

Forschungsbericht

Nr. 133

Nutzung von Braunalgenextrakten (*Ascophyllum nodosum*) zur Kontrolle der Krautfäule (*Phytophthora infestans*) im ökologischen Kartoffel- und Tomatenanbau

Verfasser:

Dr. Daniel Neuhoff, Dr. M. Tadesse & Prof. Dr. U. Köpke

Institut für Organischen Landbau, Universität Bonn

Herausgeber: Lehr- und Forschungsschwerpunkt „Umweltverträgliche und Standortgerechte Landwirtschaft“, Landwirtschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Endenicher Allee 15, 53115 Bonn
Tel.: 0228 – 73 2285; Fax.: 0228 – 73 1776
www.usl.uni-bonn.de

Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen
Bonn, Januar 2006
ISSN 1610-2460

Projektleitung: Prof. Dr. Ulrich Köpke

Projektbearbeiter: Dr. agr. Mekuria Tadesse & Dr. Daniel Neuhoff

Institut für Organischen Landbau
Katzenburgweg 3
53115 Bonn

Zitervorschlag:

NEUHOFF, DANIEL; MEKURIA TADESSE UND ULRICH KÖPKE (2006): Nutzung von Braunalgenextrakten (*Ascophyllum nodosum*) zur Kontrolle der Krautfäule (*Phytophthora infestans*) im ökologischen Kartoffel- und Tomatenanbau. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, Nr. 133; 53 Seiten.

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung/Wissensstand.....	1
1.2	Zielsetzung	4
2	Material und Methoden	5
2.1	Material	5
2.1.1	Labor- und Gewächshausversuche.....	5
2.1.2	Feldversuche.....	8
2.2	Methoden.....	12
2.2.1	Labor- und Gewächshausversuche.....	12
2.2.2	Feldbonituren und Messdaten	13
2.2.3	Statistische Auswertung	13
3	Ergebnisse und Diskussion.....	14
3.1	Labor- und Gewächshausversuche 2002.....	14
3.1.1	Myzelwachstumstest mit ‚Algifol‘ (Braunalgenextrakt).....	14
3.1.2	Screeningversuch 2002a.....	14
3.1.3	Screeningversuch 2002b	15
3.1.4	Zwischendiskussion Labor- und Gewächshausversuche 2002	16
3.2	Feldversuche 2002.....	17
3.2.1	Spritzversuch Wiesengut 2002.....	17
3.2.2	Optimimierungsversuch Wiesengut 2002	18
3.2.3	Spritzversuch Niederkrüchten 2002.....	20
3.2.4	Zwischendiskussion Feldversuche 2002	21
3.3	Labor- und Gewächshausversuche 2003.....	22
3.3.1	Screeningversuch 2003	22
3.3.2	Beregnungsversuch 2003	23
3.3.3	Untersuchungen zu Wasserstoffperoxid.....	24
3.4	Zwischendiskussion Labor- und Gewächshausversuche 2003	26
3.5	Feldversuch 2003	28
3.5.1	Spritzversuch Wiesengut 2003.....	28
3.6	Zwischendiskussion Feldversuch 2003	29
3.7	Labor- und Gewächshausversuche 2004.....	30
3.7.1	Screeningversuch 2004a.....	30
3.7.2	Screeningversuch 2004b	30

3.8	Zwischendiskussion Labor- und Gewächshausversuche 2004	32
3.8.1	Feldversuche Hennef und Poppelsdorf 2004	33
3.9	Zwischendiskussion Feldversuche 2004	35
3.10	Generaldiskussion	37
3.10.1	Zur Bedeutung von Labor- und Gewächshausversuchen.....	37
3.10.2	Erklärungsansätze für die mangelnde Wirksamkeit von Pflanzenextrakten im Freiland	38
3.10.3	Grundsätzliche Aspekte zu Entwicklung und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im ÖL.....	42
3.10.4	Künftige Strategien des Pflanzenschutzes im Ökologischen Landbau	43
4	Zusammenfassung.....	45
5	Schlussfolgerungen für die Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis.....	46
6	Literaturverzeichnis.....	47
7	Anhang	50
8	Konsequenzen für evtl. weitere Forschungsaktivitäten.....	50
9	Mitteilung über evtl. schützenswerte Nutzungsrechte	50
10	Liste über Veröffentlichungen	50
11	Liste über Vorträge.....	51
12	Liste über Pressemitteilungen	51
13	Liste über Posterpräsentationen, Vorführungen und Demonstrationen	51
14	Kurzfassung (1,5 – 2 Seiten).....	52

1 Einleitung

1.1 Problemstellung/Wissensstand

Derzeit werden in Deutschland auf über 6.000 ha Kartoffeln nach den Richtlinien des Ökologischen Landbaus (EU-Verordnung 2092/91) angebaut (KUHNER et al. 2004). Der wirtschaftliche Erfolg des Anbaus ist maßgeblich von der Erzielung hoher Erträge an marktfähiger Ware abhängig. Aufgrund der erheblichen Restriktionen des Einsatzes ertragssteigernder Betriebsmittel, insbesondere der Verwendung chemisch-synthetischer Fungizide, unterliegt der ökologische Kartoffelbau zum Teil erheblichen Ertragsschwankungen mit entsprechend hohem Anbaurisiko (MÖLLER et al. 2003).

Der epidemische Befall mit Krautfäule (*P. infestans*) ist häufig ertragslimitierender Faktor im ökologischen Kartoffelbau (MÖLLER et al. 2003). Gefördert durch feuchtwarme Witterung im Frühsommer kann die Krankheit zu Ertragsverlusten von 20 - 40% führen, bzw. unter extremen Bedingungen die gesamte Ernte vernichten (BOCHOW et al. 1970, RADTKE & RIECKMANN 1990). In eigenen Untersuchungen wurden Ertragsverluste durch frühen Befall mit Krautfäule von bis zu 36 % festgestellt (NEUHOFF 2000). Die im Ökologischen Landbau als Kernelement angesehenen präventiven phytosanitären Maßnahmen beschränken sich im Kartoffelbau auf das Vorkeimen qualitativ hochwertigen Pflanzgutes, die Wahl toleranter Sorten mit frühem Knollenansatz sowie auf die konsequente Beseitigung von Primärherden. Hierzu gehört die Vermeidung von Durchwuchskartoffeln im Feld ebenso, wie die Verhinderung der Auskeimung von Abfallkartoffeln in der Kompostmiete (RADTKE & RIECKMANN 1990, KARALUS 1995, MÖLLER et al. 2003). Präventive Maßnahmen alleine sind jedoch bei witterungsbedingt frühem und starkem Infektionsdruck mit Krautfäule häufig nicht ausreichend, um wirtschaftlich unvertretbare Ertragsverluste zu vermeiden (MEINCK 1999b). Die derzeit zugelassenen Mittel haben mit Ausnahme von Kupferpräparaten nur eine geringe oder keine befallshemmende Wirkung bzw. wurden noch nicht wissenschaftlich auf ihre Wirksamkeit getestet (WELLER 1991, GRAF 1992, PFLEIDERER & MONKOS 1993, KÜRZINGER 1994).

Kupfersalze gehören zu den ältesten Pflanzenschutzmitteln und wurden bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Frankreich im Weinbau eingesetzt (Bordeauxbrühe). Der Kupfereinsatz wird jedoch als ökotoxikologisch bedenklich angesehen, da sich das Schwermetall Kupfer im Boden anreichert und theoretisch zu Belastungen der Bodenfauna und -flora sowie der Kulturpflanzen führen kann. Insbesondere in Dauerkulturen ist bei regelmäßiger Anwendung der nicht abbaubaren, häufig stark an die organische Bodensubstanz gebundenen Kupferionen eine ökologisch bedenkliche Anreicherung möglich. In der Dauerkultur Rebe, die im ökologischen Weinbau ebenfalls standardmäßig mit kupferhaltigen Präparaten behandelt wird, ist Phytotoxizität bereits aufgetreten (WITTASSEK 1987). Regenwürmer (*Lumbricus terrestris*) gelten als empfindlich gegenüber Kupferionen (KULA 1999). Für

Wasserorganismen besteht ein akutes und chronisches Risiko durch erhöhte Kupferkonzentrationen (SPANGENBERG 1999). Obwohl keine Biomagnifikation mit steigender Konsumentenordnung besteht, stellt die Nutzung der traditionellen Kupferverbindungen eine gegenüber dem Konsumenten von Ökoprodukten nur schwer vermittelbare Maßnahme dar, da es sich um ein anorganisch-chemisches Produkt handelt. Aus den genannten Gründen wird langfristig ein Ausstieg aus der Verwendung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel im Ökologischen Landbau angestrebt (EU Verordnung 2092/91). Nicht nur in Hinblick auf die Kontrolle der Krautfäule (*P. infestans*) an Kartoffeln und Tomaten, sondern auch auf weitere wirtschaftlich relevante Pilzkrankheiten namentlich Rebenperonospora (*Plasmopara viticola*) und Hopfenperonospora (*Pseudoperonospora humuli*) besteht ein dringender Bedarf nach wirksamen Alternativen zu Kupferbehandlungen.

In den letzten Jahren sind eine Reihe von Ansätzen verfolgt worden, die auf die präventive Applikation von erfolgreich im Labor getesteten Pflanzenextrakten, beispielsweise Salbei (*Salvia officinalis*) oder Pfeffer (*Piper nigrum*) im Freiland abzielten (BLAESER 1999, NEUHOFF et al. 2002a, MEKURIA et al. 2002). In Feldversuchen unter Praxisbedingungen wurde kein befallsreduzierender Effekt der eingesetzten Pflanzenextrakte festgestellt. Mangelnde Freilandwirksamkeit der applizierten Behandlungsmittel, u. a. Kaliumseife und verschiedene Pflanzenextrakte, wurde auch in den Untersuchungen von MEINCK (1999a), BÖHM (2001) und SCHLIEPHAKE et al. (2001) konstatiert.

Auch Untersuchungen von BASSIN & FORRER 2001 zur Nutzung ethanolischer Pflanzenextrakte, u.a. aus *Salvia officinalis* (Salbei) und *Potentilla erecta* (Blutwurz), zeigten keine Wirkung auf den Befall mit *P. infestans* an Freilandkartoffeln.

Im Jahr 2001 wurden im Institut für Organischen Landbau der Universität Bonn Feldversuche mit einem Braunalgenextrakt auf Basis von *Ascophyllum nodosum*, der mit Kaliumphosphit angereichert wurde, durchgeführt. An zwei Standorten wurde unter Feldbedingungen eine einer Kupferhydroxidspritzung ähnliche Wirksamkeit mit einem signifikanten Mehrertrag von 14 % festgestellt (NEUHOFF et al. 2002). Unklar blieb, welchen Einfluß das unwissentlich verwendete Kaliumphosphit auf die Wirksamkeit des verwendeten Braunalgenextraktes ausübte.

BLUNDEN et al. (1997) stellten nach Applikation von Braunalgenextrakten auf Basis von *Ascophyllum nodosum* erhöhte Chlorophyllgehalte in Tomaten, Weizen, Gerste und Mais fest. Die physiologische Ursache dieser Beobachtungen begründeten die Autoren mit dem Betaingehalt des Braunalgenextraktes (WHAPHAM et al. 1993), welches in Reinform gegeben ebenfalls zu einer Erhöhung der Chlorophyllgehalte in den Blättern der genannten Nutzpflanzenarten führte.

Als weiter physiologisch relevante Inhaltsstoffe der Braunalgen *Ascophyllum nodosum* werden von SANDERSON & JAMESON (1986) Cytokinine genannt. In ihren Analysen eines

kommerziellen Braunalgenextraktes ‚Maxicrop‘ wurden Cytokiningehalte gemessen, die den Autoren zufolge bei einer Gabe von einem Liter je ha noch eine physiologische Wirkung dieser Pflanzenhormone erwarten lassen. Cytokinine als physiologisch wirksame Pflanzenhormone fördern die Zellteilung und verzögern die Seneszenz des Blattgewebes (MENGEL 1984). LIZZI et al. (1998) wiesen als Folge der Applikation eines Braunalgenextraktes auf Paprikablätter einen geringeren Befall mit *Phytophthora capsici* bei gleichzeitig erhöhter Peroxidaseaktivität und Capsiodiolsynthese der Blätter nach und somit Symptome für das Phänomen der Induzierten Resistenz.

Neben diesen präventiv wirkenden Kontrollansätzen könnte eine nachhaltige, effiziente und zugleich wirtschaftliche Kontrolle aufgrund der hohen Virulenz des Schaderregers auch durch direktes Abtöten der Sporen, wie dies durch Kupfereinsatz geschieht, erreicht werden. Aus diesem Grund widmet sich die vorliegende Arbeit ebenfalls der Nutzung von Wasserstoffperoxid, einem auch im pflanzlichen Stoffwechsel bei Stress gebildeten Oxidationsmittel (WAETZIG et al. 1999, OROZCO-CARDENAS & RYAN 1999), das *in vitro* eine sporenabtötende Wirkung hat (BALDRY 1983, ALASRI et al. 1993). Desinfektionsmittel auf Basis von Wasserstoffperoxid und Essigsäure werden in Großbritannien gegenwärtig unter dem Handelsnamen ‚Proxitan‘ im Stallbereich eingesetzt. Frühere Untersuchungen von PILSWORTH (2003) haben gezeigt, dass durch Spritzapplikation von Proxitan auch die Kontrolle von *P. infestans* an Kartoffeln möglich ist. In den USA ist die Nutzung von Wasserstoffperoxid-Lösungen (Aufwandmenge: 2,5 l ha⁻¹) zulässig und stellt nach Angaben von Praktikern (IGL 2003) eine effiziente Kontrollmethode dieses Schaderregers dar. Desweiteren weist der unspezifische Wirkmechanismus von Wasserstoffperoxid darauf hin, daß auch ein befallsreduzierender Effekt auf andere im Ökologischen Landbau auftretende Krankheiten zu erwarten ist und somit ein erweitertes Nutzungspotential besteht.

Die Erforschung einer Substanz, die derzeit im Ökologischen Landbau nicht zugelassen ist, stellt in vielerlei Hinsicht jedoch ein logistisches Problem dar, weil bei der Durchführung von Feldversuchen auf Praxisflächen auch administrative Aspekte zu berücksichtigen sind. Im Zuge einer auf Problemlösung ausgerichteten Forschung im Ökologischen Landbau sind jedoch *a priori* legislative Restriktionen dann zu vernachlässigen, wenn der erwartete Erkenntnisgewinn in Form einer soliden Datengrundlage im Vordergrund steht und die Eigenschaften des untersuchten Stoffes nicht das Grundverständnis des Ökologischen Landbaus tangieren.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde versucht, die vorhandenen Ansätze weiter zu entwickeln und in Hinblick auf ihre Praxistauglichkeit zur Kontrolle von *P. infestans* zu überprüfen.

1.2 Zielsetzung

Ziel des Projektes war, eine in der Praxis des ökologischen Kartoffelbaus anwendbare direkte Kontrollstrategie gegen die Krautfäule (*P. infestans*) auf Basis von Naturstoffen zu entwickeln. Neben der Nutzung von Braunalgenextrakten, die zumindest eine pflanzenstärkende und z.T. wachstumsfördernde Wirkung auf Pflanzen aufweisen, sollten ethanolische Extrakte unter anderem auf Basis von Torfmoosen bzw. äthiopischen Heilkräutern auf ihre Eignung zur direkten Kontrolle von *P. infestans* untersucht werden. Als weitere innovativer Ansatz sollte das sporizide Potential von Spritzlösungen auf Basis von Wasserstoffperoxid eingehend geprüft werden. Zur Erreichung des Ziels sollte ein kombinierter Ansatz aus Voruntersuchungen, u.a. Screening im Labor und Gewächshaus, sowie eine Überprüfung im Freiland unter differenzierten Standortbedingungen vorgenommen werden.

Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit lag auf der Überprüfung von potentiell als wirksam erkannter Mittel im Freiland, da eine Vielzahl jüngerer Forschungsansätze das Manko aufweist, ungenügende Aussagen zu dieser Frage zu machen.

2 Material und Methoden

Die grundsätzliche Vorgehensweise bestand in einem mehrstufigen systematischen Verfahren. Verschiedene aus Literaturquellen bekannte Stoffgruppen mit bioziden Eigenschaften wurden mit Hilfe verschiedener Labormethoden *in vitro* auf deren spezifische Wirkung gegen *P. infestans* untersucht. Geeignete Mittel mit hinreichend hoher Wirkung wurden dann einem Inokulationsversuch an der lebenden Pflanze unterzogen. Erfolgversprechende Agenzien mit ausreichend hohem Wirkungsgrad *in vivo* wurden anschließend in Feldversuchen i.d.R. unter ökologischen Anbaubedingungen auf ihre Wirksamkeit gegen *P. infestans* an Kartoffeln geprüft.

2.1 Material

2.1.1 Labor- und Gewächshausversuche

2.1.1.1 Anzucht von *P. infestans*

Das für die Untersuchungen benötigte Pathogen (*P. infestans*) entstammt den Beständen der BBA und wurde regelmäßig auf einem Agarmedium (V8) überimpft. Weiterhin wurden eigene Isolate aus den Kartoffelbeständen des Versuchsbetrieb ‚Wiesengut‘ / Hennef des Instituts für Organischen Landbau verwendet. Hierzu wurden mit Krautfäule befallene Blätter entnommen und zur Anregung der Sporulation in einer Feuchtekammer inkubiert. Sporulierende Kartoffelblätter wurden anschließend in einer Petrischale mit einer 9 mm dicken Kartoffelscheibe bei etwa 20° C im Klimaschrank inkubiert. Das gewonnene Myzel wurde anschließend auf Gemüsesaftagar übertragen. Die nach dem nachfolgenden Rezept hergestellten Nährmedien wurden für 20 min. bei 121° C und 1,5 bar im Autoklaven sterilisiert.

Gemüsesaftagar (V8-Agar):

200 ml Gemüsesaft (Krings, Lüdinghausen)
 3 g Calciumcarbonat
 16 g Agar-Agar
 800 ml Aqua dest.

2.1.1.2 Testpflanzen

Tomaten (*Lycopersicon esculentum*)

Die Gewächshausversuche wurden teilweise mit Tomaten der Sorte *Frembgens Rheinlands Ruhm* durchgeführt. Diese Sorte weist nach BUNDESSORTENAMT (1999) keine Resistenz bzw. Toleranz gegenüber *P. infestans* auf.

Die Tomatenpflanzen wurden in Kunststofftöpfen der Größe 7x7x8 cm mit Einheitserde (Typ T) kultiviert und über eine Tischbewässerung mit Wasser versorgt. Die Anzucht erfolgte bei einer Temperatur von 22 ± 5 °C, einer relativen Luftfeuchte von 60 bis 80 % und einer Lichtversorgung von 7000 lux (Tageslänge = 16 h). Die Versuchspflanzen wurden einmal

wöchentlich mit einer 0,2 %igen „Flory 2 spezial“-Nährlösung (Fa. Euflo, München) gedüngt.

Kartoffeln (*Solanum tuberosum*)

Für weitere Gewächshaus- und Feldversuche wurden die im ökologischen Kartoffelbau gängigen Kartoffelsorten *Linda* und *Nicola* ausgewählt, die beide eine mittlere Anfälligkeit gegenüber der Krautfäule aufweisen (BUNDESSORTENAMT 2004).

Die Versuchspflanzen wurden aus Augenstecklingen z.T. im unbeheizten Gewächshaus des Versuchsbetriebs Wiesengut in Felderde angezogen, die zur Vermeidung von Verschlammung mit Klasmann Anzuchterde abgedeckt wurde.

2.1.1.3 *Verwendete Präparate*

In den Untersuchungen wurden verschiedene Mischungen auf Basis von Pflanzenextrakten bzw. von Wasserstoffperoxidlösungen verwendet. Die Auswahl der Mittel erfolgte teilweise auf Grundlage von Forschungsarbeiten, in denen ein befallsmindernder Effekt auf *P. infestans* nachgewiesen wurde (bspw. Pfefferextrakte nach MEKURIA (2003) bzw. Wasserstoffperoxidmischungen nach ANDERSON & PILSWORTH (1984).

Folgende Mittel bzw. Extrakte wurden mit zum Teil unterschiedlicher Formulierung und Konzentration (siehe Feldversuchsdesign) untersucht.

- **Algenextrakte**

Es wurden die beiden kommerziellen Algenprodukte ‚Algifol‘ und ‚Acadian Seaplants‘ verwendet.

Der flüssige organische Braunalgenextrakt ‚Algifol‘ wird von der Firma Neomed Pharma GmbH / Lübeck vertrieben und wird vom Hersteller u.a zur Behandlung von Kartoffeln in einer Aufwandmenge von 0,5 – 11 ha⁻¹ angewendet. Das Produkt ist laut EU-Verordnung 2092/91 im Anhang II über die Kategorie ‚Algen und Algenprodukte‘ zugelassen und wird als Bodenverbesserer und Düngemittel verwendet. Weitere Informationen zum Produkt sind unter: <http://www.algifol.de/> verfügbar.

Das Braunalgenprodukt ‚Acadian Seaplants‘ auf Basis von *Ascophyllum nodosum* der Firma Acadian Seaplants, Dartmouth, Nova Scotia, Kanada, (<http://www.acadianseaplants.com/>) wird als Blattdünger in Aufwandmengen von 2 - 2,5 l ha⁻¹ in Kartoffeln angewendet. Laut Herstellerangaben besteht das Produkt anteilig zu jeweils etwa 45 - 55% aus Organischer Substanz und Mineralien. Neben Mikronährstoffen (Bor und Eisen jeweils 75 -150 ppm) enthält der Extrakt Cytokinine, Auxine und Gibberelline.

- **Salbei-, Eichenrinden-, Kossobaumblüten- und Pfefferextrakte**

Ethanolische Extrakte aus Salbei (*Salvia officinalis*), Eichenrinde (*Quercus robur*), Kossobaumblüten (*Hagenia abyssinica*) sowie aus weißem und schwarzem Pfefferpulver (*Piper album* und *P. nigrum*) wurden in Anlehnung an BLAESER (1999) und MEKURIA (2003) hergestellt. Es wurden jeweils 10 g des getrockneten Pflanzenmaterials mit 100 ml 70 %igem Ethanol versetzt und auf einem Magnetrührer im Wasserbad bei 60 °C extrahiert (2h). Der gewonnene Rohextrakt wurde anschließend filtriert und bis zur Verwendung bei 4 °C im Kühlschrank deponiert. Alle Rohextrakte wiesen in Bezug auf die Trockenmasse eine Konzentration von 10 % m/v auf und wurden für praktische Applikationen entsprechend verdünnt.

- **Moosextrakte**

Extrakte aus Torfmoos (*Sphagnum cristatum*) wurden analog zu den Pfefferextrakten extrahiert. Die Auswahl dieses im Vergleich zu Lebermoosen laut MEKURIA 2003 geringeren wirksamen Laubmooses erfolgte aufgrund dessen kommerzieller Verfügbarkeit zu Preisen, die eine wirtschaftliche Erzeugung von Pflanzenextrakten realistisch erschienen ließen (siehe auch Kapitel 3.10.2 und 3.10.3 ab Seite 38). Das in den Versuchen verwendete Torfmoos (*S. cristatum*) wird von der Firma Donex / Nelson, Neuseeland vertrieben (http://webnz.co.nz/donex/sphagnum_moss.html) und wird unter anderem in Japan als Substrat für die Anzucht von Orchideen verwendet.

Der verwendete Lebermoosextrakt auf Basis wild gesammelter Lebermoose ist ein kommerzielles Fertigprodukt der Firma Niemhandel / Griesheim (<http://www.niem-handel.de>). Das Produkt wird vom Hersteller u. a. zur Behandlung der Kraut- und Knollenfäule empfohlen und wird in Verdünnungen zwischen 1:200 präventiv bzw. 1: 50 kurativ eingesetzt. Da es sich beim Rohextrakt bereits um eine verdünnte Lösung handelt, werden bei Ausbringung nach Vorschrift nur geringe Konzentrationen von unter 0,1% m/v ausgebracht.

- **Wasserstoffperoxidmischungen**

Alle Mischungen wurden auf Basis einer 35% -igen H₂O₂ Lösung (pa.) hergestellt und ausnahmslos mit aqua demin. verdünnt. Neben den selbst hergestellten Mischungen wurde eine Standardmischung aus Wasserstoffperoxid (20% m/m), Essigsäure (10% m/m) und Peressigsäure 5% (m/m) sowie 64% m/m aqua demin. und 1% m/m Stabilisator verwendet, die als Handelsprodukt unter dem Namen Proxitan 0510 von der Firma Solvay S.A., Brüssel, Belgien, als Reinigungs- und Desinfektionsmittel vertrieben wird (<http://www.solvay.com>).

- **Haft- und Netzmittel**

In allen Versuchen wurde mit Ausnahme der Varianten mit Wasserstoffperoxid standardmäßig das pinolenhaltige Haft- und Netzmittel Nu-Film 17 in einer Konzentration von 0,1 % als Zugabe zur Spritzlösung eingesetzt.

2.1.2 Feldversuche.

In den Jahren 2002 - 2004 wurden insgesamt sechs Feldversuche auf drei verschiedenen Standorten durchgeführt. Die Versuchsanlage und - durchführung erfolgte in enger Anlehnung an die EPPO Richtlinie PP1/2 (3) gegen *P. infestans* an Kartoffeln (BBA 2000).

2.1.2.1 Versuchsstandorte

Versuchsbetrieb Wiesengut

Der seit 1987 nach Richtlinien des Naturlandverbandes wirtschaftende Versuchsbetrieb 'Wiesengut' befindet sich in der Siegaue bei Hennef im Rhein-Sieg Kreis (65 m über NN). Mit etwa 800 mm Niederschlag im Jahr und einer Jahresdurchschnittstemperatur von 10.2 °C (davon 260 - 270 Tage > 5°C) handelt es sich um einen ackerbaulich günstigen Standort. Die Auenlehmböden am Standort 'Wiesengut' sind mit Kiesschichten durchsetzt und weisen eine stark schwankende Bodengüte auf (Ackerzahlen von 30 - 70). Detaillierte Informationen zum Versuchsstandort sind der Dissertation von HAAS (1995) zu entnehmen. Seit 2004 besitzt der Betrieb zusätzlich nicht arrondierte Pachtflächen auf Lößböden mittlerer Wertigkeit. Die Witterungsbedingungen unterlagen während den Versuchsjahren deutlichen Schwankungen (Tab. 1). Das Jahr 2002 war durch einen vergleichsweise trockenen Frühsommer mit geringem Krautfäuledruck bis Mitte der ersten Julidekade gekennzeichnet. Demgegenüber war das Jahr 2003 aufgrund der Rekordtemperaturen im Sommer und der damit verbundenen Trockenheit durch geringen Krautfäuledruck bis in den August hinein charakterisiert. Die überdurchschnittlich hohen Niederschläge im Juli des Versuchsjahres 2004 hatten demgegenüber einen vergleichsweise frühen und starken Krautfäuledruck zur Folge.

Tab. 1: Niederschläge und Temperaturen während der Vegetationsperioden 2002 bis 2004 am Standort 'Wiesengut' / Hennef (Daten vom Flughafen Köln-Bonn, Uni Köln, <http://www.uni-koeln.de/math-nat-fak/geomet/meteo/Klimastatistik/Wahn/>).

	Monat	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Summe
2002	(mm)	66	55	65	89	97	29	402
	(°C)	10,0	14,4	18,1	17,9	18,8	13,9	
2003	(mm)	43	78	47	64	54	54	340
	(°C)	10,3	14,6	19,7	19,8	20,8	14,9	
2004	(mm)	61	63	78	107	129	97	535
	(°C)	10,8	12,2	15,9	17,4	19,3	15,4	
lj. Mittel	(mm)	54	72	92	90	63	78	449
	(°C)	9,3	14,0	16,4	18,6	18,2	14,2	

Mit Ausnahme der ‚Spritzversuche 2004‘ wurden alle Versuche am Standort ‚Wiesengut‘ im Rahmen der betriebsüblichen Fruchtfolge und Anbautechnik nach Vorfrucht Rotkleegras angelegt. Es wurde normal sortiertes (35-50mm) vorgekeimtes Z-Pflanzgut ökologischer Provenienz verwendet. Schäden durch Kartoffelkäferlarvenfraß wurden je nach Bedarf durch Applikation von *Bacillus thuringiensis tenebrionis* ‚Novodor‘ verhindert. Weitere Spezifika der Kartoffelanbautechnik des Versuchsbetriebs ‚Wiesengut‘ finden sich bei NEUHOFF (2000).

Versuchsfeld Bonn - Poppelsdorf

Die Versuchsflächen des Instituts für Pflanzenkrankheiten liegen 82m über NN und werden konventionell mit Einsatz von chemisch-synthetischen Dünge- und Pflanzenschutzmitteln bewirtschaftet. Die hochwertigen Lößlehmböden besitzen eine Ackerzahl von 91 Bodenpunkten. Es wurde nicht vorgekeimtes Z- Pflanzgut der Sorte *Nicola* aus ökologischem Anbau verwendet. Die Bestände wurden nach den praxisüblichen Vorgaben des Instituts für Pflanzenkrankheiten bewirtschaftet. Es wurde ein Herbizid im Voraufbau und eine KAS Gabe von 60kg ha^{-1} zur Pflanzung gegeben. Weitere Pflegemaßnahmen wurden nicht durchgeführt. Die Witterungsbedingungen am Standort Poppelsdorf waren vergleichbar mit den bereits geschilderten Verlauf am Standort ‚Wiesengut‘ (Tab. 1).

Standort Niederkrüchten (Niederrhein)

Der ökologisch wirtschaftende Leitbetrieb Bolten liegt am Niederrhein (Niederkrüchten bei Mönchengladbach) etwa 60 m ü. NN und ist durch sandig-lehmige Braunerden mittlerer Bodenpunktzahl (52-54) gekennzeichnet. Der Schwerpunkt des viehlos wirtschaftenden Betriebes liegt im Feldgemüse- und Kartoffelbau. Die Bodenfruchtbarkeit wird durch den Anbau legumer Zwischenfrüchte, insb. Winterwicken sowie durch Ausbringung von organischen Handeldüngern und von eigenem Ackerbohenschrot gewährleistet. Der Anbau (ökologisches vorgekeimtes Z- Pflanzgut, 35-50mm) und die Pflege der Bestände erfolgte betriebsüblich. Es wurden keine Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt. Im Bedarfsfall wurde ab Beginn des Knollenansatzes beregnet. Die Monate Juni, Juli und August des Jahres 2002 waren mit insgesamt 271 mm Niederschlag vergleichsweise niederschlagsreich.

2.1.2.2 Versuchsdesign

Alle Feldversuche wurden standardmäßig als einfaktorielle Blockanlagen mit vier bis acht Varianten mit je 4 Wiederholungen durchgeführt. Die Einzelheiten des jeweiligen Versuchsdesigns sind nachfolgend dargestellt:

1: Spritzversuch Wiesengut 2002 (Sorte *Linda*)

- 1 = Algifol (0,1%)
- 2 = Salbeiextrakt (2%)
- 3 = Torfmoos (1%)
- 4 = Torfmoos (1%) + Zinksulfat (1%)
- 5 = Lebermooser (2%)
- 6 = Algifol + Lebermoser (0,1% + 2%)
- 7 = Kupferhydroxid, Questuran mit 50% Cu (2 kg ha⁻¹)
- 8 = Kontrolle (keine Behandlung)

Spritzungen wöchentlich ab Reihenschluß, n = 5 , Kupferhydroxid: n = 3

Aufwandmenge: 500 l ha⁻¹, Einzelparzellengröße: 7*6 = 42 m²

2: Optimierungsversuch Wiesengut 2002 (Sorte *Nicola*)

- 1 = Torfmoos (1%) + Algifol (0,1%)
- 2 = Torfmoos (1%) + Algifol (0,1%) + Zinksulfat (1%)
- 3 = Torfmoos (1%) + Algifol (0,2%) + Zinksulfat (1%)
- 4 = Kontrolle (keine Behandlung)

Spritzungen wöchentlich ab Reihenschluß, n = 5

Aufwandmenge: 500 l ha⁻¹, Einzelparzellengröße: 6*6 = 36 m²

3: Spritzversuch Niederkrüchten 2002 (Sorte *Nicola*)

- 1 = Lebermooser (2 %):
- 2 = Torfmoos (1%)
- 3 = Torfmoos +Algifol (0,2%)
- 4 = Kupferhydroxid Questuran mit 50% Cu (2 kg ha⁻¹)
- 5= Kontrolle (keine Behandlung)

Spritzungen wöchentlich ab Reihenschluß, n = 4, Kupferhydroxid: n = 2.

Einzelparzellengröße: 6*7 = 42m²

4: Spritzversuch Wiesengut 2003 (Sorte *Nicola*)

- 1 = Salvia 1 (Salbei-, Pfeffer-, und Eichenrindenextrakt jeweils 1%)
- 2 = Salvia 2 (Salvia 1 + 0,1% Algifol)
- 3 = WP 1 (Wasserstoffperoxid 0,5% + Essigsäure 0,14%)
- 4 = WP 2 (Wasserstoffperoxid 0,5%)
- 5 = Proxitan (0,5%)
- 6 = Kupferhydroxid, Questuran mit 50% Cu (2 kg ha⁻¹)
- 7 = Kontrolle (keine Behandlung)

Spritzungen wöchentlich ab Reihenschluß, $n = 6$, Kupferhydroxid: $n = 3$

Aufwandmenge: Salvia $1 + 2 = 1000 \text{ l ha}^{-1}$, alle anderen Varianten 500 l ha^{-1}

Einzelparzellengröße: $6 \cdot 8 = 48 \text{ m}^2$

5+ 6: Spritzversuche Hennef /Ost und Poppelsdorf 2004 (Sorte Nicola)

gleiches Versuchsdesign in beiden Versuchen

1 = Hapi (Hagenia-, Pfefferextrakt 1%)

2 = WP 1 (Wasserstoffperoxid 1%)

3 = WP 2 (Wasserstoffperoxid 1% +Essig (0,6%))

4 = Proxitan (0,5%)

5 = Kupferhydroxid, Cuprozin flüssig ($0,75 \text{ kg Cu ha}^{-1}$) ohne Mengenbegrenzung

6 = Kontrolle (keine Behandlung)

Spritzungen wöchentlich ab Reihenschluß, $n = 8$ (Poppelsdorf), $n = 6$ (Hennef Ost)

Aufwandmenge: 500 l ha^{-1} , Einzelparzellengröße = $6 \cdot 5 = 30 \text{ m}^2$

Ausbringung

Die Behandlungen der Versuche 1, 2, und 4 wurden mit einer Jacoby Feldspritze ausgebracht, die über eine spezielle Vorrichtung zur Unterblattspritzung und Krautweiler zum Schutz der Bestände verfügte (siehe Bild 1). Die Behandlungen der Versuche 3, 5 und 6 (Außenstandorte) wurden mit einer motorbetriebenen Rückenspritze per Hand ausgebracht. Die Ausbringung der Varianten mit Wasserstoffperoxid erfolgte stets zu früher Morgenstunde in die noch taunassen Bestände.



Bild 1: Feldversuchsspritze (Jacoby) mit Düsen zur Spritzung der Blattoberseite und Blattunterseite (gelbe Pfeile) im Anbau eines mit Krautteilern ausgerüsteten Hege - Versuchsschleppers.

2.2 Methoden

2.2.1 Labor- und Gewächshausversuche

Die Untersuchungen erfolgten auf methodischer Grundlage der Arbeiten von BLAESER (1999), KLINKENBERG (2000) und MEKURIA (2003), die alle im Rahmen ihrer Promotion am Institut für Pflanzenkrankheiten am Institut für Pflanzenkrankheiten (Prof. Dr. H.-W. Dehne) der Universität Bonn tätig waren.

2.2.1.1 Myzelwachstumstest

Die Durchführung des Myzelwachstumstests erfolgte in Anlehnung an MEKURIA (2003). Die zu untersuchenden Mittel wurden je nach Konzentrationsvorgabe dem Nährmedium bei 50° C zugesetzt und anschließend in Petrischalen gegossen. Anschließend wurde ein 7 Tage altes Myzelstück von *P. infestans* mit 10 mm Durchmesser auf die Mitte des Agarnährmediums transferiert und bei 20° C inkubiert. Anschließend wurde das radiale Myzelwachstum in regelmäßigen Zeitabständen in cm erfasst.

2.2.1.2 Tomatenblattscheiben-Biotest

Die Untersuchungen erfolgten in Anlehnung an Klinkenberg (2000). Zu diesem Zweck wurden die Testsubstanzen präventiv bzw. kurativ auf abgetrennte homogen gewachsene gesunde Tomatenblätter (3 und 4. Blatt, 5 Wdh. je Variante) appliziert. Die Blätter wurden mit *P. infestans* ($8 \cdot 10^4$ Zoosporen je ml) inokuliert und dann für 24h - 48h in der Feuchteammer bei 20° C und 95% rel. Luftfeuchte inkubiert und anschließend bonitiert.

2.2.1.3 Screeningversuche im Gewächshaus

Die zu prüfenden Pflanzenextrakte sowie die meisten untersuchten Präparate wurden in der Regel präventiv (1-2 Tage vor der Inokulation = 1-2 dbi) ausgebracht. Für die Gewinnung von Inokulum für die Screeningversuche wurde das Mycel von frisch bewachsenen Gemüse-saftagarplatten oberflächlich abgenommen und in einen Erlenmeyerkolben mit demineralisiertem Wasser überführt. Nach dem Lösen der Sporangien vom Mycel durch Umrühren wurde die Suspension durch eine Lage Verbandsmull filtriert und vier Stunden im Kühlschrank bei 4 °C inkubiert. Die Einstellung der Sporenkonzentration auf $6 - 8 \times 10^4$ Zoosporen je ml erfolgte mittels einer Zählkammer nach Fuchs-Rosenthal. Nach erfolgter kälteinduzierter Schlüpfung der Zoosporen war die Suspension gebrauchsfertig und wurde mit Hilfe eines herkömmlichen Sprüherers auf die Blattunterseite der entsprechenden Pflanzen (tropfnaß) appliziert (Bild 2). Die Tomaten- und Kartoffelpflanzen wurden nach der Inokulation für 24 h bei einer rel. Luftfeuchte von 100 % und etwa 20°C in eine Inkubationskammer gestellt. Nach 60 Stunden wurde der durch *P. infestans* hervorgerufene Befall durch Abschätzung der befallenen Blattfläche erstmalig visuell bonitiert.



Bild 2: Inokulation von Prüfpflanzen (Kartoffeln) mit einer Zoosporensuspension aus *P. infestans*.

2.2.2 Feldbonituren und Messdaten

Die Erfassung der Befallsverlaufs mit *P. infestans* im Feld erfolgte durch regelmäßige Bonituren der Bestände. Hierfür wurden die Kernparzellen der verschiedenen Varianten vollständig visuell bonitiert und in Anlehnung an das Boniturschema der EPPO-Richtlinien (BBA 2000) in % befallener Blattfläche festgehalten. Die Daten dienen als Grundlage zur Berechnung des Wirkungsgrades nach Abbott (1925).

Der Ertrag wurde auf einer Mindestparzellengröße von 15m² vor und nach Sortierung quantifiziert. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden lediglich die unsortierten Rohträge angegeben, da diese mit Hinblick auf das Ertragspotential die größte Aussagekraft besitzen.

Der Trockenmassegehalt der Knollen wurde durch Trocknung von 25 geachtelten Knollen nach Trocknung bei 105° C gravimetrisch ermittelt. Der Stärkegehalt wurde durch Erfassung des Unterwassergewichtes (Dichte) gemessen und nach LUNDEN (1956) berechnet.

2.2.3 Statistische Auswertung

Die Daten wurden nach Überprüfung der Normalverteilung der Residuen varianzanalytisch mit Hilfe des Programms SAS ausgewertet. Die Mittelwerte von Befallsdaten und Erträgen wurden mit dem Tukey-Test (Irrtumswahrscheinlichkeit: $\alpha = 0,05$) verglichen. Wirkungsgradsunterschiede wurden mit dem Dunnett-Test (Irrtumswahrscheinlichkeit: $\alpha = 0,05$) berechnet. Signifikante Unterschiede werden durch verschiedene Buchstaben kenntlich gemacht.

3 Ergebnisse und Diskussion

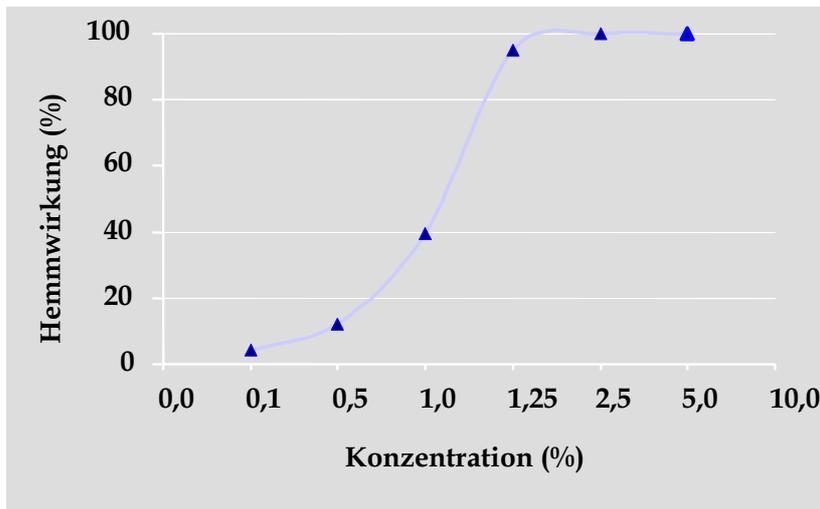
3.1 Labor- und Gewächshausversuche 2002

Im Versuchsjahr 2002 wurden verschiedene Mittel bzw. Mittelmischungen einer Wirkungsprüfung unterzogen. Diese erfolgten sowohl *in vitro* als z.T. auch *in vivo*. Neben der Untersuchung von verschiedenen Algenextrakten wurden Leber- bzw. Torfmoosextrakte untersucht.

3.1.1 Myzelwachstumstest mit ‚Algifol‘ (Braunalgenextrakt)

Die Zugabe eines Braunalgenextraktes ‚Algifol‘ zum Nährmedium hatte eine konzentrationsabhängige Abnahme des Myzelwachstums von *P. infestans* zur Folge. Hemmwirkungen von über 90% wurden ab einer Konzentration von 1,25% festgestellt.

Abb. 1: Einfluß steigender Konzentrationen eines Braunalgenextraktes (‚Algifol‘) auf das Myzelwachstums von *P. infestans* *in vitro* (% Hemmwirkung).



3.1.2 Screeningversuch 2002a

In einem ersten Versuch mit künstlich infizierten Tomaten (Inokulumdichte = $6 \cdot 10^4$ Zoosporen je ml) wurden vier verschiedene Konzentrationen eines Lebermoosextraktes sowie unterschiedlich formulierte Algenextraktmischungen vergleichend geprüft. Zudem wurde die Wirkung der Applikation von phosphoriger Säure (HPO_3), einer im Ökologischen Kartoffelbau derzeit nicht zugelassenen anorganischen Verbindung, aus investigativen Gründen ergänzend untersucht.

Die Applikation einer 6,6% igen phosphorigen Säurelösung (HPO_3) hatte eine signifikante Abnahme des Blattbefalls mit *P. infestans* zur Folge. Während die unbehandelten Kontrollen einen durchschnittlichen Befall von 98% aufwiesen, bewirkte die einmalige Anwendung von HPO_3 eine Abnahme des Blattbefalls an Tomaten um 68%, die kombinierte Anwendung mit Algifol eine Befallsminderung von 90%.

Tab. 2: Einfluß verschiedener Präparate auf Basis von Moos- und Algenextraktmischungen auf den Krautfäulebefall von Tomaten (% befallene Blattfläche), Dunnett-Test, $\alpha = 0.05$, Screeningversuch 2002a.

Variante	Lebermoos 0.5%	Lebermoos 1%	Lebermoos 2.5%	Lebermoos 5%	Algifol (0,1%)	Lebermoser (2%) + Algifol (0,1%)	HPO ₃ (6,6%)	Acadian Seaplants 1,2%	Acadian Sea- plants (1,2%) + HPO ₃ (6,6%)	Kontrolle
% bef. Blattfläche	76b	67b	52a	68b	70b	52a	30a	82b	8a	98b

Durch Applikation einer Mischung aus ‚Lebermoser‘ und ‚Algifol‘ wurde der Befall mit *P. infestans* im Vergleich zur Kontrolle signifikant um 43% reduziert. Die Wirkung einer alleinigen Lebermoosextraktanwendung war konzentrationsabhängig. Eine signifikante Abnahme des Blattbefalls mit *P. infestans* wurde nur bei Applikation eines 2.5% igen Extraktes (-43%) erzielt. Der Braunalgenextrakt ‚Acadian Seaplants‘ hatte bei alleiniger Anwendung keine befallsmindernde Wirkung.

3.1.3 Screeningversuch 2002b

Der Befall von künstlich mit *P. infestans* infizierten Gewächshautomaten der Sorte ‚Rheinland’s Ruhm‘ wurde weder durch prophylaktische Applikation von Algifol (1%) noch von Lebermoser (2%) reduziert. Demgegenüber hatte die Applikation eines Torfmoosextraktes (1%) mit und ohne geringfügige Zugabe von Zinksulfat (1%) einen um etwa 60% geringeren Blattbefall mit *P. infestans* zur Folge.

Tab. 3: Einfluß verschiedener Präparate auf Basis von Moos- und Algenextraktmischungen auf den Krautfäulebefall von Tomaten (% befallene Blattfläche), Dunnett-Test, $\alpha = 0.05$, Screeningversuch 2002b.

Variante	Algifol (0,1%)	Lebermoos (2%)	Torfmoos (1%)	Torfmoos (1%) + ZnSO ₄ (1%)	unbehandelt
% bef. Blattfläche	100a	96a	40b	35b	100a

3.1.4 Zwischendiskussion Labor- und Gewächshausversuche 2002

Die Ergebnisse verdeutlichen, daß die beiden Handelsprodukte ‚Algifol‘ und ‚Lebermoser‘ bei Anwendung nach Vorschrift vermutlich aufgrund der geringen Konzentration nur eine geringe, jedoch z. T. signifikante befallsmindernde Wirkung aufweisen.

Die beiden untersuchten Moosextrakte hatten im ersten Screeningversuch bei ausreichender Konzentration einen deutlichen reduzierenden Effekt auf den Befall mit Krautfäule. Im Wiederholungsversuch wurde demgegenüber kein Effekt des verwendeten Lebermoosextraktes festgestellt, während die mit Zinksulfat (1%) gemischten 1% -igen Torfmoosextrakte eine deutliche Reduzierung des Krautfäulebefalls bewirkten. Diese Befunde widersprechen auf den ersten Blick den Untersuchungen von MEKURIA et al. (2003), denen zufolge die Wirkung von Lebermoosen höher ist verglichen mit den taxonomisch zu den Laubmoosen gehörenden Torfmoosen (FRAHM 2001). MEKURIA et al. (2003) stellten bei präventiver Applikation von 0,5% igen Extrakten aus dem Lebermoos *Bazzania trilobata* eine 90%ige Reduzierung des Krautfäulebefalls von künstlich infizierten Tomaten fest, wenn die Spritzung 2 Tage vor der Inokulation erfolgte. Sowohl bei deutlich früherer Applikation des Extraktes (5 dbi) als auch bei späterer Applikation (2hbi) wurden deutlich geringere Wirkungsgrade festgestellt. Der in dem selben Versuch verwendete Laubmoosextrakt aus *Spaghnum quinquefarium* wies bei 0,5%iger Konzentration bei hoher Inokulationsdichte eine maximale Reduzierung des Befallsgrades mit *P. infestans* von 30% auf, während der Lebermoosextrakt aus *B. trilobata* unter den selben Bedingungen eine Reduktion von über 80% bewirkte. In seinen Untersuchungen zum Wirkmechanismus wies MEKURIA (2003) im Rahmen seiner Dissertation nach, daß Lebermoosextrakte eine konzentrationsabhängige Hemmung der Zoosporentlassung aus den Sporangien sowie eine Verminderung der Keimschlauchbildung von *P. infestans* bewirken.

Die konträren Ergebnisse in den eigenen Untersuchungen erklären sich vermutlich mit der deutlich geringeren Konzentration des kommerziellen Lebermoosextraktes, welche *de facto* unter 0,1% beträgt. Der selbst hergestellte Torfmoosextrakt hatte demgegenüber eine Konzentration von 1% und war somit doppelt so hoch wie in den Untersuchungen von MEKURIA et al. (2003). Weitere Aspekte zur Wirkung von Moosextrakten werden in der Zwischendiskussion der Feldversuche 2002 in Kapitel 3.2.4 auf Seite 21 diskutiert.

3.2 Feldversuche 2002

Es wurden drei Feldversuche auf zwei Standorten (Versuchsbetrieb Wiesengut / Hennef und Leitbetrieb Bolten / Niederkrüchten) durchgeführt.

3.2.1 Spritzversuch Wiesengut 2002

Ziel des Versuches war es, die Wirksamkeit regelmäßiger Applikationen unterschiedlich formulierter Moos- und Algenextrakte gegen *P. infestans* an Kartoffeln der Sorte *Nicola* im Freiland zu überprüfen.

3.2.1.1 Krautfäulebefall

Die Witterung im Sommer 2002 am Standort Wiesengut war durch kräftige Niederschläge zu Beginn des Monats Juli und einer damit einhergehenden epidemischen Ausbreitung des Erregers der Krautfäule gekennzeichnet. Der prozentuale Blattbefall mit *P. infestans* nahm bei allen Varianten mit Ausnahme der Kupferbehandlung im Laufe von einer Woche von etwa 10% auf über 80% befallene Blattfläche zu. Keiner der untersuchten Moos- bzw. Torfextrakte hatte einen signifikanten Effekt auf den Verlauf der Epidemie.

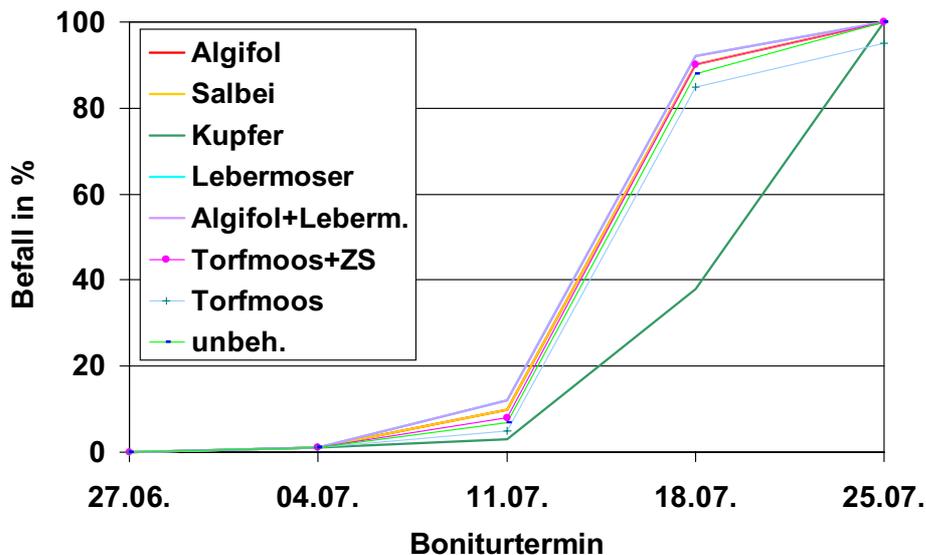


Abb. 2: Einfluß verschiedener Präparate auf Basis von Moos- und Algenextraktmischungen auf die Entwicklung des Krautfäulebefalls (% befallene Blattfläche) an Kartoffeln, ZS = Zinksulfat (1%), Sorte Linda, Spritzversuch Wiesengut 2002.

3.2.1.2 Knollenertrag

Das Ertragsniveau der Sorte *Linda* des Spritzversuches Wiesengut war im Mittel aller Varianten mit etwa 245,3 dtha⁻¹ vergleichsweise niedrig.

Analog zum Befallsverlauf mit Krautfäule hatte mit Ausnahme der Kupfervariante keines der eingesetzten Mittel einen Effekt auf den Knollenrohertrag. Die dreimalige Applikation von Kupferhydroxid (jeweils 1 kg Reinkupfer je ha⁻¹) bewirkte eine im Vergleich zur Kontrolle signifikante Zunahme des Ertrages um 9,2%.

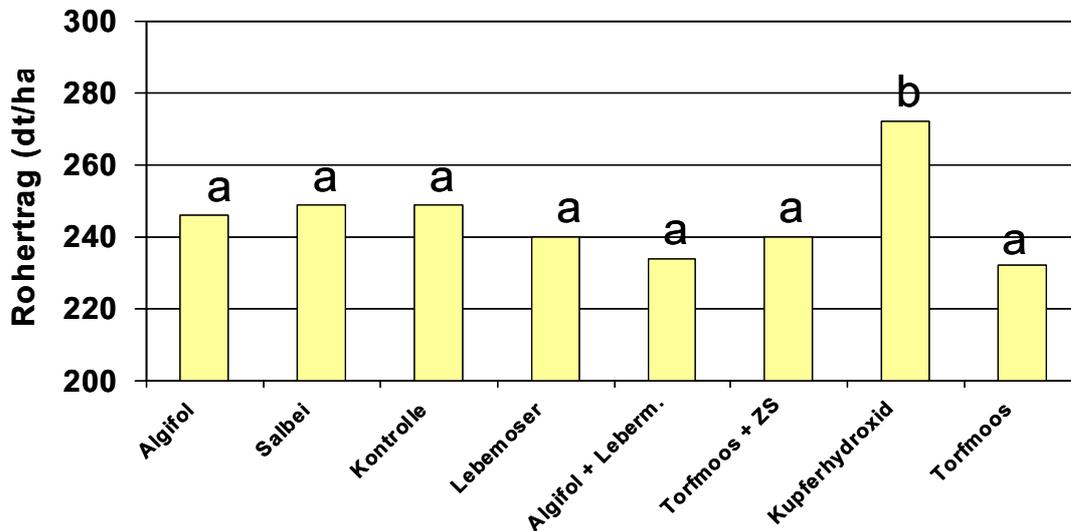


Abb. 3: Einfluß verschiedener Präparate auf Basis von Moos- und Algenextraktmischungen auf den Rohertrag von Kartoffeln, Sorte Linda, Spritzversuch Wiesengut 2002, Tukey-Test, $\alpha = 0.05$.

3.2.2 Optimierungsversuch Wiesengut 2002

Ziel dieses Feldversuches war es, unterschiedlich formulierte Mischungen auf Basis eines 1%igen Torfmoosextraktes in Hinblick auf ihre Wirksamkeit gegen *P. infestans* an Kartoffeln zu untersuchen.

3.2.2.1 Krautfäulebefall

Analog zum Spritzversuch am gleichen Standort wurde zu Beginn der zweiten Julidekade eine starke Zunahme des Blattbefalls mit *P. infestans* festgestellt, der innerhalb von 14 Tagen zum vollständigen Absterben der Bestände führte. Keine der überprüften Torfmoosextraktmischungen wies einen befallsreduzierenden Effekt an Kartoffeln der Versuchssorte *Nicola* auf.

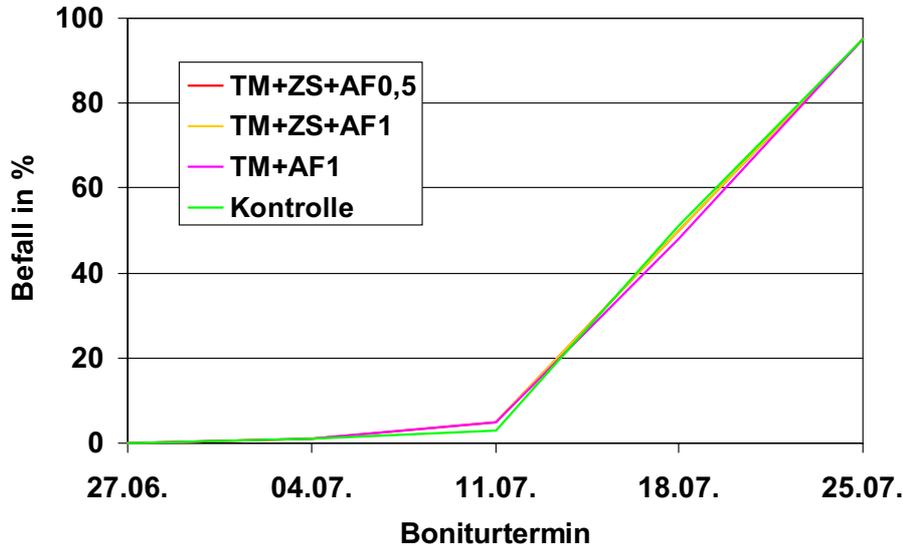


Abb. 4: Einfluß verschiedener Torfmoosextraktmischungen (1%) auf die Entwicklung des Krautfäulebefalls (% befallene Blattfläche) an Freilandkartoffeln, Sorte Nicola, TM = Torfmoosextrakt 1%, ZS = Zinksulfat 1%, AF = Algifol: 0,5 bzw. 1 l ha⁻¹, Optimierungsversuch Wiesengut 2002.

3.2.2.2 Knollenertrag, Trockenmasse- und der Stärkegehalt der Knollen

Analog zum Spritzversuch zeigte keine der eingesetzten Mischungen auf Basis eines 1%igen Torfmoosextraktes (*S. cristatum*) einen Einfluß auf den im Mittel aller Varianten mit 245,8 dt ha⁻¹ vergleichsweise niedrigen Knollenertrag.

Keine der eingesetzten Mittelmischungen hatte einen Effekt auf den Trockenmasse- und Stärkegehalt der Sorte Nicola. Bedingt durch den frühen epidemischen Befall mit Krautfäule (siehe Abb. 4) wurden mit durchschnittlich 12,2% vergleichsweise geringe Stärkegehalte in der Knollenfrischmasse erzielt.

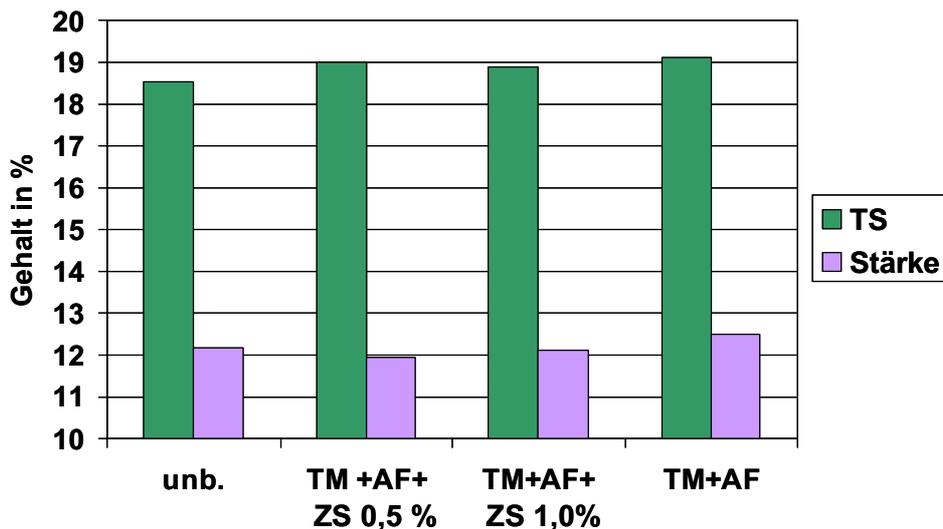


Abb. 5: Einfluß verschiedener Torfmoosextraktmischungen (1%) auf den Stärke- und Trockenmassegehalt von Kartoffeln, Sorte Nicola, TM = Torfmoosextrakt 1%, ZS = Zinksulfat 1%, AF = Algifol, Wiesengut 2002, die Unterschiede sind nicht signifikant.

3.2.3 Spritzversuch Niederkrüchten 2002

Durch Einbezug eines Standortes mit bekanntermaßen regelmäßig früher Krautfäuleprimärinfektion sollte die Wirksamkeit von ausgewählten Mittelmischungen auf Basis von Moosextrakten unter besonders ungünstigen Bedingungen ergänzend überprüft werden.

3.2.3.1 Krautfäulebefall

Keines der eingesetzten Präparate auf Basis von Moosextrakten hatte einen Einfluß auf den Blattbefall mit Krautfäule. Die Applikation von Questuran (Kupferhydroxid) hatte demgegenüber einen um eine Woche verzögerten Epidemiebeginn mit deutlich verlangsamter Befallsentwicklung zur Folge.

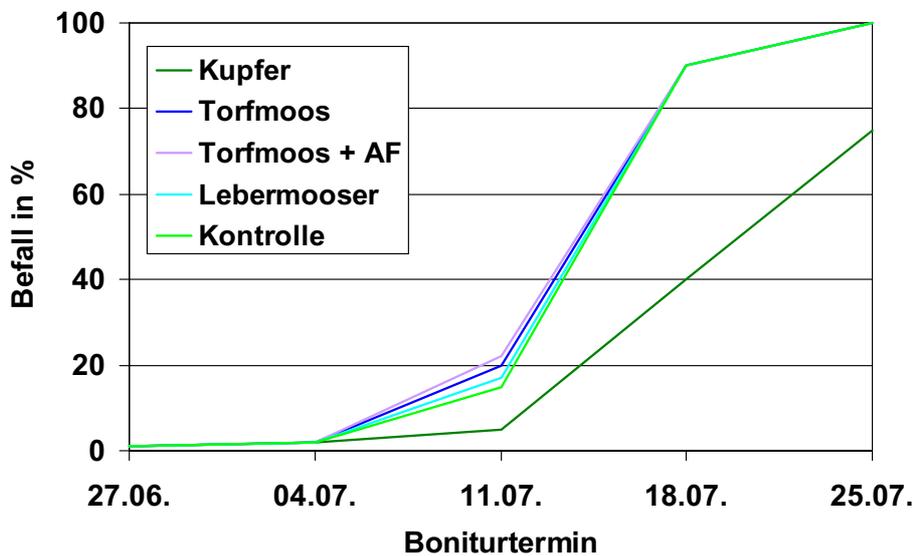


Abb. 6: Einfluß verschiedener Moosextraktmischungen auf die Entwicklung des Krautfäulebefalls (% befallene Blattfläche) an Freilandkartoffeln, Sorte *Nicola*, AF = Algifol, Niederkrüchten 2002.

3.2.3.2 Knollenertrag, Trockenmasse und Stärkegehalt der Knollen

Mit durchschnittlich 333 dtha^{-1} war der Rohertrag der Sorte *Nicola* um etwa 35% höher als am Standort Wiesengut (Optimierungsversuch 2002 = $245,8 \text{ dtha}^{-1}$). Keines der eingesetzten Präparate inklusive Kupfer bewirkte eine signifikante Ertragssteigerung. Die Roherträge der Varianten Kupfer sowie Torfmoos mit Zinksulfat und Algifol waren mit durchschnittlich 353 dtha^{-1} tendenziell höher als der Ertrag der Kontrolle (332 dtha^{-1}). Der Stärkegehalt der Knollen war mit durchschnittlich 11,2% vergleichsweise niedrig und wurde durch keines der eingesetzten Präparate beeinflusst.

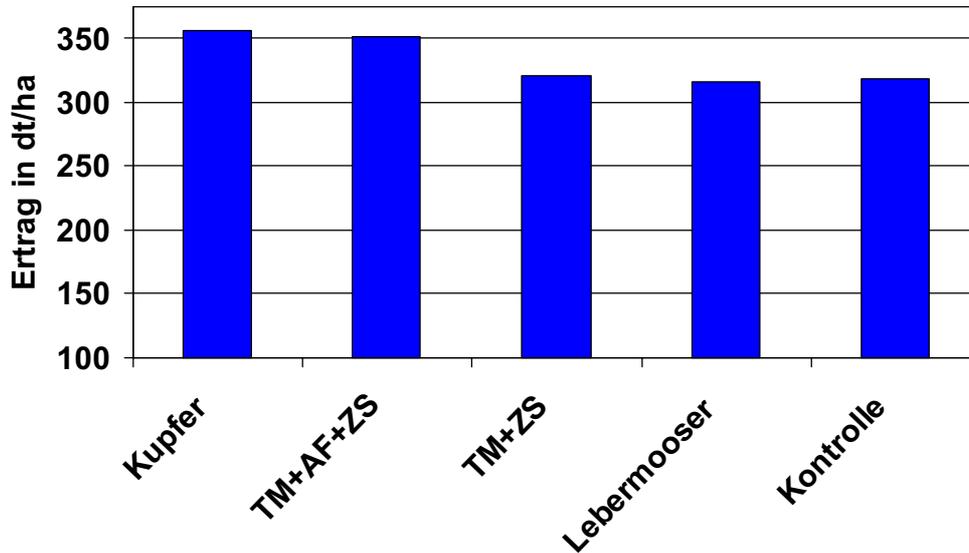


Abb. 7: Einfluß verschiedener Moosextraktmischungen auf den Rohrertrag (dt ha^{-1}) von Freilandkartoffeln, Sorte *Nicola*, TM = Torfmoos, AF = Algifol, ZS = 1% Zinksulfat, die Unterschiede sind nicht signifikant, Niederkrüchten 2002.

3.2.4 Zwischendiskussion Feldversuche 2002

Das bereits in den Jahren 1999-2001 beobachtete Phänomen der mangelnden Freilandwirksamkeit von nachweislich unter kontrollierten Bedingungen wirksamen Salbeiextrakten, (BLAESER 1999, NEUHOFF et al. 2002, NEUHOFF et al. 2003) zeigte sich auch bei den im Jahre 2002 schwerpunktmäßig untersuchten Moos- und Algenextrakten.

Der auf Basis von wild gesammelten Lebermoosen hergestellte ethanolische Extrakt ‚Lebermooser‘ wies im Gegensatz zur bekannten fungiziden Wirkung verschiedener Lebermoosextrakte, u. a. *B. trilobata* (MEKURIA et al. 2002) an zwei Standorten keine befallsmindernde Wirkung auf *P. infestans* auf. Neben den an anderer Stelle (Seite 38ff) diskutierten grundsätzlichen Ursachen für diesen Sachverhalt, namentlich der Einfluß des Niederschlages auf die Abwaschung des Spritzbelages, dürfte im vorliegenden Fall auch die unzureichende Konzentration des Extraktes ($< 0,1\%$) für dessen mangelnde Wirksamkeit verantwortlich sein. Diese wiederum ist als Funktion der hohen Rohstoffpreise zu interpretieren, welche den großflächigen Einsatz von Lebermoosextrakten *ex ante* limitiert (siehe auch Generaldiskussion ab Seite 37). Aus diesem Grund wurden parallel zur Nutzung des Lebermoosextraktes ebenfalls Versuche mit Torfmoosen auf Basis von *Spaghnum cristatum* durchgeführt, da diese zu einem günstigen Preis in Neuseeland verfügbar sind (Firma Donex).

Laubmoosextrakte (*Spaghnum quinquefarium*) wiesen auch in den Gewächshausversuchen von MEKURIA et al. (2003) bei einer Konzentration von 0,5% eine deutlich geringere Wir-

kung als Lebermoose auf. Die Erwartung, dass der geringere Wirkungsgrad durch eine Verdoppelung der Konzentration auf 1% erhöht werden kann, hat sich in den eigenen Feldversuchen nicht bestätigt. Die Ursachen mangelnder Freilandwirksamkeit von erfolgreich im Labor getesteten Substanzen ist Gegenstand eines Subkapitels der Generaldiskussion ab Seite 37.

Die eingesetzten Braunalgenextrakte hatten in Übereinstimmung mit LUNG (1996) keine befallsreduzierende Wirkung auf die Krautfäule von Kartoffeln im Freiland. Im Gegensatz zu LUNG (1996) wurden jedoch in den eigenen Versuchen keine ertragssteigernden Wirkungen der applizierten Braunalgenextrakte festgestellt. Pflanzenphysiologische Änderungen, wie etwa die Erhöhung des Chlorophyllgehaltes nach Braunalgenapplikation, waren nicht Gegenstand der eigenen Untersuchungen, sondern wurden indirekt über den letztlich relevanten integrierenden Faktor Ertrag erfasst.

3.3 Labor- und Gewächshausversuche 2003

Da die im Jahr 2002 schwerpunktmäßig untersuchten Kontrollmittel auf Basis von Algen- bzw. Torfmoosextrakten unter Feldbedingungen keinen Einfluß auf den Befallverlauf mit *P. infestans* an Kartoffeln aufwiesen, wurden im Versuchsprogramm 2003 zum Teil neue Ansätze verfolgt. Zum einen wurden Extrakte aus Speisepilzen im Gewächshaus gescreent (siehe Screeningversuch 2003), zum anderen wurde das Spektrum potentiell wirksamer Mittel um die bekanntermaßen sporizid wirksame Substanz Wasserstoffperoxid (ALASRI et al. 1993) erweitert. Als Ergänzung zu den Wirkstoffprüfungen wurde ein Beregnungsversuch durchgeführt, in dem der Einfluß von Niederschlägen auf die Wirksamkeit von Salbeiextrakten gegen *P. infestans* quantifiziert werden sollte.

3.3.1 Screeningversuch 2003

Die protektive Applikation von ethanolschen Extrakten (1%) einer Reihe von Speisepilzen hatte keinen Einfluß auf den Krautfäulebefall von künstlich infizierten Tomaten (Tab. 4). Demgegenüber wurde eine deutliche befallsreduzierende Wirkung eines Salbei/ Pfefferextraktgemisches festgestellt. Eine Verdoppelung der Extraktkonzentration von 0,5% auf 1% hatte eine Reduzierung des Blattbefalls mit Krautfäule von 73,9 % auf 46,3% zur Folge.

Tab. 4: Vergleichende Wirksamkeit von Speisepilz- bzw. Pfeffer/Salbei-Extrakten (1% m/v) zur Kontrolle der Krautfäule an Tomaten, MW = Mittelwert, σ = Standardabweichung, SEM = Standard error of mean, Screeningversuch 2003.

Bio-Präparat (1 %)	Befallsgrad (%)		
	Mw	σ_{n-1}	\pm SEM
Black Fungus	96.6	4.1	2.0
Spitzmorcheln	85.3	20.9	10.4
Shiitake Pilze	91.1	17.8	8.9
Butterpilze	97.5	3.2	1.6
Champignons	98.2	2.0	1.0
Pfifferling	94.5	9.3	4.6
Mischpilze	95.3	4.2	2.1
Salbei Mischung (0,5 %)	75.1	5.6	2.8
Salbei + Pfeffer (0,5 %)	73.9	11.3	5.6
Salbei + Pfeffer (1,0 %)	46.3	13.4	6.7
Kontrolle	90.9	6.7	3.3

3.3.2 Beregnungsversuch 2003

Der Einfluß von Haftmittelzugabe und Regensimulation auf die Wirksamkeit von Salbeixtrakten wurde in einem dreifaktoriellen Versuch mit Tomaten untersucht. Die höchste Abnahme des Befalls mit *P. infestans* wurde nach Applikation des synthetischen Fungizids Shirlan (Wirkstoff: Fluazinam) festgestellt (-80%). Durch zusätzliche Beregnung nach Applikation des Fungizids nahm der Wirkungsgrad von Shirlan deutlich ab (Abb. 8). In den unbehandelten Prüfgliedern wurden erwartungsgemäß keine Unterschiede im Befallsgrad durch zusätzliche Beregnung bzw. Spritzung eines Haftmittels festgestellt.

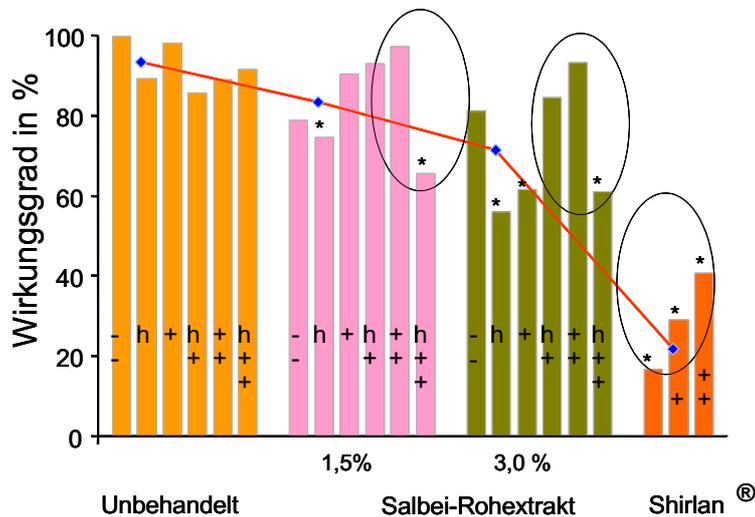


Abb. 8: Einfluß eines Haftmittels (NU-Film) und Beregnung (5mm bzw. 15 mm) auf die Wirksamkeit von Salbeixtrakten und Shirlan gegen *P. infestans* an Tomaten, h = Haftmittel, + = 5mm Regen, ++ = 15mm Regen, * = Dunnet Test ($\alpha = 0.05$), Beregnungsversuch 2003.

Eine signifikante Abnahme des Befallsgrades mit *P. infestans* nach Applikation von Salbeiextrakten wurde nur in einigen Prüfgliedern durch Zugabe eines Haftmittels festgestellt. Eine deutliche Abnahme des Befallsgrades zeigte sich in den Varianten mit Starkberegung nach Zugabe eines Haftmittels unabhängig von der Salbeikonzentration. Unklar bleibt jedoch, warum höhere konzentrierte Salbeiapplikationen (3%) bei schwacher Beregung mit Haftmittel höhere Befallsgrade aufweisen, als ohne Haftmittelzugabe und zugleich höher befallen sind als die gleiche Variante nach Starkberegung.

3.3.3 Untersuchungen zu Wasserstoffperoxid

Basierend auf Untersuchungen von ANDERSON & PILSWORTH (1984) und Praxisberichten aus den USA (IGL 2003) sollte das Potential von unterschiedlich formulierten Lösungen auf Basis von Wasserstoffperoxid zur Kontrolle von *P. infestans* eingehend beschrieben und evaluiert werden.

3.3.3.1 Myzelwachstumstest

Durch Zugabe von H_2O_2 zum Nährmedium (V8 Agar-Gemüsesaft) wurde das Myzelwachstum von *P. infestans* konzentrationsabhängig deutlich verringert. Während H_2O_2 - Konzentrationen von $> 20\text{ppm}$ eine fast vollständige Hemmung des Myzelwachstums bewirkten (Bild 3), hatte die Applikation einer 10ppm H_2O_2 - Lösung eine im Vergleich zur Kontrolle nur geringfügige wachstumshemmende Wirkung.

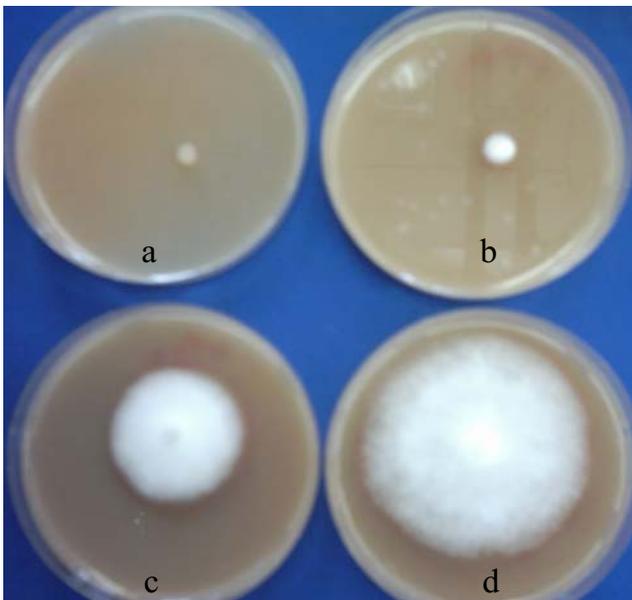


Bild 3: Einfluß unterschiedlich konzentrierter H_2O_2 -Lösungen auf das Myzelwachstum von *P. infestans*. a = 40ppm, b = 20ppm, c = 10ppm, d = Kontrolle.

3.3.3.2 Tomatenblattscheiben – Biotests

Unabhängig vom Applikationsort (Blattunter- bzw. oberseite) und dem Zeitpunkt der Ausbringung (2dbi, 1dbi, 0dbi) wurde eine konzentrationsabhängige Wirkung von Wasserstoffperoxid auf *P. infestans* festgestellt. Die niedrigste ED₅₀ Konzentration (0,13%) wurde bei Applikation von Wasserstoffperoxid 1 Tag vor der Inokulation (1dbi) festgestellt. Geringfügig höhere ED₅₀ Konzentrationen wurden 2dbi (0,25%) und 0dbi (0,38%) beobachtet. Die Applikation höherer Konzentrationen von Wasserstoffperoxid (>1%) hatte phytotoxische Effekte in Form von braunen Läsionen an den Blättern zur Folge.

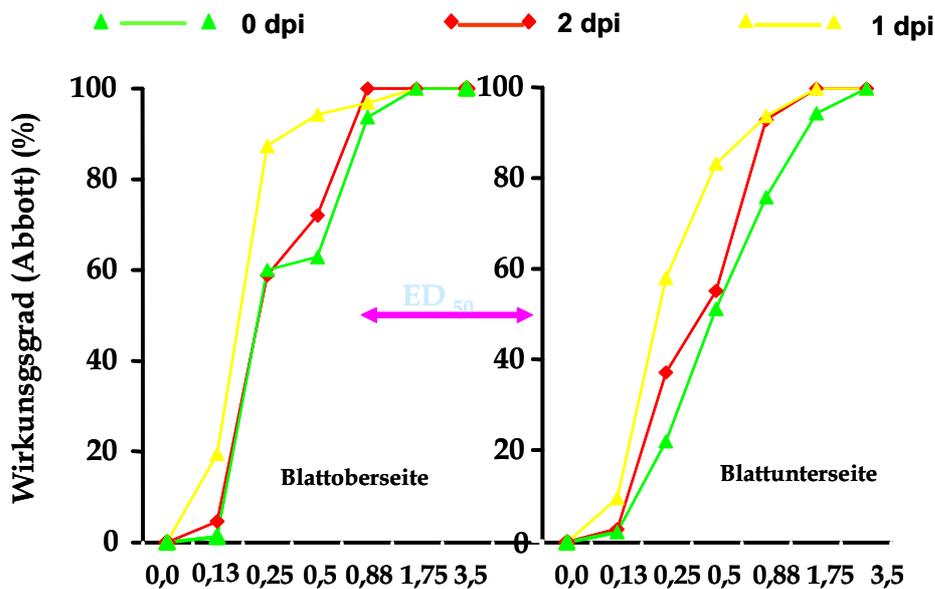


Abb. 9: Einfluß von Konzentration sowie Applikationsort und -termin einer Wasserstoffperoxidlösung auf den Befall von künstlich inokulierten Tomatenblättern mit *P. infestans*, (Wirkungsgrad nach Abbott in %). Versuchsjahr 2003.

Die kurative Behandlung von künstlich inokulierten Tomatenblättern mit unterschiedlich konzentrierten Mischungen von Proxitan (Mischung aus Wasserstoffperoxid, Essigsäure und Peressigsäure) wies Wirkungsgrade (Abbott) zwischen 20% und 55% auf (Abb. 10). Der höchste Wirkungsgrad wurde nach Applikation einer 2%igen Proxitanlösung erzielt.

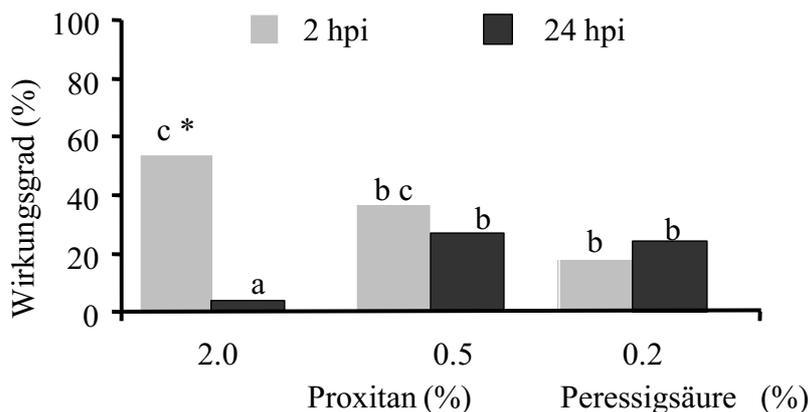


Abb. 10: Einfluß von Proxitan und Peressigsäure auf den Befall von künstlich inokulierten Tomatenblättern mit *P. infestans* (Wirkungsgrad nach Abbott in %), Dunnet Test ($\alpha = 0.05$), hbi / hpi = hours before / post inoculation, Versuchsjahr 2003.

3.3.3.3 Screeningversuch 2003

In einem Gewächshausversuch wurde der Einfluß unterschiedlich formulierter und konzentrierter H_2O_2 - Lösungen auf den Blattbefall von Kartoffeln (*Nicola*) mit *P. infestans* im Vergleich zur Anwendung von Shirlan überprüft. Alle Varianten wurden sowohl protektiv (1dbi) als auch kurativ (1dpi) angewendet.

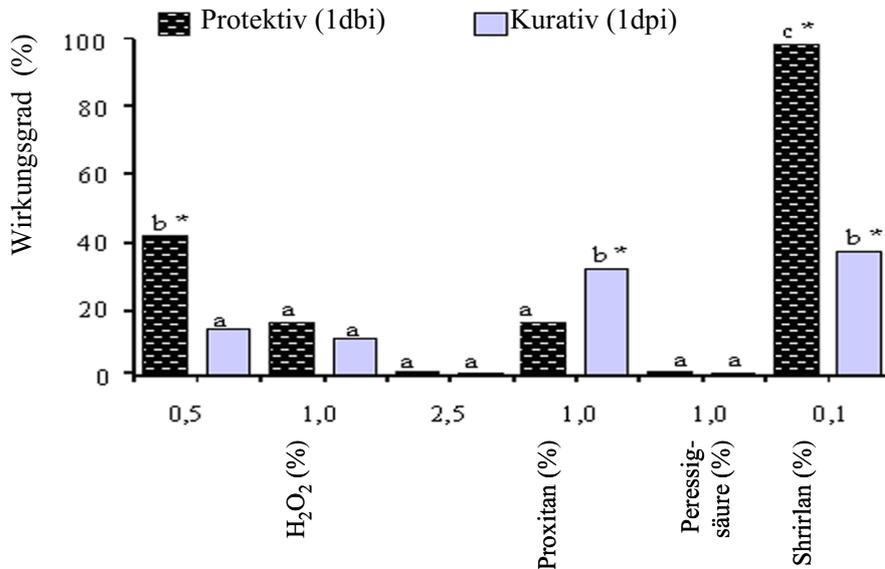


Abb. 11: Einfluß von Wasserstoffperoxid, Proxitan und Peressigsäure und Shirlan auf den Krautfäulebefall von Tomaten (Wirkungsgrad nach Abbott in %), Befallsgrad der unbehandelten Kontrolle = 94%, dbi / dpi = days before / post inoculation, Dunnet Test ($\alpha = 0.05$), Screeningversuch 2003).

Die höchsten Wirkungsgrade wurden nach protektiver Applikation von Shirlan erreicht (100%). Signifikante Wirkungsgrade von 41% bzw. 38% wurden auch durch die Varianten H_2O_2 (0.5%) protektiv und Proxitan kurativ erzielt. Alle anderen Behandlungen hatten demgegenüber nur vergleichsweise geringe Wirkungsgrade zur Folge.

3.4 Zwischendiskussion Labor- und Gewächshausversuche 2003

Es wurden sowohl myzelwachstumsreduzierende als auch sporizide Eigenschaften von unterschiedlich formulierten und konzentrierten H_2O_2 - Lösungen nachgewiesen. Die sporiziden Eigenschaften von Wasserstoffperoxid, Peressigsäure und Mischungen beider Komponenten wurden von ALASRI et al. (1993) eingehend im Vergleich zur Wirkung von Formaldehyd und Chlorin untersucht. Die Versuche wurden mit verschiedenen Bacillus-Arten durchgeführt, da diese häufig in Wasserfiltern zu finden sind und zudem als vglw. resistent gegen widrige Lebensbedingungen, z. B. Hitze und Trockenheit gelten. Die minimalen sporiziden Konzentrationen erwiesen sich als zeitabhängig und nahmen mit zunehmender Behandlungszeit ab. Peressigsäure bzw. Wasserstoffperoxid zeigten bei 5 min. Einwirkungs-

dauer eine sporizide Wirkung ab einer Konzentration von 1344ppm bzw. 22500 ppm gegen *B. subtilis*. Zur Erzielung des gleichen sporiziden Effektes waren bei Mischanwendung beider Substanzen demgegenüber nur Konzentrationen von 84 ppm (Peressigsäure) und 11250 ppm (Wasserstoffperoxid) notwendig. Die synergistische Wirkung beider Substanzen wurde daher auch bei der Formulierung von ‚Proxitan‘ zur praktischen Nutzung im Desinfektionswesen verwendet und begründete die Integration dieses Produktes in die eigenen Versuchsreihen. Während die *in vitro* Untersuchungen zum Teil hohe Wirkungsgrade aufwiesen, war die befallsreduzierende Wirkung der H₂O₂ - Lösungen an der lebenden Pflanze deutlich geringer. Nach Applikation höher konzentrierter H₂O₂ - Lösungen (>1%) wurden zudem Anzeichen von Phytotoxizität beobachtet. Die von ANDERSON & PILSWORTH (1984) empfohlene Verwendung eines Gemischs aus Wasserstoffperoxid, Essigsäure und Peressigsäure ‚Proxitan, bewirkte bereits bei niedriger Konzentration (1 - 2%) eine signifikante Reduktion des Blattbefalls mit *P. infestans* an Kartoffeln und wurde daher in Feldversuchen verwendet.

3.5 Feldversuch 2003

Auf Grundlage der eigenen Beobachtungen der vergangenen Jahre und den Laborbefunden des Frühjahrs 2003 wurden nach Erhalt einer Sondergenehmigung im Versuchsjahr 2003 erstmalig Spritzlösungen auf Basis von Wasserstoffperoxid angewendet. Diese wurden standardmäßig am frühen Morgen in die noch taunassen Bestände appliziert.

3.5.1 Spritzversuch Wiesengut 2003

3.5.1.1 Krautfäulebefall

Der Befallsdruck am Standort Wiesengut war im Versuchsjahr 2003 aufgrund der trockenen Witterungsbedingungen während der Hauptwachstumsperiode vergleichsweise niedrig. Erste Befallssymptome wurden zu Beginn der zweiten Julidekade festgestellt. Bedingt durch intensive Niederschläge nahm der Krautfäulebefall zu Beginn der dritten Julidekade deutlich zu, blieb jedoch anschließend aufgrund der einsetzenden Hitze des Jahrhundertsommers 2003 nahezu unverändert. Die überprüften Mittel hatten alle keinen signifikanten Einfluß auf den Befallsverlauf der Krautfäule.

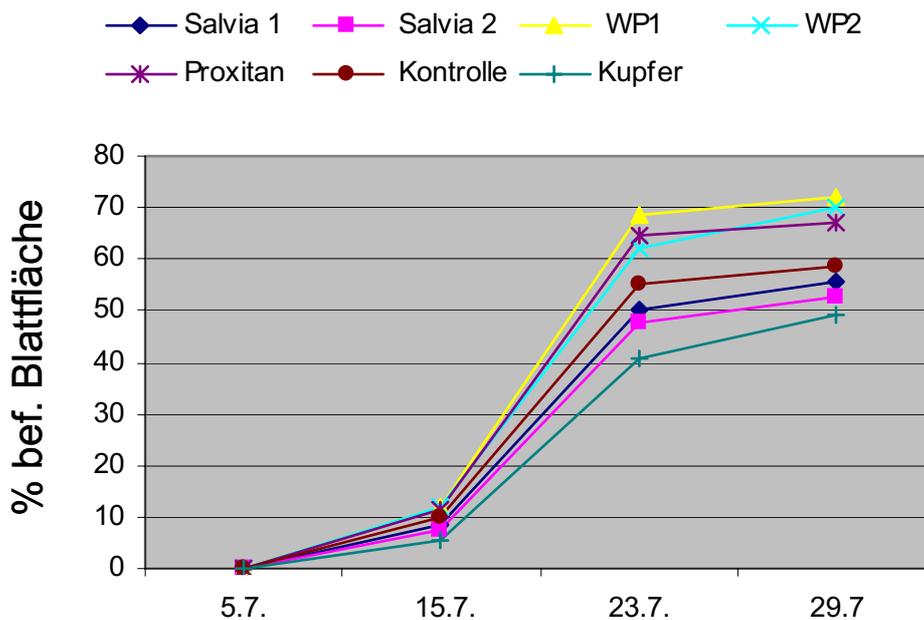


Abb. 12: Einfluß verschiedener Behandlungen auf Basis von Wasserstoffperoxid bzw. Salbeiextrakten auf die Entwicklung des Krautfäulebefalls (% befallene Blattfläche) an Freilandkartoffeln, Sorte *Nicola*, Salvia 1 = Salbeiextrakt 1%, Salvia 2 = Salbeiextrakt 2%, WP2 = Wasserstoffperoxid 0,15%, WP1 = WP2+Essigsäure, Wiesengut 2003.

In den Varianten mit Kupfer- bzw. Salbeibehandlung wurden tendenziell niedrigere Befallsgrade verglichen mit der Kontrolle beobachtet, während die Applikation von Wasserstoffperoxid zu einer geringfügigen Zunahme des Befalls führte. Aufgrund der extremen

Hitze während der zweiten Vegetationshälfte kam es zur beschleunigten Abreife des gesamten Bestandes zu Beginn der ersten Augustdekade.

3.5.1.2 *Rohrertrag*

Das mittlere Ertragsniveau des Versuchs war mit 405 dtha^{-1} für die Produktionsbedingungen des Ökologischen Landbaus überdurchschnittlich hoch. Es wurden keine signifikanten Ertragsunterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt.

3.6 **Zwischendiskussion Feldversuch 2003**

Auch die erstmalig feldversuchsmäßig eingesetzten Spritzlösungen auf Basis von Wasserstoffperoxid wiesen keinen befallsreduzierenden Effekt auf *P. infestans* auf. Die geringfügige, nicht signifikante Ausdifferenzierung der Befallstärke zwischen den einzelnen Varianten war verglichen mit der Entwicklung des mittleren Befallsverlauf aller Varianten von untergeordneter Bedeutung. Die nur geringfügige Ertragssteigerung nach Applikation von Kupferhydroxid erklärt sich vermutlich mit dem witterungsbedingt geringen Wirkungsgrad während der kurzen Phase der epidemischen Ausbreitung zwischen dem 15. und 23. Juli und der anschließend eintretenden Seneszenz des gesamten Bestandes. Grundsätzlich ist bei ökologisch erzeugten mittelfrühen Kartoffeln zu berücksichtigen, dass diese aufgrund des im Vergleich zu konventionellen Anbauverhältnissen geringeren Nährstoffversorgungsniveaus die Ertragsbildung in der Regel schon gegen Ende der zweiten Julidekade abgeschlossen haben. Die Entwicklung des Befallsverlaufs und das hohe Ertragsniveau des Versuchs (405 dtha^{-1}) legt daher die Vermutung nahe, daß der Befall mit Krautfäule nicht ertragslimitierender Faktor war.

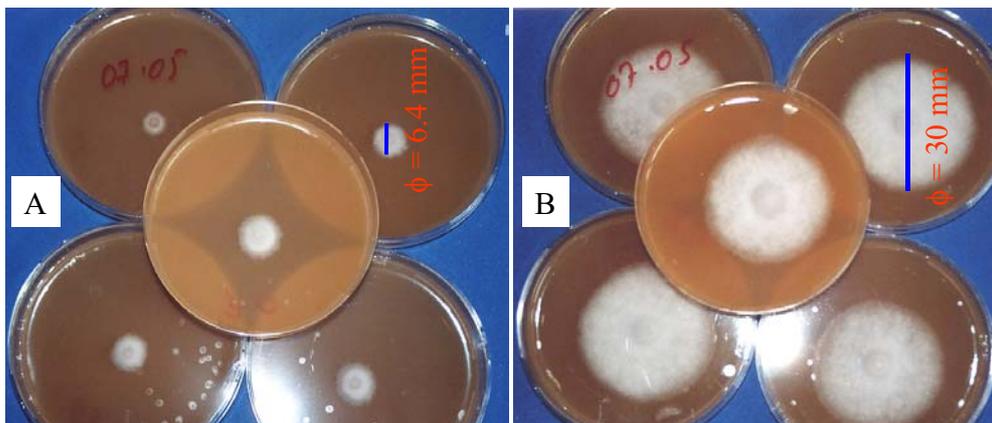
3.7 Labor- und Gewächshausversuche 2004

Im Versuchsjahr 2004 wurden eine Reihe von äthiopischen Heilpflanzen (*Artemisia afra*, *Lepidium sativum*, *Ruta chalepensis*, *Taverniera abyssinica*, *Lippia adoensis*, *Dorstenia* sp., *Commiphora abyssinica* und *Hagenia abyssinica*) *in vitro* und *in vivo* auf ihre Wirksamkeit gegenüber *P. infestans* an Tomaten überprüft.

3.7.1 Screeningversuch 2004a

Im Myzelwachstumstest mit einer applizierten Konzentration von 0.25% m/v der entsprechenden Heilkräuterextrakte wurden Inhibitionsraten zwischen 10.2% (*Dorstenia* sp.) und 100% (*H. abyssinica*) festgestellt (Bild 4 und Abb. 13). Hohe Inhibitionsraten des Myzelwachstums wurden auch nach Anwendung von *L. adoensis* (80%) beobachtet.

Bild 4: Einfluß eines ethanolischen Extraktes (0,25% m/v) aus Kossobaumblüten (*Hagenia abyssinica*) auf das Myzelwachstum von *P. infestans*, A = behandelt, B = unbehandelt.



Die Wirkungsgrade der präventiv auf künstlich inokulierte Tomaten applizierten Heilpflanzenextrakte waren in der Regel deutlich niedriger als im Myzelwachstumstest. Die höchsten Wirkungsgrade *in vivo* wurden nach Applikation des ethanolischen Extraktes aus Kossobaumblüten (*H. abyssinica*) mit 64% ermittelt, gefolgt von *L. adoensis* (37.9%) und *L. sativum* (27.2%). Es wurde kein korrelativer Zusammenhang zwischen dem Wirkungsgrad *in vitro* und *in vivo* der eingesetzten Pflanzenextrakte festgestellt (Abb. 13).

3.7.2 Screeningversuch 2004b

In einem weiteren Gewächshausversuch wurden unterschiedliche Konzentrationen und Formulierungen des als besonders wirksam ermittelten Extraktes aus *H. abyssinica* überprüft. Alle im Versuch applizierten Mischungen bewirkten eine signifikante Abnahme des Blattbefalls mit *P. infestans* an künstlich inokulierten Tomaten (Abb. 14). Die höchsten

Wirkungsgrade wurden nach Anwendung eines 2%igen *H. abyssinica* Extraktes (60%) bzw. einer 1%igen Mischung (1:1) aus *Piper nigrum* und *H. abyssinica* (62%) beobachtet.

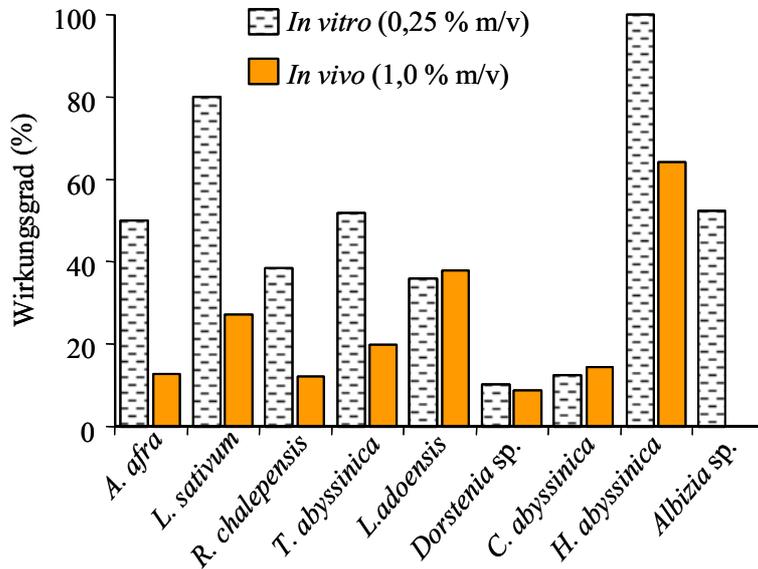


Abb. 13: Einfluß präventiver Applikation von ethanologischen Extrakte aus verschiedenen äthiopischen Heilpflanzen auf *P. infestans in vitro* und *in vivo* (Tomaten). Wirkungsgrad nach Abbott in %.

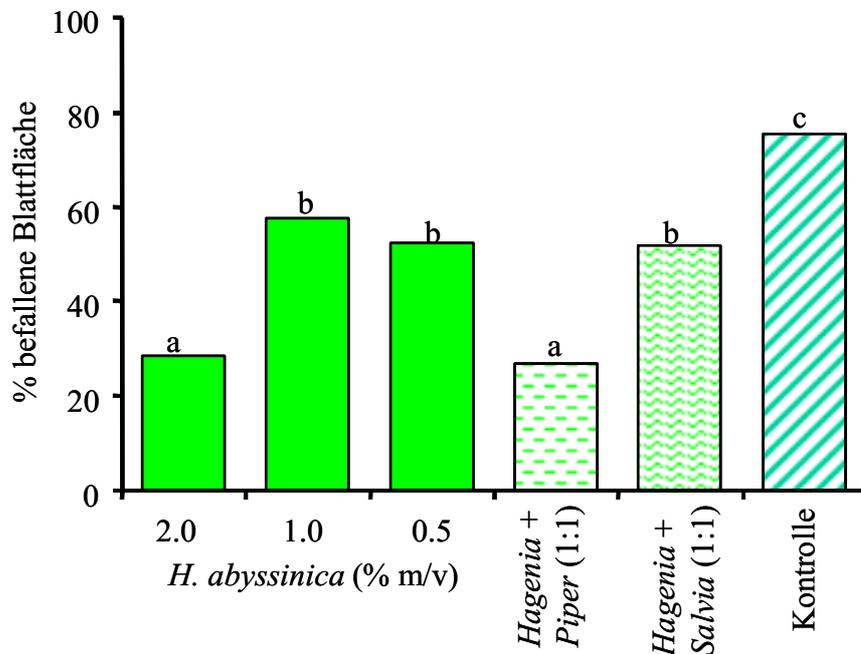


Abb. 14: Vergleich der Wirksamkeit unterschiedlich konzentrierter Reinextrakte aus *H. abyssinica* mit Mischextrakten (1%) aus *Piper nigrum* und *Salvia officinalis* gegen *P. infestans* an Tomaten, % befallene Blattfläche, Gewächshausversuch 2004, Tukey-Test, $\alpha = 0.05$.

3.8 Zwischendiskussion Labor- und Gewächshausversuche 2004

Analog zu den bereits früher eingehend untersuchten Salbeiextrakten (NEUHOFF et al. 2002) wiesen einige der untersuchten äthiopischen Heilkräuterextrakte einen deutlichen reduzierenden Effekt auf den Krautfäulebefall *in vivo* und *in vitro* auf. Im Falle des Extraktes aus Kossobaumblüten (*H. abyssinica*) ist dessen anthelminthische und somit antibiotische Wirkung seit langem bekannt (PABST 1887) und wird in der traditionellen äthiopischen Humanmedizin entsprechend eingesetzt. Die Mischung des Hageniaextraktes mit dem bereits von MEKURIA (2002) als wirksam gegen *P. infestans* beschriebenen Pfefferextrakt hatte eine deutliche Zunahme des Wirkungsgrades bei vergleichbaren Konzentrationen zur Folge (TADESSE & NEUHOFF 2005). Dieser Befund ist angesichts der zu berücksichtigenden Rohstoffpreise aus wirtschaftlicher Sicht von hohem Interesse. In den Feldversuchen des Jahres 2004 wurde daher mit einer 1%igen Mischung aus *H. abyssinica* (0,5%) und *P. nigrum* (0,5%) gearbeitet.

3.8.1 Feldversuche Hennef und Poppelsdorf 2004

Aufgrund der Verwendung von Wasserstoffperoxid als nicht im Anhang II der EU Verordnung 2092/91 genanntem Betriebsmittel wurden die Versuche in diesem Jahr auf konventionellen Ackerflächen durchgeführt. Da die Versuchsflächen bis in den zurückliegenden Jahren nicht mit humusmehrenden Kulturen belegt wurden, wurde zur Förderung des Bestandesentwicklung zwei Wochen nach dem Auflaufen eine N-Gabe von 60kg in Form von KAS gegeben. Am Standort ‚Poppelsdorf‘ wurde zusätzlich eine Herbizidanwendung im Voraufbau durchgeführt. Neben der regelmäßigen Applikation eines 1%igen Extraktes aus *H. abyssinica* und *P. nigrum* wurden verschiedene Varianten auf Basis von Wasserstoffperoxid und Kupferhydroxidapplikation *ad libitum* überprüft.

3.8.1.1 Krautfäulebefall

Bedingt durch die relativ trockene Witterung während der Hauptwachstumszeit der Kartoffelbestände war der Krautfäuledruck im Jahr 2004 vergleichsweise gering. Ein deutlicher Anstieg der Befallssymptome wurde an beiden Standorten erst gegen Ende der zweiten Julidekade festgestellt. Aufgrund ergiebiger Niederschläge und damit einhergehender verlängerter Blattnässedauer kam es zu Beginn der dritten Julidekade zu einem deutlichen Anstieg der Befallssymptome an beiden Standorten (Abb. 15 und Abb. 16).

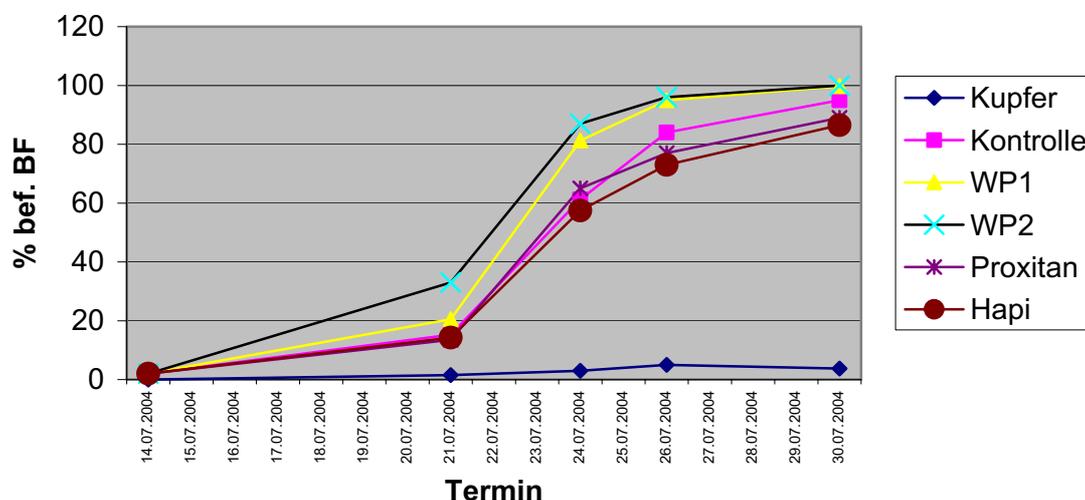


Abb. 15: Einfluß unterschiedlich formulierter Wasserstoffperoxidlösungen und eines Extraktes aus *P. nigrum* und *H. abyssinica* auf die Entwicklung des Krautfäulebefalls (% befallene Blattfläche) an Kartoffeln, WP1 = Wasserstoffperoxid 1%, WP2 = WP1 + Essig, Hapi = Hagenia-Pfefferextrakt (1%), Sorte Nicola, Spritzversuch Hennef Ost, 2004.

Die mit Wasserstoffperoxid behandelten Prüfglieder wiesen mit Ausnahme der Variante ‚Proxitan‘ an beiden Standorten einen tendenziell höheren Befallsgrad auf als die Kontrolle. Die regelmäßige Applikation des Hagenia-Pfefferextraktes bewirkte eine im Vergleich zur

Kontrolle nur geringfügige nicht signifikante Abnahme des Krautfäulebefalls auf beiden Standorten.

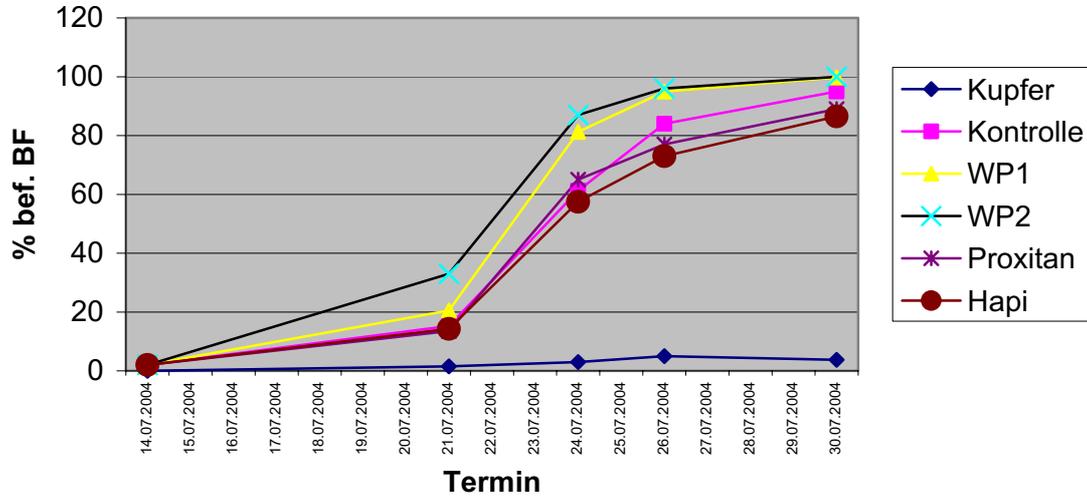


Abb. 16: Einfluß unterschiedlich formulierter Wasserstoffperoxidlösungen und eines Extraktes aus *P. nigrum* und *H. abyssinica* auf die Entwicklung des Krautfäulebefalls (% befallene Blattfläche) an Kartoffeln, WP1 = Wasserstoffperoxid 1%, WP2 = WP1 + Essig, Hapi = Hagenia-Pfefferextrakt (1%), Sorte Nicola, Spritzversuch Poppelsdorf, 2004.

Demgegenüber hatte die regelmäßige Applikation von Kupferhydroxid eine signifikante Reduzierung des Befallsgrades während der gesamten Vegetationsperiode zur Folge. Während alle anderen Varianten auf beiden Standorten zu Beginn des Monats August einen Krautfäulebefall von deutlich über 80% aufwiesen, wurde in den mit Kupferhydroxid behandelten Parzellen lediglich ein maximaler Befall von 5% beobachtet (Bild 5).



Bild 5: Unbefallene Parzelle nach wiederholten Kupferhydroxidbehandlungen inmitten eines mit Krautfäule befallenen Versuchsfeldes, Spritzversuch Hennef Ost, 3. August 2004.

3.8.1.2 Rothertrag

Am Standort Hennef wurde mit 280 dtha^{-1} ein deutlich höheres Ertragsniveau als am Standort Poppelsdorf festgestellt (221 dtha^{-1}). Auf keinem der beiden Standorte wurde ein ertragssteigernder Effekt durch Applikation des Hagenia-Pfefferextraktes bzw. von ‚Proxitan‘ beobachtet (Tab. 5).

Demgegenüber wurden in den beiden Varianten, die mit einer 1%igen Wasserstoffperoxidlösung behandelt wurden im Vergleich zur Kontrolle z. T. signifikante Mindererträge erzielt. Die höchsten Ertragsverluste wurden am Standort Hennef in der Variante Wasserstoffperoxid + Essig festgestellt. Der Ertrag dieser Variante war mit 189 dtha^{-1} um 89 dtha^{-1} niedriger als in der unbehandelten Kontrolle (278 dtha^{-1}).

Tab. 5: Einfluß verschiedener Behandlungen auf den Rothertrag (dt ha^{-1}) von Freilandkartoffeln, Sorte *Nicola*, Spritzversuche Poppelsdorf und Hennef 2004.

Behandlung	Standort Poppelsdorf	Standort Hennef
Wasserstoffperoxid 1 + Essig	190b	226bc
Wasserstoffperoxid 2	185b	189c
Proxitan	217b	288b
Hagenia-Pfefferextrakt	211b	276b
Kupferhydroxid	314a	423a
Kontrolle	207b	226b
Versuchsmittel	220,7	271,3

Die wiederholte Applikation von Kupferhydroxid hatte demgegenüber auf beiden Standorten eine im Vergleich zur Kontrolle signifikante Ertragsteigerung zur Folge. Am Standort Poppelsdorf wurde durch Applikation von Kupferhydroxid ein Mehrertrag von 107 dtha^{-1} (+52%) erzielt, während am Standort Hennef /Ost Mehrerträge von 145 dtha^{-1} (+52%) gemessen wurden

3.9 Zwischendiskussion Feldversuche 2004

Analog zum Befallsverlauf mit Krautfäule hatten die untersuchten Spritzlösungen auf Basis eines Hagenia-Pfefferextraktes bzw. von ‚Proxitan‘ keinen Effekt auf den Rothertrag von Kartoffeln. Die für den Hagenia-Pfefferextrakt beobachteten Befunde stehen im Einklang mit eigenen früheren Ergebnissen zum Einsatz von Salbeiextrakten (NEUHOFF et al. 2002), die ebenfalls keine Freilandwirksamkeit gegen die Krautfäule aufwiesen, obwohl unter Gewächshausbedingungen eine signifikante Befallsreduzierung ermittelt wurde. Die mangelnde

Übertragsbarkeit von Gewächshausuntersuchungen auf Freilandbedingungen ist Gegenstand eines Subkapitels der Generaldiskussion.

In Gegensatz zu den Aussagen von PILSWORTH (2003) hatte in den vorliegenden Untersuchungen die Applikation von ‚Proxitan‘, einer Mischung aus Wasserstoffperoxid, Essigsäure und Peressigsäure, nur eine unbedeutende befallsreduzierende Wirkung auf *P. infestans*, obwohl die Spritzungen regelmäßig zu früher Morgenstunde in die noch taunassen Bestände erfolgten (Bild 6).

Die wiederholte Applikation einer alleinigen 1-%igen Wasserstoffperoxidlösung, oder in Kombination mit Essig hatte in beiden Versuchen die Ausprägung deutlicher Symptome von Phytotoxizität zur Folge. Bereits nach 2 Applikationen wurden Verbräunungen im Blattbestand festgestellt, die im weiteren Verlauf zu einem im Vergleich zur Kontrolle beschleunigten Absterben der Bestände führten.



Bild 6: Vergleich der Wirkung von ‚Proxitan‘ (vorne), unbehandelter Kontrolle (mitig) und Kupferhydroxid (hinten) auf den Krautfäulebefall von Kartoffeln, Sorte Nicola, Standort Poppelsdorf 5. August 2004.

3.10 Generaldiskussion

Die nachfolgende Generaldiskussion versucht aufbauend auf der fachlichen Einordnung der eigenen Ergebnisse das generelle Problem der Entwicklung von Pflanzenschutzmitteln für den Ökologischen Landbau zu beleuchten. Abschließend erfolgt ein kurzer Ausblick auf erwartbare Kernelemente der Entwicklung des Pflanzenschutzes im Ökologischen Landbau.

3.10.1 Zur Bedeutung von Labor- und Gewächshausversuchen

Die eigenen Untersuchungen der vergangenen sechs Jahre zur Kontrolle von *P. infestans* mit Pflanzenextrakten haben verdeutlicht, daß die unter kontrollierten Bedingungen erzeugten Phänomene keine hinreichend sichere Vorhersage zur potentiellen Wirksamkeit dieser Extrakte im Freiland erlauben (NEUHOFF et al. 2002b, NEUHOFF et al. 2003). Die Ursachen für diesen Sachverhalt liegen vorwiegend an der mangelnden Identifikation der Wirkstoffe im betreffenden Extrakt sowie an den variablen Witterungsbedingungen im Freiland. Diese beiden Aspekte werden im Kapitel 3.10.2 ausführlich diskutiert.

Historisch betrachtet ist die Bearbeitung von phytopathologischen Problemen im Ökologischen Landbau mit modernen Labormethoden von wenigen Ausnahmen abgesehen vergleichsweise jung. Nicht zuletzt aufgrund des regelmäßig beobachteten Phänomens einer mangelnden Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf Freilandbedingungen wurden Spritzversuche zur Kontrolle von Schaderregern häufig ohne systematischen methodischen Hintergrund betrieben. Die fehlende Reproduzierbarkeit von Laborergebnissen auf Freilandbedingungen ist jedoch keineswegs ein Argument gegen die gründliche Erforschung von Wirkmechanismen unter kontrollierten Bedingungen, sondern erfolgreiche Laborversuche sind weiterhin die Grundvoraussetzung für eine potentielle Wirksamkeit im Feldversuch. Es ist nicht davon auszugehen, dass eine Substanz, die im Labor keine Wirkung zeigte, anschließend im Freiland erfolgreich getestet wird. Umgekehrt zeigen auch eine Reihe solider Untersuchungen (z.B. BLAESER 1999, TADESSE 2003), daß Freilanduntersuchungen dann ein höheres Gewicht beizumessen ist, wenn das Ziel der Entwicklung eines Pflanzenschutzmittels für den Ökologischen Landbau im Vordergrund steht. Häufig dienen jedoch die Laboruntersuchungen der Identifikation von Wirkstoffen, die anschließend in synthetisierter Form in der modernen Fungizidforschung Verwendung finden (siehe auch Subkapitel 3.10.3). Ein höherer Erkenntnisgewinn für die Belange des Pflanzenschutzes im Ökologischen Landbau ist von Semifreilanduntersuchungen zu erwarten (CAO et al. 2003), in denen die Witterungsbedingungen des Freilands in die Versuchsanlage integriert werden, während die methodische Ausdifferenzierung sowie die Auswertung im Labor stattfinden.

3.10.2 Erklärungsansätze für die mangelnde Wirksamkeit von Pflanzenextrakten im Freiland

In insgesamt über zehn eigenen Feldversuchen der Jahre 1999 – 2004 wurde keine Wirkung von mehreren nachweislich im Labor wirksamen Substanzen, wie etwa Salbeiextrakte (BLAESER 1999) oder Pfefferextrakte (TADESSE 2003) unter Freilandbedingungen festgestellt (NEUHOFF et al. 2003). Umfangreiche Freilandversuche zur Kontrolle von *P. infestans* ohne kupferhaltige Mittel wurden unter anderem auch von MEINCK (1999a, 1999b), BÖHM 2001 und SCHLIEPHAKE et al. (2001) durchgeführt. Keines der untersuchten Mittel, u. a. Kaliumseifen und Salbeiextrakte bewirkte eine Reduzierung des Krautfäulebefalls von Kartoffeln im Feldversuch.

Die geprüften Braunalgenextrakte sind zur Kontrolle von *P. infestans* an Kartoffeln den eigenen Untersuchungen zufolge nicht geeignet. Sie weisen jedoch eine Reihe von pflanzenbaulich interessanten Effekten auf, die auch im Ökologischen Landbau von Interesse sind, obwohl sie in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht wurden. Neben der bereits in der Einleitung erwähnten physiologisch bedingten Förderung des Pflanzenwachstums werden neuerdings auch antiphytopathogene Eigenschaften von Braunalgenextrakten diskutiert. LIZZI et al. (1998) wiesen in ihren Gewächshausuntersuchungen zum Wirt-Pathogen Verhältnis *Capsicum annum* (Paprika) – *Phytophthora capsici* nach, dass sowohl wurzel- als auch blatt-applizierte Braunalgenextrakte norwegischer Provenienz (Fa. Algea) bei präventiver Applikation auf künstlich infizierten Paprika eine deutliche Reduzierung der durch *P. capsici* hervorgerufenen Blattnekrosen bewirkten. In weiterführenden Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Applikation des Braunalgenextraktes zu einer erhöhten Peroxidaseaktivität und Capsidiolsynthese in den Paprikablättern führte und somit Phänomene der Induzierten Resistenz hervorrief. Befallsreduzierende Effekte nach Applikation eines Braunalgenextraktes wurden auch auf das Wirt-Pathogen Verhältnis *Vitis vinifera* - *Plasmopara viticola* beobachtet. Neben einer deutlichen Abnahme des Blattbefalls (-40%) wurde auch die Sporulation des Pilzes um 50% reduziert (LIZZI et al. 1998). LUNG (1996) stellte in seinen einjährigen Versuchen zur Wirkung des Algenpräparates ‚Bio-Algeen‘ im Kartoffelbau signifikante Mehrerträge (12-20%) nach vierfacher Applikation (jeweils 1-2 l ha⁻¹) des Präparates fest. Eine befallsreduzierende Wirkung auf *P. infestans* wurde jedoch nicht festgestellt.

Auch BASSIN & FORRER 2001 haben in ihren Feldversuchen zur Kontrolle von *P. infestans* sowohl mit Pflanzenextrakten als auch mit diversen kommerziellen Präparaten bei vergleichbarer methodischer Vorgehensweise wie in den eigenen Untersuchungen nur geringe Wirkungsgrade der untersuchten kommerziellen Präparate mit Ausnahme des bekanntermaßen wirksamen Kupfers festgestellt. Nach Ansicht der Autoren spielen zur Erklärung der häufig nur geringen Wirkungsgrade der kommerziellen Präparate die wetterbedingten Wirk-

stoffverluste eine entscheidende Rolle, insbesondere dann, wenn der Epidemiebeginn mit einer Schlechtwetterperiode einhergeht.

Die überprüften ethanolischen Pflanzenextrakte, u.a. aus *Salvia officinalis* (Salbei) und *Potentilla erecta* (Blutwurz) zeigten demgegenüber in den gleichen Untersuchungen von BASSIN & FORRER 2001 keine Wirkung auf den Befall mit *P. infestans* an Freilandkartoffeln. Als Gründe für diesen Sachverhalt werden verschiedene Aspekte diskutiert. Ein großes Problem besteht in der mangelnden Kenntnis eines spezifischen Wirkstoffs in den jeweils untersuchten Pflanzenextrakten, da hierdurch eine Reihe von Fehlerquellen entstehen können. So kann nicht sicher festgestellt werden, ob eine ausbleibende Wirkung eines Pflanzenextraktes im Feld am extraktionsbedingten oder am faktischen Fehlen eines wirksamen Wirkstoffes im Extrakt begründet liegt. Aus dem gleichen Grund ist auch eine Standardisierung des Wirkstoffgehaltes als Grundlage für kalkulierbare Dosis / Wirkungsbeziehungen nicht möglich. Die Autoren resümieren, daß „ungenügend definierte Extraktionsmethoden und fehlende Angaben in Formulierungstoffen die wichtigsten Gründe“ für die Nichtwirksamkeit der verwendeten Pflanzenextrakte im Felde sein dürften. Dieser Sachverhalt spielt mit Sicherheit eine besondere Rolle bei der Erklärung von hohen Schwankungen des Wirkungsgrades eines Pflanzenextraktes bei Feldanwendung, er reicht aber alleine nicht aus, da in einer Vielzahl von Versuchen unter kontrollierten Bedingungen die Wirksamkeit bspw. von Salbeiextrakten (BLAESER 1999, NEUHOFF et al. 2002) bzw. Moos- und Pfefferextrakten (TADESSE 2003) eindeutig nachgewiesen wurde. Während BLAESER (1999) die Wirkung von Salbeiextrakten gegen *P. infestans* auch im Freiland in Kleinparzellen unter optimierten Bedingungen (tropfnasse Ganzpflanzenbehandlung) erfolgreich überprüfte, wurden von TADESSE (2003) im Rahmen seiner Dissertation keine Freilandversuche durchgeführt. Da in den eigenen Labor- und Feldversuchen die gleichen Extrakte verwendet wurden, ist nicht von einem Fehlen der Wirkstoffe im Freiland auszugehen. Auch BASSIN & FORRER 2001 konzedieren, dass mittels umfangreicher Methodenvergleiche die genannten Unsicherheitsfaktoren ausgeschaltet werden könnten.

Erfolgreiche Screeningversuche zur Kontrolle einer Reihe von pilzlichen Schaderregern, u. a. mit *P. infestans* an Tomaten wurden auch von KIM et al. (2002) durchgeführt. In ihren Gewächshausuntersuchungen wurden nach Applikation von ethanolischen Extrakten u. a. aus *Reynoutria elliptica* und *Paulownia coreana* Wirkungsgrade von über 90% gegen *P. infestans* an Tomaten festgestellt. Die Extraktkonzentrationen entsprachen 300 g Frischmasse auf 50 ml Extrakt und waren somit unter Zugrundelegung eines geschätzten Trockenmassegehaltes der Prüfpflanzen von 16% etwa 10 mal höher (10% m/v) als in den eigenen Untersuchungen. Derart hohe Extraktkonzentrationen sind jedoch für Anwendungen im Feld aus ökonomischen Gründen ungeeignet, wie das folgende Rechenbeispiel anhand von Salbei belegt.

Geht man von einer Aufwandmenge von 500 l ha⁻¹ aus, würden bei Herstellung eines 10%-igen Salbeiextraktes 50 kg Salbeitrockenmasse je Spritzung als Rohstoff benötigt. Bei einem geschätzten Preis von etwa 8€ je kg entstünden somit Rohstoffkosten von 400€ verglichen mit 40€ zur Herstellung eines 1% -igen Extraktes. Das Rechenbeispiel verdeutlicht, dass praxisrelevante Extraktkonzentrationen im Bereich von 1% m/v liegen müssen, um eine ausreichende Wirtschaftlichkeit sicher zu stellen.

Die von BLAESER (1999) durchgeführten Untersuchungen mit Salbei- und Tormentillextrakten haben zudem ergeben, dass die zu Grunde liegenden Wirkmechanismen, etwa die Herabsetzung der Zoosporenbeweglichkeit, -entlassung und -beweglichkeit von *P. infestans* in Gegenwart von Salbeiextrakten nur protektiver Natur sind. Übereinstimmend mit BASSIN & FORRER 2001 kann daher festgestellt werden, dass der Applikationstermin von maßgeblicher Bedeutung ist. Grundsätzlich sind frühe erste Behandlungstermine noch vor der Primärinfektion erforderlich, um den Befall mit protektiv wirksamen Mittel kontrollieren zu können. Die Bedeutung eines rechtzeitigen Behandlungstermins gegen *P. infestans* an Kartoffeln wurde auch von RADTKE (1989) betont. Erfolgte die erste Spritzung auf einen schon vorhandenen Krautfäulebefall von 5% befallene Blattfläche, war dieser in der Regel weder durch Kontaktfungizide noch durch systemisch wirkende Mittel ausreichend kontrollierbar. Da der Erreger zudem bei optimalen Witterungsbedingungen in der Lage ist, innerhalb von 4 Tagen eine neue Generation zu bilden, sind enge Spritzfolgen von 8 – 14 Tagen (RADTKE 1989) je nach Witterung und Wirkungsdauer des eingesetzten Präparates notwendig. Aufgrund deutlicher regionaler Unterschiede im Epidemieverlauf richtete sich der Zeitpunkt des ersten Behandlungstermins sowie der Anschlußspritzungen in den eigenen Untersuchungen nach den Kriterien Bestandesentwicklung und Witterungslage verbunden mit den Empfehlungen der Warndienste und wurde grundsätzlich vor dem Auftreten von ersten Befallssymptomen durchgeführt.

Das vermutlich größte Problem rein protektiv wirksamer Agenzien besteht jedoch in der dominanten Witterungsabhängigkeit des Epidemieverlaufes von *P. infestans*.

Bedingt durch starke Niederschläge, die den Epidemieverlauf fördern, kommt es zusätzlich zum Abwaschen von Wirkstoffen, die häufig aufgrund der nach Starkniederschlägen herrschenden Bodenbedingungen nicht sofort durch eine erneute Spritzung ausgeglichen werden können. Insbesondere im Falle von witterungsbedingt hohem Infektionsdruck mit *P. infestans*, der zu erheblichen Ertragsverlusten (RADTKE 1989) führen kann, ist somit der rein protektive Schutz mit Sicherheit kaum ausreichend, um eine Epidemie zu verhindern. Umgekehrt ist bei schwachem Befallsdruck mit entsprechend geringen Ertragsverlusten der Grenznutzen einer Behandlungsmaßnahme gegen Krautfäule nur gering.

Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kamen auch CAO et al. (2003). In ihren Untersuchungen in einem Halbfreilandssystem zur Kontrolle von *P. infestans*. mit Hilfe von chinesischen

Heilkräuterextrakten (*Terminalia chebula*, *Anemarrhena asphodeloides* und *Galla chinensis*) wurde ein eindeutiger negativer Effekt des Niederschlages auf die Wirksamkeit der Präparate festgestellt. Nach einer regenreichen Periode, definiert als 18,5 mm Regen in 48 Stunden, wurde kein Unterschied im Wirkungsgrad zwischen den Extrakten und der Kontrolle beobachtet, während bei geringem Niederschlag (4,3 mm in 48 Stunden) eine befallsreduzierende Wirkung bis 73% ermittelt wurde. Die eigenen Untersuchungen zur Regenstabilität bestätigen diese Aussagen. Als *conditio sine qua non* kann daher die Verwendung eines Haftmittels in jedem Fall postuliert werden. Dieser Forderung wurde in den eigenen Feldversuchen dadurch Rechnung getragen, dass standardmäßig das Haftmittel NU-Film eingesetzt wurde.

Mit Sicherheit kann gesagt werden, dass die Formulierung der Pflanzenextrakte ebenso wie die homogene Verteilung in wüchsige Bestände (BASSIN & FORRER 2001) sowie idealer Weise die zusätzliche Unterblattspritzung zur Benetzung des gesamten Blattapparates eine wichtige Voraussetzung zur Sicherstellung der Wirksamkeit von Pflanzenextrakten im Feld darstellen. Verbesserte Wirkungsgrade von Kupferapplikationen nach Unterblattspritzung wurden in den Untersuchungen von IRLA et al. (2000, 2001) eindeutig belegt und verdienen im Rahmen künftiger Kontrollstrategien gegen *P. infestans* verstärkte Beachtung. Das Ziel einer optimalen Verteilung des Spritzbelages wurde in den eigenen Untersuchungen im Rahmen des Machbaren berücksichtigt. Aus praktischer Sicht ist jedoch hinzuzufügen, dass eine komplette beidseitige Benetzung des Blattapparates, insbesondere im Falle von krautigen, wüchsigen Beständen nicht immer erfolgreich ist. Zudem implizieren Schlepperfahrten in dichte Bestände das hohe Risiko einer verletzungsinduzierten Ausbreitung von *P. infestans* und sind somit häufig kontraproduktiv.

CAO et al. (2003) haben zudem festgestellt, dass die wirksamen Stoffe in den untersuchten chinesischen Pflanzenextrakten innerhalb kurzer Zeit auch durch Lichteinfluss ihre Wirksamkeit verloren haben. Photochemische Zersetzung bzw. biochemischer Abbau in der Phyllosphäre werden auch von NEUHOFF et al. (2002b) als wichtige Faktoren angegeben, die die mangelnde Wirksamkeit eines Pflanzenextraktes im Feld erklären können.

Als maßgebliche Gründe für die zahlenmäßig geringe Entwicklung praxistauglicher Pflanzenschutzmitteln auf Basis von Naturstoffen gibt UJVARY (2002) zusätzlich zu den bereits beschriebenen unzureichenden Wirkungsgraden gegen ein weites Spektrum von ökonomisch wichtigen Schaderregern deren unzureichende Stabilität im Freiland, deren hohe Produktionskosten und mangelnde Patentierbarkeit an. Der Autor räumt jedoch ein, daß es trotz dieser Restriktionen eine Reihe von wirtschaftlich relevanten Pflanzenschutzmitteln auf Basis von Naturstoffen gibt, etwa Neem-Extrakte (Azadirachtin) oder Pyrethrine. Die mangelnde Patentierbarkeit von Naturstoffen ist zudem mit Hinblick auf die potentielle Nutzung im Ökologischen Landbau ambivalent. Einerseits wird die privatwirtschaftliche Forschung und

Entwicklung durch diesen Sachverhalt eingeschränkt, andererseits erhöht ein potentieller Einsatz nach Selbsterstellung, etwa in Entwicklungsländern, die Unabhängigkeit der Landwirte von kostenträchtigen Vorleistungen.

3.10.3 Grundsätzliche Aspekte zu Entwicklung und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Ökologischen Landbau

Anders als in integrierten landwirtschaftlichen Produktionssystemen sieht der Ökologische Landbau die Verwendung nicht als ‚ultima ratio‘ an, die unter flexibel definierbaren, i.d. R. rein betriebswirtschaftlichen Bedingungen, zum Einsatz kommen, sondern als eine durch anbautechnische Maßnahmen und Verzicht auf Maximalerträge zu vermeidende Vorgehensweise.

Die IFOAM Basisrichtlinien (1995) nennen als eines von 6 Kriterien für die generelle Zulässigkeit eine Betriebsmittels dessen Notwendigkeit. Dies bedeutet, dass der Einsatz nur dann wenn vertretbar ist, wenn es *de facto* keine Alternativen gibt und somit der Anbau einer Kultur entweder unmöglich oder nur mit unvertretbar hohem Risiko zu bewerkstelligen ist.

Das prinzipielle Verbot der Anwendung von Herbiziden im Ökologischen Landbau nach EU – Verordnung 2092/91 verdeutlicht die unterschiedliche Vorgehensweise zwischen konventioneller und ökologischer Landwirtschaft. Während der Herbizideinsatz im konventionell integrierten Landbau häufig auf Basis wirtschaftlicher Schadensschwellen geregelt ist, lehnt der Ökologische Anbau diese Maßnahme ab, da nachweislich Alternativen bestehen (BARBERI 2002, DAVIES & WELSH 2001), die in der Regel einen ausreichenden Kontrollerfolg gewährleisten können. Die gezielte Nutzung der klassischen Unkrautkontrollmaßnahmen, insbesondere Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung, erhält somit indirekt einen verbindlichen Charakter, wenn längerfristige Probleme vermieden werden sollen.

Im Falle des Auftretens von pilzlichen und tierischen Schaderregern ist die Sachlage jedoch differenziert zu betrachten. Obwohl viele der im Ökologischen Landbau üblichen Maßnahmen, wie etwa die vielseitige Fruchtfolgegestaltung, den generellen Schädlings- und Krankheitsdruck reduzieren können, ist insbesondere bei Sonder- und Dauerkulturen der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln häufiger notwendig. Derzeit (2005) sind etwa 20 Wirkstoffe in etwa 100 verschiedenen Produkten für spezielle Indikationen im Ökologischen Landbau zugelassen.

Unabhängig vom Einsatz des als ökotoxikologisch bedenklich eingestuften Kupfers, das längerfristig im Ökologischen Landbau ersetzt werden soll, gibt es eine Fülle von phytopathologischen Problemen, die künftig einer intensiveren Beforschung bedürfen, wie etwa die Qualität und Gesundheit von ökologisch erzeugtem Saatgut.

Neben der Ausweitung des Einsatzes bereits bekannter zugelassener Wirkstoffe, z.B. Azadirachtin, ist die Entwicklung von neuen Wirkstoffen, die den hohen Anforderungen des Ökologischen Landbaus genügen, insbesondere zur Kontrolle von witterungsbedingt auftretenden pilzlichen Schaderregern mit hoher Virulenz, z.B. *P. infestans*, dringend erforderlich.

Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgenommene Vorgehensweise bestand aus der protektiven und kurativen Anwendung von ethanolischen Pflanzenextrakten bzw. von Wasserstoffperoxidlösungen. Die Identifikation und Prüfung der potentiell wirksamen Stoffe erfolgte nach klassischen Methoden in Labor und Feld.

Ein grundsätzlicher methodischer Unterschied zwischen agroindustrieller und ökologisch orientierter Forschung besteht jedoch hinsichtlich der Produktion der als wirksam nachgewiesenen Stoffe. Während das Ziel agroindustrieller Forschung in der Regel die Isolation und anschließende technische Synthese von Wirkstoffen ist, sollen selbige im Ökologischen Landbau über biologische Prozesse, z. B. höhere Pflanzen synthetisiert werden, obwohl dieses Grundprinzip in Einzelfällen, z.B. bei Pheromonfallen, nicht eingehalten wird.

Für den Ökologischen Landbau ergeben sich aus diesem Sachverhalt praktische Konsequenzen dahingehend, dass in der Regel Pflanzenextrakte bei nachgewiesener Wirksamkeit nur dann Aussicht auf ökonomischen Erfolg haben, wenn ein feldmäßiger Anbau der entsprechenden Pflanzenart mit hoher Biomasseproduktion bzw. Extraktausbeute möglich ist.

3.10.4 Künftige Strategien des Pflanzenschutzes im Ökologischen Landbau

Dem Problemkomplex epidemisch auftretender witterungsabhängiger Pilzkrankheiten im Ökologischen Landbau kann auf verschiedene Weise begegnet werden. Grundsätzlich zu differenzieren ist zwischen innovativen methodischen Ansätzen, die potentiell das Selbstverständnis des Ökologischen Landbaus tangieren können (offensiver Ansatz) bzw. einem Arrangement mit Pilzkrankheiten bei optimaler Ausschöpfung präventiver Maßnahmen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde auch ein offensiver Ansatz mit dem Ziel, verfolgt, ein neues Verfahren zur Kontrolle von *P. infestans* zu entwickeln. Die zu diesem Zweck verwendeten Mischungen auf Basis von Wasserstoffperoxid, von denen eine direkte sporizide Wirkung erwartet wurde, erwiesen sich bekanntermaßen bis dato als erfolglos. Unabhängig von den eigenen Versuchen zur Kontrolle von *P. infestans* ist darauf hinzuweisen, dass Wasserstoffperoxid aufgrund seiner Eigenschaften eine grundsätzlich interessante chemische Verbindung für den Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau darstellt. Dies begründet sich vor allem in dem eminenten Vorteil dieser Substanz, beim Abbau keine Rückstände zu hinterlassen und somit in hohem Maße umweltverträglich zu sein. Weiterhin kommt Wasserstoffperoxid natürlich als Intermediärprodukt des pflanzlichen Stoffwechsels vor und lässt keine Rückstände im Erntegut erwarten. Ein praktischer Einsatz im Ökologischen Landbau-

wäre somit aus fachlicher Sicht ohne Berücksichtigung der rechtlichen Voraussetzungen einer Zulassung vom Grundsatz her denkbar.

Anders stellt sich der Sachverhalt hingegen bei der Beurteilung von Phosphit dar, das den eigenen Untersuchungen zu Folge im Gewächshaus (vgl. Tab. 2, Seite 15) und im Freiland gegen *P. infestans* wirksam ist (NEUHOFF et al. 2002a). Das ebenso wie Wasserstoffperoxid chemisch-synthetisch hergestellte Phosphit kommt in der Natur nicht vor und hinterlässt zudem im Ernteprodukt erhebliche Rückstände und wird aus diesen Gründen von den Anbauverbänden des Ökologischen Landbaus abgelehnt.

Künftig ist zu erwarten, dass vermehrt so genannte Naturstoffe zur Kontrolle von Schaderegern auf den Markt kommen werden, die das Selbstverständnis des Ökologischen Landbaus tangieren können, bspw. Antibiotika aus Mikroorganismen oder pflanzliche Herbizide.

Mittelfristig wird es seitens der Anbauverbände erforderlich sein, erweiterte, dem wissenschaftlichen Erkenntnisfortschritt angepasste Entscheidungskriterien zu entwickeln, die zur Beurteilung eines Mittels für den Einsatz im Ökologischen Landbau herangezogen werden können.

Angesichts des hohen Vertrauens der Verbraucher in die Qualität ökologisch erzeugter Produkte sollte in jedem Falle das Ziel, möglichst ohne Pflanzenschutzmittel zu produzieren durch entsprechende Vorgaben und Anreize weiterhin im Vordergrund der strategischen Ausrichtung des Ökologischen Landbaus stehen.

4 Zusammenfassung

In den Jahren 2002 – 2004 wurden Labor-, Gewächshaus- und Feldversuche zur Kontrolle der Krautfäule (*Phytophthora infestans*) an Kartoffeln und Tomaten durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, ein für die Praxis des Ökologischen Landbaus nutzbares Behandlungsmittel gegen *P. infestans* auf Basis von Naturstoffen zu entwickeln, das künftig als Kupferersatz eingesetzt werden kann. Überprüft wurden unter anderem ethanolische Extrakte aus Salbei (*Salvia officinalis*), Koso (*Hagenia abyssinica*), Schwarzem und Weißem Pfefferpulver (*Piper album & nigrum*), Lebermoosarten, Torfmoos (*Spaghnum christatum*), Braunalgenextrakte (*Ascophyllum nodosum*) sowie verschiedene Mischungen auf Basis von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) und Essigsäure (CH_3COOH).

Aus wissenschaftlicher Sicht kann das Potential der eingesetzten Extrakte und Präparate wie folgt zusammengefasst werden:

- Eine signifikante Reduzierung des Myzelwachstums von *P. infestans in vitro* wurde durch Zugabe eines Hagenia-Pfefferextraktes (0,25%), eines Braunalgenextraktes ‚Algifol‘ (1,25 %) sowie durch Wasserstoffperoxid (20 ppm) festgestellt.
- In Screeningversuchen mit Tomaten und Kartoffeln wurde eine signifikante Reduzierung des Befallsgrades der Blätter vor allem durch Einsatz von Torf- und Lebermoosen, Hagenia-Pfefferextrakten und verschiedenen Mischungen auf Basis von Wasserstoffperoxid beobachtet.
- Laub- und Lebermoosextrakte haben aufgrund der unzureichenden Verfügbarkeit der zur Extrakterstellung notwendigen Biomasse selbst bei vglw. geringer Konzentrierung (etwa 0,5% m/v) unabhängig von ihrer Wirkung kein Potential für den großflächigen Einsatz. Das phytomedizinische Potential von Bryophyten besteht vielmehr in der Identifikation von Wirkstoffen, die anschließend in synthetischer Form genutzt werden können.
- Braunalgenextrakte sind zur Kontrolle von *P. infestans* an Kartoffeln den eigenen Untersuchungen zufolge nicht geeignet. Sie weisen jedoch eine Reihe von pflanzenbaulich interessanten Effekten auf, die auch im Ökologischen Landbau von Interesse sind, obwohl sie in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht wurden.
- Die Nutzung des Oxidationspotentials von Wasserstoffperoxid zur Sporenabtötung konnte im Wirt-Pathogenverhältnis Kartoffel - *P. infestans* weder für unterschiedliche konzentrierte Applikationen in Reinform, noch für die Mischung mit Essig- und Peressigsäure ‚Proxitan‘ im Feldversuch nachgewiesen werden. Unklar bleibt weiterhin, ob es definierbare Bedingungen gibt, unter denen eine ausreichende Wirkung gegen *P.*

infestans erreicht werden kann. Zur Beantwortung dieser Frage sind umfangreiche Forschungsarbeiten notwendig.

- In der gegenwärtigen Praxis des Ökologischen Landbaus bleibt die Anwendung von Kupfersalzen weiterhin die einzige direkte Möglichkeit, krautfäulebedingte Mindererträge zu minimieren und Erträge zu sichern. Angesichts der nicht erwartbaren mittelfristigen Auffindung einer wirksamen Alternative zu Kupferbehandlungen gegen *P. infestans* und der zugleich häufig kritisierten hohen Ökotoxizität des nicht abbaubaren, jedoch komplexierbaren Schwermetalls Kupfer, sollten Minimierungsstrategien für den Kupfereinsatz durch verbesserte Formulierung in den kommenden Jahren gezielt verfolgt werden. Weitere Einsparungspotentiale liegen in der Optimierung von Applikationstechnik und -zeitpunkt.

5 Schlussfolgerungen für die Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis

Aus praktischer Sicht ist festzustellen, dass derzeit neben Kupferbehandlungen keine wirksamen direkten Kontrollmöglichkeiten der Krautfäule (*P. infestans*) im ökologischen Kartoffelbau bestehen. Behandlungen mit Kupferhydroxid bewirken bei Mengengrenzung nach EU-Verordnung 2092/91 (6 kg Cu ha⁻¹ a⁻¹ ab 1.1.2006) auf ausreichend mit Nährstoffen versorgten Standorten erhebliche Ertragsteigerungen, die Größenordnungen von über 30% erreichen können. Limitierte Aufwandmengen von 3 kg Cu ha⁻¹ a⁻¹, etwa beim Anbauverband ‚Bioland‘, sind häufig nur in geringerem Maße ertragswirksam (nach eigenen Schätzungen etwa 8 – 15% Mehrertrag) und besitzen vorwiegend eine ertragssichernde Wirkung im Falle frühen epidemischen Auftretens der Krautfäule.

In jedem Fall ist im ökologischen Kartoffelbau zu empfehlen, die bekannten vorbeugenden Maßnahmen konsequent auszunutzen. Zu nennen sind hier an vorderster Stelle die Verwendung von gesundem, vorgekeimtem Pflanzgut, die Wahl krautfäuletoleranter Sorten sowie die konsequente Ausschaltung von Primärherden durch Vermeidung von Durchwuchskartoffeln und Wildwuchs auf Abfallhaufen.

6 Literaturverzeichnis

- ABBOTT, W.S. (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*; 18, 265-267.
- ALASRI, A., M. VALVERDE., C. ROQUES., G. MICHEL ., C. CABASSUD & P. APTEL (1993) Sporicidal properties of peracetic acid and hydrogen peroxide, alone and in combinations, in comparison with chlorine and formaldehyde for ultrafiltration membrane disinfection. *Can. J. Microbiol.* 39 (1), 52-60.
- ANDERSON C. & A. PILSWORTH (1984) The yield response of potatoes to foliar nutrient sprays. *Abstract of Conference, EAPR 198*, Pp. 114-115.
- BALDRY M. G. (1983) The bactericidal, fungicidal and sporicidal properties of hydrogen peroxide and peracetic acid. *J. Appl. Bacteriol*, 54 (3), 417-423.
- BARBERI P (2002) Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research* 42, 177-193.
- BASSIN, S. & H. R. FORRER (2001) Suche nach Kupferalternativen gegen die Krautfäule der Kartoffel. *Agrarforschung* 8 (3), 124-129.
- BBA (2000) EPPO Richtlinie PP1/2(3) *Phytophthora infestans* an Kartoffeln. Deutsche Fassung. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig.
- BIOLAND (2005) Bioland Erzeugerrichtlinien: <http://www.bioland.de/bioland/richtlinien/erzeugerrichtlinien.pdf>.
- BLAESER, P. (1999) Isolierung und Charakterisierung von Pflanzeninhaltsstoffen mit fungizider Wirkung. Dissertation, Institut für Pflanzenkrankheiten, Universität Bonn.
- BLUNDEN, G.; T. JENKINS & Y.W. LIU (1997) Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. *Journal of Applied Phycology*, 8, 535-543.
- BOCHOW, H., KRÖCHERT, R. & W. TARNOW (1970): Hinweise auf einige das Auftreten und die Bekämpfung der Kartoffelbraunfäule (*Phytophthora infestans*) betreffende Zusammenhänge. – *Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst*; **24**, 225-229.
- BÖHM, H. (2001): Möglichkeiten der Regulierung von *Phytophthora infestans* an Kartoffeln im Ökologischen Landbau. Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau; Verlag Dr. Köster, Berlin, 377-380.
- BUNDESSORTENAMT (Hrsg.) (1999) Beschreibende Sortenliste: Fruchtgemüse Blattgemüse 1999. Landbuch-Verlag, Hannover.
- BUNDESSORTENAMT (Hrsg.) (2004) Beschreibende Sortenliste: Kartoffeln 2004. Landbuch-Verlag, Hannover.
- DAVIES, K. & J.P. WELSH (2001): Weed control in organic cereals and pulses, 'Organic Cereals and Pulses' (Eds. D. Younie, B.R. Taylor, J.P. Welsh, J.M. Wilkinson), Chalcombe Publications, Lincoln, UK, 77-114.
- FRAHM, J. P. (2001) *Biologie der Moose*. Spektrum Akademischer Verlag, ISBN:3-8274-0164-X.
- GRAF, B. (1992) Sortenversuche und Pflegemaßnahmen in Kartoffeln - Krautfäuleregulierung. Schweizerische Stiftung zur Förderung des biologischen Landbaus, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Oberwil; 20-22.
- HAAS, G. (1995) Auswahl von Feldversuchsflächen auf heterogenem Auenboden: Bestanskartierung-Uniformitätsernten- Luftbilddaufnahmen- Exaktvermessung. Schriftenreihe des Instituts für Organischen Landbau, Band 1, Verlag Dr. Köster, Berlin.

- IFOAM Basisrichtlinien (1995): Basisrichtlinien für den Ökologischen Landbau und die Verarbeitung seiner Produkte. 10. Auflage, SÖL Sonderausgabe Nr. 16, Herausgeber: Stiftung Ökologie & Landbau, Bad Dürkheim.
- IGL, B. (2003) personal communication, Igl Farm Wisconsin, USA.
- IRLA, E., ANKEN, T. & H. KREBS (2000): Application technique for phytophthora control in organic potato cultivation. In: IFOAM 2000: the world grows organic. Proceedings 13th International IFOAM Scientific Conference, Basel, Switzerland, 28 to 31 August, 2000. Edited by Alföldi, T., Lockeretz, W. & U. Niggli; vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- IRLA, E., ANKEN, T., KREBS, H. & J. RÜEGG (2001): Optimierung der Spritztechnik in Biokartoffeln – Neue Technik erfolgreicher gegen Krautfäule. FAT-Berichte Nr. 561 / 2001, 1-8.
- KARALUS, W. (1995) Einfluss der Pflanzgutvorbereitung auf den Krankheitsbefall und Ertragsaufbau bei Kartoffeln (*Solanum tuberosum* L.) im Ökologischen Landbau. Dissertation, Universität Gießen.
- KIM, J.C., G. J. CHOI, S. W. LEE, J. S. KIM, K. Y. CHUNG & K. Y. CHO (2004) Screening extracts of *Achyranthes japonica* und *Rumex crispus* for activity against various plant pathogenic fungi and control of powdery mildew. Pest Manag. Sci. **60**, 803 – 808.
- KLINKENBERG, H. (2000) Phytopathologische Charakterisierung von Oomyceten mit unterschiedlicher Resistenz gegenüber Fungiziden. Dissertation, Institut für Pflanzenkrankheiten, Universität Bonn.
- KUHNERT, H., P. H. FEINDT, V. BEUSMANN (2005): Ausweitung des ökologischen Landbaus in Deutschland – Voraussetzungen, Strategien, Implikationen, politische Optionen. Schriftenreihe des BMVEL, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 509, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster.
- KULA, C. (1999) in: Jahn, M. & H. Beer: Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt, Heft 53, 38-43.
- KÜRZINGER, W. (1995): Einsatz von Pflanzenstärkungsmitteln. Kartoffelbau; **46**, 418-420.
- LIZZI, Y., C. COULOMB, C. POLIAN, P. J. COULOMB & P. O. COULOMB (1998) L'algue face au Mildiou: quel avenir? Phytoma. La défense des végétaux, N° 508, Septembre 1998, 29-30.
- LUNDEN, A. P. (1956), zitiert bei ADLER, G. (1971) Kartoffeln und Kartoffelerzeugnisse. Verlag Paul Parey, Berlin & Hamburg 1971, 146-149.
- LUNG, G. (1996) Wirkung von Bio-Algeen auf das Anbausystem Kartoffel. Kartoffelbau, 47. Jg. (4), 130-133.
- MEINCK, S. & H. KOLBE (1999a): Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule im ökologischen Kartoffelanbau. Kartoffelbau, 50 (5), 172-175.
- MEINCK, S. (1999b): Speisekartoffelanbau im Ökologischen Landbau - Optimierung des Anbauverfahrens durch Sortenwahl und Phytophthora-Prophylaxe. Dissertation, Universität Kassel.
- MEKURIA T., U. STEINER & H.-W. DEHNE (2002) Extracts from the liverwort *Bazzania trilobata* (L.) S.F. Gray for plant protection against fungal pathogens. *Modern fungicides and antifungal compounds III* (DEHNE H.-W, U. GISI, K. H. KUCK, P. E. RUSSELL & H. LYR., eds), Agro-Concept, Bonn, Germany, Pp.401-407.
- MEKURIA, T. (2003) Characterisation and mode of action of natural plant products against leaf fungal pathogens. Dissertation, Institut für Pflanzenkrankheiten, Universität Bonn, Shaker Verlag GmbH, Aachen, Germany. ISSN: 0945-0653; ISBN: 3-8322-1280-9.
- MEKURIA, T., U. STEINER, H. HINDORF & H.-W. DEHNE (2003) Bryophyte extracts with activity against plant pathogenic fungi. *Sinet Ethiop, J. Sci.*, 26 (1), 55 -62.

- MENGEL, K (1984) Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- MÖLLER, K, H. KOLBE & H. BÖHM (2003) Handbuch Ökologischer Kartoffelbau. Österreichischer Agrarverlag, Wien.
- NEUHOFF, D. (2000) Speisekartoffelerzeugung im Organischen Landbau-Einfluss von Sorte und Rotemistdüngung auf Ertragsbildung und Knolleninhaltsstoffe. Dissertation Universität Bonn, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Band 15, Verlag Dr. Köster, Berlin
- NEUHOFF, D., H. J. KLINKENBERG, & U. KÖPKE (2002a) New approaches in late blight (*Phytophthora infestans*) control in Organic Farming, 2nd international conference on the alternative control methods against plant pests and diseases, Lille, 4, 5, 6 and 7th March 2002, 197-204.
- NEUHOFF, D., KLINKENBERG, H. J. & U. KÖPKE (2002b): Kartoffeln im Organischen Landbau: Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule, (*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary). Forschungsbericht 89 des USL, im Internet unter http://www.usl.uni-bonn.de/docs/frame_pub.html
- NEUHOFF, D., H.-J. KLINKENBERG & U. KÖPKE (2003) Nutzung von Pflanzenextrakten zur Kontrolle der Krautfäule (*P. infestans*) im ökologischen Kartoffelbau. FREYER, B. (Hrsg.). Beitr. zur 7. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Wien 2003, 559 – 560.
- OROZCO-CARDENAS, M. L. & C. A. RYAN (1999): Hydrogen peroxide is generated systematically in plant leaves by wounding and systemin via the octadenoid pathway Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 96, 6553-6557.
- PABST, G. (1887): Köhler's Medizinal - Pflanzen in naturgetreuen Abbildungen mit kurz erläuterndem Texte. Band 1, Köhler Verlag Eugen Köhler, Gera.
- PFLEIDERER, H. & A. MONKOS (1993): Ergebnisse der produktionstechnischen Versuche in Baden-Württemberg 1991 und 1992. Informationen für die Pflanzenproduktion; **11**, 25-35.
- PILSWORTH, A. (2003): mündliche Mitteilung, APP, North Yorks, UK.
- RADTKE, W. & W. RIECKMANN (1990): Krankheiten und Schädlinge der Kartoffel. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen-Buer.
- RADTKE, W. (1989): Ohne gut geplante Spritzfolge keine Krautfäulebekämpfung. Pflanzenschutzpraxis 2 / 1989, 21-21.
- SANDERSON, K. J. & P. E. JAMESON (1986) The Cytokinins in a liquid seaweed extract: Could they be active ingredients? Acta Horticulturae 179, 113-116.
- SCHLIEPHAKE, U., D. TRAUTZ & J. GRIMM (2001) Einsatz verschiedener Mittel zur Regulierung der Krautfäule (*Phytophthora infestans*) an Kartoffeln (Sorte Linda). Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau; 6-8. März 2001, Freising-Weißenstephan, 380-384.
- SPANGENBERG, R. (1999):) in: Jahn, M. & H. Beer: Pflanzenschutz im Ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt, Heft 53, 44-54.
- TADESSE, M. & D. NEUHOFF (2005): Potential of extracts of some Ethiopian medicinal plants for late blight control in organic potatoes. in Proceedings of the first scientific conference of ISOFAR, Adelaide, South Australia 21 – 23. September 2005, 576-579.
- UJVARY, I. (2002) Transforming natural products into natural pesticides – Experience and Expectations. Phytoparasitica 30:5, 439-442.
- WAETZIG G. H., M SOBCZACK & F. M. W. GRUNGLER (1999) Localisation of hydrogen peroxide during the defence response of *Arabidopsis thaliana* against the plant parasitic nematode *Heterodera glycines*. Nematology 1(7-8),681-686.

- WELLER, M. (1991) Versuche zur Eindämmung von *Phytophthora infestans* in Kartoffelbeständen. bio-land; 1, 6.
- WELLER, M. (1991): Versuche zur Eindämmung von *Phytophthora infestans* in Kartoffelbeständen. bio-land; 1, 6.
- WHAPHAM, C.A.; BLUNDEN, G.; JENKINS, T. & S.D. HANKINS (1993): Significance of betaines in the increased chlorophyll content of plants treated with seaweed extract. Journal of Applied Phycology; 5, 231-234.
- WITTASSEK, R. (1987): Untersuchungen zur Verteilung des Kupfers in Boden, Vegetation und Bodenfauna eines Weinbergökosystems. Dissertation, Universität Bonn.

7 Anhang

8 Konsequenzen für evtl. weitere Forschungsaktivitäten

Die Erkenntnisse zur Nutzung der bioziden Eigenschaften von Wasserstoffperoxid wurden für Vorversuche zur Kontrolle von *Rhizoctonia solani* an Kartoffelpflanzgut verwendet. Im Versuchsjahr 2006 ist eine Kooperation mit der Firma Pimi Marion Agro Clean Technologies, Israel, geplant, die Beizmittel für Pflanzkartoffeln auf Basis von Wasserstoffperoxid vertreibt.

Weitere Untersuchungen sind zur Nutzung des anthelmintischen Potentials von Kosso (*Hagenia abyssinica*) geplant.

9 Mitteilung über evtl. schützenswerte Nutzungsrechte

Keine

10 Liste über Veröffentlichungen

1. NEUHOFF, D., KLINKENBERG, H. J. & U. KÖPKE, 2002: New approaches in late blight (*Phytophthora infestans*) control in Organic Farming, 2nd international conference on the alternative control methods against plant pests and diseases, Lille, 4, 5, 6 and 7th March 2002, 197-204.
2. KLINKENBERG, H.-J. & D. NEUHOFF, 2002: Krautfäulekontrolle im Ökologischen Landbau. 53. Deutsche Pflanzenschutztagung, Bonn, abstracts, 428 – 429.
3. NEUHOFF, D. (2003): Spritzversuch gegen die Krautfäule an Kartoffeln. In: Leitbetriebe Ökologischer Land- und Gartenbau in Nordrhein-Westfalen, Versuchsbericht 2002, 87-88.
4. NEUHOFF, D., H.-J. KLINKENBERG & U. KÖPKE, 2003: Nutzung von Pflanzenextrakten zur Kontrolle der Krautfäule (*P. infestans*) im ökologischen Kartoffelbau. In: Freyer, B. (Hrsg.). Beitr. Zur 7. Wiss.-Tagung Ökol. Landbau, Wien 2003 559 – 560.

5. NEUHOFF, D. & M. TADESSE (2005): Potential of a hydrogen peroxide/peracetic acid mixture for late blight control in organic potato production. Abstracts of the EAPR conference Bilbao July 2005, Volume 1, 448-450.
6. TADESSE, M. & D. NEUHOFF (2005): Potential of extracts of some Ethiopian medicinal plants for late blight control in organic potatoes. In: Proceedings of the first scientific conference of ISOFAR, Adelaide, South Australia 21 – 23. September 2005, 576-579.
7. NEUHOFF, D., M. TADESSE (2006): Control of Late Blight (*Phytophthora infestans*) in Organic Potato and Tomato Production by using Peroxygenes. In prep.

11 Liste über Vorträge

Die unter 10 genannten Beiträge 1 und 4 wurden auch mündlich vorgetragen.

12 Liste über Pressemitteilungen

Keine

13 Liste über Posterpräsentationen, Vorführungen und Demonstrationen

Die unter 10 genannten Beiträge 2, 3 und 5 wurden als Poster präsentiert

Weiterhin: Demonstrationen im Rahmen von universitären Lehrveranstaltungen und Hof-
führungen.

14 Kurzfassung

In den Jahren 2002 – 2004 wurden Labor-, Gewächshaus- und Feldversuche zur Kontrolle der Krautfäule (*Phytophthora infestans*) an Kartoffeln und Tomaten durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, ein für die Praxis des Ökologischen Landbaus nutzbares Behandlungsmittel gegen *P. infestans* auf Basis von Naturstoffen zu entwickeln, das künftig als Kupferersatz eingesetzt werden kann.

Die grundsätzliche Vorgehensweise bestand in einem mehrstufigen systematischen Verfahren. Verschiedene aus Literaturquellen bzw. aus eigener Erfahrung bekannte Stoffgruppen mit fungiziden Eigenschaften wurden mit Hilfe verschiedener Labormethoden *in vitro* auf deren spezifische Wirkung gegen *P. infestans* untersucht. Überprüft wurden unter anderem ethanolische Extrakte aus Salbei (*Salvia officinalis*), Kossobaum (*Hagenia abyssinica*), schwarzem und weißem Pfefferpulver (*Piper album & nigrum*), Lebermoosarten, Torfmoos (*Spaghnum cristatum*), Braunalgenextrakte (*Ascophyllum nodosum*) sowie verschiedene Mischungen auf Basis von Wasserstoffperoxid (H₂O₂) und Essigsäure (CH₃COOH). Geeignete Mittel mit hinreichend hoher Wirkung wurden dann einem Inokulationsversuch an der lebenden Pflanze unterzogen. Erfolgversprechende Agenzien mit ausreichend hohem Wirkungsgrad *in vivo* wurden anschließend in Feldversuchen mit Kartoffeln nach den Grundsätzen der EPPO Richtlinie (PP1/2 (3)) überprüft. Erfasst wurden die mit Krautfäule befallene Blattfläche (in %), die als Grundlage zur Berechnung des Wirkungsgrades nach Abbott diente, sowie der Knollenertrag. Die Daten wurden varianzanalytisch unter anschließender Verwendung des Tukey bzw. Dunnett – Tests bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% ausgewertet.

Eine signifikante Reduzierung des Myzelwachstums von *P. infestans in vitro* wurde durch Zugabe eines Hagenia-Pfefferextraktes (0,25%), eines Braunalgenextraktes ‚Algifol‘ (1,25%) sowie durch Wasserstoffperoxid (20 ppm) festgestellt. Bekannt war aus früheren Untersuchungen bereits die Wirksamkeit von Lebermoos-, Salbei- und Pfefferextrakten. In Screeningversuchen mit präventiver Applikation erfolgreich geprüfter Extrakte auf künstlich inokulierte Tomaten und Kartoffeln wurde eine signifikante Reduzierung des Befallsgrades der Blätter vor allem durch Einsatz von Torf- und Lebermoosen, Hagenia-Pfefferextrakten und verschiedenen Mischungen auf Basis von Wasserstoffperoxid beobachtet.

Die im Versuchsjahr 2002 in Feldversuchen schwerpunktmäßig überprüften Braunalgenextrakte ‚Algifol‘ sowie die Leber- und Laubmoosextrakte hatten unabhängig vom Befallsdruck in den einzelnen Versuchen keinen reduzierenden Effekt auf *P. infestans* an Kartoffeln. Die vergleichend überprüfte Applikation von Kupferhydroxid bewirkte demgegenüber eine signifikante Reduzierung des Krautfäulebefalls verbunden mit z.T. signifikanten Ertragssteigerungen (+ 9,1 %) und belegt zugleich, dass die gewählte Versuchstechnik methodisch angemessen war.

Im Versuchsjahr 2003 wurden erstmalig Spritzlösungen auf Basis von Wasserstoffperoxid (0,5%) alleinig oder in Mischung mit Essigsäure (0,14%) im Feldversuch angewendet. Bei witterungsbedingt vglw. geringem Befallsdruck mit *P. infestans* wurde kein erkennbarer Effekt der applizierten Mischungen auf den Krautfäulebefall der Kartoffelsorte *Nicola* beobachtet. Die mit Kupferhydroxid behandelten Varianten wiesen demgegenüber einen tendenziell geringeren Befall und einen tendenziell höheren Rohertrag auf.

Im Versuchsjahr 2004 wurden höher konzentrierte Wasserstoffperoxidlösungen (1%), das Handelsprodukt ‚Proxitan‘ (Gemisch aus Wasserstoffperoxid, Essig- und Peressigsäure) sowie ein ethanolischer Mischextrakt (1%) aus *H. abyssinica* und *P. album & nigrum* auf zwei Standorten im Vergleich zu *ad libitum* Kupfereinsatz überprüft. Die auf konventionellen Flächen angelegten Versuche erhielten eine N-Gabe von 60kg KAS je Hektar. Analog zu den Erfahrungen der Vorjahre wurde keine befallsreduzierende Wirkung der eingesetzten Mittel beobachtet. Die mit 6 - 8 Kupferhydroxidspritzungen (à 750 g Cu je ha) behandelten Varianten wiesen demgegenüber auf beiden Standorten signifikante Mehrerträge von 107 dt ha⁻¹ (+52%) am Standort Poppelsdorf bzw. 145 dt ha⁻¹ (+52%) am Standort Hennef Ost auf.

Die mangelnde Freilandwirksamkeit aller im Labor erfolgreich getesteten Mittel stellt das Hauptproblem bei der Entwicklung von Pflanzenschutzmitteln auf Basis von Naturstoffen dar. Bedingt durch starke Niederschläge, die den Epidemieverlauf fördern, kommt es zusätzlich zum Abwaschen von Wirkstoffen, die häufig aufgrund der nach Starkniederschlägen herrschenden Bodenbedingungen nicht sofort durch eine erneute Spritzung ausgeglichen werden können. Insbesondere im Falle von witterungsbedingt hohem Infektionsdruck ist somit eine rein protektive Schutzmaßnahme mit Sicherheit kaum ausreichend, um eine Epidemie zu verhindern. Weiterhin gibt es Hinweise auf die hohe Photolabilität von Pflanzenextrakten im Freiland. Unklar ist auch das Abbaupotential der Extrakte durch die Mikroflora der Phyllosphäre.

Das methodische Potential zur Sicherung der Freilandwirksamkeit von potentiell wirksamen Naturstoffen ist jedoch bei weitem nicht ausgeschöpft. Der Formulierung der eingesetzten Naturstoffe muss daher künftig über die reine Verwendung bereits im Ökologischen Landbau zulässiger Haftmittel hinaus noch eingehender berücksichtigt werden. Die zu diesem Zweck erforderlichen technischen Ansätze und vermutlich zu verwendenden Chemikalien tangieren jedoch möglicherweise das Selbstverständnis des Ökologischen Landbaus bzw. werden durch die EU- Verordnung 2092/91 limitiert. Kurz- und mittelfristig ist daher neben der Verfolgung von Minimierungsstrategien des Kupfereinsatzes vor allem die konsequente Ausnutzung aller bekannten Vorbeugemaßnahmen, insbesondere das Vorkeimen des Pflanzgutes und die Wahl krautfäuletoleranter Sorten zu empfehlen, um Ertragsverluste durch Krautfäule zu reduzieren.