gruppe HFD-R</li> <li>● Schwerentflammare Flüssigkeit der Gruppe HFC</li> <li>● Wasser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mineralöle und -fette</li> <li>● Synthetische Ester (HEES)</li> <li>● Aliphatische, chlorierte und aromatische Kohlenwasserstoffe</li> <li>● Kraftstoffe</li> </ul>
FKM	Fluor-Kautschuk	6	-10 °C ... +150 °C	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Mineralöl (HL, HLP)</li> <li>● Hydraulikflüssigkeiten der Gruppe HFD,</li> <li>● Synthetische Ester (HEES)</li> <li>● Kraftstoffe</li> <li>● Aromatische Kohlenwasserstoffe</li> <li>● Anorganische Säuren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Amine und Ketone</li> <li>● Ammoniak</li> <li>● Skydrol und HyJet IV</li> <li>● Wasserdampf</li> </ul>

<sup>1)</sup> siehe Abschnitt 2.1. Typenbezeichnung, Materialkennziffer, Membrane

<sup>2)</sup> weitere auf Anfrage

### 1.5.10 Abnahmevorschriften

Hydro-Speicher die im Ausland aufgestellt werden, liefern wir mit den für das Aufstellerland gültigen Abnahmepapieren. Das Aufstellerland ist bei der Bestellung zu benennen. HYDAC Druckbehälter können mit fast allen Abnahme-Klassifikationen geliefert werden. Dabei kann der zulässige Betriebsüberdruck vom Nenndruck abweichen. Die nachfolgende Tabelle enthält einige Beispiele für die Kennzeichnung im Typenschlüssel:

Land	AKZ
EU-Mitgliedsstaaten	U
Australien	F <sup>1)</sup>
China	A9
Hongkong	A9
Island	U
Japan	P
Kanada	S1 <sup>1)</sup>
Korea (Republik)	A11
Neuseeland	T
Norwegen	U
Russland	A6
Schweiz	U
Südafrika	S2
Türkei	U
Ukraine	A10
USA	S
Weißrussland	A6

<sup>1)</sup> Registrierung in den einzelnen Territorien bzw. Provinzen erforderlich.  
andere auf Anfrage

Am Speicherbehälter dürfen weder Schweiß- noch Lötarbeiten und keinerlei mechanische Arbeiten vorgenommen werden. Nach dem Anschließen der Hydraulikleitung ist diese vollständig zu entlüften. Arbeiten an Anlagen mit Speichern (Reparaturen, Anschließen von Manometern u. ä.) dürfen erst nach Ablassen des Flüssigkeitsdruckes ausgeführt werden.  
**Die Betriebsanleitung ist zu beachten!**  
Nr. 3.100.BA

**Hinweis:**  
Anwendungsbeispiele, Speicherauslegung sowie Auszüge aus den Abnahmevorschriften zu Hydro-Speichern sind nachzulesen im Prospektteil:

- HYDAC Speichertechnik  
Nr. 3.000

## 2. KENNGRÖSSEN

### 2.1. TYPENBEZEICHNUNG

Nicht alle Kombinationen sind möglich. Bestellbeispiel.  
Für weitere Informationen nehmen Sie bitte Kontakt mit HYDAC auf.

**SBO210 - 2 E1 / 112 U - 210 AK 050**

Baureihe

Nennvolumen [l]

Typenkennzeichen

**Geschweißte Ausführung:**

E1 = Gasseite nachfüllbar M28x1,5

E2 = nicht nachfüllbar,  
Gasfülldruck nach Angabe <sup>1)</sup>

E3 = Gasseite nachfüllbar,  
Gasventil M16x1,5 / M14x1,5

**Geschraubte Ausführung**

A6 = Gasseite nachfüllbar M28x1,5,  
Membrane auswechselbar

A3 = Gasfüllventil M16x1,5 / M14x1,5,  
Membrane auswechselbar

**Materialkennziffer**

abhängig vom Betriebsmedium  
Standardausführung = 112 für Mineralöl

**Flüssigkeitsanschluss**

1 = Normalstahl

3 = nichtrostender Stahl <sup>2)</sup>

4 = C-Stahl mit Oberflächenschutz <sup>2)</sup>

6 = TT-Stahl (Tiefemperatur)

7 = andere Materialien

**Speicherkörper**

0 = Kunststoffbeschichtung

1 = Normalstahl

2 = C-Stahl mit Oberflächenschutz <sup>3) 4)</sup>

4 = nichtrostender Stahl <sup>2)</sup>

6 = TT-Stahl (Tiefemperatur)

7 = andere Materialien

**Membrane**

2 = NBR <sup>5)</sup>

3 = ECO

4 = IIR

5 = NBR <sup>5)</sup>

6 = FKM

7 = andere Materialien (z.B. PTFE, EPDM, ...)

**Abnahmekennziffer**

U = Europäische Druckgeräterichtlinie (DGRL)

**Zulässiger Betriebsüberdruck [bar]**

**Flüssigkeitsanschluss Form**

Standardausführung = AK oder AB

z.B. Form AK = G 3/4

für SBO210-2 siehe Abschnitt 3.

Vorfülldruck  $p_v$  [bar] bei 20 °C, wenn gewünscht, bei Bestellung angeben! <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> nur bei E1- bzw. E2-Ausführung, wenn serienmäßig bestellt

<sup>2)</sup> von Typ und Druckstufe abhängig

<sup>3)</sup> nur für geschraubte Ausführung

<sup>4)</sup> nur medienberührende Teile

<sup>5)</sup> Temperaturbereiche beachten, siehe Abschnitt 1.5.



### 3. TECHNISCHE DATEN

#### 3.1. GESCHWEISSTE AUSFÜHRUNG – nicht auswechselbare Membrane –

##### 3.1.1 Zeichnungen

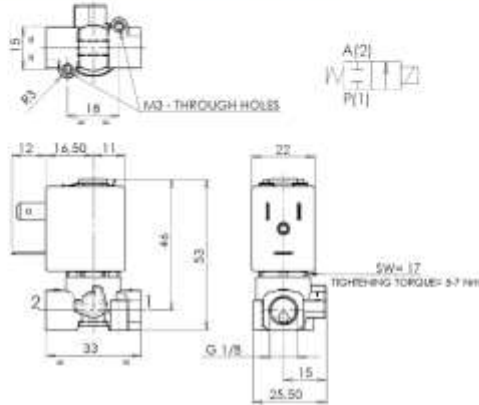
Bild	Ausführung	gasseitiger Anschluss			flüssigkeitsseitiger Anschluss*	
		E1	E2	E3	AK	AB
1						
2			-			
3			auf Anfrage			
4			-			

\* = alternative Anschlüsse auf Anfrage



**SOLENOID VALVE**  
**2/2- NC (Normally closed)**  
 Direct acting  
**G 1/8**

**L172**



► **GENERAL FEATURES**

Direct acting solenoid valve.  
 Available also integrated on manifold (2+10 actuators), see the technical data sheet L672.  
 Suitable to shut off liquid and gaseous fluids (verify the compatibility of fluid with material in contact).

► **TECHNICAL FEATURES**

Maximum allowable pressure (PS)	50bar
Opening time	~10ms
Closing time	~10ms
Fluid temperature	0°C +130°C
Max viscosity	5°E (-37 cStokes o mm²/s)

► **MATERIALS IN CONTACT WITH FLUID**

Body	Brass
Sealing	FPM
Internal components	Stainless steel
Seat	Brass
Core tube	Stainless steel
Shading coil	Copper

► **COIL**

Approval  
 Encapsulation material  
 Insulation class  
 Ambient temperature  
 Continuous duty  
 Electric connection  
 Protection degree  
 Voltages DC  
 AC

	ZB10A	ZB12A	ZB14A
Approval	/	UL and CSA	UL and CSA
Encapsulation material	PA fiberglass reinforced	PET fiberglass reinforced	PET fiberglass reinforced
Insulation class	F (155°C)	F (155°C)	H (180°C)
Ambient temperature	-10°C +60°C	-10°C +60°C	-10°C +75°C
Continuous duty	ED 100%		
Electric connection	DIN 46340- 3 poles plug connector		
Protection degree	IP 65 (EN 60529) with plug connector	IP 67 (EN 60529) with plug connector	IP 67 (EN 60529) with plug connector
Voltages DC	12-24V (+10% -5%)		
AC	24V/50-60Hz - 115V/50Hz - 230V/50-60Hz (+10% -15%) (Other voltages and frequencies on request).		

Port size ISO 228	Orifice size (mm)	Δp min	Differential pressure (bar)				Kv (m³/h)	Series and type		Power absorption				Sealings	Notes	Weight (kg)
			Δp max					Valve	Coil	AC (VA)		DC				
			Gases		Liquids					Inrush	Holding		VA			
G1/8	1.2	0	AC	DC	AC	DC	L172V03	ZB10A ZB12A	12	6	4	5.5	FPM	1	0,160	
	1.6		28	20	28	20			12	6	4	5.5				
	2		30	12	20	12			15	6	15	6				0.11
	2.4		15	6	15	6			12	4	12	4				0.13

► **NOTES**

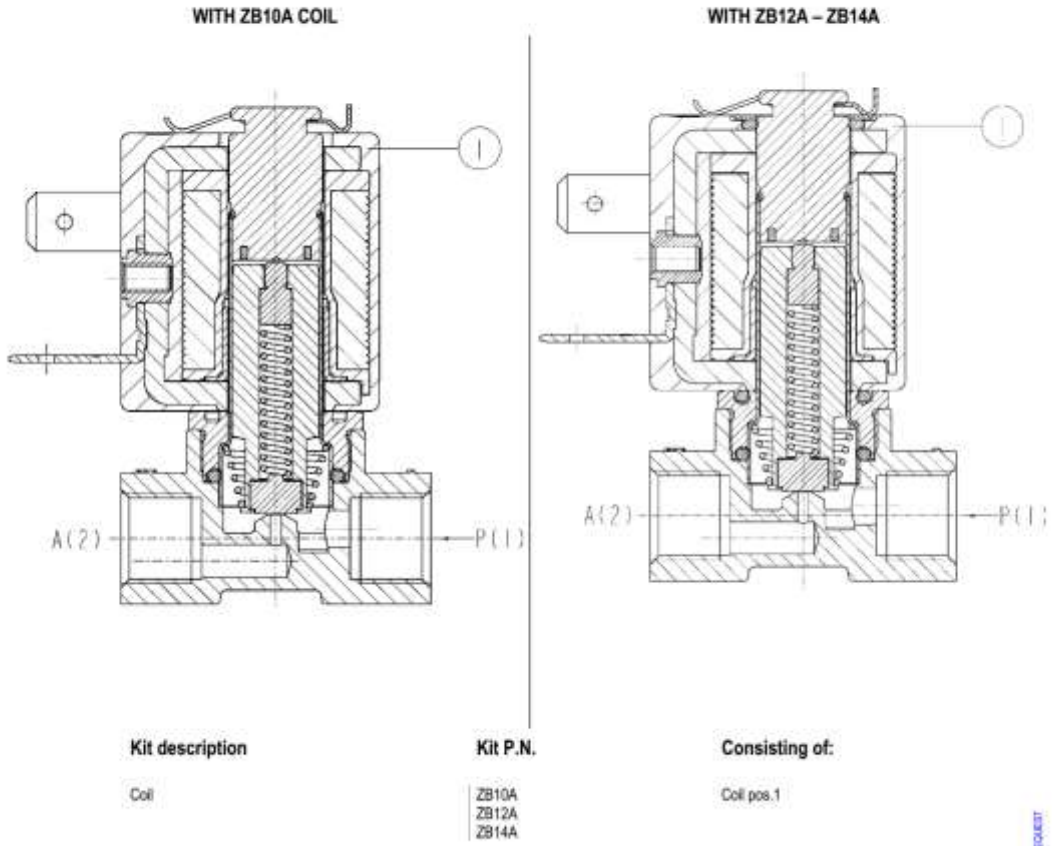
- Sealings: FPM = Fluoro-carbon elastomer
- On request: - version with manual override: L172V01
- sealings in EPDM (Ethylene-propylene elastomer): L172D03
- body valve in stainless steel AISI 316: L172V07
- body valve with special surface treatments
- coil in class H (ZB14A – see § "COIL")
- WRAS approved version (PSmax=12bar): L172Q03
- grease/oil free versions

1 – ZB12 and ZB14 coils fitted with sealing gaskets underneath and on the upper part (see sectional view on the back)

00100800

# L172

## ► SPARE PARTS



## ► INSTALLATION

- Solenoid valve can be mounted in any position; vertical with coil upwards preferred.

THE VALIDITY OF REPRINTED DATA IS REFERRED TO THE DATE OF ISSUE. POSSIBLE UPDATING ARE AVAILABLE ON REQUEST

# SFB Industries

SASCHA COELS

SFB Industries e.K.  
Waldstr. 1  
77880 Sasbach-Obersasbach

Telefon: +49 (0)7841 / 63087-70  
Mobil: +49 (0)151 / 10 505 441  
Telefax: +49 (0)7841 / 63087-72

Internet: [www.sfb-industries.de](http://www.sfb-industries.de)

E-Mail: [info@sfb-industries.de](mailto:info@sfb-industries.de)

## **SIRAI-Magnetventile**

- Beratung und Verkauf
- alle Typen
- sowie Ersatzteile und Zubehör

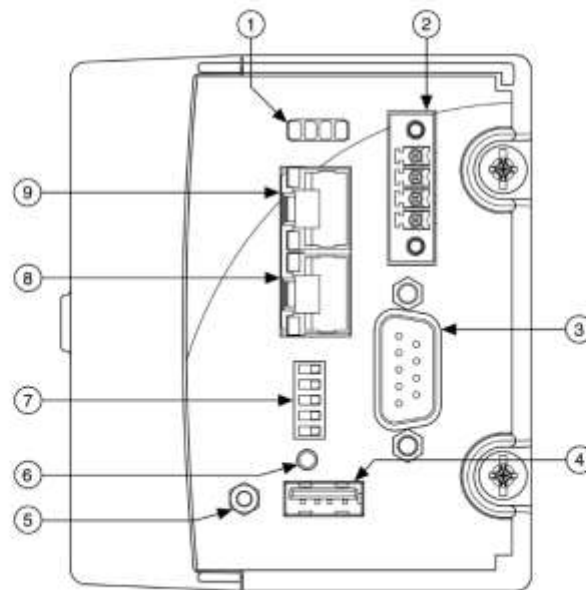
USER MANUAL AND SPECIFICATIONS

# NI cRIO-9022

## Intelligent Real-Time Embedded Controller for CompactRIO

This document describes how to set up and use the NI cRIO-9022 and contains specifications for the controller.

**Figure 1. cRIO-9022 Front Panel**

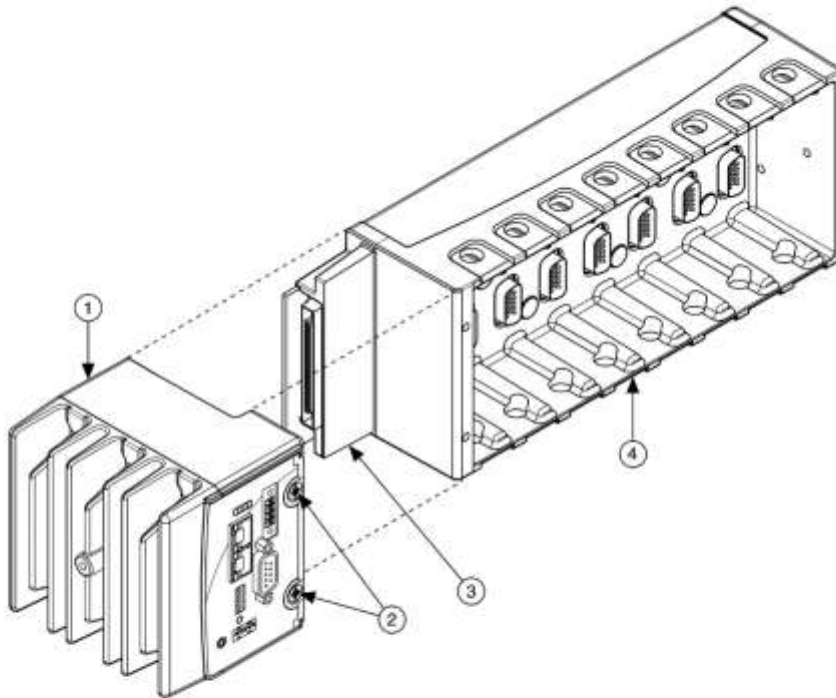


- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| 1. LEDs                   | 6. Reset Button          |
| 2. Power Connector        | 7. DIP Switches          |
| 3. RS-232 Serial Port     | 8. RJ-45 Ethernet Port 1 |
| 4. USB Port               | 9. RJ-45 Ethernet Port 2 |
| 5. USB Retention Standoff |                          |

Refer to the reconfigurable chassis documentation on [ni.com/manuals](http://ni.com/manuals) for more information about the chassis. Refer to [ni.com/gettingstarted](http://ni.com/gettingstarted) for information about using the system after it is set up and configured. For information about software support, visit [ni.com/info](http://ni.com/info) and enter the Info Code `swsupport`.



**Figure 2.** Installing the cRIO-9022 on the Chassis



1. Controller
2. Captive Screws

3. Chassis Connector
4. Chassis

3. Slide the cRIO-9022 onto the chassis connector. Press firmly to ensure the chassis connector and the cRIO-9022 connector are mated.
4. Using a Phillips #2 screwdriver, tighten the two captive screws on the front of the cRIO-9022 to 1.3 N · m (11.5 lb · in.) of torque.

## Dimensions

The following figure shows the cRIO-9022 dimensions.

## Datenblatt S1104040



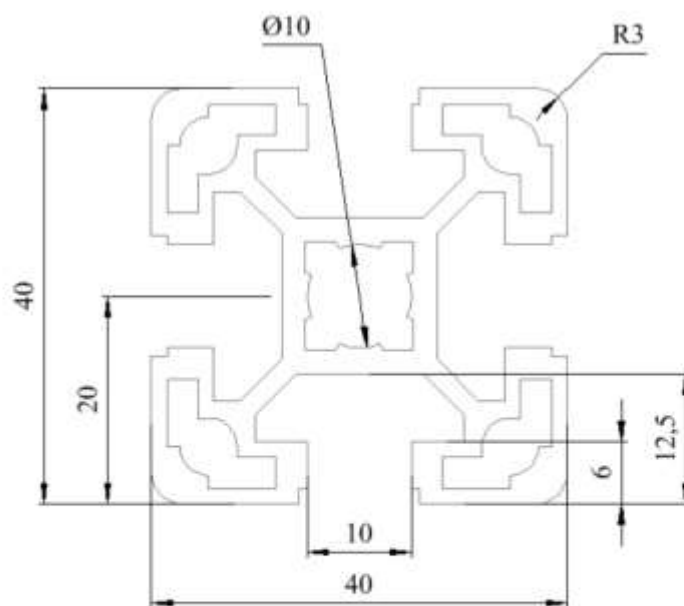
### Profil 10 40x40

#### Technische Daten

Werkstoff: AlMgSi0,5F25 natur eloxiert  
Trägheitsmoment Ix: 8,93  
Trägheitsmoment Iy: 8,93  
Widerstandsmoment Wx: 4,46  
Widerstandsmoment Wy: 4,46  
Gewicht/m: 1,547 kg

#### Artikel

Bezeichnung: Profil 10 40x40  
Artikel.-Nr.: S1104040



**Datenblatt**  
**S1108080**



**Profil 10 80x80**

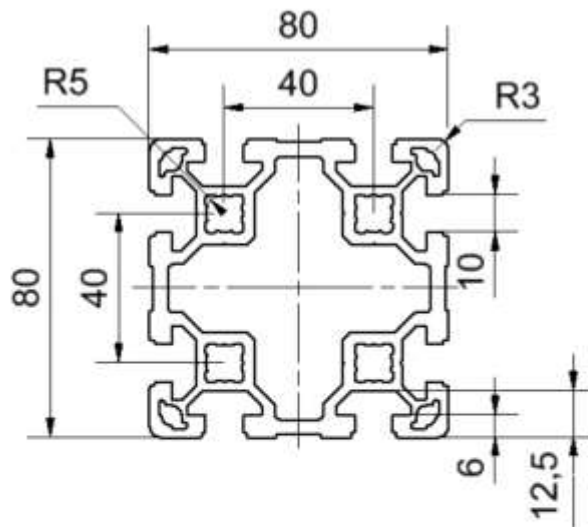
**Technische Daten**

Werkstoff: AlMgSi0,5F25 natur eloxiert  
Trägheitsmoment Ix: 138,14  
Trägheitsmoment Iy: 138,14  
Widerstandsmoment Wx: 34,53  
Widerstandsmoment Wy: 34,53  
Gewicht/m: 5,198 kg



**Artikel**

Bezeichnung: Profil 10 80x80  
Artikel.-Nr.: S1108080



SMT GmbH  
Aspenhastr. 17  
72770 Reutlingen

Tel.: 07121 / 515 388-0  
Fax: 07121 / 515 388-99  
[www.smt-montagetechnik.de](http://www.smt-montagetechnik.de)



**Datenblatt**  
**S1109090L**



**Profil 10 90x90 leicht**

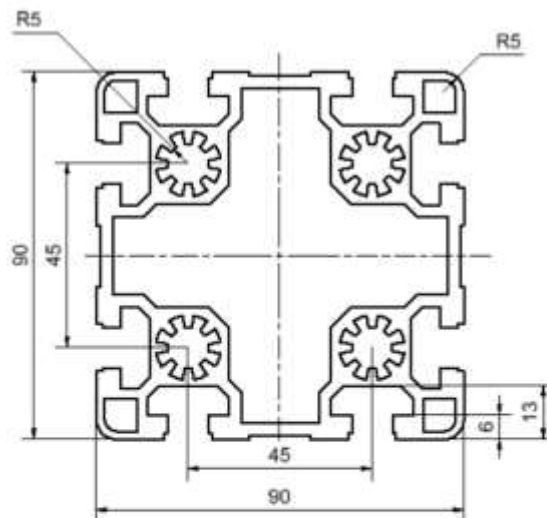
**Technische Daten**

Werkstoff: AlMgSi0,5F25 natur eloxiert  
Trägheitsmoment Ix: 207,45  
Trägheitsmoment Iy: 207,45  
Widerstandsmoment Wx: 46,09  
Widerstandsmoment Wy: 46,09  
Gewicht/m: 6,346 kg



**Artikel**

Bezeichnung: Profil 10 90x90 leicht  
Artikel.-Nr.: S1109090L



SMT GmbH  
Aspenhastr. 17  
72770 Reutlingen

Tel.: 07121 / 515 388-0  
Fax: 07121 / 515 388-99  
[www.smt-montagetechnik.de](http://www.smt-montagetechnik.de)

DATASHEET


# NI 9381

8 AI/8 AO/4 DIO, 0 V to 5 V, 12 Bit, 20 kS/s Aggregate



- DSUB connectivity
- 4 LVTTTL lines with a 1 MHz update rate

The NI 9381 multifunction I/O module for CompactRIO systems. The NI 9381 combines common I/O circuitry into a single module to help system designers fit more functionality into a single system.

	<b>Kit Contents</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• NI 9381</li><li>• NI 9381 Getting Started Guide</li></ul>
	<b>Front-Mount</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• NI 9923 Screw-Terminal Block</li></ul>
	<b>Cable</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• DSUB Cable, 1 m (778621-01)</li><li>• Din-Rail Spring-Terminal Block (778676-01)</li></ul>



[certification](#), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

## Shock and Vibration

---

To meet these specifications, you must panel mount the system.

Operating vibration	
Random (IEC 60068-2-64)	5 g <sub>rms</sub> , 10 Hz to 500 Hz
Sinusoidal (IEC 60068-2-6)	5 g, 10 Hz to 500 Hz
Operating shock (IEC 60068-2-27)	30 g, 11 ms half sine; 50 g, 3 ms half sine; 18 shocks at 6 orientations

## Environmental

---

Refer to the manual for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.

Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 70 °C
Storage temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 85 °C
Ingress protection	IP40
Operating humidity (IEC 60068-2-78)	10% RH to 90% RH, noncondensing
Storage humidity (IEC 60068-2-78)	5% RH to 95% RH, noncondensing
Pollution Degree	2
Maximum altitude	2,000 m

Indoor use only.

## Environmental Management

---

NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial to the environment and to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *Minimize Our Environmental Impact* web page at [ni.com/environment](http://ni.com/environment). This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

- EN 60079-0:2012, EN 60079-15:2010
- IEC 60079-0: Ed 6, IEC 60079-15; Ed 4
- UL 60079-0; Ed 5, UL 60079-15; Ed 3
- CSA 60079-0:2011, CSA 60079-15:2012



**Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.

## Electromagnetic Compatibility

---

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-1 (IEC 61326-1): Class A emissions; Industrial immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



**Note** In the United States (per FCC 47 CFR), Class A equipment is intended for use in commercial, light-industrial, and heavy-industrial locations. In Europe, Canada, Australia and New Zealand (per CISPR 11) Class A equipment is intended for use only in heavy-industrial locations.



**Note** Group 1 equipment (per CISPR 11) is any industrial, scientific, or medical equipment that does not intentionally generate radio frequency energy for the treatment of material or inspection/analysis purposes.



**Note** For EMC declarations and certifications, and additional information, refer to the [Online Product Certification](#) section.

## CE Compliance

---

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as follows:

- 2014/35/EU; Low-Voltage Directive (safety)
- 2014/30/EU; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)
- 94/9/EC; Potentially Explosive Atmospheres (ATEX)

## Online Product Certification

---

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit [ni.com/](http://ni.com/)

## Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.



**Tip** For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit [ni.com/dimensions](https://ni.com/dimensions) and search by module number.

Weight	145 g (5.1 oz)
--------	----------------

## Power Requirements

Power consumption from chassis

Active mode	600 mW maximum
Sleep mode	1 mW maximum

Thermal dissipation (at 70 °C)

Active mode	600 mW maximum
Sleep mode	1 mW maximum

## Safety Voltages

Isolation

Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	None

## Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (ATEX) and International (IECEx)	Ex nA IIC T4 Gc

## Safety and Hazardous Locations Standards

This product is designed to meet the requirements of the following electrical equipment safety standards for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

## Stability

Gain drift	85 ppm/°C
Offset drift	180 $\mu$ V/°C

**Table 2. Accuracy<sup>3</sup>**

Measurement Conditions		Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range (Offset Error)
Calibrated	Maximum (-40 °C to 70 °C)	$\pm$ 1.02%	$\pm$ 23.5 mV
	Typical (23 °C, $\pm$ 5 °C)	$\pm$ 0.19%	$\pm$ 5 mV
Uncalibrated <sup>4</sup>	Maximum (-40 °C to 70 °C)	$\pm$ 1.9%	$\pm$ 50 mV
	Typical (23 °C, $\pm$ 5 °C)	$\pm$ 0.6%	$\pm$ 10 mV

## Digital Input/Output

Number of channels	4 channels
Default power-on line direction	Input
Input/output type	LVTTL, single-ended
Digital logic levels	
Maximum input voltage	5.2 V
Input high, $V_{IH}$	2 V
Input low, $V_{IL}$	0.8 V
Output high, $V_{OH}$	
Sourcing 100 $\mu$ A	2.7 V
Output low, $V_{OL}$	
Sinking 100 $\mu$ A	0.2 V
Maximum I/O switching frequency	1 MHz
Capacitive drive	100 pF

<sup>3</sup> Accuracy is impacted for AC signals by an amount equal to  $4.0/f$   $\mu$ V, where  $f$  is the signal frequency in hertz

<sup>4</sup> Uncalibrated accuracy refers to the accuracy achieved when acquiring in raw or unscaled modes where the calibration constants stored in the module are not applied to the data.

Input impedance	1 M $\Omega$ in parallel with 50 pF
Bandwidth	1 kHz
Stability	
Gain drift	80 ppm/ $^{\circ}$ C
Offset drift	85 $\mu$ V/ $^{\circ}$ C

**Table 1. Accuracy<sup>1</sup>**

Measurement Conditions		Percent of Reading (Gain Error)	Percent of Range (Offset Error)
Calibrated	Maximum (-40 $^{\circ}$ C to 70 $^{\circ}$ C)	$\pm$ 0.70%	$\pm$ 13 mV
	Typical (23 $^{\circ}$ C, $\pm$ 5 $^{\circ}$ C)	$\pm$ 0.15%	$\pm$ 6.5 mV
Uncalibrated <sup>2</sup>	Maximum (-40 $^{\circ}$ C to 70 $^{\circ}$ C)	$\pm$ 1.00%	$\pm$ 16 mV
	Typical (23 $^{\circ}$ C, $\pm$ 5 $^{\circ}$ C)	$\pm$ 0.50%	$\pm$ 7.5 mV

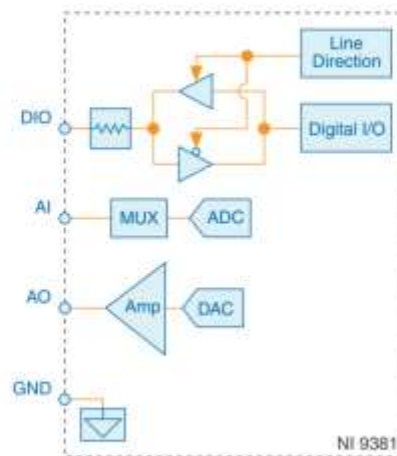
## Analog Output

Number of channels	8 channels
DAC resolution	12 bits
Type of DAC	String
Startup voltage	0 V
Output range	0 V to 5 V $\pm$ 1%
Current drive	$\pm$ 1 mA
Output impedance	5 $\Omega$
Update time	50 $\mu$ s (20 kS/s)
Short-circuit protection	Indefinitely
Slew rate	30 V/ms
Settling time	900 $\mu$ s
DNL	$\pm$ 1 LSB
Capacitive drive	1,500 pF

<sup>1</sup> Accuracy is impacted for AC signals by an amount equal to  $4.0/f$   $\mu$ V, where f is the signal frequency in hertz.

<sup>2</sup> Uncalibrated accuracy refers to the accuracy achieved when acquiring in raw or unscaled modes where the calibration constants stored in the module are not applied to the data.

## NI 9381 Circuitry



- The module provides an analog-to-digital converter (ADC), eight digital-to-analog converters (DAC), and four digital lines.
- Line direction logic enables/disables the line input and output transceiver.

## NI 9381 Specifications

The following specifications are typical for the range  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  to  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  unless otherwise noted.



**Caution** Do not operate the NI 9381 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

### Analog Input

Number of channels	8 single-ended channels
ADC resolution	12 bits
Type of ADC	Successive approximation register (SAR)
Input range	0 V to 5 V $\pm 1\%$
DNL	$\pm 1.25$ LSB
Conversion time	50 $\mu\text{s}$ (20 kS/s)
Input coupling	DC



## Software

### LabVIEW Professional Development System for Windows



- Use advanced software tools for large project development
- Use advanced measurement analysis and digital signal processing
- Take advantage of open connectivity with DLLs, ActiveX, and .NET objects
- Build DLLs, executables, and MSI installers

### NI LabVIEW FPGA Module



- Design FPGA applications for NI RIO hardware
- Program with the same graphical environment used for desktop and real-time applications
- Execute control algorithms with loop rates up to 300 MHz
- Implement custom timing and triggering logic, digital protocols, and DSP algorithms
- Incorporate existing HDL code and third-party IP including Xilinx IP generator functions
- Purchase as part of the LabVIEW Embedded Control and Monitoring Suite

### NI LabVIEW Real-Time Module



- Design deterministic real-time applications with LabVIEW graphical programming
- Download to dedicated NI or third-party hardware for reliable execution and a wide selection of I/O
- Take advantage of built-in PID control, signal processing, and analysis functions
- Automatically take advantage of multicore CPUs or set processor affinity manually
- Take advantage of real-time OS, development and debugging support, and board support
- Purchase individually or as part of a LabVIEW suite

NI 9381 MODULE COMPARISON					
Product Name	Measurement Type	Channels	Range	Resolution	Connectivity
NI 9201	AI	8	±10 V	12 Bit	Screw-terminal, Spring-terminal, DSUB
NI 9263	AO	4	±10 V	16 Bit	Screw-terminal, Spring-terminal
NI 9381	AI, AO, DIO	8 AI, 8 AO, 4 DIO	0 V to 5 V, 3 V TTL	12 Bit	DSUB
NI 9401	DIO	8	5 V TTL	—	DSUB

## NI C Series Overview



NI provides more than 100 C Series modules for measurement, control, and communication applications. C Series modules can connect to any sensor or bus and allow for high-accuracy measurements that meet the demands of advanced data acquisition and control applications.

- Measurement-specific signal conditioning that connects to an array of sensors and signals
- Isolation options such as bank-to-bank, channel-to-channel, and channel-to-earth ground
- -40 °C to 70 °C temperature range to meet a variety of application and environmental needs
- Hot-swappable

The majority of C Series modules are supported in both CompactRIO and CompactDAQ platforms and you can move modules from one platform to the other with no modification.

### CompactRIO



CompactRIO combines an open-embedded architecture with small size, extreme ruggedness, and C Series modules in a platform powered by the NI LabVIEW reconfigurable I/O (RIO) architecture. Each system contains an FPGA for custom timing, triggering, and processing with a wide array of available modular I/O to meet any embedded application requirement.

## Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

---



**EU Customers** At the end of the product life cycle, all NI products must be disposed of according to local laws and regulations. For more information about how to recycle NI products in your region, visit [ni.com/environment/weee](http://ni.com/environment/weee).

## 电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）

---



**中国客户** National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china)。(For information about China RoHS compliance, go to [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china).)

## Calibration

---

You can obtain the calibration certificate and information about calibration services for the NI 9381 at [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

Refer to the *NI Trademarks and Logo Guidelines* at [ni.com/trademarks](http://ni.com/trademarks) for information on NI trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering NI products/technology, refer to the appropriate location: **Help>Patents** in your software, the `patents.txt` file on your media, or the *National Instruments Patent Notice* at [ni.com/patents](http://ni.com/patents). You can find information about end-user license agreements (EULAs) and third-party legal notices in the readme file for your NI product. Refer to the *Export Compliance Information* at [ni.com/legal/export-compliance](http://ni.com/legal/export-compliance) for the NI global trade compliance policy and how to obtain relevant HTS codes, ECCNs, and other import/export data. NI MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES AS TO THE ACCURACY OF THE INFORMATION CONTAINED HEREIN AND SHALL NOT BE LIABLE FOR ANY ERRORS. U.S. Government Customers: The data contained in this manual was developed at private expense and is subject to the applicable limited rights and restricted data rights as set forth in FAR 52.227-14, DFAR 252.227-7014, and DFAR 252.227-7015.

© 2016 National Instruments. All rights reserved.

375983A-02 Mar16

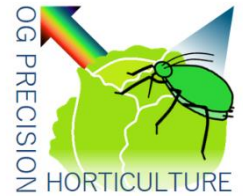
Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete unter Beteiligung des Landes Nordrhein-Westfalen.



**Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Operationelle Gruppe:  
Präzisionsgartenbau



Innovationsprojekt:  
Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels  
Präzisionserkennung und -applikation von  
Pflanzenschutzmitteln

# Zusammenführung der Erkennungs- und Applikationskomponente

von

David Lenzen (Universität Bonn)  
Laura Verena Junker-Frohn (Forschungszentrum Jülich)

30.09.2020



Landgard®



---

EIP-Agri Projekt OG Präzisionsgartenbau

## **Optimierung des Anbaus von Pflücksalaten mittels Präzisionserkennung und -applikation von Pflanzenschutzmitteln**

Arbeitspaket 3

### **Zusammenführung der Erkennungs- und Applikationskomponente**

David Lenzen und Laura Verena Junker-Frohn

#### **Einleitung**

In der modernen Landwirtschaft nehmen die ökonomischen und ökologischen Herausforderungen immer stärker zu. Ein ressourcensparendes und umweltbewusstes Wirtschaften der Landwirte ist dabei ein wichtiges Werkzeug diesen Herausforderungen gerecht zu werden. Dies gilt besonders für den Pflanzenschutz arbeitsintensiver Gemüsekulturen, wie z.B. Salat. Zur Bekämpfung von Blattlausbefall ist hier beispielsweise eine regelmäßige Applikation von Pflanzenschutzmitteln (PSM) nötig. Ein selektives Spritzverfahren, welches Salatpflanzen detektiert und gezielt über der Pflanze das Pflanzenschutzmittel appliziert, könnte den PSM-Bedarf deutlich reduzieren. Dies würde zum einen zu geringeren PSM-Einträgen in die Umwelt führen und hätte somit einen ökologischen Vorteil. Zum anderen wäre mit einem wirtschaftlichen Vorteil zurechnen, da insgesamt weniger PSM verbraucht werden würde.

In der hier durchgeführten Studie soll zunächst unter Laborbedingungen ein neuartiges selektives Spritzverfahren getestet werden. Mit einem Hyperspektralsensor soll über die Analyse spektraler Reflexion von Salatpflanzen ein analoges Signal generiert werden, wenn sich der Sensor über einer Pflanze befindet. Das Signal soll dann über ein computergesteuertes Spritzsystem verarbeitet werden, welches daraufhin einen gezielten Sprühstoß über der detektierten Pflanze abgeben soll. Über ein von der Landtechnik der Universität Bonn entwickeltes Schienensystem kann das Spritzsystem auf einem Wagen bewegt werden. Mit entlang des Schienensystems aufgestellten eingetopften Salatpflanzen soll die Funktionalität der Implementierung des Hyperspektralsensors in das Pflanzenspritzsystem getestet werden.

## **1 Material und Methoden**

### **1.1 Standort**

Die Versuche wurden in der Maschinenhalle der Landtechnik der Universität Bonn durchgeführt.

### **1.2 Pflanzenaufzucht**

Als Versuchspflanze wurde „Mini Romana“-Salat verwendet. Dieser wurde auf dem Jungpflanzenbetrieb Klein in Bornheim vorgezogen. Mit einer Wuchshöhe von 4 - 5cm wurden diese dann in Kunststofftöpfe mit einem Durchmesser von 12,5cm und einem Volumen von ca. 1130cm<sup>3</sup> gepflanzt. Während der Versuchsreihe standen die Pflanzen in den Gewächshäusern der Universität Bonn mit einer konstanten Temperatur von ca. 27°C und wurden regelmäßig bewässert.

### **1.3 Versuchstand zur Entwicklung eines selektiven Spritzverfahrens**

Die Versuche wurden mithilfe eines von der Landtechnik entwickelten Schienensystems mit integrierter Pflanzenschutzspritze durchgeführt. Angetrieben durch einen Elektromotor kann ein Wagen auf einer Schiene vor und zurück bewegt werden. Die Geschwindigkeit kann stufenlos eingestellt werden. Auf dem Wagen ist eine Pflanzenschutzspritze mit einem eigenem Druckbehälter montiert. Über ein Magnetventil kann eine Düse mit austauschbaren Sprühköpfen angesteuert werden. Für diesen Versuch wurde eine Rundstrahldüse verwendet. Die Distanz zur Zielfläche kann mit einer beweglichen vertikalen Achse justiert werden, welche durch einen Stellmotor angetrieben wird.

Die Steuerung des Systems funktioniert mit dem Programmiersystem LabView (National Instruments corp., 2020) über einen externen PC. Auf einer Grafikoberfläche sind sämtliche Steuerungsfunktionen hinterlegt, womit die gesamte Steuerung des Systems möglich ist.

### **1.4 Hyperspektralsensor zur Detektion der Pflanzen**

Zur Detektion der spektralen Reflexion wurde die sogenannte Reflectance box (RoX) verwendet, welche vom Forschungszentrum Jülich und JB Hyperspectral Devices entwickelt wurde. Die RoX ist ein kompakter batteriebetriebener Hyperspektralsensor mit integriertem Prozessor und einer Schnittstelle zur Übertragung eines Outputsignals an das Spritzsystem. Ein FLAME Spektrometer (Ocean Optics, Florida, USA) detektiert einfallendes Licht mit einer Wellenlänge zwischen 400nm und 950nm. Durch zwei Glasfaseroptiken wird sequentiell sowohl das einfallende Umgebungslicht als auch das reflektierte Licht der bemessenden Oberfläche detektiert und miteinander verrechnet. Somit ist es möglich die Reflexion von Oberflächen bei sich verändernden Lichtbedingungen, ohne eine ständige Normalisierung der Daten, zu erfassen. Eine

Messung des Gesamtspektrums dauert je nach Lichtbedingung zwischen 10s und 30s. Die Glasfaseroptiken haben ein 180° großes Sichtfeld für das einfallende Umgebungslicht und ein 25° großes Sichtfeld für das reflektierte Licht

Für eine schnelle und sichere Detektion von grünem Pflanzenmaterial wurde die Software der RoX grundlegend verändert. Für eine entscheidende Verkürzung der Messzeit wurde das zu detektierende Reflexionsspektrum auf lediglich zwei Wellenlängen reduziert. Grünes Pflanzenmaterial reflektiert relativ wenig Licht in den Wellenlängenbereichen zwischen 600 – 700nm und sehr viel zwischen 750 – 950nm. Die Berechnung des sogenannten „Normalized Difference Vegetation Index“ (NDVI) gibt Rückschlüsse auf die Intensität grüner Blattmasse und somit auf die Vitalität und den Bedeckungsgrad (Katsoulas et al. 2016; Penuelas et al. 1997). Dazu werden Wellenlängen beider Bereiche wie folgt miteinander verrechnet:

$$NDVI = \frac{(R_{800nm} - R_{670nm})}{(R_{800nm} + R_{670nm})}$$

R = Reflexion

Die Werte der Reflexion und somit auch die NDVI-Werte sind einheitslose Werte zwischen 0 und 1.

Da bei dem hier durchgeführten Versuch künstliche Lichtbedingungen vorherrschten, wurden die benutzten Wellenlängen angepasst. Die höchsten NDVI-Werte konnten bei 550nm und 950nm gemessen werden. Zur Erfassung von grünem Pflanzenmaterial waren somit lediglich diese beiden Wellenlängen von Bedeutung. Über eine USB-Schnittstelle konnten an einem Laptop die detektierten NDVI-Werte abgelesen und bei Bedarf aufgezeichnet werden.

Des Weiteren wurde die Messung des einfallenden Umgebungslichts nur einmalig zu Beginn der jeweiligen Messreihe durchgeführt. Diese wurde dann für alle folgenden Reflexionsmessungen als Referenz benutzt. Dies war durch die gleichbleibenden Lichtbedingungen in der Maschinenhalle möglich und konnte die Messdauer ebenfalls deutlich verkürzen.

Durch weitere Anpassungen der Software, wie z.B. der Deaktivierung des Displays und der automatischen Datenspeicherung, konnte die Messzeit auf 100ms reduziert werden.

Die RoX wurde zudem so konstruiert, dass ein analoges Output-Signal generiert wird, wenn der detektierte NDVI-Wert einen vorbestimmten Grenzwert übersteigt. Der Grenzwert war stufenlos einstellbar und konnte dadurch den jeweiligen Messsituationen angepasst werden. Das analoge Output-Signal diente als Auslösesignal für das Magnetventil des Spritzsystems.

Das Output-Signal der RoX konnte im Spritzsystem nicht gespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt verarbeitet werden. Somit war es nur möglich, das übertragene Output-Signal sofort



bzw. mit einer voreingestellten Verzögerungszeit (Off-Set Zeit) an das Magnetventil weiterzuleiten. Der Abstand zwischen Spritzdüse und Glasfaseroptik musste demnach kleiner als der Abstand zwischen den Pflanzen sein. Als geeigneter Abstand zwischen Spritzdüse und Glasfaseroptik wurden 12,5cm gewählt.

## **1.5 Versuchsdurchführung**

Die RoX wurde auf dem Wagen des Schienensystems montiert und über ein Triggerkabel zur Übertragung des analogen Signals mit dem Spritzsystem verbunden. Die beiden Glasfaseroptiken wurden mit speziellen Befestigungsplatten am Wagen montiert. Eine am höchsten Punkt des Wagens zur Erfassung des Umgebungslichtes und eine an der höhenverstellbaren vertikalen Achse des Wagens zur Erfassung des reflektierten Lichts (Abbildung 1).

Die höchsten NDVI-Werte wurden bei einem Abstand von 23cm zwischen Glasfaseroptik und dem oberen Pflanzentopfrand gemessen. Mit zunehmendem Abstand wurden die Werte deutlich kleiner. Eine tiefere Positionierung war nicht möglich, da die Glasfaseroptik sonst im Sprühbereich der Spritzdüse gewesen wäre. Des Weiteren ergab sich dadurch ein ausreichend großes Messfeld mit einem Radius von ca. 22cm.

Aufgrund der schwachen Lichtbedingungen in der Versuchshalle wurde ein 500 Watt Halogenstrahler an dem Wagen montieren, welcher das ganze Messfeld der unteren Glasfaseroptiken ausgeleuchtet hat.

37 Pflanzentöpfe wurden mit einem Abstand von 20cm von Topfmitte zu Topfmitte auf einer Länge von 7,4m in einer Reihe entlang des Schienensystems aufgestellt, sodass der Sensor mittig über den Pflanzen positioniert war.

Der Druckbehälter wurde mit Wasser befüllt, um die benötigte Öffnungsdauer des Magnetventils visuell festzustellen.

Empirisch sollte ermittelt werden welche Off-Set Zeit und welche Auslösedauer des Magnetventils bei 8 unterschiedlichen Geschwindigkeiten zwischen 0,26m/s und 0,79m/s nötig sind, dass jede Pflanze korrekt bespritzt wird. Des Weiteren sollte aufgezeichnet werden wie viele Pflanzen bei welcher Geschwindigkeit nicht detektiert wurden und somit auch nicht bespritzt wurden.

Es wurden insgesamt drei Versuchsreihen durchgeführt. Einmal mit 6 - 8cm und einmal nach einer Woche Wachstum im Gewächshaus mit 15 – 17cm hohen Pflanzen. Somit sollte beobachtet werden, inwiefern die Pflanzengröße die oben genannten Punkte beeinflusst.

Aufgrund nicht zufriedenstellender Spritzergebnisse wurde im weiteren Verlauf eine zusätzliche Versuchsreihe mit größeren Pflanzen durchgeführt, wobei die NDVI-Werte und die Messzeit während der Überfahrt aufgezeichnet wurden. Somit sollten genauere Erkenntnisse über die Messgenauigkeit der RoX gesammelt werden.

Da bei höheren Geschwindigkeiten bei der ursprünglich eingestellten Signaldauer von 100ms es zu einer teilweisen dauerhaften Öffnung des Magnetventils kam, wurde in der dritten Versuchsreihe die Signaldauer auf 1ms reduziert.

Off-Set Zeit und die Öffnungsdauer des Magnetventils wurden so gewählt, dass jede Pflanze einzeln und vollständig bespritzt wurde.

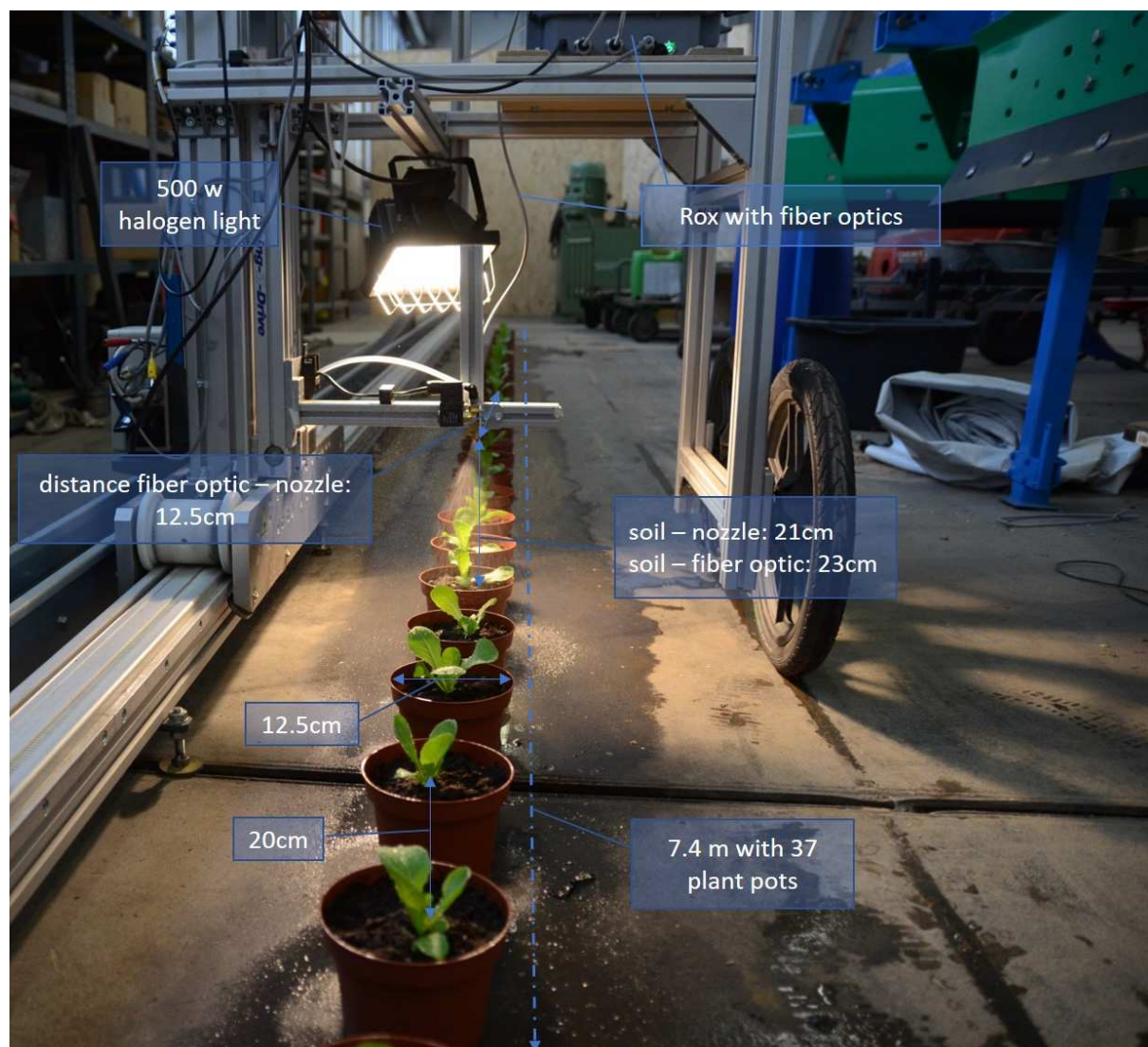


Abbildung 1 Versuchsaufbau mit jungen Salatpflanzen, Schienensystem mit Wagen und montierter Reflection box (RoX).

Der NDVI-Grenzwert wurde empirisch durch Messungen entlang von Einzelpflanzen ermittelt. Die kleinsten Werte, die oberhalb einer Pflanze gemessen wurden, wurden für die entsprechende Pflanzengröße als Grenzwert festgelegt. Beim Überschreiten des Grenzwertes wurde dann ein analoges Signal über das Triggerkabel an das Spritzsystem übertragen. Für die Versuchsreihe mit den kleinen Pflanzen wurde ein Grenzwert von 0,4 gewählt, für die mittleren und großen Pflanzen 0,5.

## 2 Ergebnisse

Die zwei ersten Versuchsreihen lieferten sehr unterschiedlich gute Ergebnisse hinsichtlich der Messgenauigkeit des Systems.

An beiden Messtagen wurden 8 verschiedene Geschwindigkeiten des Wagens getestet. Aufgezeichnet wurde die nötige Off-Set Zeit, die Öffnungsdauer des Magnetventils und die Anzahl nicht detektierter Pflanzen. Am ersten Messtag gab es bei allen 8 Geschwindigkeiten nicht detektierte Pflanzen, wobei sich die Anzahl mit zunehmender Geschwindigkeit deutlich erhöht hat. Beispielsweise waren es bei rund 0,3 m/s 3 Pflanzen (8% aller Pflanzen), bei rund 0,8 m/s waren es fast 18 Pflanzen (49% aller Pflanzen) (Tabelle 1). Eine eindeutige Detektion aller Salatpflanzen mit einer Größe von 6 – 8cm konnte mit den verwendeten Geschwindigkeiten demnach nicht erreicht werden.

Tabelle 1 Off-Set Zeit, Öffnungsdauer des Magnetventils und die Anzahl nicht gespritzter Pflanzen bei 8 unterschiedlichen Geschwindigkeiten des Wagens am ersten Messtag mit 6 – 8cm großen Salatpflanzen; gesamte Pflanzenzahl = 37.

<b>Geschwindigkeit [m/s]</b>	<b>Off-Set Zeit [ms]</b>	<b>Öffnungsdauer Magnetventil [ms]</b>	<b>Nicht gespritzte Pflanzen</b>
<b>0.26</b>	210	300	3 (8 %)
<b>0.34</b>	170	250	6 (16 %)
<b>0.41</b>	120	250	9 (24 %)
<b>0.49</b>	50	200	10 (27 %)
<b>0.56</b>	20	150	14 (38 %)
<b>0.64</b>	10	50	17 (46 %)
<b>0.71</b>	2	30	17 (46%)
<b>0.79</b>	0	15	18 (49 %)

Der zweite Messtag mit 15 – 17cm großen Salatpflanzen lieferte deutlich andere Ergebnisse. Bei allen 8 Geschwindigkeiten wurden alle 37 Pflanzen bespritzt. Allerdings war ein selektives Auslösen des Magnetventils nicht mehr möglich. Es wurde nahezu dauerhaft ein Output-Signal von der RoX an das Spritzsystem übertragen, wodurch es zu einer dauerhaften Auslösung des Magnetventils kam.

In einer weiteren Versuchsreihe mit einer reduzierten Signalübertragungsdauer von 1ms der RoX konnte das dauerhafte Auslösen des Magnetventils unterbunden werden. Durch die Aufzeichnung der NDVI-Werte und der genauen Messzeiten der RoX konnten außerdem genauere Ergebnisse zur Messgenauigkeit des Systems gesammelt werden.

Abbildung 2 stellt die NDVI-Werte während der Überfahrten der gesamten Pflanzenreihe dar. Die niedrigen konstanten Werte zu Beginn und am Ende der Aufzeichnungen sind jeweils Messungen des Bodens vor und nach der Pflanzenreihe. Die Ergebnisse zeigten deutlich, dass höhere Geschwindigkeiten zu einem kleineren Schwanken der NDVI-Werte führten und dass der gesetzte Grenzwert seltener bis gar nicht mehr unterschritten wurde.

Die Signalübertragungsdauer der RoX wurde hier auf 1ms reduziert. Somit kam es nicht mehr zu einem dauerhaften Auslösen des Magnetventils bei entsprechend kurzer Öffnungszeit.

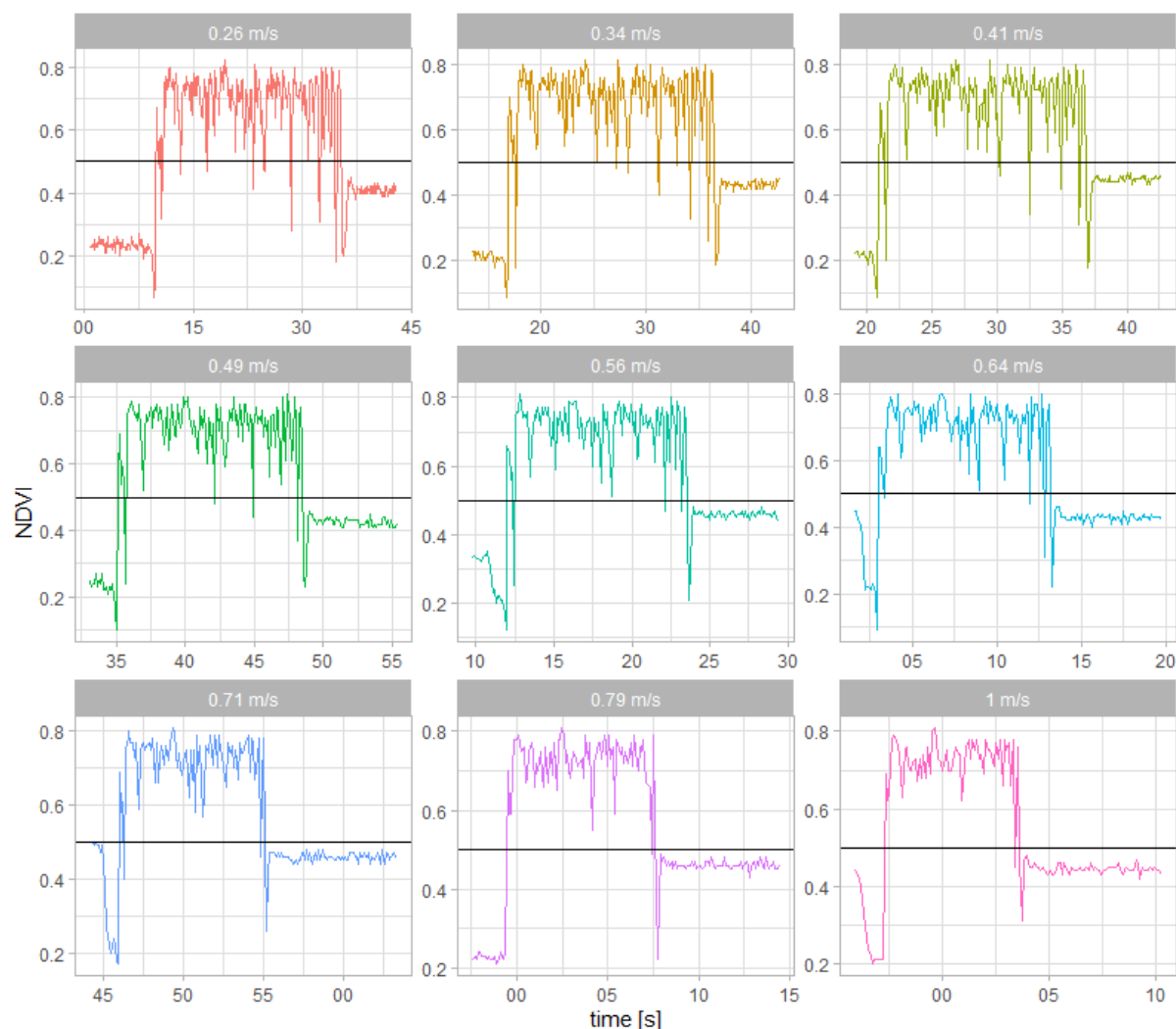


Abbildung 2 NDVI-Werte während der Überfahrt von 37 großen Salatpflanzen (Blattlänge > 20cm) bei 9 verschiedenen Arbeitsgeschwindigkeiten, Position des Sensors in Sekunden der Messung. Die schwarze horizontale Linie stellt den gesetzten NDVI-Grenzwert von 0,5 dar.

Die Aufzeichnung der Messzeit der RoX (Abbildung 3) zeigte, dass diese nicht konstant 100ms betrug. Die Zeiten bewegten sich zwar hauptsächlich um 100ms. Jedoch gab es einige Messungen, die länger als 200ms dauerten und einige, die deutlich kürzer als 100ms waren.

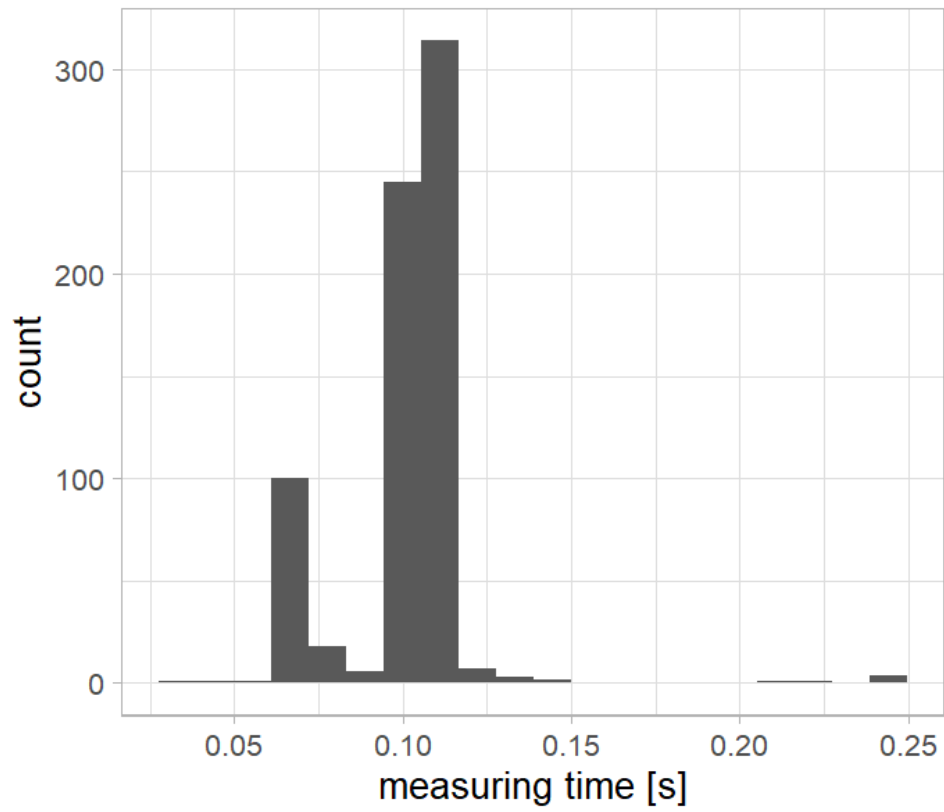


Abbildung 3 Histogramm der Messzeiten der RoX während den Messungen (n=704).

### 3 Diskussion

Der Versuch hat deutlich gezeigt, dass es grundsätzlich möglich ist grünes Pflanzenmaterial über die Detektion zwei ausgewählter Wellenlängen mittels eines Hyperspektralsensors selektiv zu bespritzen.

Selbst unter den schlechten Lichtbedingungen in der Maschinenhalle konnten bei einer ausreichenden Pflanzengröße Pflanzen sicher detektiert werden.

Bei zu geringer Pflanzengröße war eine sichere Detektion hingegen nicht möglich. Größere Pflanzen konnten zwar zuverlässig detektiert werden, jedoch hatten viele Pflanzen einen Durchmesser von mehr als 20cm. Dadurch haben sich die jeweils äußeren Blätter überlappt und es kam zu einer dauerhaften Übersteigerung des Grenzwertes, auch zwischen den Pflanzentöpfen. Verantwortlich für die unzureichende Detektion von kleinen Pflanzen war die Messdauer von 100ms der RoX unabhängig von der Geschwindigkeit des Wagens. Das heißt bei einer höheren Geschwindigkeit des Wagens vergrößerte sich auch der Messbereich der Glasfaseroptik in Fahrtrichtung. Der relative Bedeckungsgrad des Messfeldes durch die Salatpflanzen nahm somit bei zunehmender Geschwindigkeit ab und die detektierten NDVI-Werte der einzelnen Messungen haben sich zunehmend weniger unterschieden. Der voreingestellte Grenzwert wurde seltener übertroffen und es wurde seltener ein Output-Signal abgegeben.

Bei mittleren und großen Salatpflanzen war durch die zunehmend größer werdenden Messfeldern bei steigenden Geschwindigkeiten und den sich überlappenden Pflanzen eine Differenzierung einzelner Pflanzen kaum möglich. Die NDVI-Werte haben die einzelnen Messungen wurden zunehmend ähnlicher. Ein präzises selektives Spritzen einzelner Pflanzen war somit ebenfalls nicht möglich.

Des Weiteren lag die Messzeit der RoX nicht konstant bei 100ms. Hier waren deutliche Schwankungen festzustellen. Bei einer konstanten Off-Set- und Spritzdauerzeit kam es dadurch ebenfalls zu einer Verschlechterung der Spritzgenauigkeit.

Für eine Verbesserung des Systems wäre es zwingend nötig einen schnelleren und vor allen Dingen regelmäßig messenden Spektralsensor zu verwenden. Ein Multispektralsensor, der nur die zwei benötigten Wellenlängen misst und somit eine deutlich kürzere Messzeit hätte, würde eine präzisere Pflanzendetektion ermöglichen.

Das hier getestete System bestehend aus RoX und dem Spritzsystem hat deutlich gezeigt, dass ein selektiver Spritzvorgang einzelner Salatpflanzen bei ausreichender Größe unter Laborbedingungen grundsätzlich möglich ist. Eine Übertragung des Versuchsmodells auf einen Feldversuch bzw. eine praktische landwirtschaftliche Anwendung ist jedoch fraglich. Salatpflanzen werden im Allgemeinen mit einem Abstand von 20cm zueinander in Reihen gepflanzt. Innerhalb weniger Wochen ist jede Reihe nahezu lückenlos mit Salatblättern bedeckt. Ein selektives Spritzverfahren hätte hier demnach keinen Mehrwert, da auch hier die Spritzdüse dauerhaft geöffnet wäre während der Überfahrt. Mit anderen Kulturen, wie beispielsweise Blumenkohl, bei denen der Pflanzenabstand größer ist und sich keine Pflanzenteile überlappen, könnte allerdings ein Feldversuch durchaus vielversprechend sein und brauchbare Spritzergebnisse liefern. Die über den Pflanzenzwischenräumen eingesparten Pflanzenschutzmitteln würden sowohl unter umwelttechnischen als auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine Weiterentwicklung des Systems rechtfertigen.

#### **4 Literatur**

Katsoulas, N.; Elvanidi, A.; Ferentinos, K. P.; Kacira, M.; Bartzanas, T.; Kittas, C. (2016): Crop reflectance monitoring as a tool for water stress detection in greenhouses: A review. In: *Biosystems Engineering* **151** 374–398.

Penuelas, J.; Pinol, J.; Ogaya, R.; Filella, I. (1997): Estimation of plant water concentration by the reflectance Water Index WI (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing* **18** (13) 2869–2875.



Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete unter Beteiligung des Landes Nordrhein-Westfalen.



**Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen**



# **Anhang 5:**

## **Abstracts bzw. Veröffentlichungen**

dorée phytoplasma strain clusters and group 16SrV phytoplasmas infecting grapevine and alder in Europe. *Appl. Environ. Microbiol.* **73**, 4001-4010.

Foissac, X., M. Maixner, 2013: Spread of grapevine phytoplasma diseases in Europe. *Phytopathogenic Mollicutes* **3**(1), 47-50.

MAIXNER, M., W. REINERT, H. DARIMONT, 2000: Transmission of grapevine yellows by *Oncopsis alni* (Schrank) (Auchenorrhyncha : Macropsinae). *Vitis* **39**, 83-84.

MALEMBIC-MAHER, S., P. SALAR, D. VERGNES, X. FOISSAC, 2007 : Detection and diversity of "flavescence dorée" - related phytoplasmas in alders surrounding infected vineyards in Aquitaine (France). *Bull. Insectol.* **60**, 329-330.

## 41-5 - Experimentelle Untersuchung von charakteristischen Veränderungen der spektralen Reflektanz von Salatpflanzen bei Blattlausbefall

*Experimental approaches to identify characteristic changes in spectral reflectance of lettuce plants infested with aphids*

**Laura Verena Junker<sup>1</sup>, Hannah Jaenicke<sup>2</sup>, Uwe Rascher<sup>1</sup>, Onno Muller<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Bio- und Geowissenschaften, Pflanzenwissenschaften (IBG-2), 52428 Jülich

<sup>2</sup>Kompetenzzentrum Gartenbau (KOGA), Campus Klein-Altendorf 2, 53359 Rheinbach

Die große Salatblattlaus, *Nasonovia ribisnigri*, ist einer der Hauptschädlinge in Salatkulturen. Da das Vorkommen von Insekten in frischem Salat von Konsumenten nicht toleriert wird, bedeutet auch ein geringer Befall einen Ausschuss von der Vermarktung. Daher werden Salatfelder bei hohem Befallsdruck regelmäßig mit Pflanzenschutzmitteln behandelt. Da der Befall mit *N. ribisnigri* innerhalb eines Feldes in einem frühen Befallsstadium oft sehr heterogen ist, werden so auch unbefallene Pflanzen behandelt. Im Rahmen der sich entwickelnden Präzisionslandwirtschaft könnte der Einsatz von Sensoren zur Detektion von befallenen Pflanzen eine selektive Behandlung befallener Pflanzen erlauben. Dadurch würde der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduziert, ohne dass es zu Ernteeinbußen kommt. Studien mit Weizen, Hirse und Soja haben gezeigt, dass die systemische Stressreaktion der Pflanzen auf Blattlausbefall anhand spektraler Reflektanzmessungen detektiert werden kann (Alves et al., 2015, Elliott et al., 2015, Mirik et al., 2012). Bei diesen Messungen können Veränderungen der optischen Eigenschaften von Pflanzen mit relativ kostengünstigen Sensoren auf Ebene von Blättern, Einzelpflanzen und Beständen gemessen werden. In einer Reihe von Gewächshaus- und Freilandexperimenten haben wir Veränderungen der spektralen Reflektanz von Salatpflanzen, die mit *Nasonovia ribisnigri* befallen sind, untersucht. Hierbei lag der Fokus auf der Identifizierung charakteristischer Veränderungen der spektralen Reflektanz, die als Indikator für Blattlausbefall genutzt werden können. Zudem untersuchen wir, ab welcher Befallsdauer und -intensität eine zuverlässige Detektion möglich ist, da nur eine frühe Detektion von Blattlausbefall einen gezielten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ermöglicht. In Zusammenarbeit mit einem Salatproduzenten konnten wir unter Produktionsbedingungen im Feld messen. Zudem haben wir im Freilandversuch gezielt Salatpflanzen dem Blattlausbefall ausgesetzt, um temporale Veränderungen messen zu können. Zusätzlich wurden Einzelpflanzen unter Laborbedingungen mittels hochauflösender hyperspektraler Bildgebungsverfahren untersucht, um lokale und systemische Reaktionen der Pflanzen zu untersuchen. Durch die Etablierung eines sensorgestützten Pflanzenschutzmitteleinsatzes können langfristig die mit dem Pestizideinsatz verbundenen Kosten und Umweltbelastungen minimiert werden.

Literatur

ALVES, T. M., MACRAE, I. V. KOCH, R. L., 2015: Soybean Aphid (Hemiptera: Aphididae) Affects Soybean Spectral Reflectance. *J. Econ. Entomol.* **108** (6): 2655-2664.

- ELLIOTT, N. C., BACKOULOU, G. F., BREWER, M. J. GILES, K. L., 2015: NDVI to Detect Sugarcane Aphid Injury to Grain Sorghum. *J. Econ. Entomol.* **108** (3): 1452-1455.
- MIRIK, M., ANSLEY, R. J., MICHELS, G. J. ELLIOTT, N. C., 2012: Spectral vegetation indices selected for quantifying Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) feeding damage in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Precis. Agric.* **13** (4): 501-516.

#### **41-6 - *Aculops lycopersici* (Tryon, 1917) – Befallserkennung mit bild- und nicht bildgebenden spektrometrischen Verfahren an Tomatenpflanzen**

*Aculops lycopersici* (Tryon, 1917) – pest detection with spectroscopic imaging and non imaging methods on tomato plants

**Alexander Pfaff<sup>1</sup>, Albrecht Serfling<sup>2</sup>, Elias Böckmann<sup>1</sup>, Martin Hommes<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Julius Kühn Institut, Institut für Pflanzenschutz in Gartenbau und Forst

<sup>2</sup>Julius Kühn Institut, Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz

Die Tomatenrostmilbe *Aculops lycopersici* tritt in den letzten Jahren häufiger im deutschen Tomatenanbau auf. Ihre geringe Größe (meist <0,15mm) erschwert das frühzeitige Erkennen eines Befalls in der Kultur erheblich. Üblicherweise wird ein Befall erst mit dem Auftreten erster Symptome an der Pflanze, beispielsweise rostartige Verbräunungen an Stängel und Blättern, festgestellt (Capinera 2001). Zu diesem Zeitpunkt hat sich in der Regel aber bereits eine enorme Population an *A. lycopersici* aufgebaut und weiter im Bestand verbreitet (unveröffentlichte Daten). Eine frühzeitige Erkennung eines Befalls stellt Vorteile für die Erfolgsaussichten diverser Pflanzenschutzmaßnahmen dar. Im Rahmen des Projektes SmartIPM (FK: 2816ERA01L, gefördert durch die BLE) (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung) wurde nach einer Lösung zur frühen Befallserkennung gesucht.

In 2017 und 2018 wurden Fluoreszenz- und Reflektionsmessungen am Stängel von Tomatenpflanzen im Wellenlängenbereich von 450 bis 800 nm durchgeführt. Zusätzlich wurden in 2018 in einem bildgebenden Verfahren Hyperspektralaufnahmen von Tomatenpflanzen erstellt.

Eine Befallserkennung mittels spektrometrischen Messungen und auch mit Hilfe von Hyperspektralaufnahmen war möglich. Die Einordnung und das Potenzial beider Methoden für Praxis und auch den Versuchsbetrieb sowie zukünftige Entwicklungen werden diskutiert.

Literatur

CAPINERA, J. L.: Other Invertebrate Pests. In: *Handbook of Vegetable Pests*. CAPINERA, J.L., San Diego, *Academic Press*, 551-576.

## Entwicklung einer nicht-invasiven Detektionsmethode zur Identifizierung von Blattlausbefall von Salatpflanzen

Laura Verena Junker<sup>1</sup>, Uwe Rascher<sup>1</sup>, Hannah Jaenicke<sup>2</sup>, Onno Muller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Forschungszentrum Jülich GmbH,  
Institut für Bio- und Geowissenschaften, Pflanzenwissenschaften (IBG-2),  
52428 Jülich

<sup>2</sup> Kompetenzzentrum Gartenbau (KOGA),  
Campus Klein-Altendorf 2, 53359 Rheinbach

L.Junker@fz-juelich.de

Blattläuse sind die Hauptschädlinge in Salatkulturen, da selbst ein geringer Befall von Konsumenten nicht toleriert und somit einen Ausschluss von der Vermarktung bedeutet. Aus diesem Grund werden Salatfelder bei hohem Befallsdruck regelmäßig mit Pestiziden behandelt, um jegliche Ausbreitung von Blattläusen zu unterbinden. In einem frühen Befallsstadium ist der Blattlausbefall innerhalb eines Feldes jedoch oft sehr heterogen, und nur ein kleiner Teil der mit Pestiziden behandelten Pflanzen ist tatsächlich von Blattläusen befallen. Ein selektiver Pestizideinsatz von befallenen Pflanzen im Sinne der Präzisionslandwirtschaft würde den Pestizideinsatz reduzieren, ohne dass es zu Ernteeinbußen kommt. Jedoch gibt es bisher keine Detektionsmethode für blattlausbefallene Salatpflanzen. Für andere Nutzpflanzen wie Weizen und Soja konnte bereits gezeigt werden, dass Blattlausbefall systemische Stressreaktionen in Pflanzen hervorrufen kann, die zu Veränderungen der optischen Eigenschaften von Blättern, Pflanzen und auf der Bestandesebene führen. Messungen der spektralen Reflektion von Weizen haben gezeigt, dass Blattlausbefall zu einer erhöhten Reflektion im sichtbaren Wellenlängenbereich und einer erniedrigten Reflektion im nahinfraroten Wellenlängenbereich führt, die sich auf einen erniedrigten Chlorophyllgehalt und strukturelle Veränderungen der Blätter zurückführen lassen. Um die Auswirkungen von Blattlausbefall auf die spektrale Reflektion von Salat zu untersuchen, haben wir im Freilandversuch gezielt Salatpflanzen dem Blattlausbefall ausgesetzt. Hierzu wurden in drei von sechs blattlaussicheren Käfigen mit je fünf Salatpflanzen (Mini-Romana, *Lactuca sativa* ‚Thimble‘) grünstreifige Kartoffelläuse (*Macrosiphum euphorbiae*) ausgesetzt. Über einen Zeitraum von drei Wochen wurde der Blattlausbefall regelmäßig überprüft, und zweimal pro Woche die spektrale Reflektion von Blättern und Einzelpflanzen gemessen. Zusätzlich planen wir Experimente unter Laborbedingungen, in denen Blätter blattlausbefallener Salatpflanzen mittels hochauflösender hyperspektraler Bildgebungsverfahren untersucht werden. So wollen wir spektrale Charakteristika identifizieren, die Blattlausbefall anzeigen. Unsere Ergebnisse werden anschließend in die Entwicklung eines Prototyps zum selektiven Pestizideinsatz in Salatkulturen eingehen. Wir möchten damit dazu zu einer Etablierung der Präzisionslandwirtschaft im Pestizideinsatz beitragen, um die damit verbundenen Kosten und Umweltbelastungen zu minimieren.



## **Detection of plant stress responses in aphid-infested lettuce using non-invasive detection methods**

**Laura Verena Junker<sup>1</sup>, Uwe Rascher<sup>1</sup>, Hannah Jaenicke<sup>2</sup>, Onno Muller<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Forschungszentrum Jülich GmbH, Institute of Bio- and Geosciences IBG-2: Plant Sciences, 52428 Jülich, Germany;* <sup>2</sup>*Kompetenzzentrum Gartenbau (KOGA), Campus Klein-Altendorf 2, 53359 Rheinbach, Germany*

**Abstract:** 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 routinely sprayed with pesticides. Broadcast spraying of pesticides are costly, pollute 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. 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, aphid infestation has been shown to change the optical properties of leaves and canopies. Spectral reflectance measurements of wheat and soybean revealed an increased reflectance in the visible spectrum, but decreased reflectance in the near-infrared (NIR) due to changed chlorophyll content and structural characteristics of leaves. In our first experimental approach, we compared spectral reflectance of field-grown plants with and without aphid infestation. Here, we used aphid-proof enclosures with control plants and plants subjected to manual infestation with the potato aphid *Macrosiphum euphorbia*, a generalist aphid commonly found on lettuce plants. Three weeks after initial infestation, we counted an average of 130 aphids per plant, which were mainly found on the abaxial side of outer lettuce leaves, while control plants were mainly uninfested. A comparison of leaf-level spectral reflectance of control and aphid-infested plants revealed minor variation in spectral reflectance patterns. We conclude that despite high infestation levels, plants did not exhibit a strong systemic stress response to aphid infestation. This experiment is only the beginning of a row of field and laboratory experiments to find a non-invasive detection technique suitable to indicate the biotic stress response of lettuce plants, and will be followed by experimental approaches using plant- and canopy-level spectral reflectance measurements, chlorophyll fluorescence measurements and thermal imaging.

**Key words:** Aphid, lettuce cultivation, plant biotic stress response, precision agriculture, spectral reflectance

### **Introduction**

Aphids are a major pest in lettuce cultivation, not because of direct damage of plants or reduction of yield, but due to a very low tolerance of consumers for insects in fresh produce (Morales et al., 2013). Aphids pierce plants with their long stylet to suck phloem and feed on photoassimilates and amino acids (Tjallingii, 1995; Will et al., 2013). Although plant damage

is low due to movement of the stylet in the apoplast, plants sense aphid secretions and respond by various defense mechanisms (Smith & Chuang, 2014). Induced plant defences include increased levels of insecticidal phloem constituents including toxic and/or growth-inhibiting alkaloids, phenolics and proteins (Cardoza et al., 2005; Smith & Chuang, 2014). Furthermore, increased activities of enzymes involved in the biosynthesis of insecticidal compounds have been observed in response to aphid sucking (Ni et al., 2001).

Plants show early changes in gene expression upon aphid sucking, but early plant infestation with aphids is often not accompanied by visible differences in plant phenotype (Guerrieri & Digilio, 2008; Smith & Chuang, 2014). Prolonged aphid sucking leads to reduced photosynthetic carbon assimilation rates and reduced foliar chlorophyll content in susceptible plants, while resistant lines of tobacco, wheat and sorghum have been shown to compensate aphid sucking by increased photosynthesis rates (Franzen et al., 2007; Smith & Boyko, 2007). In addition, dispersed chloroplasts with fewer grana stacks and more starch granules have been observed in Johnson grass (González et al., 2002). Ultimately, aphid infestation may result in stunted growth (soy plants, Ragsdale et al., 2007), foliar damage and rolling of leaves (wheat, Yang et al., 2009) or necrotic damage (Johnson grass, González et al., 2002). In addition, aphids are vector for the transmission of plant viruses (Gray et al., 2014).

Lettuce plants only exhibit morphological changes like deformed lettuce heads and changed leaf color in response to prolonged infestation with aphids (McCreight & Liu, 2012). Nevertheless, induced plant defenses upon initial aphid sucking may affect leaf spectral reflectance. Measurements of spectral reflectance of wheat plants on the leaf and canopy level have revealed differences between healthy and aphid-infested plants (Mirik et al., 2012; Yang et al., 2009; Zhao et al., 2012). An increased reflectance in the visible wavelength spectrum has been attributed to reduced content of chlorophylls, while reduced reflectance within the near-infrared spectral range is likely affected by changes in cell structure and water content (Carter & Knapp, 2001; Junker & Ensminger, 2016; Zhao et al., 2011). Similar changes of spectral reflectance have been observed in soy and sorghum plants infested with aphids (Alves et al., 2015; Elliott et al., 2015). Despite the importance of sensor-based detection of plant pests for precision farming and phenotyping of plants for the selection of resistant cultivars (Goggin et al., 2015), little is known about changes in spectral reflectance of major crop plants in response to insect pests (Alves et al., 2015).

The aim of our study is therefore the identification of specific changes in the spectral reflectance of lettuce plants in response to aphid infestation. We hypothesize, that aphid infestation triggers systemic biotic stress responses, which lead to characteristic changes of spectral reflectance on the leaf level. To measure spectral reflectance of field-grown plants with and without aphid infestation, we have compared leaf-level spectral reflectance of plants grown in aphid-proof enclosures without and with infestation with the potato aphid *Macrosiphum euphorbiae*. Thereby, we contribute to the development of precision farming techniques for lettuce cultures and phenotyping of lettuce cultivars for breeding.

## Material and methods

### *Plant cultivation*

Mini-Romaine lettuce plants (*Lactuca sativa* ‘Thimble’) were grown in aphid-proof enclosures to modify aphid density by targeted infestation. Six custom-build enclosures, consisting of a wooden frame sized 1.5 by 0.3 m and 0.25 m high, tightly covered with 0.4mm insect netting, were placed in a garden of Research Centre Jülich (50° 54' 36" N,

6° 24' 36" E). Cages were placed block-wise, with cage 1, 2, and 3 in a row south of cages 4,5, and 6. Three days prior to planting, soil was fertilized with 20 g/m<sup>2</sup> NPK+Mg/B/Zn (12/12/17/2) and watered generously. We chose the mini-romaine lettuce variety 'Thimble', because it is commonly grown at the time of the experiment by major growers in the area of North Rhine-Westphalia, and has a high resistance to downy mildew, *Bremia lactucae*, BI 16-33EU, and currant-lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri*, Nr: 0. Lettuce seedlings were obtained from a commercial grower (Jungpflanzen Rudolf Klein, Bonn, Germany) at an age of about two weeks on August 14<sup>th</sup>, 2017. On the same day, five plants were equally distributed in each cage. Plants were generously watered throughout the experimental procedure. At the end of the experiment, plants were cut above the soil for the determination of fresh weight.

### ***Aphid culture and infestation***

The aphid infestation experiment was carried out with the potato aphid *Macrosiphum euphorbiae*, which is a common pest in lettuce cultures. This generalist aphid is commonly found on the abaxial side of intermediate and outer lettuce leaves. A laboratory culture of *Macrosiphum euphorbiae* was established based on a single apterous exule. The culture was reared on young mini-romaine plants and maintained at room temperature. Three days after planting of lettuce seedlings, two aphids were placed on every lettuce plant in three randomly distributed cages, namely cage 2, 4, and 6 (d = 0). After 4,7, and 11 days, plants were visually inspected, and an average of 0.8, 3.6, and 9.1 aphids per plant were found. To ensure similar levels of infestation, additional aphids were placed when less than two aphids were found per plant. On September 7<sup>th</sup>, three weeks after the initial infestation, plants were sampled and total number of aphids per plant counted. While we did not observe any *Macrosiphum euphorbiae* on control plants, we noted in average less than one *Uroleucon sonchi* aphid per control and aphid-infested plant.

### ***Leaf-level spectral reflectance measurements***

Spectral reflectance of two intermediate leaves per lettuce plant were measured after the three-week infestation period using a PolyPen RP 400 (Photon Systems Instruments, Drasov, Czech Republic) and averaged per plant. The internal light source was used to measure spectral reflectance in the visual and near-infrared wavelength range (325 to 793 nm) in comparison to a Spectralon<sup>®</sup> Reflectance standard (Labsphere Inc., North Sutton, US). Normalised Difference Vegetation index (NDVI) was calculated as  $NDVI = (R_{780} - R_{670}) / (R_{780} + R_{670})$  (Rascher et al., 2011). For visualization of differences across the full spectral reflectance range, a principal component analysis (PCA) was conducted based on fundamental bands (Galvao & Vitorello, 1995; Köksal, 2011). Fourteen bands with a bandwidth of 10 nm were equally distributed across the spectral range from 450 to 775 nm, equaling one band every 25 nm.

### ***Statistics***

All statistical analyses were carried out using R 3.0.3 (R Core Team, 2014). Differences in NDVI between control and aphid infested plants were assessed by comparison of cages using a one-way ANOVA (function *aov*), after homogeneity of variance and normality of distribution were ensured by Levene's test and Shapiro-Wilk-Test, respectively (function *levene* from the library *car* and *shapiro.test*). Principal component analysis was conducted with the function *prcomp* and displayed using the function *autoplot* (libraries *ggfortify* and *ggplot2*).



## Results

### *Aphid infestation levels and plant growth*

The experimental setup to exclude naturally occurring aphids in three control cages and guide infestation with *Macrosiphum euphorbiae* in three cages worked well. After three weeks, there were in average only 0.3 aphids per control plant, while infested plants had in average  $138.0 \pm 87.2$  aphids. Aphid infestation did not result in visual changes or differences in plant growth between control and aphid-infested plants in terms of biomass at harvest. Instead, we observed generally better growth of plants in cage 4 to 6 compared to plants in cage 1 to 3, likely due to differences in crop rotation on the field prior to the start of the experiment.

### *Spectral reflectance measurements*

After three weeks of aphid infestation, leaf-level spectral reflectance in the visible and near-infrared wavelength regions did not vary between control and aphid-infested plants. Instead, Figure 1 shows that reflectance spectra of all plants were typical for healthy green vegetation. In accordance with this observation, Figure 2 shows that values of the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) for all plants ranged between 0.66 and 0.69.

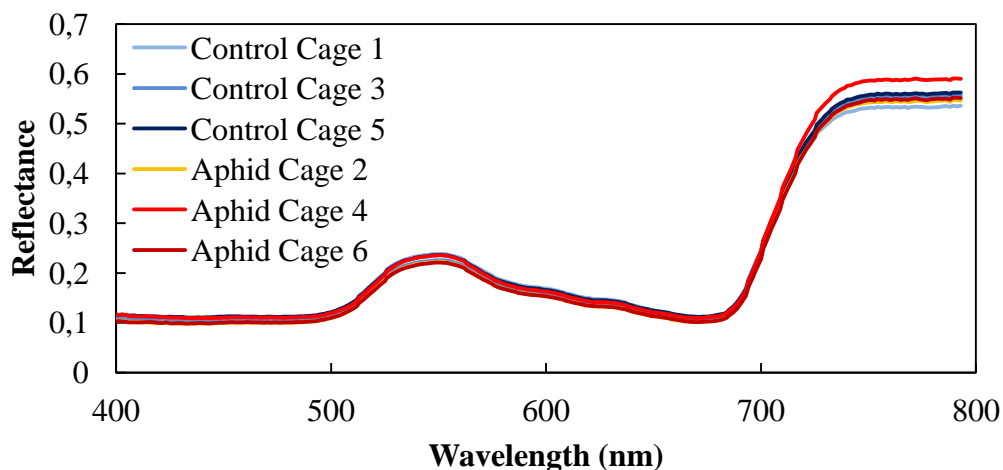


Figure 1. Leaf-level spectral reflectance of lettuce plants. Plants in cage 1, 3, and 5 are control plants, while plants in cage 2, 4, and 6 were infested with  $130 \pm 90$  *Macrosiphum euphorbiae* aphids. Each cage averages spectral reflectance of  $N = 4-5$  plants.

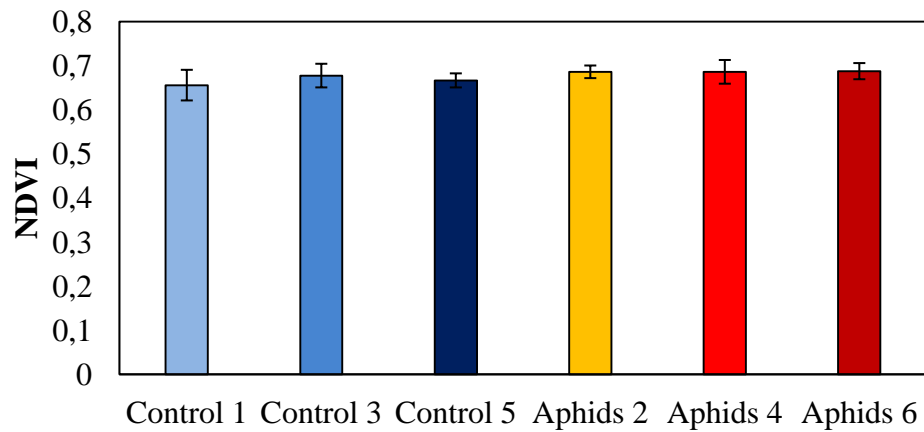


Figure 2. Normalised difference vegetation index (NDVI) calculated from leaf-level spectral reflectance of lettuce plants. Control 1, 3, and 5 denote cages with control plants, while Aphids 2, 4, and 6 denote cages in which plants were infested with  $130 \pm 90$  *Macrosiphum euphorbiae* aphids. Each cage averages spectral reflectance of  $N = 4-5$  plants  $\pm$  SD.

To further discriminate between differences in leaf-level spectral reflectance of control and aphid-infested lettuce plants, we conducted a principal component analysis of fundamental wavelengths across the visible and near-infrared spectrum. PC1 explained 78.2% of the variation across spectra, mainly based on wavelength bands in the visible wavelength region, while PC2 explained 18.4% of the observed variation, mainly based on differences in spectral reflectance in the near-infrared wavelength region. Figure 3 reveals minor variation in clustering between control and aphid-infested plants.

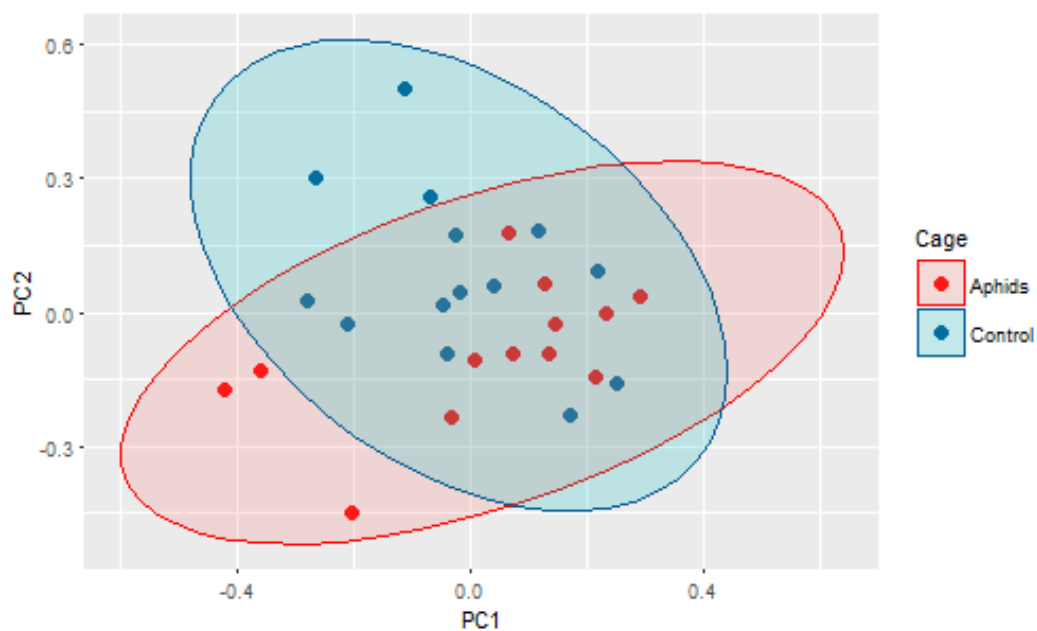


Figure 3. Principal Component Analysis of leaf-level spectral reflectance of lettuce plants. Control comprises 3 cages with  $N = 5$  uninfested plants each, while Aphids comprises 3 cages with  $N = 5$  plants infested with an average of  $130 \pm 90$  *Macrosiphum euphorbiae* aphids.

## Discussion

### *Aphid infestation of lettuce plants had only a minor influence on leaf-level spectral reflectance*

The experimental setup effectively excluded natural aphid infestation and led to high differences in infestation levels with the generalist aphid *Macrosiphum euphorbiae*, but did not lead to visually different spectral reflectance in the visible and near-infrared wavelengths regions or the commonly used vegetation index NDVI, as shown in Figures 1 and 2. Therefore, we conducted an additional principal component analysis (PCA), which reduces the complexity of data and visualizes qualitative differences between spectra (Galvao & Vitorello, 1995; Thomas et al., 2016). The PCA analysis shown in Figure 3 revealed, that there is minor variation between control and aphid-infested plants, which are mainly explained by differences in the visible wavelength region. We have expected larger variation between control and aphid-infested plants, and consider several aspects, which may have hampered the detection of differences in spectral reflectance.

First, aphid infestation may have not been severe enough to trigger strong systemic plant responses (see Yang et al., 2005). Leaf-level spectral reflectance measurements with the handheld leaf spectrometer can be only made at the outer edge of leaves. Aphids have been found mainly at the abaxial side of leaves towards the leaf base. Therefore, localized stress responses to aphids may not be assessed using a handheld spectrometer, as has been previously observed for a fungal pathogen with localized occurrence (almond red leaf blotch, López-López et al., 2016). Second, plants may show a stronger response to different aphid species, for example the specialist aphid *Nasonovia ribisnigri* (Ali & Agrawal, 2012; McCreight, 2008). Differences in biotic stress responses to two different aphid species have been shown for wheat (Yang et al., 2009). Third, aphid-resistant lettuce cultivars as used in this experiment might be able to compensate for losses of photosynthates by increased photosynthetic efficiency, as has been previously observed in tobacco, wheat and sorghum (Smith & Boyko, 2007). This might rather infer an increased chlorophyll content over time which would be expressed by a higher NDVI (Rascher et al., 2010). Nevertheless, changes in photosynthetic pigment levels can be only expected after days to weeks and upon strong infestation (Franzen et al., 2007), and the duration and aphid infestation levels in this experiment may have been insufficient to reveal such a response.

Therefore, we will repeat the experiment with susceptible and resistant lettuce cultivars and a longer aphid infestation period using *N. ribisnigri*, to trigger stronger biotic stress responses in lettuce plants. Furthermore, we will conduct spectral reflectance measurements on the leaf-level, plant, and canopy level, and apply advanced statistical methods to further assess the effect of aphid infestation on spectral reflectance of lettuce plants.

## Acknowledgements

The authors thank their colleagues of the EIP-AGRI operational group Precision Horticulture, especially Markus Schwarz for providing plant material, and Anna Pfeiffenschneider for help with conducting the experiment. We furthermore appreciate constructive feedback by participants at the meeting of the IOBC-WPRS Working Group “Integrated Protection in Field Vegetables” in 2017. The project OG Precision horticulture is funded by the Ministry for Environment, Agriculture, Conservation and Consumer Protection of the State of North Rhine-Westphalia (“Rural Development 2014-2020”) in the framework of the agricultural European Innovation Partnership (EIP-AGRI).

## References

- Ali, J. G., Agrawal, A. A. 2012. Specialist versus generalist insect herbivores and plant defense. *Trends in Plant Science* 17(5): 293-302.
- Alves, T. M., Macrae, I. V., Koch, R. L. 2015. Soybean Aphid (Hemiptera: Aphididae) Affects Soybean Spectral Reflectance. *Journal of Economic Entomology* 108(6): 2655-2664.
- Cardoza, Y. J., Reidy-Crofts, J., Edwards, O. R. 2005. Differential inter- and intra-specific defense induction in *Lupinus* by *Myzus persicae* feeding. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 117(2): 155-163.
- Carter, G. A., Knapp, A. K. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *American Journal of Botany* 88(4): 677-684.
- Elliott, N. C., Backoulou, G. F., Brewer, M. J., Giles, K. L. 2015. NDVI to Detect Sugarcane Aphid Injury to Grain Sorghum. *Journal of Economic Entomology* 108(3): 1452-1455.
- Franzen, L. D., Gutsche, A. R., Heng-Moss, T. M., Higley, L. G., Sarath, G., Burd, J. D. 2007. Physiological and Biochemical Responses of Resistant and Susceptible Wheat to Injury by Russian Wheat Aphid. *Journal of Economic Entomology* 100(5): 1692-1703.
- Galvao, L. S., Vitorello, J. 1995. Quantitative approach in the spectral reflectance-lithostratigraphy of the Wind River and southern Bighorn basins. Wyoming. *International Journal of Remote Sensing* 16(9): 1617-1631.
- Goggin, F. L., Lorence, A., Topp, C. N. 2015. Applying high-throughput phenotyping to plant – insect interactions: picturing more resistant crops. *Current Opinion in Insect Science* 9: 69-76.
- González, W. L., Ramírez, C. C., Olea, N., Niemeyer, H. M. 2002. Host plant changes produced by the aphid *Sipha flava*: consequences for aphid feeding behaviour and growth. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 103(2): 107-113.
- Gray, S., Cilia, M., Ghanim, M. 2014. Chapter Four – Circulative, “Nonpropagative” Virus Transmission: An Orchestra of Virus-, Insect-, and Plant-Derived Instruments. In: *Advances in Virus Research* Vol. 89 (eds. Maramorosch, K. and Murphy, F. A.): 141-199.
- Guerrieri, E., Digilio, M. C. 2008. Aphid-plant interactions: a review. *Journal of Plant Interactions* 3(4): 223-232.
- Junker, L. V., Ensminger, I. 2016. Relationship between leaf optical properties, chlorophyll fluorescence and pigment changes in senescing *Acer saccharum* leaves. *Tree Physiology* 36(6): 694-711.
- Köksal, E. S. 2011. Hyperspectral reflectance data processing through cluster and principal component analysis for estimating irrigation and yield related indicators. *Agricultural Water Management* 98(8): 1317-1328.
- López-López, M., Calderón, R., González-Dugo, V., Zarco-Tejada, P., Fereres, E. 2016. Early Detection and Quantification of Almond Red Leaf Blotch Using High-Resolution Hyperspectral and Thermal Imagery. *Remote Sensing* 8(4): 276.
- McCreight, J. D. 2008. Potential Sources of Genetic Resistance in *Lactuca* spp. to the Lettuce Aphid, *Nasonovia ribisnigri* (Mosely) (Homoptera: Aphididae). *HortScience* 43(5): 1355-1358.
- McCreight, J. D., Liu, Y.-B. 2012. Resistance to Lettuce Aphid (*Nasonovia ribisnigri*) Biotype 0 in Wild Lettuce Accessions PI 491093 and PI 274378. *HortScience* 47(2): 179-184.

- Mirik, M., Ansley, R. J., Michels, G. J., Elliott, N. C. 2012. Spectral vegetation indices selected for quantifying Russian wheat aphid (*Diuraphis noxia*) feeding damage in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Precision Agriculture* 13(4): 501-516.
- Morales, I., Diaz, B. M., Mendoza, A. H. D., Nebreda, M., Fereres, A. 2013. The Development of an Economic Threshold for *Nasonovia ribisnigri* (Hemiptera: Aphididae) on Lettuce in Central Spain. *Journal of Economic Entomology* 106(2): 891-898.
- Ni, X., Quisenberry, S. S., Heng-Moss, T., Markwell, J., Sarath, G., Klucas, R., Baxendale, F. 2001: Oxidative Responses of Resistant and Susceptible Cereal Leaves to Symptomatic and Nonsymptomatic Cereal Aphid (Hemiptera: Aphididae) Feeding. *Journal of Economic Entomology* 94(3): 743-751.
- R Core Team 2014. R: A language and environment for statistical computing.
- Ragsdale, D. W., McCornack, B. P., Venette, R. C., Potter, B. D., MacRae, I. V., Hodgson, E. W., O'Neal, M. E., Johnson, K. D., O'Neil, R. J., DiFonzo, C. D., Hunt, T. E., Glogoza, P. A., Cullen, E. M. 2007. Economic Threshold for Soybean Aphid (Hemiptera: Aphididae). *Journal of Economic Entomology* 100(4): 1258-1267.
- Rascher, U., Blossfeld, S., Fiorani, F., Jahnke, S., Jansen, M., Kuhn, A. J., Matsubara, S., Martin, L. L. A., Merchant, A., Metzner, R., Müller-Linow, M., Nagel, K. A., Pieruschka, R., Pinto, F., Schreiber, C. M., Temperton, V. M., Thorpe, M. R., Dusschoten, D. V., van Volkenburgh, E., Windt, C. W., Schurr, U. 2011. Non-invasive approaches for phenotyping of enhanced performance traits in bean. *Functional Plant Biology* 38(12): 968-983.
- Rascher, U., Damm, A., van der Linden, S., Okujeni, A., Pieruschka, R., Schickling, A., Hostert, P. 2010. Sensing of Photosynthetic Activity of Crops. In: *Precision Crop Protection – the Challenge and Use of Heterogeneity* (eds. Oerke, E.-C., Gerhards, R., Menz, G. and Sikora, R. A.): 87-99. Springer, New York.
- Smith, C. M., Boyko, E. V. 2007. The molecular bases of plant resistance and defense responses to aphid feeding: current status. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 122(1): 1-16.
- Smith, C. M., Chuang, W.-P. 2014. Plant resistance to aphid feeding: behavioral, physiological, genetic and molecular cues regulate aphid host selection and feeding. *Pest Management Science* 70(4): 528-540.
- Thomas, S., Wahabzada, M., Kuska, M. T., Rascher, U., Mahlein, A.-K. 2016. Observation of plant – pathogen interaction by simultaneous hyperspectral imaging reflection and transmission measurements. *Functional Plant Biology* 44(1): 23-34.
- Tjallingii, W. F. 1995. Regulation of Phloem Sap Feeding by Aphids. In: *Regulatory Mechanisms in Insect Feeding* (eds. Chapman, R. F. and de Boer, G.): 190-209. Springer, Dordrecht.
- Will, T., Furch, A., Zimmermann, M. 2013. How phloem-feeding insects face the challenge of phloem-located defenses. *Frontiers in Plant Science* 29(4): 336.
- Yang, Z., Rao, M. N., Elliott, N. C., Kindler, S. D., Popham, T. W. 2005. Using ground-based multispectral radiometry to detect stress in wheat caused by greenbug (Homoptera: Aphididae) infestation. *Computers and Electronics in Agriculture* 47(2): 121-135.
- Yang, Z., Rao, M. N., Elliott, N. C., Kindler, S. D., Popham, T. W. 2009. Differentiating stress induced by greenbugs and Russian wheat aphids in wheat using remote sensing. *Computers and Electronics in Agriculture* 67(1-2): 64-70.

- Zhao, J., Zhang, D., Luo, J., Wang, D., Huang, W. 2011. Identifying Leaf-Scale Wheat Aphids Using the Near-Ground Hyperspectral Pushbroom Imaging Spectrometer. In: Proc. Computer and Computing Technologies in Agriculture V – 5th IFIP TC/SIG 5.1 Conference, Part II, Beijing, China: 275-282.
- Zhao, J. L., Zhang, D., Luo, J., Yang, H., Huang, L. S., Huang, W. 2012. A Comparative Study on Monitoring Leaf-scale Wheat Aphids using Pushbroom Imaging and Non-imaging ASD Field Spectrometers. In: Proc. Computer and Computing Technologies in Agriculture V – 5th IFIP TC/SIG 5.1 Conference, Part II, Beijing, China.

## **Detektion von Blattlausbefall in Salatkulturen durch Messungen der spektralen Reflektanz**

Tobias Wilhelm Tholen<sup>1</sup>, Laura Verena Junker<sup>1</sup>, Uwe Rascher<sup>1</sup>, Hannah Jaenicke<sup>2</sup>,  
Onno Muller<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Bio- und Geowissenschaften,  
Pflanzenwissenschaften (IBG-2),  
Wilhelm Johnen Str. 1, 52428 Jülich

<sup>2</sup> Kompetenzzentrum Gartenbau (KOGA), Campus  
Klein-Altendorf 2, 53359 Rheinbach

t.tholen@fz-juelich.de

Blattläuse gelten als Hauptschädlinge in Salatkulturen. Bei der Salatproduktion muss besonderes auf die Vermeidung von Blattlausbefall geachtet werden, um den hohen Qualitätsanforderungen des Marktes gerecht zu werden. Aus diesem Grund applizieren Landwirte Insektizide, um ihre Kultur, insbesondere verzehrfertige Ware befallsfrei zu halten. Da Blattläuse zeitlich und räumlich stark variabel auftreten und zusätzlich die Stärke des Befalls von Pflanze zu Pflanze variiert, werden bei jeder Applikation auch nicht befallene Salatpflanzen behandelt. Vor diesem Hintergrund liegt es Nahe eine Methode zu entwickeln, die befallene von gesunden Salaten unterscheiden kann, um dadurch eine selektive Applikation von Pflanzenschutzmitteln zu ermöglichen. Für Nutzpflanzen wie Weizen und Sojabohnen konnte bereits gezeigt werden, dass sich die spektrale Reflektanz blattlausbefallener Pflanzen gegenüber gesunden Pflanzen verändert. Um diese These für Salatpflanzen zu überprüfen, haben wir in diesem Sommer die spektrale Reflektanz von befallenen und gesunden Salatpflanzen in einem Freilandversuch unter Praxisbedingungen und einem Gewächshausversuch inklusive hochauflösender hyperspektral bildgebender Verfahren unter Laborbedingungen gemessen. Im ersten Freilandversuch unter Praxisbedingungen wurden die Mini-Romana Salatsorten (*L. sativa*) Thimble und Xiumara untersucht. Die Pflanzen wurden einmal wöchentlich über einen Zeitraum von 3-4 Wochen gemessen. In der Regel trat bei diesem Freilandversuch ein Mischbefall verschiedener Blattlausarten auf, wobei die Arten *Nassonovia ribisnigri*, *Myzus persicae* und *Macrosiphum euphorbiae* am häufigsten auftraten. Beim Laborversuch mit bildgebendem Verfahren wurden die Kopfsalatsorten (*L. sativa*) Briweri und Analena untersucht. Anschließend wurde die spektrale Reflektanz der Pflanzen über einen Zeitraum von 3-4 Wochen zweimal wöchentlich erfasst. Der bildgebende Laborversuch wurde mit der Blattlausart *Nassonovia ribisnigri* und einem Mischbefall der im Feldversuch vorkommenden Blattlausarten durchgeführt. Bei allen Versuchen wurde nach jeder Messung der Blattlausbefall quantifiziert. Aktuell werden die erhobenen Daten mit Hilfe von Machine-Learning Verfahren ausgewertet. Ziel dieser Auswertung ist die Entwicklung eines Klassifikators, der befallene von gesunden Salaten auf Grund ihrer spektralen Reflektanz unterscheiden kann.