

Etablierung einer Alternativmaßnahme zum Einsatz umweltgefährdender Kupferpräparate zur Bekämpfung des Bakterienbrandes an Süßkirschen im ökologischen Obstbau



Abschlussbericht

an die Deutsche Bundestiftung Umwelt

Berlin, im Juli 2024

Bewilligungsempfänger:

Humboldt-Universität zu Berlin

Dr. Katrin Salomo

Abteilungsleitern Servicezentrum Forschung

Unter den Linden 6, 10099 Berlin

Tel.: (030) 2093-12902

E-Mail: katrin.salomo@uv.hu-berlin.de

Kooperationspartner:

- BB Brandenburger Obst GmbH, Ansprechpartner: Lutz Günzel
- Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LELF)
Abteilung 3, Pflanzenschutzdienst, Ansprechpartnerin: Dr. Antje Balasus
- Trifolio-M GmbH, Ansprechpartnerin: Dr. Sophie Hermann

Projektbeginn: 10. Mai 2020

Laufzeit: 3 Jahre (verlängert bis 9. April 2024)

Berlin, 2024

INHALT

Zusammenfassung.....	4
Bericht.....	5
1. Einführung: Anlass und Zielsetzung des Projektes.....	5
2. Datenerhebung und Versuchsergebnisse.....	5
2.1 Freilandversuche in Obstplantagen.....	7
2.2 Gewächshausversuche.....	14
2.3 Literaturrecherchen.....	20
2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	21
3. Projektergebnisse.....	24
3.1 Düngungsempfehlungen für die Obstbaupraxis (Zusammenfassung).....	25
3.2 Empfehlungen für das angewandte Versuchswesen (Zusammenfassung).....	26
4. Öffentlichkeitsarbeit/Veröffentlichungen/Vorträge.....	27
5. Fazit und Ausblick.....	27
6. Danksagung.....	28
7. Literatur.....	29

ZUSAMMENFASSUNG

Das Vorhaben zielte auf die Entwicklung von umweltfreundlichen und effektiven Behandlungsmethoden zur Bekämpfung von Bakterienbrand (ausgelöst durch das Schadbakterium *Pseudomonas syringae*) im Anbau von Süßkirschen. Hierzu wurden zunächst zwei Ansätze verfolgt: zum einen Blattapplikationen mit dem Pflanzenhormons Auxin („Auxin-Ansatz“), zum anderen Untersuchungen zum Potential einer ausgewogenen Düngung zur Eindämmung von Bakterienbrand (Düngung-Ansatz“). Der methodische Fokus des Projektes lag auf der Durchführung einer Reihe von Gewächshaus- und Freilandversuchen an Süßkirschen.

Einen überzeugenden Effekt einer Auxin-Behandlung auf die Eindämmung von Bakterienbrand konnten wir im Rahmen dieses Projektes nicht nachweisen. Nach dem 2. Projektjahr wurde der „Auxin-Ansatz“ daher nicht weiterverfolgt.

Aus den Versuchen zum „Nährstoffansatz“ ergeben sich u.a. Hinweise auf eine besondere Bedeutung der Stickstoff-, Schwefel-, und Kupferversorgung der Süßkirschen im Zusammenhang mit *P. syringae*-Krankheiten. Trotz teilweise uneindeutiger Ergebnisse auch bei diesem Ansatz halten wir es für unbedingt erforderlich, die Düngung als Teil eines Gesamtkonzeptes zur Eindämmung von Bakterienbrand auch in Zukunft weiterzuerfolgen. Dies gilt umso mehr, als dass auch andere Stressfaktoren (Spätfröste, Hitze- und Dürreperioden) durch den Klimawandel zunehmen, und eine ausgewogene bzw. bedarfsgerechte Düngung förderlich auf die Stressresistenz der Bäume im Allgemeinen wirkt. Zum anderen ist durch den Nährstoffversorgungszustand des Baumes vor allem ein langfristiger und systemisch hemmender Effekt auf den Aufbau von Schaderregerpopulationen zu vermuten. Der „Nährstoff-Ansatz“ kann jedoch nur wirksam sein, wenn andere Aspekte der Kulturführung wie Sorten- und Standortwahl sowie Baumschnitt ebenfalls Berücksichtigung finden.

Aufbauend auf eigenen Datenerhebungen, intensiven Literaturrecherchen und fachlichem Austausch mit Vertretern der Obstbaupraxis wurden Düngungsempfehlungen erarbeitet. Aus dem Projekt gehen zwei Broschüren hervor: Eine erste mit konkreten Düngungsempfehlungen, eine zweite mit Empfehlungen für das angewandte Versuchswesen zu Aspekten der Düngung, die bis zur Praxisreife noch weiterer Untersuchungen bedürfen.

BERICHT

1. Einführung: Anlass und Zielsetzung des Projektes

Die Produktion von Süßkirschen in Deutschland und der Welt ist im erheblichen Maße durch den bakteriellen Krankheitserreger *Pseudomonas* (*Pseudomonas syringae* pv. *morsprunorum*, *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*) gefährdet, welcher für den Bakterienbrand an Kirschbäumen (*Prunus avium*) verantwortlich zeichnet. Diese Bakteriose kann massive Schäden an den Blättern und Früchten des Baumes verursachen, einhergehend mit erheblichen Ertragseinbußen und qualitativen Mängeln der Früchte (Abb.1).



Abb. 1: Ökonomisch relevante Schäden durch *Pseudomonas syringae* an Süßkirschen. Links: Unverkäufliche Ernteprodukte durch Läsionen an den Früchten und Fruchtsielen („Stielbräune“); Mitte: Ernteverluste durch abgestorbene Blütenstände; rechts: Absterben des Baumes. (Quelle: Soethe et al. 2024)

Zur Bekämpfung von *Pseudomonas syringae* im Obstbau sind in Deutschland lediglich Kupferpräparate zugelassen, jedoch ist deren langfristiger Einsatz umstritten (<https://wissen.juliuskuehn.de/kupfer/>). Gerade für ökologisch wirtschaftende Betriebe ist die Möglichkeit zur Anwendung von Kupferpräparaten existentiell, im Steinobst z.B. auch für die Bekämpfung pilzlicher Erreger wie *Valsa leucostoma* oder *Monilia ssp.*. Als Schwermetall kann Kupfer bei einer langfristigen und übermäßigen Anwendung zu Problemen führen, z.B. indem es phytotoxisch wirkt oder auch die Bodenfauna (z.B. Regenwürmer) beeinträchtigt (Felgentreu et al., 2017).

Dieses Vorhaben zielte auf die Entwicklung von umweltfreundlichen und effektiven Behandlungsmethoden zur Bekämpfung von Bakterienbränden im Anbau von Süßkirschen. Zum einen sollte das Wachstum des Schadbakteriums im Pflanzengewebe durch die Applikation des Pflanzenhormons Auxin eingedämmt werden („Auxin-Ansatz“). Zum anderen sollte die Wirksamkeit einer ausgewogenen Düngung auf die Pflanzengesundheit untersucht und hieraus Düngungsempfehlungen zur Eindämmung von Bakterienbrand erarbeitet werden („Nährstoff-Ansatz“).

2. Datenerhebung und Versuchsergebnisse

Sowohl für den „Auxin-Ansatz“ als auch für den „Nährstoff-Ansatz“ erfolgte die Datenerhebung durch experimentelle Ansätze im Gewächshaus und in einer Süßkirsch-Anlage unseres

Partnerbetriebes BB Obst GmbH in Wesendahl (Brandenburg). Für den „Nährstoff-Ansatz“ erfolgte zusätzliche Datenerhebung auf insgesamt neun Süßkirsch-Anlagen in Norddeutschland, davon sechs Standorte in Brandenburg (vier im „Raum Werder“ und zwei „östlich von Berlin“) und drei Standorte im Alten Land bei Hamburg. Die Standorte umfassten sieben Praxisbetriebe, das Obstbauzentrum Jork (Esteburg) und die Obstbauversuchsstation (OBVS) in Müncheberg (Abb. 2). In Tabelle 1 sind alle in diesem Projekt durchgeführten und abgeschlossenen Versuche aufgelistet. Im Folgenden werden diese kurz erläutert und ausgewählte Versuchsergebnisse dargestellt.

Tab. 1: Übersicht über die im Rahmen des Projektes durchgeführten Versuche zum Einfluss verschiedener Faktoren auf das Ausmaß von Bakterienbrand. (Die fettgedruckten Versuchsnummern in der letzten Spalte geben die Versuchsnummer gemäß Tabelle 6 zum Nährstoffansatz an.)

Zeitraum	Versuchsort	Ansatz	Pflanzenmaterial	Getestete Faktoren
Frühjahr 2021	Gewächshaus	Auxin & Nährstoff	Getopfte <i>Prunus avium</i> -Sämlinge	2-faktoriell: je 1 Nährstoffmangel (N, P, K, Ca, Mg bzw. S) mit/ohne Auxin-Behandlung (Versuch 4)
Frühjahr 2021	Freiland (Müncheberg)	Auxin	Süßkirsch-Anlagen ¹	Blattbehandlungen mit Auxin (NAA) ⁴ und Blossom Protect TM
Frühjahr 2021	Freiland (Wesendahl)	Auxin	Süßkirsch-Anlagen ¹	Ausmaß Bakterienbrand mit/ohne Blattbehandlung durch auxinhaltiges Algenextrakt ²
Frühjahr / Sommer 2021	Freiland (9 Standorte)	Nährstoff	Süßkirsch-Anlagen ¹	Korrelationen zwischen Nährstoffversorgung und Ausmaß Bakterienbrand (Versuch 1)
Frühjahr 2022	Gewächshaus	Nährstoff	Getopfte <i>Prunus avium</i> -Sämlinge	1.) (1-faktoriell) 11 Düngungsvarianten (Versuch 5) 2.) (2-faktoriell) 9 Düngungsvarianten mit/ohne Botector-Behandlung ³ (Versuch 6)
Frühjahr 2022	Freiland (Wesendahl)	Auxin & Nährstoff	Süßkirsch-Anlagen ¹	Blattbehandlungen mit Auxin (NAA) ⁴ , verschiedenen Blattdüngern (Versuche 2&3) und Botector ³
Frühjahr 2023	Gewächshaus	<u>Nährstoff</u>	Getopfte <i>Prunus avium</i> -Sämlinge	Versuch 1 und 2 (2-faktoriell): 4 Schwefeldüngungsstufen*3 Stickstoffdüngungsstufen (Versuche 7&8)

¹ verschiedene Sorten auf GiSeLA 5

² Kelpgrow (Biostimulanz der Biolchim Deutschland GmbH)

³ Untersuchungen zum biologischen Pflanzenschutzmittel Botector erfolgte begleitend zum DBU-Projekt in Kooperation mit der Firma Bio-ferm GmbH (jetzt SAN Agrow Holding)

⁴ NAA= 1-Naphthylelessigsäure

2.1 Freilandversuche in Obstplantagen

2.1.1 Beziehung zwischen Befallsituation und Nährstoffversorgung bzw. Bodeneigenschaften (Freiland 2021, „Nährstoff-Ansatz“)

Freilanduntersuchungen fanden in Brandenburg sowie im Alten Land bei Hamburg statt: auf insgesamt sieben Praxisbetrieben, auf der Obstbauversuchsstation Müncheberg und im Obstbauzentrum Jork. Im Fokus standen die häufig angebaute Süßkirschsorten Kordia und Regina sowie einige besonders stark bzw. stärker befallene Sorten (Grace Star, Aida, Sylvia, Bellise).

Tabelle 2: Korrelationen zwischen Blatt-Nährstoffverhältnissen und der Baumgesundheit (= Anteil symptomfreier Triebe) in Süßkirsch-Anlagen im Alten Land (Sorten Kordia, Regina, Aida und Bellise) Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten nach Pearson (rot = negativ; grün = positiv). Farblich unterlegte Felder heben signifikante Korrelationen hervor (hell: Signifikanzniveau von 0,05; dunkel: Signifikanzniveau von 0,01).

	Nährstoff-Gehalt	/N	/P	/K	/Ca	/Mg	/S	/Fe	/Zn	/Mn	/Cu
N	0,21		-0,40	-0,27	-0,60	-0,71	-0,80	-0,47	-0,81	-0,41	-0,14
P	0,58	0,41		0,02	-0,56	-0,80	-0,82	-0,04	-0,75	-0,39	0,26
K	0,35	0,28	-0,09		-0,42	-0,59	-0,62	-0,10	-0,83	-0,37	0,13
Ca	0,73	0,70	0,63	0,48		-0,22	-0,34	0,50	-0,66	-0,28	0,68
Mg	0,89	0,81	0,85	0,58	0,16		-0,26	0,78	-0,64	-0,28	0,72
S	0,93	0,85	0,85	0,64	0,32	0,22		0,84	-0,61	-0,25	0,80
Fe	0,65	0,47	0,09	0,06	-0,45	-0,70	-0,81		-0,74	-0,39	0,26
Zn	0,92	0,91	0,84	0,90	0,63	0,74	0,69	0,86		0,17	0,87
Mn	0,71	0,67	0,59	0,52	0,37	0,33	0,30	0,64	-0,35		0,66
Cu	0,22	0,12	-0,25	-0,17	-0,57	-0,61	-0,74	-0,27	-0,77	-0,40	

Tabelle 3: Korrelationen zwischen Blatt-Nährstoffverhältnissen und der Baumgesundheit (= Anteil symptomfreier Triebe) in Süßkirsch-Anlagen im Raum Werder (Brandenburg) (Sorten Kordia, Regina, Grace Star und Sylvia) Dargestellt sind Korrelationskoeffizienten nach Pearson (rot = negativ; grün = positiv). Farblich unterlegte Felder heben signifikante Korrelationen hervor (hell: Signifikanzniveau von 0,05; dunkel: Signifikanzniveau von 0,01).

	Nährstoff-Gehalt	/N	/P	/K	/Ca	/Mg	/S	/Fe	/Zn	/Mn	/Cu
N	-0,32		-0,04	0,01	0,11	-0,15	-0,67	0,22	0,13	-0,51	0,18
P	-0,12	0,10		0,11	0,20	-0,27	-0,28	0,19	0,17	-0,48	0,20
K	-0,16	0,06	-0,09		0,16	-0,36	-0,31	0,15	0,13	-0,48	0,14
Ca	-0,15	-0,01	-0,17	-0,09		-0,33	-0,24	0,03	0,03	-0,47	0,05
Mg	0,04	0,21	0,27	0,35	0,34		-0,16	0,31	0,23	-0,42	0,27
S	0,31	0,67	0,31	0,33	0,28	0,18		0,54	0,43	-0,31	0,59
Fe	-0,42	-0,18	-0,16	-0,09	0,04	-0,26	-0,55		0,04	-0,54	0,02
Zn	-0,25	-0,13	-0,15	-0,12	0,00	-0,20	-0,40	-0,03		-0,55	-0,04
Mn	0,28	0,45	0,35	0,37	0,30	0,21	0,22	0,49	0,55		0,56
Cu	-0,39	-0,21	-0,16	-0,10	0,04	-0,23	-0,61	-0,03	0,01	-0,58	

Korrelationen zwischen der Stärke der Baumgesundheit (= Anteil symptomfreier Triebe) und der Blatt-Nährstoffgehalte (Juni 2021) wurden für die Regionen Werder (4 Betriebe, 10 Bestände) und Altes Land (3 Betriebe, 8 Bestände) getrennt untersucht. Während Korrelationen mit absoluten Nährstoffgehalten sehr widersprüchliche Ergebnisse zwischen den Regionen brach-

ten, wurden die Zusammenhänge bei Korrelationen der Baumgesundheit mit einzelnen Nährstoffverhältnissen konsistenter (Tabellen 2 & 3). Besonders augenfällig sind positiven Korrelationen der Baumgesundheit mit den S/N-, S/Fe- und S/Cu-Verhältnissen in beiden Regionen, d.h. je mehr Schwefel im Vergleich zu Stickstoff, Eisen bzw. Kupfer, desto gesünder die Bäume (zu S/N-Verhältnissen siehe auch Abb. 2).

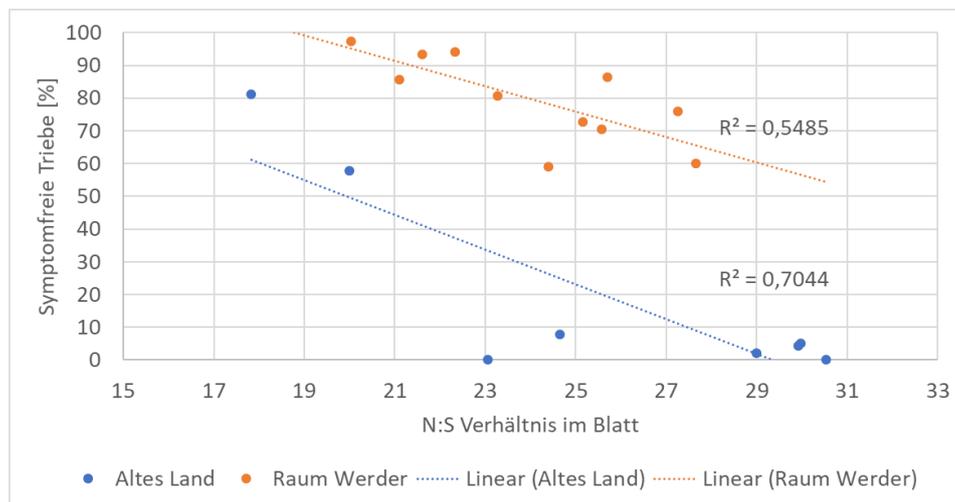


Abb. 2: Einfluss des N/S-Verhältnisses im Blattgewebe auf das Ausmaß der Bakterienbrand-Symptomatik an Süßkirschen in zwei verschiedenen Regionen (Altes Land = 3 Betriebe; Raum Werder = 4 Betriebe). (Jeder Punkt repräsentiert den Mittelwert von 3x8 Bäumen in je einer Baumreihe einer ausgewählten Süßkirschsorte. Alle Sorten wurden berücksichtigt, 2-3 Sorten je Betrieb)

Bezüglich des Zusammenhanges zwischen Humusgehalt und Baumgesundheit ergab sich kein eindeutiges Bild (Daten nicht gezeigt). In den sandigen Böden Brandenburgs (Raum Werder) lagen die Gehalte an der organischen Bodensubstanz (OBS) im Oberboden im Bereich von 2-3 %. Hier zeigte sich ein Trend zunehmender Baumgesundheit mit steigendem OBS-Gehalt. Im Alten Land mit tonigen Böden und höheren OBS-Gehalten (zwischen 5.5-8 %) war die Beziehung entgegengesetzt. Dies macht deutlich, dass ein optimales Humusmanagement stark abhängig von den Bodeneigenschaften ist. Die Baumgesundheit korrelierte in beiden Regionen signifikant negativ mit dem pH-Wert des Bodens (Abb. 3). Besonders deutlich war dieser Effekt in den Brandenburger Sandböden. Eine mögliche Erklärung hierfür ist die Festlegung einzelner Mikronährstoffe (z.B. Zink, Eisen, Mangan) bei höheren pH-Werten.

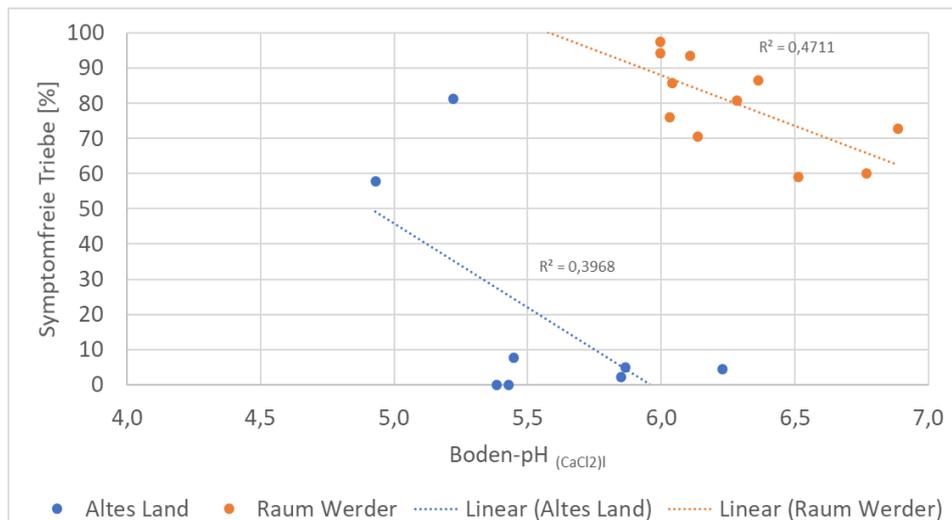


Abb. 3: Einfluss des pH-Wertes des Bodens auf das Ausmaß der Bakterienbrand-Symptomatik an Süßkirschen in zwei verschiedenen Regionen (Altes Land=3 Betriebe; Raum Werder = 4 Betriebe). (Jeder Punkt repräsentiert den Mittelwert von 3x8 Bäumen in je einer Baumreihe einer ausgewählten Süßkirschsorte. Alle Sorten wurden berücksichtigt, 2-3 Sorten je Betrieb.)

2.1.2 Blattbehandlungsversuch in Müncheberg (Frühjahr 2021) („Auxin-Ansatz“)

Die erste Applikation einer Auxinlösung in einer Süßkirschanlage erfolgte am 23. April 2021 in der Obstversuchsstation Müncheberg in Kooperation mit dem technischen Leiter. Neben einer nicht behandelten Kontrolle wurde zum Vergleich auch eine Behandlung mit einem Kupferpräparat („Funguran progress“) und eine weitere Behandlung mit dem biologischen Pflanzenschutzmittel „Blossom Protect TM“ durchgeführt. Bei der Ausbringungsmenge bzw. Konzentration des Auxins orientierten wir uns an einem Wachstumsregler („Fixor 100 SL“), der ebenfalls auf dem Wirkstoff Auxin basiert. Die Konzentration des Auxins 1-Naphthyl-Essigsäure (NAA) in unserer Ausbringungslösung war 50 µM. Zum Vergleich: Fixor 100 SL wird mit einer NAA-Konzentration von etwa 80 µM ausgebracht.

Eine Bonitur der Befallsstärke erfolgte am 21.5.2021 an den Sorten „Kordia“ und „Satin“. Hierbei zeigte sich durch die Auxin-Behandlung die Tendenz eines etwas geringeren Befalls bei „Kordia“ und eines etwas stärkeren Befalls bei „Satin“ (Abb. 4). Es sei betont, dass dieser Versuch lediglich als Demonstrationsversuch anzusehen ist, da es sich bei dieser Anlage eigentlich um einen Sortenversuch handelt, und eine statistische Auswertung nicht möglich war. Mit entsprechender Vorsicht sind auch die Ergebnisse zu interpretieren.

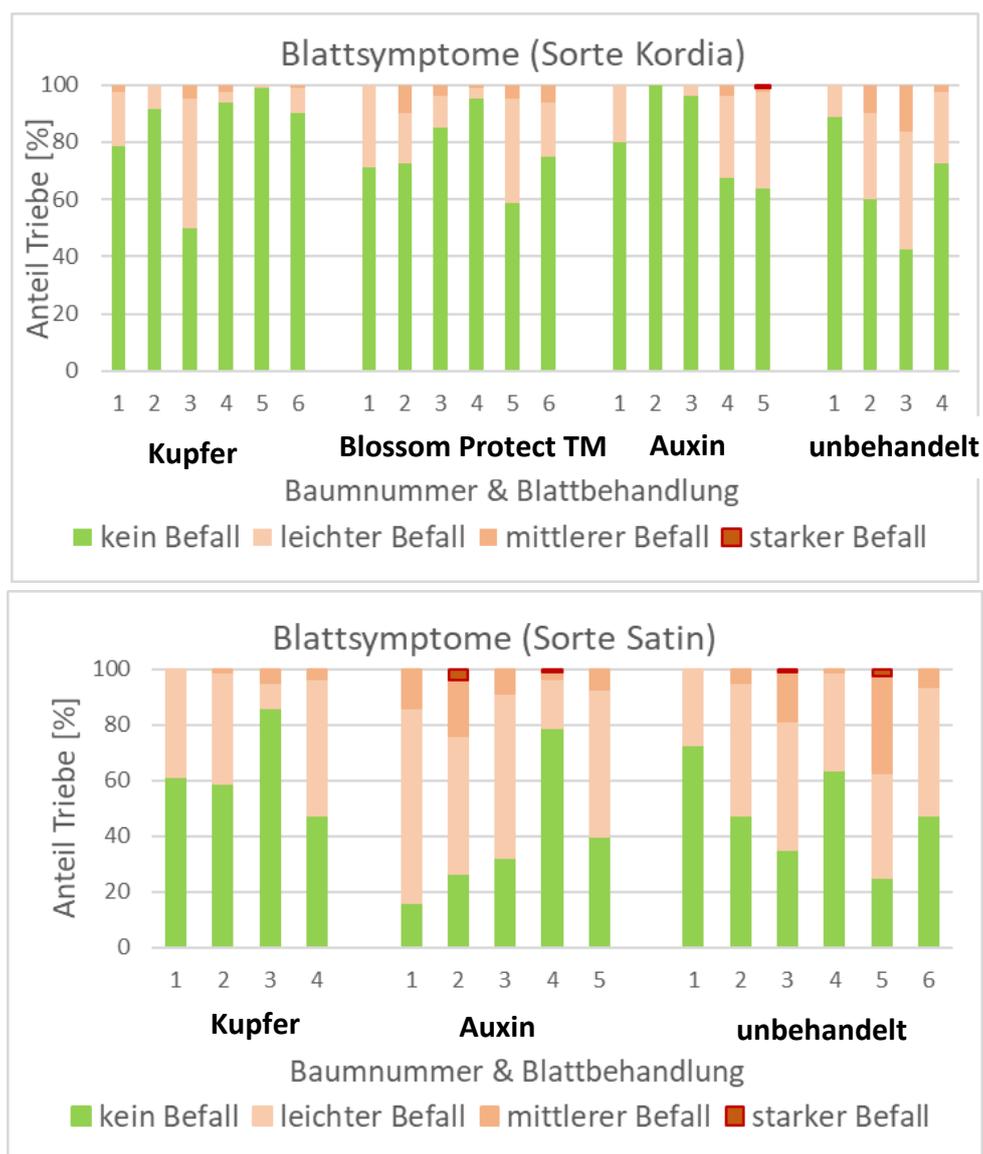


Abb. 4: Einfluss unterschiedlicher Blattbehandlungen auf das Ausmaß der Bakterienbrand-Symptomatik bei der Süßkirschsorte „Kordia“ (oben) bzw. „Satin“ (unten). Jede Nummer repräsentiert einen Baum.

2.1.3 Blattbehandlungsversuch in Wesendahl (Frühjahr 2021) („Auxin-Ansatz“)

Da das Projekt darauf abzielte, Behandlungsmethoden von Bakterienbrand auch für den ökologischen Landbau zu entwickeln, entschieden wir uns, für einen ersten Freilandansatz in der BB Obst GmbH ein stark auxinhaltiges Algenextrakt („Kelpgrow“ der Firma Biolchim Deutschland GmbH) zu verwenden, das in der EU für den ökologischen Landbau zugelassen ist. Es erfolgten drei Applikation während der Entwicklung der Blattriebe (14.5., 28.5. und 11.6.21). Insgesamt wurden 20 Einzelbäume der Sorte Kordia pro Termin mit je 1,5 ml Kelpgrow behandelt. Als Vergleichsgruppe dienten 20 unbehandelte Einzelbäume der gleichen Sorte. Eine Bonitur der Schadbefalls erfolgte am 11.6. 21 an je 7 markierten Blattrieben pro Baum und am 2. Juli 2021

Sowohl die erste als auch eine zweite Bonitur des Bakterienbrand-Befalls zeigte keinen hemmenden Einfluss des auxinhaltigen Algenextrakts „Kelpgrow“. Zu beiden Zeitpunkten unterschied sich der Anteil an Blattrieben unterschiedlicher Befallskategorien nicht zwischen den

behandelten und unbehandelten Bäumen. Hier werden lediglich die Ergebnisse der ersten Bonitur dargestellt (Abb. 5), da zu diesem Zeitpunkt die Bakterienbrand-Symptome insgesamt noch ausgeprägter waren als zur zweiten.

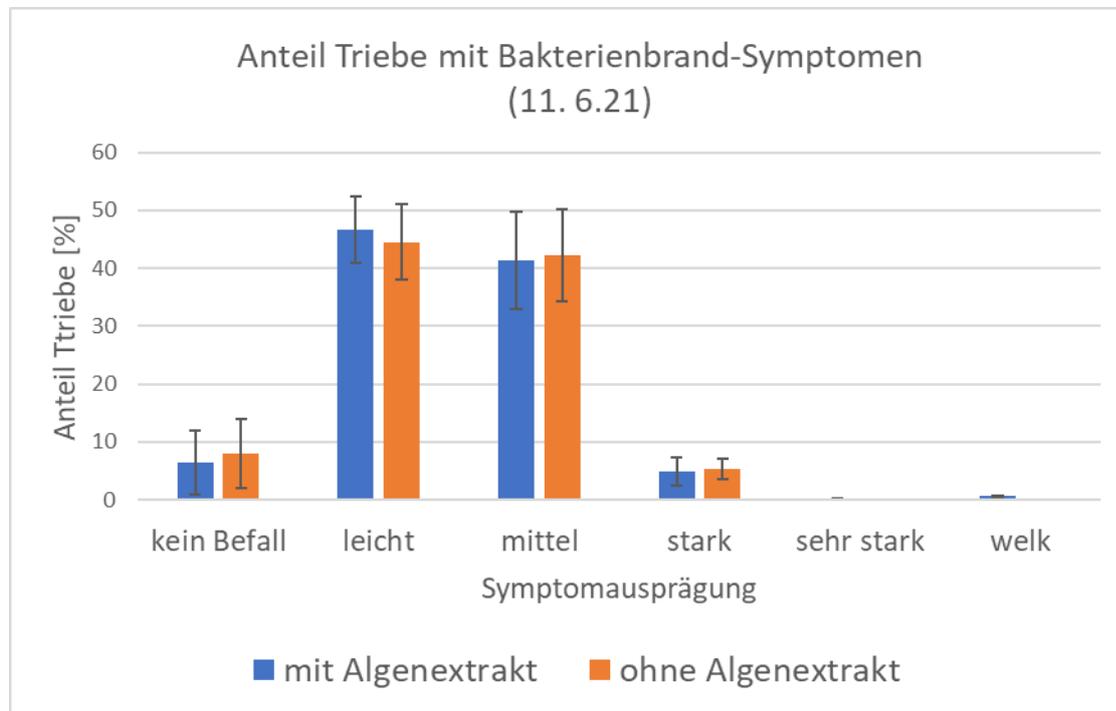


Abb. 5: Einfluss von Blattbehandlung mit dem auxinhaltigen Algenextrakt Kelpgrow auf das Ausmaß des Bakterienbrandes auf jungen Blatttrieben. (Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichung; $n = 18$) Diese erste Boniturung erfolgte nach 2maliger Behandlung Mitte Juni an 7 ausgewählten Trieben pro Baum, die zur ersten Behandlung noch symptomfrei gewesen waren.)

2.1.4 Blattbehandlungsversuch in Wesendahl (Frühjahr 2022) (Auxin- und Nährstoffansatz“)

In enger Zusammenarbeit mit dem Pflanzenschutzdienst des LELF wurde im Frühjahr 2022 ein umfangreiches Blattbehandlungsexperiment auf unserem Partnerbetrieb BB Obst GmbH in Wesendahl durchgeführt. Hierbei sollte sowohl der Einfluss einer Auxin-Behandlung als auch ausgewählter Blattdünger auf den Befallsdruck durch Bakterienbrand gemessen werden. Dieser Versuch wurde auch die BioFerm GmbH (jetzt SAN Agrow) unterstützt und umfasste Untersuchungen zum biologischen Pflanzenschutzmittel Botector (Wirkorganismus: *Aureobasidium pullulans*). In drei getrennten Experimenten (in Pflanzungen der Süßkirschsorte Kordia, Korvic bzw. Grace Star) wurde eine Auswahl folgender Varianten in einem randomisierten Block-Design getestet:

1. Unbehandelte Variante
2. Kupferpräparat Funguran progress (2,2 g/l; 1x gemäß gängiger Praxis)
3. Auxin-Variante (2x 50 μ M α -Naphthyllessigsäure)
4. Calcium-Variante (1x YaraVita Stopit, 20ml/l; 3x Lebosol Calcium Forte, 10 ml/l)
5. Magnesiumsulfat-Variante (3x EPSO Top, 7,5 g/l)

6. Silicium-Variante (3x Yara Vita Actisil, 1,5 ml/l)
7. Botector-Variante (3x Botector (1 g/l) und Buffer Protect (6 g/l))
8. Buffer Protect-Variante (3x Buffer Protect, 6 g/l)



Abb. 6: Student*innen der HU Berlin beim Ausbringen der Blattdünger mittels Rückensprüngerät in der Süßkirschanlage der BB Obst GmbH. Die Ausbringung des Auxins und des Kupferpräparates (als Kontrolle) erfolgte durch einen sachkundigen Mitarbeiter des Pflanzenschutzdienstes Brandenburg. © N. Soethe

Leider ergaben diese doch recht zeitaufwändigen Experimente keine signifikanten Ergebnisse. Teilweise ist dies sicherlich dem sehr geringen Infektionsdruck durch *P. syringae* im Frühjahr 2022 zuzuschreiben, bedingt durch die sehr trockenen Witterungsverhältnisse. Im Folgenden werden hier nur die Ergebnisse der Experimente mit den Sorten Korvik und Kordia vorgestellt (Das „Grace Star-Experiment“ beinhaltet keine Nährstoff- bzw. Auxin-Applikationen.)

An der Süßkirschsorte Korvik konnte eine Bonitur der Bakterienbrand-Symptome aufgrund deren späten Auftretens erst Mitte Juni (4-5 Wochen nach den letzten Teil-Applikationen) stattfinden. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Kontrollen (unbehandelt bzw. Kupfer-Variante) und den Blattdüngungen mit Calcium (Stopit + Lebosol CaFo) bzw. Silicium (YaraVita Actisil) festgestellt werden. Auch eine Behandlung mit dem Pilz „*Aureobasidium pullulans*“ (Botector NT) und eine Säurepuffer (Buffer Protect) zeigte keine Wirkung (Abb. 7).

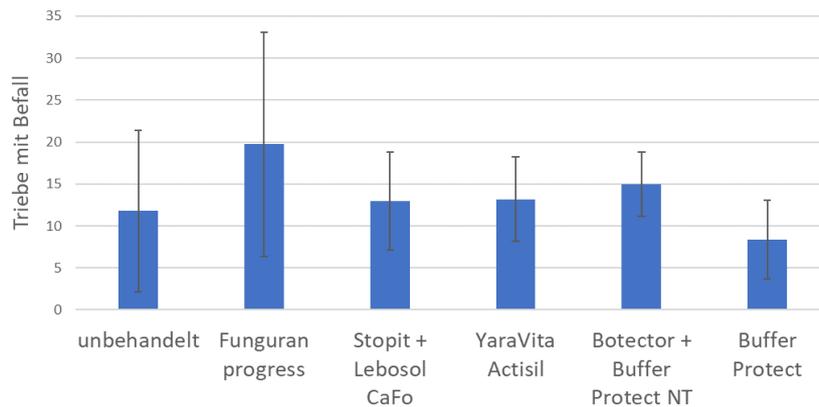


Abb. 7: Einfluss verschiedener Blattdünger und biologischer Pflanzenschutzmittel* auf das Ausmaß des Bakterienbrandes auf einjährigen Trieben der Süßkirschsorte Korvik Mitte Juni. (Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichung; n = 4 Baumgruppen á 6 Bäume); * Die Präparate Botector und Buffer Protect NT wurden projektbegleitend im Rahmen einer Kooperation mit der SAN Agrow Holding getestet.

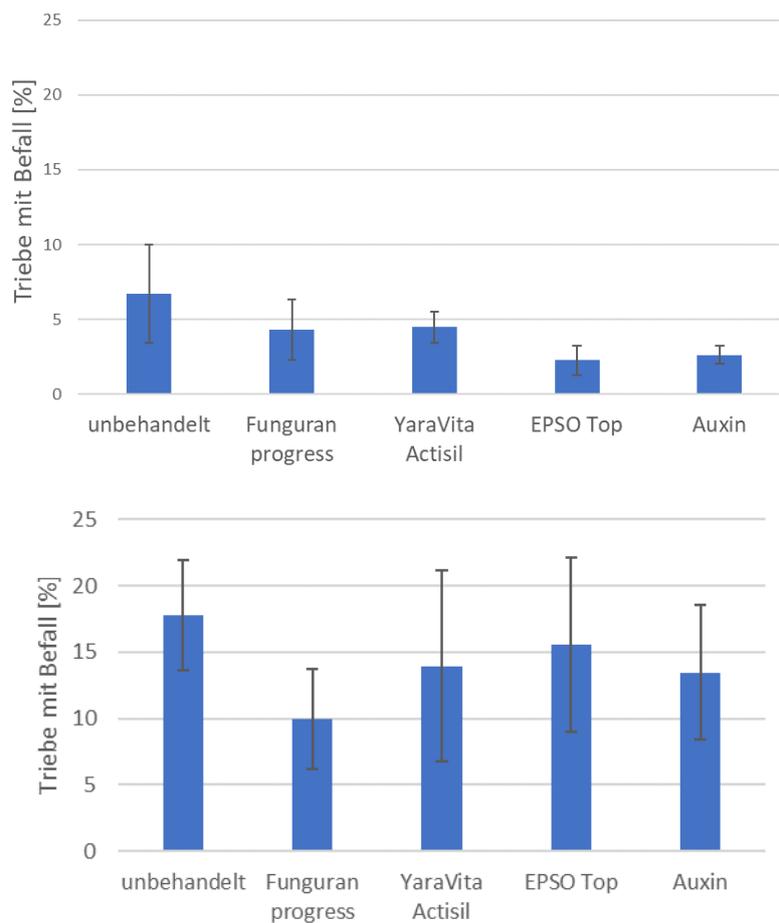


Abb. 8: Einfluss verschiedener Blattdünger und einer Auxin-Behandlung auf das Ausmaß des Bakterienbrandes auf einjährigen Trieben der Süßkirschsorte Kordia Ende Mai 2022 (oben) und Ende Juni 2022 (unten). (Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichung; n = 4 Baumgruppen á 6 Bäume)

Die Sorte Kordia wurde erstmalig Ende Mai und ein zweites Mal am 21. Juni bonitiert. Der Befall der Blätter an einjährigen Trieben stieg in dieser Zeit deutlich an (vergleiche Abb. 8 oben und unten). An beiden Terminen waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen zu verzeichnen. Ende Mai zeigte sich eine leichte Tendenz eines reduzierten Befalls nach einer Blattdüngung mit Magnesiumsulfat (EPSO Top, zwei Wochen nach letzter Applikation) bzw. einer Auxin-Behandlung (3 Wochen nach letzter Applikation) (Abb. 8 oben). Sollte der reduzierte Befall dieser Varianten wirklich auf die Behandlungen zurückzuführen sein, so wäre ihre Wirkung drei Wochen später nicht mehr nachzuweisen gewesen (Abb. 8 unten).

2.1.5 Düngungsversuch „Schwefellinsen“ (seit 2022, „Nährstoff-Ansatz“)

Zusätzlich initiierten wir im Frühjahr 2022 in vier der Brandenburger Anlagen einen Düngungsversuch mit Schwefellinsen der Firma OmniCult (elementarer Schwefel als Bodendünger, auch im ökologischen Landbau zugelassen). Jährlich wurden im Frühjahr bislang 50 g Schwefellinsen pro Baum in ausgewählte Baumgruppen 1-2 cm tief in den Boden eingearbeitet, um langfristig Blattschwefelgehalte, Baumgesundheit und ausgewählte Bodenparameter zu erfassen. Im August des 2. Versuchsjahres 2023 konnte über Blattanalysen noch kein Düngungseffekt nachgewiesen werden. In Absprache mit den Betriebsleitern wird dieser Ansatz auch in den Folgejahren weitergeführt.



Abb. 9: Schwefellinsen © N. Soethe

2.2 Gewächshausversuche

2.2.1 Einfluss von Auxin-Behandlungen und der Versorgung ausgewählter Makronährstoffe auf den Befall mit Bakterienbrand (Frühjahr 2021)

Nachdem in Vorversuchen weder an abgetrennten Fliederblättern noch an Gartenbohnen die Wirksamkeit von Auxin zur Eindämmung von *P. syringae* nachgewiesen werden konnte (Daten nicht gezeigt), wurde im Januar 2021 ein erster Gefäßversuch mit Süßkirschen angesetzt, um die Interaktionen der pflanzlichen Nährstoffversorgung mit einer Auxin-Behandlung der Jungpflanzen zu untersuchen. Je 20 Pflanzen wurden mit je einer Mangelvariante herangezogen (N, P, K, Ca, Mg, S und vollversorgte Kontrolle). Aufgrund des Auftretens von Obstbaumkrebs musste ein Großteil der Pflanzen vernichtet werden. Je Nährstoffmangelvariante wurde die Hälfte aller „übriggebliebenen Pflanzen“ vor bzw. nach der Infizierung insgesamt zweimal mit einer 20 µM konzentrierter Auxinlösung behandelt. Nach der zweiten Auxin-Behandlung wurden 1-3 Blätter oberflächlich mit einer Bakteriensuspension bestrichen (modifiziert nach Gonçalves Fernandes, 2019) und über diese Blätter eine Plastiktüte gestülpt, um durch die Luftfeuchte die Mobilität der Bakterien auf der Blattoberfläche zu erhöhen. Aufgrund ausbleibender Symptomentwicklung an diesen Blättern wurde der Schadbefall nur durch die Anzahl koloniebildender Einheiten (ein Maß für die Bakterienzahlen) im Blattgewebe bestimmt. Diese

zeigten weder einen Einfluss der Auxin-Behandlung, noch war ein deutlicher Einfluss der Nährstoffvariante zu erkennen (Abb. 10). Hierbei ist zu beachten, dass in der Laufzeit des Versuches lediglich in bei den Mangelvarianten „Stickstoff“, „Kalium“ und „Calcium“ deutlich niedrigere Blattgehalte des entsprechenden Nährstoffes erzielt werden konnten, nicht aber bei den Varianten „Phosphor“, „Magnesium“ und „Schwefel“.

Nach Beprobung der infizierten Blätter wurden die Pflanzen noch einmal testweise mit der „pinprick-Methode“ (Cao et al. 2005) infiziert, d.h. direkt unter die Rinde mit Hilfe einer Nadel. Hierzu wurde das Pathovar *P. syringae* pv. *morsprunorum* verwandt. Im Stammgewebe zeigte sich ein deutlicher Trend längerer Bakterienbrand-Läsionen in der Phosphor-Mangelvariante und kleinerer in der Stickstoff-Mangelvariante (Siehe Versuch 4 in Tabelle 6). Während der „Stickstoff-Effekt“ die Bedeutung einer moderaten Stickstoffversorgung für die Baumgesundheit kräftigt (Cao et al., 2005; Reighard et al. 2016), widerspricht der „Phosphor-Effekt“ früheren Studien (Beard & Wormald, 1936; Cao et al., 2011), die gerade unter Phosphormangel nur eine schwache Symptomausprägung im Stamm feststellten. Leider war in diesem Versuch keine Zuordnung von tatsächlicher individueller Nährstoffversorgung der Pflanze und der Symptomausprägung möglich, weil Blatt-Nährstoffgehalte hier noch an Mischproben bestimmt wurden. In darauffolgenden Gewächshausversuchen wurden beide Parameter stets an individuellen Pflanzen bestimmt.

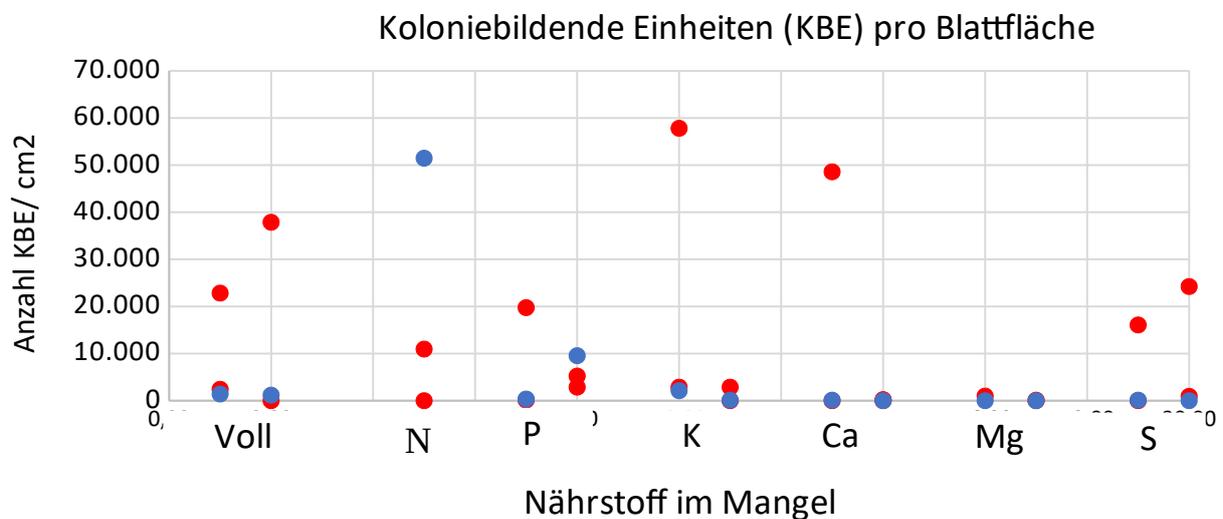


Abb. 10: Einfluss unterschiedlicher Nährstoffmangelvarianten in Interaktion mit einer Auxin-Behandlung auf die Anzahl koloniebildender Einheiten (KBE) von *P. syringae* bei Süßkirschen. Dargestellt sind Einzelwerte von je drei Mischproben (von 1-3 Pflanzen) pro Prüfglied. Rote Punkte: mit Auxin-Behandlung; Blaue Punkte: ohne Auxin-Behandlung; keine Auxin-Behandlung bei N-Mangelvariante.

2.2.2 Einfluss der Versorgung ausgewählter Makronährstoffe auf den Befall mit Bakterienbrand (Nährstoff-Versuche 5 & 6; Frühjahr 2022)

Von Dezember 2021 bis April 2022 zwei neue Gefäßversuche (Versuche 5 & 6 in Tabelle 6) im Gewächshaus des Campus Dahlem durchgeführt. Zweijährige *Prunus avium*-Sämlinge waren im Jahr 2021 im Freiland unter elf verschiedenen Düngungsvarianten herangezogen worden:

Variante 1: Vollversorgung

Varianten 2 - 7: Mangel an Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg) bzw. Schwefel (S)

Varianten 8-10: Überschuss an N, P bzw. K

Variante 11: Überschuss an N, P und K in Kombination mit Ca-Mangel

Die Varianten 8 bis 11 wurden zusätzlich gewählt, da sie unseren Blattanalysen zufolge typische Nährstoffversorgungsmuster aus den Praxisplantagen widerspiegeln.



Abb. 11: Gewächshausexperiment mit getopften *Prunus avium* im Frühjahr 2022. Großes Bild links: Süßkirschen im Folienhaus. Dieses wurde tagsüber geöffnet, um Pilzwachstum zu vermeiden, und abends so oft wie möglich nach Besprühen der Pflanzen mit Wasser geschlossen, um kühlfeuchte Nächte zu simulieren. Rechts oben: Künstlich infiziertes Blatt mit Bakterienbrand-Symptomen; unten: Stammläsion © N. Soethe

Während Versuch 5 alle elf Varianten umfasste, beinhaltete Versuch 6 neben neun Düngungsvarianten einen weiteren Faktor, nämlich eine Blattapplikation mit Botector® der BioFerm GmbH (jetzt SAN Agrow) (siehe Kapitel 2.1.4). Die Quantifizierung der Befallsstärke erfolgte Mitte April bis Anfang Mai in Versuch 5 sowohl visuell als auch durch die Ausplattierung auf ein Nährmedium (Bestimmung Koloniebildender Einheiten), in Versuch 6 lediglich visuell.

In Versuch 6 ergab sich kein signifikanter Einfluss des Nährstoffversorgungsstatus der einzelnen Jungpflanzen auf die Symptomausprägung, und es war nur ein tendenziell hemmender Effekt durch Botector festzustellen (Daten nicht gezeigt.)

Im Versuch 5 fällt das P/Fe-Verhältnis auf, das sowohl mit der Symptomausprägung (Tabelle 4) als auch mit der Bakterienzahl im Blattgewebe (nicht gezeigt) positiv korreliert, d.h. je mehr Phosphor im Vergleich zu Eisen, desto stärker der Befall. Dies ist umso überraschender, als dass die Phosphorversorgung der gesamten Versuchscharge (Mittelwert von 0,1 % TS im Blatt) vergleichen mit Bergmann (1993) sowie Klopp (2021) eher mangelhaft war, die Eisenversorgung mit 70-80 ppm aber im Normbereich lag.

Tabelle 4: Korrelationen zwischen Blatt-Nährstoffverhältnissen und dem Ausmaß von Bakterienbrand-Symptomen auf Blättern (Befallsindex).

	gesamt	/N	/P	/K	/Ca	/Mg	/S	/Fe	/Zn	/Mn	/Cu
gesamt		0,07	0,07	0,12	0,04	0,10	-0,01	-0,09	,143*	-0,04	0,11
N	0,07		-0,01	0,00	0,04	0,00	0,05	0,13	-0,09	0,11	-0,05
P	0,07	0,01		-0,03	0,02	0,01	0,03	,182**	-0,06	0,09	-0,07
K	0,12	0,00	0,03		0,07	0,03	0,08	,157*	-0,07	0,12	-0,04
Ca	0,05	-0,03	-0,03	-0,07		-0,02	0,01	0,10	-0,11	0,10	-0,09
Mg	0,10	-0,01	-0,02	-0,04	0,02		0,04	,149*	-0,11	0,09	-0,08
S	-0,01	-0,05	-0,04	-0,09	-0,03	-0,05		0,04	-,157*	0,08	-0,10
Fe	-0,09	-0,13	-,148*	-,171*	-0,10	-0,12	-0,07		-,173*	0,00	-,138*
Zn	,143*	0,08	0,05	0,05	0,11	0,12	,153*	,173*		,159*	0,00
Mn	-0,04	-0,11	-0,12	-0,13	-0,10	-0,09	-0,10	0,00	-,159*		-,155*
Cu	0,11	0,05	0,07	0,03	0,09	0,08	0,10	,138*	0,00	,155*	

Dargestellt sind Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman. Farblich unterlegte Felder heben signifikante Korrelationen hervor (rot: positiv; grün: negativ; hell: Signifikanzniveau von 0,05; dunkel: Signifikanzniveau von 0,01).

Tabelle 5: Korrelationen zwischen Blatt-Nährstoffverhältnissen und der Länge von „Bakterienbrand-assoziierten“ Läsionen im Stammgewebe.

	gesamt	/N	/P	/K	/Ca	/Mg	/S	/Fe	/Zn	/Mn	/Cu
gesamt		0,130	-0,016	0,080	0,020	-0,103	-0,095	0,073	0,023	0,040	0,073
N	0,130		0,072	0,008	0,050	,149*	,193**	0,007	0,047	-0,012	-0,040
P	-0,016	-0,074		-0,069	-0,053	0,035	0,060	-0,107	-0,033	-0,057	-0,075
K	0,080	-0,008	0,075		0,044	0,110	0,129	-0,025	0,030	0,005	-0,042
Ca	0,020	-0,050	0,061	-0,044		0,132	0,099	-0,067	0,003	-0,046	-0,058
Mg	-0,103	-,153*	-0,018	-0,096	-0,112		0,043	-0,113	-0,034	-0,086	-0,070
S	-0,095	-,174*	-0,044	-0,108	-0,081	-0,009		-0,128	-0,042	-0,080	-0,111
Fe	0,075	-0,009	0,100	0,031	0,067	0,133	0,134		0,033	0,005	-0,030
Zn	0,022	-0,046	0,011	-0,032	-0,003	0,056	0,060	-0,033		-0,034	-0,054
Mn	0,040	0,013	0,061	-0,008	0,046	0,091	0,099	-0,017	0,034		-0,015
Cu	0,072	0,041	0,094	0,047	0,058	0,091	0,134	0,030	0,054	0,015	

Dargestellt sind Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman. Farblich unterlegte Felder heben signifikante Korrelationen hervor (rot: positiv; grün: negativ; hell: Signifikanzniveau von 0,05; dunkel: Signifikanzniveau von 0,01).

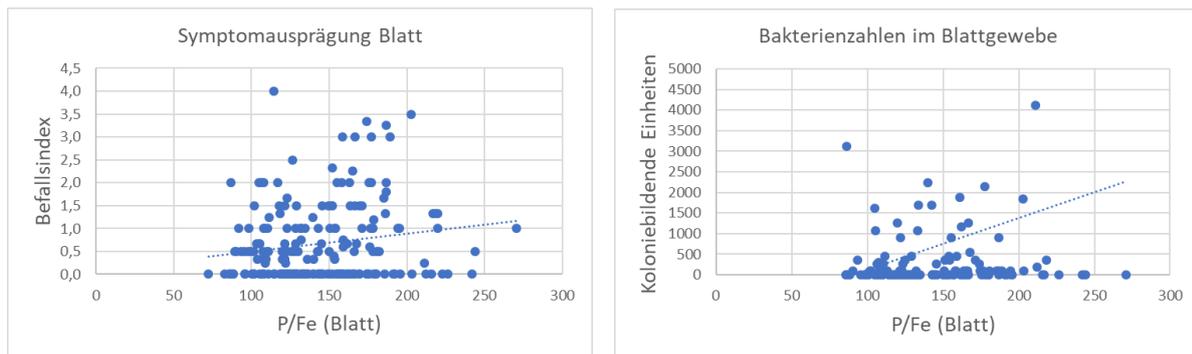


Abb. 12: Korrelationen zwischen dem P/Fe-Verhältnis und dem Ausmaß der Symptomausprägung auf den Blättern (links) bzw. der Bakterienzahlen im Blattgewebe (rechts).

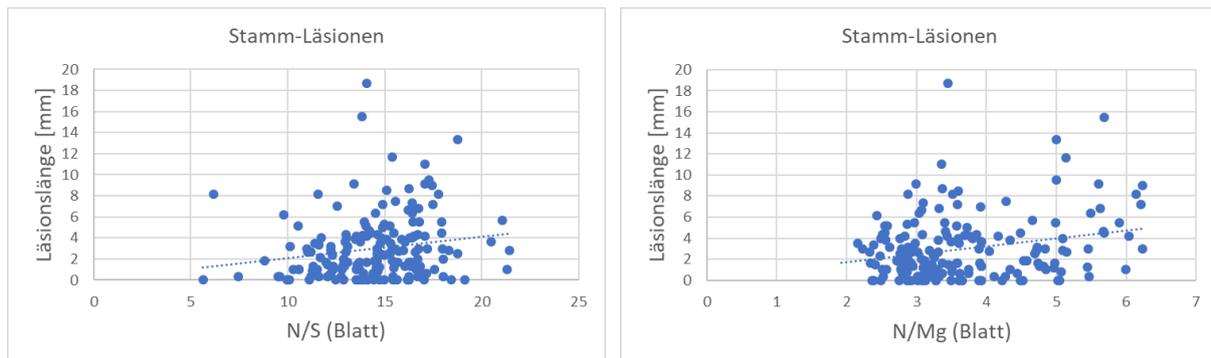


Abb. 13: Korrelationen zwischen dem N/S-Verhältnis (links) bzw. dem N/Mg-Verhältnis (rechts) im Blattgewebe mit der Länge von „Bakterienbrand-assoziierten“ Läsionen im Stammgewebe

2.2.3 Einfluss der Schwefel- und Stickstoffversorgung auf den Befall mit Bakterienbrand (Frühjahr 2023)

Aufbauend auf den Hinweisen aus unseren ersten Freilanduntersuchungen im Jahr 2021 zur Bedeutung der Schwefelversorgung bzw. des Schwefel-Stickstoff-Verhältnisses im Pflanzengewebe (Abb. 2) wurden von Dezember 2022 bis April 2023 zwei Gewächshausversuche durchgeführt. Als Versuchspflanzen waren zweijährige, getopfte Sämlinge von *Prunus avium* im Jahr 2022 im Freiland unter verschiedenen Schwefel- und Stickstoff- Düngungsniveaus herangezogen worden (2-Faktorieller Ansatz). Anders als die Versuchspflanzen des Vorjahres waren diese in Originalsubstrat aus den Obstplantagen (sandig-lehmiger Boden aus Brandenburg, tonhaltiger Boden aus dem Alten Land) gepflanzt worden, um auch mögliche Regionenspezifische Effekte zu identifizieren.

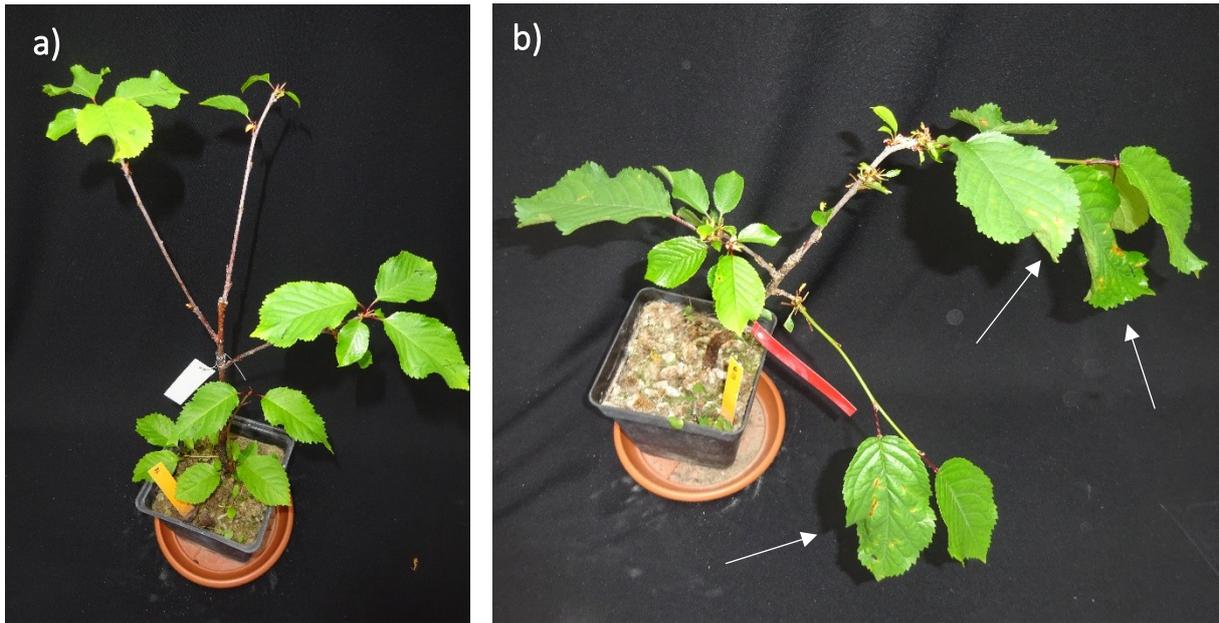


Abb. 14 links: Baum ohne Stickstoffdüngung, ohne Triebwachstum, und ohne Symptome des Bakterienbrandes (a); rechts: Baum mit hoher Stickstoffversorgung, deutlichem Triebwachstum und ausgeprägter Bakterienbrand-Symptomatik (weiße Pfeile).

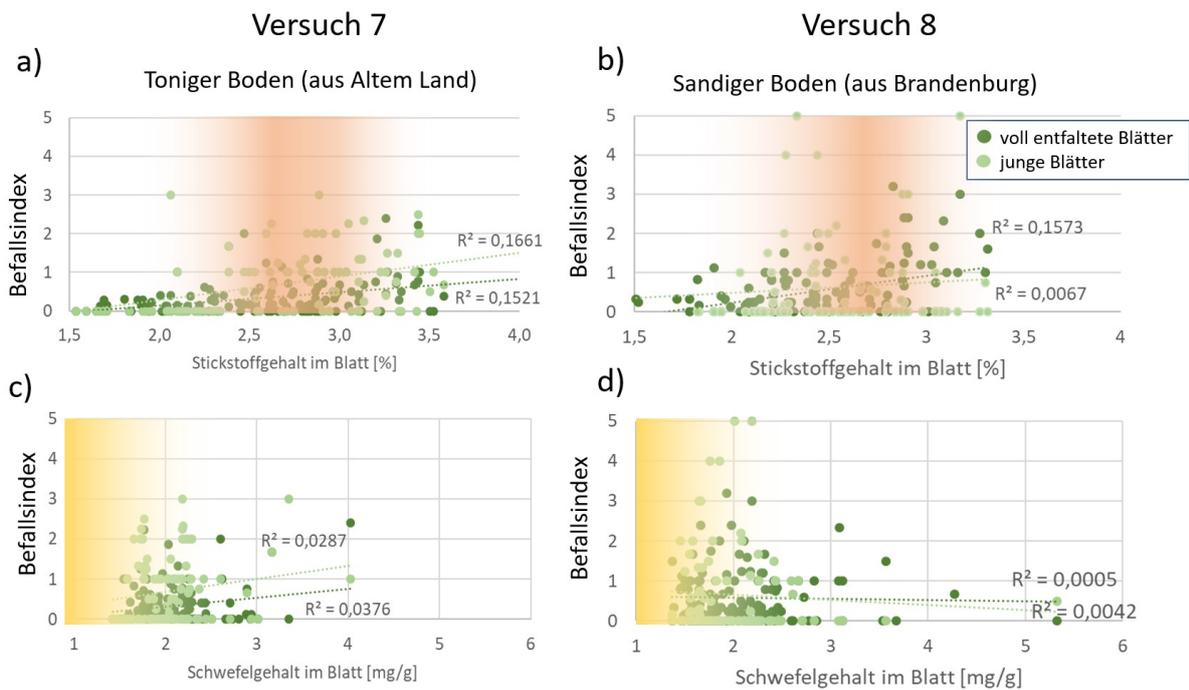


Abb. 15: Korrelationen zwischen Blatt-Nährstoffgehalten und dem Ausmaß von Bakterienbrand-Symptomen in zwei verschiedenen Bodensubstraten. Befalls-Index von 0 = keine Symptome, 5 = deutliche Läsionen auf der gesamten Blattoberfläche;

** = Signifikanzniveau von $p < 0,001$ (Pearson-Korrelation)

Rosa bzw. gelb unterlegte Bereiche = Typische Stickstoff- bzw. Schwefelkonzentrationen in Süßkirschblättern von Obstplantagen.

In beiden Versuchen korrelierte die Symptomausprägung von Bakterienbrand signifikant positiv mit dem Stickstoff-Versorgungsstatus der Versuchspflanzen (15 a & b, Ausnahme: junge Blätter im Versuch 8), d.h., je weniger Stickstoff, desto unversehrter die Kirschblätter. Es bestand offensichtlich ein Zusammenhang mit der Wüchsigkeit der Jungpflanzen während der Infektion: Bei Jungpflanzen mit einem starkem Triebwachstum war die Symptomatik besonders stark ausgeprägt (siehe Abb. 4). Dies spricht für die Förderung eines „ruhigen Baumes“ durch verhaltene Stickstoffdüngung in der Praxis.

In keinem der Experimente war die Symptomausprägung von der Schwefelversorgung abhängig (Abb.15 c & d). Diese Ergebnisse stimmen nicht mit Beobachtungen von Gu et al. (2021) zu *P. syringae* (Kiwikrebs) an Kiwi überein (Tab. 6). Es ist jedoch zu bedenken, dass die Schwefelgehalte im Blattgewebe aufgrund hoher Schwefelgehalte im Gießwasser in diesem Gewächshausexperiment insgesamt wesentlich höher waren als bei von uns untersuchten Freilandbäumen (ca. 0,1-0,15 %).

Gu et al. (2021) identifizierten erhöhte Gehalte an phenolischen Substanzen (z.B. Lignin) als einen Grund für eine schwefelinduzierte Abwehr von Kiwipflanzen gegen Kiwikrebs. Anders als in dieser Studie standen die Phenolgehalte in den Blättern der Süßkirschen in beiden Experimenten zwar in einem engen negativen Zusammenhang mit der Stickstoffversorgung, waren aber komplett unbeeinflusst von der Schwefelversorgung (Daten nicht gezeigt). Allerdings haben wir nur Gesamt-Phenolgehalte bestimmt und konnten nicht zwischen einzelnen Substanzen differenzieren. So ist z.B. ein Einfluss auf den Ligningehalt oder einzelner antimikrobieller Substanzen nicht auszuschließen. Höhere Ligningehalte im Stammgewebe wären eine mögliche Erklärung für kleinere Stamm-Läsionen bei niedrigeren N/S-Gehalten (Tabelle 5), wie wir sie im Gefäßversuch Nr.5 im Frühjahr 2022 beobachten konnten (Infizierungsversuche am Stamm waren von uns aus logistischen Gründen im Frühjahr 2023 nicht durchgeführt worden). Sollten N/S-Verhältnisse bei Süßkirschen (anders als bei der Kiwi) wirklich v.a. im Stammgewebe (und weniger im Blatt) relevant für den Aufbau von Schaderregerpopulationen sein, so wären unsere Ergebnisse im Freilandversuch 1 im Frühjahr 2021 (negative Korrelation zwischen N/S-Gehalten im Blatt und der Baumgesundheit, Kap. 2.1.1) ein Ausdruck für die Bedeutung überdauernder Baumorgane für den langfristigen Aufbau von Schaderregerpopulationen in der Anlage.

2.3 Literaturrecherchen

Die Erarbeitung von neuen, effektiven Behandlungsstrategien von Baumkrankheiten ist stark saisonal gebunden und erfordert eine Langfristigkeit, der im Rahmen von zeitlich befristeten Drittmittelprojekten oft nur schwer begegnet werden kann. Um weitere Empfehlungen für die Praxis liefern zu können, war eine sehr intensive Literaturrecherche eine wichtige Säule unseres 4-jährigen Projektes. Als eine wichtige Grundlage unseres „Nährstoff-Ansatzes“ haben wir alle uns verfügbaren Studien zusammengetragen, die sich mit dem Einfluss von Nährstoffen auf *Pseudomonas syringae*-Krankheiten beschäftigen und die Relevanz dieser Erkenntnisse speziell für die Eindämmung von *Pseudomonas syringae*-Krankheiten an Bäumen diskutiert. Ein hieraus hervorgegangener Review-Artikel ist im Frühjahr 2024 im „Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences“ erschienen (Soethe et al., 2024).

Dies sind wichtige Kernaussagen des Review-Artikels:

- Die Anzahl an Studien, die den Einfluss der pflanzlichen Nährstoffversorgung auf das Ausmaß von *P. syringae* (*Ps*)-Krankheiten bei Bäumen untersucht haben, ist insgesamt überschaubar. Die älteren Studien beziehen sich auf Steinobst (die früheste, uns verfügbare Studie stammt aus dem Jahr 1936) und belegen Zusammenhänge der pflanzlichen Baumgesundheit mit allen Makronährstoffelementen bis auf Schwefel festgestellt (Tab. 6) was der Tatsache geschuldet ist, dass die Schwefelversorgung von Obstbäumen lange Zeit wenig Aufmerksamkeit erfuhr. Die Ergebnisse der Steinobst-Studien sind teilweise widersprüchlich, was u.a. darauf hinweist, dass Interaktionen zwischen Nährstoffen und *Ps*-Krankheiten sehr kontextabhängig sind. Neue Studien zu Kiwikrebs belegen die Bedeutung einer guten Schwefelversorgung für die Eindämmung dieser *Ps*-Krankheit bei Kiwi (Tab. 6).
- Die physiologischen Prozesse, die der Entwicklung von *Ps*-Krankheiten zugrunde liegen, wurden häufig an einjährigen Modellpflanzen wie Tomaten, Gurken oder *Arabidopsis thaliana* untersucht. An diesen Prozessen sind eine Vielzahl an Makro- und Mikro-nährstoffen beteiligt. Bislang konnten nur für die Nährstoffe **Stickstoff**, **Schwefel** und **Kupfer** Wirkmechanismen nachgewiesen werden, die in der gleichen Studie in einen direkten Zusammenhang mit dem Ausmaß der Bakterienkrankheit gebracht werden konnten.
- Interaktionen zwischen spezifischen Unterarten von *P. syringae* und deren Wirtspflanzen sind nur bedingt auf andere *Ps*-Unterarten und deren entsprechenden Wirtspflanzen übertragbar. Wichtige Unterschiede zwischen *Ps*-Krankheiten an annualen krautigen Modellpflanzen und an Gehölzen sind, dass (i) die verholzten Pflanzenteile einen wichtigen Überwinterungsort der Schadbakterien darstellen (Donati, 2020) und somit die Ausbreitung von *P. syringae* beeinflussen, und dass (ii) Gehölze in vielen Klimazonen Frostereignissen ausgesetzt sind, und Frostschäden eine wichtige Eintrittspforte für das Schadbakterium sind (Cao et al., 1999; Vigouroux 1997). Die Nährstoffversorgung von Gehölzen hat einen erheblichen Einfluss auf deren Frosthärte.

2.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Tabelle 6 gibt eine Übersicht über alle Ergebnisse zu Korrelationen zwischen Nährstoffversorgung und Baumgesundheit im Zusammenhang mit *P. syringae*-Krankheiten, die aus der Literaturrecherche und aus den eigenen Versuchen hervorgegangen sind.

Die meisten Nährstoffe zeigen hier kein eindeutiges Bild. Auffallend ist aber, dass sowohl Stickstoff als auch Kupfer entweder als Reinnährstoff oder als Nährstoffverhältnis (z.B. N/S, Cu/P, Cu/Zn) in fast allen Versuchen negativ mit der Baumgesundheit korrelierte. Während dies für Stickstoff in der Literatur bereits mehrfach beschrieben wurde (Tab. 6), ist das Ergebnis für Kupfer überraschend, zumal in wenigen bisherigen Studien eine positive Korrelation zwischen Kupferversorgungszustand und der Gesundheit von Bäumen festgestellt wurde (Tab. 6). Scheinkorrelationen sind hier nicht auszuschließen, da auch die Stickstoff- und Kupferversorgung üblicherweise positiv miteinander korrelierten. In den zitierten Studien fand dieser Zusammenhang keine Beachtung. Ob nur einer oder tatsächlich beide Nährstoffe einen Einfluss auf die Stärke des *P. syringae*-Befalls haben, ist durch kontrollierte Experimente zu überprüfen. Zum jetzigen Kenntnisstand empfehlen wir, eine moderate Stickstoffversorgung anzustreben, und sowohl eine Mangel- als auch Luxusversorgung mit Kupfer zu vermeiden (siehe Kapitel 3).

Laut unserer Literaturrecherche werden den Nährstoffen **Stickstoff**, **Schwefel** und **Kupfer** besondere Rollen in der Pathogenese von *P. syringae*-Krankheiten zugeschrieben (Kap. 2.3). Auch in unseren Experimenten waren diese drei Nährstoffe auffällig, wenn auch z.T. anders als bisher für andere Obstgehölze beschrieben (Kupfer gegensätzlich; Schwefel nur als N/S-Verhältnis).

Die Frosthärte von Bäumen als wichtiger Aspekt im Zusammenhang mit Bakterienbrand (Cao et al. 1999) konnte im Rahmen unserer Versuche nicht näher beleuchtet werden. Sowohl in der Literatur als auch in der Obstbaupraxis wird Frosthärte mit einer moderaten Stickstoffversorgung sowie einer ausreichenden Kalium- und Zinkversorgung der Bäume in Zusammenhang gebracht (Thomas & Ahlers, 1999; Wurm et al., 2008; Karimi, 2017;). Unsere Freilandversuche (Versuche 1-3 in Tab. 6) spiegeln mit Ausnahme von Stickstoff diesen Zusammenhang zwar nicht wieder, dies könnte aber u.a. mit ausgeprägten zeitlichen Schwankungen in der Kalium- und Zinkversorgung erklärt werden. Für unsere Praxisempfehlungen zur Eindämmung von Bakterienbrand (Kapitel 3) ist der Aspekt der Frosthärt in jedem Falle relevant.

Tabelle 6: Übersicht über Korrelationen zwischen pflanzlicher Nährstoffversorgung und Ausmaß von *P. syringae*-Krankheiten an Obstgehölzen laut entsprechender, uns verfügbarer Literaturquellen und laut eigener Datenerhebung.

Pflanzenmaterial	Literatur	eigene Datenerhebung							
	<i>Steinobst bzw. Kiwi</i>	Bäume in Süßkirschanlage		1-2 jährige getopfte <i>Prunus avium</i> -Sämlinge (Gewächshaus)					
Versuchsnummer (Jahr)		1 (2021)	2+3 (2022)	4 (2021)	5 (2022a)*		6 (2022b*)	7 (2023a)**	8 (2023b)**
Untersuchtes Pflanzenorgan	Blatt bzw. Stamm	Blatt	Blatt	Stamm	Stamm	Blatt	Blatt	Blatt	Blatt
Quantifizierung des <i>Pseudomonas syringae</i> - Befalls durch...	...Symptome bzw. Bakterienzahlen	...Symptome	...Symptome	...Symptome	...Symptome		...Symptome	...Symptome	...Symptome
Erläuterung Datensatz vor/nach Querstrich	verschiedene Studien	Altes Land/ Werder	Sorte Kordia/ Korvic	(Trends)		Symptome/ Bakterienzahlen		ältere/ jüngere Blätter	ältere/ jüngere Blätter
Stickstoff	↓ ^[3,6,7] / ↑ ^[2,3,4,5,7] / ~ ^[1,5,9]	(↓) / (↓)	~/~	↓	(↓)	~/~	~	↓/↓	↓ / (↓)
Phosphor	↓ ^[1,4] / ~ ^[9]	(↓) / (↓)	(↓) / (↑)	↑	~	(↓) / (↓)	~	↓/↑	(↑)/(↑↓)
Kalium	↓ ^[7] / ~ ^[1,4,9]	~/~	~/~	~	~	(↓) / ~	~	↓(↑)/↓(↑)	(↑) / (↑)
Calcium	↓ ^[7] / ↑ ^[8,10] / ~ ^[4,7,9]	(↑) / ~	~/~	~	~	~/~	~	(↑↓)/(↑↓)	(↑) / ↓
Magnesium	↑ ^[8] / ~ ^[4,5,9]	↑ / ~	(↓) / (↓)	~	(↑)	(↓) / ~	~	(↑)/(↑↓)	(↑) / (↓)
Schwefel	↑ ^[11,12,13] / ~ ^[11]	↑ / (↑)	(↑) / (↓)	~	(↑)	~/~	~	(↑↓)/(↑↓)	~/~
Eisen	↑ ^[7,14] / ~ ^[4,7]	(↓) / (↓)	(↑) /	~	~	(↑) / (↑)	~	~/ (↑)	(↑) / (↓)
Zink	~ ^[7,9]	↑ / (↓)	~/~	~	~	↓ / ~	~	(↑) / (↑)	~/ (↑)
Mangan	~ ^[7,9]	↑ / (↑)	~/~	~	~	(↑) / ~	~	~/ (↓)	(↓) / ~
Kupfer	↑ ^[9]	(↓) / (↓)	~/ (↓)	~	~	(↓) / ~	~	(↓) / (↓)	↓ / (↓)
Bor	↑ ^[7] / ~ ^[7,9]								

↓/↑/~ = signifikante negative/signifikante positive/keine Korrelation zwischen Nährstoff und Baumgesundheit; Pfeil ohne Klammern: Korrelation bezieht sich auf Nährstoff selbst; Pfeil in Klammern: Korrelation bezieht sich auf ein oder mehrere Nährstoffverhältnisse mit entsprechendem Nährstoff im Zähler; * 2022a/b: Herkunft Sämlinge aus NRW/SH; ** 2023 a/b: getopft in Bodensubstrat aus Süßkirschanlage im Alten Land (tonig)/Brandenburg (sandig). Literaturquellen: [1] Beard & Wormald (1936); [2] Southwick et al. (1999); [3] Cao et al. (2005); [4] Cao et al. (2011); [5] Cao et al. (2013); [6] Reighard et al. (2016); [7] Mauri et al. (2016); [8] Vigouroux et al. (1987); [9] Holmes (2012); [10] Vigouroux & Bussi (1989); [11] McLaren et al. (2005); [12] Long et al. (2017); [13] Gu et al. (2021); [14] Daniell & Chandler (1976).

3. Projektergebnisse

Angestrebtes Ergebnis dieses Projektes war ein **Leitfaden für Praktiker** (Obstbauern, Berater), der das bisherige praxisrelevante Wissen zur Bekämpfung von Bakterienbränden zusammenfasst, Empfehlungen zur Anwendung von Auxin-Präparaten und zum Nährstoffmanagement beinhaltet und eine Übersicht über etablierte und neuartige Ansätze zur Bakterienbrandbehandlung gibt.

Abweichend von diesem Ziel wurde der „Auxin-Ansatz“ nach dem 2. Projektjahr nicht weiterverfolgt, da wir einen überzeugenden Effekt einer Auxin-Behandlung auf die Eindämmung von Bakterienbrand nicht nachweisen konnten, und wir wenig Potentiale in einer Weiterentwicklung dieses Ansatzes sahen.

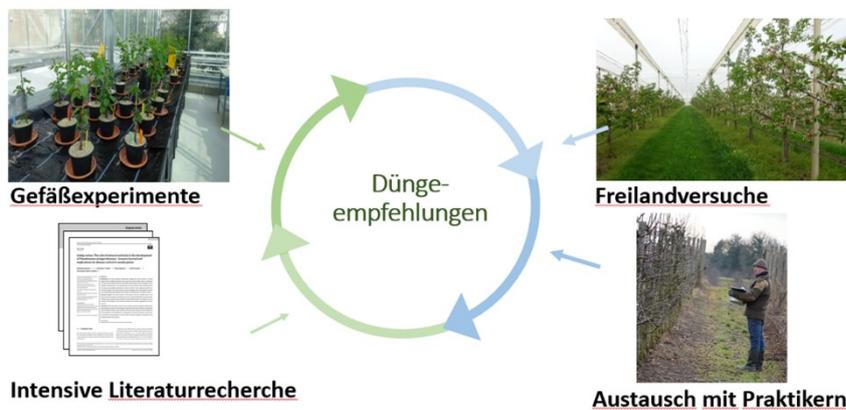


Abb. 14: Wichtige Säulen zur Herleitung der Düngempfehlungen zur Eindämmung von Bakterienbrand an Süßkirschen im vorliegenden Forschungsvorhaben.

Der „Nährstoff-Ansatz“ entwickelte sich daher im Laufe des Projektes zum eigentlichen Schwerpunkt des Vorhabens. In der Herleitung von entsprechenden Handlungsempfehlungen wurden auch mögliche Interaktionen mit biologischen Pflanzenschutzmitteln aufgegriffen. Deren Anwendung stellt einen weiteren neuartigen Ansatz zur Bakterienbrandbehandlung dar, bislang aber v.a. in der Testphase.

Die aus diesem Projekt hervorgehenden Handlungs- bzw. Düngempfehlungen basieren auf den oben vorgestellten Freilandversuchen unter Berücksichtigung häufig beobachteter Nährstoffüberschüsse oder -mängel (Praxisbedingungen), Gewächshausversuchen (kontrollierte Bedingungen), der Literaturrecherche, und nicht zuletzt auch einem intensiven Austausch mit Vertretern aus der Obstbaupraxis und dem angewandten Obstbau-Versuchswesen (Abb. 14). Im Folgenden werden diese Empfehlungen zusammengefasst.

3.1 Düngungsempfehlungen für die Obstbaupraxis (Zusammenfassung)

Zum jetzigen Kenntnisstand beziehen sich Düngungsempfehlungen zur Eindämmung von Bakterienbrand auf folgende Ebenen:

- 1) Förderung der allgemeinen Abwehrkraft von Bäumen
- 2) Förderung der Frosthärte

Zu 1: Anzustreben ist eine **ausgeglichene Nährstoffversorgung** ohne auffällige Mängel oder Überschüsse an Makro- und Mikronährstoffen. Im Zusammenhang mit Bakterienbrand ist speziell auf eine **moderate Stickstoffdüngung** in Kombination mit einer **ausreichenden Schwefeldüngung** zu achten. **Kupferüberschüsse** sollten **vermieden** werden. Neben der Mineralstoffversorgung der Bäume sind auch Bodeneigenschaften essentiell für gesunde Baumbestände. **Organische Düngung** und ein angepasstes Humusmanagement sind daher wesentlicher Bestandteil einer Düngungsstrategie zur Eindämmung von Bakterienbrand.

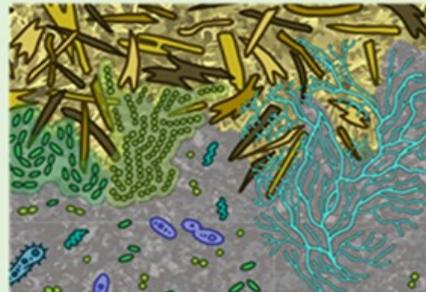


Abb. 15: Organische Dünger wie Stallmist fördern ein aktives Bodenleben. Dies kann zur systemischen Resistenz der Bäume gegen Schaderreger beitragen.



Abb 16: Eine zu späte Stickstoffdüngung erhöht die Gefahr von Frostrissen in der Rinde.

Zu 2: Zur Förderung der Frosthärte der Bäume empfehlen wir eine **moderate Stickstoffdüngung** in Kombination mit einer **ausreichenden Kalium- und Zinkversorgung**. Etwaige Mängel dieser Nährstoffe können anhand einer Blattanalyse im Sommer identifiziert und vor Einbruch der kalten Jahreszeit behoben werden.

Illustrationen: H. L. Fernández Colino

Die Broschüre „Angepasste Düngung als Baustein eines integrierten Konzeptes zur Eindämmung von Bakterienbrand bei Süßkirschen – Empfehlungen für die Obstbaupraxis“ ist in Kürze erhältlich bei Dr. Nathalie Soethe, Humboldt-Universität zu Berlin (soethena@hu-berlin.de)

3.2 Empfehlungen für das angewandte Versuchswesen (Zusammenfassung)

Die Komplexität des Einflusses von Nährstoffen auf die Entwicklung von *P. syringae*-Krankheiten betrifft viele unterschiedliche Aspekte der Düngungspraxis (Ausbringungstechnik, Formulierung, Zeitpunkt etc.). Zu den meisten Aspekten ist das Wissen bislang sehr begrenzt. Die moderne Forschung erlaubt Einblicke in die Interaktionen zwischen Krankheitserreger und Wirtspflanze, die uns lange verborgen waren. Ein prominentes Beispiel sind neue Erkenntnisse zur Bedeutung des Mikrobioms.

In unserem Projekt konnten wir verschiedene Ebenen der Düngungspraxis identifizieren, die bis zur Praxisreife noch einer Verifizierung bzw. Untersuchung im Rahmen praxisnaher Versuchsansätze bedürfen. Die Grundlagenforschung kann helfen, zugrundeliegende Prozesse besser zu verstehen und so die Übertragbarkeit von Praxisempfehlungen von einem Kontext (z.B. spezielle Sorten/Obstkulturen, spezielle Klimabedingungen) auf den anderen besser einzuschätzen.

Ebenen der Düngungspraxis, für die noch detailliertere Kenntnisse erforderlich sind:

- 1.) Identifizierung von Bereichen „optimaler Versorgung“ spezieller Nährstoffe zur Förderung der Baumgesundheit (Ist z.B. Luxusversorgung an Schwefel förderlich für die Baumgesundheit? Ist Kupfer im „höheren Optimalbereich“ schon kritisch?)
- 2.) Themenfeld Blattdüngung: Einfluss spezieller Nährstoffe (z.B. Eisen, Calcium) und deren Ausbringungstechnik auf die Wirksamkeit biologischer Pflanzenschutzmittel; Einfluss üblicher Blattdünger (z.B. Mikronährstoffe) auf den Befallsdruck während Phasen hohen Infektionsrisikos (Frühjahr).
- 3.) Differenziertere Kenntnisse zur Bedeutung von Bodeneigenschaften (z.B. pH-Wert, siehe Kap. 2.1.1), unterschiedlicher Formen organischer Dünger, der Begleitflora im Baumstreifen und der Mykorrhizierung der Wurzeln zur Eindämmung von Bakterienbrand.



Abb. 17 links: Die Etablierung einer arbuskulären Mykorrhiza in Obstanlagen wird u.a. durch Phosphorverfügbarkeit beeinflusst. Mitte: Bislang weiß man wenig über die Bedeutung des Unterwuchses als Wirtspflanzen für *P. syringae*. Rechts: Ähnliches gilt für das Überleben von Schaderregerpopulationen in infizierter Streu. (Illustrationen: H. L. Fernández Colino)

Die Broschüre „Angepasste Düngung als Baustein eines integrierten Konzeptes zur Eindämmung von Bakterienbrand bei Süßkirschen – Empfehlungen für das angewandte Versuchswesen“ ist in Kürze erhältlich bei Dr. Nathalie Soethe, Humboldt-Universität zu Berlin (soethena@hu-berlin.de)

4. Öffentlichkeitsarbeit/Veröffentlichungen/Vorträge

Das Projekt wurde bislang auf folgenden Veranstaltungen vorgestellt:

- Vortrag auf dem Kirschseminar der Obstbauversuchsstation Müncheberg (3. Juli 2021)
- Vortrag auf dem Jahrestreffen des Arbeitskreises Phytobakteriologie der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft in Potsdam (07. September 2021)
- Poster auf der internationalen Jahrestagung Gesellschaft für Pflanzenernährung (vom 22.- 24. September 2021 im online-Format)
- Vortrag im „Phytomedizin Report“ des Fachgebietes Phytomedizin der HU Berlin (17. März 2022)
- Vortrag auf dem Kirschseminar der Obstbauversuchsstation Müncheberg (2. Juli 2022)
- Vortrag auf dem Brandenburger Obstbautag (31. Januar 2023) in Neu Seddin
- Poster auf der Jahrestagung der FÖKO (Fördergemeinschaft für Ökologischen Obstbau) am 26./27.1.2023 in Jork.
- Poster auf der internationalen Jahrestagung Gesellschaft für Pflanzenernährung (vom 25.- 27. September 2023 in Hohenheim) und im Anschluss auf der Deutschen Pflanzenschutztagung (vom 26.-29. September 2023 in Göttingen)

Neben dem bereits veröffentlichten Review im „Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences“ (Soethe et al., 2024) ist eine Veröffentlichung der eigenen Daten in einer internationalen Fachzeitschrift geplant (z.B. Applied Fruit Sciences).

Sobald die aus dem Projekt hervorgehenden Broschüren (Kapitel 3) fertig sind, werden diese über unsere Netzwerkpartner und Obstbauverbände (z.B. Verbandszeitschrift des Gartenbauverbandes) gestreut.

5. Fazit und Ausblick

Einen überzeugenden Effekt einer Auxin-Behandlung auf die Eindämmung von Bakterienbrand konnten wir – trotz vielversprechender vorangegangener Versuche an annuellen Kulturpflanzen (Geilfus et al., 2020) - im Rahmen dieses Projektes nicht nachweisen. Nach dem 2. Projektjahr wurde der „Auxin-Ansatz“ daher nicht weiterverfolgt.

Zwar sind auch die Ergebnisse des „Nährstoff-Ansatzes“ häufig nicht eindeutig und sehr kontextabhängig (z.B. von Bodeneigenschaften wie pH-Wert, Humusgehalt und Durchwurzelbarkeit oder dem Risiko von Frostereignissen), dennoch halten wir es für unbedingt erforderlich, die Düngung als Teil eines Gesamtkonzeptes zur Eindämmung von *P. syringae*-Krankheiten auch in Zukunft weiterzuverfolgen. Dies gilt umso mehr, als dass durch den Klimawandel auch andere Stressfaktoren (Spätfröste, Hitze- und Dürreperioden) zunehmen, und eine ausgewogene bzw. bedarfsgerechte Düngung förderlich auf die Stressresistenz der Bäume im Allgemeinen wirkt. Zum anderen ist durch einen ausgeglichenen Nährstoffversorgungszustand des Baumes vor allem ein langfristiger und systemisch hemmender Effekt auf den Aufbau von Schaderregerpopulationen zu vermuten. Anders als bei einem kurzfristig und lokal wirkenden

Präparat sind hohe Wirkungsgrade eines Behandlungs- bzw. Düngungsdurchgangs weder erforderlich, noch zu erwarten. Auch ist der optimale Zeitpunkt für die Düngerapplikation nicht so stark eingegrenzt wie bei einem kurzfristig wirkenden Präparat.

Trotz dieser Vorteile des „Nährstoff-Ansatz“ ergeben sich praktische Grenzen seiner Anwendung, u.a. durch andere Düngungsziele (Ertrag, Qualität der Ernteprodukte) und einen zusätzlichen Zeitaufwand für Nährstoffanalysen. Auch ist anzuerkennen, dass dem Wasserhaushalt und den Witterungsbedingungen die Hauptrolle in der Ausbreitung des Schadbakteriums *P. syringae* zukommt. Der „Nährstoff-Ansatz“ kann nur wirksam sein, wenn andere Aspekte der Kulturführung wie Sorten- und Standortwahl und Baumschnitt (Werthmüller et al., 2016; Hinrichs-Berger & Mernke, 2017) ebenfalls Berücksichtigung finden.

Für uns als Projektdurchführende endet der „Nährstoffansatz“ nicht mit der Laufzeit des Projektes, sondern er hat uns neue Wege eröffnet. Im Laufe des Vorhabens entwickelte sich u.a. eine intensive Zusammenarbeit mit der Obstbauversuchsstation Müncheberg. In Anbetracht der Tatsache, dass es für Brandenburger Obstbaubetriebe kaum Angebote für eine Düngungsberatung gibt, haben wir uns gemeinsam zum Ziel gesetzt, die Düngungsthematik im Rahmen von Feldtagen und Informationsveranstaltungen für Praktiker zu vertiefen. Im September '24 wird Frau Dr. Soethe auf einem Kernobsttag einen Vortrag zum Humusaufbau im Obstbau halten. Auch die Kooperationen mit einigen der im Projekt beteiligten Praxisbetriebe werden fortgeführt, z.B. durch den bereits erwähnten Versuch mit Schwefellinsen (Kapitel 2.1.5), bzw. im Rahmen einer projektunabhängigen Beratung zum möglichen Einfluss des Bodens und der Wurzelgesundheit auf einen starken Bakterienbrandbefall.

Die im DBU-Vorhaben gewonnenen Erkenntnisse zu *P. syringae*-Krankheiten können bedingt auch auf andere Obstgehölze (v.a. Aprikosen und Kiwis) und sogar Stadtbäume (Kastanien) übertragen werden. Auch zu diesen Aspekten fanden bereits Gespräche mit entsprechenden Ansprechpartnern statt.

6. Danksagung

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Finanzierung dieses Vorhabens und der SAN Agrow Holding, die uns durch eine Co-Finanzierung die Untersuchungen zum biologischen Pflanzenschutzmittel Botector ermöglicht hat. Ein ausdrückliches Dankeschön gilt allen Obstbaubetrieben, in deren Süßkirschanlagen wir unsere Untersuchungen durchführen durften, ebenso Martin Kockerols vom Obstbauzentrum Jork! Für weiteren fachlichen Austausch und praktische Unterstützung möchten wir uns u.a. bedanken bei Ulrike Holz und Martin Hornauer vom Pflanzenschutzdienst des LELF, Jette Michalski, Lisa Mersmann, Marie Henricke und allen anderen Studierenden der Humboldt Universität zu Berlin, die in dieses Vorhaben eingebunden waren, sowie Manfred Lindicke, Martin Penzel, Eveline Maring, Mirko Schuster, Dennis Mernke und Gerhard Baab. Ein besonderer Dank gilt auch Tobias Hahn, Andreas Winkler und dem Team der Obstbauversuchsstation Müncheberg.

7. Literatur

- Beard, F. H., & Wormald, H. (1936). Bacterial canker of Plum trees in relation to nutrition. Experimental results in sand cultures. Bacterial canker of Plum trees in relation to nutrition. Experimental results in sand cultures.
- Bergmann, E., 1993. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3. Auflage. Gustav Fischer Verlag Jena Stuttgart 835 S.
- Cao, T., Sayler, R. J., DeJong, T. M., Kirkpatrick, B. C., Bostock, R. M., & Shackel, K. A. (1999). Influence of stem diameter, water content, and freezing-thawing on bacterial canker development in excised stems of dormant stone fruit. *Phytopathology*, 89(10), 962-966.
- Cao, T., Duncan, R. A., McKenry, M. V., Shackel, K. A., DeJong, T. M., & Kirkpatrick, B. C. (2005). Interaction between nitrogen-fertilized peach trees and expression of *syrB*, a gene involved in syringomycin production in *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. *Phytopathology*, 95(5), 581-586.
- Cao, T., Kirkpatrick, B. C., Shackel, K. A., & DeJong, T. M. (2011). Influence of mineral nutrients and freezing-thawing on peach susceptibility to bacterial canker caused by *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*. *Fruits*, 66(6), 441-452.
- Cao, T., Duncan, R. A., Kirkpatrick, B. C., Shackel, K. A., & DeJong, T. M. (2013). Effect of calcium and nitrogen fertilization on bacterial canker susceptibility in stone fruits. *Fruits*, 68(3), 245-254.
- Daniell, J. W., & Chandler, W. A. (1976). The Effect of Iron on Growth and Bacterial Canker Susceptibility of Peach Seedlings. *HortScience*, 11(4), 402-403.
- Donati, I., Cellini, A., Sangiorgio, D., Vanneste, J. L., Scortichini, M., Balestra, G. M., & Spinelli, F. (2020). *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*: Ecology, infection dynamics and disease epidemiology. *Microbial ecology*, 80, 81-102.
- Felgentreu, D., Herwig, N. & Hommel, B. (2017) Kupfergehalte in deutschen Obstbauregionen und deren Auswirkungen auf Regenwürmer. *Öko-Obstbau* (4), S. 19-24.
- Geilfus, C. M., Wang, L., Wu, J., & Xue, C. (2020). The pH of the leaf apoplast is critical for the formation of *Pseudomonas syringae*-induced lesions on leaves of the common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Plant Science*, 290, 110328.
- Gonçalves-Fernandes, A. P. (2019). Effect of different forms of nitrogen nutrition on kiwifruit development and resistance to *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* [PhD thesis], Universidade do Porto.
- Gu, G., Yang, S., Yin, X., Long, Y., Ma, Y., Li, R., & Wang, G. (2021). Sulfur induces resistance against canker caused by *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* via phenolic components Increase and morphological structure modification in the kiwifruit stems. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(22), 12185.
- Hinrichs-Berger, J. & Mernke, D. (2017) Dem Zwetschensterben auf der Spur. Poma online. Ulmer Verlag. <https://www.poma-online.de/dem-zwetschensterben-auf-der-spur,QUIEPTUzNDE3MT-QmTUIEPTczNjk4.html> (zuletzt abgerufen am 13.07.2024).
- Holmes A (2012) Effect of Soil Nutrition and Composition on the Susceptibility of Hayward and Hort16A to *Pseudomonas syringae* pv. *Actinidiae*. ZESPRI Group, Tauranga, New Zeland, 81pp.
- Klopp K 2021. Arbeitstagebuch für das Obstjahr 2021. Esteburg Obstbauzentrum Jork. 336 Seiten.
- Karimi, R. (2017). Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. *Scientia Horticulturae*, 215, 184-194.
- Long, Y., Yin, X., Wang, M., Wu, X., Li, R., Tian, X., & Li, M. (2017). Effects of sulfur on kiwifruit canker caused by *Pseudomonas syringae* pv. *Actinidiae*. *Bangladesh Journal of Botany*, 46(Suppl. 3), 1183-1192.
- McLaren, G. E., Vanneste, J. L., & Marshall, R. R. (2005). Sulphur as an alternative to copper for the control of bacterial blast on nectarine fruit. *New Zealand Plant Protection*, 58, 96-100.

- Mauri, S., Cellini, A., Buriani, G., Donati, I., Costa, G., & Spinelli, F. (2016). Optimization of cultural practices to reduce the development of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*, causal agent of the bacterial canker of kiwifruit. *Journal of Berry Research*, 6(4), 355-371.[
- Reighard, G. L., Bridges, Jr, W., Glenn, D. M., & Mayer, N. A. (2014, August). Carbon to nitrogen ratio in peach bark and incidence of bacterial canker. In XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes (IHC2014): 1130 (pp. 341-344).
- Soethe, N., Hulin, M. T., Balasus, A., Preston, G., & Geilfus, C. M. (2024). Liebig review: The role of mineral nutrients in the development of *Pseudomonas syringae* diseases—Lessons learned and implications for disease control in woody plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 187, 301–320
- Southwick, S. M., Rupert, M. E., Yeager, J. T., Lampinen, B. D., Dejong, T. M., & Weis, K. G. (1999). Effects of nitrogen fertigation on fruit yield and quality of young French'prune trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(2), 187-195.
- Thomas, F. M., & Ahlers, U. (1999). Effects of excess nitrogen on frost hardiness and freezing injury of above-ground tissue in young oaks (*Quercus petraea* and *Q. robur*). *The New Phytologist*, 144(1), 73-83.
- Vigouroux, A., Berger, J. F., & Bussi, C. (1987). La sensibilité du pêcher au dépérissement bactérien en France: incidence de certaines caractéristiques du sol et de l'irrigation. Relations avec la nutrition. *Agronomie*, 7(7), 483-495.
- Vigouroux, A. & Bussi, C. (1989). Importance of water consumption on calcium content and protection of peaches predisposed to bacterial dieback by growing in acid soils. *Acta Horticulturae*, 254. 291-296.
- Vigouroux, A. (1997). Role of frost and stem water content on the development of bacterial canker in acclimated stone fruit trees. In: K. Rudolph, T.J. Burr, J.W. Mansfield, D. Stead, A. Vivian, & J. Kirtzell (Eds.), *Pseudomonas Syringae Pathovars and Related Pathogens* (pp. 97-102). Springer Science and Business Media.
- Werthmüller, J., Göllles, M., & Naef, A. (2016). *Pseudomonas* im Steinobst. *Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 24/16. 11 Seiten.
- Wurm, L., Baumgarten, A., Lafer, G., Modl, P., Wiesenhofer, M., Strahlhofer, R., Göllles, M., Steinbauer, L. & Klement, J. 2008. *Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Obstbau*. Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. 47 Seiten.