



**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

# **Rhizoctonia solani an Zuckerrübe**

Erarbeitung von  
integrierten Kontrollstrategien gegen  
die Späte Rübenfäule der Zuckerrübe



**Schriftenreihe**

**4**

**2019**

**ISSN 1611-4159**

## **Impressum**

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan  
Internet: [www.LfL.bayern.de](http://www.LfL.bayern.de)

Projektförderung: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung,  
Landwirtschaft und Forsten (StMELF)

Finanzierung: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirt-  
schaft und Forsten (StMELF)

Förderkennzeichen: A/16/13

Geschäftszeichen: L/a-7346-1/38

Projektlaufzeit: 01.01.2016 bis 30.06.2019

Projektleiter: Prof. Dr. Michael Zellner

Projektbearbeiter: Dr. Mathias Nottensteiner

1. Auflage: Juli 2019

Druck: ES-Druck, 85354 Freising-Tüntenhausen

Schutzgebühr: 15,00 Euro



*Rhizoctonia solani* an Zuckerrübe

**Erarbeitung von integrierten Kontrollstrategien gegen die Späte Rübenfäule der Zuckerrübe**



## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Ziele</b> .....	<b>11</b>
<b>2 Stand der Wissenschaft und Technik</b> .....	<b>12</b>
2.1 Allgemeine Einleitung.....	12
2.1.1 Späte Rübenfäule.....	12
2.1.2 Wirtschaftliche Bedeutung .....	12
2.1.3 Symptome der Späten Rübenfäule .....	12
2.1.4 Erregerbiologie.....	14
2.1.5 Kontrollmöglichkeiten .....	15
2.2 Bodenprobennahmemuster .....	15
2.3 Quantifizierungsmethoden <i>R. solani</i> aus Feldböden.....	16
2.4 Rhizoctonia-Anfälligkeit von Zwischenfrüchten in Zuckerrübenfruchtfolgen.....	17
2.5 <i>R. solani</i> antagonistisch wirkende Bodenmikroorganismen .....	18
2.6 Befallsfördernde Faktoren der Späten Rübenfäule .....	19
<b>3 Projektstruktur</b> .....	<b>22</b>
3.1 Projektleitung .....	22
3.2 Projektpartner .....	22
3.3 Teilprojekte .....	22
3.3.1 Teilprojekt 1 – Erregerquantifizierung aus Rübenschlägen .....	22
3.3.2 Teilprojekt 2 – Rhizoctonia-Anfälligkeit von Zwischenfrüchten .....	23
3.3.3 Teilprojekt 3 – Antagonistenkonzentration in Rübenschlägen .....	23
3.3.4 Teilprojekt 4 – Befallsbeeinflussende Faktoren aus Praxisdaten.....	24
<b>4 Material und Methoden</b> .....	<b>25</b>
4.1 Teilprojekt 1 – Untersuchungen auf Praxisschlägen.....	25
4.1.1 Lage der Untersuchungsgebiete .....	25
4.1.2 Witterung im Projektzeitraum .....	25
4.1.3 Auswahl der Zuckerrübenschläge .....	27
4.1.4 Beprobungsflächen auf den Schlägen .....	28
4.1.5 Bodenprobennahme.....	30

---

4.1.6	Quantifizierung der Erregermenge.....	30
4.1.7	Messung der Befallsfläche .....	31
4.1.8	Statistische Auswertung .....	32
4.1.9	Zeitliche Entwicklung des Bodeninokulums.....	33
4.1.10	Räumliche Verteilung des Bodeninokulums .....	33
4.2	Teilprojekt 2 - Zwischenfruchtfeldversuche .....	34
4.2.1	Herstellung <i>R. solani</i> AG2-2IIIb Gersteninokulum .....	34
4.2.2	Bodenprobennahme und Erregerquantifizierung .....	35
4.2.3	Räumliche Verteilung des Inokulums auf den Parzellen .....	35
4.2.4	Statistische Auswertung der Inokulummengen.....	35
4.3	Teilprojekt 2 - Labor- und Gewächshausversuche.....	36
4.3.1	Ermittlung häufiger Einzelkomponenten in Greening-Mischungen .....	36
4.3.2	Herstellung <i>R. solani</i> AG2-2 Hirseinokulum.....	36
4.3.3	Gewächshausversuchsplan .....	36
4.3.4	Pflanzenanzucht .....	37
4.3.5	Gewächshausversuchsdurchführung .....	37
4.3.6	Wurzelbonitur.....	38
4.3.7	Bestimmung der Aufwuchstrockenmasse .....	38
4.3.8	Mycelwachstum auf Zwischenfruchtstrohmedien .....	39
4.4	Teilprojekt 3 – Quantifizierung mikrobieller Antagonisten.....	40
4.5	Teilprojekt 4 – Zusammenhänge mit Bewirtschaftungs- und Wetterdaten.....	41
4.5.1	Betriebsbefragung .....	41
4.5.2	Wetterdaten .....	41
4.5.3	Datenauswertung.....	41
4.6	Verwendete Softwareversionen.....	42
<b>5</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>43</b>
5.1	Ergebnisse Teilprojekt 1 – Quinoa-qPCR Methode auf Praxisschlägen.....	43
5.1.1	Zusammenhang zwischen <i>R. solani</i> AG2-2IIIB Inokulumsdichte und Späte Rübenfäule Befall in Praxisschlägen.....	43
5.1.2	Ableitung eines <i>R. solani</i> AG2-2I Schwellenwertes .....	46
5.1.3	Vergleich der Untersuchungsregionen .....	46
5.1.4	Befallsprognose im Herbst des Vorjahres zur Zuckerrübe .....	48
5.1.5	Zeitlicher Verlauf der Bodeninokulumsaktivität.....	49
5.1.6	Räumliche Verteilung des Bodeninokulums.....	51

---

5.2	Ergebnisse Teilprojekt 2 – Gewächshaus- und Laborversuche zur Rhizoctonia-Anfälligkeit von Zwischenfrüchten .....	55
5.2.1	Zwischenfruchtarten in Greening-Mischungen für Zuckerrübenfruchtfolgen.....	55
5.2.2	Wurzelbonitur.....	55
5.2.3	Inokulationsbedingter Trockenmasseverlust.....	56
5.2.4	Sortenvergleich der Rhizoctonia-Anfälligkeit .....	57
5.2.5	<i>R. solani</i> AG2-2IIIB Wachstum auf Zwischenfruchtstrohmedien.....	58
5.2.6	Zusammenfassende Bewertung der Rhizoctonia-Anfälligkeit der untersuchten Zwischenfruchtarten .....	59
5.3	Ergebnisse Teilprojekt 2 – Feldversuche zur Rhizoctonia-Anfälligkeit von Zwischenfrüchten .....	61
5.3.1	Darstellung der wichtigsten Ergebnisse .....	61
5.3.2	Durchschnittliche Inokulumverläufe an den Versuchsstandorten 2017/18 .....	63
5.3.3	Räumliche Verteilung der Bodeninokulumsaktivität .....	64
5.3.4	Zusammenhänge zwischen Boniturwerten und Bodeninokulumgehalten.....	65
5.4	Ergebnisse Teilprojekt 3 – Quantifizierung mikrobieller Antagonisten auf Praxiszuckerrübenschlägen .....	66
5.4.1	Antagonistenabundanz auf Zuckerrübenschlägen.....	66
5.4.2	Zusammenhang mit Bewirtschaftungs- und Wetterdaten .....	67
5.5	Ergebnisse Teilprojekt 4 - Befallsbeeinflussende Faktoren aus Praxisdaten.....	68
5.5.1	Einflussfaktoren auf die Späte Rübenfäule Befallsfläche (RsArea) .....	68
5.5.2	Einflussfaktoren auf die Bodeninokulumkonzentration (CFU) .....	71
<b>6</b>	<b>Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....</b>	<b>75</b>
<b>7</b>	<b>Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen.....</b>	<b>76</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>83</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Symptome der Späten Rübenfäule.....	13
Abbildung 2: Lage der Untersuchungsgebiete .....	25
Abbildung 3: Witterungsverlauf in den Untersuchungsgebieten .....	26
Abbildung 4: Umsetzung des Systematic Unaligned Grid Beprobungsmusters .....	29
Abbildung 5: Vereinfachtes Bodenprobenahmemuster zur Umsetzung mit Selbstfahrer .....	30
Abbildung 6: Beispiel eines auf einer 1 ha großen Untersuchungsfläche aufgezeichneten Späte Rübenfäule Befalls .....	32
Abbildung 7: Veranschaulichung Datengewinnung zur Korrelation der räumlichen Lage von Befallsstellen mit der Inokulumsdichte an den Probepunkten.....	34
Abbildung 8: Schrittmuster zur Bodenprobennahme auf den Versuchspartellen .....	35
Abbildung 9: Vorabrisikoschätzung 2016 und Befall 2017 .....	43
Abbildung 10: Quadratische Regression RsArea und CFU im Sommer 2017 .....	44
Abbildung 11: Vorabrisikoschätzung 2017 und Befall 2018 .....	44
Abbildung 12: Rohdaten zu CFU und RsArea im Sommer 2018.....	45
Abbildung 13: Quadratische Regression RsArea und CFU im Sommer 2018 .....	45
Abbildung 14: Quadratische Regression RsArea und CFU, Sommer 2017 und 2018.....	46
Abbildung 15: Threshold Regression Model für CFU-Schadschwelle .....	46
Abbildung 16: Vergleich der Untersuchungsregionen, CFU und RsArea.....	47
Abbildung 17: Prognose RsArea aus CFU im Herbst des Vorjahres .....	48
Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der Inokulumsmengen auf 2 Standorten 2016/17 und 3 Monitoringstandorten 2017/18 .....	49
Abbildung 19: Räumliche Verteilung des Inokulums und des Befalls auf einer 1 ha Beprobungsfläche im Juni 2017.....	51
Abbildung 20: Befallsprogression und Verteilung des Inokulums auf einer Beprobungsfläche im Jahr 2018.....	52
Abbildung 21: Heterogene Inokulums- und Befallszonen auf einem 15 ha Schlag .....	53
Abbildung 22: Karte durchschnittlicher Bodeninokulumsmengen und Befallsflächen auf Gemeindeebene .....	54
Abbildung 23: Relative Häufigkeit der Zwischenfruchtarten in n = 66 markterhältlichen, für Zuckerrübenfruchtfolgen geeigneten Greening-Mischungen .....	55
Abbildung 24: Ergebnisse der Wurzelbonitur des Gewächshauszwischenfruchtversuchs.....	56
Abbildung 25: Inokulationsbedingter Aufwuchstrockenmasseverlust der Zwischenfruchtarten .....	57
Abbildung 26: Sortenunterschiede in der Rhizoctonia Anfälligkeit von Zwischenfrüchten .....	58
Abbildung 27: Saprophytisches R. solani AG2-2IIIB Mycelwachstum auf Zwischenfruchtstrohmedien ....	59
Abbildung 28: Bonitur- und BZE Ergebnisse der Zwischenfruchtfeldversuche .....	62
Abbildung 29: Verlauf der durchschnittlichen Bodeninokulumsgelalte der Versuchsstandorte Haardorf und Donaustauf .....	64
Abbildung 30: Räumliche Verteilung der Bodeninokulumsaktivität im Verlauf des Feldversuchs Donaustauf 2017/18 .....	65
Abbildung 31: Mittlere ct-Werte R. solani AG2-2, Trichoderma spp. und Pseudomonas spp. auf Flächen mit und Späte Rübenfäule Befall.....	67
Abbildung 32: Häufigkeitsverteilungen der Ausprägungen der Variablen Vorvorfrucht zur Zuckerrübe (VVfrucht), Maisnutzungsart (MaNutzung) und Zwischenfruchtart vor Zuckerrübe (ZfArtVorZR) in den Späte Rübenfäule Befallsklassen nach RsArea in m <sup>2</sup> .....	70
Abbildung 33: Effektstärken der Haupteinflussfaktoren Bodentemperatur und Wasserbilanz auf die Bodeninokulumsmenge .....	72
Abbildung 34: Bodeninokulumsverteilung und Befall auf Beprobungsfläche P24-17.....	83

---

<b>Abbildung 35: Bodeninokulumsverteilung und Befall auf Beprobungsfläche P28-18.....</b>	<b>83</b>
<b>Abbildung 36: Niederschläge und Temperaturen im Raum der Versuchsstandorte Haardorf und Donaustauf.....</b>	<b>84</b>
<b>Abbildung 37: Räumliche Verteilung der Bodeninokulumsaktivität im Verlauf des Feldversuchs Haardorf 2017/18 .....</b>	<b>85</b>
<b>Abbildung 38: Häufigkeitsverteilung der Ausprägungen der Variable Art der organischen Düngung vor Zuckerrübe (OrgDungArtVorZR) in den Späte Rübenfäule Befallsklassen nach RsArea in m<sup>2</sup> .....</b>	<b>100</b>

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zahlen zu den beprobten Rübenschlägen .....	27
Tabelle 2: Im Gewächshausversuch geprüfte Varianten.....	37
Tabelle 3: Zusammenfassung der Zwischenfruchtversuche in Rangfolgen .....	61
Tabelle 4: Signifikanz und Effektstärken der Korrelation der Boniturergebnisse mit den Bodeninokulumgehalten der Versuche Donaustauf und Haardorf .....	66
Tabelle 5: Variablen mit signifikantem Einfluss auf die Befallsfläche (RsArea) .....	69
Tabelle 6: Beeinflussbare Faktoren mit signifikanter Wirkung auf CFU .....	71
Tabelle 7: Übersicht Wettervariablen mit signifikantem Einfluss auf die Bodeninokulumsmenge nach Monaten .....	73
Tabelle 8: Relative Häufigkeit Einzelkomponenten in n = 66 Zwischenfruchtmischungen für Zuckerrübenfruchtfolgen .....	84
Tabelle 9: Zusammenhang zwischen Quantität Trichoderma spp. und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen .....	86
Tabelle 10: Zusammenhänge zwischen Quantität Pseudomonas spp. und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen .....	91
Tabelle 11: Zusammenhänge zwischen Später Rübefäule Befallsfläche (RsArea) und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen .....	96
Tabelle 12: Zusammenhänge zwischen Quantität R.solani AG2-2 (CFU) und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen .....	101
Tabelle 13: Ergänzende Abbildungen zu den Nominaldaten der Zusammenhänge Bodeninokulumsmenge (CFU)-befallsbeeinflussende Faktoren .....	106
Tabelle 14: Teilprojekt 4 - Beschreibung der Variablen .....	107
Tabelle 15: Teilprojekt 4- Ausprägungen der Variablen.....	112

---

## Abkürzungsverzeichnis

AG	<i>Rhizoctonia solani</i> Anastomosegruppe
BZE	Bereinigter Zuckerertrag [t/ha]
CFU	Engl. Colony Forming Units, hier: Menge Bodeninokulum pro Kilogramm Erde [CFU/kg Erde]
Ct-Wert	Engl. Threshold cycle: Anzahl der Amplifikationsschritte in der qPCR ab dem spezifische Signale erhalten werden. Je niedriger der ct-Wert, desto mehr Ziel-DNA war in der Probe enthalten.
GIS	Geoinformationssystem
qPCR	Engl. Quantitative Polymerase Chain Reaction
RsArea	Späte Rübenfäule Befallsfläche [m <sup>2</sup> ]

## Zusammenfassung

Die Späte Rübenfäule der Zuckerrübe ist eine ökonomisch bedeutende bodenbürtige Erkrankung der Zuckerrübe. Der Erreger ist der ubiquitär im Boden vorhandene Pilz *Rhizoctonia solani* AG2-2IIIB. Das unstete Auftreten der Rübenfäule und die eingeschränkte Zugänglichkeit des Erregers im Boden erschweren die Kontrolle der Krankheit. Durch die Entwicklung der Quinoa-qPCR Methode in den Vorgängerprojekten kann die Erregermenge nun aus Bodenproben quantifiziert werden. In diesem Forschungsprojekt wurde sie auf Praxiszuckerrübensschlägen etabliert und validiert. Zudem wurden die daraus gewonnenen Daten zu den Bodeninokulumsmengen und den Befallsstärken für eine Suche nach Zusammenhängen mit Bewirtschaftungs- und Wetterdaten genutzt. In weiteren Teilprojekten wurden Greening-geeignete Zwischenfruchtarten auf ihre Rhizoctonia-Anfälligkeit und die Quantität von natürlich vorkommenden mikrobiellen Antagonisten untersucht.

In den beiden Untersuchungsjahren 2016/17 und 2017/18 bestand kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem vorab subjektiv eingeschätzten Risikos eines Späten Rübenfäule Befalls der später beprobten Schläge und dem tatsächlich aufgetretenem Befall. Schätzungen und Erfahrungswerte eignen sich somit nicht für die Risikoklassifikation eines Standorts. Zwischen den aus Bodenproben im Juli 2017 mit der Quinoa-qPCR Methode gemessenen *R. solani* AG2-2 Bodenkonzentrationen (CFU) und den Größen der Befallsflächen (RsArea) im August 2017 bestand hingegen ein enger, statistisch hoch signifikanter Zusammenhang. Die Menge des Bodeninokulums erklärte 73 % der Streuung des Befalls. Damit wurde prinzipiell gezeigt, dass durch die Messung der Bodeninokulumskonzentration die Stärke des Späte Rübenfäule Befalls abgebildet werden kann und dass die Quinoa-qPCR Methode, wie hier angewandt, auf Zuckerrübenpraxisschlägen funktionierte. Die Vegetationsperiode 2018 war außergewöhnlich warm und trocken. Im Juli 2018 wurden auf Praxisschlägen vermehrt hohe Bodeninokulumsgelhalte über 50 CFU gemessen, die Befallshäufigkeit und –stärke war aber deutlich geringer als im Vorjahr. Wetterdaten deuteten darauf hin, dass höhere Niederschlagsmengen im Mai für Infektionen notwendig sein könnten. Aus den Bodeninokulums- und Befallsdaten beider Untersuchungsjahre wurde eine Bodeninokulums-Schadschwelle berechnet, bei deren Überschreitung überproportional große Befallsflächen auftreten können. Der Grenzwert betrug 50 CFU. Aus dem Ergebnis der Berechnung wurde zudem ersichtlich, dass ein bis zu 3 % der Rübenfläche umfassender Später Rübenfäule Befall immer und unabhängig von der Höhe des Bodeninokulums auftreten kann. In beiden Projektjahren wurden im Herbst, nach Ernte der Vorfrüchte zur Zuckerrübe, Bodenproben von den Untersuchungsflächen gezogen, um zu prüfen, ob mit der Quinoa-qPCR Methode eine Prognose des zu erwartenden Späte Rübenfäule Befalls möglich ist. Die Zusammenhänge waren gering und mit einer großen Unsicherheit belastet, womit sich die Quinoa-qPCR Methode hierfür als ungeeignet erwies. Auf drei Monitoringstandorten wurde im Untersuchungsjahr 2017/18 das *R. solani* AG2-2 Bodeninokulum periodisch ab den Vorfrüchten gemessen. Es zeigte sich, dass das Bodeninokulum in seiner Menge zeitlich variierte und schlagindividuellen Verläufen folgte. Ab August 2018 stabilisierten sich die Bodeninokulumsmengen jedoch. Zukünftig könnte die Quinoa-qPCR Methode für ein mittelfristiges Monitoring des Inokulumpotentials in Zuckerrübeanbaugebieten eingesetzt werden. Die Bodenproben könnten aus Rüben im Hochsommer, oder nach frühen Rodeterminen automatisiert im frühen Herbst genommen werden. Die mittelfristige Effektivität von auf Praxisschlägen umgesetzten Risikominderungsmaßnahmen könnte beurteilt, sowie Risikogebiete identifiziert und räumlich differenziert werden. Der Vorteil der Methode läge darin, dass das Inokulumpo-

tential eines Bodens auch in Jahren erfasst werden könnte, in denen aufgrund der Jahreswitterung ein sichtbarer Befall der Zuckerrüben ausbleibt. Ein weiterer Einsatzbereich der Quinoa-qPCR Methode könnte die epidemiologische Grundlagenforschung sein. Detaillierte Untersuchungen der Verteilung des Inokulums auf Untersuchungsflächen im Projekt zeigten räumliche Konzentrationen des Inokulums auf wenige Stellen. Zudem wurden von Versuchspartnern Hinweise erhalten, dass die Aktivität des *R. solani* AG2-2 Mycel mobil sein könnte. Zusammen mit der zeitlichen Heterogenität der gemessenen Inokulumsmengen deutet das auf eine bisher kaum bis nicht beschriebene räumliche und zeitliche Dynamik des *R. solani* AG2-2 Mycel im Boden hin.

Die Rübenanbauer der beprobten Schläge wurden mit einem Fragebogen zu den Schlaghistorien befragt. Diese Bewirtschaftungsdaten und räumlich hochaufgelösten Wetterdaten wurden mit den Späte Rübenfäule Befallsstärken (RsArea) korreliert. Den stärksten Späte Rübenfäule fördernden Einfluss hatte die Menge des gemessenen Bodeninokulums (CFU). Den zweitstärksten fördernden Einfluss hatte der prozentuale Maisanteil in der Fruchtfolge, gefolgt von der Häufigkeit des Pflugeinsatzes. Der Pfluganteil stellte sich in einer eigenen Korrelation als Indikator für eine Bewirtschaftungsweise heraus, die durch einen hohen Maisanteil in der Fruchtfolge, der näher an der Zuckerrübe stand, einen geringeren Getreideanteil, das weiter von der Rübe stand, einen überproportional häufigen Anbau Rhizoctonia-toleranter Zuckerrübensorten, eine später im Jahr stattfindende Grundbodenbearbeitung, eine deutlich seltenere Mulch- oder Direktsaat und einen relativ geringen Zwischenfruchtanbau in der Gesamtfruchtfolge gekennzeichnet war. Weiterhin hatte die Höhe des Rübenanteils in der Fruchtfolge einen Späte Rübenfäule fördernden Effekt. Einen mindernden Einfluss auf die Größe der Befallsflächen hatten der Anteil des in der Fruchtfolge auf dem Feld belassenen Strohs, der Anteil sonstiger, seltener in Zuckerrübenfruchtfolgen enthaltener Kulturen, wie Winterraps, und die Weite der Fruchtfolge. Somit fällt der Fruchtfolgegestaltung die Hauptbedeutung in der Kontrolle der Späten Rübenfäule zu. Weite, vielfältige Fruchtfolgen senken das Späte Rübenfäule Risiko, wohingegen enge, einseitige Fruchtfolgen mit hohem Maisanteil das Risiko erhöhen. Der relevanteste Wettereinfluss auf den Befall waren die Niederschläge im Mai, wenn auch statistisch nicht signifikant. Statistisch signifikante Unterschiede im Zusammenhang mit der Befallsstärke zeigten sich zudem bei der Art der Vorvorfrucht zur Zuckerrübe, der Maisnutzungsrichtung und der Art der Zwischenfrüchte vor der Zuckerrübe. Größere Befallsflächen traten häufiger nach Vorvorfrucht Mais auf, als nach Vorvorfrucht seltener in Zuckerrübenfruchtfolgen enthaltener Kulturen. Bei der Maisnutzungsrichtung Silomais war der Späte Rübenfäule Befall insgesamt häufiger, wobei großflächiger Befall aber häufiger in der Nutzungsrichtung Körnermais auftrat. Bei der Art der Zwischenfrucht vor der Zuckerrübe trat geringerer Befall nach Senf auf und stärkerer Befall nach der großkörnigen Leguminöse Erbse. Zwischenfruchtmischungen lagen in der Mitte.

Die Menge des Bodeninokulums korrelierte hauptsächlich mit Wetterdaten. Beeinflussbare Faktoren aus den Bewirtschaftungsdaten waren nur der Getreideanteil in der Fruchtfolge mit einem mindernden Effekt und der Maisanteil mit einem fördernden Effekt auf die Höhe des Bodeninokulums. Ein warmer, eher feuchter Herbst, vor allem ein nasser Winter vor der Zuckerrübe, im Frühjahr langsamer abtrocknende und sich langsamer erwärmende Schläge sowie erhöhte Bodentemperaturen im Mai und Juli hingen positiv mit der *R. solani* AG2-2 Inokulumsmenge der untersuchten Schläge zusammen.

Die Einzelkomponenten in markterhältlichen Greening-geeigneten Zwischenfruchtmischungen für Zuckerrübenfruchtfolgen wurden ermittelt. Davon wurden 19 Zwischenfruchtarten untersucht. In einem Gewächshausversuch wurde deren *R. solani* AG2-2IIIB

Anfälligkeit durch Wurzelbonituren und Messung der Aufwuchstroekmassen bestimmt. Zudem wurde das Mycelwachstum auf Zwischenfruchtstroh in einem Laborversuch untersucht. In der zusammenfassenden Betrachtung stellten sich Phacelia, Saatwicke und großkörnige Leguminosen als anfällige Pflanzen heraus. Als geeignete Zwischenfruchtarten zeigten sich Alexandrinerklee, Kreuzblütler, Rauhafer und Sonnenblumen. Bei den am häufigsten in Mischungen enthaltenen Komponenten gab es Sortenunterschiede bei Ölrettich und weißem Senf, nicht jedoch bei Phacelia und Alexandrinerklee. In Zwischenfruchtfeldversuchen der ARGE Regensburg zeigten sich die stärksten Späte Rübenfäule Symptome und die geringsten bereinigten Zuckererträge (BZE) nach Zwischenfrucht Erbse/Bohne und Phacelia, die geringsten Symptome und die höchsten BZE wurden nach Alexandrinerklee und nach der Schwarzbrache festgestellt.

Pilzliche *Trichoderma* spp. und bakterielle *Pseudomonas* spp. wurden in der Literatur als die bedeutendsten natürlich im Boden vorkommenden mikrobiellen Antagonisten zu *R. solani* genannt. Molekularbiologische gattungsspezifische Quantifizierungsmethoden wurden an der LfL nach publizierten Protokollen etabliert und zur Analyse der Bodenproben der Praxiszuckerrübenschnägel aus Juli 2017 und 2018 angewendet. Die *Trichoderma* spp. Abundanz war auf Flächen mit Späte Rübenfäule Befall in beiden Jahren erhöht. Es konnte aber kein statistischer Zusammenhang mit der Größe der Befallsfläche oder der *R. solani* AG2-2 Bodenkonzentration gefunden werden, ebenso wurde kein Einfluss der Bewirtschaftungsweise gefunden. Die *Pseudomonas* spp. Abundanz war nahezu konstant, nur im Juli 2018 war sie auf Flächen mit Befall leicht erhöht. Zusammenhänge mit der Größe der Befallsfläche, der *R. solani* AG2-2 Bodenkonzentration oder den Bewirtschaftungsdaten wurden ebenfalls nicht gefunden. Die *Pseudomonas* spp. Abundanz war hauptsächlich von Wetterdaten beeinflusst. Höhere Temperaturen und trockenere Verhältnisse korrelierten positiv mit der *Pseudomonas* spp. Abundanz. Maßnahmen zur Förderung dieser natürlich im Boden vorkommenden mikrobiellen Antagonisten konnten somit nicht abgeleitet werden.

## 1 Ziele

- **Monitoring des *R. solani* AG2-2IIIB Bodengehaltes in Praxisschlägen:** Optimierung der im Vorgängerprojekt entwickelten molekularbiologischen Quantifizierungsmethode (Quinoa-qPCR) für den routinemäßigen Einsatz zur Messung des *R. solani* AG2-2IIIB Bodeninokulums aus Feldböden
- **Ableitung einer *R. solani* AG2-2IIIB Schadschwelle:** Suche nach einem kritischen *R. solani* AG2-2IIIB Bodengehalt, ab dem ein erhöhtes Risiko für einen verstärkten Ausbruch der Späten Rübenfäule besteht
- **Prognose des Späte Rübenfäule Risikos im Vorjahr:** Überprüfung einer Prognose des Späte Rübenfäule Befallsrisikos anhand von Bodenproben bereits nach Ernte der Vorfrüchte
- **Untersuchung der Rhizoctonia-Anfälligkeit von Zwischenfrüchten:** Untersuchung Greening-geeigneter Zwischenfrüchte für Zuckerrübenfruchtfolgen im Hinblick auf die Späte Rübenfäule durch Feldversuche und Anbauversuche unter kontrollierten Bedingungen
- **Ableitung befallsfördernder und –mindernder Faktoren aus Praxisdaten:** Erhebung pflanzenbaulicher Faktoren im Zuckerrübenanbau durch Befragung der am Projekt teilnehmenden Landwirte und anschließende Korrelation mit den ermittelten *R. solani* AG2-2IIIB Bodengehaltswerten, dem Späte Rübenfäule Befall und Witterungsdaten
- **Monitoring *R. solani* AG2-2IIIB antagonistischer Mikroorganismen:** Ermittlung des Gehalts von in der wissenschaftlichen Literatur beschriebenen *R. solani* AG2-2IIIB hemmend wirkenden Mikroorganismen (Antagonisten) aus Feldproben

## 2 Stand der Wissenschaft und Technik

### 2.1 Allgemeine Einleitung

#### 2.1.1 Späte Rübenfäule

Die Späte Rübenfäule ist eine bodenbürtige Krankheit (Erreger: *Rhizoctonia solani* AG2-2) der Zuckerrübe, die eine Fäule des Rübenkörpers („schwarze Rüben“) verursacht. Durch das scheinbar spontane, nicht vorhersehbare Auftreten von Befallsnestern, die mit hohen Ertrags- und Qualitätsverlusten einhergehen können, ist die Späte Rübenfäule eine gefürchtete Pilzkrankheit im Zuckerrübenanbau.

#### 2.1.2 Wirtschaftliche Bedeutung

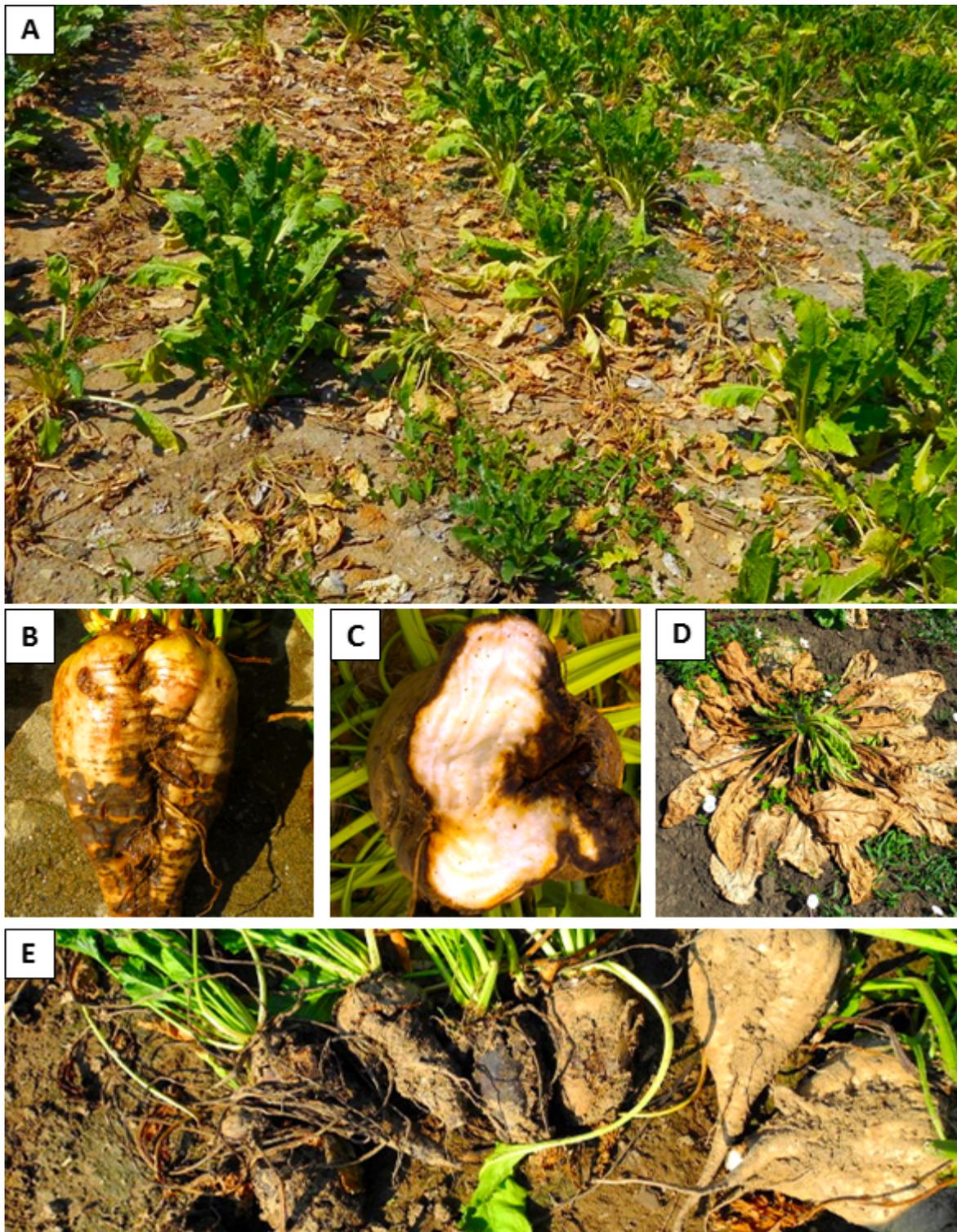
Die Späte Rübenfäule der Zuckerrübe hat ein enorm hohes Schadpotential. Historisch gab es schon immer Jahre in denen vermehrt „schwarze Rüben“ auf den Feldern und in den Zuckerrübenmieten beobachtet wurden. Die Späte Rübenfäule hatte im Vergleich mit anderen Zuckerrübenkrankheiten aber eine eher untergeordnete Bedeutung. Das änderte sich beginnend mit den 1990er Jahren. Seitdem breitet sich die Späte Rübenfäule zunehmend aus. In Rübenanbaugebieten, in denen sich die Späte Rübenfäule dauerhaft etabliert hat, gehört sie heute zu den wichtigsten ertragslimitierenden Faktoren. Aktuell sind ca. 15000 ha der Zuckerrübenanbaufläche in Deutschland betroffen. Der Grad des verursachten Schadens variiert witterungsbedingt zwischen den Jahren. In Jahren mit für den Erreger günstiger Witterung (häufige Niederschläge im Mai/Juni) kann ein Starkbefall Rüben-ertragsverluste von 50 % bis hin zum Totalverlust zur Folge haben. Zudem mindert die Späte Rübenfäule die Qualität geernteter Zuckerrüben. Mit dem Befall sind eine Reduktion des Zuckergehaltes in der Zuckerrübe, sowie eine Reduktion des Anteils extrahierbaren Zuckers in den Zuckerfabriken verbunden. Durch die geringere Lagerfähigkeit befallener Partien und die schlechtere Verarbeitbarkeit kann die straff organisierte Logistik der Zuckerkampagne gestört werden. Neben den Ertragsverlusten wirkt sich der höhere Aufwand der Zuckerfabriken negativ auf den erzielbaren Preis der Zuckerrübenanbauer aus.

#### 2.1.3 Symptome der Späten Rübenfäule

Eine erste, nesterweise Welke kann bereits im Juni beobachtet werden. Beginnend mit Juli tritt eine scheinbar spontane, verstärkte Welke der Blätter auf. An der Blattstielbasis können Verbräunungen sichtbar sein. Im weiteren Verlauf sterben zunächst die älteren Blätter, später der ganze Blattapparat ab. Charakteristisch für die Späte Rübenfäule ist das sternförmige Ablegen der Blätter. Im Bestand bilden sich Lücken. Diese sog. Befallsnester haben eine ovale Form oder treten streifig in Reihenrichtung auf. Erste Befallsnester sind häufig in Zonen mit Bodenverdichtungen und Staunässe, wie entlang der Fahrgassen, der Vorgewende und Senken, beobachtbar. Im Lauf der Vegetationsperiode dehnt sich der Umfang der Nester aus (Abbildung 1).

Am Rübenkörper sind zunächst kleinere, trockene, schwarz-braun gefärbte Faulstellen erkennbar, die vom gesunden Gewebe scharf abgegrenzt sind. Ausgehend von der Bodenoberfläche breiten sich die Faulstellen weiter nach unten und von außen nach innen aus. Später fließen die Faulstellen zusammen und können schließlich den ganzen Rübenkörper überziehen. Stark befallene Zuckerrüben bleiben im Wuchs zurück, zeigen Deformationen und Risse und mumifizieren schlussendlich. Das tatsächliche Befallsausmaß kann dadurch unterschätzt werden, da die faustgroßen Mumien vom Zuckerrübenroder nicht erfasst werden und auf dem Feld verbleiben. Die durch *R. solani* AG2-2 hervorgerufenen Be-

schädigungen des Zuckerrübenkörpers bieten Eintrittspforten für Bakterien und weiterer Pilze, die eine Nassfäule (Geruch) verursachen und zu einem weiteren Zersetzen der Rüben führen, das sich in der Miete fortsetzt.



*Abbildung 1: Symptome der Späten Rübenfäule*

A) Befallsnest in einem Zuckerrübenschlach, B) Braunschwarze Läsionen am Zuckerrübenkörper, C) In das Innere der Rübe fortgeschrittene Fäule, D) Charakteristisch sternförmiges Ablegen der Blätter, beginnend mit älteren Blättern, E) Zunehmende Befallsstärke von rechts nach links

Verwechslungsmöglichkeiten bestehen mit weiteren Fäulniserkrankungen der Zuckerrübe. Besonders hervorzuheben sind der Gürtelschorf (*Aphanomyces cochlioides*), die Herz- und Trockenfäule durch Bor-Mangel, die Rübenkopffäule (Rübenkopffälchen, *Ditylenchus dipsaci*), sowie die Rotfäule (*Helicobasidium purpureum*). Eine sichere Diagnose ist nur im Labor möglich.

#### 2.1.4 Erregerbiologie

*Rhizoctonia solani* J.G. Kühn (*R. solani*) wurde erstmals 1858 von Julius Kühn von der Kartoffel isoliert und von ihm als „Wurzeltöter der Solanaceen“ benannt. *R. solani* ist das asexuelle (anamorphe) Stadium des Ständerpilzes (Basidiomyceten) *Thanatephorus cucumeris* (A.B. Frank) Donk. Das sexuelle (teleomorphe) Stadium ist für das Infektionsgeschehen eher unbedeutend, nur gelegentlich werden sexuelle Basidiosporen an überirdischen Pflanzenteilen gebildet. *R. solani* verbreitet sich nahezu ausschließlich über sein vegetatives Mycel im Boden und ist in nahezu allen kultivierten Böden der Welt vorhanden. Die anfangs durchscheinenden, später bräunlichen (melansierten), septierten Hyphen sind charakteristisch rechtwinklig verzweigt, was eine einfache optische Diagnose ermöglicht. Er ernährt sich saprophytisch von bereits totem organischem Material, tritt aber auch als Parasit an unterirdischen Pflanzenteilen auf („Schwächeparasit“). Genetische Variation findet vorwiegend über Hyphenverschmelzungen (Anastomose) und Zellkernaustausch der multinuklearen Zellen statt. Zueinander kompatible Mycelien, zwischen denen Anastomose stattfinden kann, bilden sog. Anastomosegruppen (AG). Momentan sind 14 Anastomosegruppen bekannt, die unterschiedliche Wirtspektren haben (Anees, et al., 2010). Die AG3 löst z.B. Symptome an der Kartoffel aus, nicht aber an der Zuckerrübe. Die Zuckerrübe kann von AG2 und AG4 befallen werden. AG2 verursacht die relativ spät in der Vegetationsperiode am Zuckerrübenkörper auftretende Späte Rübenfäule. AG4 führt hingegen zusammen mit anderen Erregern zu einer anderen Krankheit, dem Wurzelbrand, die durch eine Keimlingsfäule zu einem verminderten Feldaufgang führt. Die AG werden weiter in sog. Intraspecific Groups (ISG) unterteilt. AG2-2IIIB und AG2-2IV können beide die Späte Rübenfäule verursachen, wobei in Deutschland dafür hauptsächlich die AG2-2IIIB verantwortlich gemacht wird und somit die größere Bedeutung hat (Führer Ithurrat, et al., 2004). Neben der Zuckerrübe sind auch Mais, Sorghumhirse, Soja, Ackerbohnen, Gräser und weitere Pflanzen als Wirtspflanzen für AG2-2IIIB bekannt.

Ausgehend vom Bodeninokulum, das sich aus überdauerndem Mycel an Wirtspflanzen, deren unzersetzten Rückständen und aus Sklerotien (verhärtete Knäuel aus kalte- und trockenresistenten Dauerhyphen, die im Boden mehrjährig überdauern können) zusammensetzt, finden im Frühjahr unter für den Pilz günstigen Wetterverhältnissen im Mai/Juni Primärinfektionen statt. Ab 15 °C Bodentemperatur beginnen die Hyphen zu wachsen. Das Temperaturoptimum liegt bei 25-30 °C. Bodentemperaturen über 35 °C hemmen das Wachstum. Länger anhaltende hohe Bodenfeuchte bei verhältnismäßig warmer Witterung, z.B. nach Starkniederschlägen, fördert das Pilzwachstum. In schnell abtrocknenden, luftdurchlässigen Böden kann sich *R. solani* nicht gegen andere Bodenmikroorganismen durchsetzen. Für den Erreger günstig sind hingegen Bodenbereiche, in denen es zu einer Verschiebung zu eher anaeroben Bodenverhältnissen kommt. Die Ursachen hierfür können vielfältig sein. Ein komplexes Zusammenwirken bodenphysikalischer, bodenchemischer und bodenbiologischer Faktoren führen zu einer Schwächung der Zuckerrüben und antagonistisch wirkender Bodenmikroorganismen, die dann eine Besiedelung des Rübenkörpers durch *R. solani* erlauben. Einschränkend muss jedoch gesagt werden, dass die letztendlichen Ursachen für das verstärkte Auftreten der Späten Rübenfäule nicht vollständig verstanden sind. Aus Erfahrung führen Bodenstrukturschäden (v.a. Bodenverdich-

tungen), Staunässe und „Strohmatte“ zu einer verstärkten Symptomausprägung. Haben die Hyphen den Zuckerrübenkörper erreicht, wachsen sie zunächst entlang der Oberfläche bevor sie sich zu einer Infektionsstruktur, dem sog. Infektionskissen, ansammeln. Von dort aus greifen sie die Zellwände der Zuckerrübe mittels eines überproportional großen Arsenal zellwandauflösender Enzyme an (Wibberg, et al., 2016). Die Zuckerrübenzellen platzen auf, das Gewebe stirbt ab und verfärbt sich braun (Nekrose). Der Pilz ernährt sich dann vom toten Gewebe und bildet darauf später Sklerotien aus. Alternativ kann *R. solani* auch durch natürliche Öffnungen (Lentizellen) oder durch mechanische Beschädigung hervorgerufene Wunden Zugang zum Zuckerrübeninneren erlangen. Die Pilzhypen wachsen anschließend weiter entlang des Rübenkörpers und in den Rübenkörper ein. Die Nekrosen vergrößern sich. Wird dabei das Leitgewebe der Zuckerrübe beschädigt kommt es zu einer Beeinträchtigung des Wasser- und Nährstofftransports, was sich zunächst in einer Welke der Blätter zeigt. Die erst später sichtbaren, überirdischen Befallsnester sind scharf abgegrenzt zu gesunden Rüben.

### 2.1.5 Kontrollmöglichkeiten

Ausreichend wirksame chemische, oder biologische Präparate zur direkten Bekämpfung von *R. solani* in der Zuckerrübe stehen derzeit nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung. Eine, wenn auch begrenzte, Kontrolle der Späten Rübenfäule ist nur indirekt über acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen möglich. Die gängigste Maßnahme ist der Anbau von Rhizoctonia-toleranten Sorten auf Standorten mit angenommenem hohem Befallsdruck. In Jahren mit für den Pilz günstiger Witterung werden diese nur zu einem geringeren Ausmaß befallen und ermöglichen daher einen relativen Mehrertrag im Vergleich zu stärker geschädigten anfälligen Sorten. In Jahren mit für den Pilz ungünstiger Witterung und auf Nichtbefallsstandorten liegt das Ertragspotential der toleranten Sorten allerdings um ca. 10-15 % unter dem von *R. solani* AG2-2 anfälligen Sorten. Einen weiteren entscheidenden Einfluss hat die Fruchtfolge. Ein hoher Anteil von *R. solani* AG2-2IIIB Wirtspflanzen, insbesondere Mais, führt zu einer Anreicherung des Pilzmycels im Boden. Körnermais sollte nicht direkt vor der Zuckerrübe stehen. Winterweizen ist als Vorfrucht zur Zuckerrübe günstig anzusehen, da er keine Wirtspflanze für *R. solani* AG2-2IIIB ist und dadurch das Bodeninokulum verringert werden könnte. Generell trägt eine weite Zuckerrübenfruchtfolge mit geringem Anteil von *R. solani* AG2-2IIIB Wirtspflanzen zur Vermeidung des Aufbaus hoher Bodeninokulumkonzentrationen bei. Ernterückstände sollten gleichmäßig verteilt, zerkleinert und eingearbeitet werden um eine zügige Rotte zu ermöglichen. Das gilt insbesondere für Mais (Mulchen der Maisstoppel), da *R. solani* AG2-2IIIB auf unzersetzten Maisernterückständen im Boden überdauern kann. Ein großes Augenmerk muss auf die Vermeidung von Bodenverdichtungen gelegt werden. Insbesondere das Befahren mit schweren Maschinen in der Vorfrucht (v.a. Mais), die Grundbodenbearbeitung (Pflugsohle) und eine Aussaat unter nassen Bodenbedingungen sind ein Risikofaktor. Alle Maßnahmen zur Verbesserung der Bodengare und zur Förderung des Bodenlebens sind als günstig anzusehen. Unter diesen Bedingungen werden auch Niederschläge schneller vom Boden aufgenommen und Staunässe vermieden.

## 2.2 Bodenprobennahmemuster

Grundsätzlich existieren fünf verschiedene, übergeordnete Bodenprobenahmemuster: zufälliges, systematisches, gezieltes, stratifiziertes und geschachteltes Muster (Hämmann & Desaulles, 2003). Das gezielte und das stratifizierte Muster benötigen Vorwissen über die tatsächliche räumliche Verteilung des Untersuchungsgegenstands. Das geschachtelte Muster ist sehr aufwändig in der Umsetzung. Das zufällige Muster hat einen geringen systema-

tischen Fehler, ist aber nicht flächenproportional. Das systematische Muster ist flächenproportional, kann unter Umständen aber zu systematischen Fehlern führen. Das systematische Muster hat Vorteile in der Detektion von räumlich abgegrenzten, punktuellen Zielen (Ferguson, 1992) (Wang, et al., 2012). Insbesondere steigt nach Ferguson (1992) mit dem systematischen Muster die Wahrscheinlichkeit einen Kreis (*R. solani* Nest) innerhalb einer bestimmten Fläche zu detektieren. Das systematische Muster wird üblicherweise als ‚Grid Soil Sampling‘ bezeichnet. Ein Gitter wird über die zu beprobende Fläche gelegt. Es existieren wiederum verschiedenste Methoden wie man den Messpunkt innerhalb einer Zelle platziert. Im einfachsten Fall, dem Systematic Grid – Regular Square, befindet sich der Messpunkt in der Mitte jeder einzelnen Zelle des Gitters. Hier ist der systematische Fehler am größten, da z. B. der Einfluss der Bearbeitungsrichtung einer Ackerfläche immer gleich erfasst wird. In Zeiten vor GPS wurde dieses Problem mit dem Staggered Start/W-Form/Diamond Shape/Dreiecksmuster-Systematic Grid angegangen. Das zugrundeliegende Prinzip der unterschiedlichen Bezeichnungen ist jeweils dasselbe: Auf eine erste Reihe mit Punkten folgt eine weitere Reihe deren Punkte in der Mitte zwischen denen der vorherigen Reihe liegen. Dieses Muster ist einfach umzusetzen und reduziert den systematischen Fehler. Durch die GPS Technologie ist ein Muster anwendbar geworden, das den systematischen Fehler nochmals reduziert, zuvor aber nur schwer auf der Fläche umsetzbar war. Im sog. Herringbone Sampling Design, meist als Systematic Unaligned Grid bezeichnet, wird der systematische Fehler durch eine Zufallskomponente in der Verteilung der Messpunkte in den jeweiligen Zellen reduziert, wobei die Flächenproportionalität aber beibehalten wird. Ferguson (1992) zeigt zudem die Überlegenheit dieses Musters in der Wahrscheinlichkeit Zielflächen unterschiedlicher Form (Quadrat, Rechteck, Kreis, Ellipse) auf der beprobten Fläche zu detektieren. Eine Anleitung zur Erstellung des Systematic Unaligned Grids nach dem Herringbone Design, sowie eine bildliche Übersicht der erwähnten Systematic Grids findet sich in der Broschüre ‚Soil Sampling‘ der Midwest Laboratories (Midwest Laboratories, n.d.). Die Entwicklung eines kommerziellen Bodentestsystems für bodenbürtige Getreideschaderreger, einschließlich *R. solani* AG8, in Australien zeigte, dass eine Mischprobe von 20-30 Bohrkernen nötig ist um die Variation der DNA Werte von bodenbürtigen Pathogenen aus den einzelnen Bohrkernen zu stabilisieren. Ferner wird eine Mischprobe bestehend aus 45 Bohrkernen für Praxisflächen empfohlen (Ophel-Keller, et al., 2008)

### 2.3 Quantifizierungsmethoden *R. solani* aus Feldböden

Historisch wurden verschiedene Methoden zur Quantifizierung von *R. solani* aus Boden entwickelt. Beispiele umfassen die Nasssiebmethode, Ködermethoden und mikrobiologische Kulturtechniken (Neate & Schneider, 1996). In der Nasssiebmethode werden Bodenproben in Wasser gelöst und über eine Reihe von feiner werdenden Sieben fraktioniert. Die kleinste Fraktion wird auf Nährmedien kultiviert und morphologisch ausgewertet (Clark, et al., 1978). Bei den Ködermethoden werden Samen, Pflanzen, oder Zahnstocher in Bodenproben inkubiert und anschließend ebenfalls auf Nährmedien kultiviert und mikrobiologisch anhand der Morphologie ausgezählt (Spurlock & Rothrock, 2015). Ein Beispiel für eine direkte Kulturtechnik ist die Verwendung des Pellet Soil-Sampler Gerätes, mit dem 15 kleine Bodenpellets direkt auf Nährmedien platziert werden können (Henis, et al., 1978). Der hohe Arbeits- und Zeitaufwand für die mikrobiologische Auswertung und die viel Erfahrung benötigende morphologische Unterscheidung der gesuchten *R. solani* Anastomosegruppe schränkten diese Methoden ein. Der Zeit- und Arbeitsaufwand konnte durch die Verwendung von monoklonalen Antikörpern in einem Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA), anstelle der mikrobiellen Untersuchung, im Köderverfahren redu-

ziert werden. Bodenproben wurden in Petrischalen mit Quinoa Samen inkubiert. Von den abgesammelten Quinoa Samen konnte die Art *R. solani* immunologisch quantifiziert werden (Thornton, et al., 1999). Allerdings unterschieden die verwendeten Antikörper nicht zwischen den verschiedenen *R. solani* Anastomosegruppen. Dieses Problem wurde durch die Verwendung von Anastomosegruppen spezifischen Primern in einer quantitativen Polymerasekettenreaktion (qPCR) gelöst, zunächst für die AG3, mit denen eine spezifische Region der Internal Transcribed Spacer (ITS) rDNA amplifiziert werden konnte (Lees, et al., 2002). Anhand dieser ITS Region können verschiedene Pilze phylogenetisch bis in die Unterarten unterschieden werden (Schoch, et al., 2012). Lees et al. (2002) verglichen die Quinoa Ködermethode von Thornton et al. (1999) mit der DNA Extraktion direkt aus Boden und befanden die Ködermethode für sensitiver. Schließlich wurden qPCR Primer für 11 *R. solani* AGs entwickelt und validiert (Budge, et al., 2009), inklusive der AG2-2, in die der Erreger der Späten Rübenfäule fällt. Die qPCR Methode mit Anastomosegruppen spezifischen Primern hat sich seitdem in unterschiedlichen Kulturen zur Quantifizierung der *R. solani* Erregermenge aus Böden durchgesetzt. Beispiele umfassen die AG1-IA, dem Erreger der Netzfäule an Nassreis (Sayler & Yang, 2007), die AG8, dem Erreger der Rhizoctonia-Wurzelfäule (Bare patch) an Weizen (Okubara, et al., 2008), die AG3, dem Erreger der Wurzeltöterkrankheit an Kartoffel (Woodhall, et al., 2013) und die AG2-1, einem Erreger von Keimlings- und Wurzelfäulen an Raps (Zhou, et al., 2014). In diesen Beispielen wurde die DNA direkt aus Boden extrahiert, meist, durch technische Einschränkungen, nur aus wenigen Gramm Boden, was Fragen zur Repräsentativität einer Probe aufwarf. Konsequenterweise wurde ein Protokoll entwickelt, mit dem DNA aus bis zu einem Kilogramm Boden für eine qPCR-basierte Erregerquantifizierung extrahiert werden kann (Woodhall, et al., 2012). Für die Quantifizierung von *R. solani* AG2-2IIIB, dem Erreger der Späten Rübenfäule, stehen derzeit zwei molekularbiologische Methoden zur Verfügung. An der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft wurde in Vorgängerprojekten die Quinoa-qPCR-Methode (Boine, et al., 2014) entwickelt, die im Wesentlichen die Ködermethode von Thornton et al. (1999) mit den AG2-2 spezifischen Primern von Budge et al. (2009) verbindet. Am Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ) in Göttingen wurde die direkte Bodenextraktionsmethode nach Woodhall et al. (2012) mit eigens entwickelten Primern adaptiert (Schulze, et al., 2016). Mit der Quinoa-qPCR Methode wird, bedingt durch den Köderschritt, nur lebendes, potentiell infektiöses Mycel erfasst und quantifiziert, wohingegen in direkten Bodenextrakten auch DNA aus bereits abgestorbenem Mycel miterfasst werden könnte.

## 2.4 Rhizoctonia-Anfälligkeit von Zwischenfrüchten in Zuckerrübenfruchtfolgen

Das publizierte Wissen über die Rhizoctonia-Anfälligkeit von Zwischenfrüchten für Zuckerrübenfruchtfolgen umfasst hauptsächlich Ergebnisse zu *Brassicaceae*n (Kreuzblütler). Drei Ölerrettichsorten (*Raphanus sativus* var. *oleiformis*), Weizen (*Triticum aestivum*) und Soja (*Glycine max*) wurden als Vorfrucht zur Zuckerrübe in künstlich mit *R. solani* AG2-2 inokulierten Parzellen in Minnesota (USA) geprüft. Der Ölerrettich wurde im Frühling gesät und viermal während der Vegetationsperiode gemulcht (Biofumigation). Zuckerrüben nach zwei wuchsstärkeren Ölerrettichsorten waren die besten Varianten des Versuchs und schnitten vergleichbar, aber tendenziell besser ab als Zuckerrüben nach Weizenvorfrucht. Allerdings war die schlechteste Variante Zuckerrüben nach der dritten, weniger Biomasse bildenden, Ölerrettichsorte, die vergleichbar war mit Vorfrucht Sojabohne, einer *R. solani* AG2-2 Wirtspflanze (Windels & Brantner, 2005). In einem Feldversuch in Frankreich führte ein Biofumigationsansatz, mit Braunem Senf (*Brassica juncea*) als Zwischenfrucht

vor Zuckerrübe, zu einer geringeren Befallshäufigkeit mit der Späten Rübenfäule und einer Erhöhung der Zuckerrübenfrischmasse, im Vergleich zur Brache. Der Braune Senf wurde im August nach Weizen gesät, im Oktober fein gemulcht (~ 1,5 cm Fragmentgröße) und oberflächlich eingearbeitet (Motisi, et al., 2009). Keine der zur Nematoden Unterdrückung angebauten Zwischenfruchtarten, aus der Familie der Kreuzblütler Ölrettich, Brauner Senf, Rübsen (*Brassica rapa*), Weißer Senf (*Sinapis alba*) und Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*) aus der Familie der Raublattgewächse (*Boraginaceae*), war, in Labor-, Gewächshaus- und Feldversuchen, vollständig resistent gegenüber *R. solani* AG2-2IIIB. Allerdings zeigten Rübsen und Ölrettich die geringsten Symptome, wohingegen Phacelia am anfälligsten war (Kluth, et al., 2010). Der Flächenumfang des Winterzwischenfruchtanbaus hat in den vergangenen Jahren zugenommen (DBV, 2018). Der Zwischenfruchtanbau war im Jahr 2016 die dominierend gewählte Maßnahme zur Bereitstellung von ökologischen Vorrangflächen im Rahmen des Greenings (DBV, 2016). In Deutschland standen im Jahr 2016 auf ca. 60 % der Schläge Zwischenfrüchte vor der Zuckerrübe, wobei Greening-geeignete Zwischenfruchtmischungen zunehmend Ölrettich und Senf verdrängten (IfZ, 2018). Von den meisten der im Greening zugelassenen Zwischenfruchtarten (LfL, 2018) ist derzeit nichts über deren *Rhizoctonia*-Anfälligkeit bekannt.

## 2.5 *R. solani* antagonistisch wirkende Bodenmikroorganismen

In den 1980er Jahren wurde in Japan ein sukzessiver Rückgang der Späten Rübenfäule in den Folgejahren eines schweren Ausbruchs der Krankheit auf Feldern mit Zuckerrübenmono(!)kultur beobachtet. Ähnliche Beobachtungen wurden auf Feldern mit Weizenmonokultur in Australien (*R. solani* AG8) gemacht. Eine Anreicherung an *R. solani* antagonistisch wirkender Mikroorganismen wurde als ursächlich für diese suppressiv genannten Böden diskutiert (Hyakumachi, 1996). Durch eine Mischung suppressiver Böden mit krankheitsanfälligen Böden soll diese krankheitsunterdrückende Wirkung übertragbar sein (Gómez Expósito, et al., 2017), was für Mikroorganismen mit krankheitsunterdrückender Wirkung sprechen könnte. Der Einsatz antagonistisch wirkender Mikroorganismen könnte in der Kontrolle bodenbürtiger Schaderreger hilfreich sein, da deren Bekämpfung mit konventionellen Maßnahmen oftmals nicht möglich oder umsetzbar ist. Die Wirkung der nichtpathogenen ‚Biological Control Agents (BCAs)‘ beruht auf mikrobiellen Antagonismus durch z.B. Parasitierung des Schaderregers, Konkurrenz um Nährstoffe in derselben ökologischen Nische, Konkurrenz um Besiedelung der Wirtspflanzen, Antibiose durch Produktion toxischer sekundärer Metabolite (z.B. Antibiotika) und/oder Aktivierung des pflanzlichen Immunsystems (induzierte Resistenz) durch z.B. Ähnlichkeiten in als Elizitoren wirkenden Zellwandbestandteilen (Alabouvette, et al., 2009). Verschiedene Mikroorganismen wurden auf ihre Eigenschaft als BCA gegen *Rhizoctonia*-Erkrankungen getestet. Diese umfassen Pilze, z.B. binukleare *Rhizoctonia* spp. und hypovirulente *R. solani* Isolate (Herr, 1995), sowie nichtpathogene *Rhizoctonia zea* Isolate (Webb, et al., 2015), Gram-positive Bakterien wie *Bacillus subtilis* (Asaka & Shoda, 1996), Gram-negative Bakterien wie *Pseudomonas fluorescens* (Grosch, et al., 2005) und weitere (Gómez Expósito, et al., 2017). Oftmals erreichen BCAs im Feldeinsatz nicht dieselben Wirkungsgrade wie im Labor. Im Unterschied zum Labor mit einer standardisierten und skalierbaren Umwelt, findet sich im Feld eine variable Umwelt, die die biologische Leistungsfähigkeit der BCAs einschränken kann. Vor allem, wenn deren Wirkmechanismus auf Konkurrenz zum Schaderreger beruht, müssten sie im Boden ähnliche Populationsdichten wie die Schaderreger aufbauen (Alabouvette, et al., 2006). In Anbetracht der Komplexität des Bodenlebens kann es fraglich erscheinen, ob durch künstliche Applikationen die Zusammensetzung des Bodenmikrobioms hinreichend zu Gunsten der BCAs verändert werden könnte. Ein alternativer Ansatz in der biologischen Kontrolle bodenbürtiger Schaderreger wäre die Förde-

rung bereits im Bodenmikrobiom vorhandener Mikroorganismen mit antagonistischer Wirkung gegen Schaderreger. In umfangreichen Arbeiten wurden Zuckerrüben-assoziierte Bodenpilze und -bakterien identifiziert und auf ihr antagonistisches Potential gegen *R. solani* untersucht (Grosch, et al., 2006) (Zachow, et al., 2008). Insbesondere pilzliche *Trichoderma* spp., deren Wirkungsweise gegen *R. solani* seit längerem gut untersucht ist (Benítez, et al., 2004), und bakterielle *Pseudomonas* spp., die ebenfalls seit längeren sehr gut untersucht sind (Haas & Défago, 2005), zeigten die beste Wirkung gegen *R. solani*, auch gegen *R. solani* AG2-2IIIB (Zachow, et al., 2008) (Zachow, et al., 2010).

## 2.6 Befallsfördernde Faktoren der Späten Rübenfäule

Die Späte Rübenfäule trat in den 1990er Jahren erstmals massiv in Deutschland auf, vor allem am Niederrhein und in Niederbayern (Heupel, 2001). Seitdem wird versucht, die Ursachen aufzuklären. Aus beschreibenden Daten sowie Beobachtungen und Erfahrungen aus der Praxis wurden die Fruchtfolgegestaltung, Bodenstrukturschäden und eine feuchtwarme Witterung als primäre befallsfördernde Faktoren abgeleitet. Der Befall wurde vorwiegend an Stellen mit Bodenverdichtung und Staunässe, wie dem Vorgewende, entlang der Fahrgassen und in Senken beobachtet (Wolf & Verreet, 1999). Da die ursprünglichen Befallsgebiete in Regionen mit hohem Maisanteil in der Fruchtfolge lagen, wurde hier früh ein Zusammenhang vermutet. Die Ergebnisse eines Betriebsvergleichs in Bayern im Jahr 1999 zeigten eine Zunahme des Anteils von der Späten Rübenfäule betroffener Betriebe mit steigendem Maisanteil in engen Rübenfruchtfolgen. Bei einem Rübenanteil von 20 % in der Fruchtfolge stieg die Anzahl der Befallsbetriebe ab 10 % Maisanteil in der Fruchtfolge an (Bürcky & Zellner, 2000). Beim Wetter wurden häufigere Abweichungen vom langjährigen Mittel beobachtet, die zu höheren Temperaturen in der Vegetationsperiode und zu einer früheren Erwärmung der Böden im Frühjahr führten (Wolf & Verreet, 1999). Eine warme und feuchte Witterung ab Mai bis August wurde als begünstigend für die Späte Rübenfäule angesehen (Heupel, 2001). Daneben wurden u. a. eine negativere Humusbilanz, eine unausgewogene Pflanzenernährung und weitere Faktoren ins Feld geführt (Ettl, 2001).

Manche wissenschaftliche Untersuchungen konnten diese Faktoren bestätigen, andere deckten aber auch Widersprüche auf. Die *R. solani* Anastomosegruppe AG2-2IIIB erfüllte die Koch'schen Postulate an Mais und ist von Mais auf die Zuckerrübe übertragbar. Zudem wurde sie an Mais aus Praxisschlägen nachgewiesen (Führer Ithurrat, et al., 2004). In mehrjährigen Feldversuchen des IfZ hatte die Fruchtfolge, neben dem Anbau toleranter Sorten, den größten Effekt auf die Befallsstärke mit der Späten Rübenfäule. Der Grad der Schädigung *Rhizoctonia*-anfälliger Sorten stieg mit dem Maisanteil. Die Befallsstärke nahm von Weizen/Hafer, über Mais/Weizen bis Mais/Mais Vorfrucht zu (Buhre, et al., 2009). In einem gemeinsam von der LfL mit dem IfZ durchgeführten vierjährigen Feldversuch wurde die Maisvariante in Silomais (SM) und Körnernmais (KM) aufgeteilt. Im ersten Jahr nach der Inokulation standen *Rhizoctonia*-anfällige Zuckerrüben (ZR) auf den Parzellen. In den Folgejahren die Versuchsfruchtfolgen SM/SM/ZR, KM/KM/ZR und Winterweizen (WW)/WW/ZR. Die Zuckerrüben waren nach zweimaliger Körnermaisvorfrucht tendenziell am stärksten von der Späten Rübenfäule betroffen, gefolgt von Silomais. In der Weizenvariante waren die Rüben am geringsten geschädigt (Boine, et al., 2014). Analog war das Inokulumpotential in der Körnermaisvariante tendenziell am höchsten und der Bereinigte Zuckerertrag (BZE) tendenziell am geringsten (Dircks, et al., 2014). In einem Topfversuch unter kontrollierten Bedingungen an der LfL vermehrte sich *R. solani* AG2-2IIIB stärker auf in Felderde eingearbeitetem Maisstroh, als auf eingearbeitetem Weizenstroh (Renner, et al., 2016). In voneinander unabhängigen Feldversuchen der LfL

und des IfZ wurden Sortenunterschiede in der Anfälligkeit von Mais gegen *R. solani* AG2-2IIIB gefunden. Diese wirkten sich allerdings in beiden Versuchen nicht auf die Symptomausprägung an den folgenden Zuckerrüben aus (Kluth & Varrelmann, 2010) (Boine, et al., 2014). In einem weiteren Feldversuch der LfL war die Sorghumhirse, als alternative Kultur für Biogasfruchtfolgen, mit Mais vergleichbar anfällig für *R. solani* AG2-2IIIB. Soja zeigte sich in diesem Versuch in Bayern ebenfalls tendentiell als *R. solani* AG2-2IIIB Wirtspflanze (Renner, et al., 2016). In den USA ist Soja seit längerem als *R. solani* AG2-2IIIB Wirtspflanze bekannt. Isolate von der Sojabohne konnten die Späte Rübenfäule an Zuckerrübe auslösen und umgekehrt (Engelkes & Windels, 1996). Allerdings sind auch Studien publiziert, in denen der Zusammenhang zwischen Rhizoctonia-anfälligen Vorfrüchten und der Späten Rübenfäule der Zuckerrübe weniger stark, bis nicht gegeben war. In einem Feldversuch in den USA zeigten Zuckerrüben auf den zu Beginn des Versuchs inokulierten Parzellen nach Vorfrucht Mais signifikant stärkere Symptome der Späten Rübenfäule und Ertragsverluste, als nach Vorfrucht Sommerweizen. Soja als Vorfrucht führte ebenfalls tendentiell zu stärkeren Symptomen und Ertragsverlusten. Mais und Soja überbrückten also das Inokulum zur Zuckerrübe, Weizen aber nicht (Windels & Brantner, 2007). In der Wiederholung des Versuchs traten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vorfruchtvarianten auf (Windels & Brantner, 2008). Beide Versuche wurden fortgesetzt, um Langzeiteffekte in der Aufrechterhaltung des Erregerpotentials über die Fruchtfolge studieren zu können. Auf alle Parzellen wurde nach der Zuckerrübe Sommerweizen (SW) gesät, im Anschluss wieder die Vorfruchtvarianten SW, Soja und Mais, so dass die Fruchtfolgen SW/ZR/SW/SW/ZR, Soja/ZR/SW/Soja/ZR und Mais/ZR/SW/Mais/ZR entstanden. Es traten keine Unterschiede in der Späten Rübenfäule Befallsstärke und im Zuckerrübenenertrag auf, das ursprünglich inokulierte Erregerpotential wurde scheinbar nicht durch hohe Wirtspflanzenanteile in der Fruchtfolge weitergereicht. Die Autoren schlugen vor, dass durch den einmalig zwischengeschobenen Anbau der Nichtwirtspflanze Sommerweizen das *R. solani* Bodeninokulum stark abgenommen haben könnte (Windels & Brantner, 2010).

Ebenfalls widersprüchliche Aussagen finden sich zum Faktor Bodenverdichtung. Durch Überrollen der Versuchspartellen vor der Zuckerrübenaussaat wurden die Symptome der Späten Rübenfäule in einem Feldversuch des IfZ verstärkt (Buddemeyer & Petersen, 2004). Ebenso kam es zu einer Verstärkung der Rhizoctonia-Symptome an Ackerbohne und einer Erhöhung der *R. solani* AG2-2IIIB Inokulumsmenge in Töpfen mit verdichtetem Feldboden unter kontrollierten Bedingungen (Renner, et al., 2016). Untersuchungen zur räumlichen *R. solani* Mycelausbreitung im Boden zeigten, dass die Hyphendichte in verdichteten Böden erhöht ist. Die Ausbreitung des Mycels über größere Distanzen könnte dort durch eine Unterbrechung der Porenstruktur eingeschränkt sein, ebenso könnten mehr wassergefüllte Poren ein Hindernis darstellen, so dass das Mycel verstärkt lokal wächst. Die Hyphenhäufigkeit war hingegen in einer gröberen Porenstruktur mit geringerer Lagerungsdichte erhöht, allerdings nicht deren Dichte (Harris, et al., 2003). Eine lokal beschränkte Primärinfektion könnte an Stellen mit durch Bodenverdichtung erhöhter Mycel-dichte stattfinden, wohingegen eine weitere räumliche Durchdringung des Bestandes mit Sekundärinfektionen vom Vorhandensein einer luftgefüllten, gröberen Porenstruktur abhängig sein könnte (Anees, et al., 2010). Eine vergleichende Inokulation von Böden mit langjähriger konventioneller Bodenbearbeitung oder langjähriger Direktsaat mit *R. solani* AG8 zeigte keine Unterschiede in der Krankheitsschwere der darauf kultivierten Gerste in den USA, jedoch wuchs *R. solani* AG8 schneller durch ungestörte Bohrkerne der weniger dicht lagernden Direktsaatflächen, auf denen die Rhizoctonia-Wurzelfäule der Gerste in der Praxis vorwiegend beobachtet wurde (Schroeder & Paulitz, 2008). Bei der Zuckerrübe

hatten die in einem Feldversuch des IfZ getesteten Bodenbearbeitungsvarianten Pflug oder Grubber vor der Zuckerrübe keinen großen Einfluss auf die Befallsstärke mit der Späten Rübenfäule (Buhre, et al., 2009). In einem weiteren Feldversuch des IfZ wurden die Auswirkungen der Bodenbearbeitung nach Mais mit mehr Varianten genauer untersucht. Die Maisreste wurden entweder 25 cm tief gepflügt, mit einem Grubber auf 10 cm Tiefe eingearbeitet oder, nach vorherigem flächigen Überrollen mit einer schweren Maschine, nur oberflächlich (5 cm) eingearbeitet. Es konnten keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen der Befallsstärke der Zuckerrüben mit der Späten Rübenfäule und den Parametern Eindringwiderstand, Luftkapazität, Gesamtporenvolumen oder pneumatische Leitfähigkeit festgestellt werden. Allerdings war die Befallsstärke in der anfälligen niederbayerischen Umwelt, im Vergleich zur niedersächsischen, tendenziell bei alleinigem Grubbereinsatz nach Körnermais sowie in der verdichteten Variante erhöht. In diesen Varianten wurde dort ein signifikant geringer BZE erzielt (Schulze, et al., 2016). In Untersuchungen auf niederbayerischen Praxisflächen konnte kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Lagerungsdichte der Feldböden und dem Auftreten der Späten Rübenfäule gefunden werden, ebenso nicht bei den Parametern Bodentemperatur,  $C_{org}$ -Gehalt, Bodentextur, Karbonatgehalt, pH-Wert, Phosphorgehalt und Gesamtstickstoffgehalt. Signifikante Effekte traten beim C/N-Verhältnis auf, das in Befallsstellen niedriger war. In Dünnschliffen von Bodenproben aus Befallsstellen wurden *R. solani* Hyphen an unzersetzter organischer Substanz beobachtet, bei der es sich um Reste der Vorvorfrucht Körnermais in der Fruchtfolge KM/WW/ZR gehandelt haben könnte. Zudem wurde die Jahreswitterung, insbesondere die Niederschläge, als möglicher Einflussfaktor auf die Ausprägung der Späten Rübenfäule genannt, da die Symptomausprägung im nasserem Jahr 2002 stärker war als in dem Trockenjahr 2003 (Kühn, et al., 2005).

Eine stärkere Schädigung von auflaufenden Zuckerrüben unter nassen Bodenbedingungen nahe der maximalen Wasserhaltekapazität und höheren Temperaturen konnte unter kontrollierten Bedingungen in den USA gezeigt werden (Bolton, et al., 2010). In Versuchen unter kontrollierten Bedingungen an der LfL zeigte die *R. solani* AG2-2IIIB Wirtspflanze Ackerbohne die stärksten Symptome in mittelfeuchten Boden (-150 hPa Saugspannung) und bei höherer Temperatur 27 °C, im Vergleich zu 15 °C (Renner, et al., 2016). Die *R. solani* AG8 hingegen schädigte Weizenwurzeln am stärksten im kühleren (19 °C Tag/6 °C Nacht) und mittleren (23 °C/11 °C) Temperaturbereich und am geringsten im hohen Temperaturbereich (27 °C/16 °C) (Smiley & Uddin, 1992). Zudem wurde in einer dreijährigen Untersuchung auf einem Langzeitfruchtfolgefeldversuch beobachtet, dass die *R. solani* AG8 Befallsstärke nach trockenen Herbstern und Wintern stärker war (Smiley, et al., 1996).

Diese Widersprüche in den wissenschaftlichen Untersuchungen führen zu einem weiter fortbestehenden Aufklärungsbedarf über die Faktoren, die das Auftreten der Späten Rübenfäule auf Praxisflächen beeinflussen.

## 3 Projektstruktur

### 3.1 Projektleitung

Die Projektleitung und -verantwortung lag beim Institut für Pflanzenschutz in der Arbeitsgruppe Krankheiten in Blattfrüchten und Mais, Schädlinge und Wachstumsregler in Ackerbaukulturen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Freising.

### 3.2 Projektpartner

Als Projektpartner waren beteiligt:

- Verband bayerischer Zuckerrübenanbauer e.V. (VbZ)
- Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Zuckerrübenanbaus (ARGE) Regensburg
- Ring südbayerischer Zuckerrübenanbauer (RSZ)
- Kuratorium für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau (Südzucker AG)

Miteingebunden waren außerdem der Bodengesundheitsdienst (BGD, Südzucker AG) und die Abteilung Rohstoff Bayern der Südzucker AG.

Besonderer Dank gilt allen Landwirten, die ihre Flächen zur Beprobung zur Verfügung stellten und an der Betriebsbefragung teilnahmen.

### 3.3 Teilprojekte

Das Projekt war in vier Teilprojekte untergliedert, in denen die übergeordneten Ziele in Kooperation mit den Projektpartnern verfolgt wurden.

#### 3.3.1 Teilprojekt 1 – Erregerquantifizierung aus Rübenschlägen

**Partner:** Südzucker AG, VbZ

**Ziele:** Die im Vorgängerprojekt erarbeitete Methode zur Quantifizierung des *R. solani* AG2-2IIIB Bodeninokulums (Quinoa-qPCR) aus Praxis schlägen sollte für ein routinemäßiges Monitoring weiterentwickelt werden. Zudem sollte geprüft werden, ob eine kritische *R. solani* Bodenkonzentration („Schadschwelle“) ermittelt werden kann, ab der ein verstärkter Ausbruch der Späten Rübenschläge zu erwarten ist. Weiterhin sollte geprüft werden, ob eine Prognose des Anbaurisikos anfälliger Sorten bereits nach Ernte der Vorfrüchte zu Zuckerrüben möglich ist.

**Methodischer Ansatz:** Auf ca. 50 Praxis schlägen in den Anbaugemeinden Plattling und Rain/Lech werden im Herbst, nach Ernte der Vorfrüchte zur Zuckerrübe, repräsentative Bodenproben gezogen und im Labor mit der Quinoa-qPCR Methode auf den *R. solani* AG2-2IIIB Gehalt untersucht. Im Folgesommer werden Bodenproben aus den Zuckerrüben gezogen und *R. solani* AG2-2IIIB im Labor quantifiziert. Der Späte Rübenschlag Befall der Zuckerrüben wird quantitativ erfasst. Dieses Vorgehen wird zweimal wiederholt. Die erhaltenen *R. solani* AG2-2IIIB Bodenkonzentrationen und Befallswerte werden statistisch ausgewertet, nach Zusammenhang Erregerkonzentration Herbst/Vorjahr, bzw. Sommer/Zuckerrübe und Befallsstärke sowie zur Ableitung einer Schadschwelle.

### 3.3.2 Teilprojekt 2 – Rhizoctonia-Anfälligkeit von Zwischenfrüchten

**Partner:** ARGE Regensburg

**Ziele:** Es sollten marktübliche Zwischenfruchtarten auf ihre Anfälligkeit gegenüber *R. solani* AG2-2IIIB und deren Einfluss auf die Ausprägung der Späten Rübenfäule an Zuckerrüben untersucht werden, um eine Beratungsgrundlage für Zuckerrübenanbauer zu schaffen.

**Methodischer Ansatz:** Die ARGE Regensburg führt wiederholte Feldversuche mit 10 Varianten durch. Vor Aussaat der Zwischenfrüchte in natürlichen Befallslagen wird das Bodeninokulum durch künstliche *R. solani* AG2-2IIIB Inokulation auf der Versuchsfläche vereinheitlicht. Die Zwischenfrüchte werden zum praxisüblichen Zeitpunkt in Reinsaat auf die randomisierten Parzellen gesät. Im Frühjahr wird der abgefrorene Aufwuchs oberflächennah eingearbeitet. Die Aussaat einer anfälligen Zuckerrübensorte erfolgt zum praxisüblichen Zeitpunkt. Übliche Kulturmaßnahmen werden durchgeführt. Im September wird der Versuch gerodet. Die Zuckerrübenkörper werden auf den Späte Rübenfäule Oberflächenbefall bonitiert. Von den gerodeten Rüben werden Ertrags- und Qualitätsparameter bestimmt. Die LfL quantifiziert periodisch das *R. solani* AG2-2IIIB Bodeninokulum auf den Parzellen.

An der LfL wird unter kontrollierten Bedingungen eine breitere Palette an marktüblichen Greening-geeigneten Zwischenfruchtarten für Zuckerrübenfruchtfolgen untersucht. In einem Gefäßversuch wird geprüft, welche Zwischenfruchtarten für *R. solani* AG2-2IIIB anfällig sind. Zusätzlich wird in einem Laborversuch geprüft, wie gut sich das *R. solani* AG2-2IIIB Mycel auf Zwischenfruchtstroh entwickeln kann.

### 3.3.3 Teilprojekt 3 – Antagonistenkonzentration in Rübenschlägen

**Partner:** -

**Ziele:** Der Gehalt der in der wissenschaftlichen Literatur als *R. solani* AG2-2IIIB antagonistisch wirkende beschriebenen Bodenmikroorganismen sollte aus den in Teilprojekt 1 gewonnenen Bodenproben quantifiziert und in Zusammenhang mit der Erregerdichte, der Befallsstärke, Bewirtschaftungs- und Witterungsdaten gebracht werden. Es sollte geklärt werden, welches Potential die natürlich im Boden vorhandenen Antagonisten zur Unterdrückung der Späten Rübenfäule (suppressive Böden) aufweisen und durch welche Faktoren ihre Abundanz gesteigert werden könnte.

**Methodischer Ansatz:** Durch Literaturrecherchen werden die bedeutendsten *R. solani* AG2-2IIIB Antagonisten identifiziert. Ebenso werden geeignete molekularbiologische Quantifizierungsmethoden recherchiert und im Labor der LfL etabliert. Die erhaltenen Antagonisten Konzentrationen werden auf statistische Zusammenhänge mit den Daten aus Teilprojekt 1 und Teilprojekt 4 untersucht.

### 3.3.4 Teilprojekt 4 – Befallsbeeinflussende Faktoren aus Praxisdaten

**Partner:** RSZ

**Ziele:** Der auf den Praxisflächen aus Teilprojekt 1 auftretende Späte Rübenfäule Befall sowie das gemessene *R. solani* AG2-2IIIB Bodeninokulum sollten auf Zusammenhänge mit Bewirtschaftungs- und Witterungsdaten untersucht werden. Faktoren, die den Befall, bzw. das Bodeninokulum beeinflussen, sollten anhand von Praxisdaten identifiziert werden.

**Methodischer Ansatz:**

Der RSZ erhebt per Umfrage Bewirtschaftungsdaten von den in Teilprojekt 1 beprobten Rübenschlägen. Diese pflanzenbaulichen Faktoren beinhalten Angaben der Landwirte zu Fruchtfolge, Nährstoffversorgung, ackerbaulichen Maßnahmen, Bodenart und weitere. Räumlich hochaufgelöste Wetterdaten (Niederschlag, Verdunstung, Bodentemperatur, Bodenfeuchte) werden aus den Datenquellen der Agrarmeteorologie der LfL und des Deutschen Wetterdienstes (DWD) bezogen. Befallsfördernde und –mindernde Faktoren sowie Faktoren mit Wirkung auf das Bodeninokulum werden statistisch ermittelt.

## 4 Material und Methoden

### 4.1 Teilprojekt 1 – Untersuchungen auf Praxisschlägen

#### 4.1.1 Lage der Untersuchungsgebiete



Abbildung 2: Lage der Untersuchungsgebiete

Die beiden Untersuchungsgebiete lagen in ackerbaulichen Gunstregionen in der Nähe der Zuckerfabriken Plattling und Rain/Lech in den Regierungsbezirken Niederbayern, bzw. Schwaben (Abbildung 2). Die Flächen im Raum Plattling lagen südlich der Isarmündung im Gäugebiet und im Tertiärhügelland (Nord). Die Flächen im Raum Rain/Lech lagen südlich der Donau im Tertiärhügelland (Nord). Die Bodenarten umfassten die Bodenartengruppen LUFA Code 4 und 5 (sL, uL, L, utL, tL). Mehrheitlich entstanden die Böden aus Löss (Lö) und jungem Schwemmland (Alluvium, Al), in geringerem Umfang aus eiszeitlichen Anschwemmungen und Gletscherablagerungen (Diluvium, D).

#### 4.1.2 Witterung im Projektzeitraum

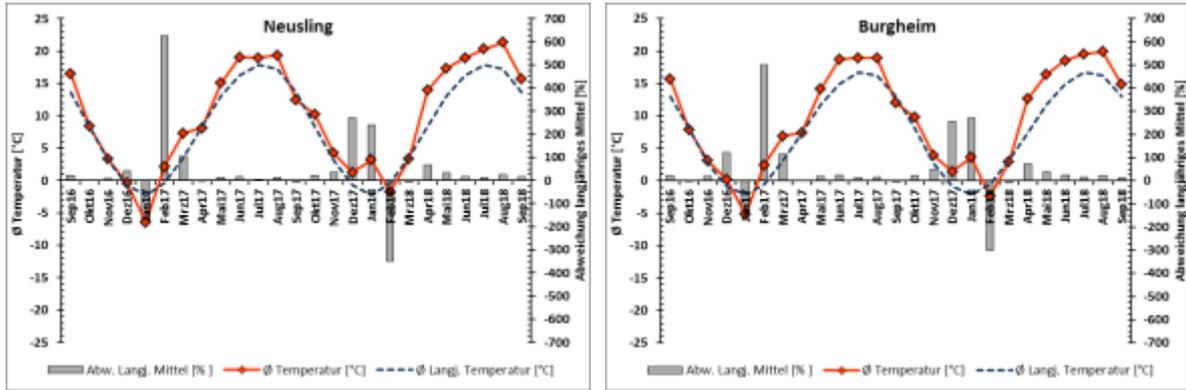
Die zu den Untersuchungsgebieten nächstgelegenen Wetterstationen waren Neusling (LfL Agrarmeteorologie) im Raum Plattling und Burgheim (LfL Agrarmeteorologie) im Raum Rain/Lech. Die Wetterdaten wurden über den Webdienst der Agrarmeteorologie Bayern ([www.wetter-by.de](http://www.wetter-by.de)) bezogen und sind in Abbildung 3 dargestellt. Im Jahr 2017 lag die Temperatur in 2 m Höhe in beiden Untersuchungsgebieten im Januar deutlich unter dem langjährigen Mittel, der Februar und März waren überdurchschnittlich warm. Beginnend mit Mai und ausgeprägter von Juni bis Juli 2017 lagen die Temperaturen über dem langjährigen Mittel, in Burgheim stärker als in Neusling. Der Dezember 2017 und der Januar 2018 waren außergewöhnlich warm, der Februar 2018 hingegen außergewöhnlich kalt. Ab April 2018 lagen die Temperaturen durchgehend bis September über dem langjährigen Mittel. Bei den Niederschlägen gab es im gesamten Projektzeitraum deutliche Abweichungen vom langjährigen Mittel, nach oben und nach unten. An der Station Neusling waren diese stärker ausgeprägt als an der Station Burgheim. Von Dezember 2016 bis Februar 2017 fielen an beiden Stationen weniger Niederschläge.

Wetterstationen

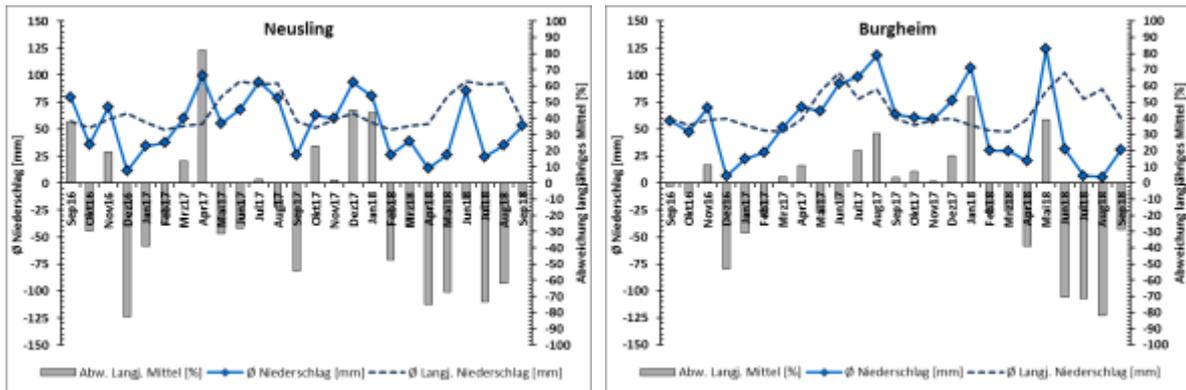
Neusling (Plattling)

Burgheim (Rain/Lech)

Abweichung der Temperatur (2 m Höhe) vom langjährigen Mittel



Abweichung der Niederschläge vom langjährigen Mittel



Bodentemperatur (5 cm Tiefe) und Wasserbilanz

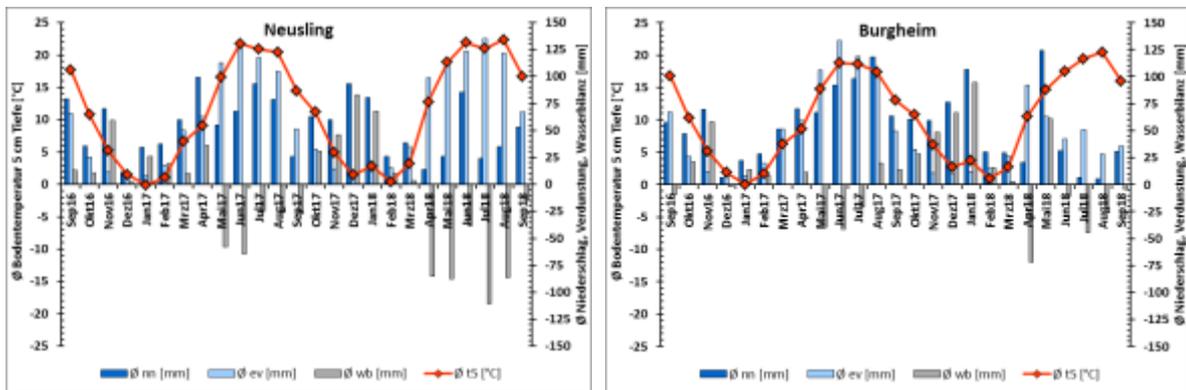


Abbildung 3: Witterungsverlauf in den Untersuchungsgebieten

Der April 2017 war im Raum Plattling außergewöhnlich nass, von Mai 2017 bis September 2018 war es dort eher trockener als üblich, anschließend bis Januar 2018 eher nasser. Abgesehen von Juni und September 2018 fielen in Neusling durchgehend deutlich weniger Niederschläge als im langjährigen Mittel. Im Juni 2018 fielen im Raum Plattling die relevantesten Niederschläge der Vegetationsperiode. An der Station Burgheim folgten die Niederschläge von März 2017 bis November 2017 in etwa dem langjährigen Mittel, ausgenommen Juni und Juli 2017, in denen mehr Niederschläge als gewöhnlich fielen. Der

Dezember 2017 und vor allem der Januar 2018 waren nasser als gewöhnlich. Ab Februar 2018 fielen durchgängig weniger Niederschläge als im langjährigen Mittel, mit Ausnahme des Mai 2018, in dem deutlich mehr Niederschläge fielen als gewöhnlich und die die einzig relevanten der gesamten Vegetationsperiode blieben. Im Juli und August 2018 fielen im Raum Rain/Lech überhaupt keine nennenswerten Niederschläge. Die Wasserbilanz (wb), als Differenz zwischen Niederschlägen (nn) und Evaporation (ev) war in der Vegetationsperiode 2017 in Neusling negativer als in Burgheim. Im Jahr 2018 war die Wasserbilanz in Neusling im April und Mai sowie im Juli und August ausgeprägt negativ. Ab Juni 2018 war die Wasserbilanz in Burgheim durchgehend negativ, wenn auch auf geringem Niveau als in Neusling. Die Bodentemperatur stieg im April und Mai 2018 in Neusling deutlich schneller an als in Burgheim. Von Juni bis August lag die Bodentemperatur im Raum Plattling in beiden Jahren im Durchschnitt etwa 2,7 °C über der in Burgheim.

#### 4.1.3 Auswahl der Zuckerrübenschläge

Mit den Projektpartnern wurden folgende Kriterien zur Flächenauswahl festgelegt: 1) je Zuckerfabrik Plattling und Rain/Lech: 70 % Risikoflächen (Hohes oder mittleres Risiko) und 30 % Niedrigrisikoflächen, 2) Risikofläche: Späte Rübenfäule Befall in der Vergangenheit (stark oder ortsüblich), 3) Niedriges Risiko: kein Befall in der Vergangenheit, 4) Räumliche Nähe zu einer Wetterstation. Der VbZ und die Rohstoffabteilungen Plattling und Rain/Lech der Südzucker AG erstellten eine Liste mit Rübenanbauern in geeigneten Regionen. Die LfL kontaktierte die Landwirte und legte mit deren Einvernehmen die zu beprobenden Rübenschläge fest. Die Risikoeinschätzung erfolgte nach Selbstauskunft der Landwirte und/oder der Einschätzung der Rohstoffabteilungen. Wenn möglich, wurden je Landwirt eine Fläche mit höherem Risiko und eine Fläche mit geringerem Risiko ausgewählt. Digitale Feldstückkarten wurden als Polygone im Shapefile Format indirekt, zur Wahrung des Datenschutzes, über die Informationsabteilung der LfL bezogen und verblieben LfL intern. Informationen zur Anzahl der beprobten Rübenschläge und weiterer damit verbundener Zahlen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

*Tabelle 1: Zahlen zu den beprobten Rübenschlägen*

<b>Projektjahr 2016/17</b>	
Gesamtanzahl beprobter Rübenschläge	60
Größe der Schläge max/min/Ø	28/1,6/7,5 ha
Anzahl Rübenschläge Raum Plattling	40
Anzahl Rübenschläge Raum Rain/Lech	20
Anzahl teilnehmender Landwirte	34
Risikoeinschätzung hoch/mittel/gering	15/25/20
Gesamtanzahl Beprobungsflächen <sup>*)</sup>	67
Anzahl Beprobungsflächen Raum Plattling	45
Anzahl Beprobungsflächen Raum Rain/Lech	22
Herbst-Beprobung maschinell (LfL)	42
Herbst-Beprobung mit Bohrstock (LfL)	24

<i>Fortsetzung</i> Tabelle 1:	
<b>Projektjahr 2017/18</b>	
Gesamtanzahl beprobter Rübenschläge	47
Größe der Schläge max/min/Ø	26,6/0,8/6,7
Anzahl Rübenschläge Raum Plattling	30
Anzahl Rübenschläge Raum Rain/Lech	17
Anzahl teilnehmender Landwirte	21
Risikoeinschätzung hoch/mittel/gering	9/19/16 + 3 n/a
Gesamtanzahl Beprobungsflächen	47
Anzahl Beprobungsflächen Raum Plattling	30
Anzahl Beprobungsflächen Raum Rain/Lech	17
Herbst-Beprobung mit Selbstfahrer (BGD)	42
Herbst-Beprobung mit Bohrstock (LfL)	5
<b>Bodenprobennahme aus Rüben</b>	
ausschließlich mit Bohrstock (LfL)	

\*) Im Projektjahr 2016/17 wurden auf 4 Schlägen > 10 ha bis zu drei Beprobungsflächen gelegt.

#### 4.1.4 Beprobungsflächen auf den Schlägen

Auf Grund der genannten Vorteile wurde im ersten Projektjahr 2016/17 das Systematic Unaligned Grid nach dem Herringbone Design verwendet. Für das Monitoring wurde je Zuckerrübenschlag eine Untersuchungsfläche von 1 ha beprobt. Die Probenahmepunkte wurden vorab mit einem Geoinformationssystem (QGIS) auf die digitalen Flurstückkarten gelegt (Abbildung 4). Um den Polygonschwerpunkt wurde eine 1 ha Fläche, sofern möglich als Quadrat, erstellt. Die Fläche bestand aus 49 Großzellen der Kantenlänge 100/7 m (14,29 m). Jede Großzelle war wiederum in 7 x 7 Subzellen unterteilt. Die Messpunkte wurden dann nach dem Herringbone-Schema mittels Zufallszahlen innerhalb der Subzellen verteilt. Der erste Probepunkt wurde durch zwei Zufallszahlen, eine in x-Richtung, eine in y-Richtung, in eine der 49 Subzellen der linken oberen Großzelle gelegt. In der obersten Reihe wurde die x-Koordinate konstant gehalten und in jede Großzelle ein Probepunkt durch eine Zufallszahl in y-Richtung eingetragen. In der links äußeren Spalte wurde die y-Koordinate konstant gehalten und eine Zufallszahl in x-Richtung verwendet. Alle anderen Punkte ergaben sich aus der x-Koordinate der links äußeren Großzelle und der y-Koordinate der obersten Großzelle. Die sich daraus ergebenden Muster wurden als shape-File in ein mobiles GIS System exportiert. Es wurde das Trimble Juno T41 CG Kit (Trimble Navigation Ltd.) mit geo-mobile EZ v4.0 Software (geo-konzept GmbH) verwendet. Das Globale Navigationssatellitensystem (GNSS) Gerät empfing zusätzlich European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) Korrektursignale und erreichte eine Positionsgenauigkeit von 1-2 m.

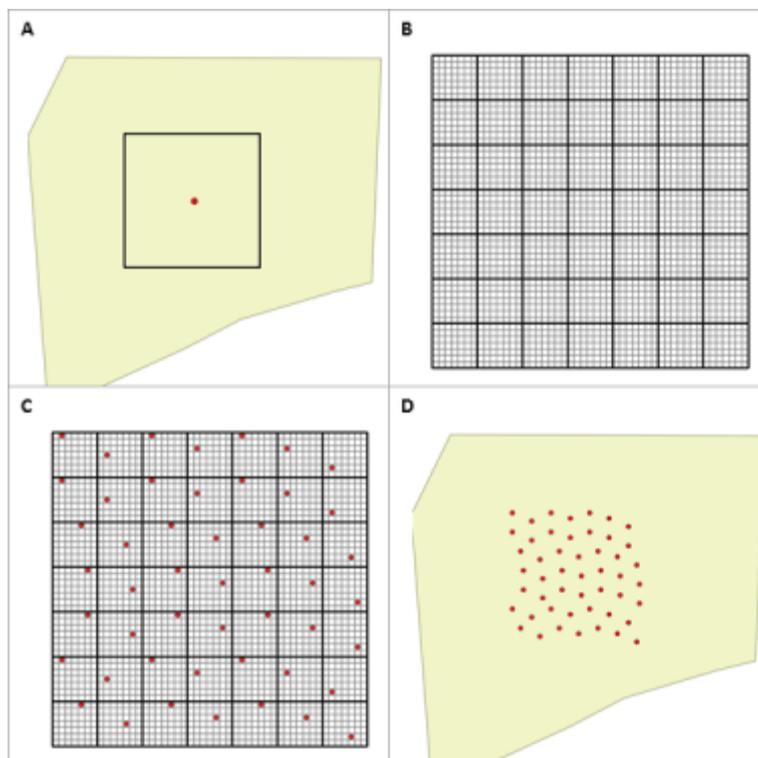


Abbildung 4: Umsetzung des Systematic Unaligned Grid Beprobungsmusters

A: Polygonschwerpunkt des Schlags und als Rahmen dargestellte 1 ha Beprobungsfläche, B: Unterteilung der Beprobungsfläche in ein Gitter mit 49 Großzellen und je 49 Subzellen, C: Erstellung der Probepunkte im Systematic Unaligned Grid Design, D: Probepunkte auf dem Schlag.

Im zweiten Projektjahr 2017/18 wurde, um selbstfahrende Bodenprobenehmergeräten effizient einsetzen zu können, folgendes, an das Zickzack Muster angelehnte, Schema angewendet (Abbildung 5): Der Fahrer fährt eine erste Linie schräg zur Bearbeitungsrichtung, Vorgewende und Rand werden ausgespart. Alle 10-15 m erfolgt ein Einstich und die Aufzeichnung der Koordinaten mit dem mobilen GIS Gerät. Nach 10 Einstichen wendet der Fahrer in eine zweite Bahn im Abstand von 10-15 m zur ersten Bahn. Die Einstiche erfolgen nun ungefähr, unterstützt durch die GPS-Aufzeichnung, mittig zwischen denen der ersten Bahn. Insgesamt werden 4-5 an die räumliche Gegebenheit angepasste Bahnen gefahren. Es ergibt sich ein Zickzack-Muster. Kleinere Abweichungen im Abstand der Punkte und etwas kurvige Linien waren als Zufallskomponente explizit erwünscht. Um die im Herbst 2017 aufgezeichneten Punkte wurde in QGIS ein Puffer mit 7,5 m Radius gelegt und ein Rahmen um die Puffer gezogen. Die so erhaltenen Probeflächen hatten eine durchschnittliche Größe von  $9778 \pm 2754 \text{ m}^2$ .

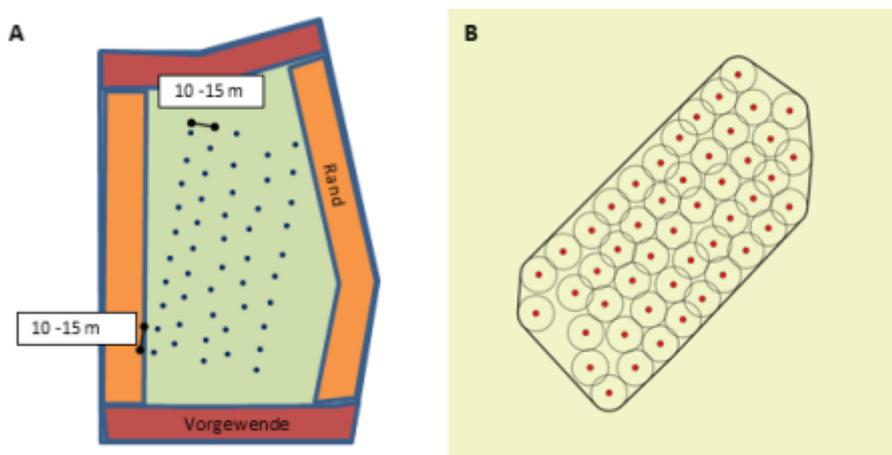


Abbildung 5: Vereinfachtes Bodenprobenahmemuster zur Umsetzung mit Selbstfahrer

A: Veranschaulichung des umzusetzenden Zickzack Musters schräg zur Bearbeitungsrichtung, B: Beispiel eines auf einem Schlag umgesetzten Musters mit georeferenzierten Einstichpunkten und der als Rahmen um die gepufferten Einstichpunkte festgelegten Beprobungsfläche.

#### 4.1.5 Bodenprobennahme

An den Probepunkten wurde ein Bohrkern mit 2 cm Durchmesser und einer Einstichtiefe von 15-20 cm entnommen. Die einzelnen Bohrkern wurden zu einer Mischprobe vereint. Im Herbst 2016 wurden Bodenproben nach dem Systematic Unaligned Grid Muster im Zeitraum von Mitte Oktober bis Mitte November von 66 1 ha Beprobungsflächen genommen. Die vorab festgelegten Probepunkte wurden mit dem mobilen GIS Gerät angesteuert. Auf 42 Beprobungsflächen (vorwiegend Zwischenfruchtbestände) kam ein automatisierter Bodenprobennehmer Typ N2006 auf einem Spezialanhänger (Bodenprobetechnik Nietfeld GmbH) zum Einsatz. Dieser war mit einem Bohrer mit 2 cm Durchmesser bestückt. Als Zugfahrzeug dienten ein Allrad-Geländewagen (Ford Ranger) und ein Schmalspurschlepper (Fendt 260 V). Von 24 nichtbefahrbareren Flächen (z.B. aufgrund erfolgter tiefer Bodenbearbeitung) wurden die Bodenproben manuell mit einem 2 cm Durchmesser  $N_{\min}$ -Bohrstock entnommen. Im Herbst 2017 wurden 47 Schläge nach dem vereinfachten Zickzack Muster in der ersten Septemberhälfte beprobt. Auf 42 Schlägen wurden selbstfahrende Bodenprobenahmegeräte (Bohrer mit 2 cm Durchmesser) und Fahrer des Bodengesundheitsdienstes (BGD) eingesetzt. Von 5 Schlägen mit noch stehenden Früchten (Gurken, Mais, Zwiebel) wurden die Bodenproben mit dem Bohrstock gezogen. Die in der Spurweite verstellbaren Selbstfahrer des BGD wurden zuvor bereits im Juli 2017 eingesetzt, um aus Fahrgassen von 10 stehenden Getreidebeständen im Raum Plattling zusätzlich Bodenproben zu einem früheren Zeitpunkt zu ziehen. Die Bodenprobennahme aus den Zuckerrüben im Juli 2017 (67 Stk.) und Juli 2018 (47 Stk.) erfolgte ausschließlich manuell per Bohrstock. Die Bodenproben wurden an denselben, im vorherigen Herbst georeferenzierten Probepunkten entnommen.

#### 4.1.6 Quantifizierung der Erregermenge

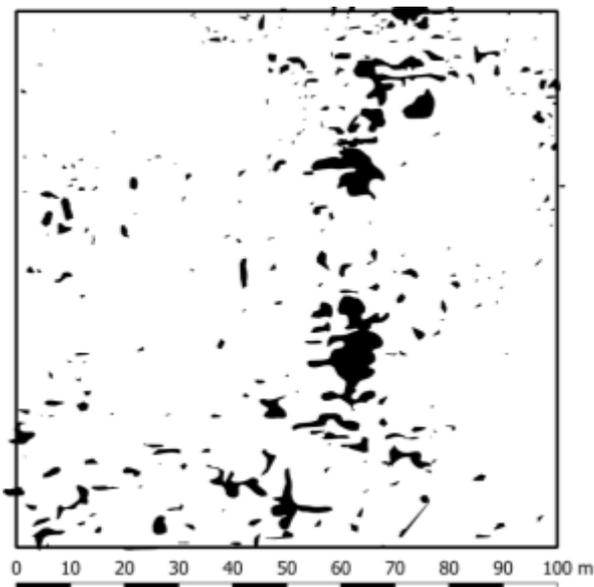
Die Quantifizierung von *R. solani* AG2-2 aus den Bodenproben folgte grundsätzlich der aus den Vorgängerprojekten publizierten Quinoa-qPCR Methode (Boine, et al., 2014) in der folgenden, abgeänderten Vorgehensweise. Die Bodenproben wurden innerhalb weniger Tage mit einem Laborsieb mit 4 mm Maschenweite homogenisiert und der gesiebte Boden gemischt. Zuvor wurden sie in PE-Tüten kühl und dunkel gelagert. Je 150 g der

aufbereiteten Probe wurden als Duplikat (300 g Erde je Bodenprobe) in quadratische Petrischalen (100x100x20 mm, Sarstedt AG & Co. KG) überführt und mit einem 10 cm breiten Mullbindenabschnitt überlegt (Peha®-Mullbinden, Paul Hartmann AG). Trockene Bodenproben wurden mit bis zu 20 Sprühstößen aus einer Sprühflasche mit VE-Wasser angefeuchtet. Mit einer in Eigenlösung gefertigten Ablegevorrichtung an einem Haushaltsstaubsauger wurden 20 (4 Reihen, Abstand jew. 1,5 cm) autoklavierte, trockene Quinoa-Samen (*Chenopodium quinoa*) aus ökologischer Erzeugung (Vitalia Reformhaus Bio Quinoa weiß) auf die Mullbinde gelegt. Die Quinoa Samen wurden mit 10 Sprühstößen VE-Wasser befeuchtet und der Petrischalendeckel aufgelegt. Anschließend wurden sie für vier Tage bei 23 °C in Dunkelheit in einem Laborklimaschrank (Friocell, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH) in Dunkelheit inkubiert. Danach wurden alle Quinoa Samen einer Petrischale in ein 2,0 ml Reaktionsgefäß (Rotilabo®, Carl Roth GmbH & Co. KG) überführt und bei -20 °C gelagert. Die DNA wurde mit dem Quick-DNA™ Plant/Seed Miniprep Kit (Zymo Research Corp.) aus den Quinoa Samen isoliert. Abweichend vom Herstellerprotokoll (Version 2.1.0) wurden die Schritte eins und zwei in den 2,0 ml Reaktionsgefäßen durchgeführt. Die ZR Bashing Beads™ wurden dazu aus den ZR Bashing Bead™ Lysis Tubes in die 2,0 ml Reaktionsgefäße gekippt. Die Homogenisierung des Probenmaterials in Schritt 2 des Protokolls fand in einer Schwingmühle (Retsch GmbH) bei 30 Hz (1800 min<sup>-1</sup>) für 3 min statt. Die in 100 µl DNA Elution Buffer (Kit) eluierte DNA wurde bis zur weiteren Verwendung bei -20 °C gelagert. Für die Positivkontrolle wurde *R. solani* AG2-2IIIB (Isolat RS580) Mycel mit einem Skalpell von MEA-Platten (Malzextraktagar: 20,0 g/l Malzextrakt, 20,0 g/l Agar) abgenommen und die DNA analog isoliert. Die *R. solani* AG2-2IIIB DNA wurde über eine SYBR Green basierte quantitative Polymerasenkettenreaktion (qPCR) quantifiziert. Ein 25 µl Reaktionsansatz enthielt: 12,5 µl SensiMix™ SYBR® No-Rox Reagent (Bioline GmbH), 0,75 µl Forward-Primer (1:10), 0,75 µl Reverse-Primer (1:10), 6,0 µl H<sub>2</sub>O<sub>DEPC</sub> (BioScience-Grade, Carl Roth GmbH & Co. KG) und 5,0 µl DNA-Eluat, oder H<sub>2</sub>O<sub>DEPC</sub> in der Negativkontrolle (No Template Control). Die verwendeten Primer AG-2-2-F (5'-CAC CTT TTG CTC TTT TTT TAA TCC A-3') und AG-2-2-R (5'-ATA AAT TGG GTT TAT ATT AGA GTT-3') entstammen der Publikation von (Budge, et al., 2009) und wurden von Eurofins Genomics Germany GmbH synthetisiert. Je ein Reaktionsansatz pro Duplikat (2 Reaktionsansätze pro Bodenprobe) und je zwei Positiv- und Negativkontrollen wurden in transparente low-profile 96-Well Platten (Kisker Biotech GmbH & Co. KG) pipettiert und die Platten mit Klebefolie (Microseal, Bio-Rad Laboratories GmbH) versiegelt. Der qPCR Lauf fand in einem CFX96™ Real-Time System auf einem C1000™ Thermo Cycler (Bio-Rad Laboratories GmbH) statt. Das qPCR Programm bestand aus den Schritten: 1) 95 °C für 10 min, 40 Zyklen der Schritte 2) bis 4): 2) 95,0 °C für 15 sec, 3) 62,0 °C für 15 sec, 4) 72,0 °C für 15 sec, 5) Schmelzkurve von 65,0 °C bis 95,0 °C in Inkrementen von 0,5 °C für jew. 5 sec. Schmelztemperaturen von 78,0 °C bis 79,0 °C wurden akzeptiert. Aus den ct-Werten (engl. Threshold cycle) der Duplikate einer Bodenprobe wurde der Mittelwert gebildet. Anhand einer vorhandenen Eichgerade ( $CFU = (ct\text{-Wert} - 34,973) / -0,84$ ) wurde der ct-Wert in Colony Forming Units (CFU) umgerechnet und durch Division mit 0,3 auf 1 kg Erde hochgerechnet. Als Ergebnis stand die Anzahl der koloniebildenden Einheiten (Sklerotien) pro kg Felderde (CFU/kg Soil).

#### 4.1.7 Messung der Befallsfläche

Zur Bestimmung der Späten Rübenfäule Befallsstärke auf den Beprobungsflächen wurde der oberirdisch sichtbare Befall quantitativ mit mobilen GIS Geräten erfasst. Jeweils im August 2017 und 2018 wurden die Beprobungsflächen engmaschig abgelaufen. Sichtbare

Befallsstellen wurden mit mobilen GIS Geräten als Polygon aufgezeichnet (Abbildung 6). Im August 2017 wurde dazu das Trimble Juno Gerät (s.o.) verwendet, im August 2018 ein Leica Zeno 20 mit Leica Zeno Mobile für Zeno 20 'Professional' Software (Leica Geosystems GmbH). Die Polygone wurden als shape-File in QGIS importiert und die Polygonflächen in eine MS Excel-Datei ausgegeben. Die Summe aller Polygonflächen in m<sup>2</sup> pro Beprobungsfläche wurde als RsArea bezeichnet.



RsArea = 590,3 m<sup>2</sup>

Abbildung 6: Beispiel eines auf einer 1 ha großen Untersuchungsfläche aufgezeichneten Späte Rübenfäule Befalls

#### 4.1.8 Statistische Auswertung

Die Daten zur Bodeninokulumsmenge (CFU) und zur Befallsfläche (RsArea) wurden mit der SAS/STAT™ Software ausgewertet. Mit der Prozedur ‚proc univariate‘ wurden sie auf Normalverteilung geprüft (Shapiro-Wilk Test). Ein Ausreißertest wurde mit der Prozedur ‚proc reg‘ und der Option ‚CLI‘ nach Munzert (2015) S. 81 ff. durchgeführt (Munzert, 2015). Aus den Daten aus dem Projektjahr 2016/17 mussten zwei Werte, aus dem Projektjahr 2017/18 ein Wert mit stark verzerrendem Einfluss auf die Regression entfernt werden. Zur Analyse der Stärke des Zusammenhangs zwischen gemessenem Bodeninokulum und der Befallsfläche wurden lineare, quadratische und exponentielle Regressionsmodelle mit den Prozeduren ‚proc reg‘ und ‚proc nlin‘ getestet. Für die Ableitung eines Bodeninokulum Schwellenwerts, ab dem ein erhöhtes Risiko für einen Späte Rübenfäule Befall besteht, wurde ein beschriebenes Threshold Regression Model der Prozedur ‚proc nlin‘ verwendet (Coffey, 2016). In diesem wird die folgende Gleichung iterativ gelöst.

$$f(x_i, \theta) = \begin{cases} \alpha + \gamma, & x_i < \delta \\ \alpha + \gamma \times e^{\theta \times (x_i - \delta)}, & x_i \geq \delta \end{cases}$$

Die Zielgröße war die Befallsfläche (RsArea),  $x_i$  das Bodeninokulum (CFU),  $\delta$  der unbekannte Grenzwert,  $\alpha$  die geringste Reaktion,  $\alpha + \gamma$  die größte Reaktion und  $\theta$  ein Steigungsparameter. Der lineare Zusammenhang in der oberen Zeile ist in diesem Zusammenhang der Hintergrundbefall. Bei Überschreiten des Grenzwerts kommt es zu einem sprunghaf-

ten Anstieg der Befallsfläche, der mit der exponentiellen Gleichung in der unteren Zeile beschrieben ist.

#### 4.1.9 Zeitliche Entwicklung des Bodeninokulums

Auf drei Schlägen im Raum Plattling wurde die zeitliche Entwicklung des Bodeninokulums im Projektjahr 2017/18 verfolgt. Die Schläge lagen entlang einer Querschnittslinie durch das Plattlinger Untersuchungsgebiet zwischen den Ortschaften Otzing und Osterhofen. Der Schlag P17-18 lag an der Isar bei Otzing, der Schlag P28-18 mittig und der Schlag P14-18 nahe der Donau bei Osterhofen. Die Schläge P17-18 und P28-18 hatten als Vorfrucht Winterweizen. Von diesen lag eine Bodenprobe aus dem Juli 2017 aus den Fahrgassen des Weizens vor. Der Schlag P14-18 hatte Körnermais als Vorfrucht und wurde das erste Mal im September 2017 mit dem Bohrstock aus dem stehenden Mais beprobt. Alle drei Schläge wurden im Jahr 2017 nochmals, nach der Grundbodenbearbeitung, im November an den im September aufgezeichneten Probenpunkten beprobt. Im Jahr 2018 wurden im monatlichen Rhythmus, von April bis Oktober, Bodenproben von den drei Beprobungsflächen aus den Zuckerrüben gezogen. Alle Bodenproben wurden als Mischprobe der Beprobungsfläche mit der Quinoa-qPCR Methode untersucht.

#### 4.1.10 Räumliche Verteilung des Bodeninokulums

Um zu prüfen, ob es Unterschiede in der Bodeninokulumsdichte in verschiedenen Zonen eines Gesamtschlages gibt, wurden im Projektjahr 2016/17 auf drei Schlägen (zwei Raum Plattling, einer Raum Rain/Lech) mit einer Größe über 10 ha drei unabhängige 1 ha Beprobungsflächen gelegt und mit der Quinoa-qPCR Methode ausgewertet. Auf einen Schlag, auf dem im Vorjahr auf eine Teilfläche Rübenerde ausgebracht wurde, wurden zwei 1 ha Beprobungsflächen gelegt (geringer Befall, es zeigte sich kein Unterschied).

Die räumliche Verteilung des Bodeninokulums innerhalb der Beprobungsflächen wurde auf je zwei Beprobungsflächen im Raum Plattling im Projektjahr 2016/17 und 2017/18 kleinräumig untersucht. Jeweils im Juni wurden acht Bohrkerne im Radius von 2 m um jeden der Probepunkte mit dem Bohrstock entnommen und zu einer Mischprobe vereint. Jede Mischprobe der einzelnen Probepunkte wurde mit der Quinoa-qPCR Methode ausgewertet. Auf den beiden Beprobungsflächen im Projektjahr 2017/18 wurden die Befallsflächen, zusätzlich zu August 2018, auch im Juni 2018 aufgezeichnet. Die Quinoa-qPCR Ergebnisse der einzelnen Probepunkte wurden in die Attributtabelle der Probepunkte in QGIS aufgenommen. Die räumliche Verteilung des Bodeninokulums wurde mit dem QGIS Interpolation plugin nach der Triangular interpolation (TIN) Methode interpoliert. Um jeden Probepunkt wurde ein Puffer mit 7,5 m Radius gezogen. Die Flächen der aufgezeichneten Befallsstellenpolygone innerhalb der Kreise wurden mit dem QGIS Intersection Tool ausgeschnitten (Abbildung 7). Die Größe der ausgeschnittenen Flächen wurde mit dem QGIS Export/Add geometry columns Tool der entsprechenden Layer in m<sup>2</sup> hinzugefügt und in eine MS Excel Datei exportiert. Die CFU-Werte und die Befallsflächen in den Kreisen der einzelnen Probepunkte wurden mit der SAS Prozedur ‚proc univariate‘ auf Normalverteilung geprüft (Shapiro-Wilk Test). Anschließend wurden mit der SAS Prozedur ‚proc corr‘ und der Option ‚Spearman‘ eine Rangkorrelation nach Spearman durchgeführt.

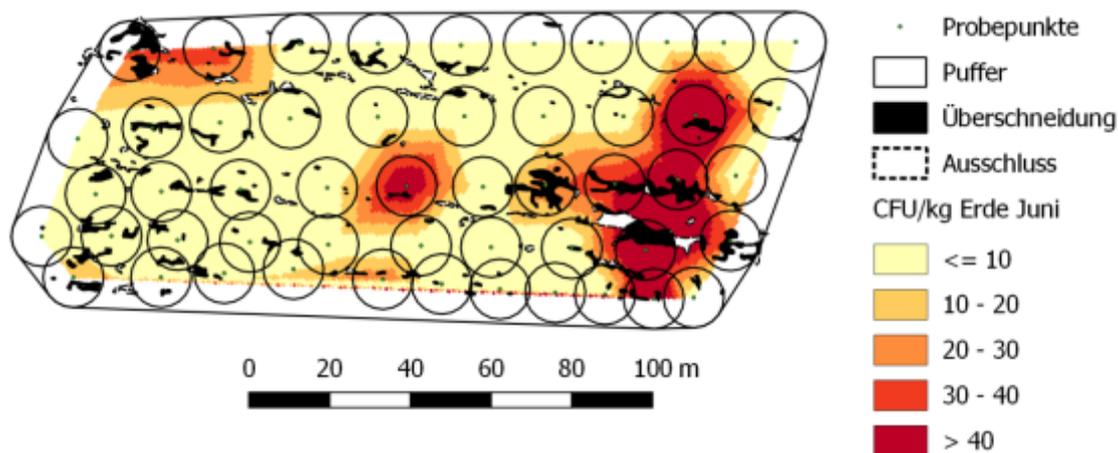


Abbildung 7: Veranschaulichung Datengewinnung zur Korrelation der räumlichen Lage von Befallsstellen mit der Inokulumsdichte an den Probepunkten

## 4.2 Teilprojekt 2 - Zwischenfruchtfeldversuche

Die Durchführung und Auswertung der insgesamt drei Feldversuche Donaustauf (Walhalla) 2016/17, Donaustauf 2017/18 und Haardorf 2017/18 wurde von dem Projektpartner Arbeitsgemeinschaft zur Förderung des Zuckerrübenanbaus (ARGE) Regensburg verantwortet und ist in dessen Abschlussbericht dargestellt. Von Seiten der LfL wurde das Gersteninokulum zur Homogenisierung der Inokulumsdichte auf den Versuchsflächen bereitgestellt. Zudem wurde zu jeweils vier Zeitpunkten die Inokulumsdichte in den Versuchspartellen gemessen.

### 4.2.1 Herstellung *R. solani* AG2-2IIIB Gersteninokulum

*R. solani* AG2-2IIIB Isolat 580 wurde auf PDA (Kartoffel-Glucose-Agar: Karoffel-Infus 4 g/l, Glucose 20 g/l, Agar 15 g/l, Carl Roth GmbH & Co. KG, pH 7 mit NaOH) Platten überimpft und bis zur vollständigen Besiedelung der Petrischalen bei 23 °C in einem Laborinkubator angezogen (< 14 d). Kurzfristig wurden die bewachsenen Platten bis zur weiteren Verwendung bei 17 °C gelagert. Je 2,5 kg Gerste aus dem Landhandel wurde in autoklavierbare Microsac-Polypropylen-Filter-Beutel (Spawn bag 5l, mycelia bvba, Belgien) gefüllt und mit 2,5 l H<sub>2</sub>O über Nacht bei Raumtemperatur angefeuchtet. Am folgenden Tag wurden die Beutel autoklaviert (121 °C für 20 min) und bis zum nächsten Morgen in einer Sterilbank, zum Abkühlen und Abtrocknen, offen aufgestellt. Das *R. solani* AG2-2IIIB Mycel von je vier vollbewachsenen PDA-Platten wurden mit einem sterilen Skalpell unter der Sterilbank in möglichst kleine Stücke geschnitten und in je einen Microsac-Beutel überführt. Die Beutel wurden mit einem Folienschweißgerät verschlossen und der Inhalt anschließend gut durchmischt. Zur Besiedelung der Gerstenkörner wurden die Microsac-Beutel aufrecht für 14 d bei 23 °C im Dunklen in einem Laborinkubator (Friocell, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH) inkubiert und der Inhalt täglich 1-2x gut durchmischt. Danach wurde der Inhalt je eines Beutels in eine mit EtOH ausgewischte Anzuchtwanne gekippt, gleichmäßig verteilt und unter Luftzug (Laborabzug) vollständig getrocknet, wobei sie täglich 1-2x durchmischt wurden. Zur Qualitätskontrolle wurden, neben der visuellen und Geruchskontrolle, 10 Körner Gersteninokulum pro Wanne auf eine PDA-Platte gelegt. Nach 2-3 d Inkubation bei 23 °C wurden die Platten mikroskopisch auf die charakteristische *R. solani* Morphologie der auswachsenden Hyphen und kontami-

nierende Mikroorganismen untersucht. Kontaminierte Chargen wurden verworfen, die anderen in die zuvor benutzten Microcac-Beutel zurücküberführt und in einem kühlen und dunklen Raum bis zur Übergabe gelagert.

#### 4.2.2 Bodenprobennahme und Erregerquantifizierung

Von den Zwischenfruchtfeldversuchen Donaustauf (Walhalla) 2016/17, Donaustauf 2017/18 und Haardorf 2017/18 wurden jeweils im Mai, Juli und September Bodenproben aus den Zuckerrüben auf den einzelnen Parzellen genommen. Im September des Vorjahres zu den Rüben wurden Bodenproben aus den Zwischenfrüchten genommen (Donaustauf 2017/18, Haardorf 2017/18), in Donaustauf 2016/17 im Dezember 2017. Von den 6,5 m langen und 6 m breiten Parzellen wurden jeweils Bohrkern aus 8 Einstichen in 20 cm Tiefe (Bohrstock mit 2 cm Durchmesser) zu einer Mischprobe vereint. Die Verteilung der Einstiche erfolgte nach einem konstanten Schrittmuster, siehe Abbildung 8. Die *R. solani* AG2-2 Inokulumsdichte wurde mit der Quinoa-qPCR Methode ermittelt, wie unter 4.1.6 Quantifizierung der Erregermenge beschrieben.

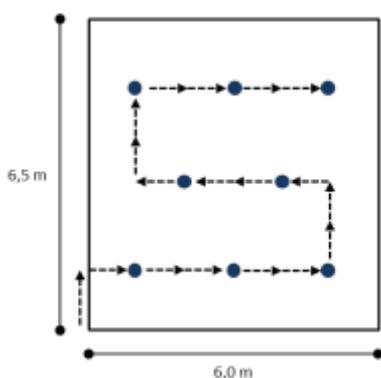


Abbildung 8: Schrittmuster zur Bodenprobennahme auf den Versuchspartellen

#### 4.2.3 Räumliche Verteilung des Inokulums auf den Parzellen

Der Versuchsaufbau wurde nach dem Versuchsplan der ARGE Regensburg in QGIS allgemein nachgezeichnet. Für jeden der drei Versuchsstandorte wurde eine Layer angelegt und die CFU Werte aus September 2017, Mai, Juli und September 2018 der einzelnen Parzellen in die Attributtabelle aufgenommen. Die räumliche Verteilung des Bodeninokulums der Parzellen wurde mit dem QGIS Interpolation plugin nach der Triangular interpolation (TIN) Methode interpoliert.

#### 4.2.4 Statistische Auswertung der Inokulumengen

Die CFU Werte und Boniturwerte der Parzellen wurden je Versuch mit der SAS Prozedur ‚proc univariate‘ auf Normalverteilung geprüft (Shapiro-Wilk Test). Anschließend wurden mit der SAS Prozedur ‚proc corr‘ und der Option ‚Spearman‘ eine Rangkorrelation nach Spearman zwischen den Boniturwerten und den Inokulumgehalten gerechnet. Ob es Unterschiede zwischen den Bodeninokulumgehalten der inokulierten Parzellen ( $n = 40$ ) der Zwischenfruchtvarianten gab, wurde mit dem parameterfreien Kuskal-Wallis-Test in der SAS Prozedur ‚proc npar1way‘ mit der Option ‚wilcoxon‘ und der Anweisung ‚exact/mc‘ nach Munzert (2015), Kapitel 57, Seiten 397-402 getestet.

## 4.3 Teilprojekt 2 - Labor- und Gewächshausversuche

### 4.3.1 Ermittlung häufiger Einzelkomponenten in Greening-Mischungen

In einer im September 2016 durchgeführten Internetrecherche wurden  $n = 66$  Greening-geeignete Zwischenfruchtmischungen für Zuckerrübenfruchtfolgen auf dem deutschen Markt identifiziert und die relative Häufigkeit der darin enthaltenen Einzelkomponenten berechnet.

### 4.3.2 Herstellung *R. solani* AG2-2 Hirseinokulum

Ein Kilogramm Hirse aus ökologischer Erzeugung (dm Bio Hirse, dm-Drogerie Markt GmbH & Co KG) wurde für 6 h in einer Schale mit warmen Leitungswasser getaucht und anschließend auf 4 l Liter Erlenmeyerkolben aufgeteilt. Die Erlenmeyerkolben wurden mit Wattestopfen verschlossen, beim anschließenden Autoklavieren (121 °C für 20 min) zusätzlich mit Alufolie. Die auf Raumtemperatur abgekühlte Hirse (ca. 50 % Feuchtegehalt) wurde mit je 4 Stück 1 cm<sup>2</sup> großer, vom Rand einer frisch mit *R. solani* AG2-2IIIB Isolat RS580 bewachsenen PDA-Platte abgenommenen, Agarstückchen unter einer Sterilbank angeimpft. Anschließend folgte eine Inkubation in Dunkelheit bei 23 °C für < 14 d in einem Laborinkubator (Friocell, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH), bis die Hirsekörner homogen besiedelt waren. Die Hirse in den Erlenmeyerkolben wurde währenddessen, zur Vermeidung von Klumpenbildung, täglich aufgeschüttelt. Das weitere Vorgehen fand analog zur Herstellung des Gersteninokulums statt, siehe 4.2.1 Herstellung *R. solani* AG2-2IIIB Gersteninokulum.

### 4.3.3 Gewächshausversuchsplan

Der Gewächshausversuch wurde als zweifaktorielle Blockanlage mit acht Wiederholungen in zwei Durchgängen angelegt. Zur Wurzelbonitur und Messung der Aufwuchstrockenmasse (TM) wurden 24 Varianten mit und ohne *R. solani* AG2-2IIB Inokulation verwendet (Tabelle 2). Zur Erstellung des Randomisationsplans wurden die Plätze innerhalb der Blöcke mit Zufallszahlen in MS Excel verteilt, in einer zweiten Zufallsfolge diese Verteilungen den einzelnen Blöcken zugewiesen und mit einer dritten Zufallsfolge die Faktorkombinationen den Platznummern zugeteilt. ÖVF-fähige Zwischenfrucharten wurden, soweit möglich sortenrein und in der beschreibenden Sortenliste aufgeführt, von in Deutschland ansässigen Zwischenfruchtzüchtern und -händlern als Versuchssaatgut bezogen. Eine nähere Nennung der Firmen und Sorten erfolgt aus Datenschutzgründen nicht. Für die Zwischenfruchtarten, die mit zwei Sorten im Versuch enthalten waren, wurde das Saatgut von zwei unterschiedlichen Bezugsquellen verwendet, mit Ausnahme des Ölrettichs. Das als Positivkontrolle verwendete Zuckerrübensaatgut war eine nicht pillierte und nicht gebeizte *Rhizoctonia*-anfällige Versuchssorte eines deutschen Pflanzenzuchtunternehmens.

Tabelle 2: Im Gewächshausversuch geprüfte Varianten

Nr.	Variante	Familie	Art
<b>Kreuzblütler</b>			
1	Ölrettich-Sorte1	Brassicaceae	<i>Raphanus sativus var. oleiformis</i>
2	Ölrettich-Sorte2	Brassicaceae	<i>Raphanus sativus var. oleiformis</i>
3	Tillage Radish®	Brassicaceae	<i>Raphanus sativus var. oleiformis</i>
4	Weißer Senf-Sorte1	Brassicaceae	<i>Sinapis alba</i>
5	Weißer Senf-Sorte2	Brassicaceae	<i>Sinapis alba</i>
6	Brauner Senf	Brassicaceae	<i>Brassica juncea</i>
7	Gartenkresse	Brassicaceae	<i>Lepidium sativum</i>
<b>Kleinkörnige Leguminosen</b>			
8	Alexandrinerklee-Sorte1	Leguminosen	<i>Trifolium alexandrinum</i>
9	Alexandrinerklee-Sorte2	Leguminosen	<i>Trifolium alexandrinum</i>
10	Perserklee	Leguminosen	<i>Trifolium resupinatum</i>
11	Sparriger Klee	Leguminosen	<i>Trifolium squarrosum</i>
12	Serradella	Leguminosen	<i>Ornithopus sativus</i>
13	Einjährige Luzerne	Leguminosen	<i>Medicago scutellata</i>
<b>Großkörnige Leguminosen</b>			
14	Saatwicke	Leguminosen	<i>Vicia sativa</i>
15	Futtererbse	Leguminosen	<i>Pisum sativum subsp. arvense</i>
16	Bitterlupine/ Blaue Lupine	Leguminosen	<i>Lupinus angustifolius</i>
17	Ackerbohne	Leguminosen	<i>Vicia faba</i>
<b>Getreide</b>			
18	Rauhafer/Sandhafer	Poaceae	<i>Avena strigosa</i>
<b>Sonstige</b>			
19	Phacelia-Sorte1	Boraginaceae	<i>Phacelia tanacetifolia</i>
20	Phacelia-Sorte2	Boraginaceae	<i>Phacelia tanacetifolia</i>
21	Ramtillkraut	Asteraceae	<i>Guizotia abyssinica</i>
22	Öllein	Linaceae	<i>Linum usitatissimum</i>
23	Sonnenblume	Asteraceae	<i>Helianthus annuus</i>
<b>Kontrolle</b>			
24	Zuckerrübe	Amaranthaceae	<i>Beta vulgaris subsp. vulgaris var. altissima</i>

#### 4.3.4 Pflanzenanzucht

Die Samen wurden einzeln in Anzuchtplatten (QuickPot QP 150R, HerkuPlast Kubern GmbH) in je 2,0 cm<sup>3</sup> Pikiererde (Höfter Humaton P Pikiersubstrat, Höfter GmbH) ausgelegt und mit Pikiererde übersiebt. Das Substrat in den Platten wurde mit einem Drucksprühergerät (MESTO Spritzenfabrik Ernst Stockburger GmbH) mit Leitungswasser angefeuchtet. Die Keimlinge wurden für 14 d in einer Gewächshauskoje bei 21 °C (Lüftung ab 23 °C) in einer Photoperiode von 16 h (Belichtung bei < 2,0 klx Einstrahlung) kultiviert und nach Bedarf gewässert.

#### 4.3.5 Gewächshausversuchsdurchführung

Ein-Liter-Rundtöpfe (Teku Container MCL 13 K-C, Pöppelmann GmbH & Co. KG) wurden bis zum Rand mit Standard Gartenbausubstrat (Höfter Humaton T Topfsubstrat, Höf-

ter GmbH) gefüllt und anschließend bis zum Gießrand verdichtet. Für die inokulierten Varianten, wurde danach 1,0 g Hirseinokulum (*R. solani* AG2-2IIIB Keimrate > 90 %) auf das Substrat gestreut, mit einem kleinen Garten-Handgrubber über die gesamte Topfhöhe gleichmäßig in das Substrat eingearbeitet und wieder verdichtet. Anschließend wurden die Töpfe bis zur maximalen Wasserhaltefähigkeit mit Leitungswasser gewässert. Je drei 14 d alte Setzlinge einer Versuchsvariante wurden im Dreiecksverband in die gewässerten Töpfe gepflanzt und an die Töpfe ein Stützgitter (Teku Stützgitter STG 13B, Pöppelmann GmbH & Co. KG) angebracht. Die bepflanzten Töpfe wurden dem Randomisationsplan entsprechend in 4 Blöcken auf einen 5,5 m langen und 2,0 m breiten Gewächshaustisch in einer Gewächshauskoje aufgestellt und für 4 Wochen kultiviert. Der erste Durchgang mit Wiederholung I–IV fand im Februar/März 2018 statt, der zweite Durchgang mit Wiederholung V–VIII im April/Mai 2018. Die Raumtemperatur war auf 23 °C eingestellt (Lüftung > 25 °C) mit Zusatzbeleuchtung bei einer Einstrahlung < 2,0 klx zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr. Das Topfsubstrat wurde mit einer Tensiometer-gesteuerten Bewässerungsanlage (KliWaDu, Dr. Michael Beck, HSWT) im mittelfeuchten Bereich (~150 hPa Saugspannung) gehalten.

#### 4.3.6 Wurzelbonitur

Die drei Wurzeln pro Topf wurden in Höhe des Topfrandes vom Aufwuchs mit einer Schere getrennt. Die Wurzelballen wurden händisch getrennt und mit einem Wasserstrahl gereinigt. Für die optische Bonitur wurde ein Boniturschema mit vier Notenstufen verwendet. Boniturnote 1: gesunde Wurzel, keine Verbräunung erkennbar, Boniturnote 2: leichte Verbräunung, Boniturnote 3: mittlere Verbräunung, oder eindeutiges Symptom, Boniturnote 4: starke Verbräunung/Schädigung der Wurzel bis tot. Aus den drei Boniturnoten pro Topf wurde der Mittelwert gebildet. Der Inokulationseffekt wurde für die 24 Varianten in jeder der acht Wiederholungen als Differenz des mittleren Boniturwerts der inokulierten Variante und des mittleren Boniturwerts der nicht-inokulierten Variante berechnet ( $n = 192$ ). Mit der SAS Prozedur ‚proc boxplot‘ wurde ein Boxplot der Inokulationseffekte erstellt.

#### 4.3.7 Bestimmung der Aufwuchstrockenmasse

Der in Topfrandhöhe abgeschnittene Aufwuchs der drei Pflanzen eines Topfes wurde mit einer Schere in ca. 5 cm lange Stücke zerkleinert und gemeinsam in einen perforierten Crispac-Beutel (150 x 300 mm, 0,5 mm Perforation, Baumann Saatzuchtbedarf GmbH, Waldenburg) gefüllt. Die Trocknung bis zur Gewichtskonstanz erfolgte in einem Trockenschrank (Venticell, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH) bei 45 °C für einige Tage. Die Trockenmasse des Aufwuchses jeder Faktorkombination (Topf) jeder Wiederholung ( $n = 384$ ) wurde mit einer Laborwaage auf zwei Dezimalstellen genau in Gramm bestimmt. Aufgrund der unterschiedlichen Massebildung der einzelnen Pflanzenarten wurden die relativen Trockenmassen für die statistische Auswertung berechnet. Dazu wurden die 16 Einzelwerte jeder Variante (inokulierte und nicht-inokulierte Trockenmassen aus 8 Wiederholungen) mit ihrem jeweiligen Maximalwert geteilt. Die Daten der relativen Trockenmassen wurden mit den SAS Prozeduren ‚proc glm‘, ‚proc univariate‘ und ‚proc gplot‘ auf Normalverteilung der Fehler (Shapiro-Wilk Test) und Varianzhomogenität geprüft (Büchse, 2006). Mit einer Box-Cox Transformation (SAS Institute Inc., 2009) wurde eine Normalverteilung der Fehler erreicht. Die Box-Cox transformierten Daten wurden analog zu Munzert (2015), Kapitel 32, Seiten 209-218 mit der SAS Prozedur ‚proc mixed‘ als zweifaktorielle Blockanlage ausgewertet. In der darin durchgeführten Varianzanalyse waren sowohl die Haupteffekte Zwischenfruchtart ( $p < 0,0001$ ) und Inokulation

( $p < 0,0001$ ) signifikant, als auch deren Interaktion ( $p < 0,0208$ ). Die Effekte der Inokulation auf die Zwischenfruchtarten wurden mit der ‚slice‘ Option der ‚lsmeans‘ Anweisung in der SAS Prozedur ‚proc glm‘ als Tabelle der F-Tests der Mittelwerte der kleinsten Quadrate ausgegeben (Die in ‚proc glm‘ berechnete ANOVA lieferte dieselben F-Werte wie die Varianzanalyse mit der ‚proc mixed‘ Prozedur nach Munzert (2015)). Zur graphischen Darstellung wurden die Daten retransformiert und als prozentualer inokulationsbedingter Trockenmasseverlust der einzelnen Pflanzenarten abgebildet. Zur Prüfung von Sortenunterschieden wurden die Mittelwerte der relativen Trockenmassen der inokulierten Varianten und die Mittelwerte der Trockenmasse der nicht inokulierten Varianten von Alexandrinerklee, Ölrettich, Phacelia und Weißem Senf mit einem t-Test paarweise verglichen (SAS Prozedur ‚proc ttest‘). Die Mittelwerte der relativen Trockenmassen von Ölrettich Sorte 1 und 2 und Tillage Rettich wurden analog in einem Tukey-Test mit der SAS Prozedur ‚proc glm‘ und der Option ‚tukey lines‘ der Anweisung ‚means‘ verglichen.

#### 4.3.8 Mycelwachstum auf Zwischenfruchtstrohmedien

Der getrocknete Aufwuchs und die in analoger Weise getrockneten Wurzeln der einzelnen Varianten ( $n = 24$ ) wurden zu Pulver zerkleinert (La Moulinette XXL, Moulinex) und mit einem feinmaschigen Küchensieb gesiebt. Czapek Medium Platten (30,0 g Saccharose, 2,0 g  $\text{NaNO}_3$ , 1,0 g  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ , 0,5 g  $\text{MgSO}_4$ , 0,5 g  $\text{KCl}$ , 0,01 g  $\text{FeSO}_4$ , 15,0 g Agar, 1000,0 ml  $\text{H}_2\text{O}_{\text{VE}}$ ) wurden als Positivkontrolle hergestellt, Czapek Medium Platten mit 30,0 g Zwischenfruchtstrohpulver anstelle der Saccharose als Prüfvarianten und Czapek Medium ohne Kohlenstoffquelle als Negativkontrolle. Unter sterilen Bedingungen wurden mit einem Korkbohrer (1,0 cm Durchmesser) Mycelseibchen vom Rand frisch mit *R. solani* AG2-2IIIB Isolat RS580 bewachsener PDA-Platten ausgestanzt und mittig, mit der Mycelseite nach unten, auf die Petrischalen abgelegt. Anschließend wurden die Platten bei 23 °C im Dunklen in einem Laborklimaschrank (Friocell, MMM Medcenter Einrichtungen GmbH) inkubiert. Die Morphologie der auswachsenden Hyphen wurde optisch mit einem Binokular geprüft. Der Radius des auswachsenden *R. solani* AG2-2IIIB Mycels wurde täglich zwischen dem dritten und siebten Inkubationstag mit einem Lineal gemessen. Je Variante wurden 5 technische Wiederholungen angesetzt, die bedingt durch eine Charge wenig vitaler *R. solani* AG2-2IIIB PDA-Platten teils zusätzlich wiederholt werden mussten. Die gemessenen Radien wurden mit der Option ‚diagnostic‘ in der ‚model‘ Anweisung der SAS Prozedur ‚proc robustreg‘ auf Ausreißer kontrolliert. Durch Division mit dem Mittelwert der Positivkontrolle wurden die Radien der einzelnen Inkubationstage in Relativwerte umgerechnet. Durch Aufsummieren der Trapezflächen der Wachstumskurven der relativen Radien wurde die Area Under the Curve (AUC) für jede Wiederholung berechnet. Die AUC-Werte erfüllten die Voraussetzungen für eine unbalanzierte einfaktorielle Varianzanalyse nicht, die nach Munzert (2015), Kapitel 24, Seiten 127-138 mit den SAS Prozeduren ‚proc glm‘ und ‚proc univariate‘ geprüft wurden. Die AUC-Werte wurden daher mit dem parameterfreien Kuskal-Wallis-Test ausgewertet. Dazu wurde die SAS Prozedur ‚proc npar1way‘ mit der Option ‚wilcoxon‘ und der Anweisung ‚exact/mc‘ nach Munzert (2015), Kapitel 57, Seiten 397-402 verwendet. Mit dem SAS Makro „SAS® macro to perform multiple comparisons after a Kruskal-Wallis Test“ (Elliot & Hynan, 2011) wurde ein Dunn’s Test Post-hoc-Test durchgeführt. Der Makro Code wurde in Zeile 106 von ‚array q05 (20);‘ zu ‚array q05 (25);‘, in Zeile 107 von ‚array pair (20,20);‘ zu ‚array pair (25,25);‘ und in Zeilen 123 und 130 von ‚do k=2 to 20;‘ zu ‚do k=2 to 25;‘ angepasst, um die Beschränkung von 20 prüfbaaren Varianten auf 25 zu erweitern. Eine Prüfung beider Makro Varianten mit einem auf 20 Varianten reduzierten Datensatz führte zu identischen Ergebnissen.

#### 4.4 Teilprojekt 3 – Quantifizierung mikrobieller Antagonisten

Die Bodenproben der Zuckerrübenpraxisschläge aus Teilprojekt 1 aus Juli 2017 und Juli 2018 wurden als Proben verwendet, siehe 4.1 Teilprojekt 1 – Untersuchungen auf Praxis-schlägen. Für die Quantifizierung von *Trichoderma* spp. und *Pseudomonas* spp. wurden publizierte gattungsspezifische Primer benutzt. Das Primerpaar Pse435F (5'-ACT TTA AGT TGG GAG GAA GGG-3') und Pse686R (5'-ACA CAG GAA ATT CCA CCA CCC-3') amplifiziert eine *Pseudomonas* spp. spezifische Region des *16s rRNA* Gens (Bergmark, et al., 2012). Das Primerpaar uTf (5'-AAC GTT ACC AAA CTG TTG-3') und uTr (5'-AAG TTC AGC GGG TAT TCC T-3') amplifiziert einen *Trichoderma* spp. spezifischen Abschnitt der Internal Transcribed Spacer (ITS) Region (Hagn, et al., 2007). Die Primer wurden von der Eurofins Genomics Germany GmbH synthetisiert. Zur Erstellung der Positivkontrollen wurden die Isolate DSM 289 (*Pseudomonas fluorescens*) und DSM 63059 (*Trichoderma koningii*) von der DMSZ-Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH bezogen und nach deren Kulturanleitung kultiviert. *P. fluorescens* DSM 289 wurde auf Standard-Nähragar (5,0 g Pepton, 3,0 g Fleischextrakt, 15,0 g Agar, 1000,0 ml H<sub>2</sub>O<sub>VE</sub>, pH 7,0) bei 30 °C inkubiert. Für die DNA Extraktion wurde eine Flüssigkultur mit Standard-Nährmedium angelegt und davon je 1,0 ml pro Ansatz mit dem Quick-DNA™ Plant/Seed Miniprep Kit (Zymo Research Corp.) extrahiert. *Trichoderma* Stamm DSM 63059 wurde auf Malzextrakt-Pepton-Agar (30,0 g Malzextrakt, 3,0 g Sojapepton, 15,0 g Agar, H<sub>2</sub>O<sub>VE</sub> 1000 ml, pH 5,6) bei 23 °C kultiviert. Die DNA Extraktion erfolgte analog zu *R. solani* AG2-2IIIB Rs580 (siehe 4.1.6 Quantifizierung der Erregermenge). Die 25,0 µl qPCR Reaktionsansätze waren für *Pseudomonas* spp.: 12,5 µl SensiMix™ SYBR® No-Rox Reagent (Bioline GmbH), 1,0 µl Forward-Primer (1:10), 1,0 µl Reverse-Primer (1:10), 5,5 µl H<sub>2</sub>O<sub>DEPC</sub> (BioScience-Grade, Carl Roth GmbH & Co. KG) und 5,0 µl DNA-Eluat, oder H<sub>2</sub>O<sub>DEPC</sub> in der Negativkontrolle (No Template Control) und für *Trichoderma* spp.: 12,5 µl SensiMix™ SYBR® No-Rox Reagent (Bioline GmbH), 1,0 µl Forward-Primer (1:10), 1,0 µl Reverse-Primer (1:10), 2,0 µl BSA, 1,25 µl DMSO, 2,25 µl H<sub>2</sub>O<sub>DEPC</sub> (BioScience-Grade, Carl Roth GmbH & Co. KG) und 5,0 µl DNA-Eluat, oder H<sub>2</sub>O<sub>DEPC</sub> in der Negativkontrolle (No Template Control). Je zwei technische Wiederholungen wurden pro Probe durchgeführt. Dieselben DNA Extrakte wie für die Quinoa-qPCR wurden verwendet, da eine Extraktion direkt aus Bodenproben (gesiebt auf 2,0 mm Fraktionsgröße, Lagerung bei -80,0 °C, 1,0 g Bodenprobe als Duplikate von je 0,5 g Boden, DNA Extraktion mit dem MP FastPrep™ Instrument und dem FastDNA® Spin Kit for Soil, MP Biomedicals Germany GmbH) zu inkonsistenten Ergebnissen führte. Die qPCR Läufe fanden mit denselben Materialien wie in der Quinoa-qPCR (siehe 4.1.6 Quantifizierung der Erregermenge) in einem CFX96™ Real-Time System auf einem C1000™ Thermo Cycler (Bio-Rad Laboratories GmbH) statt. Das qPCR-Programm für *Pseudomonas* spp. war: 1) 95 °C für 10 min, 40 Zyklen der Schritte 2) bis 4): 2) 95,0 °C für 30 sec, 3) 60,0 °C für 30 sec, 4) 72,0 °C für 30 sec, 5) Schmelzkurve von 65,0 °C bis 95,0 °C in Inkrementen von 0,5 °C für jew. 5 sec. Schmelztemperaturen von 82,5 °C bis 84,5 °C wurden akzeptiert. Das qPCR-Programm für *Trichoderma* spp. war: 1) 95 °C für 10 min, 40 Zyklen der Schritte 2) bis 4): 2) 95,0 °C für 30 sec, 3) 55,5 °C für 30 sec, 4) 72,0 °C für 30 sec, 5) Schmelzkurve von 65,0 °C bis 95,0 °C in Inkrementen von 0,5 °C für jew. 5 sec. Schmelztemperaturen von 84,0 °C bis 86,0 °C wurden akzeptiert. Aus den ct-Werten der Duplikate einer Probe wurde der jeweilige Mittelwert gebildet und diese für *Pseudomonas* spp. und *Trichoderma* spp. mit der SAS Prozedur ‚proc univariate‘ auf Normalverteilung geprüft (Shapiro-Wilk Test). Anschließend wurden sie analog zu Teilprojekt 4 mit den Wetterdaten und den erfragten Bewirtschaftungsdaten korreliert (Rangkorrelation nach Spearman). Dazu wurde die SAS Prozedur

‚proc corr‘ mit der Option ‚Spearman‘ verwendet. Die Effektstärken wurden nach Cohen eingeteilt (Cohen, 1992).

## **4.5 Teilprojekt 4 – Zusammenhänge mit Bewirtschaftungs- und Wetterdaten**

### **4.5.1 Betriebsbefragung**

Den an Teilprojekt 1 teilnehmenden Landwirten wurde ein Fragebogen per Post gesendet. Der RSZ erstellte den Fragebogen und führte die Befragung durch. Abgefragt wurden Bodenart, Ergebnisse der letzten Bodenuntersuchung (N, P, K, Ca, Mg, Bor), Kalkung, Fruchtfolge (inkl. Stroh-/Blattbergung und Zwischenfruchtanbau/-art), Grundbodenbearbeitung in der Fruchtfolge, Saatbettbereitung zur Zuckerrübe, Pflanzenschutzmaßnahmen, organische Düngung des Schlags, Beregnung, Saatverfahren der Zuckerrübe (konventionell, Mulchsaat, Direktsaat), Ernterestemanagement (Stoppelbearbeitung) und Rhizoctonia-Historie des Schlags. Im Jahr 2017 wurden 34 Betriebe mit 60 Flächen angeschrieben. Die Rücklaufquote betrug 97,1 %. Im Jahr wurden 21 Betriebe angeschrieben, die 47 Flächen repräsentierten. Die Rücklaufquote im Jahr 2018 betrug 90,5 %. Insgesamt konnten 101 Datensätze für die Datenauswertung generiert werden.

### **4.5.2 Wetterdaten**

Als Wetterdaten wurden ausschließlich räumlich interpolierte Daten mit einer Auflösung von 1 km<sup>2</sup> verwendet. Die räumliche Abfrage erfolgte anhand der geographischen Koordinaten der Polygonschwerpunkte der in Teilprojekt 1 verwendeten Beprobungsflächen. Der abgefragte Zeitraum war jeweils vom September des Vorjahres bis August des Beprobungsjahres. Niederschlags- und Evaporationsdaten wurden als Rohdaten vom Server des Webservice Bewässerung – Bayern, einer Kooperation der LfL Agrarmeteorologie und des Dienstleistungszentrums Ländlicher Raum (DLR) Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, bezogen. Diese Daten sind interpolierte Messwerte [mm] der Wetterstationen des agrarmeteorologischen Netzwerkes Bayern der LfL und wurden als CSV-Datei abgerufen. Die Tageswerte wurden zu Kalenderwochen- und Monatssummen aufsummiert. Aus der Differenz der Niederschläge und der Evaporation eines Standortes wurde die Wasserbilanz berechnet. Monatsmittelwerte der Bodenfeuchten [% nFK] und der Bodentemperaturen [°C] wurden aus den Datensätzen ‚Monatliche Raster der mittleren Bodenfeuchte unter Gras und sandigem Lehm‘ und ‚Monatliche Raster der mittleren Bodentemperatur in 5 cm Tiefe bei unbewachsenem Boden‘ vom CDC-Climate Data Center FTP-Server des Deutschen Wetterdienstes (DWD) abgerufen. Von den deutschlandweiten Rasterkarten im Ascii-Format wurden in QGIS die monatlichen Mittelwerte der beprobten Flächen mit dem Zonal Statistics Plugin (Option ‚mean‘) den Attributtabelle der Flächenpolygone hinzugefügt und als Excel-Datei ausgegeben.

### **4.5.3 Datenauswertung**

Die aus der Befragung erhaltenen Angaben wurden für die statistische Auswertung aufbereitet. Die schließlich für die Statistik verwendeten, aus den Bewirtschaftungs- und Wetterdaten abgeleiteten 120 Variablen sind in Tabelle 14 und Tabelle 15 im Anhang aufgeführt und erklärt. Im Folgenden werden einzelne Aufbereitungsschritte zusätzlich erläutert. Die angegebene Bodenart nach dem Bodenschlüssel Bayern wurde durch Überführung in LUFA-Kürzel, z.B. von sL3A1 nach sL, in weniger Gruppen zusammengefasst. Zusätzlich wurden die LUFA-Kürzel durch Verwendung des LUFA-Codes in einer weite-

ren Variable weiter vereinfacht, z.B. umfasst LUFA-Code 4 die LUFA-Kürzel sL, uL und L. Bei den aus den angegebenen Fruchtfolgen abgeleiteten Daten wurden nur die Angaben aus vollständigen Rotationen von ZR bis ZR verwendet, ebenso bei Zwischenfrüchten, Strohbergung, Grundbodenbearbeitung und organischer Düngung. Wurde mehr als eine Zwischenfruchtart angebaut, wurde die Bezeichnung Mischung verwendet. Die Variablen, ausgenommen Nominaldaten, wurden mit der SAS Prozedur ‚proc univariate‘ auf Normalverteilung geprüft. Anschließend wurden die Daten aus der Betriebsbefragung und die Wetterdaten mit der SAS Prozedur ‚proc corr‘ und der Option ‚spearman‘ mit den Bodeninokulumswerten (CFU) und den Späte Rübenfäulebefallsflächen (RsArea) aus Teilprojekt 1 nach Spearman korreliert. Die Effektstärken wurden nach Cohen eingeteilt (Cohen, 1992):  $r_s > 0,5$  starker,  $0,5 \geq r_s < 0,3$  mittlerer,  $0,3 \geq r_s < 0,1$  geringer,  $r_s < 0,1$  vernachlässigbarer Effekt. Für die Analyse der Nominaldaten wurden die Werte von RsArea in fünf Klassen eingeteilt: 0-30 m<sup>2</sup>, 30-100 m<sup>2</sup>, 100-200 m<sup>2</sup>, 200-400 m<sup>2</sup>, >400 m<sup>2</sup> und die Werte von CFU in drei Klassen: <15 CFU, 15-50 CFU, >50 CFU. Mit der SAS Prozedur ‚proc freq‘ und der Model-Option ‚exact Fisher‘ wurde eine Häufigkeitsanalyse mit Fishers exaktem Test durchgeführt. Bei langen Rechenzeiten wurde zusätzlich die Anweisung ‚mc n=20000‘ für eine Monte Carlo Simulation des exakten Fisher Tests verwendet.

#### 4.6 Verwendete Softwareversionen

- Geoinformationssystem: QGIS Desktop, Version 2.18.19 (Las Palmas) with GRASS 7.4.0 und QGIS Desktop Version 2.16.3 (Nødebo)
- Statistik-Software: SAS/STAT™ Software, Version 9.3
- Microsoft Office 2010

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Ergebnisse Teilprojekt 1 – Quinoa-qPCR Methode auf Praxis-schlägen

#### 5.1.1 Zusammenhang zwischen *R. solani* AG2-2IIIB Inokulumsdichte und Späte Rübenfäule Befall in Praxisschlägen

In der Auswahl der zu beprobenden Zuckerrübenschläge wurde vorab das Späte Rübenfäule Risiko der Schläge von den bewirtschaftenden Rübenanbauern und/oder den Rübenabteilungen Plattling und Rain/Lech eingeschätzt (siehe Material und Methoden). Der im August 2017 erfasste Befall auf den Beprobungsflächen korrelierte nicht mit der Vorabrisikoschätzung aus dem Jahr 2016,  $r_s = 0,046$ ,  $p = 0,75$ ,  $n = 51$  (Abbildung 9). Auf Grund des fehlenden Zusammenhangs lassen subjektive Schätzungen, wie Erfahrungswerte, keine Aussage zur Risikoklassifikation von Zuckerrübenschlägen zu.

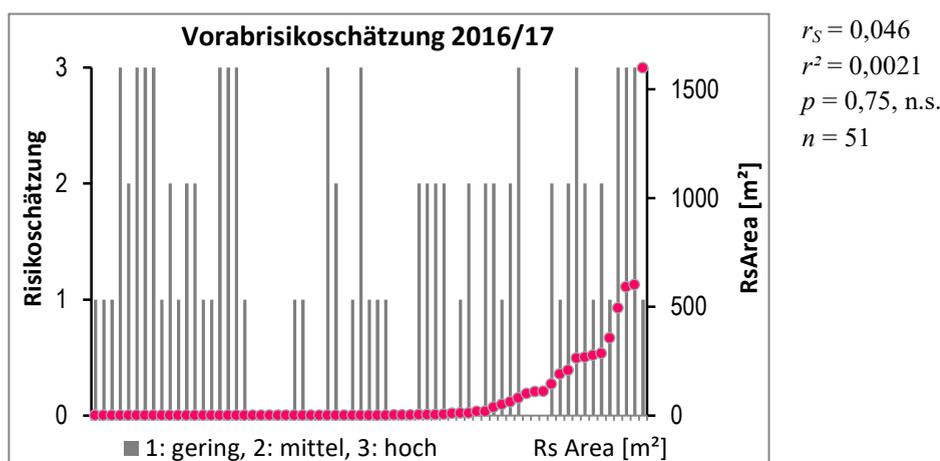


Abbildung 9: Vorabrisikoschätzung 2016 und Befall 2017

Die Variabilität in der Späten Rübenfäule Befallshäufigkeit und –intensität wird durch das Zusammenwirken mehrerer sich gegenseitig beeinflussender Faktoren erklärt, deren einzelne Einflüsse bisher nicht vollständig aufgeklärt werden konnten (Anees, et al., 2010). Eine quantitative Messung des Bodeninokulums würde eine objektive Aussage zur generellen Gefährdung eines Standortes ermöglichen, sofern ein Zusammenhang zwischen der Menge des Bodeninokulums und der Befallsstärke besteht. Die Konzentration des im Juli 2017 gemessenen *R. solani* AG2-2 Bodeninokulums (CFU) hing sehr eng mit dem im August 2017 aufgezeichneten Befall (RsArea) der Beprobungsflächen zusammen ( $p < 0,0001$ ,  $n = 65$ ). Es bestand ein quadratischer Zusammenhang ( $RsArea = 14,53 + 0,58 \times CFU + 0,09 \times CFU^2$ ). Die Inokulummenge erklärte 73,1 % der Streuung des Befalls (Abbildung 10). In den Ergebnissen des Teilprojekts 4 (Befallsbeeinflussende Faktoren) hatte das Bodeninokulum, von 121 geprüften Variablen, den stärksten Einfluss auf die Befallsfläche.

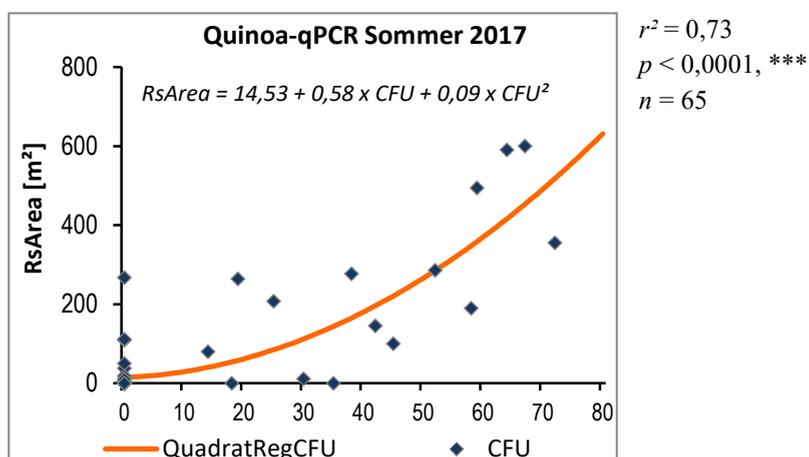


Abbildung 10: Quadratische Regression RsArea und CFU im Sommer 2017

In der Wiederholung, im folgenden Projektjahr 2017/18, bestand ebenfalls kein Zusammenhang zwischen der Vorabrisikoeinschätzung der Zuckerrübenschläge im Jahr 2017 und dem Späte Rübenfäule Befall im Jahr 2018,  $p = 0,13$ ,  $n = 44$ ,  $r_s = 0,23$  (Abbildung 11).

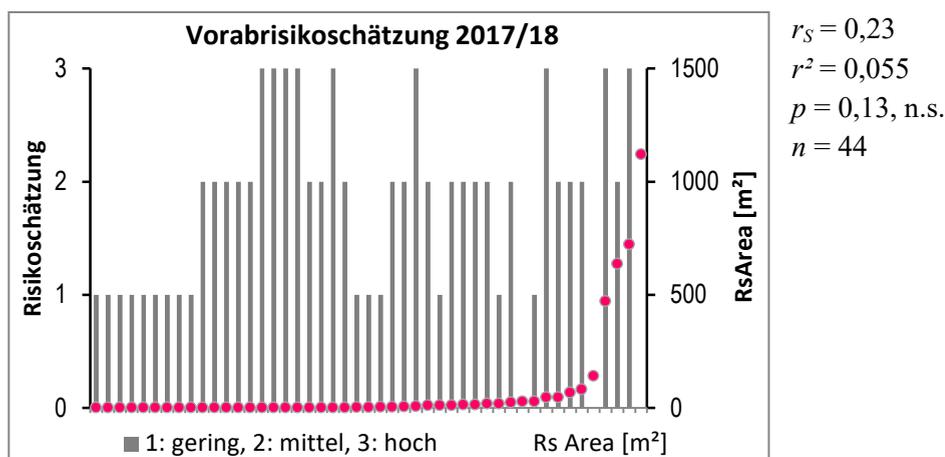


Abbildung 11: Vorabrisikoschätzung 2017 und Befall 2018

Im Juli 2018 wurden auf 12 von 47 Schlägen Bodeninokulumswerte gemessen, die über dem im Folgenden ermittelten Grenzwert von 49,22 CFU/kg Erde lagen (Abbildung 12). Auf diesen wäre unter üblichen Wetterbedingungen ein verstärkter Befall zu erwarten gewesen. Im August war hingegen auf nur 3 von diesen 12 Schlägen ein nennenswerter Späte Rübenfäule Befall vorhanden. Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich in der außergewöhnlichen Trockenheit und Wärme des Sommers 2018 (wärmstes Jahr und eines der trockensten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen), was den Erreger in seiner Virulenz eingeschränkt haben könnte.

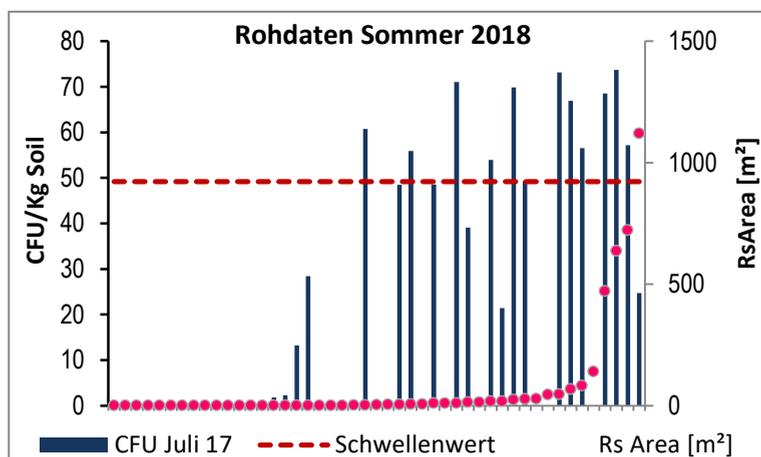


Abbildung 12: Rohdaten zu CFU und RsArea im Sommer 2018

Dementsprechend war der Zusammenhang zwischen Bodeninokulum und Befall auf den Praxisschlägen im Sommer 2018 zwar immer noch hoch signifikant ( $p = 0,0017$ ,  $n = 46$ ), aber das Bodeninokulum erklärte nur noch 25,7 % des Befalls, der nur in geringer Häufigkeit auftrat. Auch hier bildete eine quadratische Regression ( $RsArea = 8,21 + 2,59 \times CFU + 0,08 \times CFU^2$ ) den Zusammenhang am besten ab (Abbildung 13). Das zeigte aber auch einen Vorteil der Quinoa-qPCR Methode in der Risikoklassifikation von Rübenschlägen gegenüber einer ausschließlichen Quantifizierung des Befalls auf. Schläge mit einem Bodeninokulumsgehalt über dem Grenzwert haben ein erhöhtes Risiko für einen (verstärkten) Ausbruch der Späten Rübenfäule (Abbildung 15). Wäre im Jahr 2018 nur der Befall quantifiziert worden, würden diese Standorte fälschlicherweise als Niedrigrisikostandort eingeordnet werden.

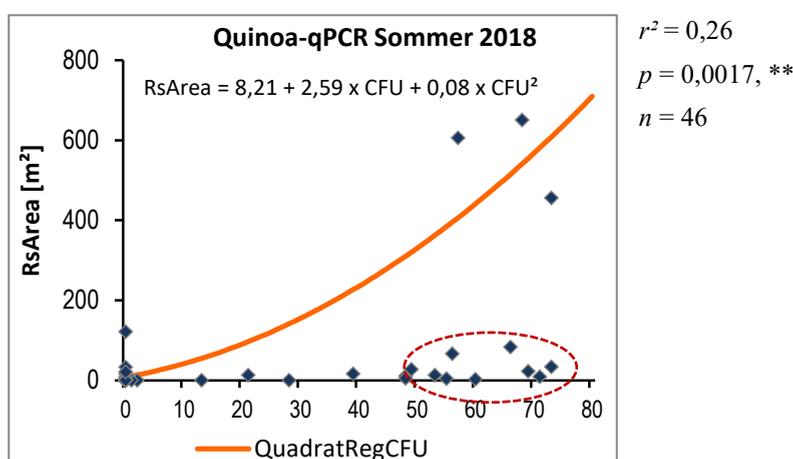


Abbildung 13: Quadratische Regression RsArea und CFU im Sommer 2018

Die außergewöhnlich Trockenheit und Wärme verhinderte einen stärkeren Befall auf den umrandeten Schlägen.

In der gemeinsamen Auswertung beider Projektjahre erklärte das Bodeninokulum 38,6 % der Streuung der Späte Rübenfäule Befallsfläch ( $p < 0,0001$ ,  $n = 111$ ), wobei hier das Bestimmtheitsmaß bei normaler Witterung im Jahr 2018 sicherlich höher gewesen wäre (Abbildung 14).

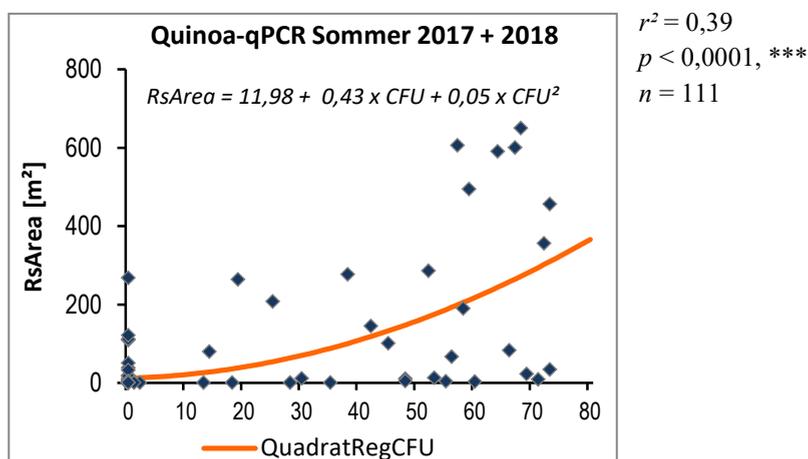


Abbildung 14: Quadratische Regression RsArea und CFU, Sommer 2017 und 2018

### 5.1.2 Ableitung eines *R. solani* AG2-2I Schwellenwertes

Zur Ableitung einer kritischen *R. solani* AG2-2IIIB Bodeninokulumkonzentration (Schadschwelle), ab der ein erhöhtes Risiko für einen verstärkten Späte Rübenfäule Befall besteht, wurde ein beschriebenes Threshold Regression Model verwendet (Coffey, 2016). Die Ausreißer bereinigten CFU- und RsArea-Werte aus den Vegetationsperioden 2017 und 2018 gingen gemeinsam in das Modell ein. Die iterative Lösung der Modellgleichung war höchst signifikant ( $p < 0,0001$ ,  $n = 111$ ). Der errechnete Schwellenwert lag bei 49,22 CFU/kg Erde (Abbildung 15). Aus der Abbildung wird weiter ersichtlich, dass eine Befallsfläche bis zu 300 m<sup>2</sup> immer, auch bei CFU-Werten unter der Nachweisgrenze der Quinoa-qPCR Methode, auftreten kann. Somit kann ein Späte Rübenfäule Befall bis zu rund 3 % der Gesamtfläche als normaler Hintergrundbefall gewertet werden.

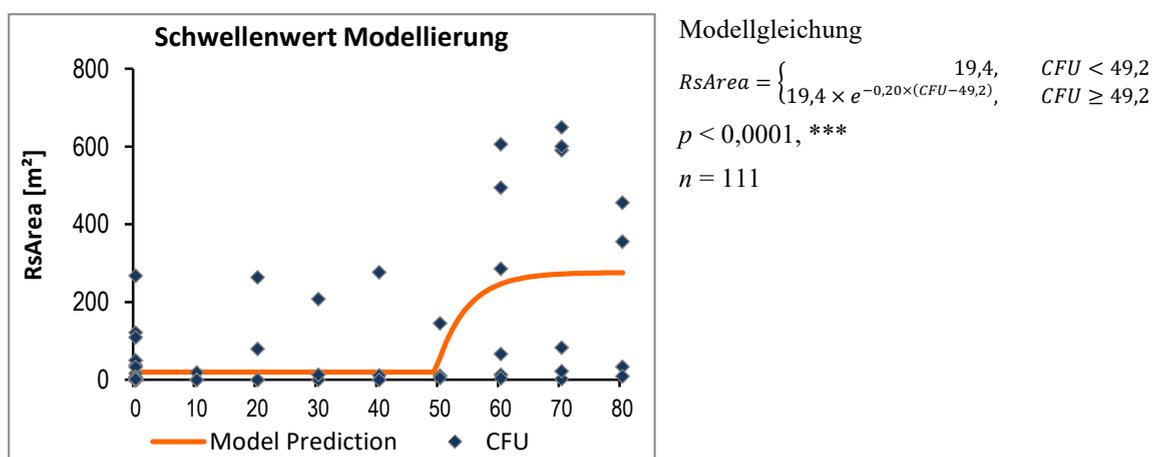


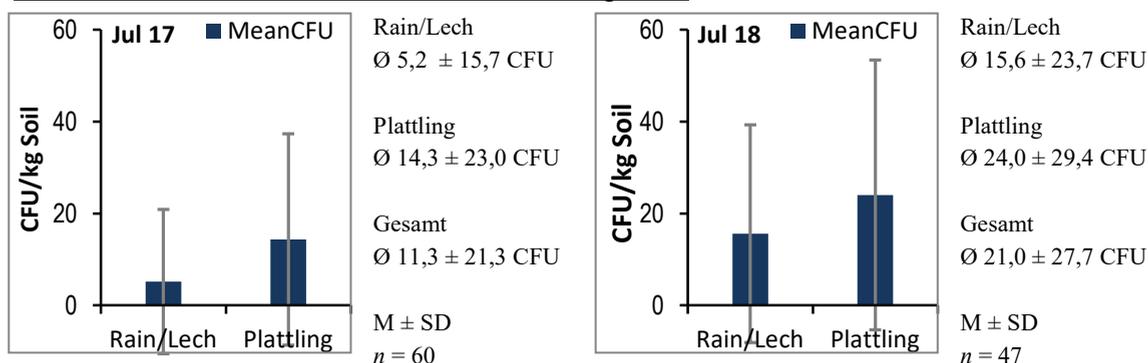
Abbildung 15: Threshold Regression Model für CFU-Schadschwelle

### 5.1.3 Vergleich der Untersuchungsregionen

Im Juli 2017 wiesen die 40 untersuchten Schläge im Raum Plattling im Durchschnitt mit  $14,3 \pm 23,0$  CFU (M  $\pm$  SD) tendenziell höhere *R. solani* AG2-2 Bodengehalte auf als die 20 untersuchten Flächen im Raum Rain/Lech mit  $5,2 \pm 15,7$  CFU. Im Juli 2018 lag die *R. solani* AG2-2 Bodenkonzentration im Mittel beider Untersuchungsgebiete mit  $21,0 \pm 27,2$  CFU um ca. 10 CFU über dem Wert aus Juli 2017 mit  $11,3 \pm 21,3$  CFU. Auch in den beiden Untersuchungsgebieten lagen die CFU-Werte im Juli 2018 um jeweils

ca. 10 Einheiten über den Werten des Vorjahres. Im Raum Rain/Lech lagen sie im Juli 2018 mit  $15,6 \pm 23,7$  CFU auf dem Vorjahresniveau des Untersuchungsgebiets Plattling (Abbildung 16).

#### Durchschnittliches Bodeninokulum in den Regionen



#### Durchschnittliche Befallsfläche in den Regionen

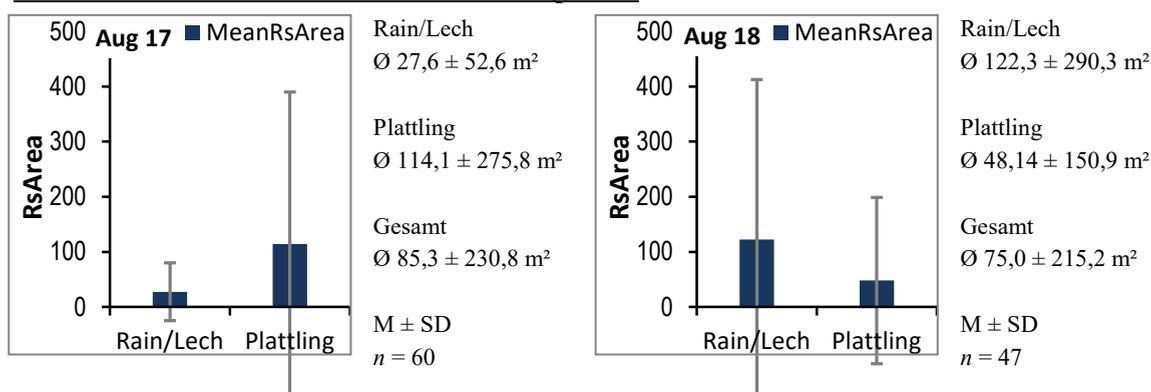


Abbildung 16: Vergleich der Untersuchungsregionen, CFU und RsArea

Im August 2017 wiesen die Untersuchungsflächen im Raum Plattling mit  $114,1 \pm 275,8$  m<sup>2</sup> einen stärkeren Befall mit der Späten Rübenfäule auf als die Flächen im Raum Rain/Lech mit  $27,6 \pm 52,6$  m<sup>2</sup>. Im August 2018, hingegen, war die Situation umgekehrt. Im Untersuchungsgebiet Rain/Lech lag die durchschnittliche Befallsfläche der 17 Beprobungsflächen mit  $122,3 \pm 290,3$  m<sup>2</sup> auf dem Vorjahresniveau des Raums Plattling und deutlich über dem eigenen Vorjahreswert. Die 30 Flächen im Untersuchungsgebiet Plattling zeigten im August 2018 mit  $48,14 \pm 150,9$  m<sup>2</sup> einen deutlich geringeren Späte Rübenfäule Befall, sowohl im Vergleich zum Vorjahr als auch im Vergleich mit dem Untersuchungsgebiet Rain/Lech desselben Jahres (Abbildung 16). Als mögliche Erklärung können zwei Punkte herangezogen werden. Ab April war das Jahr 2018 wärmer als das Jahr 2017. Zum anderen fielen im Raum Rain/Lech im Mai 2018 Niederschläge über dem langjährigen Mittel, nicht aber im Raum Plattling (Abbildung 3). Die Ergebnisse des Teilprojekts 4 zeigen eine Zunahme des Bodeninokulums mit steigender Temperatur. In der Literatur ist ein zunehmender Befall mit steigender Temperatur belegt (Bolton, et al., 2010). Im Mai 2018 konnte die Primärinfektion im Raum Rain/Lech stattfinden, da die Bodentemperatur den Wert von 15 °C überstieg, unter der kaum Hyphenwachstum stattfindet (Engelkes & Windels, 1994) (Zens, et al., 2002), und nässere Böden die Infektionen begünstigten (Bolton, et al., 2010).

### 5.1.4 Befallsprognose im Herbst des Vorjahres zur Zuckerrübe

Es sollte geprüft werden, ob mit der Quinoa-qPCR Methode eine Prognose des Späte Rübennäure Risikos anhand von Bodenproben aus Praxisschlägen im Herbst vor der Zuckerrübenaussaat möglich ist. Das würde eine informierte Entscheidung über die Verwendung von Rhizoctonia-tolerantem Saatgut ermöglichen. Dieses hat gegenwärtig in Niederbayern, bei ausbleibendem Befall, eine Ertragslücke von ca. 10-15 % zu anfälligen Sorten, kann aber unter Befall einen relativen Ertragsvorteil von bis zu 10-20 % bringen.

Der Zusammenhang zwischen dem im Herbst 2016 mit der Quinoa-qPCR Methode gemessenen Bodeninokulum und dem im August 2017 erfassten Befall mit der Späten Rübennäure war gering. Das Bestimmtheitsmaß in einer einfachen linearen Regression ( $p < 0,0001$ ,  $n = 65$ ) lag bei 23,1 %. Zwischen den Quinoa-qPCR Ergebnissen aus dem Herbst 2017 und dem Befall der Rüben im August 2018 bestand in einer einfachen linearen Regression kein Zusammenhang ( $p = 0,8674$ ,  $n = 46$ ,  $r^2 = 0,0006$ ). In der gemeinsamen Auswertung über beide Wiederholungen erklärte das gemessene Bodeninokulum im Herbst des Vorjahres lediglich 6,7 % der Streuung der Späte Rübennäure Befallsfläche im August des Folgejahres ( $p = 0,0061$ ,  $n = 111$ ). Kritisch war vor allem, dass auf 6 von 7 Flächen mit einem späteren Befall über 300 m<sup>2</sup> im Herbst des Vorjahres kein Inokulum nachweisbar war (Abbildung 17). Die Aussagekraft der Quinoa-qPCR Methode zur Prognose des Späten Rübennäure Risikos eines Rübenschlages ist daher mit einer großen Unsicherheit belastet und in der gegenwärtigen Form zu diesem Zweck nicht geeignet.

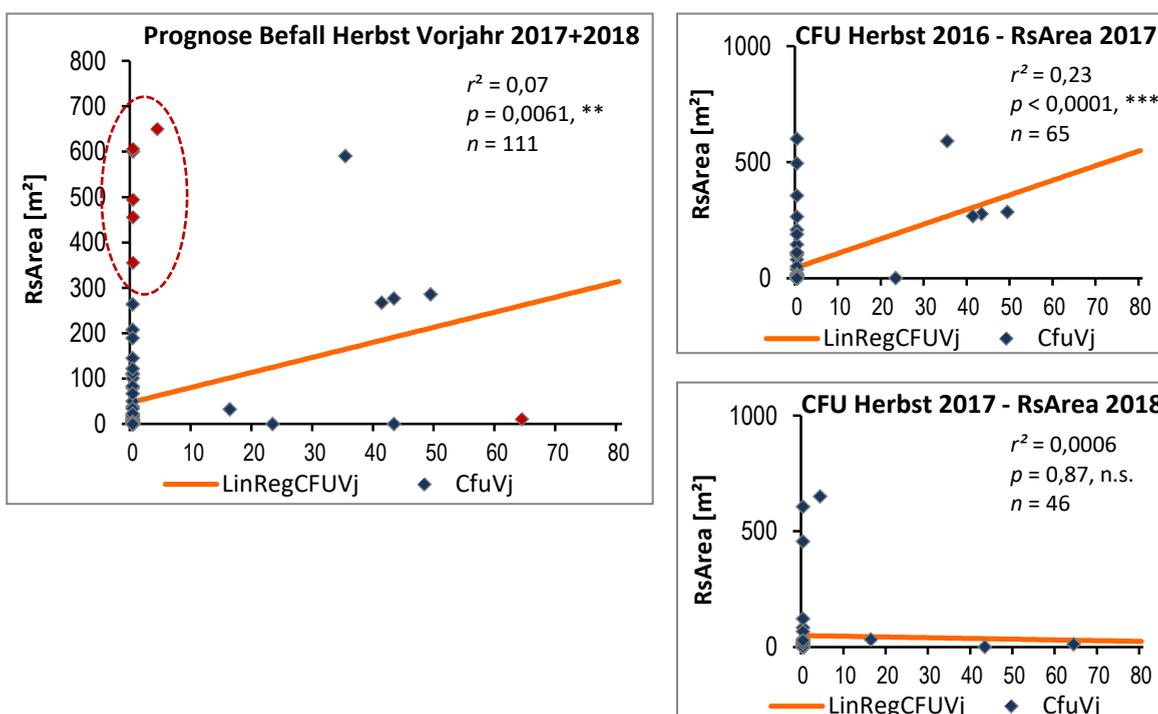


Abbildung 17: Prognose RsArea aus CFU im Herbst des Vorjahres

Eine Prognose des Rhizoctonia-Befalls der Zuckerrübe anhand der zu einem früheren Zeitpunkt ermittelten Bodeninokulumsdichte schlug in früheren Felduntersuchungen fehl (Herr, 1996). Dennoch wurde von einer erfolgreich in der Praxis eingesetzten Methode in den USA berichtet. In dieser wird eine anfällige Zuckerrübensorte in Bodenproben aus dem Herbst des Vorjahres gesät, im Gewächshaus kultiviert, der Befall mit mikrobiologischen Methoden quantifiziert und ein Risikoindex erstellt (Harveson, et al., 2014). In der

Publikation von Thornton et al. (1999), auf der das Køderverfahren der Quinoa-qPCR Methode basiert, wird berichtet, dass Quinoa Samen ausgewählt wurden, da sie das saprophytische Wachstum von *R. solani* stimulierten. Allerdings wurde in den Experimenten Felderde benutzt, in die die Wirtspflanze bereits gepflanzt war (Thornton, et al., 1999). Frühere Untersuchungen zeigten, dass einige aus Felderde isolierte Sklerotien, die auf Nährmedien nicht auskeimten, nach Kontakt mit einer Wirtspflanze auskeimten (Herr, 1996). Es könnte daher, durch die Verwendung von autoklavierten, nicht keimfähigen Quinoa Samen, ein Stimulus nicht vorhanden gewesen sein, der ruhendes Mycel und Sklerotien aktiviert. Denkbar wären Wurzelexsudate von Wirtspflanzen, aber das Wissen über die Mechanismen, die beispielsweise den Keimvorgang in *R. solani* Sklerotien anregen, ist gering (Ritchie & McQuilken, 2009) und bedürfte einer Grundlagenforschung.

### 5.1.5 Zeitlicher Verlauf der Bodeninokulumsaktivität

Eine grundlegende Annahme für die Prognose war, dass die Inokulumsmenge im Boden einigermaßen konstant im Boden vorhanden ist, oder dass sie sich zumindest nach denselben Gesetzmäßigkeiten auf- und abbaut. Dass dem nicht so sein muss und dass das *R. solani* AG2-2 Inokulum schlagindividuellen, dynamischen Auf- und Abbauprozessen unterliegen könnte, zeigen folgende, nach den Erfahrungen mit der fehlgeschlagenen Prognose im Herbst 2016, zusätzlich durchgeführte Untersuchungen.

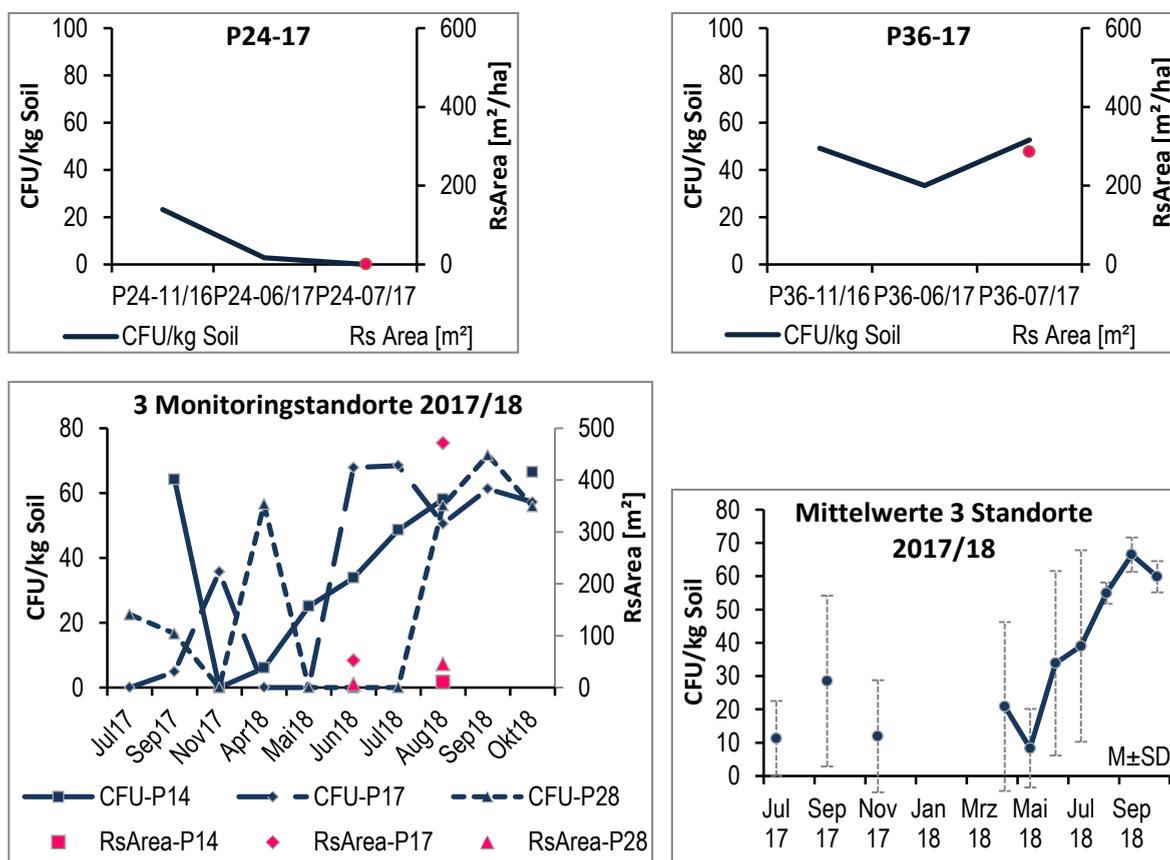


Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der Inokulumsmengen auf 2 Standorten 2016/17 und 3 Monitoringstandorten 2017/18

Erste Hinweise ergaben sich aus dem Vergleich der gemessenen Inokulumsmengen zweier Schläge aus dem Raum Plattling im Projektjahr 2016/17, von denen ein zusätzlicher CFU Wert aus dem Juni 2017 vorlag. Auf Schlag P24-17 nahm die Inokulumsmenge von

23 CFU im November 2016, auf 3 CFU im Juni 2017 ab und war im Juli 2017 nicht mehr nachweisbar. Ein Späte Rübenfäule Befall trat nicht auf. Auf Schlag P36-17 nahm die Inokulumsmenge ebenfalls von November 2016 bis Juni 2017 ab, von 49 CFU auf 33 CFU, und stieg dann bis Juli 2017 wieder auf 52 CFU an. Im August 2017 lag ein mittlerer Befall von 285,5 m<sup>2</sup> auf der 1 ha Beprobungsfläche vor (Abbildung 18).

In der Vegetationsperiode 2018 wurde daraufhin das Bodeninokulum von drei Schlägen im Raum Plattling in monatlichen Intervallen von April bis Oktober gemessen. Zusätzlich lagen auf zwei Schlägen Bodeninokulumswerte aus dem Juli 2017 und auf allen drei Schlägen aus September 2017 und November 2017 vor. Der Verlauf der gemessenen Bodeninokulumsmengen, die mit der Quinoa-qPCR Methode auch als Verlauf der Inokulumsaktivität gesehen werden können, war heterogen und hatte seinen jeweiligen Höhepunkt zu verschiedenen Zeitpunkten, bevor sie sich ab August 2018 annäherten und stabilisierten (Abbildung 18). Auf Schlag P14-18 wurde aus Körnermais im September 2017 mit 64 CFU der höchste Wert im Vorjahr zur Zuckerrübe gemessen. Auf der gepflügten Fläche war im November 2017 kein Inokulum messbar, vermutlich wurde es in Pflugtiefe verlagert. Ab April 2018 stieg das Bodeninokulum kontinuierlich von 6 CFU auf 67 CFU im Oktober 2018 an. Nennenswerter Befall trat nicht auf (RsArea = 10,6 m<sup>2</sup>). Auf Schlag P17-18 war im Juli 2017 keine Inokulumsaktivität im stehenden Winterweizen nachweisbar. Im Herbst 2017 stieg hier, abweichend von den anderen, das Bodeninokulum von 5 CFU im September auf 36 CFU im November an. Ein Grund könnte gewesen sein, dass der Landwirt die Grundbodenbearbeitung, laut eigener Aussage, aufgrund der Schwere seiner Böden (hier: LT4A1), generell frühzeitig durchführt. Auf der gepflügten Fläche waren im November 2017 hochgepflügte Körnermaisreste sichtbar, die als Inokulumsquelle gedient haben könnten. Im April und Mai 2018 war in den Zuckerrüben zunächst keine Inokulumsaktivität vorhanden. Im Juni 2018 schnellte sie auf 68 CFU nach oben und hielt dieses Niveau im Juli, nahm im August auf 50 CFU ab und stabilisierte sich im September und Oktober 2018 auf Werte um 60 CFU. Ein Späte Rübenfäule Befall war auf dieser Beprobungsfläche bereits im Juni 2018 sichtbar (RsArea = 52,2 m<sup>2</sup>), der im August 2018 mit 471,3 m<sup>2</sup> den sechsthöchsten Wert der 47 Beprobungsflächen des Jahres 2018 erreichte. Auf Schlag P28-18 war als einzigem von 10 im Juli 2017 im stehenden Getreide beprobten Schlägen eine Inokulumsaktivität messbar. Sie nahm von 23 CFU im Juli 2017 auf 17 CFU auf der Stoppel im September 2017 leicht ab und war auf der gepflügten Fläche im November 2017 nicht mehr nachweisbar. Auch hier wurden nicht zersetzte Körnermaisreste nach oben gepflügt. Im April 2018 war mit 57 CFU eine hohe Inokulumsaktivität vorhanden. Die Rübenkeimlinge zeigten deutliche Wurzelbrandsymptome. Im Zeitraum von Mai bis Juli 2018 war jedoch keine Inokulumsaktivität messbar. Im Jahr 2018 war ein Fungizid zur Anwendung gegen die Späte Rübenfäule nach Art. 53 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 (Zulassungen für Notfallsituationen) zugelassen. Im August 2018 war mit 56 CFU wieder eine deutliche Inokulumsaktivität vorhanden, sie stieg im September mit 72 CFU auf den höchsten Wert der drei Monitoring Standorte und fiel im Oktober wieder auf 56 CFU zurück. Im Juni 2017 war mit 6,7 m<sup>2</sup> ein geringfügiger Späte Rübenfäule Befall vorhanden, der sich bis August 2018 auf relativ geringe 46 m<sup>2</sup> ausdehnte. Im Mittel aller drei Monitoring Standorte erreichte die Inokulumsaktivität im September 2017 mit 29 ± 26 CFU den Höhepunkt im Vorjahr zur Zuckerrübe (M ± SD, Juli 2017: 11 ± 11 CFU, November 2017: 12 ± 17 CFU). In den Zuckerrüben stieg das mittlere Bodeninokulum, ausgehend von 21 ± 25 CFU im April 2018 und 8 ± 12 CFU im Mai 2018, ab Juni 2018 von 34 ± 28 CFU kontinuierlich bis auf 67 ± 5 CFU im September 2018 an, bevor es im Oktober 2018 leicht auf 60 ± 5 CFU abfiel (Abbildung 18). Zu beachten sind hier die großen Standardabweichungen, die sich aber beginnend mit August 2018 deutlich

verkleinerten. Festzuhalten bleibt, dass die Inokulumsaktivität schlagindividuellen Verläufen folgte, in den Zuckerrüben generell zunahm, sich ab August anglich und im September in den Zuckerrüben ihren Höhepunkte erreichte. Diese schlagindividuellen Verläufe der Inokulumsaktivität erschweren eine Prognose des zu erwartenden Späte Rübenfäule Befalls anhand von Bodeninokulumswerten erheblich, zeigen aber auch bisher nicht beschriebene epidemiologische Grundlagen der Späten Rübenfäule in Zuckerrüben auf.

### 5.1.6 Räumliche Verteilung des Bodeninokulums

Im Juni 2017 wurde die räumliche Verteilung des Bodeninokulums detailliert auf zwei Beprobungsflächen im Raum Plattling untersucht, da die kleinräumige Verteilung des Inokulums bisher unbekannt war. Von Interesse war weiter, ob der Befall vorwiegend an Stellen mit hoher Bodeninokulumskonzentration auftritt, was gegebenenfalls zu einer statistischen Anpassung der Beprobungsstrategie nach Ferguson (1992) genutzt worden wäre.

Das *R. solani* AG2-2 Bodeninokulum war ungleich auf der 1 ha großen Beprobungsfläche des Schlags P36-17 verteilt. Die interpolierte Darstellung der Messwerte um die einzelnen Probenahmepunkte zeigte sieben runde bis ovale Stellen mit hohen Inokulumkonzentrationen, die von der restlichen, nur geringes Bodeninokulum aufweisenden Fläche abgegrenzt waren (Abbildung 19). Die Lage der Stellen hoher Bodeninokulumskonzentration im Juni 2017 korrelierte nicht mit dem im August 2018 aufgezeichneten Befall von 285,5 m<sup>2</sup> ( $r_s = 0,044$ ,  $p = 0,7648$ ,  $n = 49$ ). Auf der zweiten kleinräumig untersuchten Beprobungsfläche, auf Schlag P24-17, wurde an nur zwei Probepunkten mit 4 CFU und 9 CFU eine geringfügige Inokulumsmenge gemessen, ein Befall trat nicht auf (Abbildung 34 im Anhang).

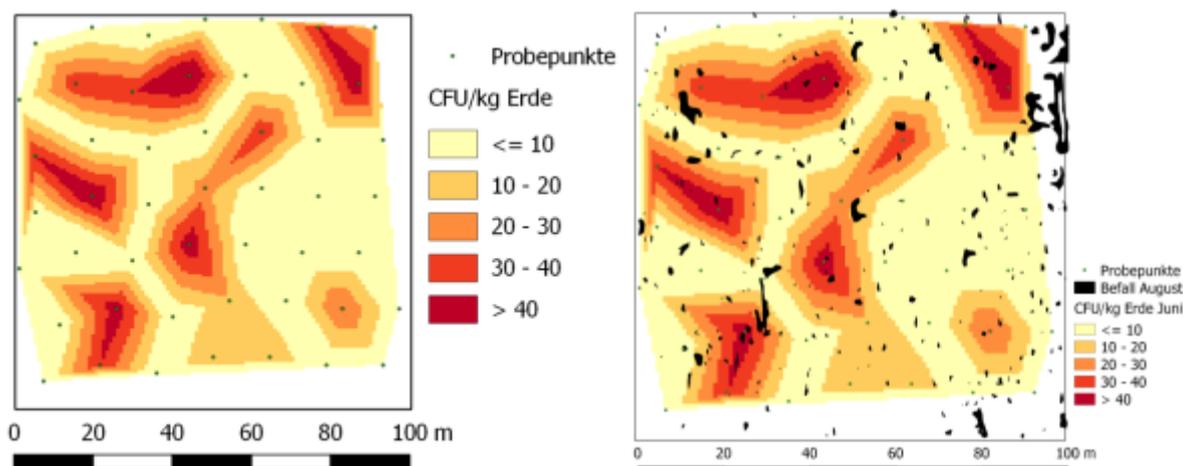


Abbildung 19: Räumliche Verteilung des Inokulums und des Befalls auf einer 1 ha Beprobungsfläche im Juni 2017

Die kleinräumige Untersuchung der Bodeninokulumskonzentration wurde im Juni 2018 auf zwei Beprobungsflächen im Untersuchungsgebiet Plattling mit einer zusätzlichen Erhebung der Befallsfläche im Juni, parallel zur Bodenprobennahme, wiederholt. Es zeigte sich eine analoge Konzentration des Bodeninokulums. Im Juni 2018 war auf der Beprobungsfläche P17-18 eine Fläche von 52,2 m<sup>2</sup> mit der Späten Rübenfäule befallen. Die Lage der Befallsstellen korrelierte signifikant ( $p = 0,0002$ ,  $n = 51$ ) mit den CFU Werten der einzelnen Probepunkte, allerdings nur mit einem Korrelationskoeffizienten im mittleren

Bereich ( $r_s = 0,51$ ). Viele Befallsstellen lagen im Juni 2018 außerhalb der Zonen hoher Inokulumdichte (Abbildung 20). Durch eine Zunahme des Umfangs der Befallsstellen und dem Hinzukommen neuer Befallsstellen vergrößerte sich die Gesamtbefallsfläche auf 650,0 m<sup>2</sup> im August 2018. Der räumliche Zusammenhang zwischen Bodeninokulumdichte und Befallsstellen blieb annähernd gleich bei  $r_s = 0,46$  ( $p = 0,0007$ ,  $n = 51$ ). Auf der zweiten im Juni 2018 detailliert untersuchten Beprobungsfläche P28-18 konnte nur an vier Probepunkten eine geringe Bodeninokulummenge gemessen werden. Der äußerst geringe Befall von 6,7 m<sup>2</sup> im Juni und 32,5 m<sup>2</sup> im August lag überwiegend außerhalb dieser Stellen und korrelierte nicht mit der Lage des Bodeninokulums (Juni 2018:  $r_s = 0,077$ ,  $p = 0,6246$ , August 2018;  $r_s = 0,075$ ,  $p = 0,6335$ ,  $n = 43$ ), siehe Abbildung 35 im Anhang.

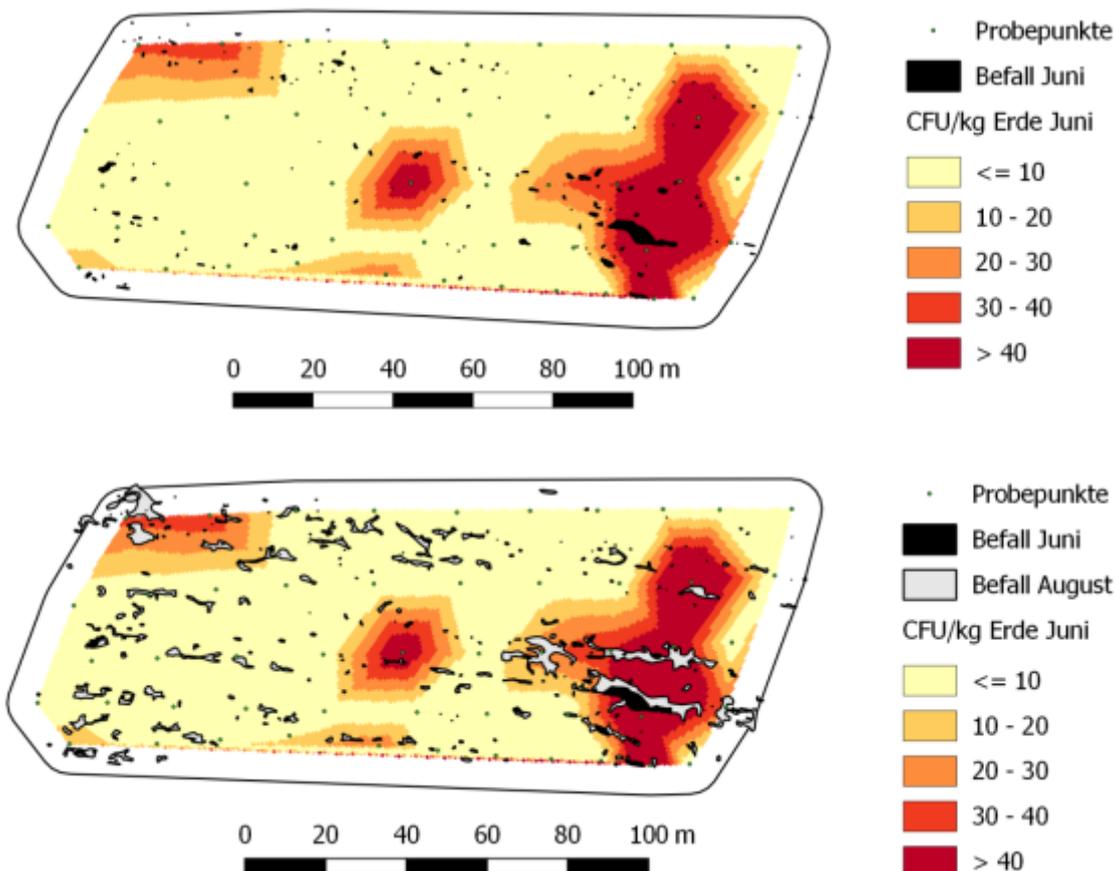


Abbildung 20: Befallsprogression und Verteilung des Inokulums auf einer Beprobungsfläche im Jahr 2018

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass höhere Bodeninokulumswerte der gesamten Untersuchungsfläche generell mit einer größeren Befallsfläche zusammenhängen (s.a. Kapitel 5.1.1), die Befallsstellen aber nicht nur an Stellen mit hoher Bodeninokulumskonzentration auftraten. Augenscheinlich herrschen an diesen Stellen Bedingungen vor, unter denen sich das *R. solani* AG2-2 Mycel bevorzugt entwickeln, oder überdauern konnte. Eventuell infiltriert das *R. solani* AG2-2 Mycel von diesen Stellen ausgehend das Feld weiträumig mit Hyphen in geringer Dichte. In einer früheren Publikation wurde geschlossen, dass die Höhe der Inokulumdichte an einer Stelle nicht der alleinige Faktor sein kann, der zu Späte Rübenfäule Befallsnestern führt. Auf einem Rübenschlag wurde kein Zusammenhang zwischen der Lage von später in der Saison auftretenden Späte Rübenfäu-

le Befallsnestern und der räumlichen Lage der Inokulumsdichte im Mai/Juni gefunden (Herr, 1996). In einer weiteren, früheren Untersuchung wies eine Befallsstelle hohe Inokulumsdichten im Zentrum des Nestes auf und eine andere Befallsstelle auf demselben Feld höhere Inokulumsdichten um das Nest herum. Es wurde u.a. vorgeschlagen, dass das *R. solani* Mycel nach erfolgter Infektion von der Befallsstelle auswachsen könnte (De Beer, 1965). Durch das Monitoring der Inokulumsdichten in den Parzellen der Zwischenfruchtfeldversuche in Teilprojekt 2 konnten Daten gewonnen werden, die auf eine heterogene Aktivität des *R. solani* AG2-2 Mycels hindeuten, die auch eine Mobilität des Mycels darstellen könnten (siehe 5.3.3 Räumliche Verteilung der Bodeninokulumsaktivität).

Im Projektjahr 2016/17 wurde auf drei Schläge mit einer Größe über 10 ha vorab jeweils drei unabhängige 1 ha große Beprobungsflächen gelegt, um zu prüfen, ob es auf diesen Schlägen Zonen unterschiedlicher Inokulumsdichte und Befallsintensität gibt. Nur auf einem 15 ha großen Schlag (P19-17) im Raum Plattling waren im Jahr 2017 nennenswerte Inokulumsmengen messbar und es trat Späte Rübenfäule Befall auf. Zwei der drei Beprobungsflächen wiesen im Juli 2017 mit 64 CFU (Nord) und 60 CFU (Ost) hohe Bodeninokulumskonzentrationen auf, eine hingegen mit 14 CFU (Süd) eine deutlich geringere Inokulumskonzentration. Das spiegelte sich in den Befallsflächen wieder. Die Beprobungsflächen mit hoher Bodeninokulumskonzentration wiesen mit 590,3 m<sup>2</sup> (Nord) und 494,2 m<sup>2</sup> (Süd) eine deutlich höhere Befallsintensität auf, als die südlich und etwas höher gelegene Beprobungsfläche, die einen relativ geringen Befall von 79,6 m<sup>2</sup> hatte (Abbildung 21). Auf diesem Schlag gab es somit eine zonal heterogene Verteilung des Bodeninokulums und des Befalls. Durch eine Teilflächenbewirtschaftung, in der im südlichen Drittel eine 10 % ertragsstärkere teiltolerante oder anfällige Sorte angebaut worden wäre, hätte auf dem Gesamtschlag ein 3 % höherer Ertrag im Jahr 2017 erwirtschaftet werden können.

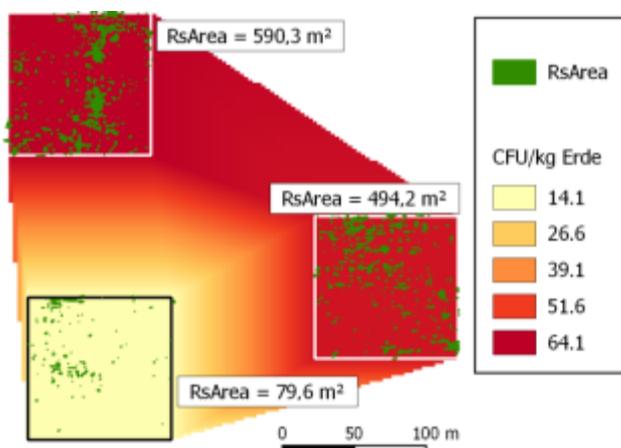
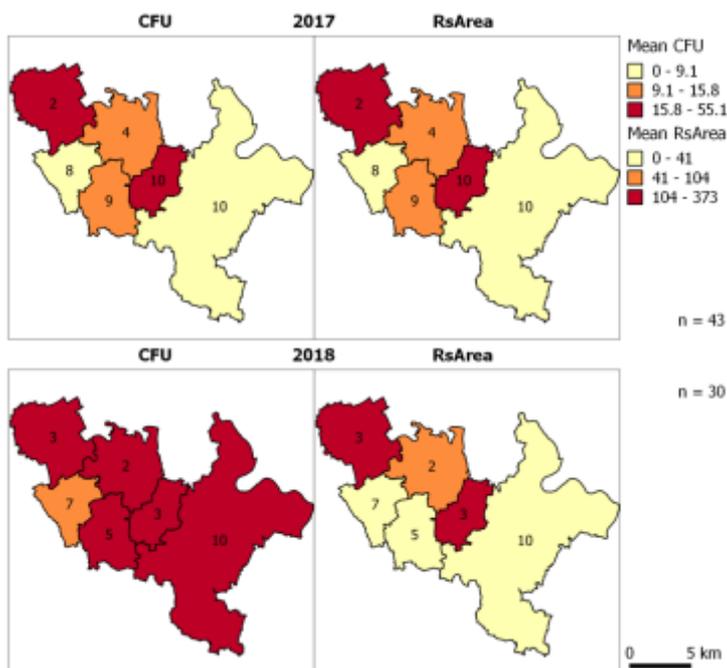


Abbildung 21: Heterogene Inokulums- und Befallszonen auf einem 15 ha Schlag

In der Abbildung 22 sind die durchschnittlichen Bodeninokulumsgehalte und Befallsintensitäten der Untersuchungsgebiete Plattling und Rain/Lech auf Gemeindeebene dargestellt. Die Karten veranschaulichen zum einen die Ergebnisse aus Abschnitt 5.1.1 Zusammenhang zwischen *R. solani* AG2-2IIIB Inokulumsdichte und Späte Rübenfäule Befall in Praxischlägen. Zum anderen deuten sie auf eine großräumige Heterogenität der Inokulumsdichten und Befallsintensitäten in den Untersuchungsgebieten hin. In der Vegetationsperiode 2018 zeigte das Untersuchungsgebiet Plattling, trotz geringer Befallshäufigkeit, ein deutlich höheres im Boden vorhandenes Inokulumpotential als das Untersuchungsgebiet Rain/Lech. Durch ein systematisches Monitoring der Bodeninokulumsgehalte aus den Zu-

ckerrüben, oder von früh gerodeten Flächen, könnte das Späte Rübenfäule Risiko eines Gebietes bestimmt und räumlich unterteilt werden, sowie Trends in der Entwicklung des Inokulums abgeleitet werden. Ebenso könnte die Effektivität ergriffener Risikoreduktionsmaßnahmen in einem mittelfristigen Zeitraum objektiv beurteilt werden.

### Untersuchungsgebiet Plattling



### Untersuchungsgebiet Rain/Lech

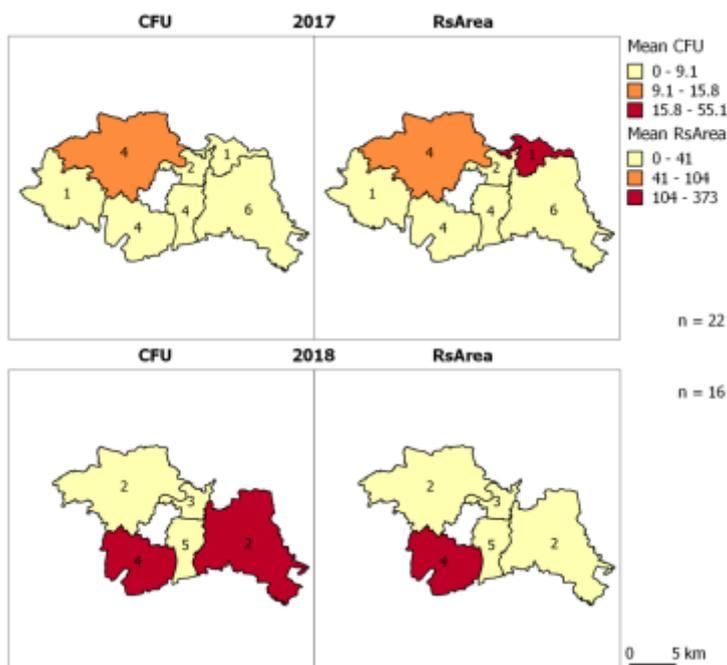


Abbildung 22: Karte durchschnittlicher Bodeninokulumsmengen und Befallsflächen auf Gemeindeebene

Die Zahlen innerhalb der Gemeindegrenzen geben die Anzahl der untersuchten Schläge an.

## 5.2 Ergebnisse Teilprojekt 2 – Gewächshaus- und Laborversuche zur *Rhizoctonia*-Anfälligkeit von Zwischenfrüchten

### 5.2.1 Zwischenfruchtarten in Greening-Mischungen für Zuckerrübenfruchtfolgen

In einer im Herbst 2016 durchgeführten Internetrecherche wurden  $n = 66$  Greening-Mischungen für Zuckerrübenfruchtfolgen auf dem deutschen Markt ermittelt. Die relativen Häufigkeiten der darin enthaltenen Einzelkomponenten sind in Abbildung 23 dargestellt und in Tabelle 8 im Anhang einzeln aufgeführt. Die am häufigsten enthaltenen Zwischenfruchtarten waren: Phacelia (59,1 %), Alexandriner Klee (57,6 %), Ölrettich (42,4 %), Senf (39,4 %), Ramtillkraut (39,4 %), Saatwicke (37,9 %), Rauhafer (27,3 %), Perserklee (25,8 %) und Öllein (25,8 %). Die daraus auf ihre *R. solani* AG2-2IIIB Anfälligkeit untersuchten Zwischenfruchtarten sind in Tabelle 2 unter Abschnitt 4.3.1 Ermittlung häufiger Einzelkomponenten in Greening-Mischungen aufgelistet.

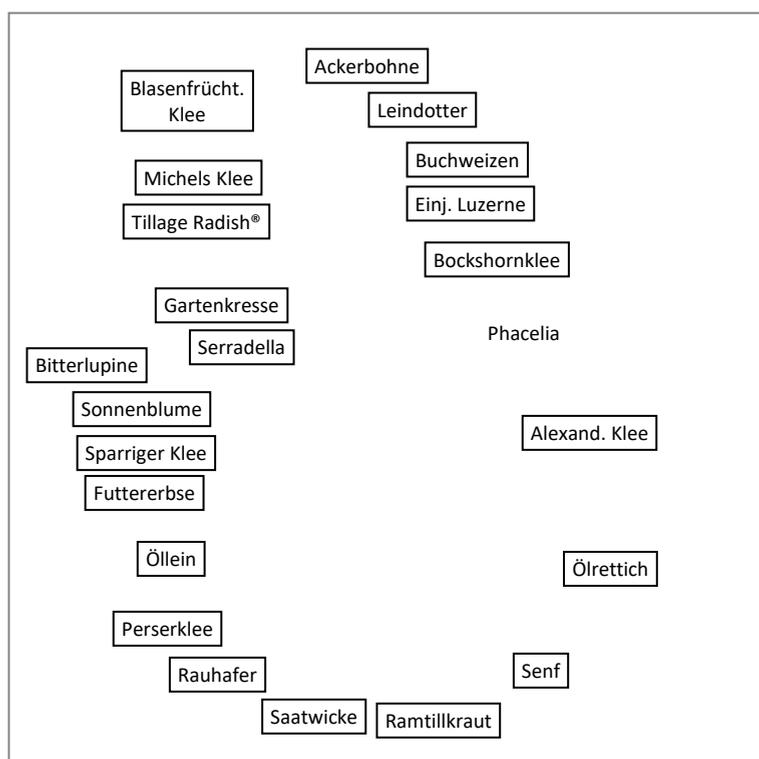
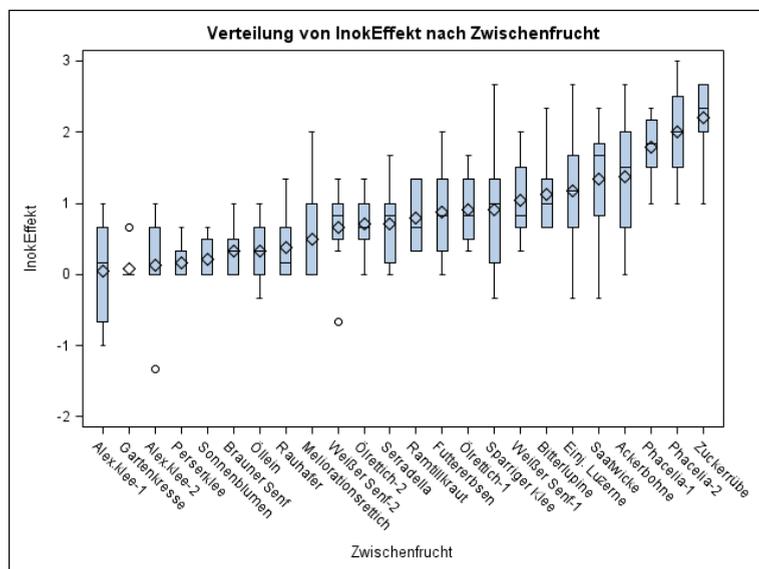


Abbildung 23: Relative Häufigkeit der Zwischenfruchtarten in  $n = 66$  markterhältlichen, für Zuckerrübenfruchtfolgen geeigneten Greening-Mischungen

### 5.2.2 Wurzelbonitur

Die stärksten Symptome, bzw. Schädigungen der Wurzeln durch die *R. solani* AG2-2IIIB Inokulation zeigten sich in absteigender Reihenfolge an Zuckerrübe (Abbildung 24 B) Phacelia Sorte 1 und 2, Ackerbohne, Saatwicke und einjähriger Luzerne. Kaum Symptome, bzw. Schädigungen traten an den Wurzeln von Alexandrinerklee Sorte 1 und 2, Gartenkresse (Abbildung 24 A), Perserklee, Brauner Senf, Öllein und Rauhafer auf. Die Symptome, bzw. Schädigungen der restlichen Zwischenfruchtarten lagen im mittleren Bereich. In Abbildung 24 sind die Wurzelboniturergebnisse als Boxplots der  $n = 192$  Inokulationseffekte dargestellt. Der Inokulationseffekt ist die Differenz der Boniturnoten der in-

okultierten und nicht inokultierten Variante je Wiederholung. Diese qualitativen Daten geben Auskunft über die sichtbare *R. solani* AG2-2IIIB Anfälligkeit der lebenden Wurzeln.



$n = 192$

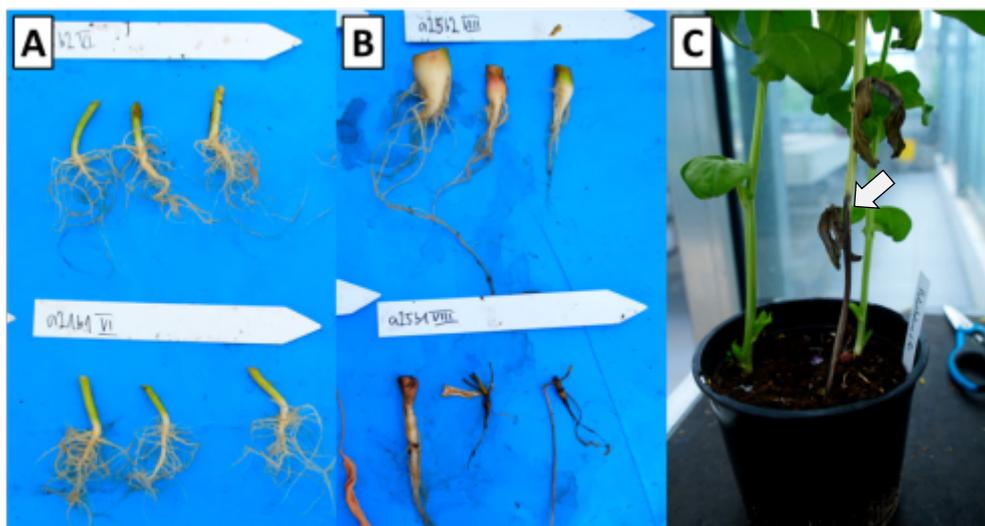


Abbildung 24: Ergebnisse der Wurzelbonitur des Gewächshauszwischenfruchtversuchs

A) Keine Symptome an Wurzeln der Gartenkresse, oben: inokuliert, unten: nicht inokuliert. B) Starke Schädigung der Zuckerrübenkörper durch *R. solani* AG2-2IIIB Inokulation. C) Verbräunung des unteren Stängelbereichs der Ackerbohne in der inokulierten Variante.

### 5.2.3 Inokulationsbedingter Trockenmasseverlust

Die Trockenmassen des Zwischenfruchtaufwuchses wurden als quantitatives Merkmal erfasst. Ein Trockenmasseverlust der inokulierten Variante deutet auf eine Beeinträchtigung der Funktion des Wurzelsystems durch die *R. solani* AG2-2IIIB Inokulation hin. Die Zuckerrübe, als Positivkontrolle, zeigte mit 36,1 % Aufwuchstrockenmasseverlust gegenüber der nicht inokulierten Variante die stärkste Sensitivität. Der inokulationsbedingte Trockenmasseverlust der Zuckerrübe war signifikant ( $p < 0,0001$ , ANOVA Interaktionseffekt segmentiert nach Zwischenfruchtart). Unter den Zwischenfrüchten verloren durch die Inokulation Phacelia Sorte 2 und 1, mit 19,3 % ( $p < 0,0001$ ) und 18,3 % ( $p < 0,0001$ ), signifikant an Trockenmasse, ebenso das Ramtilkraut mit 16,9 % ( $p = 0,0029$ ). Die geringsten inokulationsbedingten Trockenmasseverluste traten bei Alexandrinerklee Sorte 1 (kein

TM-Verlust), Gartenkresse (1,1 %), Alexandrinerklee Sorte 2 (2,2 %), Perserklee (2,4 %) und dem Tillage Rettich (2,7 %) auf. Die restlichen Zwischenfruchtarten verloren durch die Inokulation zwischen 5,2 % und 11,4 % an Aufwuchstrokenmasse (Abbildung 25). Die Wurzeln der Ackerbohne zeigten starke Symptome (Abbildung 24), ein Trockenmasseverlust des Aufwuchses trat mit 5,2 % jedoch kaum auf. Einerseits deutet das auf eine gute Kompensationsfähigkeit des Wurzelsystems hin. Andererseits waren in den inokulierten Varianten Verbräunungen der unteren Stängelbereiche sichtbar (Abbildung 24 C). Bei einer längeren Kultivationsdauer als 4 Wochen hätten diese wahrscheinlich zu einem Zusammenbruch der Pflanzen und einem damit einhergehenden Trockenmasseverlust geführt.

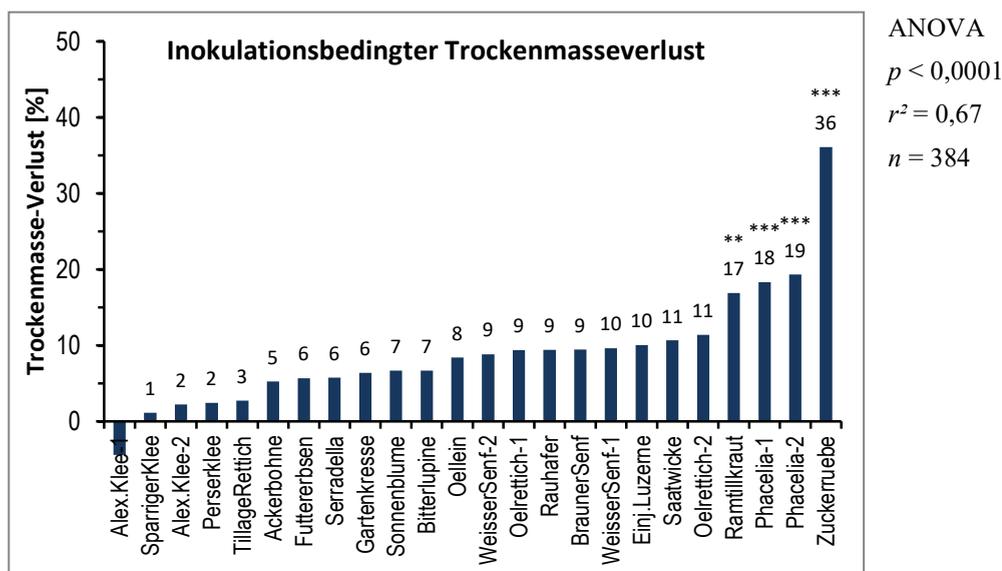


Abbildung 25: Inokulationsbedingter Aufwuchstrokenmasseverlust der Zwischenfruchtarten

#### 5.2.4 Sortenvergleich der Rhizoctonia-Anfälligkeit

Unter den Zwischenfruchtarten, die mit zwei Sorten im Versuch enthalten waren, traten Sortenunterschiede bei weißem Senf und Ölrettich, inkl. Tillage Rettich auf (Abbildung 26). Die inokulierte Variante der weißen Senf Sorte 1 verlor signifikant (t-Test,  $p = 0,0382$ ,  $n = 16$ ) mehr Trockenmasse als Sorte 2. Die Mittelwerte der nicht-inokulierten Varianten der weißen Senf Sorten unterschieden sich nicht signifikant ( $p = 0,0886$ ,  $n = 16$ ) voneinander. Analog verlor die inokulierte Variante der Ölrettich Sorte 2 signifikant ( $p = 0,0412$ ,  $n = 16$ ) mehr Trockenmasse als die inokulierte Variante der Ölrettich Sorte 1. Der Tillage Rettich verlor durch die Inokulation kaum an Trockenmasse (Abbildung 25) und war in den inokulierten Varianten statistisch hoch signifikant (Tukey-Test,  $p = 0,0003$ ,  $n = 24$ ) von Ölrettich Sorte 1 und 2 verschieden. Die Mittelwerte der nicht inokulierten Varianten von Ölrettich Sorte 1 und 2 unterschieden sich nicht (t-test,  $p = 0,164$ ,  $n = 16$ ), ebenso nicht die Mittelwerte von Ölrettich Sorte 1 und 2 und Tillage Rettich (Tukey-test,  $p = 0,0804$ ,  $n = 24$ ). Bei Alexandrinerklee Sorte 1 und 2 gab es weder in der inokulierten Variante (t-Test,  $p = 0,6081$ ,  $n = 16$ ), noch in der nicht inokulierten Variante ( $p = 0,8517$ ,  $n = 16$ ) Unterschiede in den mittleren Trockenmassen. Ebenso unterschieden sich die inokulierten Varianten (t-Test,  $p = 0,2159$ ,  $n = 16$ ) und die nicht inokulierten Varianten ( $p = 0,4032$ ,  $n = 16$ ) von Phacelia Sorte 1 und 2 nicht.

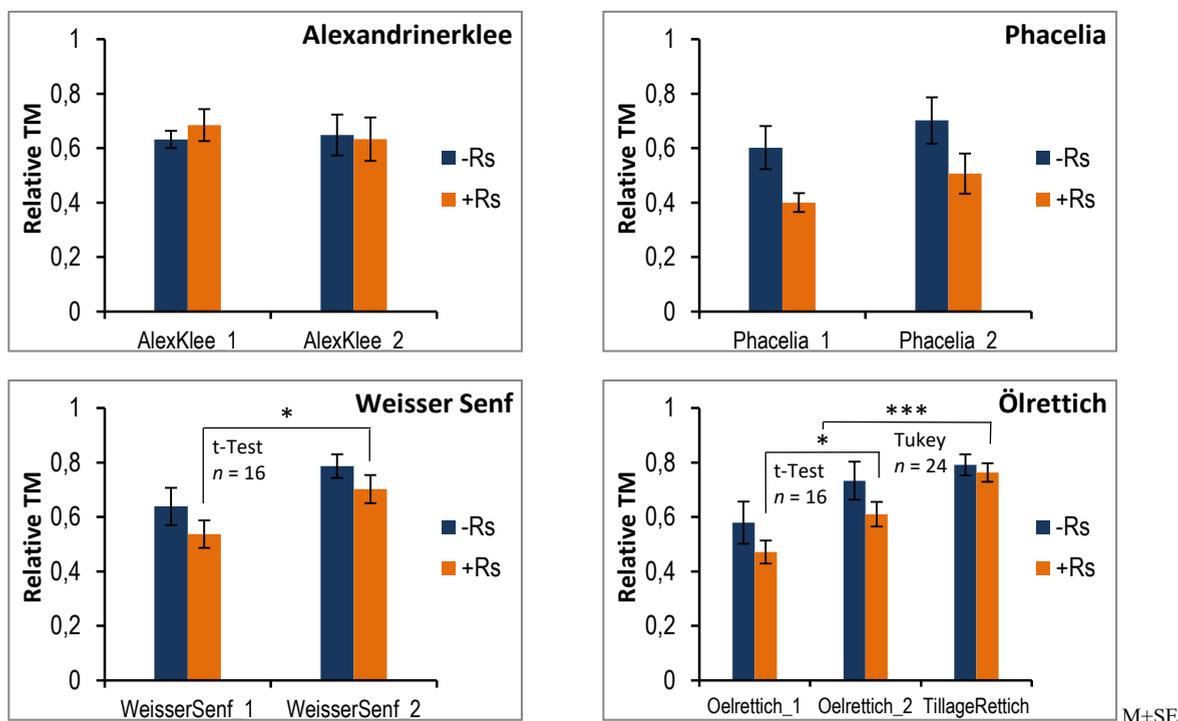


Abbildung 26: Sortenunterschiede in der Rhizoctonia Anfälligkeit von Zwischenfrüchten

### 5.2.5 *R. solani* AG2-2IIIB Wachstum auf Zwischenfruchtstrohmedien

Strohpulver als einzige Kohlenstoffquelle im Czapek Medium kann genutzt werden, um dessen Verstoffwechselbarkeit durch Pilze zu studieren (Stepanova, et al., 2003). *R. solani* AG2-2IIIB ist vom Lebensstil her ein fakultativer Saprophyt. Er kann sich sowohl vom Abbau toter organischer Substanz, als auch durch Parasitierung anfälliger Pflanzen ernähren. Im folgenden Versuch wurde untersucht, inwieweit *R. solani* AG2-2IIIB die tote organische Substanz der Zwischenfruchtarten verstoffwechseln kann, die in der Praxis auf dem Acker verbleibt. Dazu wurde das Mycelwachstum auf Czapek Nährmedien gemessen, die als einzige Kohlenstoffquelle vermahlenes Zwischenfruchtstroh enthielten (Abbildung 27 B).

Die Wachstumskurven des *R. solani* AG2-2IIIB Mycels der 25 untersuchten Varianten (24 Zwischenfruchtstrohmedien, ein Kontrollmedium ohne Kohlenstoffquelle) sind zur Übersicht, relativ zum Mycelwachstum auf Vollmedium (Saccharose als Kohlenstoffquelle), in Abbildung 27 C abgebildet. Die höchsten relativen Wachstumswerte erreichte das *R. solani* AG2-2IIIB Mycel auf Medien mit Zwischenfruchtstroh von Phacelia Sorte 1 und 2. Relativ geringes Mycelwachstum zeigte sich, abgesehen von der Negativkontrolle, auf Medien mit Strohpulver von Sparriger Klee, Serradella und Sonnenblume. Die Area Under the Curve (AUC) der 25 Varianten unterschied sich in einem Kruskal-Wallis-Test signifikant ( $p > \chi^2 < 0,0001$ ,  $n = 136$ ). In einem anschließenden multiplen Mittelwertvergleich (Dunn's Test,  $\alpha = 0,05$ ) unterschieden sich die Wachstumswerte von Phacelia Sorte 1 und 2 signifikant von Sparriger Klee, Serradella, Sonnenblume und Weißer Senf Sorte 2. Auf Perserkleestrohmedium wurde der dritthöchste Wachstumswert erreicht, der sich signifikant von dem von Sparriger Klee unterschied. Die AUC-Mittelwerte der restlichen Varianten unterschieden sich nicht (Abbildung 27 A).

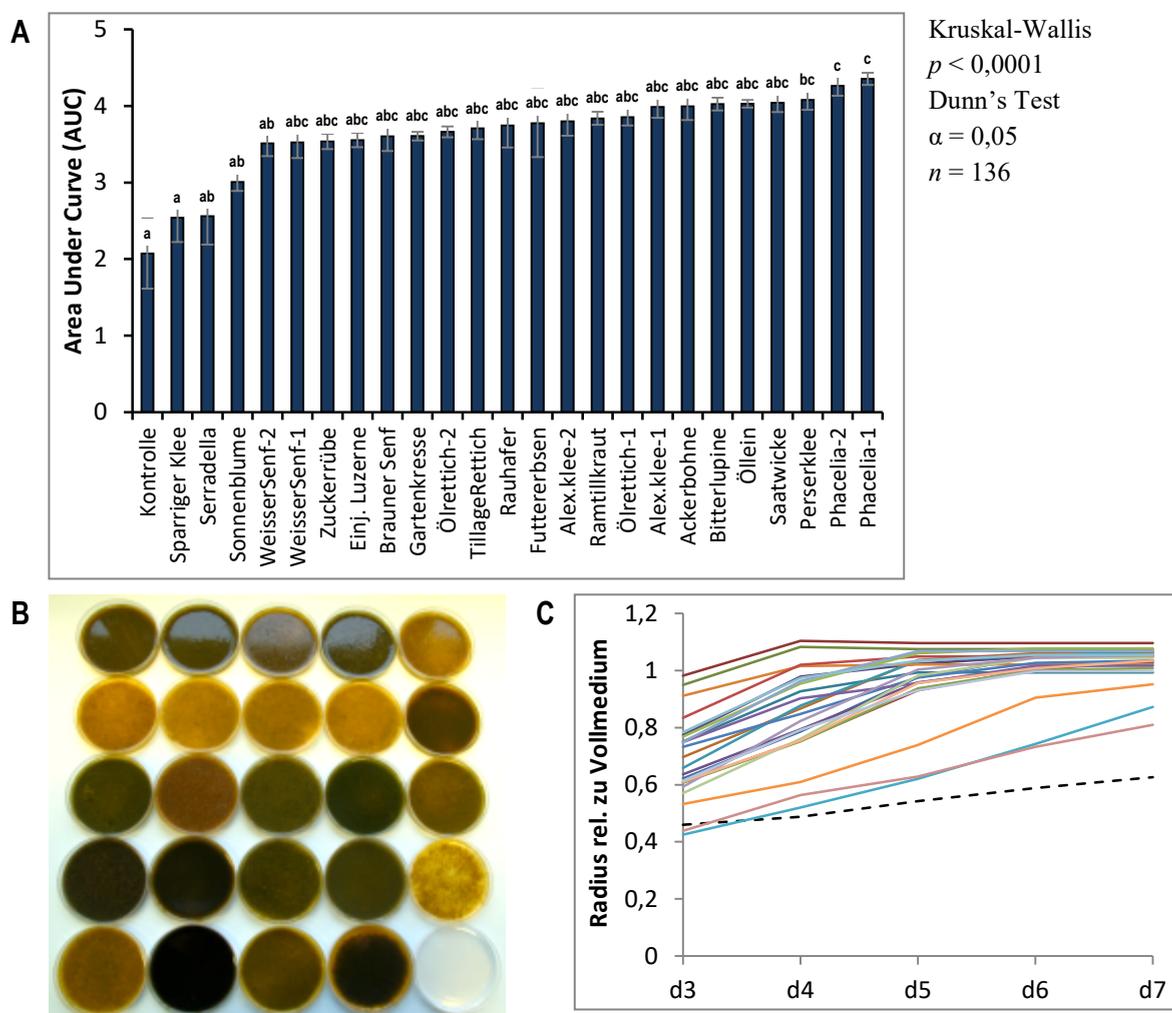


Abbildung 27: Saprophytisches *R. solani* AG2-2IIIB Mycelwachstum auf Zwischenfruchtstrohmedien

A) Statistische Auswertung der Area Under the Curve (AUC) der Wachstumskurven, Varianten mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht. B) Zwischenfruchtstroh-Czapek-Medien. C) Wachstumskurven, gestrichelte Linie: Negativkontrolle ohne Kohlenstoffquelle

### 5.2.6 Zusammenfassende Bewertung der Rhizoctonia-Anfälligkeit der untersuchten Zwischenfruchtarten

Die erreichten Ränge der einzelnen Zwischenfruchtarten in den Experimenten Wurzelbonitur (Bonitur), Aufwuchstrockenmasseverlust (TM) und Mycelwachstum auf Zwischenfruchtstrohmedien (Stroh) sind in Tabelle 3 aufgeführt. Als lebende Pflanze (Bonitur und TM) schnitt die Zuckerrübe (Positivkontrolle) am schlechtesten ab. Das Stroh der Zuckerrübe (Blatt und Wurzel) wurde jedoch relativ schlecht von *R. solani* AG2-2IIIB verstoffwechselt. Ein Grund dafür könnte der hohe Blattanteil im Stroh der rund 6 Wochen alten Rüben gewesen sein. Die Blattspreite der Zuckerrübe wird in der Regel nicht von der *R. solani* AG2-2 besiedelt. Unter den Zwischenfrüchten war Phacelia am anfälligsten, zudem erreichte *R. solani* AG2-2IIIB auf Phaceliastrohmedien den höchsten Wachstumswert. Die zweitschlechteste Zwischenfruchtvariante war die Saatwicke, die ebenfalls durchgängig in allen drei Experimenten schlecht abschnitt. Die anderen großkörnigen Leguminosen Ackerbohne und Bitterlupine zeigten starke Symptome an der Wurzel und *R. solani* AG2-2IIIB erreichte auf deren Zwischenfruchtstrohmedien hohe Wachstumswerte. Eine Ausnahme stellt die hier verwendete Futtererbsensorte dar, die durchschnittliche Werte er-

reichte. Gründe für den relativ geringen Trockenmasseverlust wurden bereits genannt. Somit können Phacelia, Saatwicke und Großkörnige Leguminosen im Allgemeinen als ungeeignete Zwischenfruchtarten für Flächen mit bekannter Späte Rübenfäule Problematik eingeordnet werden.

Der Alexandrinerklee war als lebende Pflanze am geringsten anfällig, das *R. solani* AG2-2IIIB Wachstum auf Alexandrinerkleestroh lag jedoch im schlechteren Mittelfeld. Noch stärker ausgeprägt war das beim Perserklee, der als lebende Pflanze ebenfalls kaum anfällig war, auf dessen Stroh *R. solani* AG2-2IIIB aber den zweithöchsten Wachstumswert erreichte. Beim Perserklee könnte das auf dem Acker verbleibende Stroh förderlich für die Entwicklung von *R. solani* AG2-2IIIB sein. Die Kreuzblütler zeigten im Überblick gute bis durchschnittliche Werte. Das Stroh von weißem Senf konnte von *R. solani* AG2-2IIIB relativ schlecht verstoffwechselt werden. Rauhafer und Sonnenblumen erreichten durchgängig gute bis durchschnittliche Rangplätze in den einzelnen Experimenten. In einem Feldversuch in den USA zeigten Zuckerrüben nach 2-3 jähriger Sonnenblumenmonokultur die geringste Späte Rübenfäule-Anfälligkeit, im Vergleich zu Alfalfa (Luzerne), Baumwolle, Sorghum und Weizen (Rush & Winter, 1990). Somit stellten sich Alexandrinerklee, Kreuzblütler im Allgemeinen, Rauhafer und Sonnenblume als geeignete Zwischenfruchtarten, bzw. Mischungskomponenten für Flächen mit Späte Rübenfäule Risiko heraus.

Unter den weiteren untersuchten Zwischenfruchtarten zeigte sich die einjährige Luzerne als *R. solani* AG2-2IIIB anfällig. Alfalfa (Luzerne) war auch die schlechteste Variante in dem bereits erwähnten Versuch aus den USA (Rush & Winter, 1990). Das Ramtillkraut ist als eher ungeeignet für Flächen mit *Rhizoctonia*-Druck einzustufen. Der Öllein war durchschnittlich anfällig, das Stroh wurde jedoch überdurchschnittlich gut verstoffwechselt. Der Sparrige Klee und die Serradella erreichten zwar zum Teil gute Werte, stellten sich im Gewächshaus aber mit eher schwächlichem Wuchs dar.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Zwischenfruchtversuche in Rangfolgen

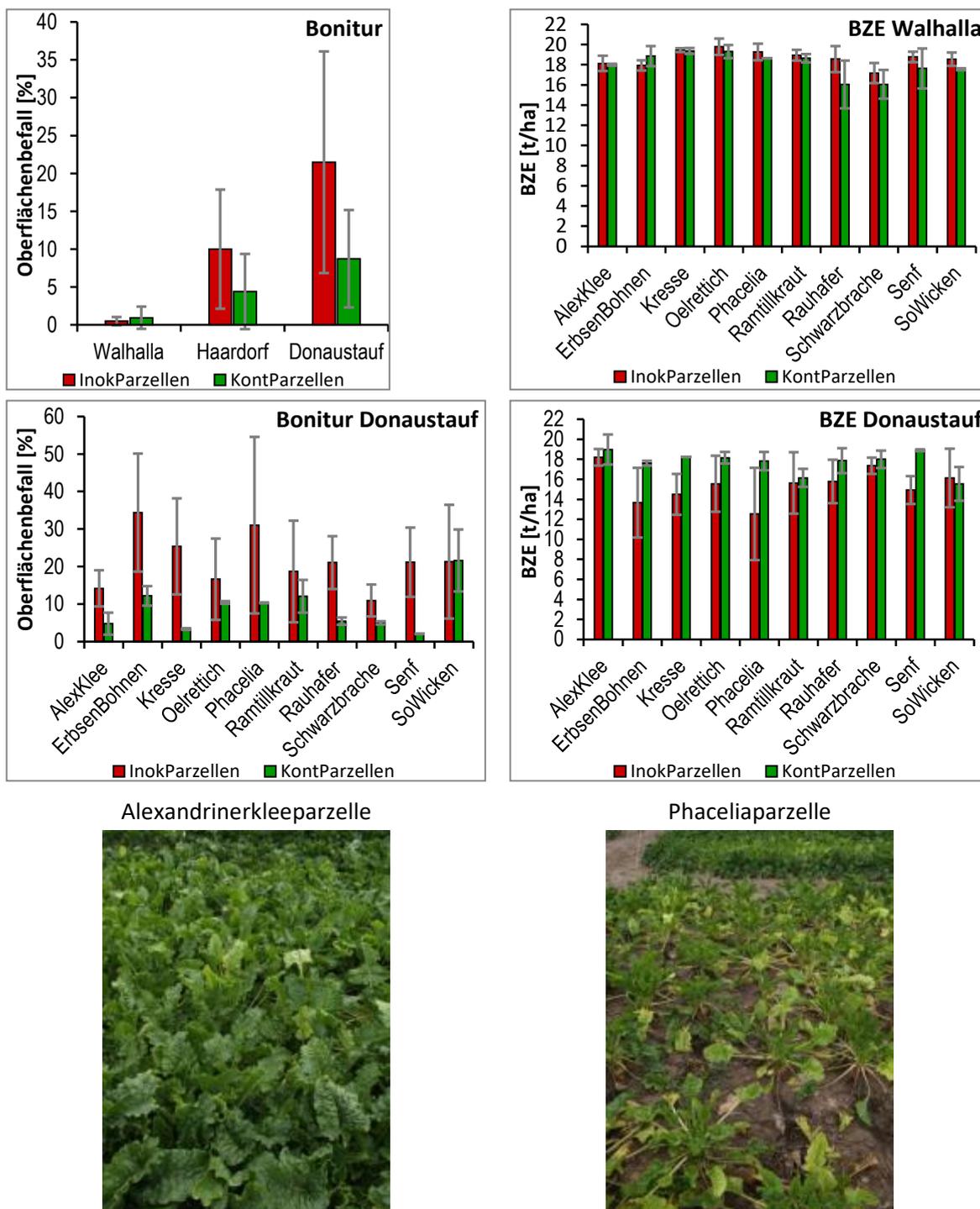
Je höher die Rangzahl, bzw. je röter die farbliche Hinterlegung, desto schlechter schnitt die Variante in dem jeweiligen Versuch ab.

Zwischenfrucht		Bonitur	TM	Stroh
<b>Kreuzblütler</b>				
Ölrettich*	<i>Raphanus sativus var. oleiformis</i>	10	15	11
Tillage Radish®	<i>Raphanus sativus var. oleiformis</i>	8	4	9
Weißer Senf*	<i>Sinapis alba</i>	12	12	4
Brauner Senf	<i>Brassica juncea</i>	5	14	7
Gartenkresse	<i>Lepidium sativum</i>	1	8	8
<b>Kleinkörnige Leguminosen</b>				
Alexandrinerklee*	<i>Trifolium alexandrinum</i>	1	1	14
Perserklee	<i>Trifolium resupinatum</i>	3	3	19
Sparriger Klee	<i>Trifolium squarrosum</i>	14	1	1
Serradella	<i>Ornithopus sativus</i>	9	7	2
Einjährige Luzerne	<i>Medicago scutellata</i>	16	16	6
<b>Großkörnige Leguminosen</b>				
Saatwicke	<i>Vicia sativa</i>	17	17	18
Futtererbse	<i>Pisum sativum subsp. arvense</i>	13	6	11
Bitterlupine	<i>Lupinus angustifolius</i>	15	10	16
Ackerbohne	<i>Vicia faba</i>	18	5	15
<b>Getreide</b>				
Rauhafer	<i>Avena strigosa</i>	7	12	10
<b>Sonstige</b>				
Phacelia*	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	19	19	20
Ramtillkraut	<i>Guizotia abyssinica</i>	10	18	13
Öllein	<i>Linum usitatissimum</i>	6	11	17
Sonnenblume	<i>Helianthus annuus</i>	4	9	3
<b>Kontrolle</b>				
Zuckerrübe	<i>Beta vulgaris subsp. vulgaris var. altissima</i>	20	20	5
* Ø 2 Sorten				

## 5.3 Ergebnisse Teilprojekt 2 – Feldversuche zur Rhizoctonia-Anfälligkeit von Zwischenfrüchten

### 5.3.1 Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

Eine ausführliche Beschreibung der drei Feldversuche Donaustauf 2016/17 (Walhalla), Haardorf 2017/18 und Donaustauf 2017/18 (Donaustauf) sowie die Darstellung der Ergebnisse zur Bonitur und der Qualität der Zuckerrüben auf den Parzellen der zehn Versuchsvarianten Alexandrinerklee, Erbsen/Bohnen, Kresse, Ölrettich, Phacelia, Ramtillkraut, Rauhafer, Senf, Sommerwicken und Schwarzbrache vor Zuckerrübe findet sich im Abschlussbericht der ARGE Regensburg. Hier werden der Vollständigkeit halber die wichtigsten Ergebnisse kurz vorgestellt.



Versuchsstandort Donaustauf im September 2018

Abbildung 28: Bonitur- und BZE Ergebnisse der Zwischenfruchtfeldversuche

Die *R. solani* AG2-2IIIB Inokulumswirkung auf den inokulierten Parzellen sowie der Hintergrundbefall auf den Kontrollparzellen war mit durchschnittlich  $21,5 \pm 14,6$ , bzw.  $8,7 \pm 6,4$  ( $M \pm SD$ ) Prozent Oberflächenbefall der Zuckerrübenkörper am stärksten im Versuch Donaustauf (2017/18). Im Versuch Haardorf lag sie mit  $10,0 \pm 7,9$  % auf den inokulierten Parzellen und mit  $4,4 \pm 5,0$  % in der Mitte der drei Versuche. Auf dem Zwischenfruchtfeldversuch Walhalla (Donaustauf 2016/17) war, mit  $0,5 \pm 1,5$  % Oberflächenbefall der Zuckerrübe auf den Kontrollparzel-

len, keine Inokulumswirkung vorhanden. Der Standort war nach Inokulation und Aussaat der Zwischenfrüchte sehr trocken und wurde zweimal bewässert. Trotzdem konnte sich das Inokulum dort nicht etablieren, auch der Hintergrundbefall in den Kontrollparzellen war äußerst gering. Es bietet sich an, diesen Versuch als Zwischenfruchtvorfruchtversuch zu betrachten. Der höchste Bereinigte Zuckerertrag (BZE) im Mittel der vier inokulierten Versuchspartellen wurde mit Ölrettich ( $19,8 \pm 0,8$  t/ha) als Zwischenfrucht vor der Zuckerrübe bei nicht vorhandenem Befallsdruck erzielt, der geringste BZE mit  $17,2 \pm 1,0$  t/ha nach Schwarzbrache (Abbildung 28). Die stärkste Differenzierung der Versuchsglieder trat im Zwischenfruchtversuch Donaustauf (2017/18) auf, dennoch war aufgrund der großen Streuungen keine statistische Unterscheidung der Versuchsglieder hinsichtlich Oberflächenbefall und BZE möglich. Der stärkste Späte Rübenfäule Befall trat im Versuch Donaustauf tendenziell auf den inokulierten Partellen nach Zwischenfrucht Erbsen/Bohne mit  $34,4 \pm 15,7$  % ( $M \pm SD$ ) und nach Phacelia mit  $31,0 \pm 23,5$  % Oberflächenbefall der Zuckerrüben auf. Die geringsten Symptome wurden nach Zwischenfrucht Alexandrinerklee mit  $14,2 \pm 4,8$  % und nach der Schwarzbrache mit  $11,0 \pm 4,2$  % Oberflächenbefall der Zuckerrübe bonitiert. Analog wurden die höchsten BZE auf den inokulierten Partellen nach Zwischenfrucht Alexandrinerklee ( $18,2 \pm 0,8$  t/ha) und Schwarzbrache ( $17,4 \pm 0,8$  t/ha) erzielt und die geringsten BZE nach Phacelia ( $12,5 \pm 4,6$  t/ha) und Erbsen/Bohnen ( $13,7 \pm 3,5$  t/ha), siehe Abbildung 28. Phacelia und Ackerbohnen, bzw. Futtererbsen waren in den Gewächshaus- und Laborversuchen für *R. solani* AG2-2IIIB sehr stark und stark anfällig und der Alexandrinerklee die geringst anfällige Variante.

### 5.3.2 Durchschnittliche Inokulumsverläufe an den Versuchsstandorten 2017/18

Die durchschnittlichen *R. solani* AG2-2 Bodeninokulumsgehalte der 40 inokulierten Versuchspartellen sowie der 20 Kontrollpartellen lagen in den Zwischenfrüchten im September 2017 (CfuVj) am Standort Donaustauf mit  $35,1 \pm 21,8$  CFU, bzw.  $13,7 \pm 22,9$  CFU höher als am Standort Haardorf mit  $16,6 \pm 15,2$  CFU in den inokulierten und  $4,2 \pm 5,7$  CFU in den Kontrollpartellen (Abbildung 29). Im Mai 2018 wurde in den Zuckerrüben, analog zu den mittleren Bodeninokulumsverläufen der drei Monitoring-Praxisschläge (Abbildung 18), die geringsten und zudem mengenmäßig vergleichbare durchschnittliche CFU Gehalte gemessen (inokuliert/Kontrolle, Haardorf:  $11,3 \pm 19,6/0 \pm 0$  CFU, Donaustauf:  $14,0 \pm 20,9/1,3 \pm 5,9$  CFU). An beiden Standorten stieg die durchschnittliche Menge des Bodeninokulums der inokulierten Partellen bis Juli 2018 auf ebenfalls vergleichbare  $36,4 \pm 32,7$  CFU in Haardorf und  $35,2 \pm 27,1$  CFU in Donaustauf an. Das natürlich im Boden vorkommende durchschnittliche Inokulumpotential in den Kontrollpartellen stieg in Haardorf mit  $10,6 \pm 21,2$  CFU deutlich geringer an als am Standort Donaustauf mit  $20,1 \pm 26,8$  CFU, was auf generell konduktivere Bedingungen am Standort Donaustauf im Zeitraum zwischen den beiden Messungen deuten könnte. Das natürliche Inokulum in den Kontrollpartellen in Haardorf stieg bis September 2018 linear auf  $22,6 \pm 26,7$  CFU an, während es in Donaustauf mit  $13,7 \pm 19,3$  CFU auf den Wert im September 2017 absank. Der durchschnittliche CFU Gehalt der inokulierten Partellen sank in Donaustauf bis September 2018 ebenfalls ab, auf  $22,9 \pm 17,6$  CFU, während er in Haardorf mit  $39,1 \pm 25,8$  CFU nahezu unverändert blieb. Somit lagen im Mai 2018 und im Juli 2018 an beiden Standorten vergleichbare durchschnittliche Bodeninokulums- werte in den inokulierten Partellen vor, dennoch kam es am Standort Donaustauf zu einem deutlich stärkeren allgemeinen Späte Rübenfäule Befall (Abbildung 28).

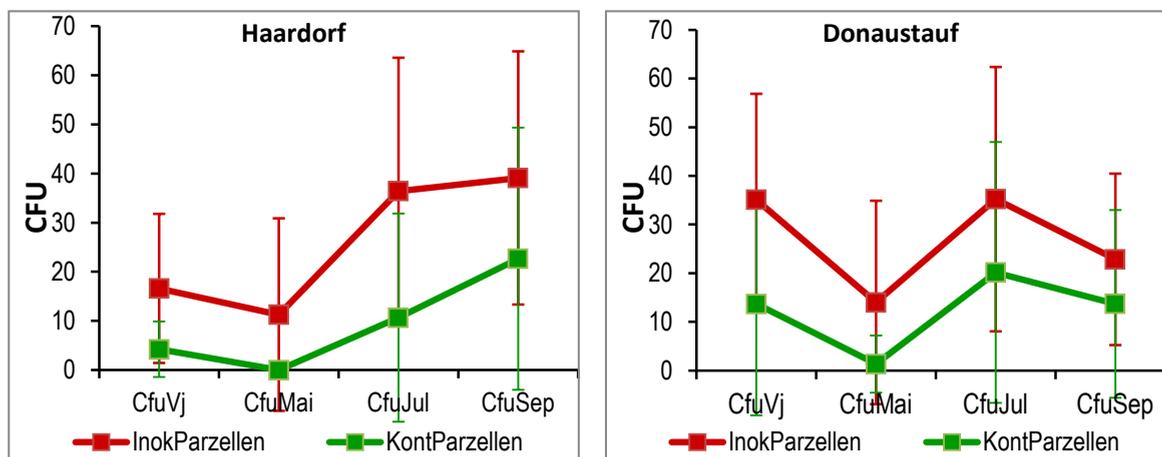


Abbildung 29: Verlauf der durchschnittlichen Bodeninokulumsgelände der Versuchstandorte Haardorf und Donaustauf

Der Unterschied in der durchschnittlichen Späte Rübenfäule Befallsstärke der beiden parallel durchgeführten, aber räumlich getrennten Versuche Donaustauf und Haardorf (Abbildung 28) könnte in der Verteilung der Niederschläge liegen. Auffällig war, dass im Mai 2018 an der Wetterstation Sarching (LfL Agrarmeteorologie) im Raum Donaustauf mit 52,2 mm rund doppelt so hohe Niederschläge fielen wie an der Wetterstation Neusling (LfL Agrarmeteorologie) im Raum Haardorf mit 26,2 mm (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** im Anhang).

### 5.3.3 Räumliche Verteilung der Bodeninokulumsaktivität

Die gemessenen *R. solani* AG2-2 Bodeninokulumsmengen auf den Parzellen des Versuchs Donaustauf waren sowohl zeitlich als auch räumlich heterogen (Abbildung 30). Da in der Quinoa-qPCR Methode die *R. solani* AG2-2 Hyphen aktiv in den Köder wachsen müssen, können die Ergebnisse der Methode auch als Aktivität des *R. solani* AG2-2 Inokulumpotentials interpretiert werden. In der Gesamtbetrachtung spiegelt die räumliche Verteilung der Bodeninokulumsgelände auf den Parzellen die durchschnittlich gemessenen Inokulumsmengen wider (vgl. Abbildung 29). Im September 2017 wies eine größere Anzahl an Parzellen hohe Inokulumsmengen > 40 CFU auf als im Mai 2018, in dem der überwiegende Teil der Parzellen niedrige Inokulumsgelände aufwies. Im Juli 2018 waren hohe Inokulumsmengen auf einer zu September 2017 vergleichbaren Anzahl an Parzellen vorhanden. Allerdings war das Muster der Verteilung der Inokulumsmengen auf den Parzellen verändert. So wiesen bspw. die Parzellen 23 und 24 im September 2017 eine hohe Inokulumsaktivität auf, im Juli 2018 dagegen eine geringe. Umgekehrt war bspw. auf den Parzellen 2 und 3 im September 2017 ein eher geringes Bodeninokulum vorhanden und im Juli 2018 hingegen ein hohes. Im September 2018 nahmen die Anzahl der Parzellen mit hoher Inokulumsaktivität insgesamt ab. Vegleicht man die Parzellen 25 und 17 zwischen Juli 2018 und September 2018 entsteht der Eindruck einer Mobilität des *R. solani* AG2-2 Mycels im Boden. Ebenso bei den Parzellen 54 und 55, sowie 33 und 34. Ähnliches wurde im Versuch Haardorf beobachtet. Dort entstand der Eindruck einer räumlichen Expansion des Mycels zwischen Juli und September 2018 (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** im Anhang). Offen bleibt, ob es sich bei der räumlichen und zeitlichen Heterogenität der Bodeninokulumsmengen auf den Parzellen um Wanderbewegungen des Mycels handelte, oder um lokale Wechsel zwischen Ruhe- und Aktivitätsphasen räumlich

festgelegten Mycels. Da diese Einblicke in der Art bisher technisch nicht möglich waren, gab es hierzu keine vergleichende Literatur.

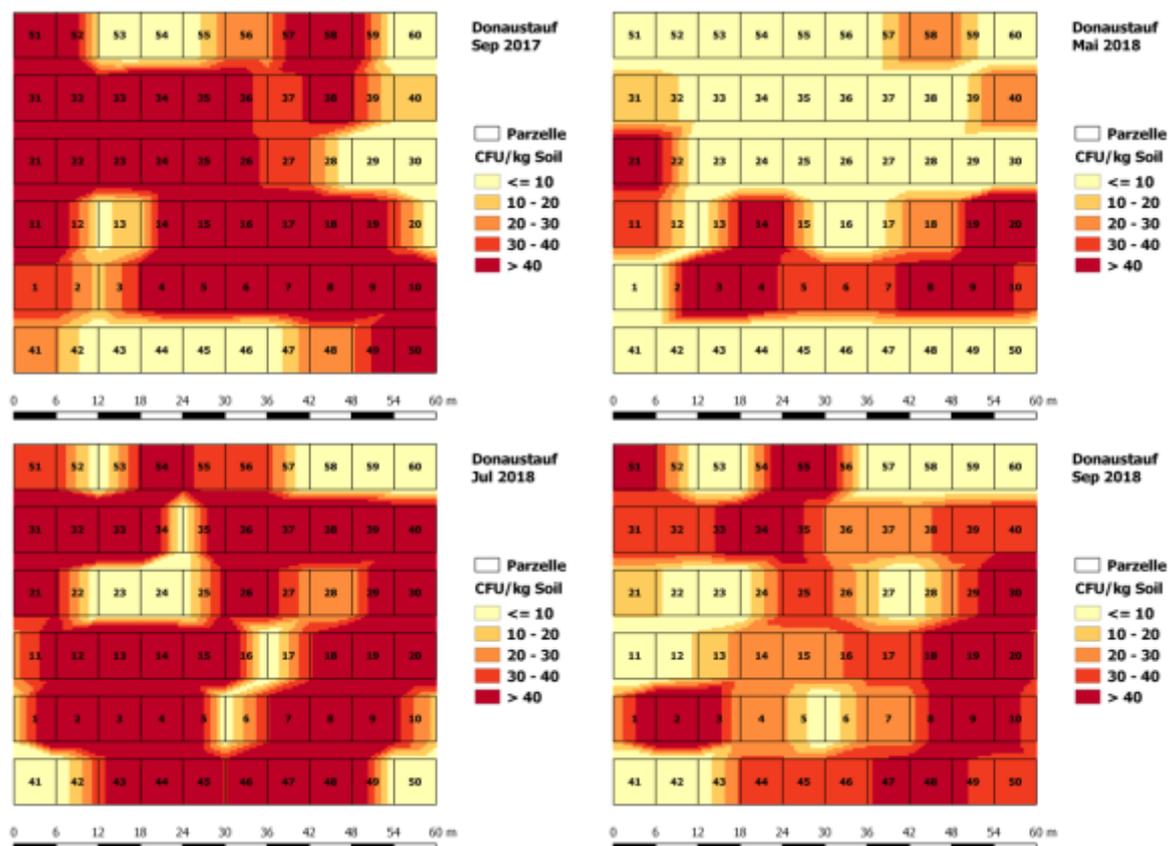


Abbildung 30: Räumliche Verteilung der Bodeninokulumsaktivität im Verlauf des Feldversuchs Donaustauf 2017/18

### 5.3.4 Zusammenhänge zwischen Boniturwerten und Bodeninokulumsgehalten

Die Boniturwerte der Parzellen des Versuchs Donaustauf korrelierten am stärksten mit den im Juli 2018 gemessenen Bodeninokulumsgehalten ( $r_s = 0,4771$ ,  $p < 0,0001$ ,  $n = 60$ ), gefolgt von den Bodeninokulumsgehalten im September 2018 ( $r_s = 0,43692$ ,  $p = 0,0004$ ,  $n = 60$ ), siehe auch Tabelle 4. Am Standort Haardorf war der Zusammenhang zwischen den Bodeninokulumsgehalten der Parzellen und der Bonitur im September ebenso am größten im Juli 2018 ( $r_s = 0,55263$ ,  $p < 0,0001$ ,  $n = 60$ ) und am zweitgrößten im September 2018 ( $r_s = 0,49527$ ,  $p < 0,0001$ ,  $n = 60$ ). Die Bodeninokulumsmenge im Mai 2018, in den jungen Zuckerrüben, hatte lediglich einen schwachen Einfluss auf den späteren Befall in Donaustauf ( $r_s = 0,29093$ ,  $p = 0,0241$ ,  $n = 60$ ) und keinen Einfluss ( $r_s = 0,15495$ ,  $p = 0,2371$ ,  $n = 60$ ) am Standort Haardorf. Die über den späteren Befall entscheidende Periode im Zusammenhang mit der Entwicklung des Bodeninokulum lag also nach Mai 2018. Die Bodeninokulumswerte aus den Zwischenfrüchten im September des Vorjahres zeigten Widersprüche im Zusammenhang mit den Boniturwerten der Parzellen. Am Standort Donaustauf bestand kein Zusammenhang zwischen der Höhe des Bodeninokulum im September 2017 und der Zuckerrübenbonitur im September 2018 ( $r_s = 0,08104$ ,  $p = 0,5382$ ,  $n = 60$ ), am Standort Haardorf jedoch schon ( $r_s = 0,33344$ ,  $p = 0,0092$ ,  $n = 60$ ). Dieser Widerspruch spiegelt die Unsicherheit in der Befallsprognose aus Bodenproben im Herbst des Vorjahres auf Praxisflächen wider (vgl. Abschnitt 5.1.4). Analog zu

dem fehlenden statistischen Zusammenhang zwischen Zwischenfruchtart und Boniturergebnis, zeigten die Zwischenfruchtarten keine statistisch signifikanten Unterschiede (Kruskal-Wallis Test) in den Bodeninokulumgehalten der Parzellen, zu allen Zeitpunkten, an den Standorten Donaustauf und Haardorf im Versuchsjahr 2017/18 und am Standort Walhalla im Versuchsjahr 2016/17.

Tabelle 4: Signifikanz und Effektstärken der Korrelation der Boniturergebnisse mit den Bodeninokulumgehalten der Versuche Donaustauf und Haardorf

CFU	Signifikanz	Effektstärke	n
<b>Donaustauf</b>			
September 2017	n.s.	Vernachlässigbar	60
Mai 2018	*	+	60
Juli 2018	***	++	60
September 2018	***	++	60
<b>Haardorf</b>			
September 2017	**	++	60
Mai 2018	n.s.	+	60
Juli 2018	***	+++	60
September 2018	***	+++	60

## 5.4 Ergebnisse Teilprojekt 3 – Quantifizierung mikrobieller Antagonisten auf Praxiszuckerrübenschlägen

### 5.4.1 Antagonistenabundanz auf Zuckerrübenschlägen

Die mittlere Menge der *Trichoderma* spp. war auf den Untersuchungsflächen aus Teilprojekt 1, die eine Späte Rübenfäule Befallsfläche größer als 50 m<sup>2</sup> aufwiesen, erhöht. In Abbildung 31 sind die mittleren ct-Werte abgebildet, die größer als Null waren. Im Juli 2017 lag der mittlere ct-Wert der *Trichoderma* spp. auf Flächen mit wahrnehmbarem Befall bei  $14,7 \pm 2,5$  (M  $\pm$  SD), im Vergleich zu  $28,2 \pm 3,8$  auf Flächen ohne wahrnehmbarem Befall. Der ct-Wert gibt Auskunft über die Anzahl der Zyklen in der qPCR, ab der ein spezifisches Signal gemessen werden konnte. Je früher, desto höher war die Konzentration der amplifizierten DNA in der Probe. Im Juli 2018 lag der ct-Wert der Flächen mit Befall größer 50 m<sup>2</sup> bei  $8,5 \pm 0,3$  und bei  $28,8 \pm 2,5$  auf Flächen ohne Befall. Damit war die *Trichoderma* spp. Abundanz auf Flächen ohne Befall in beiden Jahren vergleichbar, auf Flächen mit Befall im Juli 2018 im Vergleich zum Vorjahr leicht erhöht. Die *R. solani* AG2-2 Abundanz war ebenfalls auf Flächen mit Befall erhöht. Die *R. solani* AG2-2 ct-Werte lagen im Juli 2017 bei  $18,0 \pm 4,0$  auf Befallsflächen und bei  $29,6 \pm 3,4$  auf Flächen ohne Befall. Im Juli 2018 war die *R. solani* Abundanz mit mittleren ct-Werten von  $25,0 \pm 6,2$  auf den Nichtbefallsflächen etwas erhöht, nicht jedoch auf den Befallsflächen mit  $17,5 \pm 4,0$ . Die mittlere *Pseudomonas* spp. Abundanz war auf Befallsflächen im Juli 2018 leicht erhöht, nicht jedoch im Juli 2017. Im Juli 2017 unterschieden sich die mittleren *Pseudomonas* spp. ct-Werte mit  $11,5 \pm 0,7$  auf Nichtbefallsflächen und  $11,5 \pm 0,8$  auf Befallsflächen nicht. Auf Nichtbefallsflächen lag der mittlere ct-Wert im Juli 2018 mit  $11,2 \pm 0,6$  auf dem Niveau des Vorjahres, auf Befallsflächen bei  $9,7 \pm 0,5$ .

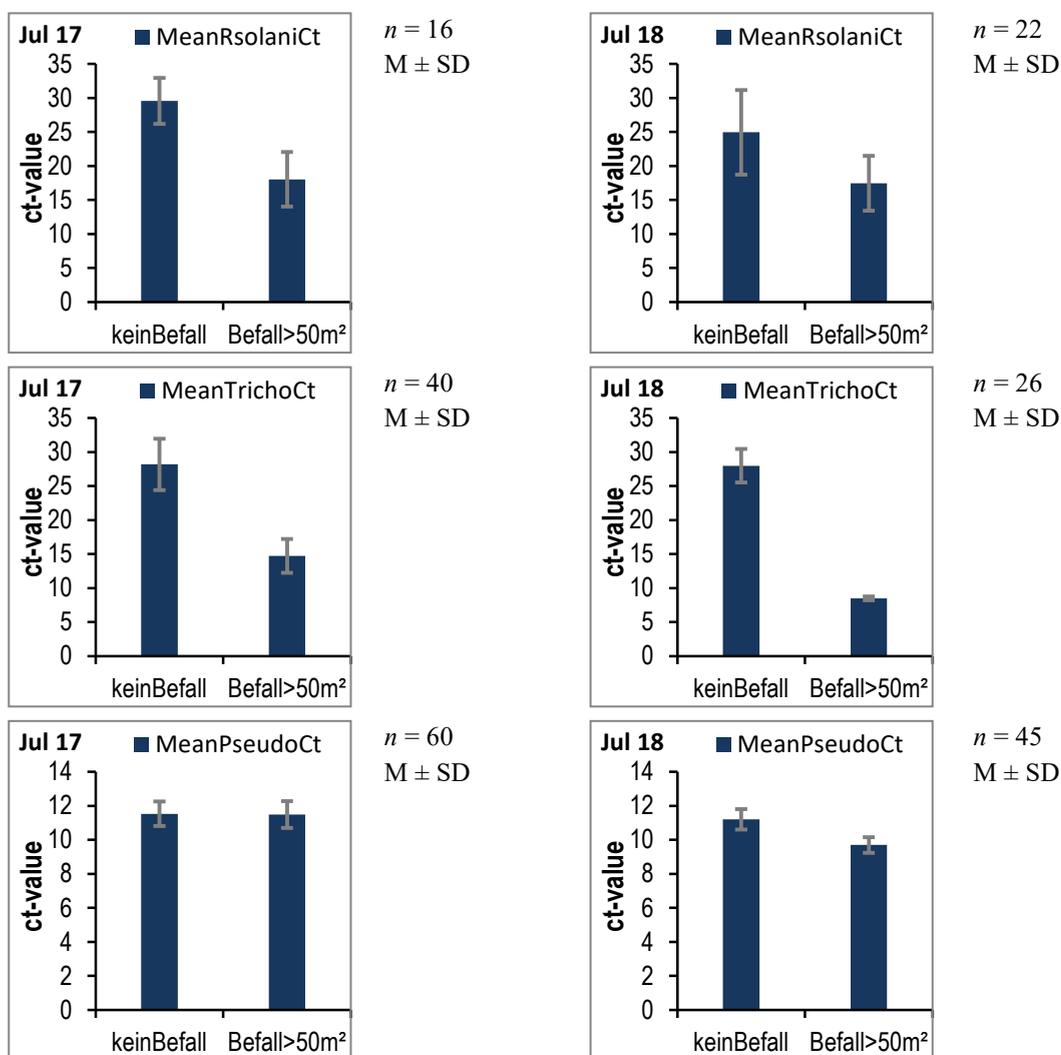


Abbildung 31: Mittlere ct-Werte *R. solani* AG2-2, *Trichoderma* spp. und *Pseudomonas* spp. auf Flächen mit und Späte Rübenfäule Befall

Abgebildet sind die mittleren ct-Werte. Je niedriger der ct-Wert, desto höher war die Menge des entsprechenden Mikroorganismus.

#### 5.4.2 Zusammenhang mit Bewirtschaftungs- und Wetterdaten

In der Korrelation (Spearman) der *Trichoderma* spp. ct-Werte mit den Bewirtschaftungs- und Wetterdaten aus Teilprojekt 4 ergaben sich kaum signifikante Effekte mit stärkerem Einfluss auf die *Trichoderma* spp. Abundanz, siehe Tabelle 9 im Anhang. Unter den bei  $\alpha = 0,10$  schwach signifikanten Effekten könnten eine einseitige Fruchtfolge, schwere Böden und eine höhere Stickstoffversorgung eher die *Trichoderma* spp. Abundanz gefördert haben. Diese Faktoren stehen auch in der Diskussion, die Späte Rübenfäule zu fördern. Nicht signifikante Faktoren, mit schwachem Effekt auf die *Trichoderma* spp. Abundanz waren überwiegend Wetterdaten. Die Zusammenhänge zwischen *Trichoderma* spp. Abundanz und *R. solani* AG2-2 Bodeninokulumdichte (CFU) sowie Später Rübenfäule Befallsfläche (RsArea) waren nicht signifikant und die Effektstärken vernachlässigbar. Eine Empfehlung für Maßnahmen zur Förderung der vermutlich auch im Feld antagonistisch wirkenden *Trichoderma* spp. konnte daher hier nicht abgeleitet werden.

In der Korrelation (Spearman) der *Pseudomonas* spp. Abundanz mit den Daten aus Teilprojekt 4 waren deutlich mehr Effekte signifikant und deren Einfluss stärker, siehe Tabelle

10 im Anhang. Dabei handelte es sich fast ausschließlich um Wetterdaten. Insbesondere höhere Temperaturen, zu allen Zeitpunkten, und eher trockene Bodenverhältnisse förderten die *Pseudomonas* spp. Abundanz. Unter den signifikanten und beeinflussbaren Faktoren waren die Jahre seit letztem Maisanbau (MaVorA) und der *R. solani* AG2-2 Wirtspflanzenanteil in der Fruchtfolge (WpAnteil). Mit zunehmenden Jahren seit letztem Maisanbau könnte die *Pseudomonas* spp. Abundanz abnehmen. Mehr Wirtspflanzen in der Fruchtfolge könnten deren Abundanz fördern. Die *R. solani* AG2-2 Bodeninokulumdichte (CFU) und die Späte Rübenfäule Befallsfläche (RsArea) hatten keinen signifikanten und einen vernachlässigbaren Einfluss auf die *Pseudomonas* spp. Abundanz. Festzuhalten bleibt, dass die *Pseudomonas* spp. Abundanz hauptsächlich vom Wetter beeinflusst wurde.

## 5.5 Ergebnisse Teilprojekt 4 - Befallsbeeinflussende Faktoren aus Praxisdaten

### 5.5.1 Einflussfaktoren auf die Späte Rübenfäule Befallsfläche (RsArea)

Die Menge des Bodeninokulums (CFU) korrelierte höchst signifikant ( $r_s = 0,57907$ ,  $p < 0,0001$ ,  $n = 107$ ) mit der Späte Rübenfäulebefallsfläche (RsArea) und hatte den stärksten Effekt auf die Größe der Befallsfläche (Tabelle 5), wobei höhere CFU-Werte mit einer größeren Befallsfläche zusammenhängen. Nur weitere 13 der insgesamt 120 Variablen aus der Betriebsbefragung und der Wetterdaten korrelierten bis zu einem  $\alpha$ -Fehlerniveau von 10 % mit RsArea. Dabei handelte es sich überwiegend um Variablen aus der Fruchtfolgegestaltung und aus den ackerbaulichen Maßnahmen, die von Landwirten beeinflussbar sind. Die aus den Wetterdaten abgeleiteten Variablen korrelierten nicht signifikant mit RsArea, allerdings korrelierte CFU überwiegend mit Wetterdaten, siehe nächster Abschnitt. In der Reihung nach Signifikanz der 120 mit RsArea getesteten Variablen stehen die Niederschläge im Mai (nnMai) als erste Wettervariable an siebzehnter Stelle (Tabelle 11 im Anhang). Höhere Niederschläge im Mai könnten tendenziell, wenn hier auch nicht signifikant ( $r_s = 0,13263$ ,  $p < 0,1732$ ,  $n = 107$ ), einen fördernden Effekt auf die Größe der Befallsfläche haben. Signifikant positiv mit RsArea korrelierende Variablen aus der Fruchtfolgegestaltung waren der Wirtspflanzenanteil (WpAnteil), wobei Zuckerrüben, Mais, Bohnen, Erbsen und Soja als *R. solani* AG2-2 Wirtspflanzen galten, der Maisanteil (MaAnteil) und der Zuckerrübenanteil (ZrAnteil). Der Korrelationskoeffizient, das Signifikanzniveau und die mittlere Effektstärke der Variable WpAnteil ( $r_s = 0,39955$ ,  $p < 0,0001$ ,  $n = 99$ ) waren vergleichbar mit denen der Variable MaAnteil ( $r_s = 0,36250$ ,  $p = 0,0002$ ,  $n = 99$ ). Die Werte der Variable ZrAnteil lagen darunter ( $r_s = 0,26468$ ,  $p = 0,0081$ ,  $n = 99$ , geringer Effekt). Somit könnte über den Maisanteil in der Fruchtfolge der stärkste Einfluss auf die Späte Rübenfäule genommen werden. Signifikant negativ mit der Befallsfläche korrelierende Fruchtfolgevariablen waren der Anteil sonstiger Kulturen (SoAnteil,  $r_s = -0,24953$ ,  $p = 0,0127$ ,  $n = 99$ ), die nicht Wirtspflanzen oder Getreide waren, die Weite der Fruchtfolge (ZrVorA,  $r_s = -0,21508$ ,  $p = 0,0334$ ,  $n = 98$ ) und die Jahre seit letztem Maisanbau (MaVorA,  $r_s = -0,25902$ ,  $p = 0,0611$ ,  $n = 53$ ). Damit hingen weiter gestellte und vielfältigere Fruchtfolgen signifikant mit einer geringeren Befallsstärke der Zuckerrübe mit der Späten Rübenfäule zusammen.

Tabelle 5: Variablen mit signifikantem Einfluss auf die Befallsfläche (RsArea)

Variable	n	Maß	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
CFU	107	ρ (Spearman)	***	+++	fördert Rübenfäule	0,33532
WpAnteil	99	ρ (Spearman)	***	++	fördert Rübenfäule	0,15964
MaAnteil	99	ρ (Spearman)	***	++	fördert Rübenfäule	0,13141
VVfrucht	99	Fisher p MC	***	n.b.	n.b.	n.b.
Pfluganteil	92	ρ (Spearman)	**	++	fördert Rübenfäule	0,11368
StrohAnteil	96	ρ (Spearman)	**	+	mindert Rübenfäule	0,08395
ZrAnteil	99	ρ (Spearman)	**	+	fördert Rübenfäule	0,07006
SoAnteil	99	ρ (Spearman)	*	+	mindert Rübenfäule	0,06227
MaNutzung	51	Fisher p	*	n.b.	n.b.	n.b.
ZrVorA	98	ρ (Spearman)	*	+	mindert Rübenfäule	0,04626
ZfArtVorZR	53	Fisher p	*	n.b.	n.b.	n.b.
MaVorA	53	ρ (Spearman)	(*)	+	mindert Rübenfäule	0,06709
OrgDungArtvorZR	45	Fisher p	(*)	n.b.	n.b.	n.b.
Saatverfahren	99	ρ (Spearman)	(*)	+	mindert Rübenfäule	0,02923

Unter den ackerbaulichen Maßnahmen hing die Häufigkeit des Pflugeinsatzes (Pfluganteil) in der gesamten Fruchtfolge signifikant ( $r_s = 0,33716$ ,  $p = 0,001$ ,  $n = 92$ ) mit einer größeren Befallsfläche zusammen und hatte mit einer mittleren Effektstärke einen relativ großen Einfluss. Die Häufigkeit des Pflugeinsatzes selbst korrelierte mit einem höheren Maisanteil in der Fruchtfolge (MaAnteil,  $r_s = 0,59055$ ,  $p < 0,0001$ ,  $n = 91$ ), einem kürzeren Abstand des Maises zur Zuckerrübe (MaVorA,  $r_s = -0,51903$ ,  $p = 0,0002$ ,  $n = 48$ ), einer später im Jahr stattfindenden Grundbodenbearbeitung (tGBB,  $r_s = -0,41151$ ,  $p = 0,0006$ ,  $n = 66$ ), einem selteneren Zwischenfruchtanbau (ZfAnteil,  $r_s = -0,21664$ ,  $p = 0,0478$ ,  $n = 84$ ) und einem deutlich häufigeren Anbau Rhizoctonia-toleranter Sorten (ZrTol,  $r_s = 0,54178$ ,  $p < 0,0001$ ,  $n = 53$ , ZrTolAnteil,  $r_s = 0,45629$ ,  $p = 0,0005$ ,  $n = 54$ ) im konventionellen Saatverfahren (Saatverfahren,  $r_s = -0,52378$ ,  $p < 0,0001$ ,  $n = 90$ ) ohne Mulchauflage. Die Variable Pfluganteil stellt somit einen Indikator für eine Bewirtschaftungsweise dar, durch die ein großflächigerer Befall verstärkt auftritt. Einen signifikant mindernden Einfluss unter den ackerbaulichen Maßnahmen auf die Späte Rübenfäule Befallsfläche hatte ein erhöhter Anteil auf dem Feld belassenen Strohs in der Fruchtfolge (StrohAnteil,  $r_s = -0,28974$ ,  $p = 0,0042$ ,  $n = 96$ ) und eher Saatverfahren mit vermehrter Mulchauflage (Saatverfahren,  $r_s = -0,17096$ ,  $p = 0,0907$ ,  $n = 99$ ).

Die Ausprägungen der nominalskalierten Variablen Vorvorfrucht zur Zuckerrübe (VVfrucht,  $p = 0,0002$ ,  $n = 99$ ), Maisnutzung (MaNutzung,  $p = 0,0299$ ;  $n = 51$ ) und Zwischenfruchtart vor Zuckerrübe (ZfArtVorZR,  $p = 0,0415$ ,  $n = 53$ ) zeigten signifikante Unterschiede in ihrer Häufigkeitsverteilung in Fishers exaktem Test, bei  $\alpha = 0,01$  auch die Art der organischen Düngung vor der Zuckerrübe (OrgDungArtvorZR,  $p = 0,0768$ ,  $n = 45$ ). In der Abbildung der relativen Häufigkeiten der Ausprägungen der Variable VVfrucht (Abbildung 32) waren die Vorvorfrüchte Zuckerrübe, Körner- und Silomais stärker mit größeren Befallsflächen assoziiert, als die in den Untersuchungsgebieten seltener in Zuckerrübenfruchtfolgen enthaltenen Kulturen Winterrraps (RAW), Wintergerste (WG), Sommerweizen (SW), Soja und Zwiebel. Flächen mit Vorvorfrucht Kartoffel zeigten ebenfalls größtenteils nur einen geringen Befall, Flächen mit Vorvorfrucht Gurke tendenziell einen leicht überdurchschnittlichen Befall. Die in den Untersuchungsgebieten häufigen Fruchtfolgebestandteile Winterweizen (WW) und Dinkel (Rain/Lech) als Vor-

vorfrucht lagen im Durchschnitt. Bei der Maisnutzungsart zeigten Silomaisflächen einen insgesamt häufigeren Späte Rübenfäule Befall, wobei großflächiger Befall  $> 400 \text{ m}^2/\text{ha}$  jedoch häufiger auf Körnermaisflächen auftrat (Abbildung 32). Flächen mit der großkörnigen Leguminose Erbse als Zwischenfrucht vor Zuckerrübe zeigten überdurchschnittlich hohen Befall, Erbsen als Zwischenfrucht waren aber eher selten. Flächen mit Zwischenfrucht Senf in Reinsaat vor Zuckerrübe waren tendenziell weniger von der Späten Rübenfäule betroffen als Flächen auf denen eine Zwischenfruchtmischung angebaut wurde (Abbildung 32). Bei der Art der organischen Düngung vor der Zuckerrübe trat auf Schlägen auf denen Biogasgülle eingesetzt wurde eher ein geringeres Befallsausmaß auf, als auf Schlägen auf denen Gülle eingesetzt wurde (Abbildung 38), wobei diese Aussage als unsicher einzustufen ist, da dies auch auf generelle Unterschiede zwischen Ackerbaubetrieben und viehhaltenden Betrieben hindeuten könnte.

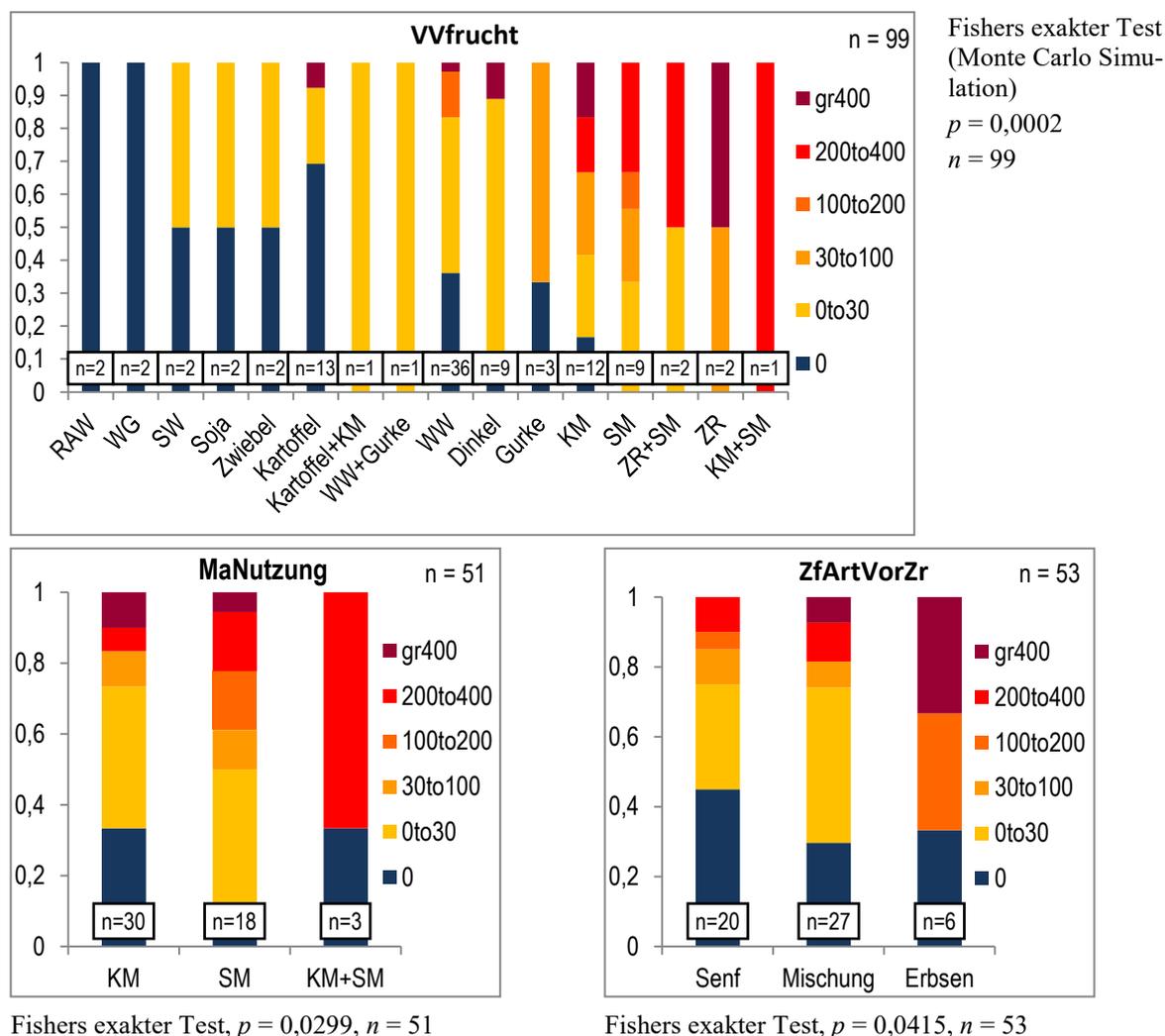


Abbildung 32: Häufigkeitsverteilungen der Ausprägungen der Variablen Vorvorfrucht zur Zuckerrübe (VVfrucht), Maisnutzungsart (MaNutzung) und Zwischenfruchtart vor Zuckerrübe (ZfArtVorZr) in den Späte Rübenfäule Befallsklassen nach  $R_sA$ -rea in  $\text{m}^2$

KM: Körnermais, RAW: Winterraps, SM: Silomais, SW: Sommerweizen, WG: Wintergerste, WW: Winterweizen, ZR: Zuckerrübe

Die Ergebnisse der Korrelation, bzw. der Häufigkeitsanalyse aller 120 Variablen mit RsArea sind im Anhang angefügt (Tabelle 11), ebenso eine Beschreibung der Variablen (Tabelle 14) und die Ausprägungen der Variablen (Tabelle 15).

### 5.5.2 Einflussfaktoren auf die Bodeninokulumkonzentration (CFU)

Die Menge des *R. solani* AG2-2 Bodeninokulums hing vor allem mit Variablen aus den Wetterdaten zusammen. Beeinflussbare Faktoren, die signifikant mit CFU zusammenhängen, waren nur der Getreideanteil in der Fruchtfolge (GeAnteil) sowie der Maisanteil (MaAnteil), der Wirtspflanzenanteil (WpAnteil) und die Borversorgungsstufe (Bor) des Bodens. Der GeAnteil war der Haupteinflussfaktor (Tabelle 6). Ein höherer Getreideanteil in der Fruchtfolge hing hoch signifikant ( $r_s = -0,30572$ ,  $p = 0,0021$ ,  $n = 99$ ) mit einem geringeren Bodeninokulum zusammen. Der Maisanteil ( $r_s = 0,25320$ ,  $p = 0,0114$ ,  $n = 99$ ) und der Wirtspflanzenanteil ( $r_s = 0,25332$ ,  $p = 0,0114$ ,  $n = 99$ ) hingen jedoch signifikant mit höherem *R. solani* AG2-2 Inokulumdichten zusammen. Aufgrund der nahezu identischen Korrelationsergebnisse von WpAnteil und MaAnteil kann davon ausgegangen werden, dass WpAnteil hier mit MaAnteil gleichgesetzt werden kann. Höhere Borversorgungsstufen hingen signifikant ( $r_s = -0,23660$ ,  $p = 0,0292$ ,  $n = 85$ ) mit einer geringeren Inokulumkonzentration zusammen. Eine zu geringe Borversorgung könnte die Effizienz der zellwandauflösenden Enzyme von *R. solani* AG2-2 steigern.

Tabelle 6: Beeinflussbare Faktoren mit signifikanter Wirkung auf CFU

Variable	n	Maß	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
GeAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	**	++	mindert Rsolani	0,09346
MaAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	*	+	fördert Rsolani	0,06411
WpAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	*	+	fördert Rsolani	0,06417
Bor	85	$\rho$ (Spearman)	*	+	mindert Rsolani	0,05598
GerätGBBvorZR	99	Fisher p	(*)	n.b.	s. Tabelle 13 (Anhang)	n.b.
VVFrucht	99	Fisher p MC	(*)	n.b.		n.b.
Saatbett	80	Fisher p	(*)	n.b.		n.b.

Unter den nominalskalierten Variablen zeigten das Gerät zur Grundbodenbearbeitung vor der Zuckerrübe (GerätGBBvorZR), die Vorvorfrucht zur Zuckerrübe (VVfrucht) und das Gerät zur Saatbettbereitung für die Zuckerrübe (Saatbett) einen Einfluss auf das Bodeninokulum, allerdings nur bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10 % (Tabelle 6). Auf gepflügten Flächen wurden eher höhere CFU-Werte gemessen als auf gegrubberten Flächen (Tabelle 13 im Anhang), allerdings könnte das auch auf die Fruchtfolge hindeuten (MaAnteil). Analog zu den Einflussfaktoren auf die Befallsfläche (s. Abbildung 32), waren Körnermais, Silomais und Zuckerrüben als Vorvorfrüchte mit höheren CFU-Werten assoziiert, die selteneren Fruchtfolgeglieder Winterraps, Sommerweizen, Soja und Wintergerste mit geringeren. Umgekehrt zur Auswirkung der Maisnutzungsart auf die Befallsfläche (s. Abbildung 32), wurden auf Flächen mit Vorvorfrucht Körnermais höhere CFU-Werte gemessen als auf Flächen mit Silomaisvorvorfrucht. Ebenfalls umgekehrt zu der Reihung der Vorvorfrüchte im Zusammenhang mit der Befallsfläche, wurde auf Flächen mit Vorvorfrucht Gurke ein geringes Bodeninokulum gemessen und auf Flächen mit Vorvorfrucht Kartoffel ein leicht überdurchschnittliches Bodeninokulum (Tabelle 13 im Anhang). Diese Widersprüche könnten eventuell mit der hinterlassenen Bodenstruktur erklärt werden. Flächen auf denen das Saatbett mit einer Saatbettkombination hergerichtet wurde, zeigten tendenziell geringere CFU-Werte, als Flächen, die mit einer Kreiselegge bearbeitet

wurden. Die Direktsaat schnitt vergleichsweise schlecht ab, wobei diese Aussage aufgrund der geringen Fallzahl unsicher ist (Tabelle 13 im Anhang).

Die aufsummierten Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe in der Vegetationsperiode von März bis August korrelierten hoch signifikant ( $r_s = 0,28220$ ,  $p = 0,0032$ ,  $n = 107$ ) mit den gemessenen Bodeninokulumkonzentrationen. Ebenso hatte die aufsummierte Wasserbilanz von September des Vorjahres bis Februar einen hoch signifikanten fördernden Effekt ( $r_s = 0,28030$ ,  $p = 0,0035$ ,  $n = 107$ ) auf das Bodeninokulum, wohingegen eine positivere Wasserbilanzsumme von März bis August einen hoch signifikant mindernden Einfluss ( $r_s = -0,25070$ ,  $p = 0,0092$ ,  $n = 107$ ) hatte (Abbildung 33). Im detaillierten Verlauf der Bodentemperaturen hingen höhere Bodentemperaturen im Oktober des Vorjahres ( $r_s = 0,27625$ ,  $p = 0,004$ ,  $n = 107$ ), im Mai ( $r_s = 0,26958$ ,  $p = 0,005$ ,  $n = 107$ ) und im Juli ( $r_s = 0,27650$ ,  $p = 0,0039$ ,  $n = 107$ ) hoch signifikant mit einem höheren CFU-Wert der Untersuchungsflächen zusammen. Im Detailverlauf der Wasserbilanz hatte die positive Wasserbilanz im Dezember des Vorjahres den stärksten fördernden Effekt ( $r_s = 0,30510$ ,  $p = 0,0014$ ,  $n = 107$ ) auf CFU (Abbildung 33).

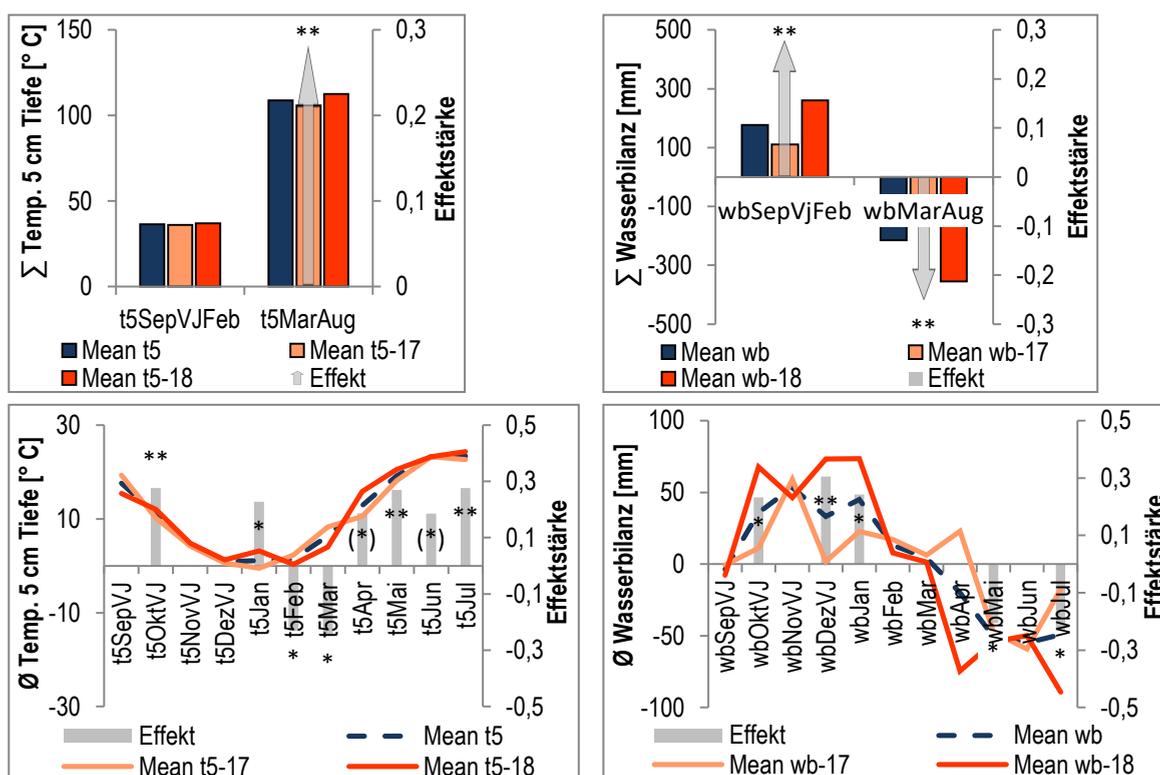


Abbildung 33: Effektstärken der Haupteinflussfaktoren Bodentemperatur und Wasserbilanz auf die Bodeninokulummenge

Oben: Mittlere Summen der Bodentemperatur (t5) und der Wasserbilanz (wb) in den Zeiträumen September des Vorjahres bis Februar (-SepVjFeb) und März bis August (-MarAug) der Untersuchungsjahre 2017 und 2018, sowie Gesamtmittelwert

Unten: Mittlere Summen der einzelnen Monate für t5 (links) und wb (rechts)

Graue Balken: Effektstärken nach Cohen

\*\*/\*/(\*):  $p < 0,01/0,05/0,1$

In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. sind alle monatlichen Wettervariablen mit signifikantem Einfluss ( $\alpha \leq 0,05$ ) auf CFU als Übersicht dargestellt. Eine geringere Evaporation im September des Vorjahres ( $r_s = -0,19921$ ,  $p = 0,0397$ ,  $n = 107$ ) und höhere Bodentemperaturen ( $r_s = 0,27625$ ,  $p = 0,004$ ,  $n = 107$ ) im Oktober des Vorjahres sowie höhere Niederschläge ( $r_s = 0,24482$ ,  $p = 0,011$ ,  $n = 107$ ) und eine positivere Wasserbilanz ( $r_s = 0,23295$ ,  $p = 0,0157$ ,  $n = 107$ ) im Oktober förderten die Entwicklung des *R. solani* AG2-2 Bodeninokulums im Zeitraum der Grundbodenbearbeitung im Herbst vor der Zuckerrübe. In den Wintermonaten förderten insbesondere ein nasser Dezember (nn:  $r_s = 0,30582$ ,  $p = 0,0014$ ,  $n = 107$ ; wb:  $r_s = 0,30510$ ,  $p = 0,0014$ ,  $n = 107$ ; sm:  $r_s = 0,25968$ ,  $p = 0,0069$ ,  $n = 107$ ) und Januar (nn:  $r_s = 0,24756$ ,  $p = 0,0101$ ,  $n = 107$ ; wb:  $r_s = 0,24271$ ,  $p = 0,0118$ ,  $n = 107$ ; sm:  $r_s = 0,21180$ ,  $p = 0,0285$ ,  $n = 107$ ) die Entwicklung des Bodeninokulums. Die Niederschläge und die Wasserbilanz im Dezember zeigten nach RsA-rea den zweit- und drittstärksten Zusammenhang mit CFU (Tabelle 12 im Anhang). Höhere Bodentemperaturen im Januar förderten *R. solani* AG2-2 ( $r_s = 0,22709$ ,  $p = 0,0187$ ,  $n = 107$ ), wohingegen eine schnellere Erwärmung der Böden im Februar ( $r_s = -0,23091$ ,  $p = 0,0167$ ,  $n = 107$ ) und März ( $r_s = -0,24436$ ,  $p = 0,0112$ ,  $n = 107$ ) einen mindernden Einfluss auf die Höhe des Bodeninokulums hatten. Den stärksten mindernden Effekt der Wetterdaten auf die Höhe des Bodeninokulums hatte die Evaporation im März ( $r_s = -0,29065$ ,  $p = 0,0024$ ,  $n = 107$ ). Ebenfalls einen mindernden Einfluss hatte die Evaporation im Februar ( $r_s = -0,21891$ ,  $p = 0,0235$ ,  $n = 107$ ). Im Umkehrschluss bedeutet das, dass höhere *R. solani* AG2-2 Bodeninokulumsgehalte auf den Flächen auftraten, die im Frühjahr vor und im Zeitraum der Zuckerrübenaussaat langsamer abtrockneten. Im weiteren Verlauf begünstigten v.a. höhere Bodentemperaturen im Mai ( $r_s = 0,26958$ ,  $p = 0,005$ ,  $n = 107$ ) zum angenommenen Zeitpunkt der Primärinfektion und im Juli ( $r_s = 0,27650$ ,  $p = 0,0039$ ,  $n = 107$ ) zum Zeitpunkt der angenommenen Sekundärinfektionen die Entwicklung des Bodeninokulums unter eher trockenen Bedingungen im Mai (wb Mai,  $r_s = -0,20584$ ,  $p = 0,0334$ ,  $n = 107$ ) und Juli (wb Juli,  $r_s = -0,22889$ ,  $p = 0,0177$ ,  $n = 107$ ). Obwohl trockenere Bedingungen im Mai und Juli das Bodeninokulum förderten, deuten die Ergebnisse aus der Suche nach den Zusammenhängen mit der Größe der Befallsfläche und der Zwischenfruchtfeldversuche auf einen fördernden Effekt von Niederschlägen, vor allem im Mai, auf den Befall der Zuckerrüben hin.

Tabelle 7: Übersicht Wettervariablen mit signifikantem Einfluss auf die Bodeninokulumsmenge nach Monaten

	t5	sm	nn	ev	wb
SepVj				*/+/\downarrow	
OktVj	**/*+/\uparrow		*/+/\uparrow		*/+/\uparrow
NovVj					
DezVj		**/*+/\uparrow	**/*+/\uparrow		**/*+/\uparrow
Jan	*/+/\uparrow	*/+/\uparrow	*/+/\uparrow		*/+/\uparrow
Feb	*/+/\downarrow			*/+/\downarrow	
Mar	*/+/\downarrow			**/*+/\downarrow	
Apr					
Mai	**/*+/\uparrow		*/+/\downarrow		*/+/\downarrow
Jun					
Jul	**/*+/\uparrow	*/+/\downarrow	*/+/\downarrow		*/+/\downarrow

\*\*/\*:  $\alpha = 0,01/0,05$ ; +/+/: Effektstärken nach Cohen: mittel/gering

\uparrow/\downarrow: fördernder/mindernder Einfluss auf Bodeninokulumsmenge

t5: Bodentemperatur [°C], sm: Bodenfeuchte [%nFK], nn: Niederschläge [mm], ev: Evaporation [mm], wb: Wasserbilanz [mm]

---

Der Einfluss des Wetters auf die Menge des Bodeninokulums in den beiden Untersuchungsjahren lässt sich vereinfacht zusammenfassen als: Ein warmer, eher feuchter Herbst, vor allem ein nasser Winter, im Frühjahr langsamer abtrockende und sich langsamer erwärmende Schläge sowie erhöhte Bodentemperaturen im Mai und Juli förderten die Entwicklung des *R. solani* AG2-2IIIB Mycels im Boden.

Alle Ergebnisse der Korrelation, bzw. der Häufigkeitsanalyse der insgesamt 120 Variablen mit CFU sind im Anhang angefügt (Tabelle 12), ebenso eine Beschreibung der Variablen (Tabelle 14) und die Ausprägungen der Variablen (Tabelle 15).

## 6 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

### Teilprojekt 1:

Die Quinoa-qPCR Methode, wie in Teilprojekt auf Praxisschlägen umgesetzt, könnte für ein mehrjähriges Monitoring der *R. solani* AG2-2 Bodengehalte in Späte Rübenfäule Risikogebieten eingesetzt werden. Die Bodenprobennahme könnte automatisiert auf Flächen nach früher Rodung stattfinden. Die Effektivität risikomindernder Maßnahmen könnte objektiv in der Praxis erfasst und nachverfolgt werden. Flächen mit Bodeninokulumgehalten über dem Schwellenwert von 50 CFU/kg Boden in den Zuckerrüben könnten als Hochrisikoflächen für den nächsten Rübenanbau identifiziert werden, auch dann wenn aufgrund der Jahreswitterung kaum Später Rübenfäule Befall im Bestand sichtbar ist.

### Teilprojekt 2:

Die Ergebnisse zur *R. solani* AG2-2IIIB Anfälligkeit von Greening-geeigneten Zwischenfruchtarten können als Beratungsgrundlage verwendet werden.

### Teilprojekt 3:

Die Quantifizierung mikrobieller Antagonisten aus Feldeböden zeigte keinen direkten Nutzen für die landwirtschaftliche Praxis auf.

### Teilprojekt 4:

Die Auswertung der Betriebsbefragung bestätigte und bestärkte einige bisher lediglich aus Beobachtungen und Erfahrungen abgeleitete Risikofaktoren. Beratungsaussagen zur Fruchtfolgegestaltung können mit den Ergebnissen belegt werden. Der Einfluss der Jahreswitterung auf die Entwicklung des *R. solani* AG2-2IIIB Bodeninokulums wurde genauer als bisher verstanden. Die Infiltrationsrate höherer Niederschlagsmengen im Winter, ein zügigeres Abtrocknen und eine schnellere Erwärmung der Böden im zeitigen Frühjahr können über die Bodenstruktur beeinflusst werden.

## 7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Ursprüngliches Ziel	Tatsächlich erreichtes Ziel
Monitoring des <i>R. solani</i> AG2-2IIIB Bodengehaltes in Praxisschlägen:	Ziel erreicht Quinoa-qPCR Methode wurde auf Praxisflächen etabliert und validiert Einsatz selbstfahrender Bodenprobennehmer für Routineanwendung
Ableitung einer <i>R. solani</i> AG2-2IIIB Schadschwelle	Ziel erreicht Schadschwelle: 50 CFU/kg Erde
Prognose des Späte Rübenfäule Risikos im Vorjahr	Ziel nicht erreicht Quinoa-qPCR Methode hierfür aufgrund Erregerbiologie nicht geeignet
Rhizoctonia-Anfälligkeit Greening Zwischenfrüchte	Ziel erreicht Anfällige Zwischenfrüchte: Phacelia, Saatwicke, großkörnige Leguminosen Geeignete Zwischenfrüchte: Alexandriner- klee, Kreuzblütler, Rauhafer, Sonnenblume
Ableitung befallsfördernder und –mindernder Faktoren aus Praxisdaten	Ziel erreicht Befallsfördend: Hohes Bodeninokulum, enge, einseitige Fruchtfolgen mit hohem Maisanteil Befallsmindernd: Weitere, vielfältigere Fruchtfolgen Wettereinfluss auf Entwicklung des Bodeninokulums aufgezeigt
Monitoring <i>R. solani</i> AG2-2IIIB antagonistischer Mikroorganismen	Ziel partiell erreicht <i>Trichoderma</i> spp. und <i>Pseudomonas</i> spp. wurden aus Bodenproben quantifiziert. Zusammenhänge zwischen der Abundanz dieser mikrobiellen Antagonisten und der Befallsstärke oder der Höhe des Bodeninokulums wurden nicht gefunden

## 8 Literaturverzeichnis

Alabouvette, C., Olivain, C., Migheli, Q. & Steinberg, C., 2009. Microbial control of soil-borne phytopathogenic fungi with special emphasis on wilt-inducing *Fusarium oxysporum*. *New Phytologist*, Volume 184, pp. 529-544.

Alabouvette, C., Olivain, C. & Steinberg, C., 2006. Biological control of plant diseases: the European situation. *European Journal of Plant Pathology*, Volume 114, pp. 329-341.

Anees, M., Edel-Hermann, V. & Steinberg, C., 2010. Build up of patches caused by *Rhizoctonia solani*. *Soil Biology & Biochemistry*, Volume 42, pp. 1661-1672.

Asaka, O. & Shoda, M., 1996. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* Damping-Off on tomato with *Bacillus subtilis* RB14. *Applied and Environmental Microbiology*, Volume 62, pp. 4081-4085.

Benítez, T., Rincón, A. M., Limón, C. M. & Codón, A. C., 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International Microbiology*, Volume 7, pp. 249-260.

Bergmark, L. et al., 2012. Assessment of the specificity of *Burkholderia* and *Pseudomonas* qPCR assays for detection of these genera in soil using 454 pyrosequencing. *FEMS Microbiology Letters*, Volume 333, pp. 77-84.

Boine, B., Renner, A.-C., Zellner, M. & Nechwatal, J., 2014. Quantitative methods for assessment of the impact of different crops on the inoculum density of *Rhizoctonia solani* AG2-2IIIB in soil. *European Journal of Plant Pathology*, Volume 140, pp. 745,756.

Bolton, M. D., Lee, P., Campbell, L. & Khan, M. F. R., 2010. Temperature, moisture and fungicide effects in managing *Rhizoctonia* Root and Crown Rot of sugar beet. *Phytopathology*, Volume 100, pp. 689-697.

Bolton, M. D., Panella, L., Campbell, L. & Khan, M. F. R., 2010. Temperature, moisture, and fungicide effects in managing *Rhizoctonia* Root and Crown Rot of sugar beet. *Phytopathology*, Volume 100, pp. 689-697.

Büchse, A., 2006. *Skript "Auswertung landwirtschaftlicher Versuche mit SAS" Eine Einführung...*, Verfügbar unter: [https://biostatistik.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/biostatistik/SAS-Praktikum\\_HerrBuechse/Skripte/SAS\\_Skript\\_Juli\\_2006.pdf](https://biostatistik.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/biostatistik/SAS-Praktikum_HerrBuechse/Skripte/SAS_Skript_Juli_2006.pdf) (Abgerufen am 01.10.2018): Fachgebiet Bioinformatik, Universität Hohenheim.

Buddemeyer, J. & Petersen, J., 2004. Integrated control of Crown and Root Rot *Rhizoctonia solani* - Influence of cropping techniques. *Proceedings of the 67th IIRB Congress, Brussels*, pp. 257-263.

Budge, G. E. et al., 2009. Molecular tools to investigate *Rhizoctonia solani* distribution in soil. *Plant Pathology*, Volume 58, pp. 1071-1080.

Buhre, C. et al., 2009. Integrated control of Root and Crown Rot in sugar beet: combined effects of cultivar, crop rotation, and soil tillage. *Plant Disease*, Volume 93, pp. 155-161.

Bürcky, K. & Zellner, M., 2000. Späte Rübenfäule - Was sind die Ursachen?. *Die Zuckerrübenzeitung*, Band 4, p. 9.

Clark, C. A., Sasser, J. N. & Barker, K. R., 1978. Elutriation procedures for quantitative assay of soils for *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology*, Volume 68, pp. 1234-1236.

- Coffey, T., 2016. *Fitting Threshold Models using the SAS® Procedures NLIN and NLMIXED*. San Francisco , SAS Conference Proceedings: Western Users of SAS Software 2016.
- Cohen, J., 1992. A power primer. *Psychological Bulletin*, Volume 112, pp. 155-159.
- DBV, 2016. *Greening-Anforderungen insgesamt erfolgreich umgesetzt*, Verfügbar unter: <https://www.bauernverband.de/greening-anforderungen-insgesamt-erfolgreich-umgesetzt> (abgerufen am: 04.04.2019): Pressemitteilung Deutscher Bauernverband 16.08.2016.
- DBV, 2018. *Situationsbericht 2018/19*, Verfügbar unter: <https://www.bauernverband.de/situationsbericht-2018/19> (abgerufen am: 04.04.2019): Deutscher Bauernverband.
- De Beer, J. F., 1965. *Studies on the ecology of Rhizoctonia solani Kühn*, University of Adelaide: Ph.D. Thesis.
- Dircks, C., Boine, B. & Varrelmann, M., 2014. Einfluss von Fruchtfolge und Ernteresten auf das Rhizoctonia-Inokulum im Boden. *Sugar Industry*, Band 138, pp. 241-249.
- Elliot, A. C. & Hynan, L. S., 2011. A SAS(R) macro implementation of a multiple comparison post hoc test for a Kruskal-Wallis analysis. *Computer methods and programs in Biomedicine*, Volume 102, pp. 75-80.
- Engelkes, C. A. & Windels, C. E., 1994. Relationship of plant age, cultivar, and isolate of Rhizoctonia solani AG-2-2 to sugar beet root and crown rot. *Plant Disease*, Volume 78, pp. 685-689.
- Engelkes, C. A. & Windels, C. E., 1996. Susceptibility of sugar beet and beans to Rhizoctonia solani AG-2-IIIB and AG-2-2-IV. *Plant Disease*, Volume 80, pp. 1413-1417.
- Ettl, J., 2001. Rübenfäule: Nicht nur auf neue Sorten setzten!. *top agrar*, Band 3/2001, pp. 86-87.
- Ferguson, C. C., 1992. The statistical basis for spatial sampling of contaminated land. *Ground Engineering*, Volume June, pp. 34-38.
- Führer Ithurrat, M. E., Büttner, G. & Petersen, J., 2004. Rhizoctonia root rot in sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *altissima*) - Epidemiological aspects in relation to maize (*Zea mays*) as a host plant. *Journal of Plant Disease and Protection*, Volume 111, pp. 302-312.
- Gómez Expósito, R., de Bruijn, I., Postma, J. & Raaijmakers, J. M., 2017. Current insights into the role of Rhizosphere bacteria in disease suppressive soils. *Frontiers in Microbiology*, Volume 8, p. Article 2529.
- Grosch, R., Lottmann, J., Faltin, F. & Berg, G., 2005. Einsatz bakterieller Antagonisten zur Bekämpfung von Krankheiten verursacht durch Rhizoctonia solani. *Gesunde Pflanze*, Band 57, pp. 199-205.
- Grosch, R., Scherwinski, K., Lottmann, J. & Berg, G., 2006. Fungal antagonists of the plant pathogen Rhizoctonia solani: selection, control efficacy and influence on the indigenous microbial community. *Mycological Research*, Volume 110, pp. 1464-1474.
- Haas, D. & Défago, G., 2005. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent Pseudomonads. *Nature Reviews Microbiology*, Volume 3, pp. 307-319.

- Hagn, A. et al., 2007. A new cultivation independent approach to detect and monitor common *Trichoderma* species in soils. *Journal of Microbiological Methods*, Volume 69, pp. 86-92.
- Hämmann, M. & Desaulles, A., 2003. *Handbuch Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- Harris, K. et al., 2003. Effect of bulk density on the spatial organisation of the fungus *Rhizoctonia solani* in soil. *FEMS Microbiology Letters*, Volume 44, pp. 45-46.
- Harveson, R. M., Nielsen, K. A. & Eskridge, K. M., 2014. Utilizing a preplant soil test for predicting and estimating root rot severity in sugar beet in the Central High Plains of the United States. *Plant Disease*, Volume 98, pp. 1248-1252.
- Henis, Y., Ghaffar, A., Baker, R. & Gillespie, S. L., 1978. A new pellet soil-sampler and its use for the study of population dynamics of *Rhizoctonia solani* in soil. *Phytopathology*, Volume 68, pp. 371-376.
- Herr, L. J., 1995. Biological control of *Rhizoctonia solani* by binucleate *Rhizoctonia* spp. and hypovirulent *R. solani* agents. *Crop Protection*, Volume 14, pp. 179-186.
- Herr, L. J., 1996. Sugar beet diseases incited by *Rhizoctonia* spp.. In: B. Sneh, S. Jabaji-Hare, S. Neate & G. Dijst, eds. *Rhizoctonia species: Taxonomy, molecular biology, ecology, pathology and disease control*. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, pp. 341-349.
- Heupel, M., 2001. Fortschreitende Fäule - *Rhizoctonia*-Befall schädigt Zuckerrüben immer häufiger. *dlz Agrarmagazin*, Band 5/2001, pp. 52-55.
- Hyakumachi, M., 1996. Mechanisms involved in disease decline. In: B. Sneh, S. Jabaji-Hare, S. Neate & G. Dijst, eds. *Rhizoctonia species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control*. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishing, pp. 227-235.
- IfZ, 2018. *Jahresbericht 2016/17*, Göttingen: Institut für Zuckerrübenforschung.
- Kluth, C., Buhre, C. & Varrelmann, M., 2010. Susceptibility of intercrops to infection with *Rhizoctonia solani* AG-2-2 IIIB and influence on subsequently cultivated sugar beet. *Plant Pathology*, Volume 59, pp. 683-692.
- Kluth, C. & Varrelmann, M., 2010. Maize genotype susceptibility to *Rhizoctonia solani* and its effect on sugar beet crop rotations. *Crop Protection*, Volume 29, pp. 230-238.
- Koch, H.-J., Trimpler, K., Jacobs, A. & Stockfisch, N., 2018. Crop rotation effects on yield formation in current sugar beet production - results from a farm survey and field trials. *Frontiers in Plant Science*, Volume 9, p. Article 231.
- Kühn, J., Schmidhalter, U. & Rippel, R., 2005. *Bodenbedingte Ursachen für das Auftreten der Rhizoctonia-Rübenfäule*. 1. Auflage November 2005 Hrsg. Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).
- Lees, A. K., Cullen, D. W., Sullivan, L. & Nicolson, M. J., 2002. Development of conventional and quantitative real-time PCR assays for the detection and identification of *Rhizoctonia solani* AG-3 in potato and soil. *Plant Pathology*, Volume 51, pp. 293-302.
- LfL, 2018. *Greening und Zwischenfruchtanbau*, Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).

- Midwest Laboratories, n.d. *Soil Sampling Guide*. accessed 15.03.2019 ed. Omaha, NE, USA: [www.midwestlabs.com/resource/soil-sampling-guide/](http://www.midwestlabs.com/resource/soil-sampling-guide/).
- Motisi, N. et al., 2009. Growing Brassica juncea as a cover crop, then incorporating its residues provide complementary control of Rhizoctonia root rot of sugar beet. *Field Crops Research*, Volume 113, pp. 238-245.
- Munzert, M., 2015. *Landwirtschaftliche und gartenbauliche Versuche mit SAS*. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.
- Neate, S. M. & Schneider, J. H. M., 1996. Sampling and quantification of Rhizoctonia solani in soil. In: B. Sneh, S. Jabaji-Hare, S. Neate & G. Dijst, eds. *Rhizoctonia Species: Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control*. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishing, pp. 185-195.
- Okubara, P. A., Schroeder, K. L. & Paulitz, T. C., 2008. Identification and quantification of Rhizoctonia solani and R. oryzae using real-time polymerase chain reaction. *Phytopathology*, Volume 98, pp. 837-847.
- Ophel-Keller, K., McKay, A., Hartley, D. & Curran, J., 2008. Development of a routine DNA-based testing service for soilborne diseases in Australia. *Australasian Plant Pathology*, Volume 37, pp. 243-253.
- Renner, A.-C., Boine, B. & Zellner, M., 2016. *Abschlussbericht - Integrierte Kontrollstrategien gegen die Späte Rübenfäule A/09/15 - Laufzeit 2013-2016*, Freising: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz.
- Ritchie, F. & McQuilken, M. P., 2009. Effects of nutrient status, temperature and pH on mycelial growth, sclerotia production and germination of Rhizoctonia solani from potato. *Journal of Plant Pathology*, Volume 91, pp. 589-596.
- Rush, C. M. & Winter, S. R., 1990. Influence of previous crops on Rhizoctonia Root and Crown Rot of sugar beet. *Plant Disease*, Volume 74, pp. 421-425.
- SAS Institute Inc., 2009. Chapter 90-The Transreg Procedure/Box-Cox Transformations. In: *SAS/STAT(R) 9.2 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc., pp. 7181-7192.
- Sayler, R. J. & Yang, Y., 2007. Detection and quantification of Rhizoctonia solani AG-1 IA, the rice sheat blight pathogen, in rice using real-time PCR. *Plant Disease*, Volume 91, pp. 1663-1668.
- Schoch, C. L. et al., 2012. Nuclear ribosomal internal transcribes spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volume 109, pp. 6241-6246.
- Schroeder, K. L. & Paulitz, T. C., 2008. Effect of inoculum density and soil tillage on the development and severity of Rhizoctonia Root Rot. *Phytopathology*, Volume 98, pp. 304-314.
- Schulze, S., Koch, H.-J. & Märländer, B., 2016. Einfluss der Bodenstruktur auf den Befall mit Rhizoctonia solani an Zuckerrüben (Beta vulgaris ssp. vulgaris) - erste Ergebnisse. *Sugar Industry*, Band 141, pp. 106-113.
- Schulze, S., Koch, H.-J., Märländer, B. & Varrelmann, M., 2016. Effect of sugar beet variety and nonhost plant on Rhizoctonia solani AG2-2IIIB soil inoculum potential measured in soil DNA extracts. *Phytopathology*, Volume 106, pp. 1047-1054.

- Smiley, R. W., Collins, H. P. & Rasmussen, P. E., 1996. Diseases of wheat in long-term agronomic experiments at Pendleton, Oregon. *Plant Disease*, Volume 80, pp. 813-820.
- Smiley, R. W. & Uddin, W., 1992. Influence of soil temperature on Rhizoctonia Root Rot (*R. solani* AG-8 and *R. oryzae*) of winter wheat. *Phytopathology*, Volume 83, pp. 777-785.
- Spurlock, T. N. & Rothrock, C. S., 2015. Evaluation of methods to quantify populations of Rhizoctonia in soil. *Plant Disease*, Volume 99, pp. 836-841.
- Stepanova, E. V. et al., 2003. Fungal decomposition of oat straw during liquid fermentation and solid-state fermentation. *Applied Biochemistry and Microbiology*, Volume 39, pp. 74-84.
- Thornton, C. R., O'Neill, T. M., Hilton, G. & Gilligan, C. A., 1999. Detection and recovery of Rhizoctonia solani in naturally infested glasshouse soils using a combined baiting, double monoclonal antibody ELISA. *Plant Pathology*, Volume 48, pp. 627-634.
- Wang, J.-F., Stein, A., Gao, B.-B. & Ge, Y., 2012. A review of spatial sampling. *Spatial Statistics*, Volume 2, pp. 1-14.
- Webb, K. M., Harveson, R. M. & West, M. S., 2015. Evaluation of Rhizoctonia zeae as a potential biological control option for fungal root rot diseases of sugar beet. *Annals of Applied Biology*, Volume 167, pp. 75-89.
- Wibberg, D. et al., 2016. Genome analysis of the sugar beet pathogen Rhizoctonia solani AG2-2IIIB revealed high numbers in secreted proteins and cell wall degrading enzymes. *BMC Genomics*, Volume 17, p. 245.
- Windels, C. E. & Brantner, J. R., 2008. Rhizoctonia on sugarbeets following rotation crops. *2007 Sugarbeet Research Extension Reports*, Volume 38, pp. 272-280.
- Windels, C. E. & Brantner, J. R., 2005. *Sugarbeet following oilseed radish in fields infested with Rhizoctonia solani and Aphanomyces cochlioides*, Available at: <https://www.sbreb.org/research/> (Accessed: 04 April 2019) : The Sugarbeet Research and Education Board of Minnesota and North Dakota.
- Windels, C. E. & Brantner, J. R., 2007. Rhizoctonia inoculum and rotation crop effects on a following sugarbeet crop. *2006 Sugarbeet Research Extension Reports*, Volume 37, pp. 182-191.
- Windels, C. E. & Brantner, J. R., 2010. *Long-term crop rotation effects on sugarbeet in Rhizoctonia-infested fields*, Available at: <https://www.sbreb.org/wp-content/uploads/2018/03/WindelsLongTermCropRotation2010.pdf>; Accessed: 07. May 2019: The Sugarbeet Research and Education Board of Minnesota and North Dakota.
- Wolf, P. F. J. & Verreet, J.-A., 1999. Untersuchungen zur Epidemiologie und Schadrelevanz der Rhizoctonia-Rübenfäule (*Rhizoctonia solani* Kühn). *Gesunde Pflanze*, Band 51, pp. 133-139.
- Woodhall, J. W. et al., 2013. A new quantitative real-time PCR assay for Rhizoctonia solani AG3-PT and the detection of AGs of Rhizoctonia solani associated with potato soil and tuber samples in Great Britain. *European Journal of Plant Pathology*, Volume 136, pp. 273-280.

Woodhall, J. W. et al., 2012. A new large scale soil DNA extraction procedure and real-time PCR assay for the detection of *Sclerotium cepivorum* in soil. *European Journal of Plant Pathology*, Volume 134, pp. 467-473.

Zachow, C. et al., 2010. Strain-specific colonization pattern of *Rhizoctonia* antagonists in the root system of sugar beets. *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 74, pp. 124-135.

Zachow, C., Tilcher, R. & Berg, G., 2008. Sugar beet-associated bacterial and fungal communities show a high indigenous antagonistic potential against plant pathogens. *Microbial Ecology*, Volume 55, pp. 119-129.

Zens, I., Steiner, U. & Dehne, H. W., 2002. *Forschungsbericht Nr. 91, Auftreten, Charakterisierung und Kontrolle des Erregers der Späten Rübenfäule, Rhizoctonia solani, in Nordrhein-Westfalen*, Bonn: Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunkts USL.

Zhou, Q. et al., 2014. Effect of inoculum density and quantitative PCR-based detection of *Rhizoctonia solani* AG-2-1 and *Fusarium avenaceum* on canola. *Crop Protection*, Volume 59, pp. 71-77.

## 9 Anhang

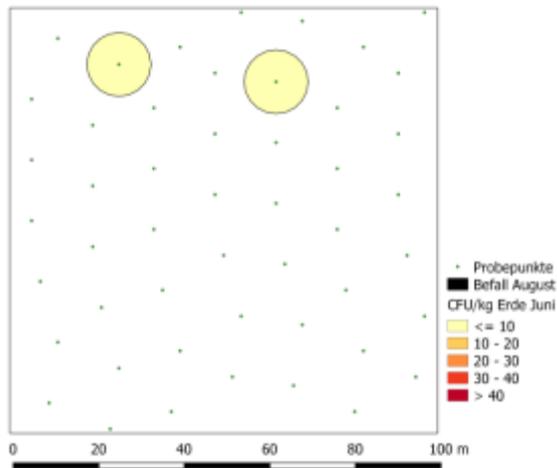
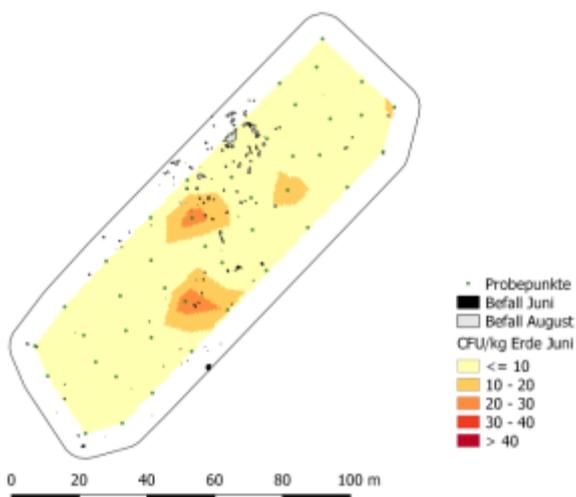


Abbildung 34: Bodeninokulumverteilung und Befall auf Beprobungsfläche P24-17



### Zusammenhang räumliche Lage

#### CFU Juni 2018 & RsArea Juni 2018

$$r_s = 0,077$$

$$p = 0,6246, \text{ n.s.}$$

$$n = 43$$

$$\text{RsArea}_{\text{Jun18}} = 6,7 \text{ m}^2$$

#### CFU Juni 2018 & RsArea August 18

$$r_s = 0,075$$

$$p = 0,6335, \text{ n.s.}$$

$$n = 43$$

$$\text{RsArea}_{\text{Aug18}} = 32,5 \text{ m}^2$$

Abbildung 35: Bodeninokulumverteilung und Befall auf Beprobungsfläche P28-18

Tabelle 8: Relative Häufigkeit Einzelkomponenten in  $n = 66$  Zwischenfruchtmischungen für Zuckerrübenfruchtfolgen

Einzelkomponente	Relative Häufigkeit [%]
Phacelia	59,1
Alexandrinischer Klee	57,6
Ölrettich	42,4
Senf	39,4
Ramtillkraut	39,4
Saatwicke	37,9
Rauhafer	27,3
Perserklee	25,8
Öllein	25,8
Futtererbse	19,7
Sparriger Klee	16,7
Sonnenblume	16,7
Bitterlupine	13,6
Serradella	13,6
Gartenkresse	12,1
Tillage Radish®	6,1
Michels Klee	4,5
Blasenfrücht. Klee	3,0
Ackerbohne	3,0
Leindotter	3,0
Buchweizen	3,0
Einj. Luzerne	1,5
Bockshornklee	1,5

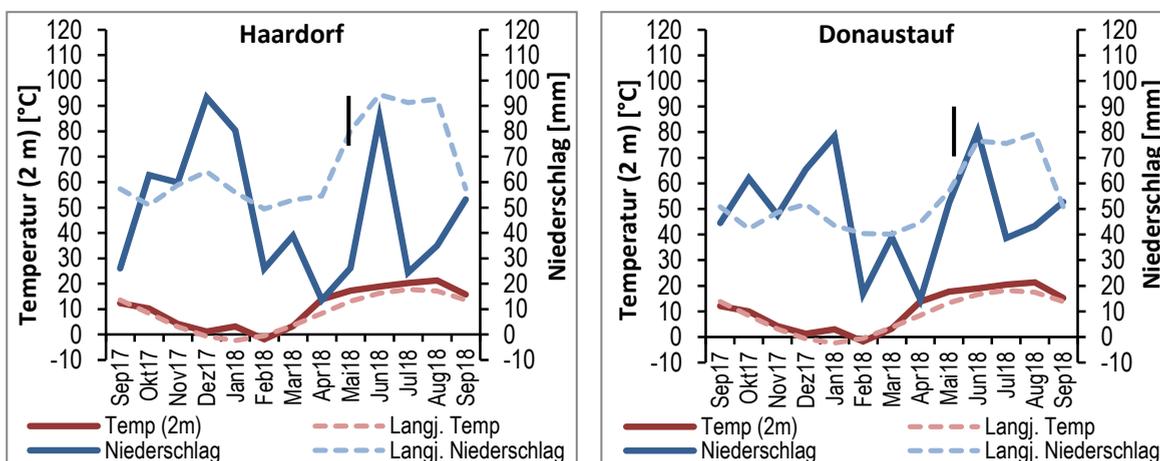


Abbildung 36: Niederschläge und Temperaturen im Raum der Versuchsstandorte Haardorf und Donaustauf

Wetterstationen der LfL Agrarmeteorologie: Neusling (Haardorf), Sarching (Donaustauf), Pfeile: Niederschläge im Mai 2018

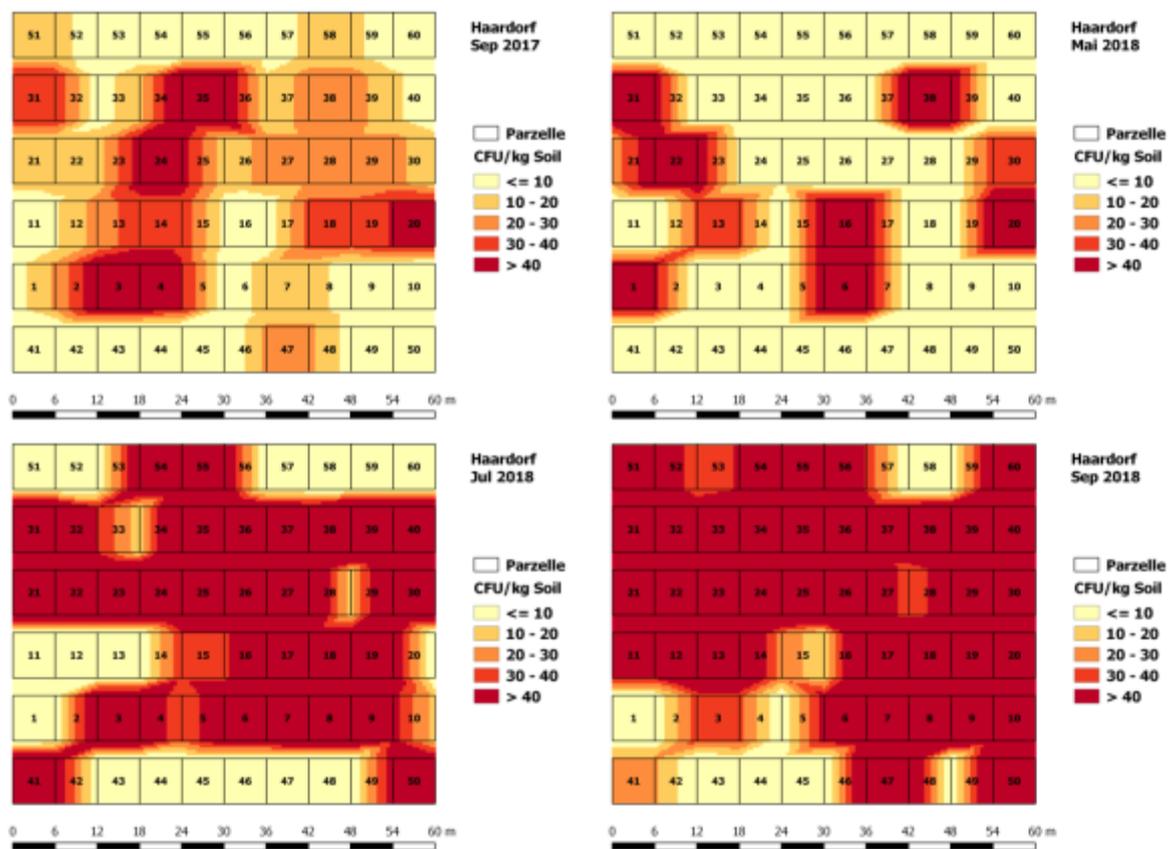


Abbildung 37: Räumliche Verteilung der Bodeninkulumsaktivität im Verlauf des Feldversuchs Haardorf 2017/18

Tabelle 9: Zusammenhang zwischen Quantität *Trichoderma spp.* und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen

ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
1	SoAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	0,22617	0,0244	*	+	mindert Trichoderma	0,051152869
2	nnNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,19324	0,0461	*	+	mindert Trichoderma	0,037341698
3	Saatbett	80	Fisher p MC		0,0518	(*)	n.b.	n.b.	n.b.
4	LUFA	86	$\rho$ (Spearman)	-0,20935	0,0531	(*)	+	fördert Trichoderma	0,043827423
5	wbNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,18649	0,0544	(*)	+	mindert Trichoderma	0,03477852
6	N	85	$\rho$ (Spearman)	-0,19607	0,0721	(*)	+	fördert Trichoderma	0,038443445
7	SmSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,17348	0,0739	(*)	+	fördert Trichoderma	0,03009531
8	Vfrucht	99	Fisher p MC		0,0908	(*)	n.b.	n.b.	n.b.
9	nnFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,1635	0,0924	(*)	+	mindert Trichoderma	0,02673225
10	Saat	78	Fisher p MC		0,0964	(*)	n.b.	n.b.	n.b.
11	SmJun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,15978	0,1002	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,025529648
12	t5Jan	107	$\rho$ (Spearman)	-0,15763	0,1049	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,024847217
13	SmSepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,15313	0,1153	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,023448797
14	t5DezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,14806	0,128	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,021921764
15	evAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,14772	0,1289	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,021821198
16	evMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,14447	0,1376	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,020871581
17	t5SepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,14039	0,1492	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,019709352
18	evApr	107	$\rho$ (Spearman)	-0,13926	0,1526	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,019393348
19	evMai	107	$\rho$ (Spearman)	-0,1392	0,1527	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,01937664
20	wbApr	107	$\rho$ (Spearman)	0,1387	0,1542	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,01923769
21	SmFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,13027	0,1811	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,016970273
22	BodenArt	84	$\rho$ (Spearman)	-0,14674	0,1829	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,021532628
23	wbFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,12859	0,1868	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,016535388
24	SmDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,12481	0,2002	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,015577536
25	GeAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,12825	0,2058	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,016448063
26	nnApr	107	$\rho$ (Spearman)	0,12134	0,2131	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,014723396
27	evSepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,11647	0,2322	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,013565261

Fortsetzung Tabelle 9: Zusammenhang zwischen Quantität <i>Trichoderma spp.</i> und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen									
ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
28	nnMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,1161	0,2337	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,01347921
29	SmJul	107	$\rho$ (Spearman)	0,11564	0,2356	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,01337261
30	EM_Mais	86	Fisher p MC		0,2379	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
31	evSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,11371	0,2435	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,012929964
32	evOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,11286	0,2471	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,01273738
33	nnSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,11143	0,2532	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,012416645
34	PseudoCt	107	$\rho$ (Spearman)	-0,10971	0,2606	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,012036284
35	SmApr	107	$\rho$ (Spearman)	0,10965	0,2609	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,012023123
36	StrohArtVorZR	88	Fisher p MC		0,2673	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
37	KalkVorA	45	$\rho$ (Spearman)	-0,1673	0,272	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,02798929
38	BeregldR	99	Fisher p MC		0,2727	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
39	evFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,10573	0,2784	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,011178833
40	Saatverfahren	99	$\rho$ (Spearman)	-0,1099	0,2789	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,01207801
41	SmJan	107	$\rho$ (Spearman)	-0,10478	0,2828	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,010978848
42	VVFrucht	99	Fisher p MC		0,3008	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
43	t5Feb	107	$\rho$ (Spearman)	0,10088	0,3012	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,010176774
44	t5NovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,10036	0,3037	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,01007213
45	GeVorA	99	$\rho$ (Spearman)	0,10419	0,3047	n.s.	+	mindert Trichoderma	0,010855556
46	EM_WW	100	Fisher p MC		0,3064	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
47	CFU	107	$\rho$ (Spearman)	-0,09871	0,3118	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,009743664
48	S	85	$\rho$ (Spearman)	-0,11099	0,3119	n.s.	+	fördert Trichoderma	0,01231878
49	SmAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,09811	0,3147	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,009625572
50	wbAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,09766	0,3169	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,009537476
51	OrgDung	99	Chi <sup>2</sup> /Cramer's v	0,1855	0,3328	n.s.	+	n.b.	0,03441025
52	nnJan	107	$\rho$ (Spearman)	-0,09435	0,3337	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,008901923
53	wbMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,09415	0,3347	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,008864223
54	wbJan	107	$\rho$ (Spearman)	-0,09393	0,3359	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,008822845
55	t5Jul	107	$\rho$ (Spearman)	-0,09249	0,3434	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,0085544

Fortsetzung Tabelle 9: Zusammenhang zwischen Quantität <i>Trichoderma spp.</i> und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen									
ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
56	RsArea	107	$\rho$ (Spearman)	-0,09242	0,3438	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,008541456
57	t5OktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,09191	0,3464	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,008447448
58	OrgDungArtvorZR	45	Fisher p MC		0,3481	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
59	Pfluganteil	92	$\rho$ (Spearman)	0,09495	0,3679	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,009015503
60	t5SepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,0878	0,3685	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,00770884
61	t5MarAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,08751	0,3701	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,007658
62	t5Aug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,08682	0,3739	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,007537712
63	evDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,08304	0,3951	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,006895642
64	StrohVorZR	99	Fisher p MC		0,3956	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
65	wbMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,08216	0,4002	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,006750266
66	Region	107	$\rho$ (Spearman)	-0,07465	0,4447	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,005572623
67	P	94	$\rho$ (Spearman)	0,07805	0,4546	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,006091803
68	wbJul	107	$\rho$ (Spearman)	0,07282	0,456	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,005302752
69	evJun	107	$\rho$ (Spearman)	0,07144	0,4646	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,005103674
70	evJan	107	$\rho$ (Spearman)	-0,06929	0,4782	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,004801104
71	SmMai	107	$\rho$ (Spearman)	0,06907	0,4796	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,004770665
72	nnAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,06903	0,4798	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,004765141
73	ZfAnteil	89	$\rho$ (Spearman)	0,07543	0,4824	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,005689685
74	t5Apr	107	$\rho$ (Spearman)	-0,06802	0,4863	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,00462672
75	t5Mai	107	$\rho$ (Spearman)	-0,06771	0,4884	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,004584644
76	evJul	107	$\rho$ (Spearman)	0,06748	0,4898	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,00455355
77	SmMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,06516	0,5049	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,004245826
78	wbJun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,06405	0,5122	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,004102403
79	t5Mar	107	$\rho$ (Spearman)	0,06403	0,5123	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,004099841
80	evMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,06365	0,5148	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,004051323
81	SmMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,06348	0,516	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,00402971
82	MaAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,06578	0,5177	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,004327008
83	SwpAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,06563	0,5186	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,004307297

Fortsetzung Tabelle 9: Zusammenhang zwischen Quantität <i>Trichoderma spp.</i> und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen									
ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
84	StrohAnteil	96	$\rho$ (Spearman)	0,06668	0,5186	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,004446222
85	Bor	85	$\rho$ (Spearman)	0,06847	0,5335	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,004688141
86	nnJul	107	$\rho$ (Spearman)	0,05681	0,5611	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,003227376
87	MaNutzung	51	Fisher p MC		0,574	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
88	ZFvorZR	94	Chi <sup>2</sup> /Cramer's v	0,1433	0,587	n.s.	+	n.b.	0,02053489
89	Ca	92	$\rho$ (Spearman)	-0,05642	0,5932	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,003183216
90	ZfArtVorZR	53	Fisher p MC		0,6031	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
91	nnMai	107	$\rho$ (Spearman)	-0,04917	0,615	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,002417689
92	nnMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,04901	0,6162	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,00240198
93	t5Jun	107	$\rho$ (Spearman)	0,04741	0,6278	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,002247708
94	WpAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,04512	0,6574	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,002035814
95	Mg	90	$\rho$ (Spearman)	0,04653	0,6632	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,002165041
96	OrgDungVorA	53	$\rho$ (Spearman)	0,05981	0,6705	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,003577236
97	OrgDungVorZR	75	$\rho$ (Spearman)	0,04985	0,671	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,002485023
98	OrgDungAnteil	84	$\rho$ (Spearman)	0,04603	0,6776	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,002118761
99	wbDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,04057	0,6782	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,001645925
100	nnSepVJFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,03925	0,6881	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,001540563
101	nnDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,03621	0,7111	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,001311164
102	nnJun	107	$\rho$ (Spearman)	0,03394	0,7286	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,001151924
103	ZrTolAnteil	60	$\rho$ (Spearman)	0,04475	0,7342	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,002002563
104	MaVorA	53	$\rho$ (Spearman)	0,04644	0,7412	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,002156674
105	wbSepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,03213	0,7425	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,001032337
106	tGBB	71	$\rho$ (Spearman)	0,03922	0,7454	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,001538208
107	ZrVorA	98	$\rho$ (Spearman)	-0,03316	0,7459	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,001099586
108	nnOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,03084	0,7525	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,000951106
109	ZrAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	0,03058	0,7638	n.s.	vernachlässigbar	mindert Trichoderma	0,000935136
110	wbOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,02404	0,8058	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,000577922
111	wbMai	107	$\rho$ (Spearman)	-0,02092	0,8306	n.s.	vernachlässigbar	fördert Trichoderma	0,000437646

Fortsetzung Tabelle 9: Zusammenhang zwischen Quantität <i>Trichoderma spp.</i> und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen									
ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
112	SmOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,02032	0,8354	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,000412902
113	K	94	$\rho$ (Spearman)	-0,02063	0,8435	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,000425597
114	wbSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,0179	0,8548	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	0,00032041
115	evNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,0116	0,9056	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,00013456
116	KalkArt	45	Fisher p MC		0,9071	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
117	ZrTol	60	$\rho$ (Spearman)	-0,01319	0,9203	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	0,000173976
118	RsHist	97	Chi <sup>2</sup> /Cramer's v	0,0674	0,9318	n.s.	vernachlässigbar	n.b.	0,00454276
119	SmNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,00834	0,9321	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Trichoderma</i>	6,95556E-05
120	GerätGBBvorZR	99	Fisher p MC		0,9646	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
121	RsVorA	56	$\rho$ (Spearman)	-0,00124	0,9928	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Trichoderma</i>	1,5376E-06

Tabelle 10: Zusammenhänge zwischen Quantität *Pseudomonas spp.* und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen

ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
1	t5Apr	107	$\rho$ (Spearman)	-0,37523	0,0001	***	++	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,140797553
2	SmMai	107	$\rho$ (Spearman)	0,34343	0,0003	***	++	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,117944165
3	t5NovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,33594	0,0004	***	++	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,112855684
4	t5SepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,30397	0,0015	**	++	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,092397761
5	evJul	107	$\rho$ (Spearman)	0,29082	0,0024	**	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,084576272
6	SmMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,2899	0,0025	**	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,08404201
7	SmApr	107	$\rho$ (Spearman)	0,27521	0,0041	**	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,075740544
8	nnApr	107	$\rho$ (Spearman)	0,26339	0,0061	**	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,069374292
9	nnSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,2604	0,0068	**	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,06780816
10	t5MarAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,25082	0,0092	**	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,062910672
11	evNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,24513	0,0109	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,060088717
12	wbApr	107	$\rho$ (Spearman)	0,24479	0,011	*	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,059922144
13	evJan	107	$\rho$ (Spearman)	-0,24127	0,0123	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,058211213
14	t5Mai	107	$\rho$ (Spearman)	-0,24126	0,0123	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,058206388
15	evApr	107	$\rho$ (Spearman)	-0,24068	0,0125	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,057926862
16	t5Aug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,23533	0,0147	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,055380209
17	t5Jul	107	$\rho$ (Spearman)	-0,23514	0,0148	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,05529082
18	t5OktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,23317	0,0156	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,054368249
19	nnFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,22952	0,0174	*	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,05267943
20	nnAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,22851	0,0179	*	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,05221682
21	t5DezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,2215	0,0219	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,04906225
22	wbAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,22044	0,0225	*	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,048593794
23	MaVorA	53	$\rho$ (Spearman)	0,31224	0,0228	*	++	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,097493818
24	wbJun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,21869	0,0236	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,047825316
25	SmOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,21793	0,0241	*	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,047493485
26	wbDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,20198	0,037	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,04079592
27	evAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,20153	0,0374	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,040614341

Fortsetzung Tabelle 10: Zusammenhänge zwischen Quantität <i>Pseudomonas spp.</i> und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen									
ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
28	WpAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,20449	0,0423	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,04181616
29	SmNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,19559	0,0435	*	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,038255448
30	nnDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,19404	0,0452	*	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,037651522
31	wbSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,19297	0,0464	*	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,037237421
32	evOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,18848	0,0519	(*)	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,03552471
33	LUFA	86	$\rho$ (Spearman)	-0,20938	0,053	(*)	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,043839984
34	K	94	$\rho$ (Spearman)	0,19771	0,0561	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,039089244
35	wbMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,18511	0,0563	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,034265712
36	SmMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,17863	0,0656	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,031908677
37	evJun	107	$\rho$ (Spearman)	0,17447	0,0723	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,030439781
38	Mg	90	$\rho$ (Spearman)	-0,18905	0,0743	(*)	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,035739903
39	nnSepVJFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,17129	0,0777	(*)	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,029340264
40	wbNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,17095	0,0783	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,029223903
41	nnMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,1682	0,0833	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,02829124
42	ZrVorA	98	$\rho$ (Spearman)	0,17582	0,0833	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,030912672
43	wbSepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,16785	0,084	(*)	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,028173623
44	wbFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,16654	0,0864	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,027735572
45	t5SepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,16494	0,0896	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,027205204
46	SmAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,16399	0,0914	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,02689272
47	SmJul	107	$\rho$ (Spearman)	0,16308	0,0933	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,026595086
48	nnMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,16138	0,0968	(*)	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,026043504
49	wbOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,16051	0,0986	(*)	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,02576346
50	evDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,16012	0,0995	(*)	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,025638414
51	nnNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,15961	0,1005	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,025475352
52	evMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,15869	0,1026	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,025182516
53	Saatbett	80	Fisher p MC		0,1042	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
54	nnOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,15716	0,106	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,024699266
55	evSepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,15388	0,1135	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,023679054

Fortsetzung Tabelle 10: Zusammenhänge zwischen Quantität <i>Pseudomonas spp.</i> und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen									
ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
56	Ca	92	$\rho$ (Spearman)	-0,16509	0,1158	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,027254708
57	nnJul	107	$\rho$ (Spearman)	0,15196	0,1182	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,023091842
58	ZrAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,15532	0,1248	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,024124302
59	t5Feb	107	$\rho$ (Spearman)	0,14864	0,1265	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,02209385
60	wbMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,14853	0,1268	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,022061161
61	SoAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	0,15366	0,1289	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,023611396
62	VVFrucht	99	Fisher p MC		0,1384	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
63	t5Jan	107	$\rho$ (Spearman)	-0,14319	0,1412	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,020503376
64	MaAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,14732	0,1456	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,021703182
65	GeVorA	99	$\rho$ (Spearman)	-0,14587	0,1497	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,021278057
66	wbJan	107	$\rho$ (Spearman)	-0,13801	0,1563	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,01904676
67	t5Mar	107	$\rho$ (Spearman)	0,13595	0,1626	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,018482403
68	nnJun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,13581	0,1631	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,018444356
69	evFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,1355	0,1641	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,01836025
70	Saat	78	Fisher p MC		0,1754	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
71	nnJan	107	$\rho$ (Spearman)	-0,13177	0,1761	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,017363333
72	wbJul	107	$\rho$ (Spearman)	0,13082	0,1792	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,017113872
73	BodenArt	84	$\rho$ (Spearman)	-0,14009	0,2037	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,019625208
74	OrgDungVorZR	75	$\rho$ (Spearman)	0,14739	0,207	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,021723812
75	OrgDungArtvorZR	45	Fisher p MC		0,2126	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
76	wbMai	107	$\rho$ (Spearman)	0,12114	0,2139	n.s.	+	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,0146749
77	SmJan	107	$\rho$ (Spearman)	-0,11886	0,2227	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,0141277
78	Bor	85	$\rho$ (Spearman)	-0,12818	0,2424	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,016430112
79	SmDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,11366	0,2437	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,012918596
80	TrichoCt	107	$\rho$ (Spearman)	-0,10971	0,2606	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,012036284
81	SmJun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,10794	0,2685	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,011651044
82	t5Jun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,10737	0,271	n.s.	+	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,011528317
83	evSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,0962	0,3243	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,00925444

Fortsetzung Tabelle 10: Zusammenhänge zwischen Quantität <i>Pseudomonas spp.</i> und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen									
ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
84	nnMai	107	$\rho$ (Spearman)	0,09203	0,3458	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,008469521
85	evMai	107	$\rho$ (Spearman)	-0,0907	0,3528	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,00822649
86	GerätGBBvorZR	99	Fisher p MC		0,3627	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
87	OrgDung	99	Chi <sup>2</sup> /Cramer's v	0,1687	0,4207	n.s.	+	n.b.	0,02845969
88	CFU	107	$\rho$ (Spearman)	0,07499	0,4427	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,0056235
89	ZfArtVorZR	53	Fisher p MC		0,4445	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
90	tGBB	71	$\rho$ (Spearman)	0,08784	0,4663	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,007715866
91	evMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,06921	0,4787	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,004790024
92	S	85	$\rho$ (Spearman)	-0,06783	0,5373	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,004600909
93	StrohArtVorZR	88	Fisher p MC		0,5385	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
94	EM_WW	100	Fisher p MC		0,547	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
95	ZFvorZR	94	Chi <sup>2</sup> /Cramer's v	0,1478	0,5616	n.s.	+	n.b.	0,02184484
96	ZfAnteil	89	$\rho$ (Spearman)	0,06141	0,5675	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,003771188
97	ZrTolAnteil	60	$\rho$ (Spearman)	0,07475	0,5703	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,005587563
98	OrgDungVorA	53	$\rho$ (Spearman)	-0,07079	0,6145	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,005011224
99	KalkVorA	45	$\rho$ (Spearman)	0,07192	0,6387	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,005172486
100	ZrTol	60	$\rho$ (Spearman)	0,05838	0,6577	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,003408224
101	SmSepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,03982	0,6838	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,001585632
102	RsHist	97	Chi <sup>2</sup> /Cramer's v	0,115	0,7333	n.s.	+	n.b.	0,013225
103	N	85	$\rho$ (Spearman)	-0,03735	0,7343	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,001395023
104	P	94	$\rho$ (Spearman)	0,0328	0,7537	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,00107584
105	OrgDungAnteil	84	$\rho$ (Spearman)	-0,0345	0,7554	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,00119025
106	BereglDR	99	Fisher p MC		0,7604	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
107	StrohAnteil	96	$\rho$ (Spearman)	0,0288	0,7806	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,00082944
108	SwpAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	0,0269	0,7916	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,00072361
109	Pfluganteil	92	$\rho$ (Spearman)	0,02622	0,8041	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	0,000687488
110	Vfrucht	99	Fisher p MC		0,8106	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
111	RsArea	107	$\rho$ (Spearman)	-0,01959	0,8413	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,000383768

Fortsetzung Tabelle 10: Zusammenhänge zwischen Quantität <i>Pseudomonas spp.</i> und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen									
ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
112	Region	107	$\rho$ (Spearman)	-0,01781	0,8555	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,000317196
113	Saatverfahren	99	$\rho$ (Spearman)	-0,01697	0,8676	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,000287981
114	KalkArt	45	Fisher p MC		0,8711	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
115	GeAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,01583	0,8764	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,000250589
116	EM_Mais	86	Fisher p MC		0,9354	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
117	RsVorA	56	$\rho$ (Spearman)	0,00544	0,9682	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	2,95936E-05
118	SmSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,0026	0,9788	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Pseudomonas</i>	0,00000676
119	SmFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,00239	0,9805	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Pseudomonas</i>	5,7121E-06
120	MaNutzung	51	Fisher p MC		0,9911	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
121	StrohVorZR	99	Fisher p MC		1	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.

Tabelle 11: Zusammenhänge zwischen *Später Rübenfäule Befallsfläche (RsArea)* und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen

ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
1	CFU	107	$\rho$ (Spearman)	0,57907	0,0001	***	+++	fördert Rübenfäule	0,33532
2	WpAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	0,39955	0,0001	***	++	fördert Rübenfäule	0,15964
3	MaAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	0,36250	0,0002	***	++	fördert Rübenfäule	0,13141
4	VVFrucht	99	Fisher p MC		0,0002	***	n.b.	n.b.	n.b.
5	Pfluganteil	92	$\rho$ (Spearman)	0,33716	0,001	**	++	fördert Rübenfäule	0,11368
6	StrohAnteil	96	$\rho$ (Spearman)	-0,28974	0,0042	**	+	mindert Rübenfäule	0,08395
7	ZrAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	0,26468	0,0081	**	+	fördert Rübenfäule	0,07006
8	SoAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,24953	0,0127	*	+	mindert Rübenfäule	0,06227
9	MaNutzung	51	Fisher p		0,0299	*	n.b.	n.b.	n.b.
10	ZrVorA	98	$\rho$ (Spearman)	-0,21508	0,0334	*	+	mindert Rübenfäule	0,04626
11	ZfArtVorZR	53	Fisher p		0,0415	*	n.b.	n.b.	n.b.
12	MaVorA	53	$\rho$ (Spearman)	-0,25902	0,0611	(*)	+	mindert Rübenfäule	0,06709
13	OrgDungArtvorZR	45	Fisher p		0,0768	(*)	n.b.	n.b.	n.b.
14	Saatverfahren	99	$\rho$ (Spearman)	-0,17096	0,0907	(*)	+	mindert Rübenfäule	0,02923
15	Mg	90	$\rho$ (Spearman)	0,15171	0,1535	n.s.	+	fördert Rübenfäule	0,02302
16	SwpAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,14156	0,1622	n.s.	+	mindert Rübenfäule	0,02004
17	nnMai	107	$\rho$ (Spearman)	0,13263	0,1732	n.s.	+	fördert Rübenfäule	0,01759
18	KalkArt	45	Fisher p		0,2035	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
19	GeraetGGBvorZR	99	Fisher p		0,2174	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
20	Bor	85	$\rho$ (Spearman)	-0,12626	0,2496	n.s.	+	mindert Rübenfäule	0,01594
21	evMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,10199	0,2959	n.s.	+	fördert Rübenfäule	0,01040
22	KalkVorA	45	$\rho$ (Spearman)	0,15770	0,3009	n.s.	+	fördert Rübenfäule	0,02487
23	wbMai	107	$\rho$ (Spearman)	0,10011	0,3049	n.s.	+	fördert Rübenfäule	0,01002
24	RsHist	97			0,334	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
25	evMai	107	$\rho$ (Spearman)	0,09428	0,3341	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00889
26	Vfrucht	99	Fisher p MC		0,3345	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
27	Tricho-ct	107	$\rho$ (Spearman)	-0,09242	0,3438	n.s.	vernachlässigbar	n.b.	0,00854

Fortsetzung Tabelle 11: Zusammenhänge zw. **Später Rübenfäule Befallsfläche (RsArea)** und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten

ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
28	BereglDR	99	Fisher p		0,3606	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
29	GeAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,09197	0,3653	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00846
30	StrohVorZR	99	Fisher p		0,3669	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
31	Saat	78	Fisher p MC		0,4045	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
32	OrgDungVorA	53	$\rho$ (Spearman)	0,11579	0,409	n.s.	+	fördert Rübenfäule	0,01341
33	t5SepVJFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,07905	0,4183	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00625
34	evApr	107	$\rho$ (Spearman)	0,07791	0,4251	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00607
35	wbSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,07592	0,437	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00576
36	wbFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,07045	0,4709	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00496
37	OrgDung	99	Fisher p		0,4812	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
38	ZfAnteil	89	$\rho$ (Spearman)	-0,07534	0,4829	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00568
39	EM_Mais	86	Fisher p MC		0,493	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
40	evMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,06434	0,5103	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00414
41	t5Mar	107	$\rho$ (Spearman)	0,06373	0,5143	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00406
42	evNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,06173	0,5276	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00381
43	smMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,06044	0,5363	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00365
44	ZFvorZR	94	Fisher p		0,5436	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
45	nnFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,05717	0,5586	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00327
46	evDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,05648	0,5633	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00319
47	smJan	107	$\rho$ (Spearman)	0,05545	0,5705	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00307
48	nnJul	107	$\rho$ (Spearman)	0,05346	0,5844	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00286
49	StrohArtVorZR	88	Fisher p MC		0,6003	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
50	P	94	$\rho$ (Spearman)	-0,05438	0,6027	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00296
51	t5DezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,05053	0,6053	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00255
52	tGBB	71	$\rho$ (Spearman)	-0,05961	0,6215	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00355
53	nnMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,04711	0,6299	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00222
54	nnJun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,04688	0,6316	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00220

Fortsetzung Tabelle 11: Zusammenhänge zw. **Später Rübenfäule Befallsfläche (RsArea)** und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten

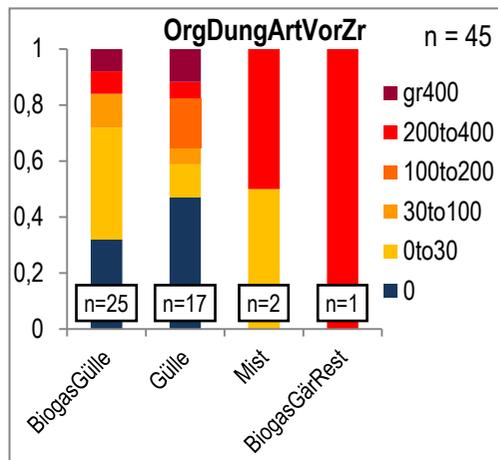
ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
55	OrgDungVorZR	75	$\rho$ (Spearman)	-0,05617	0,6322	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00316
56	wbOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,04671	0,6329	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00218
57	Bodenart	84	$\rho$ (Spearman)	0,05144	0,6421	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00265
58	ZrTolAnteil	60	$\rho$ (Spearman)	0,06094	0,6437	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00371
59	wbApr	107	$\rho$ (Spearman)	-0,04512	0,6445	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00204
60	evJan	107	$\rho$ (Spearman)	-0,04295	0,6605	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00184
61	wbJul	107	$\rho$ (Spearman)	0,04075	0,6768	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00166
62	t5Jan	107	$\rho$ (Spearman)	0,04005	0,6821	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00160
63	Saatbett	80	Fisher p		0,6872	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
64	nnSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,03882	0,6914	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00151
65	nnAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,03834	0,695	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00147
66	evJun	107	$\rho$ (Spearman)	0,03727	0,7031	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00139
67	nnNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,03679	0,7068	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00135
68	wbMar	107	$\rho$ (Spearman)	-0,03665	0,7078	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00134
69	wbJun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,03624	0,711	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00131
70	smOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,03422	0,7264	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00117
71	nnMar	107	$\rho$ (Spearman)	-0,03275	0,7377	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00107
72	smSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,03215	0,7424	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00103
73	nnOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,03139	0,7482	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00099
74	OrgDungAnteil	84	$\rho$ (Spearman)	0,03543	0,749	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00126
75	wbNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,02995	0,7595	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00090
76	RsVorA	56	$\rho$ (Spearman)	0,04118	0,7632	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00170
77	evOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,02781	0,7762	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00077
78	t5Jun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,02722	0,7808	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00074
79	nnSepVJFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,02536	0,7954	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00064
80	wbSepVJFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,02510	0,7974	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00063
81	nnApr	107	$\rho$ (Spearman)	0,02441	0,8029	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00060

Fortsetzung Tabelle 11: Zusammenhänge zw. **Später Rübenfäule Befallsfläche (RsArea)** und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten

ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
82	wbAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,02348	0,8103	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00055
83	t5OktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,02337	0,8112	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00055
84	t5Apr	107	$\rho$ (Spearman)	0,02328	0,8119	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00054
85	smNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,02273	0,8162	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00052
86	wbMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,02260	0,8173	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00051
87	t5SepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,02083	0,8314	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00043
88	evJul	107	$\rho$ (Spearman)	0,02057	0,8334	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00042
89	LUFA	86	$\rho$ (Spearman)	0,02256	0,8367	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00051
90	N	85	$\rho$ (Spearman)	0,02269	0,8367	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00051
91	S	85	$\rho$ (Spearman)	0,02232	0,8393	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00050
92	wbJan	107	$\rho$ (Spearman)	0,01967	0,8406	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00039
93	Pseudo-ct	107	$\rho$ (Spearman)	-0,01959	0,8413	n.s.	vernachlässigbar	n.b.	0,00038
94	t5Mai	107	$\rho$ (Spearman)	-0,01941	0,8427	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00038
95	t5NovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,01896	0,8463	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00036
96	smFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,01895	0,8464	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00036
97	GeVorA	99	$\rho$ (Spearman)	-0,01933	0,8494	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00037
98	nnJan	107	$\rho$ (Spearman)	0,01812	0,8531	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00033
99	smJul	107	$\rho$ (Spearman)	-0,01782	0,8555	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00032
100	smAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,01782	0,8555	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00032
101	K	94	$\rho$ (Spearman)	-0,01771	0,8655	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00031
102	smMar	107	$\rho$ (Spearman)	-0,01577	0,8719	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00025
103	smJun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,01450	0,8821	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00021
104	ZrTol	60	$\rho$ (Spearman)	0,01486	0,9103	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00022
105	t5Jul	107	$\rho$ (Spearman)	-0,01098	0,9106	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00012
106	t5MarAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,01052	0,9143	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00011
107	Ca	92	$\rho$ (Spearman)	-0,00981	0,926	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00010
108	evFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,00849	0,9308	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	0,00007

Fortsetzung Tabelle 11: Zusammenhänge zw. **Später Rübenfäule Befallsfläche (RsArea)** und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten

ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
109	smDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,00848	0,9309	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	7,19104E-05
110	smSepVJFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,00808	0,9342	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	6,52864E-05
111	evSepVJFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,00773	0,937	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	5,97529E-05
112	evSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,00661	0,9461	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	4,36921E-05
113	t5Aug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,0061	0,9503	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	0,00003721
114	smApr	107	$\rho$ (Spearman)	-0,00604	0,9508	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	3,64816E-05
115	nnDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,00484	0,9606	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	2,34256E-05
116	EM_WW	100	Fisher p MC		0,9739	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
117	t5Feb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,00243	0,9802	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rübenfäule	5,9049E-06
118	smMai	107	$\rho$ (Spearman)	0,00216	0,9824	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	4,6656E-06
119	evAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,00072	0,9941	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	5,184E-07
120	wbDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,00057	0,9953	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rübenfäule	3,249E-07



Fishers exakter Test  
 $p = 0,0768$   
 $n = 45$

Abbildung 38: Häufigkeitsverteilung der Ausprägungen der Variable Art der organischen Düngung vor Zuckerrübe (OrgDungArtVorZR) in den Späte Rübenfäule Befallsklassen nach RsArea in m<sup>2</sup>

Tabelle 12: Zusammenhänge zwischen *Quantität R.solani AG2-2 (CFU)* und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten auf Praxisschlägen

ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
1	RsArea	107	$\rho$ (Spearman)	0,57907	0,0001	***	+++	fördert Rsolani	0,33532
2	nnDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,30582	0,0014	**	++	fördert Rsolani	0,09353
3	wbDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,30510	0,0014	**	++	fördert Rsolani	0,09309
4	GeAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,30572	0,0021	**	++	mindert Rsolani	0,09346
5	t5Aug	107	$\rho$ (Spearman)	0,29476	0,0021	**	+	fördert Rsolani	0,08688
6	evMar	107	$\rho$ (Spearman)	-0,29065	0,0024	**	+	mindert Rsolani	0,08448
7	t5MarAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,28220	0,0032	**	+	fördert Rsolani	0,07964
8	wbSepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,28030	0,0035	**	+	fördert Rsolani	0,07857
9	t5Jul	107	$\rho$ (Spearman)	0,27650	0,0039	**	+	fördert Rsolani	0,07645
10	t5OktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,27625	0,004	**	+	fördert Rsolani	0,07631
11	nnSepVJFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,27429	0,0042	**	+	fördert Rsolani	0,07524
12	t5Mai	107	$\rho$ (Spearman)	0,26958	0,005	**	+	fördert Rsolani	0,07267
13	SmDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,25968	0,0069	**	+	fördert Rsolani	0,06743
14	nnMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,25208	0,0088	**	+	mindert Rsolani	0,06354
15	wbMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,25070	0,0092	**	+	mindert Rsolani	0,06285
16	nnJan	107	$\rho$ (Spearman)	0,24756	0,0101	*	+	fördert Rsolani	0,06129
17	nnOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,24482	0,011	*	+	fördert Rsolani	0,05994
18	t5Mar	107	$\rho$ (Spearman)	-0,24436	0,0112	*	+	mindert Rsolani	0,05971
19	MaAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	0,25320	0,0114	*	+	fördert Rsolani	0,06411
20	WpAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	0,25332	0,0114	*	+	fördert Rsolani	0,06417
21	wbJan	107	$\rho$ (Spearman)	0,24271	0,0118	*	+	fördert Rsolani	0,05891
22	nnJul	107	$\rho$ (Spearman)	-0,23567	0,0145	*	+	mindert Rsolani	0,05554
23	wbOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,23295	0,0157	*	+	fördert Rsolani	0,05427
24	wbAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,23208	0,0162	*	+	mindert Rsolani	0,05386
25	t5Feb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,23091	0,0167	*	+	mindert Rsolani	0,05332
26	wbJul	107	$\rho$ (Spearman)	-0,22889	0,0177	*	+	mindert Rsolani	0,05239
27	t5Jan	107	$\rho$ (Spearman)	0,22709	0,0187	*	+	fördert Rsolani	0,05157

Fortsetzung Tabelle 12: Zusammenhänge zw. **Quantität *R.solani* AG2-2 (CFU)** und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten

ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
28	nnAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,22645	0,019	*	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,05128
29	evFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,21891	0,0235	*	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,04792
30	evSepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,21294	0,0277	*	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,04534
31	SmJan	107	$\rho$ (Spearman)	0,21180	0,0285	*	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,04486
32	nnMai	107	$\rho$ (Spearman)	-0,21135	0,0289	*	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,04467
33	Bor	85	$\rho$ (Spearman)	-0,23660	0,0292	*	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,05598
34	wbMai	107	$\rho$ (Spearman)	-0,20584	0,0334	*	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,04237
35	SmJul	107	$\rho$ (Spearman)	-0,20231	0,0366	*	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,04093
36	evSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,19921	0,0397	*	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,03968
37	evAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,19730	0,0417	*	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,03893
38	SmSepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,19287	0,0465	*	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,03720
39	SmAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,19271	0,0467	*	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,03714
40	t5Apr	107	$\rho$ (Spearman)	0,18618	0,0548	(*)	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,03466
41	t5Jun	107	$\rho$ (Spearman)	0,18530	0,056	(*)	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,03434
42	SmMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	-0,18108	0,062	(*)	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,03279
43	SmFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,17631	0,0693	(*)	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,03109
44	SmSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,17402	0,073	(*)	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,03028
45	GerätGBBvorZR	99	Fisher p		0,0732	(*)	n.b.	n.b.	n.b.
46	VVFrucht	99	Fisher p MC		0,0754	(*)	n.b.	n.b.	n.b.
47	evDezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,16872	0,0824	(*)	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,02847
48	Saatbett	80	Fisher p		0,0907	(*)	n.b.	n.b.	n.b.
49	evJun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,16420	0,091	(*)	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,02696
50	evJul	107	$\rho$ (Spearman)	-0,15748	0,1052	n.s.	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,02480
51	SmMai	107	$\rho$ (Spearman)	-0,14688	0,1311	n.s.	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,02157
52	t5SepVjFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,14614	0,1331	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,02136
53	N	85	$\rho$ (Spearman)	0,16282	0,1365	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,02651
54	t5NovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,14317	0,1413	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,02050
55	StrohAnteil	96	$\rho$ (Spearman)	-0,15012	0,1443	n.s.	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,02254

Fortsetzung Tabelle 12: Zusammenhänge zw. **Quantität *R.solani* AG2-2 (CFU)** und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten

ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
56	Ca	92	$\rho$ (Spearman)	-0,15159	0,1492	n.s.	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,02298
57	RsVorA	56	$\rho$ (Spearman)	0,18601	0,1699	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,03460
58	OrgDungArtvorZR	45	Fisher p		0,175	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
59	SmNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,12872	0,1864	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01657
60	SmMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,12858	0,1869	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01653
61	MaVorA	53	$\rho$ (Spearman)	-0,18146	0,1935	n.s.	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,03293
62	Pfluganteil	92	$\rho$ (Spearman)	0,13616	0,1956	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01854
63	evMai	107	$\rho$ (Spearman)	0,12488	0,2	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01560
64	ZrAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	0,12876	0,204	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01658
65	wbMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,12145	0,2127	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01475
66	evApr	107	$\rho$ (Spearman)	0,12137	0,213	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01473
67	SmApr	107	$\rho$ (Spearman)	-0,11964	0,2197	n.s.	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,01431
68	wbFeb	107	$\rho$ (Spearman)	0,11845	0,2243	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01403
69	t5DezVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,11770	0,2273	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01385
70	RsHist	97	Chi <sup>2</sup> /Cramer's v	0,17190	0,2386	n.s.	+	n.b.	0,02955
71	evJan	107	$\rho$ (Spearman)	0,11479	0,239	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01318
72	BereglDR	99	Fisher p		0,249	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
73	evMarAug	107	$\rho$ (Spearman)	0,11161	0,2524	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01246
74	OrgDungVorA	53	$\rho$ (Spearman)	0,15771	0,2594	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,02487
75	ZFvorZR	94	Chi <sup>2</sup> /Cramer's v	0,16490	0,2786	n.s.	+	n.b.	0,02719
76	nnSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,10520	0,2808	n.s.	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,01107
77	nnApr	107	$\rho$ (Spearman)	-0,10504	0,2816	n.s.	+	mindert <i>Rsolani</i>	0,01103
78	Tricho_ct	107	$\rho$ (Spearman)	-0,09871	0,3118	n.s.	vernachlässigbar	n.b.	0,00974
79	P	94	$\rho$ (Spearman)	0,10228	0,3266	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01046
80	ZrTolAnteil	60	$\rho$ (Spearman)	0,12402	0,3451	n.s.	+	fördert <i>Rsolani</i>	0,01538
81	t5SepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,09000	0,3566	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Rsolani</i>	0,00810
82	nnFeb	107	$\rho$ (Spearman)	-0,08627	0,377	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Rsolani</i>	0,00744
83	evOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,07956	0,4153	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Rsolani</i>	0,00633

Fortsetzung Tabelle 12: Zusammenhänge zw. **Quantität R.solani AG2-2 (CFU)** und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten

ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
84	S	85	$\rho$ (Spearman)	0,08948	0,4154	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rsolani	0,00801
85	Pseudo_ct	107	$\rho$ (Spearman)	0,07499	0,4427	n.s.	vernachlässigbar	n.b.	0,00562
86	ZfAnteil	89	$\rho$ (Spearman)	-0,08088	0,4511	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rsolani	0,00654
87	Vfrucht	99	Fisher p MC		0,4571	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
88	Saatverfahren	99	$\rho$ (Spearman)	0,07399	0,4667	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rsolani	0,00547
89	SwpAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	-0,07395	0,4669	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rsolani	0,00547
90	ZrVorA	98	$\rho$ (Spearman)	-0,07394	0,4694	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rsolani	0,00547
91	evNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,07059	0,47	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rsolani	0,00498
92	StrohArtVorZR	88	Fisher p		0,4765	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
93	nnJun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,06944	0,4773	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rsolani	0,00482
94	KalkVorA	45	$\rho$ (Spearman)	-0,10560	0,4899	n.s.	+	mindert Rsolani	0,01115
95	Saat	78	Fisher p		0,5008	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
96	wbApr	107	$\rho$ (Spearman)	-0,06564	0,5018	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rsolani	0,00431
97	SmOktVJ	107	$\rho$ (Spearman)	0,06128	0,5307	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rsolani	0,00376
98	OrgDung	99	Chi <sup>2</sup> /Cramer's v	0,10590	0,5739	n.s.	+	n.b.	0,01121
99	wbJun	107	$\rho$ (Spearman)	-0,05413	0,5798	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rsolani	0,00293
100	wbNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,05411	0,5799	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rsolani	0,002927892
101	EM_WW	100	Fisher p		0,6026	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
102	StrohVorZR	99	Fisher p		0,6151	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
103	OrgDungVorZR	75	$\rho$ (Spearman)	-0,05797	0,6213	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rsolani	0,00336
104	KalkArt	45	Fisher p		0,6446	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
105	ZrTol	60	$\rho$ (Spearman)	0,05880	0,6554	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rsolani	0,00346
106	LUFA	86	$\rho$ (Spearman)	-0,04619	0,6728	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rsolani	0,00213
107	MaNutzung	51	Fisher p		0,679	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
108	tGBB	71	$\rho$ (Spearman)	0,04133	0,7322	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rsolani	0,00171
109	OrgDungAnteil	84	$\rho$ (Spearman)	0,03282	0,7669	n.s.	vernachlässigbar	fördert Rsolani	0,00108
110	Mg	90	$\rho$ (Spearman)	-0,02855	0,7894	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rsolani	0,00082
111	K	94	$\rho$ (Spearman)	-0,02588	0,8044	n.s.	vernachlässigbar	mindert Rsolani	0,000669774

Fortsetzung Tabelle 12: Zusammenhänge zw. **Quantität *R.solani* AG2-2 (CFU)** und Bewirtschaftungs- und Wetterdaten

ZeilenNr	Variable	n	Maß	Wert	p-Value	Signifikanz	Effektstärke	Richtung	r <sup>2</sup>
112	SmJun	107	$\rho$ (Spearman)	0,02222	0,8203	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Rsolani</i>	0,000493728
113	GeVorA	99	$\rho$ (Spearman)	-0,02061	0,8395	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Rsolani</i>	0,000424772
114	nnMar	107	$\rho$ (Spearman)	0,01471	0,8804	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Rsolani</i>	0,000216384
115	BodenArt	84	$\rho$ (Spearman)	0,01568	0,8874	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Rsolani</i>	0,000245862
116	ZfArtVorZR	53	Fisher p		0,8974	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.
117	SoAnteil	99	$\rho$ (Spearman)	0,01063	0,9168	n.s.	vernachlässigbar	fördert <i>Rsolani</i>	0,000112997
118	nnNovVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,00897	0,927	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Rsolani</i>	8,04609E-05
119	wbSepVJ	107	$\rho$ (Spearman)	-0,00742	0,9396	n.s.	vernachlässigbar	mindert <i>Rsolani</i>	5,50564E-05
120	EM_Mais	86	Fisher p		0,9943	n.s.	n.b.	n.b.	n.b.

Tabelle 13: Ergänzende Abbildungen zu den Nominaldaten der Zusammenhänge Bodeninokulumsmenge (CFU)-befallsbeeinflussende Faktoren

<p><b>GerätGBBvorZR</b> n = 99</p> <p>Grubber (n=21), Pflug (n=77), Scheibenegge (n=1)</p> <p>Legend: 0to15, 15to50, &gt;50</p>	<p><b>VVfrucht</b> n = 99</p> <p>Crop combinations: Gurke, Kartoffel+KM, RAW, SW, Soja, WG, WW+Gurke, WW, Dinkel, ZR+SM, Kartoffel, SM, KM, KM+SM, Zwiebel, ZR</p> <p>Legend: 0to15, 15to50, &gt;50</p>	<p><b>Saatbett</b> n = 80</p> <p>Saatbettkombi (n=57), Kreiselegge (n=17), Direkt (n=6)</p> <p>Legend: 0to15, 15to50, &gt;50</p>
<p>Fishers exakter Test  <math>p = 0,0732, n = 99</math></p>	<p>Fishers exakter Test (Monte Carlo Simulation)  <math>p = 0,0754, n = 99</math></p>	<p>Fishers exakter Test  <math>p = 0,0907, n = 80</math></p>
<p>Häufigkeitsverteilungen der Ausprägungen der Variablen Gerät Grundbodenbearbeitung vor Zuckerrübe (GerätGBBvorZR), Vorvorfrucht zur Zuckerrübe (VVfrucht) und Gerät Saatbettbereitung zur Zuckerrübe (Saatbett) in den CFU-Klassen 0 bis 15, 15 bis 50 und größer 50 CFU/kg Boden.</p>		

Tabelle 14: Teilprojekt 4 - Beschreibung der Variablen

Datensatz	Variable	Beschreibung	Maßeinheit	Skalenniveau
Antagonisten	Pseudo-ct	<i>Pseudomonas</i> spp. Bodenkonzentration	ct-value	intervall
Antagonisten	Tricho-ct	<i>Trichoderma</i> ssp. Bodenkonzentration	ct-value	intervall
Beregnung	BeregldR	Schlag wird zu Zuckerrübe in der Regel beregnet ja/nein	binär	nominal
Bodenart	Bodenart	Bodenart-Kürzel nach LUFA	LUFA Kürzel	ordinal
Bodenart	LUFA	Bodenart-Code nach LUFA	LUFA Code	ordinal
CFU	CFU	<i>R. solani</i> AG2-2 Bodeninokulumdichte Juli	CFU/kg Soil	absolut
Erntereste	EM_Mais	Ernterestemanagement Mais, M=Mulchen, S=Stoppelbearbeitung	Name	nominal
Erntereste	EM_WW	Ernterestemanagement WW, M=Mulchen, S=Stoppelbearbeitung	Name	nominal
EUF	Bor	Nährstoffgehalt EUF Bodenuntersuchung	Nährstoffgehaltsklassen	ordinal
EUF	Ca	Nährstoffgehalt EUF Bodenuntersuchung	Nährstoffgehaltsklassen	ordinal
EUF	K	Nährstoffgehalt EUF Bodenuntersuchung	Nährstoffgehaltsklassen	ordinal
EUF	Mg	Nährstoffgehalt EUF Bodenuntersuchung	Nährstoffgehaltsklassen	ordinal
EUF	N	Nährstoffgehalt EUF Bodenuntersuchung	Nährstoffgehaltsklassen	ordinal
EUF	P	Nährstoffgehalt EUF Bodenuntersuchung	Nährstoffgehaltsklassen	ordinal
EUF	S	Nährstoffgehalt EUF Bodenuntersuchung	Nährstoffgehaltsklassen	ordinal
Fruchtfolge	GeAnteil	Getreideanteil in Fruchtfolge	%	absolut
Fruchtfolge	GeVorA	Jahre seit letztem Getreide	Jahre	absolut
Fruchtfolge	MaAnteil	Maisanteil in Fruchtfolge	%	absolut
Fruchtfolge	MaNutzung	letzte Maisnutzungsart	Kürzel Kultur	nominal
Fruchtfolge	MaVorA	Jahre seit letztem Mais	Jahre	absolut
Fruchtfolge	SoAnteil	Sonstige Kulturenanteil in Fruchtfolge ≠ ZR, Mais, Swp, Getreide	%	absolut
Fruchtfolge	SwpAnteil	Sonstige Wirtspflanzenanteil in Fruchtfolge (Bohne, Erbse, Soja)	%	absolut
Fruchtfolge	Vfrucht	Vorfrucht	Kürzel Kultur	nominal
Fruchtfolge	VVFrucht	VorVorfrucht	Kürzel Kultur	nominal
Fruchtfolge	WpAnteil	Wirtspflanzenanteil in Fruchtfolge	%	absolut
Fruchtfolge	ZrAnteil	Zuckerrübenanteil in Fruchtfolge	%	absolut
Fruchtfolge	ZrVorA	Jahre seit letzter Zuckerrübe	Jahre	absolut

Fortsetzung Tabelle 14: Teilprojekt 4 - Beschreibung der Variablen

<b>Datensatz</b>	<b>Variable</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Maßeinheit</b>	<b>Skalenniveau</b>
GBB	GeraetGBBvorZR	Grundbodenbearbeitungsgerät vor Zuckerrübe	Name	nominal
GBB	Pfluganteil	Prozent Pflugeinsatz zur Grundbodenbearbeitung in Fruchtfolge	%	absolut
GBB	tGBB	Zeitpunkt Grundbodenbearbeitung vor ZR	Monat	absolut
Kalk	KalkArt	Kalkart	Name	nominal
Kalk	KalkVorA	Zeitpunkt letzte Kalkung	Jahre	absolut
OrgDung	OrgDung	Organische Düngung in Fruchtfolge ja/nein	binär	nominal
OrgDung	OrgDungAnteil	Häufigkeit organische Düngung in Fruchtfolge, 1 = 2x jedes Jahr	%	absolut
OrgDung	OrgDungArtvorZR	Organische Düngerart	Name	nominal
OrgDung	OrgDungVorA	Zeitpunkt seit letzter organischer Düngung	1/2 Jahre	absolut
OrgDung	OrgDungVorZR	Anzahl organische Düngungen Vorjahr zur Zuckerrübe	Anzahl	absolut
RsArea	RsArea	Späte Rübenfäule Befallsfläche August	m <sup>2</sup>	absolut
RsHist	RsHist	Rübenfäule in Schlagvergangenheit	binär	nominal
RsHist	RsVorA	Letztes Auftreten Rübenfäule in Vergangenheit	5a Zeitintervalle	ordinal
Saat	Saat	Kombination Saatverfahren u.Gerät Saatbettbereitung Zuckerrübe	Name	nominal
Saat	Saatbett	Gerät Saatbettbereitung Zuckerrübe	Name	nominal
Saat	Saatverfahren	Saatverfahren Zuckerrübe	Klasse Mulch an Oberfläche	ordinal
Stroh	StrohAnteil	Prozent Stroh auf Feld belassen in Fruchtfolge	%	absolut
Stroh	StrohArtVorZR	Belassene Strohart vor Zuckerrübe	Kürzel Kultur	nominal
Stroh	StrohVorZR	Stroh belassen vor Zuckerrübe	binär	nominal
Wetter	evSepVJFeb	Verdunstungssumme September Vorjahr bis Februar	mm	absolut
Wetter	evSepVJ	Verdunstung Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	evOktVJ	Verdunstung Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	evNovVJ	Verdunstung Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	evDezVJ	Verdunstung Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	evJan	Verdunstung Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	evFeb	Verdunstung Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	evMarAug	Verdunstungssumme März bis August	mm	absolut
Wetter	evMar	Verdunstung Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut

Fortsetzung Tabelle 14: Teilprojekt 4 - Beschreibung der Variablen

<b>Datensatz</b>	<b>Variable</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Maßeinheit</b>	<b>Skalenniveau</b>
Wetter	evApr	Verdunstung Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	evMai	Verdunstung Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	evJun	Verdunstung Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	evJul	Verdunstung Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	evAug	Verdunstung Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnSepVJFeb	Niederschlagssumme September Vorjahr bis Februar	mm	absolut
Wetter	nnSepVJ	Niederschlag Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnOktVJ	Niederschlag Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnNovVJ	Niederschlag Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnDezVJ	Niederschlag Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnJan	Niederschlag Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnFeb	Niederschlag Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnMarAug	Niederschlagssumme März bis August	mm	absolut
Wetter	nnMar	Niederschlag Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnApr	Niederschlag Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnMai	Niederschlag Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnJun	Niederschlag Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnJul	Niederschlag Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	nnAug	Niederschlag Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	smSepVJFeb	Bodenfeuchtesumme September Vorjahr bis Februar	% nFK	absolut
Wetter	smSepVJ	Bodenfeuchte Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut
Wetter	smOktVJ	Bodenfeuchte Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut
Wetter	smNovVJ	Bodenfeuchte Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut
Wetter	smDezVJ	Bodenfeuchte Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut
Wetter	smJan	Bodenfeuchte Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut
Wetter	smFeb	Bodenfeuchte Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut
Wetter	smMarAug	Bodenfeuchtesumme März bis August	% nFK	absolut
Wetter	smMar	Bodenfeuchte Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut

Fortsetzung Tabelle 14: Teilprojekt 4 - Beschreibung der Variablen

<b>Datensatz</b>	<b>Variable</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Maßeinheit</b>	<b>Skalenniveau</b>
Wetter	smApr	Bodenfeuchte Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut
Wetter	smMai	Bodenfeuchte Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut
Wetter	smJun	Bodenfeuchte Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut
Wetter	smJul	Bodenfeuchte Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut
Wetter	smAug	Bodenfeuchte Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	% nFK	absolut
Wetter	t5SepVJFeb	Bodentemperatursumme 5 cm September Vorjahr bis Februar	° C	intervall
Wetter	t5SepVJ	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	t5OktVJ	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	t5NovVJ	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	t5DezVJ	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	t5Jan	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	t5Feb	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	t5MarAug	Bodentemperatursumme 5 cm März bis August	° C	intervall
Wetter	t5Mar	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	t5Apr	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	t5Mai	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	t5Jun	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	t5Jul	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	t5Aug	Bodentemperatur 5 cm Tiefe Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	° C	intervall
Wetter	wbSepVJFeb	Wasserbilanzsumme September Vorjahr bis Februar	mm	absolut
Wetter	wbSepVJ	Wasserbilanz Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	wbOktVJ	Wasserbilanz Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	wbNovVJ	Wasserbilanz Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	wbDezVJ	Wasserbilanz Monat Vorjahr, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	wbJan	Wasserbilanz Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	wbFeb	Wasserbilanz Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	wbMarAug	Wasserbilanzsumme März bis August	mm	absolut
Wetter	wbMar	Wasserbilanz Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut

Fortsetzung Tabelle 14: Teilprojekt 4 - Beschreibung der Variablen

<b>Datensatz</b>	<b>Variable</b>	<b>Beschreibung</b>	<b>Maßeinheit</b>	<b>Skalenniveau</b>
Wetter	wbApr	Wasserbilanz Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	wbMai	Wasserbilanz Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	wbJun	Wasserbilanz Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	wbJul	Wasserbilanz Monat, 1 km <sup>2</sup> Auflösung	mm	absolut
Wetter	wbAug	Wasserbilanz Monat	mm	absolut
ZF	ZfAnteil	Prozent Zwischenfruchtanbau in Fruchtfolge	%	absolut
ZF	ZfArtVorZR	Zwischenfruchtart vor Zuckerrübe	Name	nominal
ZF	ZFvorZR	Zwischenfruchtanbau Herbst vor Zuckerrübe	binär	nominal
ZrTol	ZrTol	Toleranzniveau Zuckerrübensorte im Untersuchungsjahr	Toleranzklassen	ordinal
ZrTol	ZrTolAnteil	Prozent toleranter Zuckerrübensorten in Vergangenheit	%	absolut

Tabelle 15: Teilprojekt 4- Ausprägungen der Variablen

Variable	Ausprägungen
BereglDR	ja, nein
Bodenart	S=1, IS=2, sU=3, ssl=4, IU=5, sL=6, uL=7, L=8, utL=9, tL=10, T=11
LUFA	S(flachgründig)=0; S=1; IS,sU=2; ssl,IU=3; sL,uL,L=4; utL,tL,T=5
EM_Mais	Grubber, GrubberM, Pflug, PflugM, SPflug, SPflugM, SSPflugM M=Mulchen der Stoppel, S=Stoppelbearbeitung
EM_WW	Grubber, SGrubber, SGrubberM, SPflug, SSGrubber, SSGrubberM, SSPflug, SSPflugM M=Mulchen der Stoppel, S=Stoppelbearbeitung
Bor	a=1, b=2, c=3, d=4, e=5
Ca	a=1, b=2, c=3, d=4, e=5
K	a=1, b=2, c=3, d=4, e=5
Mg	a=1, b=2, c=3, d=4, e=5
N	a=1, b=2, c=3, d=4, e=5
P	a=1, b=2, c=3, d=4, e=5
S	a=1, b=2, c=3, d=4, e=5
MaNutzung	KM, SM
Vfrucht	Brache, Dinkel, Gurke, KM, KM+SM, SM, WG, WW, WW-GPS, Zwiebel, Zwiebel+WW
VVFrucht	Dinkel, Gurke, Kartoffel, Kartoffel+KM, KM, KM+SM, RAW, SM, Soja, SW, WG, WW, WW+Gurke, ZR, ZR+SM, Zwiebel
GerätGBBvorZR	Grubber, Pflug
tGBB	jul=8, aug=7, sep=6, okt=5, nov=4
KalkArt	brannt, carbo, kohlens, konvert, schwarz
OrgDung	ja, nein
OrgDungArtvorZR	BioGasGärRest, BiogasGülle, Gülle, Mist
OrgDungVorZR	0,1,2
RsHist	ja, nein
RsVorA	0-5a=1, 5-10a=2, 10-15a=3, 15-20a=4, >20a=5
Saat	D, kK, kS, m1K, m1S, m2K, m2S; D=Direktsaat; k=konventionell, m1=Mulchsaat, wenig Mulch; m2=Mulchsaat, viel Mulch; K=Kreiselegge; S=Saatbettkombi
Saatbett	Kreiselegge, Saatbettkombi, Direkt

---

Fortsetzung Tabelle 15: Teilprojekt 4- Ausprägungen der Variablen

<b>Variable</b>	<b>Ausprägungen</b>
Saatverfahren	konventionell=1, mulch1 (wenig Mulch)=2, mulch2 (viel Mulch)=3, direkt=4
StrohArtVorZR	WW, WG, KM, Dinkel, Zwiebel
StrohVorZR	ja, nein
ZfArtVorZR	Senf, Erbsen, Mischung
ZFvorZR	ja, nein
ZrTol	nichtTol=1, teilTol=2, Tol=3