



Steigerung der Regenfestigkeit von Kupferfungiziden
durch Additive zur Regulierung der Kraut- und
Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) im
ökologischen Kartoffelbau

Versuchsbericht

2026

Luc-Marlon Wieckhorst
Fachberatung Kartoffelbau
Bioland e.V.

gefördert von:



**Niedersächsisches Ministerium
für Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz**

Projekträger

Bioland e.V.
Landesverband Niedersachsen/Bremen
Artilleriestraße 6a
27283 Verden

Kurzzusammenfassung

Kupferfungizide sind im ökologischen Kartoffelbau wichtig zur Regulierung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*). Zur Verbesserung der Haft- und Netz Wirkung der Fungizide können Additive eingesetzt werden. In diesem Kontext untersuchte dieser Versuch 11 Additive mit je zwei verschiedenen Fungiziden (Cuprozin progress und Funguran progress).

Mithilfe der erzielten Ergebnissen lässt sich die allgemein gültige Aussage stützen, dass Additive, ganz unabhängig welches und mit welchem Fungizid diese eingesetzt werden, unter sonst gleichen Bedingungen tatsächlich dazu beitragen können den relevanten Kupferwirkstoff länger auf dem Blatt zu halten. So weisen sowohl Cuprozin progress als auch Funguran progress nach insgesamt zwei simulierten Niederschlägen von in Summe ca. 40 l/m² einen geringeren mittleren Kupfergehalt auf als alle Varianten, die die Fungizide um ein Additiv ergänzten.

Die Regenfestigkeit (Veränderung im Kupfergehalt in %) zeigt sich für die Varianten Cuprozin progress + 2h13 (- 3,85 %), Cuprozin progress + CropCover CC-2000 (- 10,18 %), Cuprozin progress + HELIOTERPEN FILM (+ 8,46 %), Cuprozin progress + Nu-Film P (- 6,10 %), Cuprozin progress + WETCIT NEO (+ 2,62 %), Cuprozin progress + Zentero SPR (-11,28 %) sowie Funguran progress + F0319 (- 5,16 %) am besten. Cuprozin progress verliert ohne Additiv 48,78 % des ursprünglich applizierten Kupfers, Funguran progress sogar 66,58 %.

Additive können demnach womöglich in der Lage sein, Kupferreduktionsbemühungen oder Vorhaben zur Steigerung des Ertrags oder der Ertragssicherheit zu unterstützen, indem die zur Regulierung von

Phytophthora infestans eingesetzten Kupferwirkstoffe bei Niederschlag länger auf der Kartoffelpflanze gehalten werden können.

Förderhinweis

Dieses Projekt wurde durch Zuwendungen des Landes Niedersachsen zur Förderung von nicht investiven Projekten im Ökologischen Landbau (Projektförderung für Forschung und Entwicklung im Agrarsektor nach Maßgabe von Artikel 38 der Verordnung (EU) 2022/2472) gefördert.

Danksagung

Vielen Dank an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Abteilung für Pflanzenernährung und Ertragsphysiologie des Departments für Nutzpflanzenwissenschaften an der Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität, deren fachlicher Rat und praktische Unterstützung während der Versuchsdurchführung einen wertvollen Beitrag zu diesem Projekt bedeuteten.

Dank gilt auch den Vertriebsfirmen und Herstellern, die Versuchsmengen für diesen Versuch bereitgestellt haben.

Interessenskonflikte

Der Autor erklärt, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

Kontakt zum Autor

Luc-Marlon Wieckhorst
+49 1511 7117823
luc-marlon.wieckhorst@bioland.de

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Ziel	4
2	Material und Methoden	5
3	Ergebnisse	8
4	Diskussion	18
5	Fazit	23
	Literatur	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitliche Abfolge der an den Pflanzen erfolgten Arbeitsschritte	7
Abbildung 2: Zeitliche Abfolge der Arbeitsschritte zur Analyse der Blattproben	8
Abbildung 3: Mittlerer Kupfergehalt bei R0 für alle Varianten	9
Abbildung 4: Mittlerer Kupfergehalt aller Varianten mit Cuprozin progress mit allen getesteten Additiven zu allen Zeitpunkten	11
Abbildung 5: Mittlerer Kupfergehalt aller Varianten mit Funguran progress mit allen getesteten Additiven zu allen Zeitpunkten	12
Abbildung 6: Mittlere Kupfergehalte je Additiv zu allen Zeitpunkten mit dem Fungizid Cuprozin progress	13
Abbildung 7: Mittlere Kupfergehalte je Additiv zu allen Zeitpunkten mit dem Fungizid Funguran progress	14

Abbildung 8: Mittelwert der Abweichungen im Kupfergehalt von R0 auf R2 für Cuprozin progress je Additiv	15
---	----

Abbildung 9: Mittelwert der Abweichungen im Kupfergehalt von R0 auf R2 für Funguran progress je Additiv	15
---	----

Abbildung 10: Relative Abweichung des mittleren Kupfergehalts von R0 auf R2 für die Fungizide Cuprozin progress und Funguran progress je Additiv	16
--	----

Abbildung 11: Relative Abweichung des mittleren Kupfergehalts von R0 zu R2 für alle Additivgruppen nach Fungizid	18
--	----

Abbildung 12: Mangelnde Benetzung mit Funguran progress ohne Zusatz eines Additivs ermöglicht Sekundärinfektionen mit Phytophthora infestans.	19
--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wirksubstanzen und Aufwandmengen der untersuchten Additive	6
Tabelle 2: Aufwandmengen der untersuchten Fungizide	6
Tabelle 3: Klassifikation der untersuchten Additive	17

1 Hintergrund und Ziel

Entscheidender Faktor bei der Steuerung des Risikos im ökologischen Kartoffelbau sowie bei der Erzielung von auskömmlichen Erträgen, ist die Regulierung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*). Eine Reihe an Präventivmaßnahmen zur Eindämmung (frühen) Befalls, sichert in tendenziell trockenen Jahren rentable Erträge, wohingegen besonders unter feuchten Bedingungen die präventive Anwendung von kupferhaltigen Kontaktfungiziden unabdingbar ist.

Die ausschließlich protektive Kontaktwirkung der Kupferfungizide bedeuten gegenüber systemischen und kurativen Fungiziden, die im konventionellen Anbau eingesetzt werden, Herausforderungen für Bio-Kartoffelerzeuger. Einerseits weil die Wirkung flächendeckende und gleichmäßige Benetzung voraussetzt und andererseits weil bestehender Schutz durch Niederschlag und Bewässerung abgewaschen werden kann, besteht auf diesem Gebiet andauernder Forschungsbedarf.

Außerdem sind Kupferfungizide nicht gänzlich unumstritten. Kupfer wird wegen seiner Persistenz und Toxizität von der Europäischen Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) als Substitutionskandidat (CfS) eingestuft (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft [BMEL], 2025). Die Einstufung als CfS hat zur Folge, dass die letzte Zulassungsverlängerung am 01.01.2019 für lediglich weitere 7 Jahre erfolgte und die Zulassung von Kupfer als Pflanzenschutzmittel nicht verlängert bzw. zurückgezogen wird, sollten sich wirksame und adäquate Alternativen finden (BMEL, 2025; Industrieverband Agrar e.V. [IVA], 2015). Momentan klar ist, dass die Neuverhandlung von ursprünglich 2026 auf 2029 verschoben wurde (Ruccia, 2025). So bleibt etwa Kupferhydroxid als fungizider Wirkstoff gegen *Phytophthora infestans* bis mindestens dahin erhalten.

Einerseits weil die betroffenen Verbände nach Vorgabe der Bundesrepublik Deutschland bzw. der Europäischen Union (EU) und aus eigener Motivation hinaus, sich zum Ziel gesetzt haben die Anwendung von Kupfer weiterhin zu minimieren (von Mering et al., 2016) und andererseits, weil die Anwendung von Kupferfungiziden auf kartoffelproduzierenden Bio-Betrieben mit hohen Kosten und produktionstechnischen Herausforderungen verbunden ist, strebt die Branche danach die angewendeten Kupfermengen zu reduzieren bzw. die derzeitigen Aufwandmengen effektiver und effizienter zu applizieren.

Als eine mögliche Komponente in diesem Vorhaben hat sich im Laufe der vergangenen Jahre die Anwendung von Zusatzstoffen gemäß § 42 des deutschen Pflanzenschutzgesetzes (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit [BVL], 2026) aufgetan. Diese Additive, in diesem Kontext als Haft- oder Haft- und Netzmittel bezeichnet, sollen in der Kombination mit

kupferhaltigen Fungiziden deren Anhaftung, Benetzung sowie Regenfestigkeit verbessern und auf diese Weise den Bekämpfungserfolg erhöhen und den Bedarf an höheren Kupfermengen bzw. weiteren Maßnahmen reduzieren. Doch sind diese Produkte nur ein Placebo oder können Sie tatsächlich dazu beitragen die Wirksamkeit der Fungizide zu verbessern?

Der durchgeführte Versuch untersucht den Einfluss von Additiven auf den Kupfergehalt auf mit Kupferfungiziden behandelten Kartoffelpflanzen vor und jeweils nach zwei simulierten Niederschlägen. Die erhobenen Daten bieten eine Basis für das Verständnis von Einflussfaktoren auf die Regenfestigkeit und können dazu beitragen aus einer Vielzahl untersuchter Produkte die hinsichtlich der Regenfestigkeit vielversprechendsten Kombinationen zu identifizieren.

Der Versuch fand im Labormaßstab auf Topfpflanzen im Zeitraum vom 01.02.2025 bis zum 31.01.2026 mit Unterstützung der Georg-August-Universität Göttingen in Göttingen statt.

2 Material und Methoden

Der Versuch wurde mit Pflanzen der Sorte Anuschka durchgeführt. Die Knollen wurden am 11.03.2025 zum Vorkeimen unter Tageslicht und konstanten Temperaturen um 20 °C ausgelegt. Von diesen Pflanzknollen wurden zum jeweiligen Pflanztermin Augenstecklinge entnommen, die in vorgesehene Mitscherlich-Gefäße gesetzt worden sind (s.). Die Mitscherlich-Gefäße wurden im Vorfeld mit jeweils 3 kg eines Substrats befüllt, das zu 50 Gew-% aus Fruhstorfer Erde und 50 Gew-% mittlerem Quarzsand (Korngröße 0,7 – 1,2 mm) bestand. Aufgrund der hohen Anzahl an Pflanzen, wurden zwei Pflanztermine (11.04.2025 und 06.05.2025) gewählt. Über den folgenden Zeitraum wurden die Pflanzen regelmäßig mit geringen Mengen bewässert.



Abbildung 1: Mitscherlich-Gefäße und untersuchte Kartoffelpflanzen. Die oberste Reihe entspricht dem zur Behandlung herangezogenen Entwicklungsstadium.

In EC 51, das jeweils ca. 6-8 Wochen nach der Pflanzung erreicht werden konnte, wurden die Pflanzen zur Applikation der Spritzbrühen herangezogen. Getestet wurden die in Tabelle 1 dargestellten Additive.

Tabelle 1: Wirksubstanzen und Aufwandmengen der untersuchten Additive

Additiv	Konzentration des wirkungsgebenden Bestandteils	Aufwandmenge [l/ha]
2H13	90 % Meyerozyma guilliermondii Blastosporen	0,20
CropCover CC-2000	10 % Hydroxypropylstärke	2,00
HELIOTERPEN Film	91 % Terpen-Oligomere	1,61
Nu-Film P	96 % Pinolene	0,25
ProNet-Alfa	1 % Milchproteintensid	0,60
WETCIT NEO	8,15 % Alkoholetoxylat	1,01
Zentero SPR	45 % Sophorolipide	1,00
Rhaponil SL	40 % Rhamnolipid	1,00
SprayFix	65 % Terpeneol	0,80
F0319	Terpeneol (Konzentration unbekannt)	1,81
BREAK-THRU SP133	80 % Polyglycerolester, 20 % Fettsäureester	0,40

Bei dem Produkt F0319 handelt es sich um ein Additiv, das bisher noch nicht zugelassen ist und sich im Entwicklungsstatus befindet. Hersteller und Zusammensetzung sind daher zum jetzigen Zeitpunkt unbekannt.

Die Additive wurden mit den gängigen Fungiziden Cuprozin progress (Suspensionskonzentrat) und Funguran progress (wasserdispergierbares Granulat) getestet. Die Angabe der fungiziden Aufwandmengen erfolgt volumetrisch für Cuprozin progress und in Gewichtseinheiten für Funguran progress (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Aufwandmengen der untersuchten Fungizide

Fungizid	Wirkstoffkonzentration	Aufwandmenge	Ungefäher Kupferaufwand
Cuprozin progress	383 g/l Kupferhydroxid	2 l/ha	500 g/ha
Funguran progress	537 g/kg Kupferhydroxid	2 kg/ha	700 g/ha

Im Vorfeld wurden Behältnisse mit je 200 ml Wasser und 1 ml bzw. g Fungizid (Cuprozin progress und Funguran progress) vorbereitet, zu denen die in Tabelle 1 ersichtlichen Konzentrationen der entsprechenden Additive mittels Pipette hinzugegeben worden sind. Diese richten sich nach den

Empfehlungen der Additivhersteller, die wiederum in absoluten oder relativen Mengen angegeben wurden.

Von den auf diese Weise angesetzten Spritzbrühen wurden je 10 ml je Pflanze aufgebracht, was bei angenommen 40.000 Pflanzen/ha dem in der Praxis üblichen Wasseraufwand von 400 l/ha und der gemäß Indikation maximalen fungiziden Aufwandmenge von 2 l/ha bzw. kg/ha entspricht. An dieser Stelle wichtig zu erwähnen ist der unterschiedliche Kupferaufwand, der sich durch dieselbe Produktaufwandmenge der Fungizide ergibt (s. Tabelle 2).

Die Spritzbrühe wurde mittels einer Airbrush-Pistole Honsell 2006 aufgebracht. Die dabei verwendete Düse (0,8 mm) vernebelte fein. Die Applikationszeit betrug jeweils etwa 10 s je Pflanze. Der Behandlungsdruck betrug 2 bar.

Zur Analytik wurden die von oben herabgezählten Fiederblätter entnommen. Dabei galt das erste Fiederblatt, dessen Blätter voll entfaltet waren und dessen Länge in Summe mindestens 3 cm entsprach, als erstes Fiederblatt. Nachdem die applizierten Pflanzen abgetrocknet waren, wurden das erste sowie das vierte Fiederblatt zur späteren Analytik entnommen.

Infolgedessen wurde ein erstes Regenereignis simuliert, dass in seiner Menge in etwa 20 l/m² entsprach und exakt 1 min andauerte. Die beregneten Pflanzen wurden über Nacht zum Abtrocknen überdacht stehen gelassen. Am folgenden Tag wurden die Fiederblätter 2 und 3 entnommen. Danach wurde ein zweites Regenereignis mit erneuten 20 l/m² innerhalb einer Minute simuliert und am darauffolgenden Tag das jeweils 5 Fiederblatt berentet. Der Probenahme zum Zeitpunkt nach der Applikation und vor der ersten Bewässerung wird im Folgenden als R0 bezeichnet. Der Probenahmezeitpunkt zwischen der ersten und zweiten Bewässerung wird im Folgenden als R1 bezeichnet. Die finale Probenahme und damit die nach der zweiten Bewässerung wird als R2 bezeichnet. So lässt sich der Kupfergehalt im Verlauf der simulierten Niederschläge darstellen.

Vor der kontrollierten Bewässerung, die je Pflanze 1 min andauerte, wurden die Pflanzen gleichmäßig mit jeweils 15 ml Wasser mittels Airbrush benetzt, um die für die theoretische Abwaschung notwendige Lösung des Spritzbelags zu ermöglichen. Eine Zusammenfassung der zeitlichen Abfolge der an den Pflanzen durchgeführten Arbeitsschritte zeigt die Abbildung 2.



Abbildung 2: Zeitliche Abfolge der an den Pflanzen erfolgten Arbeitsschritte

Nach der Beprobung wurden die Blattproben für jeweils min. 24 h bei 60 °C in einen Trockenschrank gegeben. Das vollständig getrocknete Pflanzenmaterial wurde anschließend vermahlen. Für jede Probe wurden min 100 mg abgewogen und in Gefäße zum Mikrowellenaufschluss gegeben. Nach einem Mikrowellenaufschluss bei 200 °C und 15 bar für 80 min mithilfe von 2 ml Wasserstoffperoxid (H_2O_2) und 4 ml Salpetersäure (HNO_3) wurde der Inhalt der Gefäße gründlichst mit Reinstwasser aus den Gefäßen entnommen und auf 25 ml verdünnt.

Die auf diese Weise gewonnenen Proben wurden anschließend zur Analyse mittels Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) herangezogen. Die auf diese Weise ermittelten Kupfergehalte in ppm werden über das Volumen der Messlösung sowie die Gewichte aus der Einwaage auf mg/kg hochgerechnet. Die Abbildung 3 fasst alle in diesem Zusammenhang erfolgten Schritte nochmals zusammen.



Abbildung 3: Zeitliche Abfolge der Arbeitsschritte zur Analyse der Blattproben

Um zu untersuchen, welchen Kupfergehalt unbehandelte Kartoffelpflanzen aufweisen und ob möglicherweise bestehende Schwankungen die Ergebnisse verzerren könnten, wurden von verschiedenen Pflanzen in verschiedenen Blattebenen Fiederblätter beprobt und ebenfalls auf ihren Kupfergehalt hin untersucht. Um den Einfluss der Additive untersuchen zu können, wurden beide Fungizide auch ohne Additiv angewandt. Zur Einordnung des bereits im Blattwerk enthaltenen Kupfers wurden auch unbehandelte Pflanzen beprobt.

Die Daten wurden mittels Microsoft Excel erfasst, aufbereitet und in R statistisch ausgewertet. Zur Analyse und Darstellung der Daten wurde die RStudio-Version 2026.01.0 mit R 4.5.2 verwendet. Vier Ausreißer von insgesamt 719 Werten wurden über $3 \cdot IQR$ herausgefiltert.

3 Ergebnisse

Der Mittelwert des ursprünglich enthaltenen Kupfers in Pflanzen der Sorte Anuschka liegt bei 4,84 mg/kg. Dieser Wert liegt im Vergleich mit den behandelten Varianten auf einem sehr geringen Niveau. Der Einfluss des bereits in der Blattmasse enthaltenen Kupfers wird daher im Folgenden vernachlässigt.

Aufgrund der unterschiedlichen Kupfergehalte bei gleicher Aufwandmenge der getesteten Fungizide Cuprozin progress und Funguran progress (s. Tabelle 2) sind unterschiedlich hohe Kupfergehalte auf dem Blatt bei R0 für beide Fungizide zu erwarten. So liegt der mittlere Kupfergehalt bei R0 für Cuprozin progress bei 393,11 mg/kg (SD = 104,54) und der für Funguran progress bei 488,23 mg/kg (SD = 165,75).

Die einfaktorielle ANOVA zeigt, dass das Additiv bei allen Varianten mit Cuprozin progress den Kupfergehalt zum Zeitpunkt R0 nicht signifikant beeinflusst (p-Wert > 0,05). Der geringste mittlere Kupfergehalt bei R0 lässt sich für die Kombination Cuprozin progress + SprayFix beobachten. Dieser liegt bei 331,30 mg/kg (SD = 71,57). Der höchste Wert hingegen lässt sich für das Additiv Rhaponil SL feststellen (482,33 mg/kg, SD = 78,89). Die größte Streuung zeigt das Additiv ProNet-Alfa (CV = 36,92 %).

Im Falle des zweiten getesteten Fungizids Funguran progress zeigt die ANOVA einen signifikanten Effekt des Additivs auf den Kupfergehalt (p-Wert < 0,05). Ein Dunnett-Test (p-Wert < 0,05) zeigt, dass sich alle getesteten Additive mit der Ausnahme der Produkte ProNet-Alfa und Rhaponil SL signifikant von der Kontrolle (Funguran progress ohne Additiv) unterscheiden. Auffällig ist, dass der höchste Kupfergehalt bei der Variante ohne Additiv festgestellt werden kann (791 mg/kg, SD = 151,08). Den geringsten Kupfergehalt bei R0 zeigt die Variante mit WETCIT NEO (341,98 mg/kg, SD = 76,5). Einen Überblick über die Kupfergehalte zu R0 zeigt die folgende Abbildung 4.

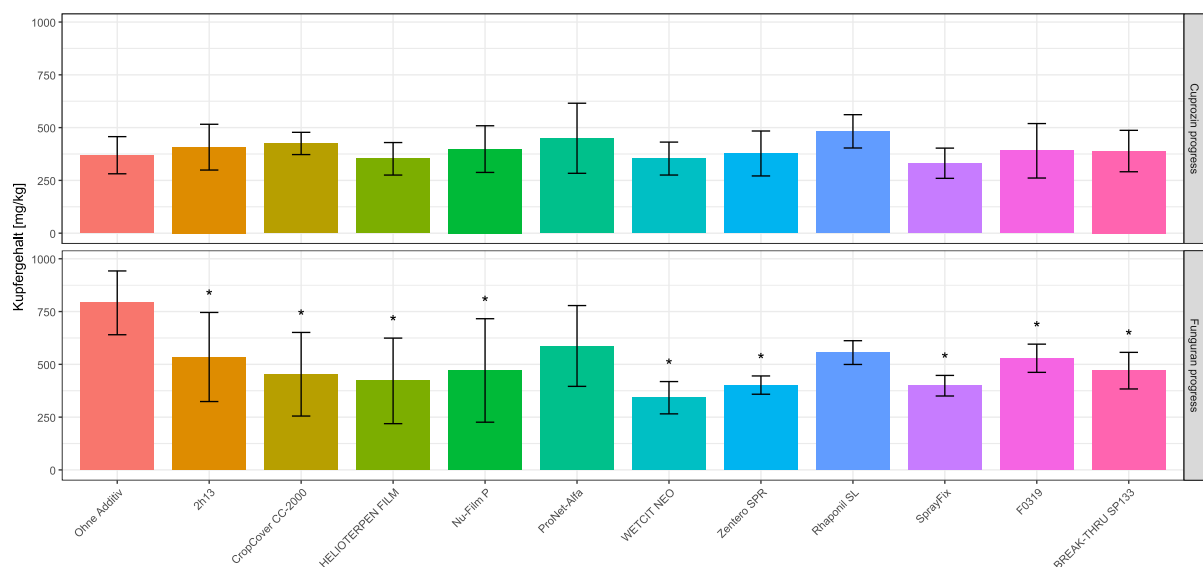


Abbildung 4: Mittlerer Kupfergehalt bei R0 für alle Varianten ($\pm$ SD; $p < 0,05$ Dunnett-Test; $n(\text{Cuprozin progress}) = 9-10$; $n(\text{Funguran progress}) = 6$).

Eine einfaktorielle ANOVA für Cuprozin progress zeigt, dass der Kupfergehalt nur nach der zweiten Bewässerung (R2) signifikant durch das Additiv beeinflusst wird. So sehen wir auch in den

Mittelwerten erst hier eine deutliche Abweichung der Kontrolle (Cuprozin progress ohne Additiv) gegenüber allen Varianten mit Additiv. Nach der ersten Bewässerung wird die Kontrolle (325,33 mg/kg, SD = 138,53) nur noch durch die Variante Cuprozin progress + SprayFix (318,89 mg/kg, SD = 62,85) unterschritten, während zu R0 die Kontrolle noch einen etwa gleich hohen Kupfergehalt gegenüber allen Additiv-Varianten aufwies. Doch auch die Varianten mit den Additiven CropCover CC-2000, WETCIT NEO, Zentero SPR und Rhaponil SL auch für R0 nah am Mittelwert für die Variante ohne Additiv.

Den höchsten Wert für R1 und Cuprozin progress zeigt die Variante Cuprozin progress + HELIOTERPEN FILM. Dicht dahinter folgt das Additiv 2h13. Die zweite Bewässerung offenbart jedoch größere Unterschiede. So ist die Kontrolle zum zweiten Probenahmezeitpunkt R2 mit Abstand diejenige Variante, die den geringsten Kupfergehalt aufweist (189,30 mg/kg, SD = 137,80). Den höchsten Kupfergehalt weist die Variante Cuprozin progress + 2h13 auf (391,73 mg/kg, SD = 98,26). Doch auch die Varianten mit den Additiven CropCover CC-2000, HELIOTERPEN FILM, Nu-Film P und WETCIT NEO zeigen ähnlich hohe mittlere Kupfergehalte zu R2. Die Varianten mit den Additiven 2h13, CropCover CC-2000, HELIOTERPEN FILM und Nu-Film P zum Zeitpunkt R2 sind die Einzigen, die im Verlauf des Versuchs einen signifikanten Unterschied zur Kontrolle gezeigt haben. Einen Überblick über die mittleren Kupfergehalte zu allen Probenahmezeitpunkt stellt die folgende Abbildung 5 dar. Auch wenn nicht alle Ergebnisse nach der zweiten Bewässerung statistisch signifikant sind und die Schwankungen der Messwerte hier besonders stark ausfallen, ist dennoch der Trend zu erkennen, dass die Variante ohne Additiv den klar geringsten Kupfergehalt aufweist und selbst die Additiv-Variante mit dem geringsten Kupfergehalt (Cuprozin progress + SprayFix) einen höheren mittleren Kupfergehalt bei R2 zeigt.

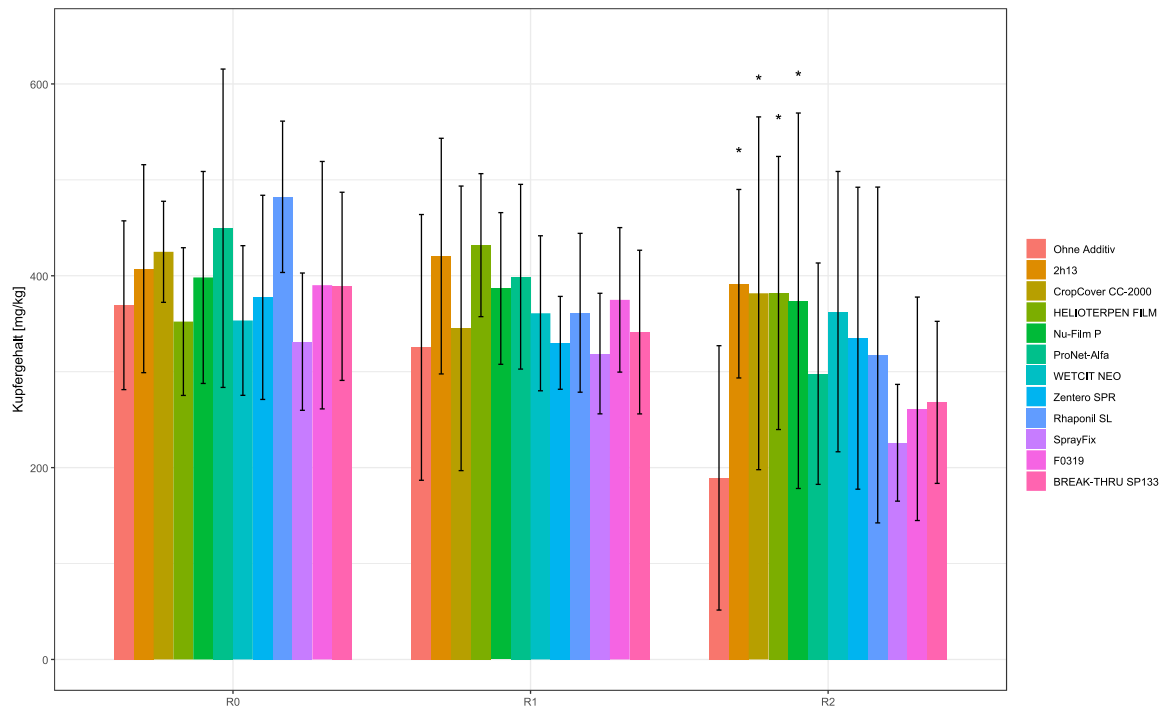


Abbildung 5: Mittlerer Kupfergehalt aller Varianten mit Cuprozin progress mit allen getesteten Additiven zu allen Zeitpunkten ($\pm$ SD; $p < 0,05$ Dunnett-Test; $n = 9-10$).

Eine ANOVA für alle Varianten mit Funguran progress zeigt, dass das Additiv den Kupfergehalt zu jedem Probenahmezeitpunkt signifikant beeinflusst (p -Wert $< 0,05$). Wie bereits in Abbildung 4 ersichtlich unterscheiden sich im Gegensatz zum Test mit Cuprozin progress schon zu R0 fast alle Additive, mit Ausnahme von ProNet-Alfa und Rhaponil SL, signifikant von der Kontrolle ohne Additiv. Dieses Bild zeigt sich ähnlich auch zu R1, wobei Rhaponil SL einen deutlichen Rückgang verzeichnet und ProNet-Alfa das einzige Produkt wird, dass sich nicht signifikant von der Kontrolle unterscheidet. Auch zu R1 bleibt die Kontrolle (Funguran progress ohne Additiv) diejenige Variante, die den höchsten Kupfergehalt aufweist. Mit 664,94 mg/kg (SD = 100,58) liegt dieser Wert weit über den ansonsten festgestellten Werten, die allesamt dichter beisammen liegen als noch zu R0. Der zweit höchste Mittelwert entfällt wieder auf ProNet-Alfa (489,23 mg/kg). Hier können lässt aber auch eine besonders starke Schwankung feststellen (SD = 241,13). Den geringsten Mittelwert weist die Variante mit dem Additiv SprayFix auf (278,82 mg/kg, SD = 52,25). Damit zeigt sich auch das Phänomen, dass die Mittelwerte, die zu R1 mit Cuprozin progress ermittelt werden konnten, nicht mehr niedriger liegen (und das obwohl des geringeren Kupfergehalts in Cuprozin progress). Zu R0 wies die überwiegende Mehrzahl aller Varianten mit Cuprozin progress erwartungsgemäß den geringeren Kupfergehalt auf. Dies kehrt sich für R1 teilweise um.

Zum Zeitpunkt R2 ist die Kontrolle Funguran progress ohne Additiv nicht mehr die Variante mit dem höchsten mittleren Kupfergehalt. Dieser entfällt nun auf die Variante mit dem Additiv F0319

(501,57 mg/kg), das sich ebenfalls als einziges signifikant von der Kontrolle unterscheidet. Hier ist nicht nur eine starke Schwankung ($SD = 299,57$), sondern auch das Phänomen, dass der mittlere Kupfergehalt nach einer Abnahme von R0 auf R1 zum dritten Probenahmezeitpunkt, nach der zweiten Bewässerung, eine Zunahme aufweist zu beobachten. Dies können wir für kein anderes Additiv in Kombination mit Funguran progress beobachten. Die Varianten mit den Additiven ProNet-Alfa und BREAK-THRU SP 133 liegen zu R2 etwas unter dem Niveau des höchsten Mittelwerts (Funguran progress + F0319), aber dennoch deutlich über dem Niveau der Kontrolle Funguran progress ohne Additiv (264,43 mg/kg, $SD = 114,45$). Die folgende Abbildung 6 zeigt den Verlauf der mittleren Kupfergehalte, deren SD sowie signifikante Unterschiede zur Kontrolle je Probenahmezeitpunkt.

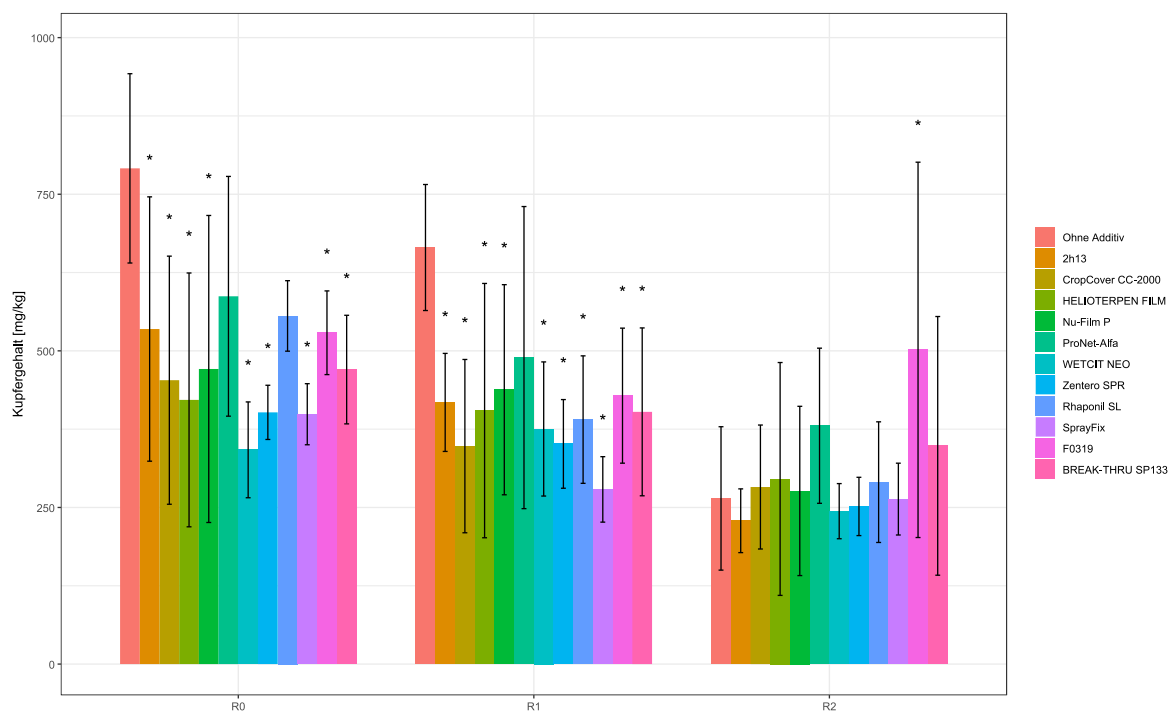


Abbildung 6: Mittlerer Kupfergehalt aller Varianten mit Funguran progress mit allen getesteten Additiven zu allen Zeitpunkten ($\pm SD$; $p < 0,05$ Dunnett-Test; $n = 6$).

Bei der Betrachtung aller Varianten mit Cuprozin progress im Zeitverlauf zeigt sich erneut die zuvor festgehaltene Beobachtung, dass die Variante Cuprozin progress ohne Additiv zu R2 diejenige ist, die den geringsten Kupfergehalt aufweist. Die Abbildung 7 zeigt mithilfe eines Tukey-HSD-Tests, der für jedes Additiv durchgeführt worden ist und signifikante Unterschiede nach den Bewässerungen testet ($p\text{-Wert} < 0,05$), dass sich der ermittelte Kupfergehalt für Cuprozin progress ohne Additiv zu R2 signifikant von dem zu R0 unterscheidet. Die Varianten mit den Additiven 2h13, CropCover CC-2000, HELIOTERPEN FILM, Nu-Film P, ProNet-Alfa und Zentero SPR zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen R0, R1 und R2. Bei der Variante Cuprozin

progress + ProNet-Alfa ist dennoch tendenziell eine Abnahme des Kupfergehalts im Zeitverlauf zu erkennen.

Im Kupfergehalt besonders stabil zu sein, scheinen die Varianten mit den Additiven 2h13, Nu-Film P und WETCIT NEO. Hier unterscheiden sich die mittleren Kupfergehalte zu R0, R1 und R2 untereinander nur geringfügig. Cuprozin progress + 2h13 weist zu R2 den höchsten Kupfergehalt auf. Cuprozin progress + WETCIT NEO ist die einzige Variante, die zu jedem Zeitpunkt eine Zunahme im Kupfergehalt aufweist. Der Abnahme im Kupfergehalt zwischen den Probenahmezeitpunkten ist für die Variante Cuprozin progress + Rhaponil SL als hoch zu bewerten. Es ist die einzige Variante, deren Kupfergehalte sich zu R0, R1 und R2 signifikant unterscheiden (p -Wert $< 0,05$).

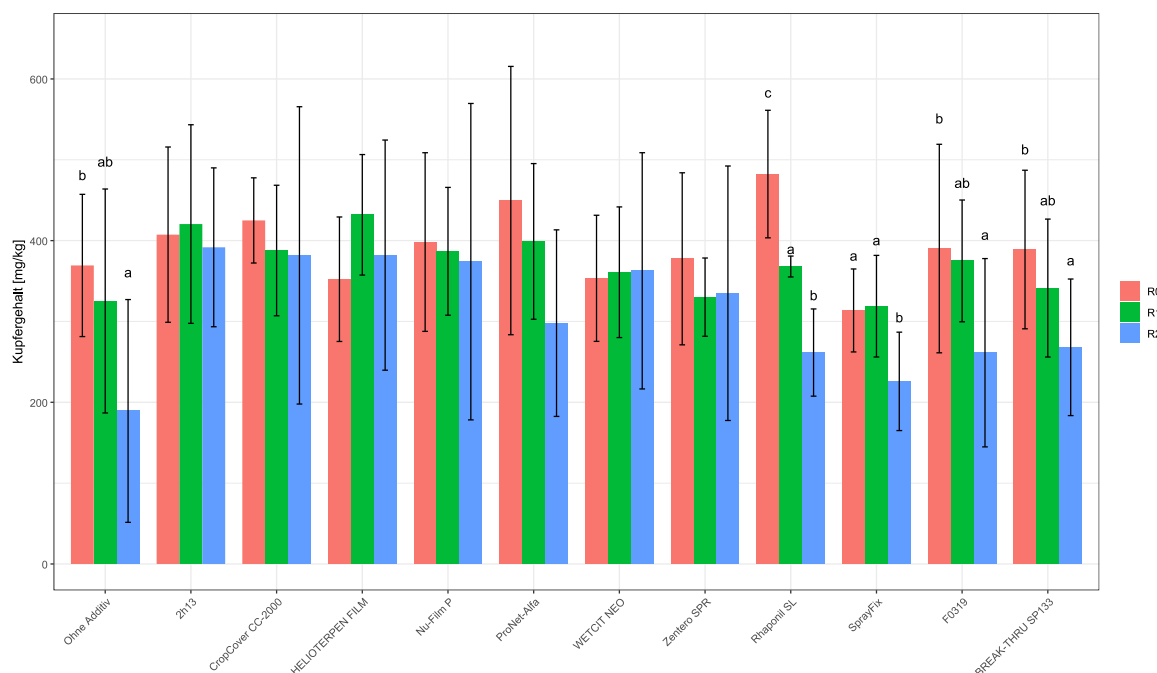


Abbildung 7: Mittlere Kupfergehalte je Additiv zu allen Zeitpunkten mit dem Fungizid Cuprozin progress ($\pm$ SD; $p < 0,05$ Tukey-HSD; $n = 9-10$).

Anders stellt sich das für alle Varianten mit dem Fungizid Funguran progress dar. Hier sehen wir deutlich weniger konsistente Kupfergehalte im Zeitverlauf. Wir sehen für nahezu jedes geprüfte Additiv, dass der Kupfergehalt tendenziell von Bewässerung zu Bewässerung abnimmt. Die einzige Ausnahme ist die Variante Funguran progress + F0319. Hier ist eine Zunahme im mittleren Kupfergehalt von R1 auf R2 und nur eine tendenziell schwächere Abnahme von R0 auf R2 zu erkennen. Doch muss hier die starke Streuung der Werte zu R2 berücksichtigt werden. Außerdem zu erwähnen ist, dass der Tukey-HSD (p -Wert $< 0,05$) auch für die Varianten mit den Additiven CropCover CC-2000, HELIOTERPEN FILM, Nu-Film P, ProNet-Alfa und BREAK-THRU SP133 keine signifikanten Unterschiede von R0 über R1 zu R2 zeigt (s. Abbildung 8). Doch auch ähnlich wie

zuvor bei dem Fungizid Cuprozin progress beobachtet, sehen wir hier die tendenziell stärkste Abnahme für die Kontrolle ohne Additiv.

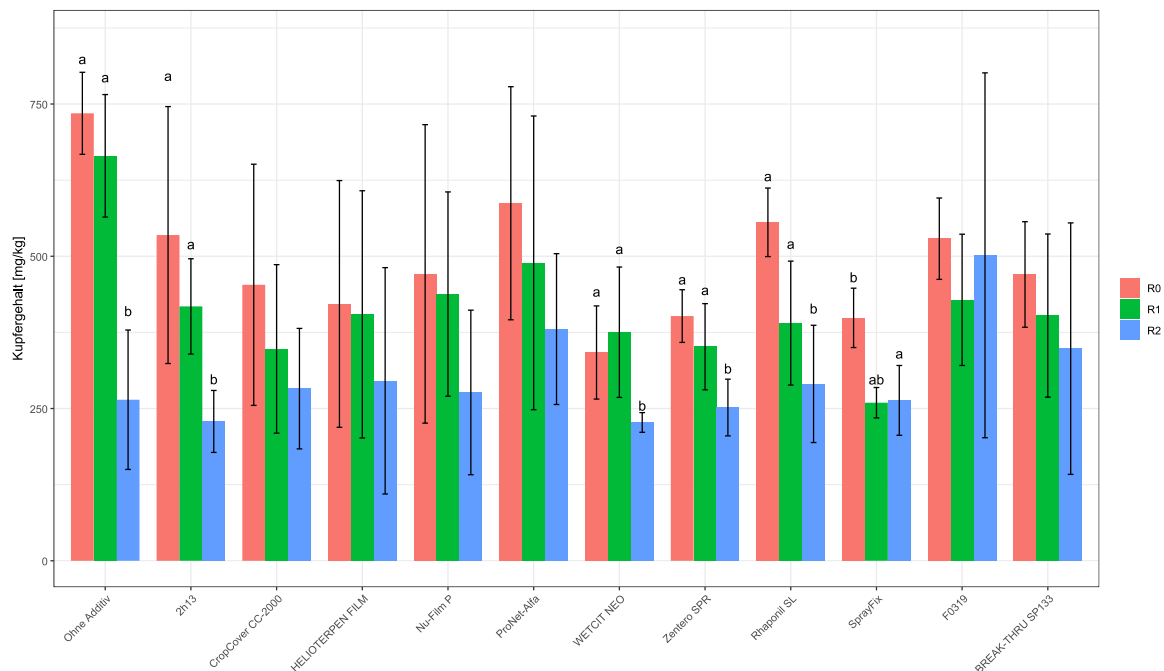


Abbildung 8: Mittlere Kupfergehalte je Additiv zu allen Zeitpunkten mit dem Fungizid Funguran progress ($\pm$ SD; $p < 0,05$ Tukey-HSD; $n = 6$).

Die Abweichung von R0 zu R2 ist bei den Additiven Rhaponil SL (- 164,93 mg/kg, SD = 170,38) und ProNet-Alfa (- 151,62 mg/kg, SD = 199,73) mit Cuprozin progress am höchsten. Diese bewegen sich auf einem ähnlichen Niveau wie Cuprozin progress ohne Additiv (- 179,99 mg/kg, SD = 143,77). Für Cuprozin progress zeigen die Varianten mit den Additiven HELIOTERPEN FILM (+ 29,81 mg/kg, SD = 201,01) und WETCIT NEO (+ 9,26 mg/kg, SD = 187,88) eine Zunahme im mittleren Kupfergehalt nach zwei Berechnungsgängen (von R0 zu R2). Die Varianten Cuprozin progress + 2h13 (- 15,68 mg/kg, SD = 128,97), Cuprozin progress + Nu-Film P (- 24,29 mg/kg, SD = 257,99) sowie Cuprozin progress + Zentero SPR zeigen (-42,58 mg/kg, SD = 163,90) einen Rückgang geringeren Umfangs. Die Additive SprayFix, F0319 und BREAK-THRU SP133 bewegen sich in Kombination mit Cuprozin progress zwischen den zuerst genannten Produkten mit starken Rückgängen sowie denen, die nur geringe Rückgänge oder gar Zunahmen im mittleren Kupfergehalt von R0 zu R2 zeigen. Die hohen Standardabweichungen zeigen, dass die

Schwankungen stark sind, und das für einige Töpfe auch eine Zunahme im mittleren Kupfergehalt festgestellt werden konnte.

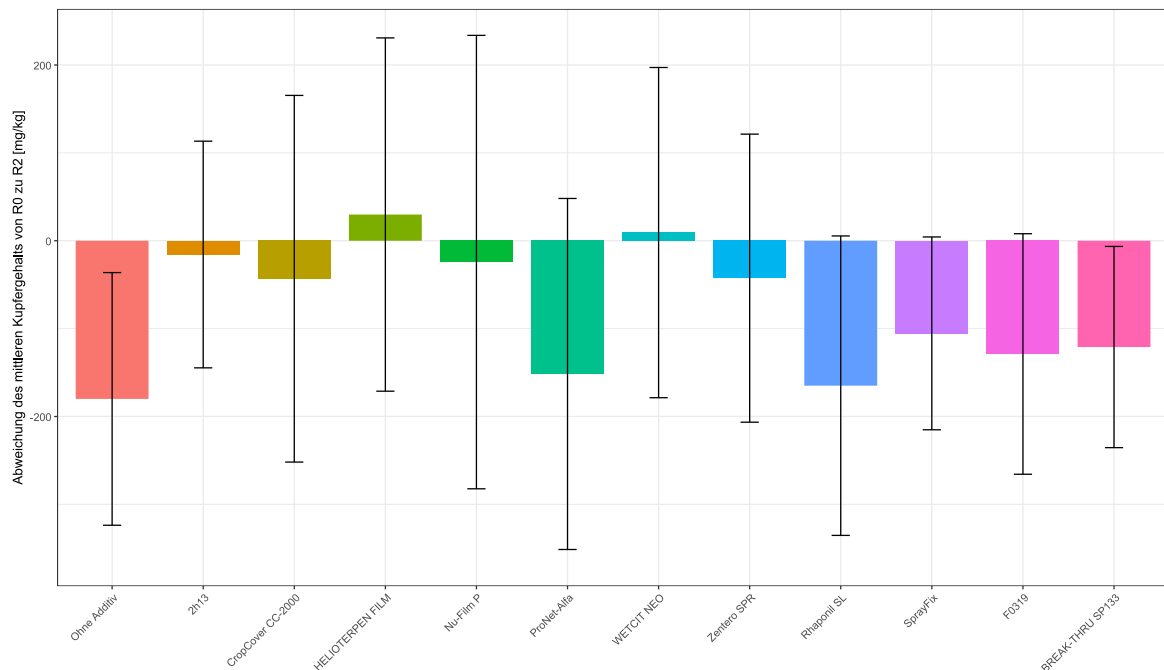


Abbildung 9: Mittelwert der Abweichungen im Kupfergehalt von R0 auf R2 für Cuprozin progress je Additiv ($\pm$ SD; $p < 0,05$ Dunnett-Test; $n = 9-10$).

Eindeutiger stellt sich das für das Fungizid Funguran progress dar, denn hier zeigen alle Differenzen zwischen dem mittleren Kupfergehalt vor Bewässerung (R0) und nach zwei Bewässerungen (R2) eine negative Abweichung (s. Abbildung 10).

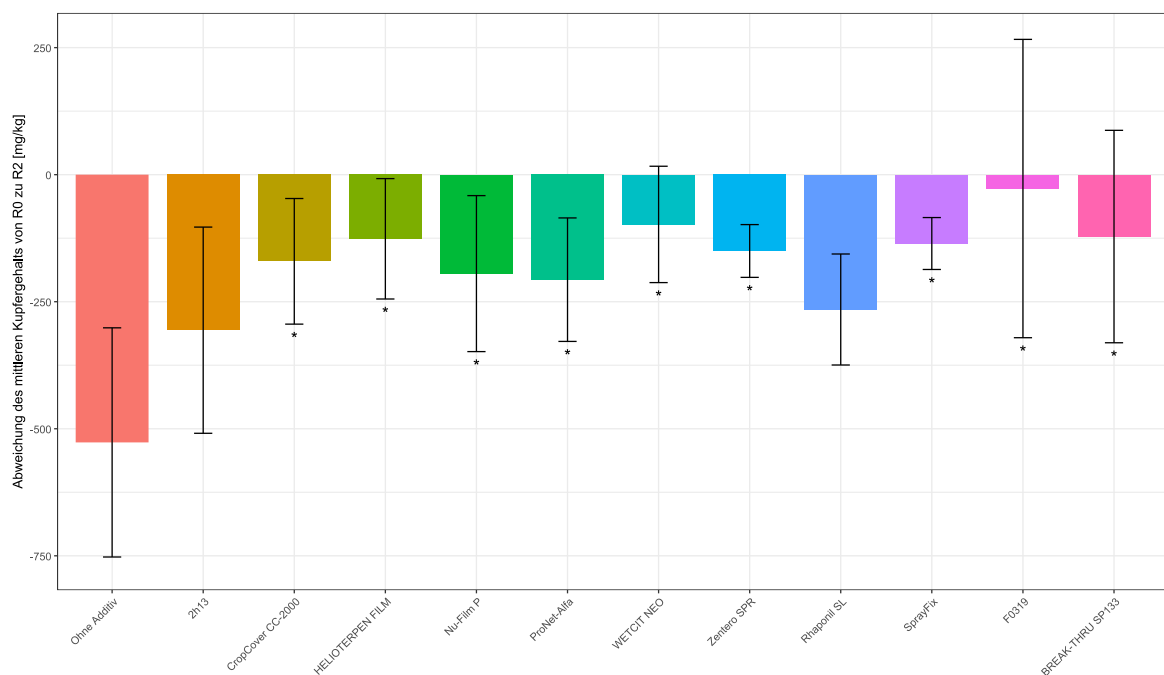


Abbildung 10: Mittelwert der Abweichungen im Kupfergehalt von R0 auf R2 für Funguran progress je Additiv ($\pm$ SD; $p < 0,05$ Dunnett-Test; $n = 6$).

Diese fällt mit einem Rückgang von 526,88 mg/kg (SD = 225,49) für die Kontrolle Funguran progress ohne Additiv am höchsten aus. Anders als bei Cuprozin progress, zeigt der Dunnett-Test (p-Wert < 0,05) hier außerdem, dass sich alle Varianten mit Additiven, außer Funguran progress + 2h13 und Funguran progress + Rhaponil SL, signifikant von der Kontrolle unterscheiden. Diese weisen außerdem die stärkste negative Abweichung von R0 zu R2 unter allen Additivvarianten auf. Die geringste zeigt Funguran progress + F0319 (-27,30 mg/kg, SD = 293,53). Alle übrigen Additive weisen in etwa einen Rückgang zwischen 100 mg/kg und 200 mg/kg auf.

Damit zeigt sich, dass selbst diejenigen Additive, die mit Funguran progress im Ranking nach Differenz im mittleren Kupfergehalt von R0 zu R2, einen der mittleren Plätze belegen, absolut eine stärkere Abweichung zeigen, als in Kombination mit Cuprozin progress. Visualisieren lässt sich dies indem, die Abweichung für jeden Topf zunächst als relative Größe zum Kupfergehalt bei R0 in Prozent errechnet wird. Die mittlere prozentuale Abweichung von R0 zu R2 gibt folglich Aufschluss darüber, welcher Anteil des ursprünglich auf dem Blatt befindlichen Kupfers nach zwei Bewässerungen noch feststellbar ist (s. Abbildung 11).

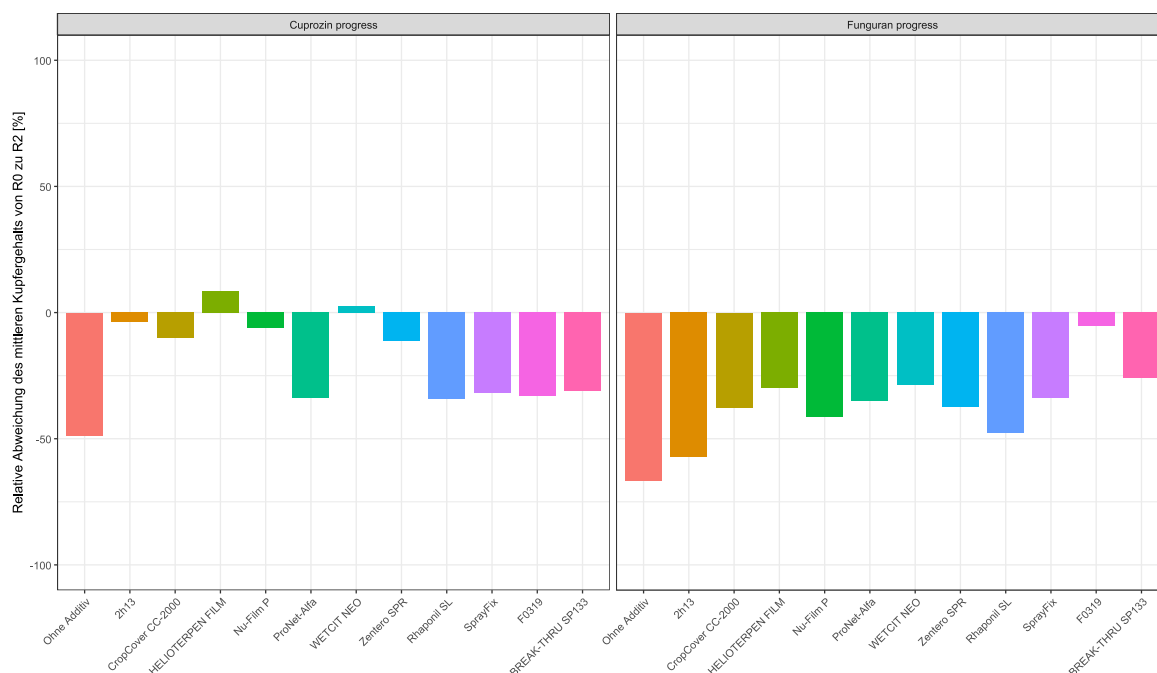


Abbildung 11: Relative Abweichung des mittleren Kupfergehalts von R0 auf R2 für die Fungizide Cuprozin progress und Funguran progress je Additiv (n(Cuprozin progress) = 9-10; n(Funguran progress) = 6).

So wird klar ersichtlich, dass Funguran progress ohne Additiv anteilig deutlich mehr Kupfer verliert (- 66,58 %) als Cuprozin progress ohne Additiv (- 48,74 %). Die geringsten relativen Rückgänge im mittleren Kupfergehalt von R0 zu R2 lassen sich für die Varianten Cuprozin progress + 2h13 (- 3,85 %) und Funguran progress + F0319 (- 5,16 %) feststellen. Bemerkenswert ist, dass 2h13 in Kombination mit Funguran progress den zweitstärksten Rückgang insgesamt (-

57,22 %) aufweist. Analog können wir das auch für F0319 feststellen. Denn mit Cuprozin progress schneidet F0319 mit einem deutlich höheren relativen Rückgang ab (- 33,03 %) und zeigt damit unter allen Varianten mit Cuprozin progress die dritthöchste relative negative Abweichung.

Die untersuchten Additive und wirkungsgebende Bestandteile (s. Tabelle 1) lassen sich stofflich klassifizieren. Eine entsprechende Unterteilung nimmt die Tabelle 3 vor.

Tabelle 3: Klassifikation der untersuchten Additive

Gruppe	Untergruppe	Produkt	Wirkungsgebende Substanz
Tenside	Anionisch	Rhaponil SL	Rhamnolipide
		2h13	Meyerozyma guilliermondii
	Nichtionisch	BREAK-THRU SP133	Polyglycerolester, Fettsäureester
		WETCIT NEO	Alkoholetoxylat
		Zentero SPR	Sophorolipide
	Amphoter	ProNet-Alfa	Milchproteintensid
Terpene		F0319	Terpineol
		HELIOTERPEN Film	Terpen-Oligomere
		SprayFix	Terpineol
Polymere		Nu-Film P	Pinolene
		CropCover CC-2000	Hydroxypropylstärke

Die Tenside lassen sich darüber hinaus in Biotenside und synthetische Tenside unterteilen. Die Produkte Rhaponil SL und Zentero SPR greifen auf klassische Biotenside zurück. Die Tenside in BREAK-THRU SP133 und WETCIT NEO sind als synthetisch zu bezeichnen. Das Produkt 2h13 stellt eine Sonderform dar, es enthält mit *Meyerozyma guilliermondii* einen Hefestamm, der als ein Hersteller von Biotensiden fungiert.

Wie hoch der Unterschied zwischen dem mittleren Kupfergehalt vor einer Bewässerung und dem mittleren Kupfergehalt nach zwei Bewässerungen ist, lässt sich anhand der relativen Abweichung im mittleren Kupfergehalt von R0 zu R2 auch für entsprechende Additiv-Gruppen darstellen (s. Abbildung 12).

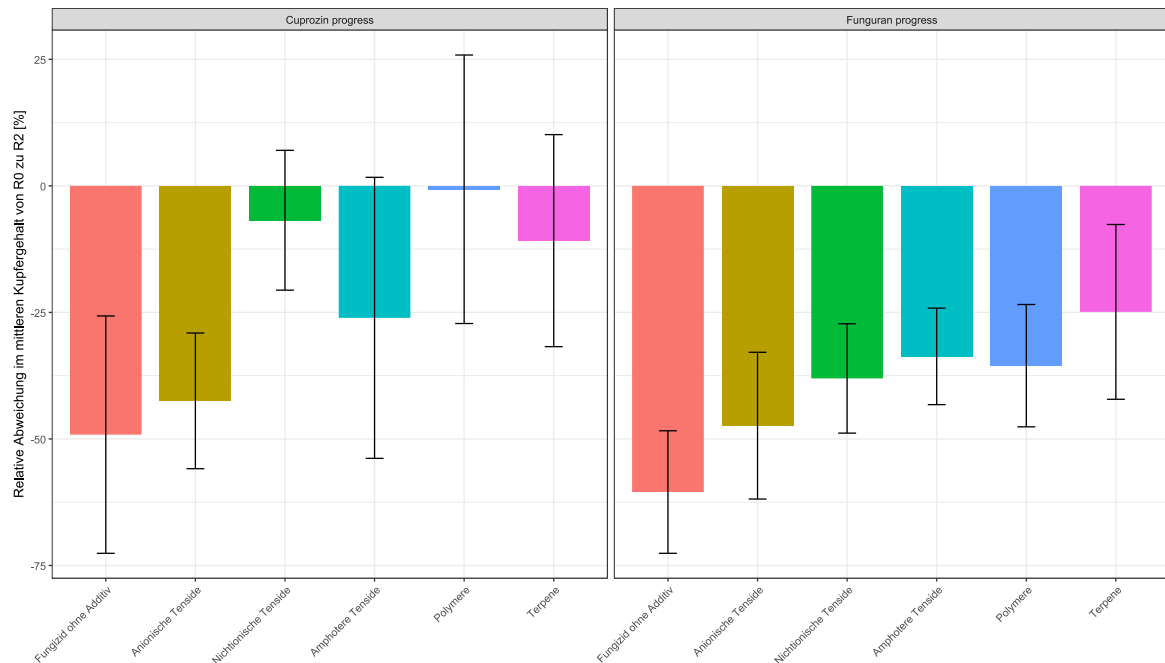


Abbildung 12: Relative Abweichung des mittleren Kupfergehalts von R0 zu R2 für alle Additivgruppen nach Fungizid (95 % Konfidenzintervall; n(Cuprozin progress) = 9-36; n(Funguran progress) = 6-24).

So zeigt sich, dass Funguran progress ohne Additiv die größte Differenz im mittleren Kupfergehalt aufweist (- 66,58 %). Die Gruppe der Terpene zeigt für alle Gruppen mit Funguran progress den geringsten Rückgang von - 24,90 %. Die Additivgruppe in Kombination mit Funguran progress, die den höchsten Rückgang zu verzeichnen hat, sind die anionischen Tenside (- 47,38 %). Dieser Wert liegt nahe bei Cuprozin progress ohne Additiv, das eine Abweichung nach zwei Bewässerungen im mittleren Kupfergehalt von - 48,75 % aufweist. Auch mit Cuprozin progress zeigen die anionischen Tenside die höchste Abweichung aller Additivgruppen (- 42,48 %). Die geringsten Abweichungen insgesamt zeigen die Gruppen Cuprozin progress + nichtionische Tenside (- 6,79 %) und Cuprozin progress + Polymere (- 0,67 %).

4 Diskussion

Die Additive zeigten schon bei der Erstellung der entsprechenden Lösungen erste Effekte. Auf diese Weise konnte schon bevor Daten erhoben worden sind, festgestellt werden, dass schon die Hinzugabe geringer Mengen eines Additivs die Eigenschaften der Lösung aus Fungizid und Wasser beeinflussen. Dieser Eindruck bestätigte sich nach der Applikation.

In der Praxis ist es immer wieder ein Thema, das bestimmte Kombinationen oder einige Zusatzstoffe zu Problemen beim Aufrühren in der Pflanzenschutzspritze durch übermäßiges Aufschäumen führen. Solche Probleme lassen sich durch sogenannte Schaumstopper vergleichsweise kostengünstig vermindern. Ob oder in welchem Umfang die Hinzugabe weiterer

Additive auf die Wirkung bisheriger Additive, genauer der hier untersuchten Haftmittel, habe lässt sich mit den vorhandenen Daten nicht beantworten oder vermuten.

Schon nach der Applikation sind im Kupfergehalt nennenswerte Unterschiede in den Kupfergehalten zu beobachten. Auffällig ist, dass Werte, die für Funguran progress ohne Additiv um Einiges über allen übrigen Werten liegt. Funguran progress enthält gegenüber Cuprozin progress die etwa 1,4-fache Menge an Kupfer. In der Kupferanalyse nach der Applikation kann jedoch nur die 1,2-fache Menge festgestellt werden. Demnach ließe sich ableiten, dass Cuprozin progress im Vergleich zu Funguran progress (beide ohne Additive) schon bei Applikation den Wirkstoff besser auf den Blättern halten und verteilen kann. So können die geringeren Kupfergehalte aller Varianten Funguran progress mit Additiv, die allesamt geringere mittlere Kupfergehalte aufweisen, bedeuten, dass eine bessere Benetzung bzw. Verteilung innerhalb der Pflanze festgestellt werden konnte.

Mit dieser Annahme kann die Hinzunahme eines Additivs zu Funguran progress schon im Fall vor einer Bewässerung oder vor eines Niederschlags dazu beitragen, die Wirkung des Fungizids zu verbessern. Denn in der Praxis ist die Benetzung von tatsächlicher Bedeutung. Immer wieder sind Blattpartien oder einzelne Blätter zu beobachten, die zwar stellenweise den blauen fungiziden Wirkstoff zeigen, jedoch an anderer Stelle trotzdem mit *Phytophthora infestans* infiziert werden konnten (s. Abbildung 13).

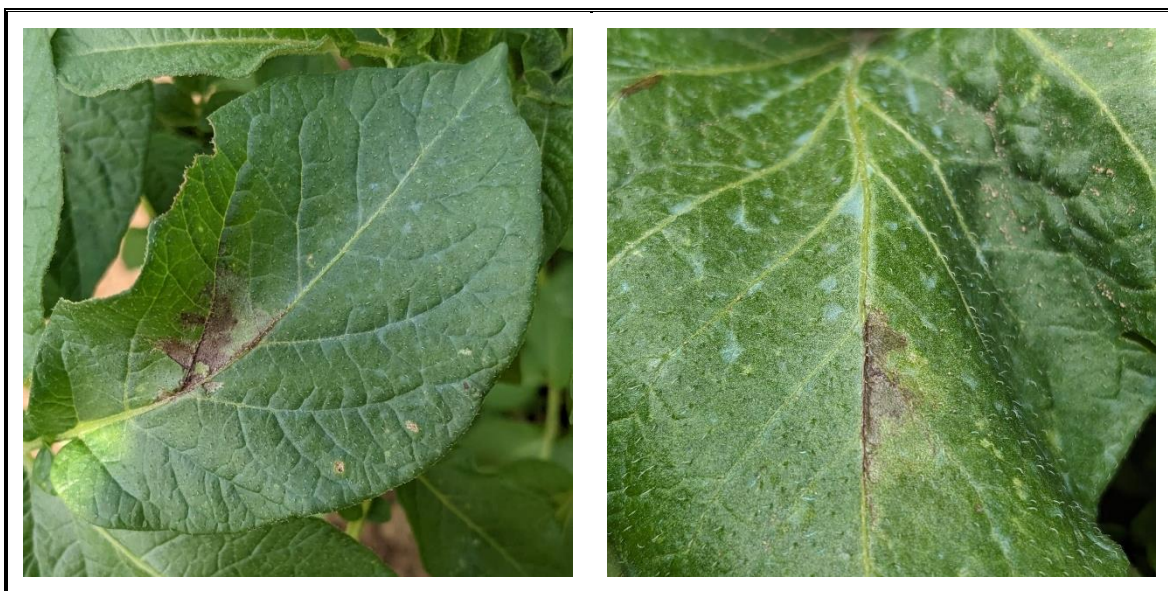


Abbildung 13: Mangelnde Benetzung mit Funguran progress ohne Zusatz eines Additivs ermöglicht Sekundärinfektionen mit *Phytophthora infestans*. Eigene Darstellung mit Aufnahmen aus der Praxis (Wieckhorst, 2024).

Benetzungsunterschiede konnten zwar beobachtet werden, können aber mit der gewählten Methodik nicht quantifiziert und analysiert werden. Sie sind jedoch neben der Regenfestigkeit, also der Haftwirkung, einerseits zentrale Eigenschaft der untersuchten Additive und andererseits

unabdingbar bei der Beurteilung der tatsächlichen Wirkung der untersuchten Kontaktfungizide auf Kupferbasis zur Regulierung von *Phytophthora infestans*.

In einem erneuerten oder ergänzendem Versuchsansatz könnte daher ebenfalls auf Labormaßstab eine möglicherweise unterschiedliche Benetzung oder Wirkstoffverteilung der getesteten Versuchsglieder, sprich der Additiv-Fungizid-Kombinationen, untersucht werden, um sich der Prognose der tatsächlichen Wirkung im Feld bzw. des Einflusses verschiedener Additive besser nähern zu können.

Mit der vorliegenden Methodik konnte darüber hinaus ebenfalls nicht unterschieden werden, ob verminderte Kupfergehalte nach einer Bewässerung oder schon nach Applikation durch vollständige Abwaschung oder lediglich Verlagerung innerhalb der Pflanze zustande kommen. Obwohl vollständige Fiederblätter beprobt worden sind, bleiben einige Teile, im Wesentlichen nicht beprobte Fiederblätter, aber auch Stängel und Nebentriebe, unbeprobte. Einige Fälle zeigen Zunahme im Kupfergehalt nach einer Bewässerung. Auch diese Werte sind plausibel, denn sie beweisen, dass Kupfer nicht immer bzw. zwangsläufig gänzlich von den Blättern abgewaschen wird, sondern z.B. von einer oberen Blattetage auf darunter liegende Fiederblätter verlagert werden könnte.

Im Weiteren kann dieses Phänomen als eine eher langsame Abwaschung interpretiert werden. Denn in den Fällen, bei denen nach der zweiten Bewässerung deutlich geringere Kupfergehalte festgestellt werden konnten, konnten nie zunehmende Kupfergehalte beobachtet werden. Hier ist demnach von einer vollständigen Abwaschung des Wirkstoffes auszugehen. Gänzlich beweisen ließe sich diese Annahme jedoch nur, wenn zusätzlich zur Beprobung und Analyse des Blattwerkes das dann aufzufangende Wasser aus der Bewässerung der Analyse unterzogen würde. Auf diese Weise ließe sich ein Saldo ermitteln, das wiederum Auskunft darüber gäbe, welcher Anteil abgewaschen und welcher Anteil innerhalb der Pflanze verlagert worden ist.

Eine erste Bewässerung offenbart noch keine besonders großen Unterschiede in den Kupfergehalten. Funguran progress ohne Additiv blieb die Variante mit dem höchsten mittleren Kupfergehalt. Auch Cuprozin progress ohne Additiv schnitt nach der ersten Bewässerung nicht erheblich schlechter ab, sodass die Varianten mit Additiv hinsichtlich des Kupfergehalts nicht unbedingt vorzuziehen wären. Die Abweichungen gegenüber dem anfänglichen Kupfergehalt offenbaren aber, dass die Mehrzahl der Additivvarianten eine geringere Abweichung zeigen als die Kontrollen ohne Additiv. Cuprozin progress + 2h13, Cuprozin progress + HELIOTERPEN FILM, Cuprozin progress + WETCIT NEO sowie Funguran progress + WETCIT NEO zeigen eine Zunahme im mittleren Kupfergehalt, weswegen von einer relativ zu den anderen Varianten sowie den

Kontrollen langsameren Abwaschung des Wirkstoffes ausgegangen werden kann. Besonders hoch fällt die Abnahme auf der anderen Seite für Rhaponil SL in Kombination mit beiden Fungiziden aus. Daher kann nach der ersten Bewässerung angenommen werden, dass Rhaponil SL die Regenfestigkeit tendenziell sogar eher verschlechtert.

Berücksichtigt man die Abweichungen nach der zweiten Bewässerung, so zeigen sich die Additive 2h13, CropCover CC-2000, HELIOTERPEN FILM, Nu-Film P, WETCIT NEO, ZENTERO SPR als besonders vielversprechend hinsichtlich der Regenfestigkeit, wenn diese mit Cuprozin progress kombiniert werden. Diese Additive scheinen die Regenfestigkeit gegenüber der Kontrolle Cuprozin progress ohne Additiv erheblich zu verbessern, so dass ein mittlerer Kupfergehalt in der Größenordnung des Startwertes vor einer Bewässerung festgestellt werden kann. Aber auch die übrigen Additive scheinen die Regenfestigkeit des Fungizids Cuprozin progress zu verbessern, welches nahezu 50 % des anfänglichen Kupfergehalts nach zwei Bewässerung verloren zu haben scheint.

Auf der anderen Seite scheint das Fungizid Funguran progress grundsätzlich weniger Regenfest, es verliert nicht nur anteilig mehr Kupfergehalt als Cuprozin progress ohne Additiv, sondern auch alle Varianten Funguran progress mit Additiv weisen eine z.T. erheblich höhere relative Abweichung und damit eine schlechtere Regenfestigkeit als viele Varianten Cuprozin progress auf. Lediglich Funguran progress + F0319 zeigt ein zufriedenstellendes Niveau an Regenfestigkeit, das den besten Varianten in Kombination mit Cuprozin progress ähnelt. Alle übrigen Varianten mit Funguran progress weisen eine Abnahme des Kupfergehalts von mindestens 25 % auf, was als eher weniger gute Regenfestigkeit zu interpretieren ist. Auch für Funguran progress zeigt sich jedoch der Fall, dass hinsichtlich Regenfestigkeit, also der Abnahme des mittleren Kupfergehalts nach zwei Bewässerungen, alle Varianten mit Additiv besser abschneiden als die Kontrolle ohne Additiv. So kann aus den zugrundeliegenden Daten die allgemeingültige Aussage abgeleitet werden, dass gleich der Wahl des Kupferfungizids (Cuprozin progress oder Funguran progress), die Hinzunahme eines Additivs die Regenfestigkeit verbessern kann.

Nur für Funguran progress ist dieser Effekt für einen Großteil der Additive signifikant. Doch auch für Cuprozin progress ist der Trend deutlich erkennbar. Ein p-Wert über 0,05 im Dunnett-Test ließe sich auf die große Schwankung der Daten zurückführen, die wiederum mit den bereits angesprochenen Aspekten begründet werden könnte. Demnach ist bei einem präziseren Versuchsansatz oder auch bei der Steigerung der Wiederholungen vermutlich auch mit statistisch signifikanten Ergebnissen zu rechnen.

Unklar ist, ob ein geringerer Kupfergehalt vor einer Bewässerung mit einem vollkommenen Abwaschen und damit mit einem Verlust des Wirkstoffes oder mit einer besseren Benetzung zu interpretieren ist. Auf der anderen Seite klar ist, dass je höher der anfängliche Kupfergehalt ist, desto höher auch die Menge des im Laufe der simulierten Niederschläge potentiell verlagerbaren Kupfers ausfällt. Vor diesem Hintergrund ist durchaus zu argumentieren, dass die geprüften Additiv-Varianten zwar die Regenfestigkeit deutlich verbessern, aber nicht zwangsläufig besser wirken als die Kontrollen ohne Additiv.

Der Zusammenhang zwischen dem anfänglichen Kupfergehalt und der relativen Abnahme wurde mittels Korrelationsanalysen geprüft. So zeigt sich z.B. für 2h13 ein klarer, mit Funguran progress sogar ein sehr starker negativer Zusammenhang zwischen der Abweichung im Kupfergehalt sowie dem anfänglichen Kupfergehalt. Dies legt die Deutung nahe, dass die Regenfestigkeit mit einem zunehmendem Anfangsgehalt abnimmt. Ähnliches Phänomen gilt auch für die Variante Funguran progress + WETCIT NEO oder weitere Additive. So ist es durchaus denkbar, dass eine höhere Kupferkonzentration die Regenfestigkeit beeinträchtigt. Der Hefestamm aus 2h13 kann durch hohe Kupferkonzentrationen geschädigt worden sein. Andererseits kann dieses Phänomen bei den übrigen Additiven auch physikalischer Natur sein. Möglich ist, dass eine verbesserte Haftwirkung gegen Regen mit einer schlechteren Applikationsfähigkeit einhergeht. Es ist denkbar, dass Wirkstoff bzw. Spritzbrühe eher abtropft, verläuft und eben nicht auf dem Blatt bleibt, wenn ein Additiv angewandt wird. Im Falle niederschlagsarmer Szenarien wäre eine solche Interpretation für die zweifelsohne regenfesten Additive jedoch eher schlecht. Es könnte sein, dass der Landwirt trotz deutlich schlechterer Regenfestigkeit mit einem alleinigen Fungizid-Einsatz besser dasteht; und das schon ohne Berücksichtigung der Mehrkosten, die sich durch ein Additiv ergeben. Andererseits bleibt die Unsicherheit der Benetzungsunterschiede, die hinlänglich beschrieben worden ist und sich mit den vorliegenden Daten nicht ausräumen lässt.

Bei der Gruppierung der Additive auf eine funktionale Ebene, zeigen sich die Nichtionischen Tenside, die Polymere sowie die Terpene als vielversprechend hinsichtlich der Regenfestigkeit in Kombination mit Cuprozin progress, da diese die geringsten relativen Abweichungen im Kupfergehalt aufweisen. Die höchste Regenfestigkeit mit Funguran progress ist für die Gruppe der Terpene zu erwarten. Die vorangegangenen Ergebnisse haben jedoch gezeigt, dass sich die Produkte untereinander mitunter erheblich unterscheiden. Diese Unterschiede werden bei Reduktion auf funktionelle Gruppen übergangen. Andererseits kann diese Klassifizierung dazu beitragen, besonders aussichtsreiche Wirkkomponenten schneller identifizieren zu können.

5 Fazit

Die untersuchten Additive, die ihrerseits in funktionale Gruppen einzuteilen sind (Tenside, Terpene und Polymere), haben schon mit geringen Konzentration einen signifikanten Einfluss auf die Fungizide. So bestätigen sich initiale augenscheinliche Unterschiede in den Analysen der Kupfergehalte sowie den Untersuchungen zu Kontaktwinkeln und Oberflächenspannungen.

Der mittlere Kupfergehalt nach Applikation wird im Falle des Fungizids Cuprozin progress nicht wesentlich durch das Additiv beeinflusst. Es kann daher von keinem nennenswerten Einfluss auf die Benetzung ausgegangen werden. Bei allen Kombinationen der untersuchten Additive mit Funguran progress ist jedoch zu beobachten, dass der mittlere Kupfergehalt vor einer Bewässerung niedriger als bei der Kontrolle Funguran progress ohne Additiv liegt. Dies könnte für eine Verbesserung der Benetzungseigenschaften des Funguran progress durch die getesteten Additive sprechen.

Durch die Hinzugabe eines Additivs kann die Regenfestigkeit der geprüften Fungizide wesentlich verbessert werden. So weist Cuprozin progress nach insgesamt zwei simulierten Niederschlägen von in Summe ca. 40 l/m² einen geringeren mittleren Kupfergehalt auf, als alle Varianten, die Cuprozin progress um ein Additiv ergänzen. Besonders die Additive 2h13, CropCover CC-2000, HELIOTERPEN FILM sowie Nu-Film P zeigen nach einer zweiten Bewässerung hohe Kupfergehalte.

Etwas anders stellt sich das für Funguran progress dar. Denn obwohl die Kontrolle Funguran progress ohne Additiv anteilig am meisten Kupfer über den Zeitverlauf und zwei simulierte Niederschläge verliert, ist es nach der zweiten Bewässerung nicht die Variante, die den geringsten Kupfergehalt aufweist. Nichtsdestotrotz ist auch für Funguran progress festzuhalten, dass besonders das Additiv F0319 die Regenfestigkeit des Fungizids signifikant verbessert.

Unklar bleibt, ob höhere Kupfergehalte unabhängig vom eingesetzten Fungizid für eine verbesserte Wirkung stehen. Es besteht ein mittelstarker negativer Zusammenhang zwischen einer hoher Kupferkonzentration vor einer Bewässerung und dem relativen Unterschied im mittleren Kupfergehalt von diesem zu dem nach zwei Bewässerungen. Ob der Rückgang im mittleren Kupfergehalt für die vollständige Abwaschung des Wirkstoffes oder nur eine Verlagerung innerhalb der Pflanze spricht bzw. ob vor einer Bewässerung geringere Kupfergehalte für eine bessere Benetzung oder ein Abtropfen des Wirkstoffes sprechen, lässt sich mit den vorliegenden Daten nicht sicher beantworten.

Die Regenfestigkeit, die im Laufe der Arbeit durch die relative Abnahme des Kupfergehalts nach zwei Bewässerungen von in Summe etwa 40 l/m² definiert worden ist, zeigt sich für die Varianten Cuprozin progress + 2h13 (- 3,85 %), Cuprozin progress + CropCover CC-2000 (- 10,18 %), Cuprozin progress + HELIOTERPEN FILM (+ 8,46 %), Cuprozin progress + Nu-Film P (- 6,10 %), Cuprozin progress + WETCIT NEO (+ 2,62 %), Cuprozin progress + Zentero SPR (-11,28 %) sowie Funguran progress + F0319 (- 5,16 %) am höchsten. Die Kupfergehalte dieser Varianten bewegen sich demnach selbst nach 40 l/m² simuliertem Niederschlag auf dem Niveau nach der Applikation. Cuprozin progress verliert ohne Additiv 48,78 % des ursprünglich applizierten Kupfers, Funguran progress sogar 66,58 %. Für die Additive ProNet-Alfa und Rhaponil SL ist von vergleichsweise eher schlechter Netz- und Haftwirkung auszugehen.

Das Additiv 2h13 zeigt mit Funguran progress im Gegensatz zu der Kombination mit Cuprozin progress eher schlechtere Regenfestigkeit, ebenso wie Nu-Film P. Diese beiden Additive scheinen mit Funguran progress weniger gut zu funktionieren. Das Additiv Rhaponil SL zeigt hohe Abnahmen in den mittleren Kupfergehalten, weist aber tendenziell eher höhere Kupfergehalte auf. Dies lässt sich jedoch mit den vorliegenden Daten nicht umfassend deuten, weshalb Rhaponil SL im Vergleich mit den übrigen Additiven eher schlechter abschneidet.

Bei der Einordnung der Ergebnisse in funktionale Gruppen zeigt sich, dass insbesondere die Polymere, aber auch die nichtionischen Tenside sowie die Terpene für eine gute Regenfestigkeit sorgen. Während in Kombination mit Funguran progress alle Gruppen eine Abweichung von im Mittel mindestens - 25 % aufwiesen, zeigen Polymere mit Cuprozin progress ein Niveau nahe 0 %. Cuprozin progress zeigt nicht nur ohne Additiv eine bessere Regenfestigkeit gegenüber Funguran progress, die Hinzugabe eines Additivs scheint die Regenfestigkeit darüber hinaus in deutlich höherem Umfang zu steigern, als dies für Funguran progress der Fall ist. Dennoch ist erneut festzuhalten, dass jedes Additiv, ganz gleich welches Fungizid und welches Additiv gewählt wird, anscheinend dazu beiträgt die Regenfestigkeit des Wirkstoffes zu erhöhen.

Entgegen der bisher in der Praxis verbreiteten Annahme Cuprozin progress brauche kein Additiv zur Verbesserung der Regenfestigkeit, kann die vorliegende Arbeit schlüssig aufzeigen, dass v.a. für Cuprozin progress eine Steigerung der Regenfestigkeit durch ein Additiv zu erwarten ist. Doch auch für Funguran progress sind Effekte durch Additive zu beobachten, wenngleich Funguran progress ganzgleich mit welchem Additiv es kombiniert wird, tendenziell deutlich mehr Kupfer nach Niederschlägen verlieren zu scheint. Das bisher nicht in den Markt eingeführte Produkt F0319 zeigt sich als einziges auch mit Funguran progress als vielversprechend bzw. hinsichtlich der Regenfestigkeit konkurrenzfähig gegenüber den guten Varianten mit Cuprozin progress. Die Regenfestigkeit eines Cuprozin progress wird durch die Additive 2h13, CropCover CC-2000,

HELIOTERPEN FILM, Nu-Film P, WETCIT NEO sowie Zentero SPR nennenswert verbessert. Auf der anderen Seite zeigt 2h13 mit Funguran progress eine vergleichsweise nicht zufriedenstellende Wirkung, was auf die Beeinträchtigung des enthaltenen Hefestamms durch hohe Kupferkonzentrationen zurückzuführen sein könnte. Die Additive ProNet-Alfa und Rhaponil SL schneiden mit beiden Fungiziden vergleichsweise eher schlecht ab.

Mithilfe der erzielten Ergebnissen lässt sich die allgemein gültige Aussage stützen, dass Additive, ganz unabhängig welches und mit welchem Fungizid diese eingesetzt werden, unter sonst gleichen Bedingungen tatsächlich dazu beitragen können den relevanten Kupferwirkstoff länger auf dem Blatt zu halten. Unter Befallsbedingungen, die in regenreichen Phasen erwartungsgemäß bedeutsam sind, könnten die untersuchten Additive demnach die Wirkung der Kupferfungizide v.a. nach Niederschlägen und vor einer erneuten fungiziden Applikation deutlich verbessern.

Damit bieten Additive als Haft- und Netzmittel, vorrangig die genannten aus verschiedenen Perspektiven überlegenen Kombinationen, die Möglichkeit die Wirksamkeit zu erhöhen oder bei gleicher Wirkung die eingesetzten Kupfermengen zu verringern – so ließen sich mögliche negative Auswirkungen des Kupfers, aber auch die Pflanzenschutzkosten reduzieren.

Mit den Ergebnissen jedoch nicht gezeigt werden kann, wie sich die geprüften Additive unter Befallsbedingungen tatsächlich verhalten. In möglicherweise folgenden Untersuchungen sollte der Benetzung größere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Außerdem ist unklar wie groß der Unterschied zwischen simulierten und tatsächlichen Niederschlägen ist. Bei der Übertragung der vorliegenden, artifiziellen Versuchsergebnisse auf Einzelpflanzenebene bis hin zum Einsatz der Produkte im Feld kommen diverse weitere Unsicherheitsfaktoren hinzu.

So bietet diese vorliegende Arbeit eine Basis für weitere Untersuchungen, indem Sie einerseits bewiesen hat, dass Additive die Regenfestigkeit von Kupferfungiziden signifikant verbessern können und andererseits auch diejenigen Produkte identifizieren kann, die zu einer überproportionalen Steigerung der Regenfestigkeit oder der Kosten-Nutzen-Relation für den einsetzenden Landwirt führen. Diese Fungizid-Additiv-Kombinationen können in folgenden Versuchen unter Befallsbedingungen und unter Analyse bestehender Benetzungsunterschiede erneut untersucht werden, um feststellen zu können, ob die durch die Additive veränderten Eigenschaften der Fungizide tatsächlich eine signifikante Verbesserung der Wirkung bedeuten und ob sich eine Wirkverbesserung im Falle eines Befalls auch durch höheren Ertrag zeigt bzw. ob die Mehrkosten durch einen Additiveinsatz von einem möglicherweise resultierenden Mehrertrag mindestens ausgeglichen werden.

Auf Basis der beschriebenen und eingeordneten Ergebnisse, lässt sich vermuten, dass die untersuchten Haftmittel in der Lage sind Kupferreduktionsbemühungen oder Vorhaben zur Steigerung des Ertrags oder der Ertragssicherheit zu unterstützen, indem die zur Regulierung von *Phytophthora infestans* eingesetzten Kupferwirkstoffe bei Niederschlag länger auf der Kartoffelpflanze gehalten werden können.

Literatur

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. (2026). *Liste der Zusatzstoffe.*

https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/04_Pflanzenschutzmittel/Zusatzstoffe_liste.html?nn=11019968 (zuletzt abgerufen am 10.04.2026).

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2025). *Kupfer als Pflanzenschutzmittel.*

<https://www.nap-pflanzenschutz.de/integrierter-pflanzenschutz/pflanzenschutz-im-oekologischen-landbau/kupfer-als-pflanzenschutzmittel> (zuletzt abgerufen am 23.04.2025).

Industrieverband Agrar e.V. (2015). *Substitutionskandidaten und vergleichende Bewertung im Pflanzenschutz – Fragen und Antworten*, Frankfurt am Main.

https://www.iva.de/sites/default/files/pdfs/150129_substitution_vergl_bewertung_fa_jan__2015.pdf

Ruccia, D. (2025). *Update in the Regulatory Status of Copper in Europe*. European Union Copper Task Force (EuCuTF). Fachveranstaltung: Gesunde Pflanzen im Ökolandbau, Berlin.

von Mering, F., Kienzle, J., Kanthak, S., Reiners, E., Patzwahl, W., Weihrauch, F. & Rückrich, K.

(2016). *Strategiepapier zu Kupfer als Pflanzenschutzmittel unter besonderer Berücksichtigung des Ökologischen Landbaus: Aktueller Stand der Aktivitäten und weiterer Handlungsbedarf.* <https://wissen.julius-kuehn.de/mediaPublic/Kupfer/Publikationen/Minimierungsstrategie-Kupfer-Okt.2015.pdf>