1 Einleitung

Die Entwicklung von ressourcenschonenden und umweltverträglichen Verfahren ist ein wichtiges Ziel des modernen Pflanzenschutzes. Mit Inkrafttreten der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 (EU 2009a) sowie der Richtlinie 2009/128/EG (EU 2009b) der Europäischen Union (EU) wurde dieses Ziel in einen rechtlich bindenden Rahmen für alle Anwender gegossen. Die Bewirtschaftung von Kulturen unter den Leitlinien des Integrierten Pflanzenschutzes (IPS) wurde damit verbindlich beschlossen (EU 2009a). In diesen Leitlinien ist die Beschränkung des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel (PSM) auf das notwendige Maß, unter Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden nicht-chemischen Maßnahmen, geregelt. Auf national deutscher Ebene werden diese Direktiven unter anderem im Rahmen des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von PSM (NAP) umgesetzt (NAP 2017). Dieser stellt auch eine Plattform zum wertvollen Austausch über aktuelle Informationen zur Forschung und aktuellen Themen im Pflanzenschutz zur Verfügung (NAP 2022). Im Mittelpunkt der Forschung zum modernen Pflanzenschutz steht die Entwicklung zukunftsweisender Konzepte zur Reduktion des chemischen Pflanzenschutzes. Umweltverträgliche Lösungen bei gleichzeitig tragfähiger Wirtschaftlichkeit stehen dabei im Fokus (Deguine et al. 2021).

Im IPS bilden vorbeugende und indirekte Maßnahmen die Basis der Pflanzenschutzstrategie. Zur Vermeidung eines Befalls gehen verschiedene Bausteine, darunter pflanzenbauliche Maßnahmen wie Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Sortenwahl, optimale Saat- und Pflanzzeiten und Düngung, Hand in Hand mit der Bestandshygiene. Ein sorgsames Monitoring sorgt für ein zeitiges Erkennen von auftretenden Befallssituationen. Bei auftretendem Befall werden nicht-chemische Maßnahmen, wie mechanische oder thermische Verfahren zur Bekämpfung von Unkräutern oder biologische Verfahren wie der Einsatz von Nützlingen, bevorzugt. Nach Matyjaszczyk (2015) ist auch der Einsatz von antagonistischen Mikroorganismen ein wertvoller Aspekt zur Vermeidung und Reduktion eines Befalls von Schadorganismen (Matyjaszczyk 2015). Erst bei Überschreiten der Bekämpfungsschwelle erfolgt schlussendlich der Einsatz von chemischen Wirkstoffen (NAP 2022). Der Begriff des IPS (englisch: „integrated pest management“) ist im weltweiten Kontext jedoch schwer zu definieren und zeigt eine hohe Vielfalt an Interpretationen (Deguine et al. 2021). In Teilen basierend auf Bajwa und Kogan (2002), beschrieben Coll und Wajnberg (2017) bis zu 42 unterschiedliche Definitionen des

integrated pest managements aus dem Zeitraum von 1956 bis 2016. Die Wandelbarkeit und stetige Entwicklung des Themas werden dabei deutlich.

Thiel et al. (2021) erkannten in einer Befragung von Landwirten im nordwest-deutschen Raum jedoch Probleme bei der Umsetzung des IPS. Wesentliche Hemmnisse für die Praxis sind der hohe Zeitaufwand für die Realisierung der Bausteine des IPS. Weiterhin wird das Erkennen und Bewerten der Risikolage insbesondere bei der Nutzung von Bekämpfungsschwellen als Problem erkannt (Thiel et al. 2021). Im Konsens wird auch die Aktualität sowie das Fehlen vorhandener Bekämpfungsschwellen für den Ackerbau angemahnt (Hokkanen 2015, Matyjaszczyk 2019, Thiel et al. 2021). Bei Anwendung von Bekämpfungsschwellen im Pflanzenschutz riskieren verbleibende Reservoirs von Schadorganismen eine Resistenzentwicklung der Schadorganismen im Bestand (Gressel 2015). Stets müssen auch die ökonomische Seite sowie ein mögliches Kulturrisiko durch alternative Verfahren im Blick behalten werden, damit diese in der Praxis Anwendung finden (Baker et al. 2020, Chèze et al. 2020).

Neben dem Einsatz von Bekämpfungsschwellen ist ein weiterer grundlegender Baustein des IPS die Verwendung biologischer Verfahren. Dabei sind die Möglichkeiten, Pflanzenkrankheiten und Schädlinge biologisch zu bekämpfen, sehr umfangreich und stetig zunehmend. So haben Robin und Marchand (2019) für den Zeitraum von 2011 bis 2018 einen deutlichen Anstieg des Marktvolumens von biologischen Alternativen um 15 % bis 20 % und einen Anstieg der Anzahl von Wirkstoffen um etwa 60 Stoffe gezeigt (Robin und Marchand 2019). Am Beispiel der Invertebraten ist eine große Bandbreite von Wirkstoffen und Produkten bekannt. Darunter finden sich metabolisierte Toxine von Bakterien wie beispielsweise dem Bt-Toxin von *Bacillus thuringiensis*, Granuloseviren oder entomopathogenen Pilze wie *Beauveria bassiana*, *Metarhizium brunneum* (Synonym *M. anisopliae*) und *Isaria fumosorosea* (Arthurs und Dara 2019, Kumar et al. 2021, Thakur et al. 2020).

Als biologischer Ansatz zur Bekämpfung von bodenbürtigen, pilzlichen Pathogenen werden seit Jahren vermehrt ursprüngliche Rhizosphärenbewohner wie *Trichoderma* spp., *Pseudomonas* spp. oder *Bacillus* spp. genutzt (Palmieri et al. 2022, Sindhu et al. 2016). Durch Mechanismen der induzierten Resistenz, Antibiose, Parasitismus oder Konkurrenz um Platz und Nährstoffe in der Rhizosphäre führen die eingesetzten Mikroorganismen zu einer verminderten Schadwirkung auf die Pflanze (Lahlali et al. 2022, Sindhu et al. 2016). Am Beispiel von *Trichoderma* spp. können zudem wachstumsfördernde Effekte wie eine

Beschleunigung der Blütenausbildung oder eine Verbesserung der Pflanzenqualität gezeigt werden (Andrzejak und Janowska 2022). Wie Tsotetsi et al. (2022) zusammenfassen, sorgt *Bacillus* spp. unter anderem für eine erhöhte Toleranz gegenüber abiotischem Stress, einer Verbesserung der Nährstoffaufnahme der Pflanze und einem wachstumsfördernden Effekt.

Die Bekämpfung der pilzlichen Blattfleckenerreger hingegen fordert eine besondere Anpassungsfähigkeit der Antagonisten an die Bedingungen in der Phyllosphäre wie UV-Strahlung, Trockenheit oder Nährstoffknappheit (Legein et al. 2020). Ungeachtet dessen gibt es seit längerem kommerziell erfolgreiche Beispiele wie den Einsatz von *Ampelomyces quisqualis* zur Bekämpfung des Echten Mehltaus an verschiedenen Kulturen (Legein et al. 2020, Wilson 1997). Eine speziell auf den Nutzorganismus abgestimmte Formulierung kann die Wirksamkeit trotz unpassender Bedingungen am Wirkungsort und während der Lagerung von kommerziellen Produkten erhalten (Bisutti 2018, Meshram et al. 2022).

Neben Nützlingen und nützlichen Mikroorganismen sind Pflanzenextrakte eine wertvolle Ergänzung zur Kontrolle von Schadorganismen (Pavela 2016, Šernaitė 2017). Der wohl bekannteste Pflanzenextrakt ist der Wirkstoff Azadirachtin, der bereits zum Ende des 20. Jahrhunderts in den Markt eingeführt wurde (Ermel und Kleeberg 1995). Eine breite Basis von weiteren Extrakten mit insektizider Wirkung wie *Allium sativum*- oder *Thymus vulgaris*-Extrakt wird von Thakur et al. (2020) beschrieben.

Eine weitere Alternative zur Anwendung von chemisch synthetischen Wirkstoffen stellt die Anwendung von Grundstoffen dar. Bei den Stoffen handelt es sich um regulär erhältliche Produkte, die vorrangig einem anderen Zwecke als dem Pflanzenschutz dienen (Orçonneau et al. 2022). Grundsätzlich werden sie als ungefährlich für Mensch und Umwelt eingestuft (EU 2009b). Bekannte Beispiele sind Bier zur Anwendung in Schneckenfallen (EU 2017a), Essig zur Bekämpfung von Unkräutern (EU 2022) oder Wasserstoffperoxid zur Desinfektion von Werkzeugen, Arbeitsgeräten und Flächen (EU 2017b). Eine Übersicht der 24 derzeitig genehmigten Grundstoffe ist in der EU Pesticides Database zu finden (EU 2022b).

Ein Problem bei der Nutzung von Grundstoffen ist jedoch die geringe Datenlage zur Wirksamkeit, Anwendung sowie Verträglichkeit der Stoffe an der Kulturpflanze. Wie Feldmann und Carstensen (2018) diskutieren, werden im Rahmen des EU Zulassungsverfahren, ähnlich wie bei Düngemitteln und Pflanzenstärkungsmitteln, keine Daten zur Wirksamkeit von Grundstoffen gegen Schadorganismen gefordert. Im Gegensatz

zu den genannten Gruppen werden Grundstoffe jedoch explizit zur Bekämpfung eines Schadorganismus genehmigt und eingesetzt. Daraus folgt, dass die Entscheidung, einen Grundstoff in die Pflanzenschutzstrategie einzubauen, mit einem Risiko für eine mögliche Minderwirkung behaftet ist (Romanazzi et al. 2022). Auf der anderen Seite verspricht diese Stoffgruppe das Potenzial für eine Erweiterung der vorhandenen Pflanzenschutzstrategien in der Produktion von Pflanzen (Đurić et al. 2019, Marchand 2015, 2017).

Die Bausteine des IPS sind für den Zierpflanzenbau in Deutschland die Richtschnur im Pflanzenschutz. Die Sparte des Zierpflanzenbaus ist dabei sehr umfangreich in der Zahl der Kulturen, sehr divers in der Art der Produktion und dem Stand der Technisierung (Richter et al. 2021). Wenn man die Produktion in Zahlen ausdrückt, erzeugen 3.123 Betriebe auf einer Fläche von rund 6.263 ha Zierpflanzen (ohne Baumschulkulturen). Der überwiegende Teil der Betriebe produziert auf den gärtnerischen Flächen Schnittblumen (1.471 Betriebe auf 2.600 ha) und Topfpflanzen, ausgenommen Zwiebel- und Knollengewächse sowie Sämereien und Jungpflanzen (2.291 Betriebe auf 2.999 ha; DESTATIS 2021). Viele der Betriebe produzieren auf ihren Flächen sowohl Schnittblumen als auch Topfpflanzen. Nach Erhebungen aus den Jahren 2019/20 des Zentrums für Betriebswirtschaft im Gartenbau e.V. von Kohlstedt et al. (2021) haben Betriebe im Zierpflanzenbau gemittelt über den direkten und indirekten Absatz sowie die Produktionssparten Topfpflanzen und Schnittblumen Einnahmen in Höhe von 93,07 € je m² gartenbaulich genutzter Produktionsfläche unter Glas erwirtschaftet. Im Vergleich liegt ein Gemüsebaubetrieb im Mittel bei 64,70 € Einnahmen je m² genutzter Produktionsfläche unter Glas (Kohlstedt et al. 2021). Die hohen Einnahmen auf der Fläche resultieren aus dem Grad an Technisierung, Spezialisierung sowie bei Dauerkulturen aus dem Investitionsaufwand der Kultur.

Die hohe Diversität im Anbau der Kulturen des Zierpflanzenbaus spiegelt sich ebenso in den Problemen des Pflanzenschutzes wieder. Nach aktuellem Zulassungsstand in Deutschland sind viele Schadorganismen generell nicht oder nicht mit einem adäquaten Wirkstoffwechsel zu bekämpfen. Nach Erhebungen für das Jahr 2017 wurden in Deutschland lediglich 5 % der relevanten Anwendungsgebiete im Zierpflanzenbau als ausreichend mit PSM-Zulassungen versorgt bewertet (Wick et al. 2018). Zur Verbesserung der Verfügbarkeit von Pflanzenschutzstrategien in Sonderkulturen sowie der Sicherung eines nachhaltigen Pflanzenschutzes besteht die Möglichkeit, nach Artikel 51 der Verordnung (EG) 1107/2009 (EU 2009a) eine Anwendung zur geringfügigen Anwendung in Kleinstkulturen zu beantragen (JKI 2023). Für den Zierpflanzenbau in Deutschland

wurden im Zeitraum von 1998 bis 2022 für 275 Anwendungsgebiete eine Genehmigung zur geringfügigen Anwendung erteilt (JKI 2022). In den Jahren seit 2008 sind jedoch für den Anbau relevante insektizide Wirkstoffe wie Dimethoat oder die Neonicotinoide Clothianidin und Imidacloprid sowie fungizide Wirkstoffe wie beispielsweise Iprodion und Thiophanat-methyl nicht mehr zugelassen worden (BVL 2023a).

Die Folge einer unzureichenden Zulassungssituation mit geeigneten PSM und der damit einhergehenden häufigen Verwendung vorhandener Mittel ist die wachsende Gefahr von Resistenzen bei Schadorganismen. Insbesondere für herbivore Insekten und Milben wurden bereits viele Resistenzen nachgewiesen. Auszugsweise haben Nauen und Elbert (2003) die Resistenz der Aphiden *Myzus persicae* und *Aphis gossypii* gegenüber Pirimicarb und Cyfluthrin beschrieben. Gao et al. (2012) haben die Resistenzen von *Frankliniella occidentalis* gegen viele Insektizide, darunter Organophosphate, Neonikotinoide und Pyrethroide, dargestellt und Götte und Rybak (2011) bestätigten diese Ergebnisse aus einem praktischen Ansatz heraus. Für Vertreter aus der Familie der Eulenfalter (Noctuidae) haben Walsh et al. (2022) eine Resistenz gegenüber vielen Insektizidgruppen wie Organophosphaten, Pyrethroiden und Carbamaten diskutiert.

Bei der Produktion von Zierpflanzen sind biologische Möglichkeiten zur Reduktion von pilzlichen Schaderregern nur gering vorhanden und zumeist schlecht erforscht oder kaum bekannt (Richter et al. 2021). Da antagonistische Mikroorganismen im Gegensatz zu Nützlingen einer pflanzenschutzrechtlichen Zulassung bedürfen, kann gezeigt werden, dass im Zierpflanzenbau auf Art-Ebene lediglich sechs Organismen (*B. bassiana*, *M. brunneum*, *Pythium oligandrum*, *B. amyloliquefaciens*, *Clonostachys rosea*, *Coniothyrium minitans*) zur Anwendung im Zierpflanzenbau zugelassen sind (BVL 2023b).

Um der Direktive des IPS zur Nutzung alternativer, nicht chemischer Verfahren zur Reduktion eines vorhandenen Befalls zu folgen, ist noch weitere Forschung und die Erweiterung zugelassener biologischer Methoden erforderlich. Wie auch Marchand et al. (2021) darstellen, bedarf der alternative Ansatz zur Nutzung von Grundstoffen als Bestandteil von Konzepten zur Reduktion des chemischen Pflanzenschutzes fortgehender Forschung (Marchand et al. 2021). Nur so lassen sich die Stoffe als Baustein eines modernen Pflanzenschutzes etablieren.

2 Zielsetzung und Hypothesen

Die Anwendung von Grundstoffen ist ein interessanter Ansatz zur Erhaltung der Pflanzenqualität bei gleichzeitiger Reduktion des Einsatzes von chemisch synthetischen PSM (Romanazzi et al. 2022). Für gartenbauliche Betriebe ist die schwache Datenlage und die daraus resultierende Unsicherheit in der Wirksamkeit ein Problem und ein Hemmnis zur Anwendung (Richter et al. 2021).

In drei Studien wurde die Wirkung verschiedener Grundstoffe im Einsatz gegen relevante Schadorganismen auf ihren klassischen Wirten geprüft. Betrachtet wurde der Einsatz der Grundstoffe *Equisetum arvense*-Extrakt, Wasserstoffperoxid und Chitosan zur Reduktion von *Podosphaera pannosa* und *Erysiphe polygoni* an den Schnittblumen Rose und Hortensie. Des Weiteren wurde ein Brennnessel-Auszug zur Reduktion der polyphagen Blattläuse *Macrosiphum euphorbiae* und *Aulacorthum solani* an der Topfkultur Ranunkel geprüft.

Ziel ist die Evaluation des Einsatzes der Grundstoffe, um die Wirkung der Stoffe besser für die Anwendung in der Praxis einschätzen zu können. Die Stoffe sollen leichter und effektiver in vorhandene Pflanzenschutzstrategien für Kultursysteme von Schnittblumen und Topfkulturen implementiert werden können. Die Anwendungen der Grundstoffe in den Studien eins und zwei sind bisher nicht von der EU genehmigt.

1. Potential of basic substances in plant protection to reduce *Podosphaera pannosa* in cut roses

   Die erste Studie beschreibt die Anwendung von *Equisetum arvense*-Extrakt und Wasserstoffperoxid zur Reduktion von Echtem Mehltau an der Schnittrose. Hypothese der Versuche war die erfolgreiche Reduktion der befallenen Blattfläche mit *P. pannosa* durch wöchentliche Applikationen der Grundstoffe. Die Bewertung erfolgte im Vergleich zu einer mit Wasser behandelten Kontrolle und der Anwendung eines im ökologischen Landbau zugelassenen Fungizides.

2. Studies on the potential of the basic substance chitosan in managing *Podosphaera pannosa* on cutting roses and *Erysiphe polygoni* on French hydrangea

Die zweite Studie umfasst die Anwendung des Grundstoffes Chitosan zur Reduktion der befallenen Blattfläche mit Echtem Mehltau an den Schnittkulturen Rose und Hortensie. Hypothese der Versuche war die erfolgreiche Reduktion des Befalls durch den Einsatz von Chitosan. Verglichen wurden die Ergebnisse der Chitosan-Behandlung mit einer Wasser-behandelten Kontrolle und einem im ökologischen Landbau zugelassenen Fungizid.

3. The use of stinging nettle tea (*Urtica sp.*) to control *Aulacorthum solani* and *Macrosiphum euphorbiae* on *Ranunculus* x *asiaticus*

   Die dritte Studie geht auf die Wirkung eines Brennnessel-Auszuges auf die Populationsentwicklung und Migration von zwei im Zierpflanzenbau häufig vorkommende Blattlausarten auf Ranunkeln ein. Die Hypothese war eine erfolgreiche Bekämpfung von *A. solani* und *M. euphorbiae* sowie eine verringerte Migration zu vorher nicht infizierten Pflanzen nach dem Einsatz des Grundstoffes. Verglichen wurde die Anwendung des Grundstoffes mit einer mit Wasser behandelten Kontrolle und einem im ökologischen Landbau zugelassenen Insektizid.

3 Veröffentlichte Artikel

3.1 Potential of basic substances in plant protection to reduce *Podosphaera pannosa* in cut roses

Autoren	Florian Wulf, Jana Podhorna, Martina Bandte, Malgorzata Rybak, Carmen Büttner
Journal	Journal of Plant Diseases and Protection 130:571-578
	Veröffentlichung online am 10. August 2022
DOI	https://doi.org/10.1007/s41348-022-00658-9
angenommen am	01. August 2022

Journal of Plant Diseases and Protection (2023) 130:571–578
https://doi.org/10.1007/s41348-022-00658-9

ORIGINAL ARTICLE

Potential of basic substances in plant protection to reduce *Podosphaera pannosa* in cut roses

Florian Wulf[1,2] · Jana Podhorna[2] · Martina Bandte[2] · Malgorzata Rybak[1] · Carmen Büttner[2]

Received: 10 June 2022 / Accepted: 1 August 2022 / Published online: 10 August 2022
© The Author(s) 2022

Abstract
Alternative strategies in plant protection are required due to political and environmental conditions. Basic substances can potentially benefit for modern plant protection in conventional and organic horticulture. In the case of plant protection in ornamentals, little is known about the effect of basic substances within the canopy to reduce foliar diseases. *Podosphaera pannosa* is one of the most severe diseases in the production of cut roses. In this study, different cultivars of cut roses were sprayed weekly with an extract of *Equisetum arvense* (4 g dried plant material/L), an aqueous solution of hydrogen peroxide (10 g/L) and a commercial plant protection product containing potassium hydrogen carbonate (VitiSan, Biofa GmbH, Münsingen, Germany) during two experimental trials. As a result, the symptoms of infected leaf area could be reduced significantly as the experiments progressed. Furthermore, no negative effects such as a reduction of plant growth or the number of marketable flowers were observed. The results indicate that the foliar application of the basic substances hydrogen peroxide and *E. arvense*-extract has the potential to reduce the use of synthetic plant protection products in conventional and organic horticulture.

Keywords *Rosa* · Hydrogen peroxide · *Equisetum arvense*-extract · Powdery mildew

Introduction

Modern horticulture requires alternative plant protection. Due to political and environmental requirements, the number of registered conventional products in the field of horticultural plant protection is limited. Additionally, the growers face many uncertainties regarding new pathogens and limitations in application of plant protectants. In regard to practical application, there is a lack of knowledge about the utilization of basic substances. Moreover, these approaches are not sufficiently explored to implement them directly in the field, orchard or greenhouse.

✉ Florian Wulf
florian.wulf@bwi.hamburg.de

1 Plant Protection Service Hamburg, Ministry of Economy and Innovation, Free and Hanseatic City of Hamburg, Brennerhof 123, 22113 Hamburg, Germany

2 Division Phytomedicine, Albrecht Daniel Thaer-Institute of Agricultural and Horticultural Sciences, Humboldt-Universität zu Berlin, Lentzeallee 55/57, 14195 Berlin, Germany

Basic substances, such as sodium carbonate, beer, whey or sunflower oil, are regularly accessible products used as food ingredients or for other common uses, including pharmaceuticals, biocides and fertilizers. They are not predominantly used as plant protection products but they could be considered as an additional component of a plant protection strategy (Marchand 2015). Basic substances are not characterized as harmful, and they have no direct or cumulative effects on human or animal health or on the environment (EU 2009). They can represent an alternative to plant protectants including those that contain synthetic active ingredients. Furthermore, basic substances can support organic and sustainable agriculture (Đurić et al. 2019; Marchand 2017). They are officially listed with further "report reviews" in the European Union (EU) pesticides Database (EU 2022).

Equisetum arvense L. (field horsetail), a common widespread weed, has long been known as a medicinal plant for pharmaceutical or cosmetic treatments (Čanadanović-Brunet et al. 2009; Carneiro et al. 2019; Oh et al. 2004; Pallag et al. 2018). The most common compounds found in field horsetail are flavonoids, phenolic acids, alkaloids, phytosterols, tannins, and triterpenoids (Četojević-Simin et al. 2010; Godlewska et al. 2020). Some of the substances were studied