

Kupferreduzierung und Kupfersubstitution im Weinbau – zum Stand der Dinge aus Sicht der Forschung

Beate Berkelmann-Löhnertz¹, Stefan Klärner¹, Ottmar Baus¹, Gerald Herrmann², Bruno Flemming², Reiner Keicher³, Hans-Peter Schwarz³, Marco Pfliehinger⁴ & Otmar Löhnertz⁴

¹ Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Phytomedizin, Geisenheim

² uv-technik meyer gmbh, Ortenberg (Hessen)

³ Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Technik, Geisenheim

⁴ Forschungsanstalt Geisenheim, Fachgebiet Bodenkunde und Pflanzenernährung, Geisenheim

Email: berkelmann@fa-gm.de

Einleitung

Kupfer ist eines der ältesten Fungizide und wird traditionell im Ökologischen Landbau eingesetzt. Dies gilt insbesondere für den ökologischen Weinbau. Hier werden regelmäßig kupferhaltige Pflanzenschutzmittel mit unterschiedlichen Mischungspartnern zur Bekämpfung von *Plasmopara viticola*, dem Erreger des Falschen Mehltaus der Rebe, im Abstand von etwa zehn Tagen appliziert. In Deutschland liegt der Grenzwert der maximal zulässigen Reinkupfermenge derzeit bei 3 kg pro Hektar und Jahr. Vor allem aufgrund der vieldiskutierten Problematik „Ökotoxikologie von Kupfer“ werden dringend praxistaugliche Kupfer-Minimierungsstrategien sowie wirksame Kupfer-Alternativen gebraucht (Schwarzbach 2008; Berkelmann-Löhnertz et al. 2008).

Ein wichtiges Fazit des letzten Kupfer-Fachgespräches im Jahr 2008 zur „Bedeutung von Kupfer für den Pflanzenschutz, insbesondere für den Ökologischen Landbau – Reduktions- und Ersatzstrategien“ war, dass die Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Kupferreduzierung sowie Kupfersubstitution weiter intensiviert werden müssen (Kühne, 2008).

Nachfolgend soll deshalb dargestellt werden, welche Lösungsmöglichkeiten derzeit an der Forschungsanstalt Geisenheim versuchstechnisch verfolgt werden und in welchem Zeithorizont diese Untersuchungen Lösungsansätze für die weinbauliche Praxis erwarten lassen.

Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte in Geisenheim

In der Arbeitsgruppe „Rebkrankheiten“ des Fachgebietes Phytomedizin der Forschungsanstalt Geisenheim werden derzeit drei unterschiedliche Ansätze zur Unterstützung der Reduzierung/Eliminierung von Kupfer im ökologischen Weinbau verfolgt, um Verfahren zu erarbeiten bzw. zu optimieren. Diese können grundsätzlich einzeln oder in Kombination eingesetzt werden:

- Anwendung der „Geisenheimer Peronospora-Prognose“ zur besseren Terminierung kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel sowie phosphonathaltiger Pflanzenstärkungsmittel und anderer Elicitoren;
- Reduzierung des Einsatzes kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel durch UVC-Bestrahlung von Laubwand und Traubenzone;
- direkter Einsatz Effektiver Mikroorganismen sowie basischer Substanzen gegen den Erreger des Falschen Mehltaus der Rebe.

Darüber hinaus ist erwähnenswert, dass auf der Basis des im Fachgebiet Phytomedizin vorliegenden GEP-Zertifikats („Gute Experimentelle Praxis“) zur Überprüfung der biologischen Wirksamkeit und möglicher phytotoxischer Reaktionen neuer Substanzen im Versuchsweinberg in der jüngeren Vergangenheit vermehrt Prüfungen potentieller Kupfer-Alternativen erfolgten. Diese wurden von

verschiedenen KMU mit einem Portfolio für Produkte des Ökologischen Landbaus oder von Unternehmen, die Agenzien des Biologischen Pflanzenschutzes vertreiben, in Auftrag gegeben. Hierbei handelt es sich allesamt um Kontakte, die im Rahmen des in Geisenheim koordinierten BÖL-Verbundprojektes „Optimierung des ökologischen Rebschutzes unter besonderer Berücksichtigung der Rebenperonospora“ (Laufzeit: 2004 bis 2008), geknüpft und in den Folgejahren ausgebaut wurden. Auch hierin ist langfristig ein Beitrag zur Minimierung/Substitution von Kupfer im Pflanzenschutz zu sehen.

Anwendung der „Geisenheimer Peronospora-Prognose“

Grundsätzlich können Prognosemodelle in der Pflanzenschutzpraxis zur besseren Terminierung von Pflanzenschutzmaßnahmen eingesetzt werden. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist die so genannte Prognosegüte, d.h. eine hohe Vorhersagegenauigkeit. Diese ist beim oben genannten Modell gegeben.

In den vergangenen zehn Jahren wurde in Geisenheim das vorhandene Peronospora-Modell um verschiedene Sub-Module erweitert, die insbesondere die Primärinfektion und darauf folgende, gefährliche bodenbürtige Infektionen abbilden und bei der Vorhersage berücksichtigen (Berkelmann-Löhnertz et al., 2011 a). Dieses „Geisenheimer Peronospora-Prognosemodell“ wurde im Zeitraum 2008 bis 2011 validiert. Mittlerweile erfolgt die Rebschutz-Beratung im Rheingau in Bezug auf den Falschen Mehltau ausschließlich auf der Basis dieses neuen Prognosemodells. Abbildung 1 zeigt die Modellergebnisse auf der Basis der berechneten Parameter Bodenfeuchte, Primärinfektionsindex (= PI-Index) sowie Splash-Höhe (= SPLH). Anhand dieser Größen lassen sich zum einen die Zeitpunkte bodenbürtiger Infektionen und zum anderen die spezifischen Inkubationszeiten vorhersagen. Die Inkubationsphasen der Primärinfektion und weiterer bodenbürtiger Infektionen sind hier als braune Balken dargestellt; Inkubationszeiträume blattbürtiger Infektionen werden dementsprechend durch grüne Balken repräsentiert.

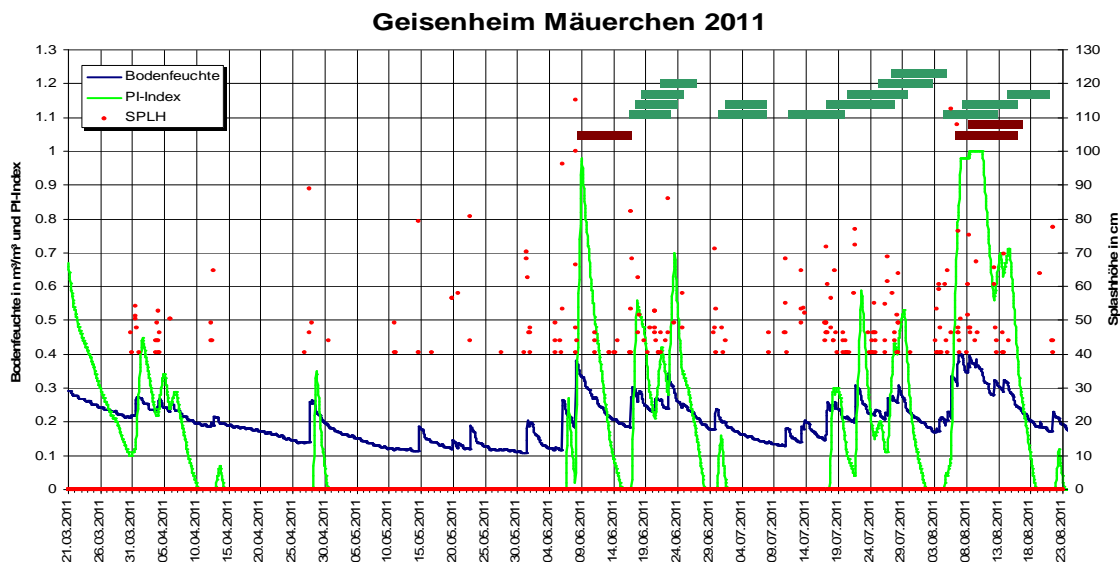


Abb. 1: Inkubationsphasen nach Infektionen durch blattbürtige (grün = Blatt) sowie bodenbürtige (braun = Boden) Vermehrungseinheiten von *Plasmopara viticola* im Jahr 2011 auf dem Versuchsstandort Geisenheimer Mäuerchen (dargestellter Zeitraum: 21. März 2011 bis 23. August 2011). Legende: blauer Kurvenverlauf = Bodenfeuchte; grüner Kurvenverlauf = Primärinfektionsindex [PI-Index]; rote Punkte = Höhe der Splash-Tropfen).

Hinsichtlich der Anwendung dieses Modells in der Rebschutz-Praxis sind drei gravierende Vorteile zu nennen:

- Optimale Terminierung von Pflanzenschutzmittelapplikationen. Dies gilt in besonderem Maße für kupferhaltige Pflanzenschutzmittel (sowie Kupferersatzstoffe) und ist für diese Mittelgruppe eine wichtige Voraussetzung, da Kupfer (sowie Kupferersatzstoffe) sowohl bezüglich der biologischen Wirksamkeit als auch hinsichtlich der Dauerwirkung nicht mit organisch-synthetischen Peronospora-Fungiziden zu vergleichen ist. Aktuell erfolgen im Lippmann-Institut (Luxemburg) sowie in Geisenheim molekularbiologische Untersuchungen zur Identifizierung des besten Applikationstermins phosphonathaltiger Pflanzenstärkungsmittel und anderer Elicitoren. Auch hier ist die exakte Terminierung von sehr großer Bedeutung, da in der Regel die Reaktionskaskade der pflanzeigenen Abwehrmechanismen zunächst anlaufen oder sogar vollständig ablaufen muss, bevor eine Abwehrreaktion gegenüber dem Pathogen möglich ist (Berkelmann-Löhnertz et al., 2011 b; Selim et al., 2012).
- Möglichkeit der Diagnose und dadurch Differenzierung „harmloser“ blattbürtiger Infektionen von „gefährlichen“ bodenbürtigen Infektionen, die möglicherweise (und gemäß der Beobachtungen der letzten Jahre) aufgrund des Eintrags neuer, virulenter Genotypen den Epidemieverlauf verstärken können. Gegebenenfalls ist diesem Phänomen im ökologischen Weinbau mit wiederholten Kupferanwendungen innerhalb sehr kurzer Applikationsintervalle und/oder der Zugabe entsprechend potenter Mischungspartner entgegen zu wirken.
- Reduzierung des Anteils „falsch positiver“ Prognosen, so dass das Reduktionspotential bezüglich des Fungizid-Einsatzes tatsächlich ausgeschöpft werden kann. Prognosemodelle, die einen hohen Anteil „falsch positiver“ Meldungen generieren, verfehlen das gesetzte Ziel des schaderregerorientierten Einsatzes bei Überschreiten der Schadschwelle und führen letztendlich nicht zu einer Einsparung an Pflanzenschutzmitteln.

UVC-Bestrahlung von Laubwand und Traubenzone⁴

Seit fast zwei Jahren erfolgen in Geisenheim Untersuchungen zum Einsatz einer UVC-Bestrahlung von Laubwand und Traubenzone mit dem Ziel der Schädigung generativer und vegetativer Vermehrungseinheiten der Schadpilze sowie Unterdrückung des Mycelwachstums. Durch das applizierte UVC-Licht (254 nm) wird die Thymonukleinsäure (Baustein aller Lebewesen) im Pathogen zerstört. Die Zellen und Vermehrungseinheiten der Mikroorganismen sterben ab und können sich nicht mehr fortpflanzen.

Im Zentrum der praxisorientierten Freilanduntersuchungen stehen die wirtschaftlich wichtigen Schadpilze *Plasmopara viticola*, *Erysiphe necator* und *Botrytis cinerea*. Bei allen drei Pathogenen handelt es sich um polyzyklische Pilze mit extrem hohem Schadpotential. Gleichzeitig ergibt sich aufgrund des hohen Inputs an Fungiziden, welches zur Eindämmung dieser Pathogene erforderlich ist, ein großes Einsparpotential beim Einsatz des oben beschriebenen physikalischen Verfahrens. Nach Festlegung der optimalen Dosierung des UVC-Lichtes im Rahmen von Labor- und Gewächshausversuchen erfolgten in der Vegetationsperiode 2011 die ersten

⁴ Dieses Vorhaben wird vom Hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst (HMWK) im Rahmen des Programmschwerpunktes LOEWE (Landes-Offensive zur Entwicklung Wissenschaftlich-ökonomischer Excellenz) gefördert. Projektträger ist die HessenAgentur.

Freilandversuche mit einem Geräte-Prototyp (Abb. 2). Neben der Erfassung der biologischen Wirksamkeit sowie phytotoxischer Reaktionen der Wirtspflanze wurden Studien zum Auftreten möglicher Nebenwirkungen auf physiologischer Ebene durchgeführt. Betont sei an dieser Stelle, dass UVC-Applikationen nur dort wirken können, wo die Zielfläche ohne Abschattung optisch frei zugänglich ist.

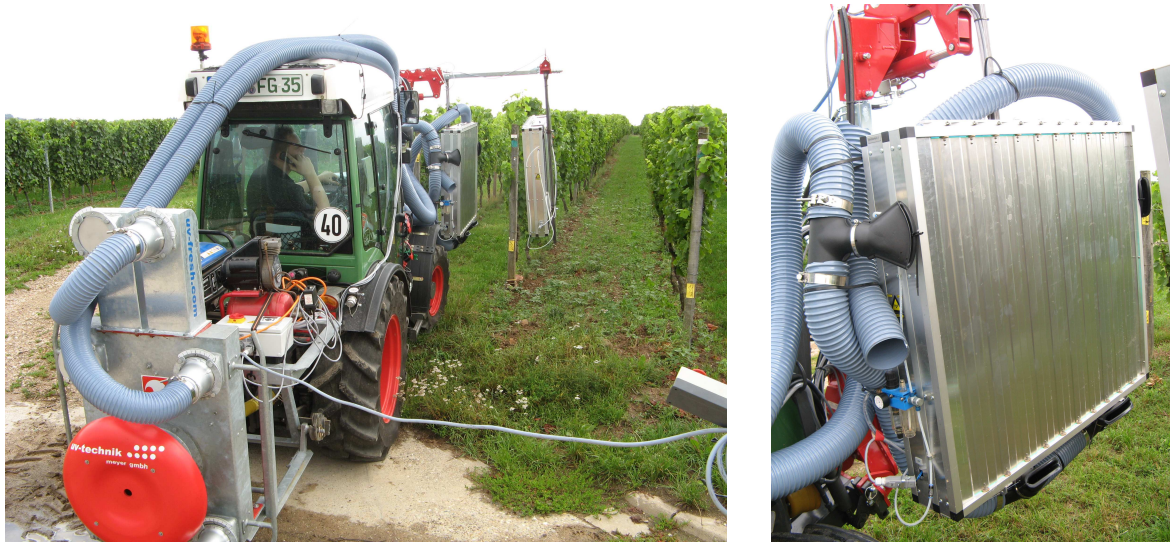


Abb. 2: Geräte-Prototyp für UVC-Applikationen im Weinberg. Für den Freilandeinsatz wurde die Bestrahlungseinheit UVC-2 (Gewächshaus) modifiziert und mit diversen Aggregaten und einer Gebläseeinrichtung versehen.

Der Fokus dieses Freilandversuches lag auf der Reduzierung der Zahl an Fungizidapplikationen (also einem reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatz), um mögliche Potentiale zur Einsparung von Fungiziden – grundsätzlich auch auf kupferhaltige Pflanzenschutzmittel bezogen – aufzuzeigen. Im Versuchsweinberg Mäuerchen wurde die Wirksamkeit einer ausschließlichen UVC-Behandlung (UVC solo), einer gemischten Anwendung (UVC + reduzierter Fungizideinsatz; 3 Fungizid-Applikationen) sowie einer Standard-Spritzfolge (integriert Standard; 8 Fungizid-Applikationen) bezogen auf die drei Pathogene *P. viticola*, *E. necator* und *B. cinerea* gegenüber gestellt. Hierbei kam eine Bestrahlungsdosis von ≤ 160 mWs/cm² zur Anwendung.

Dabei ließen sich Effekte einer Befallsreduzierung durch die UVC-Bestrahlung tendenziell beim *Oidium*-Befall an Trauben sowie beim *Botrytis*-Befall feststellen. Der Peronospora-Befall ließ sich dagegen mittels UVC-Bestrahlung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle nicht reduzieren. Eine mögliche Erklärung hierfür liegt in der Tatsache begründet, dass im Falle von *P. viticola* der Infektionsprozess auf der Blattunterseite verläuft und die Pathogenese fast ausschließlich „versteckt“ im Blattinneren stattfindet. So lässt sich die schlechte Peronospora-Wirkung mit diesen „Abschattungseffekten“ erklären. Im geplanten Freilandversuch 2012 soll mit einem starken Gebläse ein kurzzeitiges Aufrichten der Blätter erreicht werden, um auch die Peronospora-relevante Zielfläche (Blattunterseite) für die UVC-Applikation zugänglich zu machen.

Im Rahmen der ersten Freilanduntersuchungen zeigte sich weiterhin, dass die avisierte Bestrahlungsdosis von ≤ 160 mWs/cm² keine sichtbaren phytotoxischen Reaktionen bei den Reben hervorrief. Hinsichtlich der untersuchten physiologischen

Parameter Beerengröße, Blatt-Chlorophyllgehalt, Blatt-Gesamtstickstoff und Auftreten des Stressindikators Malondialdehyd waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen.

Effektive Mikroorganismen und basische Substanzen

Im Ökologischen Landbau kommen unter Anderem mikrobiologische Präparate zum Einsatz, die sich positiv auf Nährstoffaufnahme und Pflanzengesundheit auswirken sollen. Zu diesen Präparaten zählen auch die so genannten Effektiven Mikroorganismen. Solche mikrobiellen Suspensionen werden im allgemeinen zur Bodenbehandlung und/oder zur Anreicherung verschiedener Komposte oder anderer organischer Substrate (Holzschnitzel, Strohmischnungen, Trester) eingesetzt. Im Rahmen einer in Geisenheim durchgeführten Diplomarbeit wurden unterschiedliche Aufbereitungen dieser Mikroorganismen-Suspensionen sowie verschiedene basische Substanzen im protektiven Applikationsmodus direkt auf Topfreben-Blätter appliziert (Wiltshko, 2011). Einen Tag später erfolgte die Inokulation mit einer Sporangien-Suspension von *P. viticola*.

Dabei zeigte sich, dass unter den geschützten Bedingungen des Gewächshauses eine Reduzierung des Pilzbefalls erzielt werden konnte. Je nach Aufbereitungsart fiel diese unterschiedlich aus. Grundsätzlich ging von den basischen Substanzen im Vergleich zu den Effektiven Mikroorganismen eine stärkere biologische Wirksamkeit aus. Somit konnte im Rahmen der oben genannten Diplomarbeit das Potential verschiedener Aufbereitungen Effektiver Mikroorganismen sowie spezifischer basischer Substanzen zur direkten Bekämpfung von *Plasmopara viticola* aufgezeigt werden (Wiltshko, 2011).

Aktuell erfolgen Studien zur Verbesserung der Regenfestigkeit durch Zusatz verschiedener Formulierungshilfsstoffe (solo und als Mischung). Hierbei wird darauf geachtet, dass nur solche Agenzien zur Anwendung kommen, die im Ökologischen Landbau ohne Einschränkungen eingesetzt werden können. Im laufenden Jahr ist der erste Freilandeinsatz im Versuchsweinberg geplant.

Ein weiteres Ziel der Arbeit war die Charakterisierung der Prüfsbstanzten, die möglicherweise als Kupferersatz Anwendung finden werden. Hierfür wurden phytomedizinische, chemisch-physikalische sowie mikrobiologische Methoden eingesetzt. Im Mittelpunkt stand dabei die Charakterisierung der Mikroorganismen. Hierfür fanden neben den klassischen mikrobiologischen Protokollen neue chemisch-physikalische Ansätze Verwendung (z.B. Bio-Elektronische Terrainanalyse (BETA) nach Vincent). In der Summe gaben die Ergebnisse dieser Untersuchungen Hinweise zum Mechanismus, auf den die biologische Wirksamkeit der Substanzen gegenüber *Plasmopara viticola* zurückzuführen ist.

Fazit

Einer der Forschungs- und Arbeitsschwerpunkte im Fachgebiet Phytomedizin der Forschungsanstalt Geisenheim ist die Erarbeitung von praxisrelevanten und nachhaltigen Kupferreduzierungs-/Kupferersatzstrategien für den ökologischen Weinbau. Dabei kommen sowohl chemische als auch nichtchemische Verfahren zum Einsatz. Alle Ansätze zur Lösung der Kupferproblematik basieren letztendlich auf einer Weiterentwicklung der Verfahren des integrierten Pflanzenschutzes. Unter Berücksichtigung spezifischer Reglements können die erarbeiteten Strategien unmittelbar im ökologischen Weinbau Anwendung finden. Um diesen Prozess zu beschleunigen, wäre es wünschenswert, im Falle leistungsfähiger Kupferalternativen die Abläufe der Markteinführung und Kommerzialisierung zu vereinfachen.

Die vorgestellten Verfahren stehen (zukünftig) auch integriert wirtschaftenden Weinbauern zur Verfügung. Ziel ist die breite Nutzung in der weinbaulichen Praxis. Damit ist ein weiterer, wichtiger Schritt getan, um gemäß den im „Nationalen Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln“ (Anonym, 2008) aufgeführten Grundprinzipien die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Maß zu begrenzen und Risiken, die von Pflanzenschutzmitteln ausgehen können, zu reduzieren.

Literatur

- Anonym (2008): Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln. Im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). Gesamtverantwortung: Referat 421 - Wissensmanagement, Internetangebote, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit (BLE), Dr. Uwe Lichtenstein. Fachliche Inhalte: Referat 514 – Agrarforschung (BLE).
- Berkelmann-Löhnertz B, Heibertshausen D, Baus-Reichel O, Hofmann U, Kauer R (2008): Ohne Kupfer geht es nicht – Status quo im ökologischen Weinbau nach vier Jahren BÖL-Verbundprojekt. Fachgespräch „Bedeutung von Kupfer für den Pflanzenschutz, insbesondere für den Ökologischen Landbau – Reduktions- und Ersatzstrategien“. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 142, 17-20.
- Berkelmann-Löhnertz B, Baus O, Hassemer-Schwarz H, Frühauf C (2011 a): Elaboration and validation of a downy mildew forecast model regarding soil borne infections. *Journal of Plant Pathology* 93 (1, Supplement), 45-46.
- Berkelmann-Löhnertz B, Selim M, Langen G, Kogel K-H & Evers, D (2011 b): Molekularbiologische Untersuchungen zur Aufklärung der Wirkung phosphonathaltiger Elicitoren im Pathosystem *Vitis vinifera/Plasmopara viticola*. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 158, 29-33.
- Kühne S (2008): Zusammenfassung. Fachgespräch „Bedeutung von Kupfer für den Pflanzenschutz, insbesondere für den Ökologischen Landbau – Reduktions- und Ersatzstrategien“. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 142, 4-5.
- Schwarzbach W (2008): Kupfer als Pflanzenschutzmittel-Wirkstoff: Bewertung der Auswirkungen auf den Naturhaushalt. Fachgespräch „Bedeutung von Kupfer für den Pflanzenschutz, insbesondere für den Ökologischen Landbau – Reduktions- und Ersatzstrategien“. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut 142, 10-14.
- Selim M, Legay S, Berkelmann-Löhnertz B, Langen G, Kogel K-H, Evers D (2012): Identification of suitable reference genes for real-time RT-PCR normalization in the grapevine-downy mildew pathosystem. *Plant Cell Rep* 31, 205–216.
- Wiltschko K (2011): Charakterisierung Effektiver Mikroorganismen und basischer Substanzen sowie deren Einfluss auf wirtschaftlich wichtige Pathogene der Rebe. Diplomarbeit, Hochschule RheinMain, Fachbereich Geisenheim.