

**Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt
für Land- und Forstwirtschaft
Berlin-Dahlem**



100 Jahre Pflanzenschutzforschung

**Aktuelle Forschungsschwerpunkte
im Forst- und Rebschutz**

100 Years Research in Plant Protection

Aspects of Current Research in Forest and Grapevine Protection

Zusammengestellt von

Prof. Dr. Alfred Wulf

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Braunschweig
Institut für Pflanzenschutz im Forst

Heft 349

Berlin 1998

*Herausgegeben
von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,
Berlin-Dahlem*

Parey Buchverlag Berlin
Kurfürstendamm 57, D-10707 Berlin

ISSN 0067-5849

ISBN 3-8263-3203-2

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

100 Jahre Pflanzenschutzforschung =

One hundred years research in plant protection

Aktuelle Forschungsschwerpunkte im Forst- und Rebschutz / zsgest. von
A. Wulf. – Berlin: Parey, [in Komm.], 1998.

(Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forst-
wirtschaft Berlin-Dahlem; H. 349)

ISBN 3-8263-3203-2

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

1998 Kommissionsverlag Parey Buchverlag Berlin, Kurfürstendamm 57, 10707 Berlin Printed in Germany by Arno Brynda, Berlin

Inhalt	Seite
Klingauf, F.	Vorwort _____ 5
Wulf, A.	Einleitung _____ 7
Kehr, R.	Zur Bedeutung pilzlicher Endophyten bei Waldbäumen _____ 8
Wulf, A.	Integrierte Borkenkäfer-Bekämpfung _____ 31
Maixner, M. & Reinert, W.	Vergilbungskrankheiten der Rebe _____ 47
Mohr, H. D. & Holz, B.	Untersuchungen zur Verteilung und Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln bei der Bekämpfung des Roten Brenners, <i>Pseudopezicula tracheiphila</i> (MÜLLER- THURGAU) KORF & ZHUANG, im Weinbau _____ 88

Aspects of Current Research in Forest and Grapevine Protection

Contents	Page
Klingauf, F.	Preface _____ 5
Wulf, A.	Introduction _____ 7
Kehr, R.	Significance of endophytic fungi in forest trees _____ 8
Wulf, A.	Integrated control of bark beetles _____ 31
Maixner, M. & Reinert, W.	Yellows diseases of Grapevine _____ 47
Mohr, H. D. & Holz, B.	Investigations of the distribution and efficacy of plant protection products during the control of Roter Brenner, <i>Pseudopezicula tracheiphila</i> (MÜLLER-THURGAU) KORF & ZHUANG, in viticulture _____ 88

Vorwort

Am 28. Januar 1998 begeht die *Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* (BBA) die einhundertste Wiederkehr ihres Gründungstages. Sie entstand zunächst als *Biologische Abteilung für Land- und Forstwirtschaft* am Kaiserlichen Gesundheitsamt in Berlin. Das vorliegende Heft der „*Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*“ ist Teil einer Sonderserie von Titeln, die anlässlich des 100jährigen Bestehens der BBA herausgebracht werden.

Dabei wenden die einzelnen Beiträge ihren Blick nicht nur in die Vergangenheit, um die vielfältig geleisteten Aufgaben und Erfolge oder die wechselvolle Geschichte der Biologischen Bundesanstalt aufzuzeigen, vielmehr sollen aus dem Selbstverständnis der BBA-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter heraus, die sich seit nunmehr 100 Jahren für die Land- und Forstwirtschaft einsetzen, auch Probleme des Pflanzenschutzes der Gegenwart angesprochen und Prognosen für die Zukunft gewagt werden. In gebotener Kürze werden die oft komplexen Zusammenhänge im phytosanitären Geschehen und die Suche nach Lösungsansätzen für eine „gesunde Pflanze“ aus der Sicht einzelner Fachrichtungen behandelt.

Für die Aktivitäten der BBA zum Pflanzenschutz sind – mit zwei Ausnahmen – heute noch die gleichen Zielrichtungen gültig, wie sie in der Gründungsdenkschrift von 1898 niedergelegt wurden. Es waren insbesondere:

1. Erforschung der Lebensbedingungen und Bekämpfung der tierischen und pflanzlichen Schädlinge der Kulturpflanzen;
2. Studium der Nützlinge aus dem Tier- und Pflanzenreich;
3. Studium der für die Landwirtschaft im allgemeinen nützlichen und schädlichen Mikroorganismen;
4. Beschäftigung mit den durch anorganische Einflüsse, z. B. durch Rauch- und Hüttengase, hervorgerufenen Schädigungen der Land- und Forstkulturen;
5. Forschungen auf den Gebieten der Bienenzucht und der Fischzucht;
6. Sammlung, Sichtung und Veröffentlichung statistischen Materials über das Auftreten der wichtigsten Pflanzenkrankheiten im In- und Ausland; Sammlung der internationalen Literatur und Erstellung eines „referierenden Organs“;
7. Veröffentlichung gemeinverständlicher Schriften und Flugblätter betreffend die wichtigsten Pflanzenkrankheiten, Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und praktischer Landwirtschaft mit alljährlich abzuhaltenden Konferenzen;
8. endlich könnten auch die deutschen Schutzgebiete in den Bereich der Tätigkeit eingeschlossen und Sachverständige, welche später an Ort und Stelle weiter zu arbeiten hätten, ausgebildet werden.

Die Punkte 5 und 8 verloren schon früh ihre Gültigkeit. An deren Stelle trat aber um so mehr die Zusammenarbeit der *Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft* mit dem *Deutschen Pflanzenschutzdienst*. Auch Aktivitäten zu tropischen und subtropischen Pflanzenschutzproblemen wurden mit neuen Fragestellungen fortgesetzt.

Die „*Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*“, die bereits seit dem Jahre 1906 als Veröffentlichungsorgan zur Verfügung stehen, sollen auch nun wieder für die Jubiläumsbeiträge genutzt werden. Sind sie doch ein Spiegelbild der 1898 gegründeten Forschungsanstalt. Bereits zum 75jährigen Bestehen der BBA erschien in dieser Reihe eine kurze Chronik ihrer Geschichte. Für die Wahl der „*Mitteilungen*“ zur Veröffentlichung der BBA-Jubiläumsbeiträge gibt bereits ein Vorwort zum Heft 1 vom Mai 1906 eine zukunftssträchtige Deutung. Dort heißt es:

„ ... (Die Mitteilungen) werden in zwanglosen, fortlaufend nummerierten Heften erscheinen, die einzeln zu einem billigen Preise käuflich sind, und werden in allgemeinverständlicher Form über die Ergebnisse aller von der Anstalt durchgeführten Untersuchungen, gelegentlich aber auch über besonders wichtig erscheinende, dort noch nicht bearbeitete Fragen berichten.“

In dem zitierten Sinne sollen die vorliegenden Jubiläumsbeiträge in den „*Mitteilungen*“ helfen, bestehende Informationslücken zu schließen. Als Präsident der BBA wünsche ich hierzu viel Erfolg.

Braunschweig, den 28. Januar 1997

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Klingauf', with a horizontal line extending to the right from the end of the signature.

Prof. Dr. F. Klingauf

Einleitung

Pflanzenschutz an Gehölzen gehört bei der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, mit Ausnahme der Zierpflanzen, in den Aufgabenbereich der Institute für Pflanzenschutz im Obstbau, Pflanzenschutz im Weinbau und Pflanzenschutz im Forst. Dabei sind Intensität und Zielsetzung der Pflanzenschutzmaßnahmen für die genannten Dauerkulturen sehr unterschiedlich. Während im Obst- und Weinbau das Ernteprodukt, seine Qualität und Menge aus verständlichen wirtschaftlichen Erwägungen im Vordergrund stehen muß, geht es im Forst heute in erster Linie darum, Pflanzenbestände in ihrer Existenz nachhaltig zu sichern, wobei die Holzproduktion zunehmend in den Hintergrund tritt.

Dies hat zur Konsequenz, daß auf der einen Seite im Obst- und Weinbau der Pflanzenschutz ein permanenter, in allen Produktionsphasen bedeutsamer Faktor ist, mit den umfangreichsten Spritzfolgen, die in der Pflanzenproduktion bekannt sind. Auf der anderen Seite wird im Forst dagegen ein kalamitätsbedingter, extensiver Pflanzenschutzmitteleinsatz praktiziert, der zunehmend ökologisch orientiert ist, vorwiegend auf den Erhalt der Waldbestände wegen ihrer Wohlfahrtswirkung abzielt und im arithmetischen Mittel für alle Forstflächen der Bundesrepublik Deutschland nicht mehr als eine Behandlung in 100 Jahren ausmacht.

Die in diesem Sonderband publizierten vier Beiträge aus dem Forst- und Rebschutz - ein ursprünglich eingeplanter Fachbeitrag aus dem Obstbau konnte wegen der momentanen Überlastung des Fachinstituts nicht mehr rechtzeitig erstellt werden - zeigen die Breite des Spektrums der aktuellen Forschung zum Pflanzenschutz in Gehölz- bzw. Raumkulturen. Der Bogen spannt sich dabei von grundlegenden Aspekten zur Pflanzengesundheit (Endophyten bei Waldbäumen) über moderne molekularbiologisch gestützte Erreger-Forschung (Vergilbungskrankheiten der Reben) sowie Arbeiten zum Ausbau des integrierten Pflanzenschutzes (Borkenkäfer-Bekämpfung) bis hin zur praktischen Forschung im Rahmen der Mittelapplikation (Bekämpfung des Roten Brenners).

Braunschweig, im März 1998

Alfred Wulf

Zur Bedeutung pilzlicher Endophyten bei Waldbäumen

Rolf Kehr

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Institut für Pflanzenschutz im Forst, Braunschweig

Einleitung

In den letzten Jahren war in der mykologischen und phytopathologischen Literatur sehr häufig von sogenannten endophytischen Pilzen die Rede. Diese Organismen haben in der derzeitigen Forschungslandschaft "Hochkonjunktur", so daß es sich lohnt, etwas näher auf ihre Rolle speziell bei Waldbäumen einzugehen. So soll an dieser Stelle ein Überblick über die Lebensweise und Strategie der Endophyten gegeben sowie einige Beispiele möglicher Interaktion zwischen ihnen und ihren Wirtspflanzen aufgezeigt werden. Nicht zuletzt wird anhand einiger Problemfelder die Bedeutung der künftigen Forschung auf diesem Gebiet erläutert.

Definition und Lebensweise

Der Begriff „Endophyt“ wurde zuerst von DE BARY (1866) für alle innerhalb von Pflanzengewebe vorkommenden Organismen verwendet, als Abgrenzung zu den Epiphyten, welche lediglich auf der Oberfläche von Pflanzen existieren. Bei DE BARY's Definition spielte der Gewebszustand, ob tot oder lebendig, zunächst keine Rolle, aber er dachte sicherlich zuallererst an parasitische Pilze, die gesundes Gewebe töten und an die Saprophyten, welche es schließlich abbauen. Einige Zeit nach DE BARY wiesen Berichte jedoch darauf hin, daß auch in vollkommen gesundem Gewebe von Pflanzen Pilze vorkommen können, ohne Krankheitssymptome zu verursachen. LEWIS (1924) beobachtete in lebendem Gewebe verschiedener Nadelhölzer, u.a. in den Knospen, Pilzmyzel, das er einem "endotropic fungus" zuordnete. ARMSTRONG und ARMSTRONG (1948) berichteten über das symptomlose Auftreten von *Fusarium oxysporum*, einem Schadpilz der Baumwolle, an Nichtwirtspflanzen in der Umgebung von Baumwollpflanzen. In der Folgezeit wurde klar, daß praktisch alle Pflanzen in ganz unterschiedlichen Ordnungen und Familien in ihren lebenden, oberirdischen Geweben und oftmals auch in den Wurzeln symptomlos von Pilzen infiziert sind. Aus dieser Erkenntnis entwickelte sich der heutige Begriff des Endophyten, der wesentlich von CARROLL (1986) und PETRINI (1991) geprägt wurde. CARROLL definiert Endophyten als Pilze, die lebendes Pflanzen-

gewebe besiedeln, ohne sichtbare Krankheitssymptome zu verursachen; er nimmt aber ausgesprochen pathogene Pilze und Mykorrhizapilze von dieser Definition aus. PETRINI (1991) hingegen hat eine sehr breit gefaßte Endophytendefinition geliefert, indem er alle Pilze, die zu irgendeinem Zeitpunkt ihres Lebens symptomlos in lebendem Gewebe wachsen, als Endophyten bezeichnete. Diese Definition schließt demnach auch diejenigen pathogenen Pilze ein, die nach der erfolgreichen Infektion ihres Wirts eine sogenannte Latenzzeit durchmachen, also physiologisch kaum aktiv sind und einige Zeit symptomlos im Gewebe existieren.

Das entscheidende Kriterium bei der Definition des Endophytismus ist also die Symptomlosigkeit der Infektion, womit gemeint ist, daß die infizierten Pflanzengewebe keine (oder höchstens auf ultrastruktureller Ebene) sichtbaren Veränderungen aufweisen. Im Gegensatz zu den lediglich auf Pflanzenoberflächen siedelnden Epiphyten verbringen Endophyten einen wesentlichen Teil ihres Lebenszyklus innerhalb der Pflanze. In vielen Fällen kommt es nicht einmal zur Zerstörung einzelner, infizierter Zellen, und es entsteht eine enge Verzahnung der Lebensvorgänge zwischen Wirt und Endophyt. Bei echten parasitischen Pilzen hingegen kommt es zwar während der Latenzphase ebenfalls zu einem symptomlosen, "endophytischen" Wachstum (GÄUMANN 1951; VERHOEF 1974), aber in den meisten Fällen verursacht der Pilz anschließend Krankheitssymptome. Die frühe Forschung über latente Infektionen durch Parasiten fand häufig an Obstgehölzen statt. Beispielsweise wurde für Äpfel nachgewiesen, daß sie oftmals von dem Fruchtfäule-Erreger *Pezizula malicorticis* latent infiziert sind (v. ARX 1958; EDNEY 1958). Meist sind latente Infektionen durch Parasiten aber morphologisch besser sichtbar als endophytische Infektionen, wodurch sie das für echte Endophyten geltende Kriterium der Symptomlosigkeit nicht streng erfüllen. Echte Parasiten gehen im Gegensatz zu Endophyten auch kein mutualistisches, also von wechselseitigem Vorteil geprägtes Verhältnis ein. Letztendlich gibt es aber fließende Übergänge zwischen Parasiten und Endophyten, weshalb CARROLL (1992) dafür plädiert, in dieser Frage keinen kleinlichen Streit um Termini zu führen.

Untersuchungen über Endophyten basieren auf der Isolation dieser Pilze aus dem lebenden Gewebe. Dazu wird Pflanzengewebe (Blätter, Knospen, Zweige, Rinde, Splintholz etc.) einer Oberflächensterilisation mit Ethanol, NaOCl (Natriumhypochlorid) oder an-

deren toxischen Substanzen unterzogen, die alle anhaftenden, epiphytischen Keime und Verunreinigungen vernichtet. Aus dem so sterilisierten Wirtsgewebe werden dann kleine Stücke auf sterile Nähragarplatten übertragen und eine Zeitlang inkubiert. Die in diesem Gewebe evtl. vorhandenen Endophyten beginnen auszuwachsen und bilden auf dem Nährmedium eine Pilzkultur, die mit verschiedenen Tricks (Bestrahlung mit UV-Licht, Wechsel zwischen Lagerung bei kühlen und warmen Temperaturen, unterschiedliche Belichtungsdauer usw.) zur Ausbildung von Sporen angeregt wird. Anhand der gebildeten Sporen versucht man dann, den gefundenen Endophyten einer bestimmten, bekannten und in der Literatur beschriebenen Pilzart zuzuordnen. Schwierigkeiten ergeben sich daraus, daß bei ungenügender Oberflächensterilisation auch zahlreiche verunreinigende bzw. epiphytische Organismen auswachsen und so die endophytischen Organismen überdecken. Auch kann es durch Verwendung spezifischer Medien dazu kommen, daß bestimmte Endophytengruppen, z.B. die selten auftretenden Basidiomyceten, nicht auszuwachsen vermögen, weil das Medium ihnen nicht zusagt bzw. weil sie von anderen Pilzen überwachsen werden. Vor dem Beginn einer Endophytenuntersuchung an einer gegebenen Pflanze sind daher zahlreiche Überlegungen mit einzubeziehen.

Je nach verwendetem Sterilisationsmedium, dessen Einwirkdauer und dem Organtyp werden bei Endophytenuntersuchungen u.U. nicht alle Hyphen epiphytischer Organismen abgetötet, so daß diese anschließend ebenfalls in Kultur auswachsen. Somit ist die Abgrenzung von Endophyten zu Epiphyten genau so schwierig und fließend wie zwischen Endophyten und echten Parasiten. Es gibt zahlreiche bekannte epiphytische Gattungen wie *Alternaria*, *Aureobasidium* und *Epicoccum*, die regelmäßig im Rahmen von Endophytenuntersuchungen aus tieferen Gewebeschichten isoliert werden und somit die Definition eines Endophyten erfüllen, da nach BILLS (1996) das Überleben einer Oberflächensterilisation dazu genügt.

Auch die Abgrenzung zu den Mykorrhiza-Pilzen der Wurzeln ist schwierig. Bei der Ektomykorrhiza der Waldbäume kommt es aber aufgrund der Infektion mit dem Pilz regelmäßig zu einer morphologischen Umgestaltung der Wurzel, so daß die für Endophyten geltende Forderung der Symptombefreiheit des Wirts hier nicht gegeben ist. Außerdem gehören Mykorrhizapilze fast ausschließlich zur Pilzklasse der Basidiomyceten

(mit so bekannten Vertretern wie Steinpilz, Pfifferling etc.), während die Endophyten sich meistens aus der Gruppe der Ascomyceten (Schlauchpilze) oder Deuteromyceten (imperfekten Pilze) rekrutieren. Inzwischen ist bekannt, daß in den Wurzeln vieler Pflanzen und Waldbäumen neben den echten Mykorrhizapilzen zahlreiche symptomlos wachsende, endophytische Wurzelpilze vorkommen.

Unter den Endophyten gibt es zwei große, grundsätzlich unterschiedliche Gruppen: Die Endophyten der Gräser und die Endophyten aller übrigen krautigen und verholzten Pflanzen. Bei den Grasendophyten wird jede individuelle Wirtspflanze meist nur von einer Pilzart infiziert, während es bei den übrigen Pflanzen mehrere Pilzarten pro Wirt sind (die Grasendophyten gehören der Pilzfamilie der Clavicipitales an, sind also eng mit dem Erreger des Mutterkorns an Getreide, *Claviceps purpurea*, verwandt). Grasendophyten wachsen aktiv in der Pflanze und sind optisch gut sichtbar, während die Endophyten der übrigen Pflanzen optisch sehr schwierig darzustellen sind. Grasendophyten sind systemisch in der Pflanze verbreitet und werden daher mit den Samen übertragen, während die Endophyten krautiger Pflanzen meist durch Sporeninfection übertragen werden. Die Grasendophyten besitzen zudem stets eine sehr enge mutualistische, also eine mit gegenseitigen Vorteilen verbundene Beziehung zu ihrem Wirt, die in einem offenbar schon sehr langen Prozeß der Koevolution entstanden ist (BACON und HILL 1996; PETRINI 1996). Im folgenden soll es ausschließlich um die Endophyten holziger Pflanzen, insbesondere der Bäume, gehen.

Allein schon die Tatsache, daß Endophyten schlecht von echten Parasiten abgrenzbar sind, deutet auf einen gemeinsamen evolutiven Ursprung hin. CARROLL (1986; 1992) weist darauf hin, daß praktisch alle Assoziationen von Pilzen mit lebenden Organismen letztendlich von einer gewissen parasitären Natur sind, da der Pilz keine Photosynthese betreibt und sich auf jeden Fall zunächst von der Pflanze ernähren muß. Im Falle der Pilze, die wir heute als Endophyten bezeichnen, geht man jedoch davon aus, daß sich eine mutualistische, für beide Partner sinnvolle und vorteilhafte Beziehung im Laufe der Evolution herausgebildet hat. CARROLL (1992) wählt daher auch den allgemeinen Begriff des „Mutualismus“ bzw. der „Mutualisten“, um die Beziehung zu schildern. Sowohl Mutualisten als auch Pathogene liegen demnach zunächst als parasitisch ausgerichtete Infektion vor, aber mit dem Unterschied, daß aus den Parasiten nach der La-

tenzphase tatsächlich ein parasitisches Verhältnis entsteht, während der Mutualist meist weiterhin symptomlos bleibt und für seine Wirtspflanze u.U. sogar eine positive Gegenleistung bringt.

Die Erkenntnis, daß endophytische Pilzinfektionen bei fast allen Pflanzen verbreitet sind, hat in jüngster Zeit dazu geführt, daß die Endophyten neben Parasiten, Saprophyten, Fäule-Erregern, Welke-Erregern etc. von manchen Autoren als eigene ökologische Kategorie aufgefaßt werden (PEARCE 1996). Wenn man heute also eine Pflanze auf Pilzbefall hin untersucht, kommt man sozusagen an den Endophyten nicht vorbei. Zu erwähnen bleibt noch, daß auch bestimmte, meist anaerobe Bakterien als „Endophyten“ aus dem gesunden Holzgewebe von Bäumen isoliert werden können, aber deren Behandlung ginge über den hier gesetzten Rahmen hinaus.

Vorkommen und Lokalisation von Endophyten

In den letzten Jahrzehnten wurden zahlreiche Pflanzenarten aus vielen Pflanzenfamilien auf das Vorkommen von Endophyten hin untersucht. Als Ergebnis kann man festhalten, daß zumindest am natürlichen Standort praktisch alle Gefäßpflanzen endophytische Pilzarten enthalten. CARROLL (1988) vermutet, daß Endophyten bei Pflanzen vermutlich genauso weit verbreitet und häufig vorkommen wie die schon länger bekannten Mykorrhiza-Pilze. Die Infektionsrate durch Endophyten bei Waldbäumen wurde je nach Baumart und Gewebetyp auf 15 bis 100 % geschätzt (HALMSCHLAGER 1994). Bei einer Untersuchung über die Endophytenflora der Äste wichtiger europäischer Waldbäume zeigte sich, daß 98 % aller Äste von Endophyten besiedelt waren, wobei pro Baumart zwischen 41 und 67 Pilztaxa auftraten (KOWALSKI und KEHR 1992, 1996). Pflanzen und Bäume in allen möglichen Klimazonen der Erde, von der Arktis bis zu den Tropen, werden von Endophyten besiedelt. Zu den Wirten gehören neben Laub- und Nadelbäumen auch Gräser, ein- und mehrjährige Kräuter und Kleingehölze, Moose, Farne, Palmen sowie zahlreiche tropische Pflanzenarten (DREYFUSS und PETRINI 1984; CARROLL 1988; KOWALSKI und KEHR 1992, 1996; RODRIGUES 1996).

Bei den Laubbäumen sind an erster Stelle die Blätter - bzw. bei den Nadelhölzern die Nadeln - regelmäßig von Endophyten besiedelt, aber auch die lebenden Teile der Rinde, beispielsweise im Bereich der unteren Äste (KOWALSKI und KEHR 1992, 1996). Im Holz

kommen sogenannte xylotrophe Endophyten vor (von Xylem = Holzgewebe). Dort erfüllen diese Pilze selbstverständlich die Definition des Endophyten nur dann, wenn sie die noch lebenden Zellen besiedeln, also z.B. die im Splintholz noch aktiven Parenchymzellen insbesondere des Strahlenparenchyms, während man im toten Kernholz strenggenommen nicht von Endophyten reden kann. CHAPELA und BODDY (1988a, b) haben jedoch festgestellt, daß im Vergleich zu Rinden-, Blatt- und Wurzelgewebe im gesunden Holz insgesamt weniger Pilzarten und in einer geringeren Infektionsrate vorkommen.

Im Wurzelgewebe der Bäume und anderer Pflanzen kommen, wie bereits erwähnt, neben den Mykorrhizapilzen Endophyten vor (FISHER und WEBSTER 1991). Die bei bestimmten Pflanzenfamilien wie den Ericaceen beobachtete Pseudomykorrhiza mit endophytischen Pilzen kommt auch bei Waldbäumen vor (WANG und WILCOX 1985; WILCOX und WANG 1987). Selbst in Unterwasserwurzeln von Bäumen an nassen Standorten finden sich pilzliche Endophyten (FISHER und WEBSTER 1991), und ebenso im Saatgut von Nadelholz (BLOOMBERG 1966) sowie von Laubholz (DUBBEL 1992; KEHR und PEHL 1993) kommen diese Pilze vor. Als Besonderheit ist zu nennen, daß auch das von Gallinsekten verursachte, mit Gewebswucherungen einhergehende Gallgewebe zahlreicher Baumarten von Endophyten besiedelt und teilweise sogar zum Absterben gebracht wird (BISSETT und BORKENT 1988; PEHL und BUTIN 1994).

Bezüglich der zeitlichen Komponente gilt ganz allgemein, daß eine Zunahme endophytischer Infektionen an Blattorganen von Frühjahr bis Spätsommer zu beobachten ist und daß ein Gewebe um so mehr Endophyten enthält, je älter es ist (BILLS 1996). Endophyten sind häufig sowohl wirts- als auch organspezifisch. Beispielsweise tritt der Pilz *Apiognomonia quercina* häufig im Blattgewebe der Eiche als Endophyt auf, wird aber aus der Eichenrinde nur selten isoliert (KOWALSKI und KEHR 1992). Für zahlreiche andere Endophyten ist ebenfalls Organspezifität bereits nachgewiesen (PETRINI 1996). Auch innerhalb bestimmter Organtypen schwankt die Häufigkeit einzelner Endophyten mit dem Alter und auch teilweise mit der Beschaffenheit des Organs. Beispielsweise kommen an dünnen Ästen einer gegebenen Baumart andere Pilze in anderer Zusammensetzung vor als an dickeren Ästen derselben Baumart (KOWALSKI und KEHR 1992).

Zur genauen Lokalisation der einzelnen endophytischen Infektionen liegen erst wenige Untersuchungen vor. Fest steht, daß bestimmte spezifische Endophyten nur in einem ganz bestimmten Zelltyp vorkommen und die Einzelninfektion teilweise auf lediglich eine Pflanzenzelle beschränkt ist. Beispielsweise kommt ein wichtiger endophytischer Pilz an Douglasiennadeln, *Rhabdocline parkeri*, in zahlreichen individuellen Kleinstinfektionen in einzelnen Epidermis- und Hypodermiszellen der Nadel vor (STONE 1985, 1987; BILLS 1996). Diese Beobachtung zeigt, daß diese extrem spezialisierten und auf den Wirt eingestellten Pilze lange Zeit gewissermaßen auf "Sparflamme" leben und physiologisch kaum aktiv sind, solange das Wirtsgewebe noch voll vital ist.

Ein Grund dafür, daß das Ausmaß der endophytischen Infektionen erst so spät erkannt wurde, liegt darin, daß sie optisch sehr schwer nachzuweisen sind. Endophytische Pilze sind nach der Infektion physiologisch inaktiv und liegen offenbar als unscheinbare, manchmal noch nicht einmal hyphenartige Struktur vor. Sichtbar wird dieses Myzel erst, wenn es aufgrund einer Wirtsschwächung bzw. angesichts des Gewebetodes beginnt auszuwachsen und Fruchtkörper mit Sporen auszubilden. Mit modernen elektronenoptischen und immunologischen Methoden lassen sich allerdings endophytische Pilzinfektionen zu einem frühen Zeitpunkt nachweisen (CARROLL 1986; SUSKE und ACKER 1987, 1989; VIRET et al. 1993). VIRET (1993) hat für den Endophyten *Discula umbrinella* mit Hilfe der REM-Technik aufgezeigt, wie es bei Buchenblättern zur endophytischen Infektion kommt. Die Sporen des Pilzes keimen in diesem Fall auf der Blattoberfläche, bilden eine Infektionshyphe, die mit Hilfe einer appressorienartigen Struktur direkt durch die Kutikula bzw. in seltenen Fällen durch die Spaltöffnungen in die Pflanze eindringt. VIRET sieht in diesem Vorgang eine Parallele zu bekannten parasitischen Pilzen und folgert, daß auch im Hinblick auf den Infektionsmodus nur schwer eine Trennlinie zwischen Endophyten und klassischen Pathogenen zu ziehen ist. Bereits CARROLL (1986) mutmaßte, daß der Großteil endophytischer Infektionen durch solche Sporeninfectionen stattfindet. Es erscheint aber durchaus wahrscheinlich, daß Endophyten auch als Myzel in Dauerorganen wie der Rinde überdauern und in neugebildete Vegetationsorgane hineinwachsen können.

Das Artenspektrum der Endophyten

Abgesehen von den Grasendophyten, bei denen nur wenige Pilzarten der Ascomyceten-Unterfamilie *Clavicipitoideae* am Endophytismus beteiligt sind (WHITE und MORGAN-JONES 1996), sind bei krautigen Pflanzen und Gehölzen zahlreiche unterschiedliche Vertreter der Ascomyceten (Schlauchpilze) und Deuteromyceten (imperfekten Pilze) als Endophyten isolierbar (SINCLAIR und CERKAUSKAS 1996). Bekanntlich haben viele imperfekte Pilze Verbindungen zu einer perfekten Ascomycetenform; insofern kann man sagen, daß die meisten bisher bekannten endophytischen Infektionen von Ascomyceten verursacht werden. Gelegentlich werden auch Basidiomyceten (Ständerpilze) sowie Oomyceten (sog. Algenpilze) als Endophyten festgestellt (CHAPELA und BODDY 1988a, b; SINCLAIR und CERKAUSKAS 1996). BILLS (1996) weist aber daraufhin, daß die Isolierungsmethoden, beispielsweise die verwendeten Nährmedien, die isolierten Pilzgruppen etwas beeinflussen. Beispielsweise kann man aus Rinde und Holz endophytische Basidiomyceten eher mit geeigneten Selektivmedien isolieren, während diese Pilzgruppe bei den herkömmlichen Medien wie Malzagar oder PDA oft von Ascomyceten überwachsen wird.

Häufige, in Waldbäumen festgestellte Endophytengattungen sind *Mollisia*, *Pezizula*, *Phialocephala*, *Phomopsis* sowie zahlreiche Vertreter der Xylariaceen (*Hypoxylon*, *Xylaria*, *Ustulina* etc.). Speziell im Wurzelbereich von Nadelhölzern gibt es einzelne weitverbreitete endophytische Hyphomycetenarten der Gattungen *Phialophora* und *Phialocephala*, die an der Ausbildung einer Pseudomykorrhiza beteiligt sind (WANG und WILCOX 1985; BILLS 1996). Die Gruppe der Xylariaceen, deren Vertreter in Kultur nur sehr schwer zu bestimmen sind (PETRINI und PETRINI 1985; PETRINI und MÜLLER 1986), ist besonders bei tropischen Bäumen häufig (WHALLEY 1993). Auf Blattorganen werden regelmäßig auch Epiphyten der Gattungen *Hormonema*, *Aureobasidium*, *Cladosporium*, *Alternaria* und *Epicoccum* isoliert. Die holzbewohnenden „xylotrophen“ Endophyten bilden ebenfalls eine typische Flora aus, zu denen viele Vertreter der Xylariales und Diaporthales, teilweise aber auch die sonst selten als Endophyten auftretenden Basidiomyceten gehören (CHAPELA und BODDY 1988a, b).

Im Gegensatz zu Saprophyten, die lediglich totes Gewebe zu besiedeln vermögen, sind Endophyten eher als wirtsspezifisch aufzufassen (SINCLAIR und CERKAUSKAS 1996). Sie

lassen sich meist in zwei grobe Gruppen unterteilen. Zum einen handelt es sich um wirtsspezifische Endophyten, von denen pro Pflanzenart meistens nur wenige Arten, diese aber in recht hoher Häufigkeit, vorhanden sind. Zum anderen gibt es auf jeder Pflanze zahlreiche weitere Arten, die ubiquistisch, d.h. weitverbreitet, vorkommen, jede für sich aber auf der Einzelpflanze eine geringe Häufigkeit erreichen. Inzwischen ist nachgewiesen, daß spezifische Endophyten ganz bestimmte biochemische Erkennungsmechanismen zu ihrem Wirt entwickeln, so daß z.B. die Sporen eines wirtsspezifischen Endophyten auf dem designierten Wirt besser haften und auskeimen als auf einem Nichtwirt (PETRINI 1996). Auf einer Pflanzenart sind nach Ansicht von CARROLL (1995) stets zahlreiche Genotypen ein und derselben Endophytenart vorhanden. Endophytismus fördert demnach bei Pilzen die Evolution wirtsspezifischer Unterarten.

Angesichts der zahlreichen bislang noch nicht untersuchten Pflanzenarten scheinen die Endophyten ein wichtiges Reservoir bislang unbekannter bzw. unbeschriebener Pilzarten zu bilden. Beispielsweise wurden von KOWALSKI und KEHR (1995) zwei neue *Phialocephala*-Arten für Fichte und Erle beschrieben, die als Endophyten aufgrund der fehlenden Fruktifikation auf natürlichem Substrat bislang den Taxonomen entgangen waren.

“Strategie” der Endophyten

Der augenscheinlichste Vorteil, den ein endophytischer Pilz von seinem Wirt hat, ist die frühzeitige Besiedlung eines Lebensraumes, der beim Tod des entsprechenden Organs bzw. der Wirtspflanze schnell durchwachsen und erobert werden kann. Letztendlich ist es ja für jede Pilzart entscheidend, daß sie effektiv in der Lage ist, Fruchtkörper und Sporen auszubilden, um somit für ihre Vermehrung und weitere Verbreiterung zu sorgen. Dies genau ist für Endophyten nachgewiesen. KOWALSKI und KEHR (1992, 1996) haben beispielsweise gezeigt, daß zahlreiche endophytische Pilze an der Astbasis unserer Waldbäume zu den ersten gehören, die auf den später absterbenden, toten Ästen fruktifizieren. Dieses Prinzip der frühzeitigen endophytischen Eroberung eines Lebensraumes scheint für viele holzabbauende Ascomyceten und auch für einige Schwächeparasiten gängig zu sein (CHAPELA und BODDY 1988a, b). Der eigentlichen Fruktifikation geht also eine lange Zeit der endophytischen, physiologischen Ruhe voraus. Als Wachstumsreiz für die ruhenden Pilzhyphen gilt zumindest bei Holz- und Rindengewe-

be das langsame Austrocknen des Gewebes beim Absterben (CHAPELA und BODDY 1988a, b; BODDY 1992). Der normalerweise hohe Wassergehalt des funktionalen Xylems ist also offenbar mitentscheidend für die Hemmung des Auswachsens endophytischer Pilze.

Die frühe Besiedlung durch Endophyten führt zu einer Dominanz bestimmter Pilzarten an bestimmten Organen, wenn z.B. Blätter und Ästchen absterben und der Waldstreu zugeführt werden. Somit stehen die Endophyten häufig am Anfang der Sukzession, also der Aufeinanderfolge verschiedener Organismen, beim Abbau der Waldstreu und leisten schon dadurch einen wertvollen ökologischen Beitrag (BILLS 1996).

Es gibt aber noch weitere Gründe für Pilze, endophytische Infektionen in Pflanzen zu verursachen. Beispielsweise ist bekannt, daß manche insektenpathogenen Pilze endophytisch in der Rinde von Waldbäumen vorkommen, die Rinde somit als Reservoir für diese Pilze dient (BILLS 1996). Man kann sich durchaus vorstellen, daß rindenbrütende Insekten beim Befall der Rinde mit diesen Pilzen kontaminiert werden und auf diese Weise in ihrer Populationsentwicklung beeinflusst werden können. Weiterhin wird immer wieder, insbesondere aus Blattorganen, die Gruppe der koprophilen, also auf tierischen Ausscheidungen fruktifizierenden Pilze als Endophyten isoliert. Dieses auf den ersten Blick merkwürdige ökologische Verhalten kann man sich dadurch erklären, daß solche Pilze mit ihren Wirtsblättern von Pflanzenfressern aufgenommen werden und so eine Chance haben, nach der unbeschadeten Darmpassage schnell auf ihrem bevorzugten Substrat zur Fruktifikation zu gelangen.

Vorteile für die Pflanze

Da Pilze keine Photosynthese betreiben und somit auf die von anderen Organismen produzierte Energie angewiesen sind, hat es zunächst den Anschein, daß Endophyten die überwiegenden Vorteile, die Wirte dagegen die überwiegenden Nachteile einer solchen Infektion haben. In den letzten Jahren sind jedoch zahlreiche Beispiele dafür gefunden worden, daß endophytische Infektionen für die Wirtspflanzen positive Leistungen bringen können. Beispielsweise besetzen sie frühzeitig einen Lebensraum, der ansonsten auch für aggressive Parasiten in Frage käme. Somit beeinflussen sie zu einem frühen Zeitpunkt die Sukzession der Pilzarten auf absterbenden Baumteilen. An Ästen

ist dies besonders wichtig, da absterbende Äste im unteren Stammbereich eine natürliche Eingangspforte für aggressive, holzabbauende Basidiomyceten bilden, die über die Astnarben in den Hauptstamm eindringen und dort eine schwerwiegende, den Baum statisch gefährdende Fäule auslösen können (BUTIN und KOWALSKI 1983a, 1983b, 1986, 1990, 1992; KOWALSKI und BUTIN 1989). Da jedoch zahlreiche endophytische Ascomyceten bereits die Astbasis besiedeln (KOWALSKI und KEHR 1992, 1996) und der Baum dort zudem eine wirksame Schutzzone ausbildet, kommt es beim späteren Absterben des Astes (z.B. infolge Lichtmangel) nur selten zur Infektion des Hauptstammes mit Basidiomyceten. Einige der an der Astbasis vorhandenen Ascomyceten können Holz bis zu einem gewissen Maß abbauen (BUTIN und KOWALSKI 1992), so daß schließlich, zumindest bei Laubhölzern wie Buche und Eiche, der tote Ast abfällt und der Baum die Astnarbe mit neu gebildetem Stammgewebe überwallen kann. Von diesem Vorgang mit der Bezeichnung „natürliche Astreinigung“ hat sowohl der Baum einen Vorteil, da er die Astnarben gesund überwallen und Fäulepilze aus dem Hauptstamm fernhalten kann, als auch der Förster, der sich über einen langen, geraden und astfreien unteren Baumschaft freuen kann, der für hochwertige Zwecke wie Furnierherstellung und Möbelbau bestens geeignet ist (KOWALSKI 1994).

Ein weiteres Beispiel für nützliche Wirkungen der Endophyten bildet ihr Verhalten gegenüber Blattgallen, die durch bestimmte Gallinsekten verursacht werden. Die endophytische Infektion von Ahornblättern mit *Diplodina acerina* erhöht beispielsweise die Mortalität der Fenstergallmücke *Dasineura vitrina* (WULF 1990). WULF fand, daß ca. 2/3 der Gallen in einem Untersuchungsjahr mit *Diplodina acerina* und anderen Endophyten verpilzt waren, so daß von einem echten Eingriff in die Populationsdynamik des Gallinsekts gesprochen werden kann. Auch wenn die von *Dasineura vitrina* verursachte Gallbildung nicht von existentieller Bedrohung für den Baum ist, zeigt dieser Fall dennoch, daß endophytische Pilze die Baumabwehr gegen schädliche Insekten unterstützen. Da der Pilz *Diplodina acerina* in der früheren Fachliteratur eigentlich als Blattparasit gilt, der (relativ unbedeutende) Blattflecken verursacht, zeigt sich hier wieder der dünne Grat zwischen Mutualismus und Parasitismus. Der antagonistische Effekt von Endophyten gegen Gallen ist umfassend auch von PEHL und BUTIN (1994) an vier verschiedenen Laubbaumarten untersucht worden. Die Autoren haben 14 Gallarten gefunden, die in **Beziehung** zu pilzlichen Endophyten standen und die eine (sehr wahrscheinlich

vom Endophyten ausgelöste) Mortalität von ca. 8 bis 31 % aufwiesen. Weitere Berichte über die antagonistische Wirkungsweise von Blatt- und Nadelendophyten gegenüber Gallinsekten stammen von MILLER (1986), CARROLL (1988), BUTIN (1992), HALMSCHLAGER et al. (1993) sowie WILSON (1995). Noch ist nicht zweifelsfrei geklärt, welcher Wirkungsmechanismus diesem Antagonismus zugrunde liegt. Während manche Autoren davon ausgehen, daß eine direkte Abtötung des Gallinsektes innerhalb der Gallanlage möglich ist, präsentiert WILSON (1995) Hinweise darauf, daß die Schädigung indirekt durch Besiedlung und Inaktivierung des Gallgewebes geschieht, wodurch die Ernährung der Larve gestört bzw. unterbunden wird.

Auch fungistatische Substanzen sind bei Endophyten nachgewiesen, was nicht verwundert, da sie ja zunächst ihren zu besiedelnden Lebensraum auch gegen andere Pilze verteidigen müssen. Solche Substanzen sind also zunächst einmal nicht unbedingt dem Wirt dienlich, können ihm aber indirekt nutzen, wenn sie gegen aggressive Parasiten wirksam sind. FISHER et al. (1991) haben in diesem Zusammenhang ermittelt, daß 30% aller von ihnen untersuchten endophytischen Isolate aus Ericaceen antibakterielle und fungizide Eigenschaften besaßen. Von WEBBER (1981) wurde beispielsweise ein pilzlicher Endophyt als Antagonist von *Ophiostoma ulmi*, dem Verursacher des Ulmensterbens, entdeckt. Im Falle der Eiche wird angenommen, daß der Endophyt und (meist harmlose) Schwächeparasit *Pezicula cinnamomea* und andere endophytische Rindenpilze eine Infektion mit dem weit aggressiveren Erreger *Fusicoccum quercus* verhindern (KEHR 1988, 1992). Bei Kiefern verhindert die endophytische Infektion mit dem Pilz *Lophodermium conigenum* die Fruktifikation des aggressiven *Lophodermium seditiosum* (Erreger der Kiefernscütte), wodurch in der Natur das Sporenangebot des Pathogens vermindert wird (MINTER 1981).

Positive Effekte der Endophyten sind auch im Bereich der Phytohormonproduktion zu suchen, bisher aber nur wenig erforscht. Für die beiden sowohl epiphytisch als auch endophytisch vorkommenden Pilze *Aureobasidium pullulans* und *Epicoccum purpurascens* ist beispielsweise die Produktion von Pflanzenhormonen nachgewiesen, und Samen von Efeu (*Hedera helix*), die mit diesen Pilzen besetzt sind, keimen schneller als solche ohne Pilzinfektion (LUGINBÜHL und MÜLLER 1980). Weiterhin gibt es erste Be-

richte über eine Schutzwirkung endophytischer Wurzelpilze gegen Nematodenbefall (REISSINGER und SCHUSTER 1995).

Ein Sonderfall, auf den hier nicht näher eingegangen werden kann, sind die Grasendophyten, die für ihren Wirt zu einer höheren Trockentoleranz, zu einem stärkeren Wachstum und zu einer geringeren Attraktivität für Pflanzenfresser und pflanzenbesiedelnde Insekten führen (CLAY 1988). Das geht soweit, daß für bestimmte endophyteninfizierte Grasarten Toxikosen von Weidetieren (Taumelkrankheit) bekannt wurden, die durch die vom Pilz produzierten neurotoxischen Stoffe ausgelöst werden (BACON und HILL 1996).

Es erscheint durchaus möglich, daß im Laufe der Evolution Pflanzen bestimmte Abwehrleistungen gegenüber Pathogenen sowie Insekten und Tieren an Endophyten abgegeben haben. Bekannt ist, daß endophytische Pilze in sehr viel höherem Maße wirksame Sekundärstoffe bilden, als dies andere Pilzgruppen tun (SCHULZ et al. 1995; BILLS 1996). Dies führte CARROLL (1986, 1992) zu der These, daß Bäume aus der sehr viel kürzeren Generationsdauer von Pilzen einen besonderen Vorteil ziehen, da endophytische Pilze als Verbündete sehr viel schneller auf eine Veränderung der Umweltbedingungen mit der Produktion und Entwicklung neuer Sekundärstoffe für die Abwehr des Baumes reagieren können, als es ein Baum bei einer Generationsdauer von hunderten von Jahren jemals könnte. Somit würde es sich für den Baum „lohnen“, endophytische Pilze als mutualistische Organismen das gesunde Gewebe besiedeln zu lassen. Einige Autoren verwenden angesichts der zahlreichen positiven Wechselwirkungen zwischen endophytischen Pilzen und Bäumen sogar den Begriff der Symbiose für diese Beziehung (CHAPELA und HAGMAN 1991; CHAPELA und BIELSER 1993).

Mögliche Schadwirkungen von Endophyten

Im Rahmen des in den letzten Jahren verstärkt diskutierten „Waldsterbens“ wurde überlegt, ob Pilze für diese Entwicklung mit verantwortlich sein können. Entsprechende mykologische Untersuchungen an gesunden und auch kranken Fichtennadeln haben gezeigt, daß die an erkrankten bzw. toten Nadeln vorhandenen Pilze zwar bereits als Endophyten symptomlos in den grünen Nadeln vorkommen, offensichtlich aber nicht ursächlich an der Symptomausprägung beteiligt sind (KOWALSKI und LANG 1984;

BUTIN und WAGNER 1985; BUTIN 1986). In einer Untersuchung kam einer der wichtigsten endophytischen Pilze der Fichtennadel sogar bei geschädigten Bäumen weniger häufig vor als bei gesunden (BARKLUND 1987). Zwar sind bislang in einigen Fällen aggressive Baumparasiten als Endophyten isoliert worden, aber möglicherweise handelt es sich dabei lediglich um latente Infektionen, die zu einem späteren Zeitpunkt zu einer Erkrankung geführt hätten. So wurde beispielsweise der Erreger des Kastanienrindenkrebesses, *Cryphonectria parasitica*, in einigen Fällen aus gesunder Kastanienrinde endophytisch isoliert (BISSEGGGER und SIEBER 1994). Auch die für Nadelkrankheiten verantwortlichen Pilze *Cyclaneusma minus* und *Lophodermium seeditiosum* wurden gelegentlich endophytisch isoliert (CARROLL und CARROLL 1978; SIEBER 1989). Andererseits läßt sich konstatieren, daß es bei den spezifischen mutualistischen Endophyten oftmals um enge Verwandte pathogener Pilze handelt. Es wird daher vermutet, daß sich die mutualistischen Endophyten aus ehemaligen Pathogenen entwickelt haben (CARROLL 1986, 1992).

Da man bislang nur recht wenig über die Interaktionen von Endophyt und Pflanze weiß, ist auch das Ausmaß potentieller Nachteile durch Endophyten nicht hinreichend geklärt. Streng genommen ist es so, daß jeder Endophyt, der keine positiven Leistungen im Gegenzug für die von seinem Wirt bezogenen Vorteile (Nährstoffe, sekundäre Stoffwechselprodukte, Lebensraum etc.) liefert, ein parasitisches Verhältnis zu seinem Wirt hat. Da Endophyten sich aber gerade dadurch auszeichnen, daß sie über weite Strecken ihres Lebens praktisch symptomlos und auf nur wenige Zellen beschränkt vorkommen, kann von einer wirklichen Wirtsschädigung erst dann die Rede sein, wenn größere Gewebeteile von der Pilzinfektion in Mitleidenschaft gezogen werden. Dies kann bei potentiellen Schwächeparasiten der Fall sein. An geschwächten Eichen mit den Symptomen des „Eichensterbens“ verursacht beispielsweise der Pilz *Pezicula cinnamomea* Rindennekrosen, obwohl er an gesunden Eichen zu den häufigsten Rindenendophyten gehört (HARTMANN und BLANK 1992; KEHR und WULF 1993). Auch im Falle des *Pezicula*-Krebesses der Roteiche ist dieser Pilz an einer schwerwiegenden Erkrankung vorgeschwächter Bäume beteiligt, obwohl er sonst endophytisch in der gesunden Rinde vorkommt (KEHR 1988, 1991). Das Problem bei solchen Erkrankungen liegt aber weniger in der Aggressivität des Pilzes als in der starken Schwächung des Wirts.

Strategisch gesprochen und vom Prinzip der Koevolution her gesehen muß die Pflanze die Besiedlung durch den endophytischen Pilz zulassen, um seine möglicherweise positiven Leistungen zu genießen. Das heißt aber, daß mancher Pilz so die Wirtsabwehr überlistet und sich erfolgreich im Gewebe einnisten kann, was bei einem aggressiven Parasiten fatal sein kann. Für die Pflanze besteht die „Kunst“ darin, den Endophyten im Zaum zu halten und sich seiner positiven Leistungen solange wie möglich zu bedienen. Im Austausch erhält der Pilz Lebensraum und Nahrung (letztere ohnehin nur in geringem Umfang, da endophytisches Myzel meist physiologisch „auf Sparflamme“ lebt). Wenn die Wirtspflanze bzw. das Wirtsgewebe geschwächt ist, kann die feine Balance natürlich zugunsten des Endophyten kippen, und es entsteht ein parasitäres Verhältnis des Pilzes zu seinem Wirt. Dies erklärt auch, warum immer wieder bekannte Schwächeparasiten als Endophyten isoliert werden. Endophytismus in Verbindung mit positiven Leistungen für die Pflanze und Schwächeparasitismus in Verbindung mit Nachteilen für die Pflanze bei ein und demselben Pilz sind also nicht unbedingt ein Widerspruch. Entscheidend für den Ausgang der Infektion ist in jedem Fall der Vitalitätszustand der Pflanze, so daß der Aufrechterhaltung der Baumvitalität im Rahmen des Integrierten Pflanzenschutzes gar nicht genügend Gewicht verliehen werden kann.

Angesichts der zahlreichen bisher bekannt gewordenen Fällen von Endophyten, die gleichzeitig Schwächeparasiten sein können, muß also erkannt werden, daß es entscheidend auf die Faktoren ankommt, die möglicherweise aus einer symptomlosen endophytischen Infektion einen parasitischen Vorgang werden lassen. Somit sind Erkrankungen durch Schwächeparasiten, die aus endophytischen Infektionen hervorgegangen sind, immer ein Hinweis auf eine schlechte Abwehrlage des Wirtes (man spricht in diesem Fall von einer Prädisposition der Wirtspflanze). Die früher noch für die Phytopathologie viel wichtigere Frage des Infektionszeitpunktes durch einen bestimmten Parasiten (GÄUMANN 1951) tritt angesichts unseres heutigen Wissens über Endophyten in den Hintergrund, da jeder Baum bereits zahlreiche endophytische Infektionen besitzt und es eher eine Frage seiner Abwehrlage ist, ob sich aus einigen dieser Infektionen möglicherweise Erkrankungen entwickeln. Hierin kann man durchaus eine Parallele zur Humanmedizin sehen, wo ebenfalls zunehmend die Bedeutung von latenten Infektionen und Prädisposition erforscht und erkannt wird.

Jedenfalls treten ausgesprochen aggressive Pilze nur sehr selten endophytisch in Erscheinung, und eine generelle Schädigung des Baumes durch zahlreiche endophytische Infektionen scheint nicht vorzuliegen. Nach Meinung von CARROLL (1992) gibt es aber eine Vielzahl von Endophyten, die insgesamt mehr von der Pflanze nehmen als sie geben. CARROLL nennt solche Pilze "Pseudomutualisten" und mutmaßt, daß es die Pflanze erhebliche Mengen an Energie, Abwehrkraft usw. kostet, solche Pilze zu beherbergen, zu ernähren und schließlich auch z.T. abzuwehren. Nach CARROLL werden echte Mutualisten, die also für ihren Wirt einen deutlichen Überlebensvorteil bringen, am ehesten noch bei jungen Bäumen gefördert, da das weitere Durchsetzen des Baumes gegen die Konkurrenten zu diesem Zeitpunkt einen Vorteil bringt, während bei alten, seneszenten Bäumen mehr und mehr pilzliche „Kostgänger“ vorhanden sind.

Forschungsansätze für die Zukunft

Die in den letzten Jahren gewonnene Erkenntnis, daß endophytische Infektionen bei Pflanzen aller möglichen Familien weit verbreitet sind, öffnet zunächst weite Felder in der Grundlagenforschung. Hier steht an erster Stelle die Erforschung der Mechanismen, wie es zur Koevolution von (möglicherweise vormals parasitischen) Pilzen und Pflanzen kam. Solche Forschung kann schließlich helfen, Fragen der Populationsbiologie und der Entwicklung von Pflanzengemeinschaften zu beantworten. Anhand der Verwandtschaftsverhältnisse spezifischer Endophyten lassen sich möglicherweise Rückschlüsse auf Verwandtschaftsverhältnisse und evolutive Entwicklungen bei Pflanzen ziehen. Die für weitere Endophyten zu erforschenden, spezifischen Mechanismen der Sporenhafung am jeweiligen Wirt sollten helfen, die Mechanismen der biochemischen Anpassung zwischen Wirt und Pilz zu klären (CHAPELA und HAGMAN 1991; CHAPELA und BIELSER 1993; PETRINI 1996). In den nächsten Jahren wird die Endophytenforschung sicherlich auch Hinweise finden können, ob an parasitischen Entwicklungen durch ehemalige Endophyten stets ganz bestimmte Genotypen des Pilzes beteiligt sind, so daß man bei ein und derselben Pilzart mit mutualistischen und potentiell parasitischen Stämmen auf derselben Pflanze rechnen muß, oder ob tatsächlich alle mutualistischen Endophyten bei Vorliegen bestimmter Prädispositionen pathogen werden können. Weiterhin bilden Endophyten ein großes Reservoir für die Beschreibung und Auffindung neuer Pilzarten mit ihren für Chemie und Pharmakologie interessanten Verbindungen.

Die hochinteressante Feststellung, daß die Blattseneszenz möglicherweise von Endophyten beeinflusst wird, kann ebenfalls wichtig für die Erforschung biochemischer Vorgänge bei Pflanzen werden. Wenn man Endophytenabimpfungen aus Blattstücken vornimmt, kann man leicht beobachten, daß solche Blattstücke, aus denen keine Endophyten auswachsen, auf künstlichem Nährboden sehr lange grün bleiben, während solche mit Endophytenbesatz rasch verbraunen und verpilzen. Auch in der Natur kann man beobachten, daß manche Blätter im Spätsommer oder Herbst schneller vergilben als andere. Bei Linden ist bei bestimmten Vergilbungssymptomen oft der Pilz *Asteromella tiliae* im Blatt vorhanden, und man darf vermuten, daß er bereits zu einem früheren Zeitpunkt endophytisch vorliegt (BUTIN und KEHR 1995). WILSON (1993) folgert aus solchen Beobachtungen, daß Endophyten direkt die Blattseneszenz beschleunigen bzw. fördern, was für den rechtzeitigen Abschluß des Triebwachstums vor dem Winter in den gemäßigten Breiten durchaus für die Pflanze positiv sein könnte.

Die Kenntnis endophytischer Infektionen erscheint nicht nur für Mykologen, sondern auch für Botaniker, Zoologen und Entomologen bedeutsam. Diese auf den ersten Blick ungewöhnliche Feststellung erklärt sich aus einem von WILSON (1993) gut beobachteten Zusammenhang: Bislang wurde in botanischen, zoologischen und entomologischen Untersuchungen der mögliche Einfluß endophyteninfizierten Pflanzengewebes nicht bedacht. Bei Fraßversuchen mit Insekten z.B. müßten eigentlich alle Pflanzen endophytenfrei oder gleichmäßig von Endophyten besiedelt sein, um reproduzierbare und zuverlässige Ergebnisse zu liefern, da für einzelne Insektenarten toxische bzw. populationswirksame Wirkungen von Endophyten bekannt sind. Pflanzen bilden bekanntermaßen auch als Reaktion auf die Pilzinfektion die unterschiedlichsten Sekundärstoffe, die einen Einfluß auf Insekten und andere blattfressende Tiere haben können. Bei der molekularbiologischen Untersuchung von Pflanzen mittels DNA-Analyseverfahren, z.B. im Rahmen der Erforschung von Verwandtschaftsverhältnissen zwischen verschiedenen Pflanzenarten, muß die Möglichkeit des Vorhandenseins von pilzlichem Erbmateriale im Pflanzengewebe beachtet werden. Bei der Extraktion von Pflanzen-DNA stehen die Chancen zumindest bei Freilandpflanzen sehr gut, daß ebenfalls endophytisches Pilzmyzel und somit Pilz-DNA mit extrahiert wird. Es gibt bereits einen gut dokumentierten Fall, in dem die vermeintlich erforschten Verwandtschaftsverhältnisse mehrerer Fich-

tenarten tatsächlich auf der versehentlichen Analyse der DNA-Daten eines häufigen endophytischen Pilzes dieser Baumart beruhten (CAMACHO et al. 1997).

Ganz abgesehen von der Grundlagenforschung gibt es aber auch praktisch orientierte Gründe für die weitere Erforschung der Endophyten. Endophyten bilden zahlreiche Stoffwechselprodukte mit herbizidem, fungizidem und insektizidem Charakter, die sich möglicherweise im Rahmen von Pflanzenschutz und Biotechnologie verwerten lassen, und inzwischen betreiben viele Arbeitsgruppen ein Screening von Endophyten auf potentielle Sekundärmetaboliten (BILLS 1996). In den meisten Fällen werden diese Bemühungen finanziell von der chemisch-pharmazeutischen Industrie unterstützt, die Interesse an neuen Stoffen und Verbindungen hat. Das Breitspektrum-Antibiotikum Cryptosporiopsin z.B. wurde bereits vor ca. 30 Jahren in einer *Cryptosporiopsis*-Art entdeckt, die sehr häufig endophytisch vorkommt (STILLWELL et al. 1969). Vor einigen Jahren gelang es, ebenfalls aus einer *Cryptosporiopsis*-Art, die Verbindung Echinocandin zu isolieren (NOBLE et al. 1991). Bei einer Untersuchung mehrerer *Pezicula*-Arten (*Pezicula* ist die Hauptfruchtform der Deuteromycetengattung *Cryptosporiopsis*) fand eine Forschergruppe der Technischen Universität Braunschweig fünf verschiedene Metabolite mit herbiziden und fungitoxischen Eigenschaften (SCHULZ et al. 1995). Auch wenn laut AUST et al. (1997) lediglich eine neue chemische Leitstruktur pro 40.000 getesteten Mikroorganismenstämmen zu erwarten ist, erscheinen die bislang in ihrer Artenfülle gar nicht überschaubaren Endophyten eine wahre Fundgrube für die pharmazeutische und chemische Industrie zu sein.

Konkrete Anwendungen von Endophyten sind auf dem Gebiet des Pflanzenschutzes möglich. Bereits BIER (1963) hat erkannt, daß Rindenendophyten (von ihm damals noch als "tissue saprophytes" bezeichnet) u.U. gezielt ausgebracht werden könnten, um krankheitserregende Pilze an Bäumen abzuwehren. Die zur Zeit sehr intensiv betriebene Forschung zum Phänomen der induzierten Resistenz beruht ebenfalls auf der Tatsache, daß das Abwehrverhalten von Pflanzen gesteigert werden kann, wenn diese gezielt mit bestimmten Stoffen bzw. Organismen in Kontakt kommen. Auch die positiven Wirkungen von Endophyten gegen Insektenbefall, wie sie im vorigen Kapitel aufgezeigt wurden, deuten auf die Einsetzbarkeit dieser Organismen gegen lästige oder schädigende Insekten im Rahmen des integrierten Pflanzenschutzes hin. Inzwischen werden auch die

Endophytenarten bestimmter, in der Forstwirtschaft unerwünschter Baumarten daraufhin untersucht, ob sich darunter Schwächeparasiten befinden, die möglicherweise gezielt gegen die Pflanze selbst eingesetzt werden können. Beispielsweise wurde in Kanada der endophytische Pilz *Melanconium apiocarpum* als natürliches "Mykoherbizid" für die als „forstliches Unkraut“ bezeichnete *Alnus rubra* (Rot-Erle) identifiziert (BILLS 1996). Einschränkend muß darauf hingewiesen werden, daß unter den Endophyten, wie im vorigen Abschnitt dargelegt, nur wenige Pilze mit ausgesprochenem parasitischen Potential vorhanden sind.

Forschungspolitisch betrachtet ist aufgrund der möglichen künftigen Bedeutung von Endophyten für den integrierten Pflanzenschutz die Forschungstätigkeit des Instituts für Pflanzenschutz im Forst auf diesem Gebiet im Rahmen der Ressortforschung sicherlich auch in der Zukunft erfolgversprechend.

Significance of endophytic fungi in forest trees

Summary

In recent years, the presence of fungal endophytes in living, symptomless tissues of trees has been widely recognized. Although latent parasites and ubiquitous fungi such as certain epiphytes can also be isolated endophytically from living tissue, many other endophytic fungi are host and organ specific and apparently live in a mutualistic symbiosis with their host, providing protection against pathogenic fungi, insects and foraging animals. Some endophytes can act as weak parasites when tree vigour is reduced, but endophytic infection in trees is generally thought to be beneficial in most cases. This article presents an overview of the biology and life strategy of endophytes and gives a few examples of the interactions between these organisms and their host. Important aspects of future endophytic research are also discussed.

Literatur

(Die unter Mitwirkung des Instituts für Pflanzenschutz im Forst entstandenen Arbeiten erscheinen in Fettdruck)

ARMSTRONG, G.M.; ARMSTRONG, J.K., 1948: Nonsusceptible hosts as carriers of wilt fusaria. *Phytopathology* **38**, 808-826.

- ARX, J.A. VON, 1958: Die „Gloeosporien“ des Kernobstes. *Phytopathologische Zeitschrift* **33**, 108-114.
- AUST, H.-J.; DRAEGER, S.; SCHULZ, B., 1997: Suche nach neuen Wirkstoffen für Pflanzenschutz und Pharma bei Pilzen. *Mitteilungen der TU Braunschweig* **32** (1), 38-40.
- BACON, C.W.; HILL, N.S., 1996: Symptomless grass endophytes: Products of coevolutionary symbiosis and their role in the ecological adaptations of grasses. In: REDLIN, S.C. und CARRIS, L.M.(a.a.O.), S. 155-178.
- BARKLUND, P., 1987: Occurrence and pathogenicity of *Lophodermium piceae* appearing as an endophyte in needles of *Picea abies*. *Transactions British Mycological Society* **89**, 307-313.
- BIER, J.E., 1963: Tissue saprophytes and the possibility of biological control of some tree diseases. *Forestry Chronicle* **39** (1), 82-84.
- BILLS, G.F., 1996: Isolation and analysis of endophytic fungal communities from woody plants. In: REDLIN, S.C. und CARRIS, L.M.(a.a.O.), S. 31-65.
- BISSEGGGER, M; SIEBER, T.N., 1994: Assemblages of endophytic fungi in coppice shoots of *Castanea sativa*. *Mycologia* **86**, 648-655.
- BISSETT, J.; BORKENT, A., 1988: Ambrosia galls: the significance of fungal nutrition in the evolution of the *Cecidomyiidae* (Diptera). In: PIROZYNSKI; K.A.; HAWKSWORTH, D.L. (Hrsg.): *Coevolution of fungi with plants and animals*. Academic Press, London, S. 203-225.
- BLOOMBERG, W.J., 1966: The occurrence of endophytic fungi in Douglas-Fir seedlings and seed. *Canadian Journal of Botany* **44**: 413-420.
- BODDY, L., 1992: Development and function of fungal communities in decomposing wood. In: CARROLL, G.C.; WICKLOW, D.T. (Hrsg.): *The fungal community. Its organization and role in the ecosystem*. Marcel Dekker, New York, New York, S. 749-782.
- BUTIN, H., 1986: Endophytische Pilze in grünen Nadeln der Fichte (*Picea abies* Karst.). *Zeitschr. Mykologie* **52**, 335-345.
- BUTIN, H., 1992: Effect of endophytic fungi from oak (*Quercus robur* L.) on mortality of leaf inhabiting gall insects. *European Journal of Forest Pathology* **22**, 237-247
- BUTIN, H.; KEHR, R., 1995: Leaf blotch of lime associated with *Asteromella tiliae* comb. nov. and the latter's connection to *Didymosphaeria petrakiana*. *Mycol. Res.* **99**, 1191-1194
- BUTIN, H.; KOWALSKI, T., 1983a: Die natürliche Astreinigung und ihre biologischen Voraussetzungen I. Die Pilzflora der Buche (*Fagus sylvatica*). *European Journal of Forest Pathology* **13**: 322-334.
- BUTIN, H.; KOWALSKI, T., 1983b: Die natürliche Astreinigung und ihre biologischen Voraussetzungen II. Die Pilzflora der Stieleiche (*Quercus robur* L.). *European Journal of Forest Pathology* **13**: 428-439.
- BUTIN, H.; KOWALSKI, T., 1986. Die natürliche Astreinigung und ihre biologischen Voraussetzungen III. Die Pilzflora an Ahorn, Erle, Birke, Hainbuche und Esche. *European Journal of Forest Pathology* **16**: 129-138.
- BUTIN, H.; KOWALSKI, T., 1990. Die natürliche Astreinigung und ihre biologischen Voraussetzungen V. Die Pilzflora von Fichte, Kiefer und Lärche. *European Journal of Forest Pathology* **20**: 44-54.
- BUTIN, H.; KOWALSKI, T., 1992. Die natürliche Astreinigung und ihre biologischen Voraussetzungen VI. Versuche zum Holzabbau durch Astreiniger-Pilze. *European Journal of Forest Pathology* **22**: 174-182.
- BUTIN, H.; WAGNER, C., 1985: Mykologische Untersuchungen zur „Nadelröte“ der Fichte. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* **104**, 178-186.
- CAMACHO, F.J; GERANDT, D.S.; LISTON, A.; STONE, J.K.; KLEIN, A.S., 1997: Endophytic fungal DNA, the source of contamination in spruce needle DNA. *Molecular ecology* **6**, 983-987.
- CARROLL, G.C., 1986: The biology of endophytism in plants with particular reference to woody perennials. In: FOKKEMA, N.J.; HEUVEL, J. van den, 1986 (Hrsg.): *Microbiology of the phyllosphere*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, S. 205-222.
- CARROLL, G.C., 1988: Fungal endophytes in stems and leaves: from latent pathogen to mutualistic symbiont. *Ecology* **69**, 2-9.

- CARROLL, G.C., 1992: Fungal Mutualism. In: CARROLL, G.C.; WICKLOW, D.T. (Hrsg.): The fungal community. Its organization and role in the ecosystem. Marcel Dekker, New York, New York, S. 327-354.
- CARROLL, G.C., 1995: Forest endophytes: pattern and process. Canadian Journal of Botany 73 (supplement), 1316-1324.
- CARROLL, G.C.; CARROLL, F.E., 1978: Studies on the incidence of coniferous needle endophytes in the Pacific Northwest. Canadian Journal of Botany 56, 3034-3043.
- CHAPELA, I.H.; BIELSER, G., 1993: The physiology of ascospore eclosion in *Hypoxyylon fragiforme*: mechanisms in the early recognition and establishment of an endophytic symbiosis. Mycological Research 97, 157-162.
- CHAPELA, I.H.; BODDY, L., 1988a. Fungal colonization of attached beech branches. I. Early stages of development of fungal communities. New Phytologist 110, 39-45.
- CHAPELA, I.H.; BODDY, L., 1988b. Fungal colonization of attached beech branches. II. Spatial and temporal organization of communities arising from latent invaders in bark and functional sapwood, under different moisture conditions. New Phytologist 110, 47-57.
- CHAPELA, I.H.; HAGMAN, L., 1991: Monolignol glucosides as specific recognition messengers in fungus-plant symbiosis. Physiological and Molecular Plant Pathology 39, 289-298.
- CLAY, K., 1988: Fungal endophytes of grasses: A defensive mutualism between plants and fungi. Ecology 69, 10-16.
- DE BARY, A., 1866: Morphologie und Physiologie der Pilze, Flechten und Myxomyceeten. Engelmann, Leipzig, 316 S.
- DREYFUSS, M.; PETRINI, O., 1984: Further investigations on the occurrence and distribution of endophytic fungi in tropical plants. Botanica Helvetica 94, 33-40.
- DUBBEL, v., 1992: Pilze an Bucheckern. AFZ 47, 642-645.
- EDNEY, K.L., 1958: Observations on the infection of Cox's Orange Pippin apples by *Gloeosporium perennans* Zeller & Chils. Annals of Applied Biology 46, 622-629.
- FISHER, P.J.; WEBSTER, J., 1991: Aquatic hyphomycetes and other fungi in living aquatic and terrestrial roots of *Alnus glutinosa*. Mycological Research 95, 543-547.
- GÄUMANN, E. 1951: Pflanzliche Infektionslehre. Birkhäuser, Basel; 681 S.
- HALMSCHLAGER, E., 1994: Vorkommen und Bedeutung endophytischer Pilze bei Waldbäumen. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 46, 31.
- HALMSCHLAGER, E.; BUTIN, H.; DONAUBAUER, E., 1993: Endophytische Pilze in Blättern und Zweigen von *Quercus petraea*. European Journal of Forest Pathology 23, 51-63.
- HARTMANN, G.; BLANK, R., 1992: Winterfrost, Kahlfraß und Prachtkäferbefall als Faktoren im Ursachenkomplex des Eichensterbens in Norddeutschland. Forst und Holz 47, 443-452
- HARTMANN, G.; BLANK, R.; LEWARK, S., 1989: Eichensterben in Norddeutschland -- Verbreitung, Schadbilder, mögliche Ursachen. Forst u. Holz 44, 475-487.
- KEHR, R.D., 1988: Die Pathogenese des *Pezicula*-Krebses der Amerikanischen Roteiche (*Quercus rubra* L.), verursacht durch *Pezicula cinnamomea* (DC.) Sacc., im Vergleich mit anderen Rindenerkrankungen der Eiche. Dissertation Forstl. Fachbereich Georg-August-Universität Göttingen 1988, 184 S.
- KEHR, R.D., 1991: *Pezicula* canker of *Quercus rubra* L., caused by *Pezicula cinnamomea* (DC.) Sacc. I. Symptoms and pathogenesis. European Journal of Forest Pathology 21, 218-233.
- KEHR, R.D., 1992: *Pezicula* canker of *Quercus rubra* L., caused by *Pezicula cinnamomea* (DC.) Sacc. II. Morphology and biology of the causal agent. European Journal of Forest Pathology 22, 29-40.
- KEHR, R.; PEHL, L., 1993: Fungi in seeds of deciduous trees - new aspects of seed treatment. Internationales Symposium über Forstsaatgut, 8.-11. Juni 1993, 169-184.
- KEHR, R.; WULF, A., 1993: Fungi associated with above-ground portions of declining oaks (*Quercus robur*) in Germany. European Journal of Forest Pathology 23, 18-27.
- KOWALSKI, T., 1994: Die natürliche Astreinigung und ihre Bedeutung für die Forstwirtschaft. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 46, 32.

- KOWALSKI, T.; BUTIN, H., 1989: The natural pruning of branches and its biological conditions IV. The fungal flora of fir (*Abies alba* Mill.). *Zeitschrift für Mykologie* 55: 189-196.
- KOWALSKI, T.; KEHR, R.D., 1992: Endophytic fungal colonization of branch bases in several forest tree species. *Sydowia* 44, 137- 168.
- KOWALSKI, T.; KEHR, R.D., 1995: Two new species of *Phialocephala* occurring on *Picea* and *Alnus*. *Canadian Journal of Botany* 73, 26-32.
- KOWALSKI, T.; KEHR, R.D., 1996: Fungal endophytes of living branch bases in several European tree species. In: REDLIN, S.C. UND CARRIS, L.M.(a.a.O.) S. 67-86.
- KOWALSKI, T.; LANG, K.J., 1984: Die Pilzflora von Nadeln, Trieben und Ästen unterschiedlich alter Fichten (*Picea abies* L.) mit besonderer Berücksichtigung vom Fichtensterben betroffener Altbäume. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 103, 349-360.
- LEWIS, F.J., 1924: An endotropic fungus in the coniferae. *Nature* 114 (2876), 860.
- LUGINBÜHL, M.; MÜLLER, E., 1980: Untersuchungen über endophytische Pilze. II. Förderung der Samenkeimung bei *Hedera helix* durch *Aureobasidium pullulans* und *Epicoccum purpurascens*. *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft* 90, 262-267.
- MILLER, J.D., 1986: Toxic metabolites of endophytic fungi of conifer needles. In: FOKKEMA, N.J.; HEUVEL, J. van den, (Hrsg.): *Microbiology of the phyllosphere*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, S. 223-231.
- MINTER, D.W., 1981: Possible biological control of *Lophodermium seditiosum*. In: MILLAR, G.S. (Hrsg.) *Current research on conifer needle diseases*. Aberdeen University Press, Aberdeen, S. 67-74.
- NOBLE, H.M.; LANGLEY, D.; SIDEBOTTOM, P.J.; LANE, S.J.; FISHER, P.J., 1991: An echinocandin from an endophytic *Cryptosporiopsis* sp. and *Pezicula* sp. in *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica*. *Mycological Research* 95, 1429-1440.
- PEARCE, R.B., 1996: Antimicrobial defences in the wood of living trees. *New Phytologist* 132, 203-233.
- PEHL, L., BUTIN, H., 1994: Endophytische Pilze in Blättern von Laubbäumen und ihre Beziehungen zu Blattgallen (Zooecidien). *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*. 297, 56 S.
- PETRINI, O., 1991. Fungal endophytes of tree leaves. In: ANDREWS, J.H.; HIRANO, S.S. (Hrsg.): *Microbial ecology of leaves*. Springer, New York, 179-197.
- PETRINI, O., 1996: Ecological and physiological aspects of host specificity in endophytic fungi. In : REDLIN, S.C. und CARRIS, L.M.(a.a.O.), S. 87-100.
- PETRINI, L.; MÜLLER, E., 1986: Teleomorphs and anamorphs of European species of *Hypoxylon* (Xylariaceae, Sphaeriales) and allied genera. *Mycologica Helvetica* 1, 501-627
- PETRINI, L.; PETRINI, O., 1985: Xylariaceous fungi as endophytes. *Sydowia* 38, 216-234.
- REDLIN, S.C.; CARRIS, L.M. (Hrsg.), 1996: *Endophytic fungi in grasses and woody plants - systematics, ecology and evolution*. APS Press, St. Paul, Minnesota, 223 S.
- REISSINGER, R.; SCHUSTER, R.-P., 1995: Potential endophytischer Pilze gegen Nematoden an Bananen. *Phytomedizin* 25 (4), 47.
- RODRIGUES, K.F., 1996: Fungal endophytes of palms. In: REDLIN, S.C. und CARRIS, L.M. (a.a.O.), S. 121-132.
- SCHULZ, B.; SUCKER, J.; AUST, H.; KRON, K.; LUDEWIG, K.; JONES, P.G.; DÖRING, D., 1995: Biologically active secondary metabolites of endophytic *Pezicula* species. *Mycological Research* 99, 1007-1015.
- SIEBER, T.N., 1989: Endophytic fungi in twigs of healthy and diseased Norway spruce and white fir. *Mycological Research* 92:322-326.
- SINCLAIR, J.B.; CERKAUSKAS, R.F., 1996: Latent infection vs. endophytic colonization by fungi. In: REDLIN, S.C. und CARRIS, L.M.(a.a.O.), S. 3-29.
- STILLWELL, M.A.; WOOD, F.A.; STRUNZ, G., 1969: A broad-spectrum antibiotic produced by a species of *Cryptosporiopsis*. *Canadian Journal of Microbiology* 15, 501-507.

- STONE, J. K., 1985: Foliar endophytes of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Cytology and physiology of the host-endophyte relationship. Ph.D. thesis, Eugene, University of Oregon.
- STONE, J. K., 1987: Inhabitation and development of the latent infections by *Rhabdocline parkeri* on Douglas fir. Canadian Journal of Botany **65**, 2614-2621.
- SUSKE, J.; ACKER, G., 1987: Internal hyphae in young, symptomless needles of *Picea abies*: electron microscopic and cultural investigations. Canadian Journal of Botany **65**, 2098-2103.
- SUSKE, J.; ACKER, G., 1989: Identification of endophytic hyphae of *Lophodermium piceae* in tissues of green, symptomless Norway spruce needles by immunoelectron microscopy. Canadian Journal of Botany **67**, 1768-1774.
- VERHOEF, K., 1974: Latent infections by fungi. Annual Review of Phytopathology **12**, 99-110.
- VIRET, O.; SCHEIDEGGER, C.; PETRINI, O., 1993: Infection of beech leaves (*Fagus sylvatica*) by the endophyte *Discula umbrinella* (teleomorph: *Apiognomonina errabunda*): low-temperature scanning electron microscopy studies. Canadian Journal of Botany **71**, 1520-1527.
- WANG, C.J.K.; WILCOX, H.E., 1985: New species of ectendomycorrhizal and pseudomycorrhizal fungi: *Phialophora finlandia*, *Chloridium paucisporum* and *Phialocephala fortinii*. Mycologia **77**, 951-958.
- WEBBER, J., 1981: A natural biological control of Dutch elm disease. Nature **292**, 449-450.
- WHALLEY, A.J.S., 1993: Tropical Xylariaceae: their distribution and ecological characteristics. In: ISAAC, S. et al. (Hrsg.): Aspects of tropical mycology. Cambridge University Press, Cambridge, 103-120.
- WHITE, J.F.; MORGAN-JONES, G. 1996: Morphological and physiological adaptations of Balansieae and trends in the evolution of grass endophytes. In: REDLIN, S.C. und CARRIS, L.M.(a.a.O.), S. 133-154.
- WILCOX, H.E.; WANG, C.J.K., 1987: Mycorrhizal and pathological associations of dematiaceous fungi in roots of 7-month-old tree seedlings. Canadian Journal of Forest Research **17**: 884-899.
- WILSON, D., 1993: Fungal endophytes: out of sight but should not be out of mind. Oikos **68**: 379-384.
- WILSON, D., 1995: Fungal endophytes which invade insect galls: insect pathogens, benign saprophytes or fungal inquines? Oecologia **103**, 255-260.
- WULF, A., 1990: Über die Bedeutung von *Diplodina acerina* (Pass.) Sutton und anderen Blattpilzen als Antagonisten der Fenstergallmücke *Dasineura vitrina* Kffr. an Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*). Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst **42**, 97-102.

Integrierte Borkenkäfer-Bekämpfung

Alfred Wulf

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Institut für Pflanzenschutz im Forst, Braunschweig

Destruenten und Forstschädlinge

Als minierende Insekten in Holzgewächsen haben die Borkenkäfer (Scolytidae) eine herausragende ökologische Bedeutung für die Zersetzung und Rückführung von Holz in den Stoffkreislauf des Waldökosystems. In kränkelnden und absterbenden Bäumen finden sie günstige Vermehrungsbedingungen und bilden hier das erste Glied in einer Kette von Destruenten, an deren Ende die Mineralisierung der organischen Holzbestandteile steht. Als Besiedler vorgeschädigter Bäume werden sie unter normalen Umständen zu den sogenannten „Sekundärschädlingen“ gezählt, die vitale Bäume nicht gefährden können. Anders wird die Situation allerdings, wenn durch bestimmte, ausgehende Schadereignisse (z. B. Windwürfe, Schneebrüche, Insektenfraß oder anhaltende Trocknis) das Brutraumangebot schlagartig vergrößert wird. In Kombination mit warmer Sommerwitterung kann es dann zu extremen Massenvermehrungen von Borkenkäfern kommen, die nachfolgend im Massenangriff die Widerstandskraft gesunder Bäume überwinden und dabei auch zu gefürchteten „Primärschädlingen“ werden.

Die auf diese Weise entstehenden Kalamitäten können zu den schlimmsten Waldverlusten führen, die in der Forstwirtschaft bekannt sind, so daß dementsprechend auch die Borkenkäfer zu den gefährlichsten Forstschädlingen gezählt werden müssen. So wurden allein im Harz während der „Großen Wurmtrocknis“ im 18. Jahrhundert 5.300 ha entwaldet, und nach dem zweiten Weltkrieg fielen zwischen 1945 und 1951 im Mitteleuropa 30 Mio. m³ Käferholz an (AID 1993). Dabei haben die Auswirkungen der Borkenkäfer-Kalamität in Südwest-Deutschland damals zur Gründung der Forstschutz-Stelle in Freiburg geführt, aus der die Forstliche Versuchsanstalt Baden-Württemberg hervorgegangen ist (WELLENSTEIN 1954). Die Massenvermehrungen der Borkenkäfer nach den Orkan-Schäden Anfang 1990, wo mehr als 70 Mio. Festmeter Sturmholz angefallen

waren und große Anstrengungen unternommen werden mußten, die Schäden einzugrenzen (WULF und KEHR 1991), sind bis heute nicht vollständig abgeklungen.

Holz- und Rindenbrütende Borkenkäfer

Wenn in Mitteleuropa von Borkenkäfer-Kalamitäten im Wald gesprochen wird, sind eigentlich immer nur Fichtenborkenkäfer gemeint, wobei insbesondere drei Arten bedeutsam sind: Buchdrucker (*Ips typographus*), Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*) und Gestreifter Nutzholzborkenkäfer (*Trypodendron lineatum*) (Abb. 1). Die beiden erstgenannten gehören dabei zu den sog. Rindenbrütern, bei denen das gesamte Brutsystem in der Rinde angelegt wird. Die Zerstörung der Bast- und des Kambiums führt bei Befall lebender Bäume zum schnellen Absterben. Typisches Kennzeichen für eine Besiedlung durch Rindenbrüter ist der Auswurf von braunem, durch Bastbestandteile geprägten Bohrmehl. Das Fraß- bzw. Brutbild der rindenbrütenden Borkenkäfer hat im Bereich des Einbohrloches den zentral gelegenen Paarungsraum (Rammkammer), von dem, durch Polygamie bedingt, meist mehrere Muttergänge ausgehen. Von den Eiablagestellen am Rande dieser Muttergänge geht eine Vielzahl von zunehmend breiter werdenden Larvengängen ab, die mit je einer Puppenwiege enden und später mit einem Ausbohrloch versehen sind, durch das der Jungkäfer den Baum verlassen hat.

Die Holzbrüter legen ihr Brutsystem im Splintholz der Bäume an und sind so im Gegensatz zu den Rindenbrütern weniger Waldschädlinge, sondern eher technische Holzschädlinge, die eine erhebliche Wertminderung des Stammholzes verursachen können. Von der Stammoberfläche wird eine ca. 5 cm tiefe Eingangsröhre radial in den Stamm gebohrt, an deren Ende parallel zu den Jahrringen Brutröhren angelegt werden, wobei im Gegensatz zu den Rindenbrütern weißes Bohrmehl entsteht. Durch die Fraßtätigkeit der Larven, die leitersprossenförmige Quergänge bohren, entstehen hieraus die sog. Leitergänge. Käfer und Larven ernähren sich von Pilzen, die im Brutsystem gezüchtet werden und die für die dunkle Verfärbung des Holzes hier verantwortlich sind. Diese Pilze sind auch der Grund für die hohen Ansprüche an die Holzfeuchtigkeit bei den Holzbrütern. Das Brutsystem wird von allen Käfern durch die Eingangsröhre wieder verlassen.

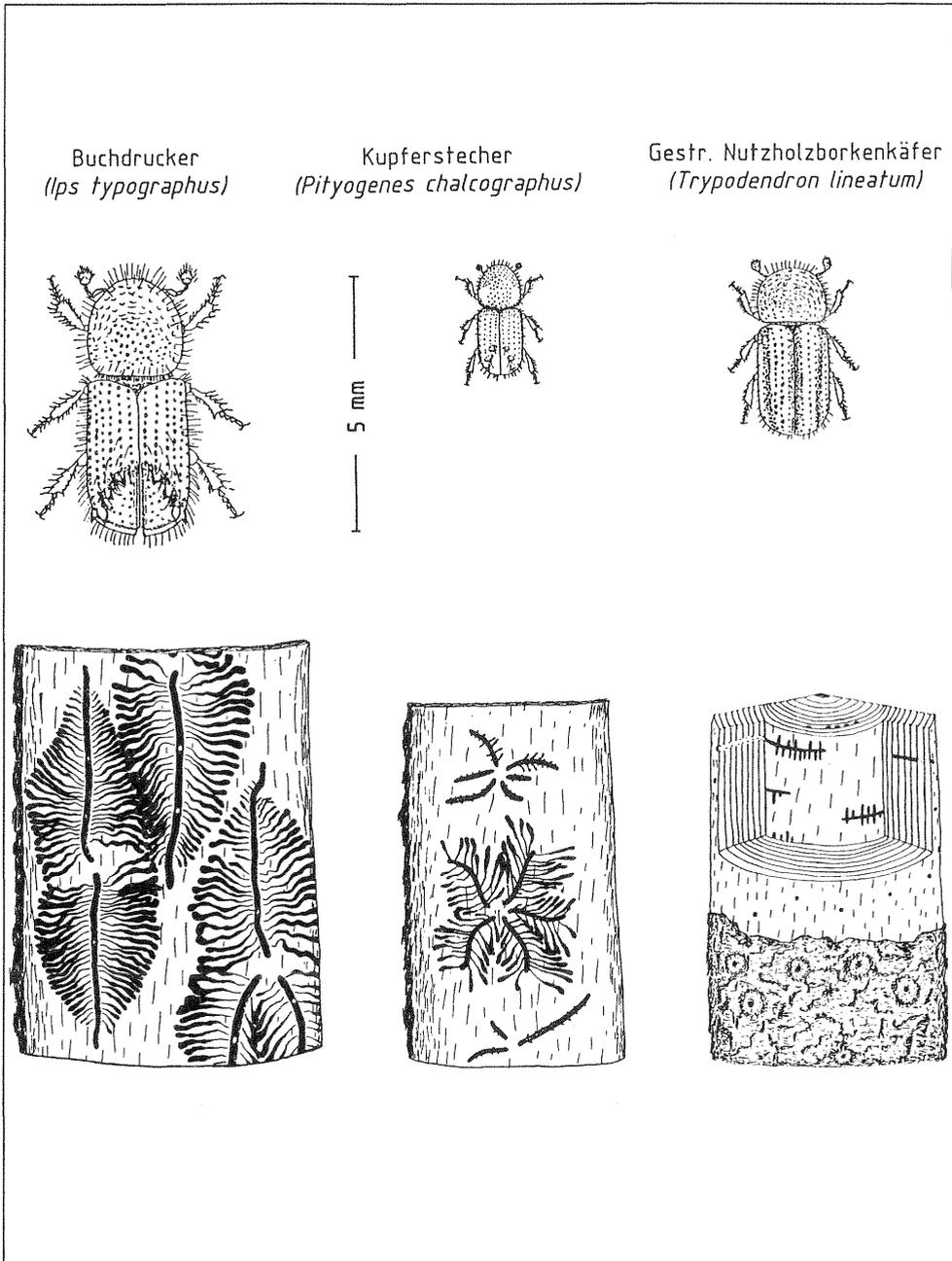


Abb. 1: Die wichtigsten Fichtenborkenkäfer in maßstabgerechter Aufsicht sowie die durch sie verursachten Fraßbilder

Integriertes Bekämpfungskonzept

Um Massenvermehrungen von Borkenkäfern entgegenzuwirken hat sich eine Palette verschiedener Maßnahmen etabliert, die in ihrer Gesamtheit ein bewährtes Konzept für eine integrierte Bekämpfung darstellen und so ein Musterbeispiel für die vom Pflanzenschutzgesetz geforderte Umsetzung eines integrierten Pflanzenschutzes sind. Hierbei können die Bereiche Vorbeugung, Überwachung und direkte Bekämpfung unterschieden werden.

Ein Bestandteil der direkten Bekämpfung kann die Anwendung von Insektiziden sein. Die Prüfung und Zulassung der hierfür verwendbaren Mittel sowie Forschungsaufgaben in diesem Bereich gehören nach dem Pflanzenschutzgesetz zu den Aufgaben der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft und, zumal es hier unmittelbar um angewandten Forstschutz geht, zu den Arbeitsschwerpunkten des Instituts für Pflanzenschutz im Forst. So soll nachfolgend insbesondere die Anwendung synthetischer Forstschutzmittel und die direkte Borkenkäfer-Bekämpfung ausführlich dargestellt werden, unter bevorzugtem Verweis auf die spezifischen Untersuchungen und Publikationen des Institutes hierzu.

Vorbeugung

Zu den wichtigsten vorbeugenden Maßnahmen gehört die angepaßte waldbauliche Behandlung, d. h. die Baumartenwahl muß standortgerecht sein, und Mischbaumarten sind zur Steigerung der Stabilität zu fördern. Pflege und Erntemaßnahmen sollten rechtzeitig und bestandesschonend durchgeführt werden. Für die Holzernte empfehlen sich unter diesen Gesichtspunkten die Monate September und Oktober, da Waldresthölzer so in der Regel bis zum Käferflug im Folgejahr ausgetrocknet und brutuntauglich sind.

Zu den ältesten, bewährtesten und wirksamsten prophylaktischen Konzepten gehört die konsequente Berücksichtigung der „Sauberen Waldwirtschaft“, auch als „Waldhygiene“ bezeichnet. Hierunter sind alle Anstrengungen zum rechtzeitigen Brutraumzug zu

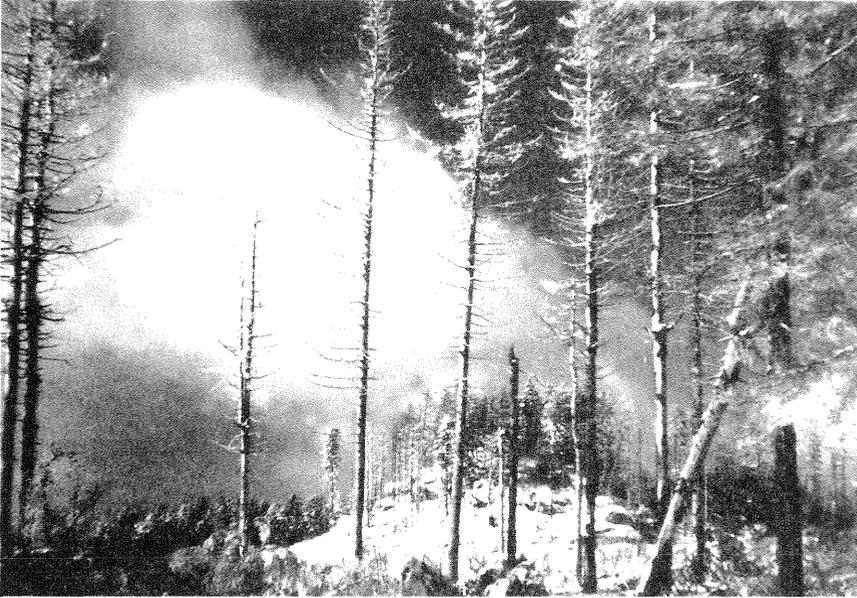


Abb. 2: Durch Borkenkäfer vernichtete Fichtenwaldfläche im Nationalpark Harz



Abb. 3: Naßlagerung von Fichtenstammholz – Borkenkäferprophylaxe durch Brutraumtzug

verstehen. Dies beinhaltet insbesondere die Holzabfuhr aus dem Wald vor Beginn des Frühjahrsschwärmflugs der Käfer, was durch schnellen Verkauf und verbindliche Vereinbarung von Abfuhrterminen geregelt werden kann. Als eine Alternative bietet sich eine frühzeitige Entrindung aller bruttauglicher Hölzer im Wald an. Damit wird den Rindenbrütern das Bruthabitat unmittelbar entzogen, und für die Holzbrüter wird die Möglichkeit einer Besiedlung durch schnelle Austrocknung des Splintholzes stark reduziert. Die vorwiegend von Seiten des Naturschutzes aufgestellte Forderung nach Erhöhung des Totholzanteils im Wald verträgt sich somit nicht mit der Borkenkäfer-Prophylaxe und muß zumindest für die Fichte aus Forstschutzgründen abgelehnt werden.

Bei kurzfristigem Anfall großer Holz mengen (z. B. durch Sturmwurf) hat sich die Naßlagerung in natürlichen Gewässern oder in künstlichen Beregnungsanlagen (Abb. 3) gut bewährt, wo das Holz in einem über der Bruttauglichkeit befindlichen Feuchtezustand gehalten wird. Unter günstigen Bedingungen ist auch eine Trockenlagerung in Rinde möglich, wenn durch spezifische Poltertechnik mit Zwischenlagern eine schnelle Austrocknung sichergestellt werden kann. Besondere Probleme bereiten die nicht nutzbaren Ernterückstände und Waldresthölzer, die für den dünnere Rinde bevorzugenden Kupferstecher durchaus gute Brutbedingungen bieten können. Hier ist an die Beseitigung durch Verbrennen zu denken (wegen Waldbrandgefahr bei feuchter Witterung) oder aber das Zerhacken bzw. Zerspanen der Resthölzer, die so schnell austrocknen und auch ein geeignetes Mulchmaterial darstellen.

Überwachung

Wichtigster Bestandteil einer effektiven Überwachung ist die regelmäßige visuelle Kontrolle gefährdeter Bestände auf Stehendbefall. Neben dem Auswurf von braunem Bohrmehl, das sich hinter Borkenschuppen, am Stammfuß oder auch auf Spinnweben zwischen Wurzelanläufen ansammelt, werden die auffälligsten Signale durch Spechtarbeit verursacht. Zunächst erscheinen helle, 3 cm durchmessende Spiegel im oberen Stammbereich, die durch das Abschlagen einzelner Borkenschuppen entstehen. Später lösen sich auch größere Rindenteile, oft noch bei grüner Krone. Neben der Überwachung exponierter Bestände sind alle in Rinde liegenden Nadelhölzer einschließlich der

Ernterückstände während der befallsdisponierten Zeit regelmäßig zu kontrollieren. Das Monitoring mittels Pheromonfallen kann dabei die sorgfältige visuelle Kontrolle nicht ersetzen, sondern ist eher dafür geeignet, den zeitlichen Verlauf des Schwärmfluges gut terminieren zu können. Fallen, die hierfür zum Einsatz gelangen, sind abseits befallsgefährdeter Bestände zu plazieren, da sonst konzentrierter Stehendbefall induziert wird.

Biotechnische und technische Bekämpfung

Trotz der großen Fortschritte bei der Synthese der Borkenkäfer-Aggregationspheromone und der Weiterentwicklung des Fallenfangs, sind die Möglichkeiten der direkten Borkenkäfer-Bekämpfung mittels dieser Technik hinsichtlich ihrer Wirksamkeit eher bescheiden und ihr Beitrag diesbezüglich ist umstritten (BOMBOSCH 1990, NIEMYER et al. 1994). Die hohen Erwartungen – für die Prüfung der Borkenkäfer-Pheromone wurden anfangs spezifische Richtlinien erstellt (WULF 1980b) – sind hier sicher nicht ganz erfüllt worden.

Nach dem aktuellen Stand der Erkenntnisse wird der Massenfang von Rindenbrütern in Lockstofffallen bei sachgerechtem Vorgehen dennoch als hilfreicher Bestandteil integrierter Bekämpfungsstrategien gesehen, der aber grundsätzlich allein nicht ausreichend ist. Ziel ist es dabei, die Käferdichte an besonders disponierten Orten für einen begrenzten Zeitraum soweit abzusenken, daß Befall in stehendem Holz weitgehend vermieden werden kann. Hierfür ist der massive, zahlreiche Falleneinsatz sehr wichtig, der sich beispielsweise auf besonnte Ränder größerer Lücken im Fichtenbestand konzentrieren kann oder auf solchen Flächen ratsam ist, bei denen bereits zum vorigen Schwärmflug Stehendbefall aufgetreten ist.

Bei Aufstellung der Fallen – hier hat sich auch die Kombination von drei Fensterfallen zum sog. Dreifallenstern sehr bewährt – ist unbedingt ein Sicherheitsabstand von 10 bis 15 m zum nächsten bruttauglichen Baum einzuhalten. Der Abstand der Fallen zueinander sollte dabei 20 bis 30 m betragen, wobei zu Zeiten stärkerer Gefährdung auch geringere Abstände sinnvoll sein können. Die Beköderung erfolgt am besten unmittelbar vor dem ersten Käferflug, also meist im April, wobei für die zweite Generation, Anfang

Juli, ein frischer Dispenser zu dem alten eingehängt werden sollte. Die regelmäßige Kontrolle und Leerung, in der Hauptflugzeit möglichst wöchentlich, ist dringend geboten. Hierbei können auch die Beifänge nützlicher oder indifferenter Arten, die die Falle nicht aus eigener Kraft verlassen können, wieder freigesetzt werden. Nach Abschluß der Fangsaison, etwa Mitte September, sind zumindest die Auffangbehälter der Fallen zu entfernen, um unnötigen und unbeabsichtigten Insektenfang zu vermeiden.

Obwohl attraktive, hochwirksame Pheromone verfügbar sind, ist die Fallentechnik zur Bekämpfung von Nutzholzborkenkäfern nicht geeignet, da selbst hoher Aufwand nicht ausreicht, die bei diesen Käfern gebotene vollständige Befallsfreiheit zu garantieren.

Jegliche Art von Rindenbrüter-Befall in stehenden oder liegenden Bäumen und Hölzern bedarf gezielter Bekämpfungsmaßnahmen. Solange sich die Brut noch im Larven- oder Puppenstadium befindet, ist sofortiger Einschlag mit nachfolgender Entrindung ratsam, wodurch ein schnelles Vertrocknen der Insekten erfolgt. Befindet sich die Brut bereits im Jungkäferstadium, besteht noch die Möglichkeit des sofortigen Verbringens der besiedelten Hölzer weit außerhalb des Waldes oder auch in Laubholzbestände mit wenigstens 1 km Abstand zum nächsten gefährdeten Nadelholzbestand. Bei Verbleib im Fichtenwald ist selbst bei sofortigem Schälen nunmehr eine Entseuchung oder Vernichtung der Rinde notwendig (z. B. durch Verbrennen).

Chemische Bekämpfung

Für die Fälle, wo ein frühzeitiges Abschälen der Rinde bzw. ein rechtzeitiger Abtransport des Holzes oder die Umlagerung in einen nicht befallsdisponierten Zustand nicht möglich ist bzw. versäumt wurde, ist die Behandlung mit Insektiziden dringend geboten. Erhebungen haben gezeigt, daß bis zu 20 % des jährlichen Holzeinschlags in der Bundesrepublik Deutschland eine entsprechende Behandlung erfahren, wofür 20 – 30 t Wirkstoff zur Anwendung gelangen (WULF und WICHMANN 1989). Bei größerem Anfall von Kalamitätsholz dürfte dieser Wert verständlicherweise noch höher liegen. Damit gehört die Borkenkäfer-Bekämpfung zu den aufwendigsten Forstschutzmaßnahmen, die

im Insektizidbereich in normalen Forstwirtschaftsjahren den meisten Mittelverbrauch verursacht.

Darüber hinaus handelt es sich auch um einen Bereich, wo anhaltend wirksame Mittel benötigt werden, da das eingeschlagene Holz mit möglichst einer Behandlung gegen mehrere aufeinander folgende Käfergenerationen vom Frühjahr bis in den Spätsommer geschützt sein muß. So fordert die für dieses Anwendungsgebiet konzipierte Richtlinie nicht ohne Grund eine Wirkungsdauer von drei Monaten und zudem den vergleichsweise hohen Wirkungsgrad von 90 % (WULF 1980a). Daher ist es auch verständlich, daß gerade für dieses Gebiet seit jeher schlagkräftige und anhaltend wirksame Präparate angewendet werden. Nachdem in der Nachkriegszeit hier sogar Arsenmittel zum Einsatz kamen, dominierten später DDT-, Dieldrin- und technische HCH-Formulierungen, die in den 70er Jahren von den Lindanmitteln abgelöst wurden. Seit Mitte der 80er Jahre ist auch Lindan in der Praxis durch das synthetische Pyrethroid Cypermethrin ersetzt worden (WULF 1991b). Schließlich sind sogar Naturstoffe in Form unterschiedlicher Neem-Formulierungen zur Borkenkäfer-Bekämpfung mit gewissem Erfolg getestet worden (WULF und SCHEIDEMANN 1990, WULF 1991a). Die Sukzession der in diesem Bereich verwendeten Wirkstoffe zeigt somit beispielhaft und in eindrucksvoller Weise die Fortentwicklung auf dem Insektizidsektor in den letzten Jahrzehnten.

Sachgerechte Mittelanwendung

Im Gegensatz zu anderen Pflanzenschutzmittel-Anwendungen im Forst, die vorwiegend flächenweise erfolgen, handelt es sich bei der Borkenkäfer-Bekämpfung um eine punktuelle Mittelapplikation. Ausschließlich die Behandlung von liegenden Holzpoltern, aufgesetztem Schichtholz oder im Bestand liegenden Einzelstämmen ist bei den entsprechenden Mitteln gemäß der bei der Zulassung formulierten Anwendungshinweise vorgesehen. Die Behandlung stehender Stämme oder eine Flächenbehandlung auf die verbleibenden Ernterückstände (vorwiegend gegen Kupferstecher) könnte zwar aus Sicht der Praxis in Einzelfällen von Interesse sein, entspricht aber nicht der sachgerechten Mittelanwendung in diesem Anwendungsbereich. Diese Modalitäten der Borkenkäfer-Bekämpfung gelten seit langer Zeit, mehrfach ist in Fachzeitschriften darauf hingewie-

sen worden (z. B. WULF 1984). Die zur vollständigen Benetzung notwendigen Spritzflüssigkeitsmengen können dabei für Einzelstämme mit 5 l, für Schichtholz mit 4 l und für Holzpolter mit 3 l je Festmeter kalkuliert werden. Die Konzentration der Spritzlösung liegt je nach Wirkstoffanteil der verwendeten Mittel zwischen 0,25 und 1 %, womit in Abhängigkeit von der Aufwandmenge mit einer einmaligen Applikation eine Wirkungsdauer von 12 – 24 Wochen erzielt werden kann.

Auswirkungen auf den Naturhaushalt

Auch wenn es sich – wie vorangegangen darstellt – bei der chemischen Borkenkäfer-Bekämpfung um eine punktuelle Anwendung handelt, stellt sich hier die Frage nach den Auswirkungen auf den Naturhaushalt, zumal es um schlagkräftige und anhaltend wirksame Mittel geht. Zur Information der Praktiker im Forstschutz ist zu diesem Bereich mehrfach Stellung genommen worden (z. B. WULF 1985). Auch das nach den Orkanshäden 1990 in Braunschweig abgehaltene Borkenkäfer-Symposium hat sich zu einem großen Teil mit der Wirkung der Borkenkäfermittel auf den Naturhaushalt beschäftigt (WULF und KEHR 1991).

Ein besonderes Augenmerk wird bei den synthetischen Pyrethroiden wegen ihrer hohen Aquatoxizität auf den Schutz von Wasserorganismen gelegt. Auflagen untersagen eine Anwendung auf solchen Flächen, von denen die Gefahr einer Abschwemmung in Gewässer besteht. Zu Oberflächengewässern sind Mindestabstände von 10 bis 40 m einzuhalten, bei Behandlung von Holzpoltern im oberen und bei Einzelstämmen im unteren Bereich dieser Spanne (PFLANZENSCHUTZMITTELVERZEICHNIS 1997). Zur Frage der Wirkstoffrückstände bei Holz und Holzprodukten nach Applikation von Borkenkäfermitteln sind spezifische Untersuchungen durchgeführt worden mit dem Ergebnis, daß bei sachgerechter Anwendung keine Belastungen zu erwarten sind (WULF et al. 1993). In einem weiteren Praxisversuch sind die bei der Polterbehandlung auftretenden, auf den Boden gelangenden Durchtropfmengen von Spritzflüssigkeit ermittelt worden. Dabei hat sich gezeigt, daß im Durchschnitt nur etwa 2 % der Flüssigkeit durch den Holzpolter durchtropft und so auf den Waldboden gelangt. Auch unter ungünstigen Bedingungen (Zopfende des Polters) wird der Wert von 5 % kaum überschritten (BERENDES

und WULF 1994). Versuchsergebnisse von praxisorientierten Versuchen zur Verteilung und zum Abbauverhalten von Cypermethrin im Waldboden nach Einzelstammbehandlung sind gerade ausgewertet und werden in Kürze publiziert (BINNER und BERENDES, in Vorbereitung).

Alternative Techniken der Mittelapplikation

Die große Bedeutung des Anwendungsgebietes und der anhaltende Aufwand für die Abwehr von Borkenkäferschäden haben immer wieder zu Versuchen mit alternativen Bekämpfungsansätzen ermuntert, mit dem Ziel, die Anwendung einfacher zu machen und die Wirksamkeit zu verbessern. Insbesondere ist die Applikation systemischer Wirkstoffe bei stehenden Bäumen versucht worden, die mittels Pheromon-Beköderung zu effektiven Fangbäumen hergerichtet worden sind. Zum einen ist die äußerliche Applikation von insektiziden Pasten (DEDEK et al. 1991) oder hochkonzentrierten Flüssigformulierungen (SCHOLZ und WULF 1998) auf die Rinde versucht worden. Zum anderen sind Experimente mittels der Infusion von Lösungen (WULF et al. 1993) oder Implantation fest formulierter, insektizider Wirkstoffstäbchen (SCHOLZ 1997) in den Splint durchgeführt worden. Als zusammenfassendes Ergebnis kann festgestellt werden, daß entweder die hohe akute Toxizität der Wirkstoffe oder die mangelnde Wirksamkeit der getesteten Verfahren dafür verantwortlich ist, daß die genannten Ansätze in der bislang untersuchten Form kaum eine Aussicht haben, Eingang in die Forstschutz-Praxis zu finden.

Biologische Bekämpfung

Von den Borkenkäfer-Antagonisten kämen theoretisch wenige räuberische Käferarten, insbesondere aber entomopathogene Pilze (vgl. Abb. 4 und 5) für eine praktische Anwendung zur biologischen Bekämpfung in Frage (BATHON 1991). Da die Anzucht von Prädatoren mit Ersatzbeutetieren extrem aufwendig ist und hier nur geringe Aussichten für einen schlagkräftigen Einsatz vorhanden sind, konzentrieren sich die Anstrengungen



Abb. 4: Der Ameisenbuntkäfer (*Thanasimus formicarius*) bei der Jagd nach Buchdruckern

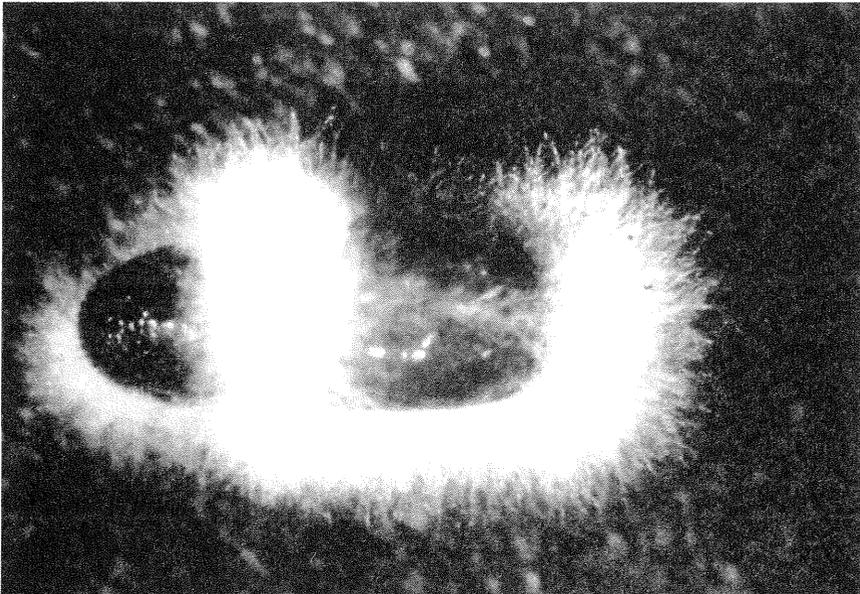


Abb. 5: Durch den entomopathogenen Pilz *Beauveria bassiana* befallener Kupferstecher

in diesem Bereich in erster Linie auf die insektenpathogenen Pilze, mit denen auch zumindest unter Laborbedingungen bereits erfolgreiche Versuchsergebnisse erzielt werden konnten (WULF 1983, PEHL und KEHR 1994). Seit Januar 1995 beschäftigt sich eine Arbeitsgruppe der BBA unter maßgeblicher Beteiligung der Fachleute aus den forstlichen Versuchsanstalten der Länder gezielt mit dieser Thematik. Eine Vielzahl von Ringversuchen mit verschiedenen Pilzen, Formulierungen und Applikationstechniken sind seither unter Freilandbedingungen durchgeführt worden. Die Ergebnisse lassen sich dahingehend zusammenfassen, daß bisher bedauerlicherweise keine Wirkungsgrade erzielt werden konnten, die geeignet wären, einen effektiven Beitrag zur Eindämmung von Massenvermehrungen bei Borkenkäfern zu leisten.

Ausblick

Die Bedeutung der Fichtenborkenkäfer als gefürchtete Forstschädlinge wird in absehbarer Zeit nicht abnehmen, sondern, insbesondere bedingt durch das Anwachsen der Flächen, auf denen keinerlei Forstschutzmaßnahmen erlaubt sind (Nationalparks, Naturschutzgebiete), eher zunehmen. Die Probleme in diesem Zusammenhang sind gerade in jüngster Zeit durch die von Borkenkäfern verursachte anwachsende Entwaldung des Nationalparks Bayerischer Wald sehr deutlich geworden. Hier hat sich gezeigt, daß die dogmatisch vertretene „Laissez faire-Haltung“ gegenüber den Borkenkäfern als politisch begründete Entscheidung (z.B. in Nationalparks) nur dann ggf. akzeptabel sein kann, wenn man bereit ist, großflächige Waldzerstörungen hinzunehmen. Als gepriesenes Patentrezept von Seiten des Naturschutzes für den gesamten Wald, insbesondere in einem dichtbesiedelten Land wie der Bundesrepublik Deutschland, muß dies aus der Sicht des Forstschutzes mit dem Ziel der Erhaltung des Waldes und seiner vielfältigen Funktionen allerdings entschieden abgelehnt werden.

Auch die Fichte, heute mit 35 % Waldflächenanteil unsere wichtigste Baumart, wird trotz aller waldbaulicher Umbauprogramme, die ja übereinstimmend auf die Erhöhung des Laubholzanteils abzielen, nicht so weit zurückgedrängt werden, daß sich die Borkenkäfer-Problematik in absehbarer Zeit quasi von selbst erledigt. So wird auch eine

integrierte Borkenkäfer-Bekämpfung, wie vorangegangen dargestellt, weiterhin notwendig sein.

Dabei ist es sicherlich möglich, die aufgezeigten Alternativen zur Insektizidanwendung zu intensivieren. Auch könnte sich bei den Nutzholzborkeäfern die Erkenntnis durchsetzen, daß die durch sie verursachten Schäden geringer zu bewerten sind, als die Handelsklassen-Einstufungen und die Interessen der Holzkäufer zuzulassen scheinen. Dennoch wird es auch zukünftig Situationen geben, die zumindest bei den rindenbrütenden Borkenkäfern eine chemische Bekämpfung gerechtfertigt und notwendig erscheinen lassen, so daß für dieses Anwendungsgebiet, aus Gründen des Waldschutzes und der Walderhaltung, Mittel verfügbar sein sollten, deren Anwendung im Rahmen des vorgestellten integrierten Bekämpfungskonzeptes möglich und vertretbar ist.

Integrated control of bark beetles

Summary

Bark beetles play an important ecological role as destruents in forests by helping to bring dying trees into the nutrient cycle. On the other hand, they are among the most dangerous forest pests, with a tendency towards mass outbreaks when enough breeding material is present, for instance following storm damage. As a result, bark beetles are able to destroy formerly healthy forests on a large scale. In order to prevent such damage, a coordinated system of integrated bark beetle control has been developed which is effective especially through the application of „clean forest management“, i.e. the reduction of potential breeding material for bark beetles.

In those cases where preventive measures cannot be carried out in time or are not sufficient, the treatment of felled wood with insecticides is a part of the integrated control system. The extremely limited and precise application of insecticidal substances (today synthetic pyrethroids are used exclusively) will always be an important and invaluable part of the integrated control concept against bark beetles, representing a justifiable contribution towards the maintenance of healthy forests according to our present state of knowledge, even in light of a critical cost/benefit-appraisal. This article for the anniver-

sary publication focuses on research carried out by the Institute for Plant Protection in Forests in relation to the development and assessment of the integrated control of bark beetles.

Literatur

AID 1993: Borkenkäfer überwachen und bekämpfen. **1015**, 36 S.

BATHON, H. 1991: Möglichkeiten der biologischen Bekämpfung von Borkenkäfern. In: WULF, A.; KEHR, R. (Hrsg.): Borkenkäfer-Gefahr nach Sturmschäden - Möglichkeiten und Grenzen einer integrierten Bekämpfung. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem **267**, 111-117.

BERENDES, K.-H. 1997: Untersuchungen zur Ermittlung der Sensitivität des Ameisenbunkkäfers (*Thanasimus formicarius* L.) gegenüber dem Dimethoat-haltigen Pflanzenschutzmittel Rogor im Labor. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem, **333**, 67-74.

BERENDES, K.-H., und WULF, A. 1994: Untersuchungen zur Erfassung der Durchtropfmenge bei der Behandlung von Stammholzpoltern mit Insektiziden. In: 49. Deutsche Pflanzenschutztagung. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, **301**, 477.

BINNER, R. und BERENDES, K.-H., 1998 (Manuskript): Untersuchungen zur Verteilung und zum Abbauverhalten eines Cypermethrin-haltigen Borkenkäferinsektizids im Waldboden nach Einzelstammbehandlung. Manuskript eingereicht für Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt

BOMBOSCH, S. 1990: Wie stark vermindern Pheromonfallen die Population des Buchdruckers? Allgemeine Forstzeitschrift **45** (14-15), 354-355.

DEDECK, W.; PAPE, J.; KÖRNER, H.-J., 1991, Umweltgerechter Pflanzenschutz gegen *Ips typographus* durch Kombination des Systeminsektizids Methamidophos im Saftstromverfahren an der Fichte mit Pheromonen. In: WULF, A.; KEHR, R. (Hrsg.): Borkenkäfer-Gefahr nach Sturmschäden - Möglichkeiten und Grenzen einer integrierten Bekämpfung. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem **267**, 118-125.

NIEMEYER, H.; WATZEK, G. und ACKERMANN, J. 1994: Verminderung von Stehendbefall durch Borkenkäferfallen. Allgemeine Forstzeitschrift **49** (4), 190-192.

PEHL, L. und KEHR, R. 1994: Biologische Bekämpfung von Borkenkäfern. Allgemeine Forstzeitschrift **49** (19), 1065-1067.

PFLANZENSCHUTZMITTELVERZEICHNIS Teil 4, Forst, 1997, Saphir Verlag, Ribbesbüttel.

SCHOLZ, D. 1997: Zur Anwendung von Baum-Implantaten im Pflanzenschutz unter besonderer Berücksichtigung baumbiologischer und mykologischer Aspekte. Diss. an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie der Georg-August-Universität, Göttingen. 132 S.

- SCHOLZ, D. und WULF, A. (1998): Ansätze zur selektiven Bekämpfung von Baumschädlingen im Öffentlichen Grün und im Forst mittels Stammapplikation systemischer Pflanzenschutzmittel. *Gesunde Pflanzen*, **50**, (1), 1-6.
- WELLENSTEIN, G. 1954: Die große Borkenkäfer-Kalamität in Südwest-Deutschland. Selbstverlag.
- WULF, A. (Federführung) 1980a: Richtlinie für die Prüfung von Insektiziden gegen rinden- und holzbrütende Borkenkäfer im Forst. ACO Druck (Braunschweig), Reihe 18 - 2.2, 12 S.
- WULF, A. (Federführung) 1980b: Richtlinie für die Prüfung von Lockstoffpräparaten für *Ips typographus* (Buchdrucker) im Forst. ACO Druck (Braunschweig), Reihe 18 - 2.2.1, 4 S.
- WULF, A. 1983: Untersuchungen über den insektenpathogenen Pilz *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. als Parasit des Borkenkäfers *Pityogenes chalcographus* L. (Scolytidae). *Zeitschrift für angewandte Entomologie* **95** (1), 34 - 46.
- WULF, A. 1984: Zur sachgerechten und bestimmungsgemäßen Anwendung von Forstschutzmitteln gegen Borkenkäfer. *Forst-Holzwirt* **39** (9), 242 - 243.
- WULF, A. 1985: Zur Umweltverträglichkeit von Borkenkäferbekämpfungsmitteln. *Allgemeine Forstzeitschrift* **40** (12), 265 - 266.
- WULF, A. 1991a: On the Effectiveness of Neem-Extracts against Bark Beetles. *Plant Research and Development* **34**, 81-88.
- WULF, A. 1991b: Über Art und Umfang der chemischen Borkenkäferbekämpfung. In: WULF, A.; KEHR, R. (Hrsg.): Borkenkäfer-Gefahr nach Sturmschäden - Möglichkeiten und Grenzen einer integrierten Bekämpfung. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem* **267**, 126-133.
- WULF, A. 1993: Den Fraß der Borkenkäfer stoppen - Massenschädlinge integriert bekämpfen. *Die landwirtsch. Zeitschr. für Produktion, Technik, Management*. (11), 100-103.
- WULF, A. und KEHR, R. (Hrsg.) 1991: Borkenkäfer-Gefahren nach Sturmschäden - Möglichkeiten und Grenzen einer integrierten Bekämpfung. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem* **267**, 227 S.
- WULF, A., PEHL, L., und BERENDES, K.-H. 1993: Anwendungsmöglichkeiten systemischer Insektizide gegen Borkenkäfer - neue Perspektiven? *Forst und Holz* **48** (8), 211-214.
- WULF, A. und SCHEIDEMANN, U. 1990: Zur Wirksamkeit von Neem-Extrakten gegen Borkenkäfer. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes (Braunschweig)* **42** (8), 118-122.
- WULF, A., SIEBERS, J., und KEHR, R. 1993: Zur Belastung von Fichtenholz und -rinde mit Cypermethrin und Lindan nach praxisüblicher Borkenkäferbekämpfung. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* **45**, (8) 172-175.
- WULF, A. und WICHMANN, C. 1989: Über Art und Umfang der Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel im Forst - Erhebungsdaten aus den Forstwirtschaftsjahren 1976, 1985 und 1986. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem* **255**, 62 S.

Vergilbungskrankheiten der Rebe

Michael Maixner und Wolfgang Reinert

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Institut für Pflanzenschutz im Weinbau, Bernkastel-Kues

1 Einleitung

Die von Phytoplasmen verursachten Krankheiten der Rebe werden unter dem Begriff "Vergilbungskrankheiten" (Grapevine yellows, Jaunisses de la vigne) zusammengefaßt. Die Krankheiten dieses Komplexes rufen an befallenen Reben nahezu identische Symptome hervor, sie unterscheiden sich jedoch in Hinblick auf ihre Epidemiologie, ihre wirtschaftliche Bedeutung und die Bekämpfungsmöglichkeiten erheblich. So zeigt die Flavescence dorée (FD) in Südeuropa einen epidemischen Verlauf, während sich die Vergilbungskrankheit (VK) in Deutschland nur vergleichsweise langsam ausbreitet. Inzwischen sind Vergilbungskrankheiten aus nahezu allen Weinbaugebieten der Welt bekannt und verursachen zunehmend Schäden, die aufgrund der in den meisten Fällen noch mangelnden Kenntnisse über die Epidemiologie nicht oder nur unzulänglich bekämpft werden können. Dagegen wurde die Ätiologie der meisten Vergilbungskrankheiten in letzter Zeit durch den Einsatz molekularbiologischer Techniken geklärt. Bislang wurden Phytoplasmen aus drei Verwandtschaftsgruppen als Erreger von Vergilbungskrankheiten bekannt.

Erste Beschreibungen der Symptome einer Vergilbungskrankheit stammen von HERSCHLER (1937) aus dem Gebiet der Mittelmosel. In den fünfziger Jahren wurden vergilbungskranke Reben im gesamten Moseltal, am Mittelrhein und in Franken entdeckt; als Ursache der neuen Krankheit wurde zu Anfang eine Ernährungsstörung angenommen. Abiotische Auslöser wurden zunächst auch für die FD vermutet, die erstmals 1949 in Frankreich festgestellt wurde und sich sehr schnell im Armagnac-Gebiet ausbreitete. Da sie dort besonders die verbreitete Hybride Baco 22A befiel und den Anbau dieser zur Branntweingewinnung verwendeten Sorte bedrohte, wurde die FD auch als "maladie du Baco 22A" bezeichnet (LEVADOUX, 1955). Nach gelungenen Pfropfübertragungen der FD durch CAUDWELL (1957) und der VK durch GÄRTEL (1965) wurden Viren als Ursache vermutet, bis CAUDWELL *et al.* (1971) ein Phytoplasma als Erreger der FD identifizierten. Erst in letzter Zeit wurden Phytoplasmen als Verursacher

Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtsch. Berlin-Dahlem, H. 349, 1998

und Australien identifiziert (BIANCO *et al.*, 1993; CHEN *et al.*, 1993; DAIRE *et al.*, 1993b, 1997a; KUSZALA *et al.*, 1993; MAIXNER *et al.*, 1994, 1995b; MARCONE *et al.*, 1996; PADOVAN *et al.*, 1995; PRINCE *et al.*, 1993; WOLF *et al.*, 1994).

Schon im Jahr 1961 identifizierten SCHVESTER *et al.* die aus Nordamerika eingeschleppte Kleinzikade *Scaphoideus titanus* als Vektor der FD in Frankreich. Die Bekämpfung dieser Zikade ist seitdem die wichtigste Maßnahme zur Eindämmung der Krankheit. Als zweiter Vektor einer Vergilbungskrankheit - der VK in Deutschland - wurde die Cixiide *Hyalesthes obsoletus* erkannt (MAIXNER, 1994) und danach auch als Vektor des Bois noir (BN) in Frankreich festgestellt (SFORZA *et al.*, 1996). Vektoren anderer Vergilbungskrankheiten sind bislang noch nicht bekannt.

Vor der Entwicklung von Bekämpfungsmaßnahmen gegen die FD war der Weinbau in den Befallsgebieten ernsthaft bedroht, während anderen Rebphytoplasmosen keine große Bedeutung zukam. Seit den 80er Jahren breiten sich jedoch neben der FD auch andere Vergilbungskrankheiten aus und nehmen an Befallshäufigkeit zu. In vielen Gebieten, so auch in Deutschland an Mosel und Mittelrhein, übertrifft ihre wirtschaftliche Bedeutung mittlerweile die der wichtigsten Viruskrankheiten. Daher sind Vergilbungskrankheiten nicht nur für die Forschung sondern auch für die weinbauliche Praxis zunehmend von Interesse.

2 Symptomatologie

2.1 Symptombeschreibung

Vergilbungsranke Weinreben entwickeln an allen grünen Organen Krankheitssymptome, die frühestens nach der Blüte, meistens jedoch erst im Spätsommer sichtbar werden. Die Kombination der Symptome an Blättern, Trieben und Trauben ist wichtig für die Diagnose, da einzelne Symptombilder auch durch andere Krankheiten oder Schädlinge hervorgerufen werden können. Art und Stärke der Symptome lassen keine Rückschlüsse auf den Typ des Erregers zu, denn die Unterschiede zwischen den Rebsorten sind größer als die Variabilität unter den verschiedenen Vergilbungskrankheiten; so zeigen von der VK befallene Reben der Sorten Riesling und Müller-Thurgau größere Unterschiede in bezug auf die Symptomausprägung als beispielsweise Rieslingreben,

die mit VK, Grapevine Yellows aus den USA oder Australian Grapevine Yellows (AGY) infiziert sind.

2.1.1 *Vitis vinifera*

Die Verfärbung der Blattspreite ist das wichtigste Merkmal, das dem gesamten Krankheitskomplex seinen Namen gab. Allerdings vergilben nur die Blattspreiten der weißen Rebsorten, Blätter roter Sorten färben sich rot. Die Verfärbung beginnt entweder als leichte Aufhellung der gesamten Blattspreite, die sich in eine gleichmäßig metallischgelbe Farbe fortsetzt, oder es verfärben sich zunächst nur Teile der Blattadern hellgelb, von denen aus sich die Vergilbung ausdehnt und später in Nekrosen übergeht (Abb. 1). Bei nur schwach vergilbten Blättern tritt beim Riesling und beim Chardonnay bisweilen auch eine deutlich sektoriell begrenzte Braunfärbung auf. Beide Typen der Blattsymptome können am selben Stock beobachtet werden. Bei roten Rebsorten fallen zunächst durch Blattnerven scharf abgegrenzte sektorielle Rotverfärbungen auf, die sich allmählich über die gesamte Blattspreite ausdehnen. Bei einigen Rebsorten, wie z. B. Riesling, Chardonnay, Scheurebe oder Kerner, rollen sich die Blätter mit dem Beginn der Verfärbung deutlich nach unten ein und werden so spröde, daß sich die Spreite mit der Hand leicht zerdrücken läßt. Bei anderen Rebsorten, beispielsweise dem Dornfelder, rollen die Blätter sich nur undeutlich. Häufig lösen sich die Spreiten kranker Blätter von den Stielen und fallen vorzeitig ab.

Das auffallendste Merkmal der Vergilbungskrankheiten an Trieben ist die mangelnde Verholzung. Kranke Triebe bleiben entweder völlig grün oder verholzen nur unvollständig. Als Folge der schlechten Holzreife sterben die Triebe im Winter ab und nehmen eine schwärzliche Farbe an, die zu den Bezeichnungen "Schwarzholzkrankheit" und "Bois noir" führte. Aufgrund der unvollständigen Ausbildung der Holzfasern verlieren längere Triebe ihre Stabilität und biegen sich nach unten (Trauertracht). Geiztriebe sind dagegen gestaucht und wachsen zickzackförmig starr nach oben. Später stirbt der Vegetationspunkt ab, die Triebe werden spröde und brechen bei der geringsten Belastung in den Knoten. Bei einigen Rebsorten, wie dem Riesling oder der Scheurebe, sind reihenförmig angeordnete schwarze Pusteln entlang der Triebe ein weiteres typisches Merkmal der Vergilbungskrankheiten. Diese fehlen im Gegensatz dazu bei den Burgundersorten.

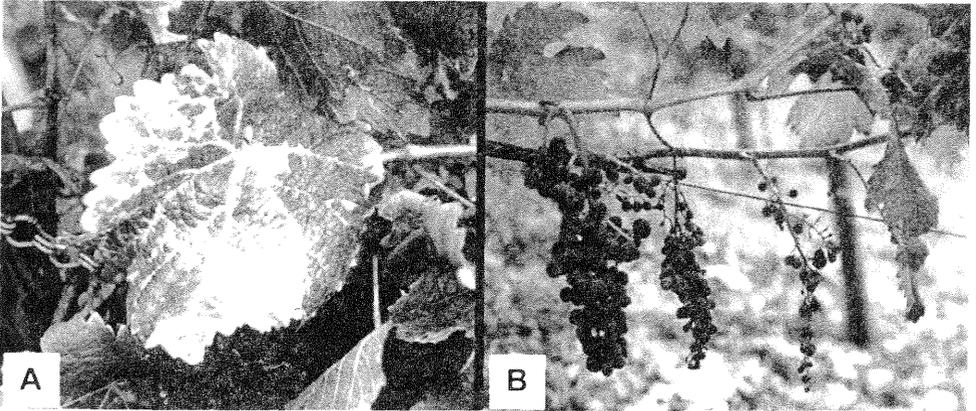


Abb. 1: Symptome der Vergilbungskrankheit.

A: Rieslingblatt mit Verfärbungen, die sich von den Blattadern ausgehend über die Spreite ausdehnen und später in Nekrosen übergehen.

B: Trauben der Rebsorte Dornfelder. Das Stielgerüst zerfällt, die Beeren schrumpfen. Sie bleiben extrem sauer und entwickeln einen bitteren Geschmack, der zu Fehlnoten im Wein führen kann.

Die Art der Symptome an den Gescheinen (Infloreszenzen) und Trauben hängt vom Zeitpunkt der Symptomausprägung ab. Bei trockener, heißer Witterung kommt es zur Verrieselung oder zum Absterben der Gescheine, so daß kranke Triebe häufig keine Trauben mehr tragen. Treten die Symptome später auf, so kommt es während der Reife zum Schrumpfen der Beeren (Abb. 1), die sauer bleiben und einen extrem bitteren Geschmack entwickeln.

2.1.2 Andere *Vitis*-Arten und Unterlagsreben

Im Gegensatz zu *V. vinifera* sind Wildreben wie *V. labrusca* und *V. riparia*, aber auch die meisten der als Unterlagsreben verwendeten Hybriden, tolerant gegenüber Vergilbungskrankheiten (CAUDWELL *et al.*, 1987). Von den in Deutschland gebräuchlichen Unterlagsrebsorten zeigen 5C und 5BB keinerlei Krankheitssymptome (BOUDON-PADIEU, 1996). Bei SO4 und 125AA läßt sich bisweilen ein leichtes Blattrollen beobachten, während bei der Unterlage 3309 der Austrieb infolge der Krankheit verzögert ist, und das Holz infizierter Triebe nicht vollständig ausreift (Caudwell *et al.*, 1994).

2.2 Erscheinungsbild kranker Rebstöcke

Die verschiedenen Rebsorten reagieren unterschiedlich stark auf die Infektion durch Vergilbungskrankheiten. Die Rebsorten Riesling und Chardonnay sind weltweit am stärksten betroffen, aber auch andere verbreitete Sorten wie Ugni Blanc (Trebiano toscano), Sauvignon Blanc und Cabernet Sauvignon sind sehr sensibel (BOUDON-PADIEU, 1996). In Deutschland bilden auch die Scheurebe und der Kerner starke Symptome aus, während Burgundersorten oder der Müller-Thurgau weniger deutlich reagieren. Einige Rebsorten sind so sensibel, daß sie kurz nach der Infektion absterben, wodurch ihr Anbau in den betroffenen Gebieten nicht mehr möglich ist. Dies trifft zum Beispiel auf die Rebsorte Niellucio (Sangiovese) in Korsika (CAUDWELL *et al.*, 1974) und die Sorte Perera in Italien (REFATTI *et al.*, 1991) zu. Über den Einfluß bestimmter Unterlagen-Edelreis Kombinationen auf die Stärke der Symptomausprägung ist noch wenig bekannt, Beobachtungen an der VK weisen jedoch auf die Existenz solcher Effekte hin.

Erkrankte Reben bilden die Symptome entweder systemisch aus oder zeigen sowohl symptomatische als auch gesund erscheinende Teile. Im Fall der FD läßt sich typischerweise folgender Krankheitsverlauf beobachten: Auf die Infektion folgt die "Krise" (CAUDWELL, 1964), eine Phase in der die Symptome am gesamten Stock sehr stark auftreten. Bei besonders empfindlichen Sorten führt sie zum Absterben befallener Stöcke. Hat der Stock die Krise überlebt, folgt darauf eine "Genesungsphase", in der die Symptome nur noch an einzelnen Trieben erscheinen; diese "Genesung" kann bis zum "Retablissement", d. h. zum völligen Verschwinden aller Symptome für ein oder mehrere Jahre führen. Ein der Krise entsprechendes Symptombild läßt sich auch bei einem neuen Vergilbungskrankheitstyp beobachten, der mit der FD eng verwandt ist und bisher nur im Weinbaugebiet der Pfalz gefunden wurde ("FD-Typ Pfalz", MAIXNER *et al.*, 1995). Auch eine mit der FD nicht identische Vergilbungskrankheit in Virginia prägt sich systemisch aus. Dagegen ist es für die VK typisch, daß die Symptome bei älteren Rebstöcken auf einzelne Triebe oder Bögen beschränkt bleiben. Jungreben reagieren besonders sensibel auf Infektionen mit Vergilbungskrankheiten. Sie prägen auch bei Befall mit VK die Symptome systemisch aus und sterben häufig innerhalb kurzer Zeit ab.

3 Ätiologie

Als Erreger der Vergilbungskrankheiten wurden Phytoplasmen (frühere Bezeichnung "mycoplasmalike organisms", MLO) identifiziert. Trotz der Ähnlichkeit der induzierten Krankheitssymptome handelt es sich um verschiedene Organismen, die zum Teil unterschiedlichen phylogenetischen Gruppen angehören.

3.1 Biologie der Phytoplasmen

Phytoplasmen sind pflanzenpathogene, zellwandlose und pleomorphe Bakterien aus der Klasse der Mollicutes, die eine Vielzahl von Krankheiten holziger und krautiger Pflanzen verursachen (McCOY *et al.*, 1989). Sie besiedeln als obligate Zellparasiten das Phloem ihrer Wirtspflanzen und sind bislang nicht *in-vitro* kultivierbar. Dadurch, und infolge der geringen Pathogentiter in der Rebe, wurde die Ätiologie der meisten Vergilbungskrankheiten erst mit Hilfe molekularbiologischer Nachweismethoden aufgeklärt. Krankheitssymptome entwickeln sich bei sensiblen Pflanzen unter anderem als Folge der Phloemdegeneration, da die Siebzellen kollabieren. Diese Schäden, wie Blattrollen und Blattverfärbungen, ähneln den Folgen mechanischer Beschädigungen des Phloems. Weitere Symptome, wie Hexenbesenwuchs und Umwandlungen der Blüten in vegetative Organe, sind auf Störungen des Phytohormonhaushalts als Folge der Infektion durch Phytoplasmen zurückzuführen (GOLINO *et al.*, 1988).

3.2 Reben als Wirte von Phytoplasmen

3.2.1 Diversität der Rebphytoplasmen

Die Erreger der Vergilbungskrankheiten wurden wie andere Phytoplasmen lange Zeit nach der Art der durch sie induzierten Krankheitssymptome, ihrer Verbreitung und ihrer Vektorspezifität klassifiziert (CAUDWELL, 1989). So wurde als FD *sensu stricto* einzig die durch die Zikade *Scaphoideus titanus* übertragbare Krankheit bezeichnet und von anderen Vergilbungskrankheiten des Mittelmeerraumes, die nicht durch diesen Vektor übertragen werden, abgetrennt. Die VK und das BN wurden aufgrund der epidemiologischen Unterschiede zur FD ebenfalls als eigene Gruppe angesehen. Krankheiten in Chile, Argentinien und Australien wurden als subtropische Vergilbungskrank-

heiten zusammengefaßt und von den nordamerikanischen Yellow's Diseases aus New York und Virginia unterschieden.

Mit der Einführung serologischer und molekularbiologischer Techniken konnten die Erreger der Vergilbungskrankheiten direkt verglichen und in ein phylogenetisches System der Phytoplasmen eingeordnet werden. Durch ELISA und Western-Blot gelang es, verschiedene Isolate der FD zu unterscheiden (BOUDON-PADIEU *et al.*, 1990), FD und BN von anderen Vergilbungskrankheiten abzutrennen (KUSZALA *et al.*, 1993) sowie die Verwandtschaft einer italienischen Vergilbungskrankheit mit Grapevine Yellow's aus New York zu zeigen (CHEN *et al.*, 1993).

Wie bei anderen Prokaryoten auch wird zur molekularbiologischen Charakterisierung der Phytoplasmen das Gen der 16S rRNA und der angrenzenden Spacer-Region, die dieses Gen vom 23S rRNA-Gen trennt, verwendet (SCHNEIDER *et al.*, 1995). Die phylogenetische Klassifizierung beruht auf der Analyse von Restriktionsfragmentmustern (RFLP-Analyse; LEE *et al.*, 1993; SCHNEIDER *et al.*, 1993) oder auf dem direkten Vergleich der DNA-Sequenzen. Nach SEEMÜLLER *et al.* (1994) können die bisher bekannten Phytoplasmen fünf Hauptgruppen (strain-cluster) zugeordnet werden. Wie neuere Untersuchungen ergaben (u.a. BERTACCINI *et al.*, 1995; BIANCO *et al.*, 1993; DAIRE *et al.*, 1993a, 1993b, 1997a, 1997b; MAIXNER *et al.*, 1994, 1995a, 1995b; PRINCE *et al.*, 1993; PADOVAN *et al.*, 1996), werden die Vergilbungskrankheiten der Rebe von ganz unterschiedlichen Phytoplasmen aus drei verschiedenen Gruppen hervorgerufen.

Am weitesten verbreitet sind Phytoplasmen aus der zur Aster Yellow's Gruppe gehörenden Stolbur-Untergruppe (Stolbur-Typ). Diese Erreger sind mit der VK in Deutschland, dem BN in Frankreich, Spanien und der Schweiz sowie Vergilbungskrankheiten in Italien und Israel assoziiert. Zu den Pathogenen aus der Elm Yellow's (EY)-Gruppe der Phytoplasmen gehören die Erreger der FD in Frankreich, Spanien und Italien, der FD-Typ Pfalz in Deutschland und möglicherweise andere Vergilbungskrankheiten in Norditalien und Nordamerika. Wenig bekannt ist bislang über Vergilbungskrankheiten aus der X-Disease-Gruppe, die bisher nur in Norditalien und Nordamerika festgestellt wurden. Die Bedeutung anderer, gelegentlich in Reben nachgewiesener Phytoplasmen als Erreger von Vergilbungskrankheiten ist unklar.

Die Beziehungen verschiedener Isolate innerhalb der einzelnen Gruppen oder Untergruppen sind noch wenig erforscht. DAIRE *et al.* (1997) fanden keine Unterschiede beim Vergleich von Isolaten der Stolbur-Untergruppe und auch die VK-Isolate aus den deutschen Weinbaugebieten zeigen keine Variabilität im Restriktionsfragmentmuster der 16S rDNA (REINERT, unveröffentlicht). Dagegen kann der Erreger des Australian Grapevine Yellows (AGY) von den aus Europa und dem Mittelmeerraum bekannten Isolaten der Stolbur-Untergruppe unterschieden werden (PADOVAN *et al.*, 1996), die aber dennoch die nächsten bekannten Verwandten dieses Erregers sind. Die Phytoplasmen vom EY-Typ weisen dagegen eine größere Variabilität auf. Durch RFLP-Analysen können nicht nur zwei Isolate der FD unterschieden werden, sondern es lassen sich auch verschiedene Isolate des FD-Typs in der Pfalz und Phytoplasmen aus Norditalien differenzieren (DAIRE *et al.*, 1997).

3.2.2 Verhalten der Phytoplasmen in infizierten Reben

Das unterschiedliche Erscheinungsbild der Vergilbungskrankheiten an kranken Stöcken wurde in Kapitel 2.2 bereits beschrieben. Die Gründe dafür sind ebensowenig bekannt wie die jahreszeitliche Dynamik der Titer der Erreger sowie die Verteilung und Bewegung der Phytoplasmen in infizierten Rebstöcken. Diese Informationen sind jedoch wichtig in Hinblick auf die Entwicklung zuverlässiger Diagnosemethoden und die Definition von Anforderungen in bezug auf Pflanzgutzertifizierung und Quarantäne, da die Vermehrung und Verwendung latent infizierten Rebmaterials als ein wichtiger Ausbreitungsweg der Vergilbungskrankheiten angesehen wird (CAUDWELL *et al.*, 1994).

In von der FD befallenen *Vinifera*-Reben mit systemischer Symptomausprägung lassen sich die Erreger in allen Teilen des Stockes nachweisen (MAIXNER *et al.*, 1997). Dagegen ist die Verteilung der Phytoplasmen in infizierten Unterlagsreben sehr unregelmäßig. CAUDWELL *et al.* (1994) fanden unterschiedliche Titer der Erreger nicht nur zwischen den Trieben infizierter Stöcke sondern auch entlang einzelner infizierter Triebe. Bei der VK sind die Symptome häufig auf einzelne Bogen beschränkt. Obwohl nicht alle Triebe solcher Bogen Symptome ausprägen müssen, können die Erreger durch PCR oder durch Indexing festgestellt werden, während der Nachweis in symptomfreien Bogen häufig fehlschlägt. Diese Beobachtungen und das über mehrere Jahre wiederkehrende Muster symptomatischer und symptomfreier Organe deuten auf eine einge-

schränkte Mobilität der Phytoplasmen in infizierten Reben hin. Dies ist nicht ausgeschlossen, da die Phytoplasmen nicht auf die Überwinterung im Wurzelsystem angewiesen sind, denn das Phloem der Weinrebe bleibt über mehrere Vegetationsperioden funktionsfähig (ESAU, 1948). Daher kann aber auch aus dormantem Holz kranker Reben infiziertes Vermehrungsmaterial gewonnen werden. Hinweise auf eine jahreszeitliche Dynamik der Phytoplasmatiter ergeben sich einerseits aus der späten Symptominduktion in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode, andererseits aus der ebenfalls im Verlauf des Sommers zunehmende Zuverlässigkeit der serologischen und molekularbiologischen Diagnose.

Die Stärke der Symptomausprägung wird unter anderem auch durch klimatische Faktoren beeinflusst. Hohe Temperaturen und geringe Niederschläge bedingen eine frühe Symptomausprägung schon während oder kurz nach der Blüte, während die Symptome sich bei naßkalter Witterung verzögert entwickeln und weniger deutlich ausprägen.

Ob Reben über eine oder mehrere Vegetationsperioden latent infiziert sein können, ist eine wichtige Frage für die Pflanzguterzeugung, die jedoch noch nicht zufriedenstellend beantwortet werden kann. Mit Sicherheit folgt aber ein Latenzstadium auf die Inokulation durch den Vektor, da unsere Übertragungsversuche mit *H. obsoletus* im Freiland ergaben, daß erste Krankheitssymptome nicht vor der auf die Inokulation folgenden Vegetationsperiode zu beobachten sind. Mehrjährige Beobachtungen an vergilbungs-kranken Reben an der Mosel deuten ebenfalls auf die Möglichkeit latenter Infektionen hin. Obwohl einmal infizierte Reben gewöhnlich über mehrere aufeinanderfolgende Jahre Krankheitssymptome zeigen, können sich bei individuellen Rebstöcken Krankheitsphasen mit symptomfreien Vegetationsperioden abwechseln. Zwar läßt sich dieses Verhalten auch durch Genesung und Neuinfektion erklären, die Hypothese, daß infizierte Reben Latenzstadien durchlaufen können, wird jedoch durch Beobachtungen gestützt, nach denen der Anteil von "Neuinfektionen" nach mindestens einer symptomfreien Vegetationsperiode bei Reben signifikant höher als der Durchschnitt ist, wenn sie in vorangegangenen Jahren schon einmal als vergilbungskrank bonitiert worden waren (Abb. 2; MAIXNER & REINERT, 1997).

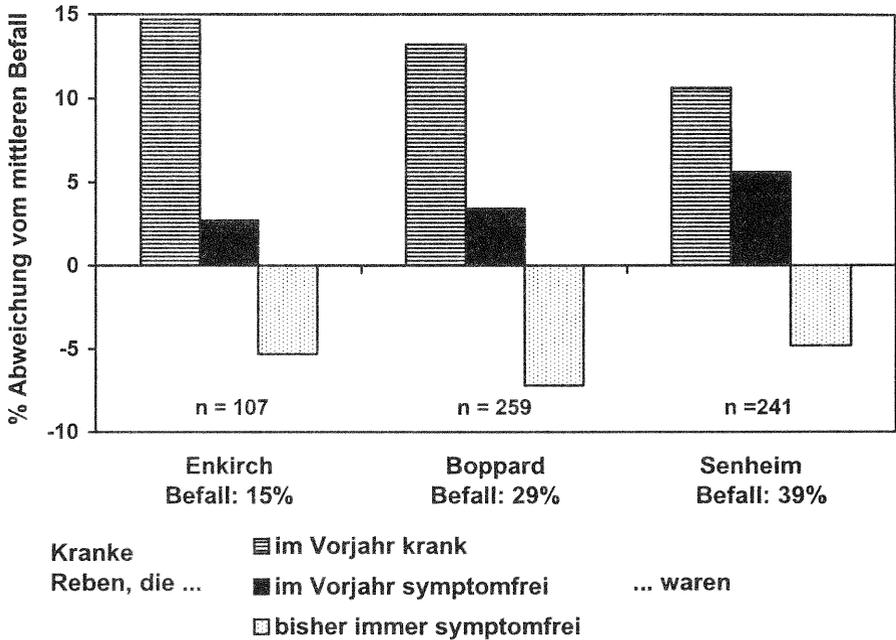


Abb. 2: Einfluß der Vorgeschichte vergilbungs kranker Reben auf die Wahrscheinlichkeit der Symptomausprägung. Vergleich der Befallshäufigkeit in den einzelnen Gruppen mit dem mittleren Befall im Boniturjahr. Die überdurchschnittliche Befallshäufigkeit bei Reben, die zwar im Vorjahr symptomfrei waren, während der Beobachtungszeit aber mindestens einmal als krank bonitiert wurden, weist auf die Möglichkeit latenter Infektionen hin.

4 Epidemiologie

4.1 Verbreitung der Rebphytoplasmosen

Seit die VK in den dreißiger Jahren beschrieben wurde, blieb sie weitgehend auf die Rebflächen an Mosel und Rhein beschränkt. Seit Ende der 80er Jahre nimmt der Befall in diesen traditionellen Verbreitungsgebieten zu, gleichzeitig breitet sich die VK, parallel zur Ausdehnung des BN in Frankreich, im übrigen Deutschland aus. Inzwischen ist die VK aus fast allen deutschen Weinbaugebieten bekannt. Besonders deutlich ist die Zunahme vergilbungs kranker Reben in der Rheinpfalz und an der Nahe.

Auch in anderen Weinbaugebieten steigt die Inzidenz der Vergilbungskrankheiten an. Nach dem Erstauftreten der FD in der Gascogne in den 50er Jahren befiel sie 1969 die korsischen Weinberge, breitete sich weiter aus nach l'Aude, wurde in den 80er Jahren an der Haute-Garonne und im Rhonetal gefunden und befiel danach die Weinbaugebiete des Tarn und der östlichen Pyrenäen. In den 90er Jahren brach die Krankheiten erneut im Hérault aus und befiel die Weinberge an der Gironde (BOUDON-PADIEU, 1996). In Italien wurde die FD anfangs der 70er Jahre zum ersten Mal beobachtet (BELLI *et al.*, 1973) und verursacht seit Anfang der 80er Jahre schwere Schäden in Venetien und Friaul (BELLI *et al.*, 1985). Erst 1996 wurde die FD auch in Spanien in den Regionen Catalonia und Navarra festgestellt (BATTLE *et al.*, 1997). Das BN wurde zunächst aus Burgund und dem französischen Jura beschrieben (CAUDWELL, 1961), inzwischen ist es in Frankreich auch im Elsaß, an der Loire und im Rhonetal verbreitet und tritt in den südlichen Weinbaugebieten zusammen mit der FD auf (BOUDON-PADIEU, 1996). Weitere Nachweise liegen aus der Schweiz sowie Nord-, Zentral- und Süditalien vor (MARCONE *et al.*, 1996). Seit 1984 ist die Krankheit aus Sizilien bekannt (GRANATA, 1984). Der Erreger einer seit 1973 bekannten Vergilbungskrankheit in Israel (TANNE & NITZANY, 1973), die zur Zeit besonders auf dem Golan Schäden verursacht, wurde inzwischen ebenfalls als der Stolbur-Untergruppe zugehörig bestimmt (DAIRE *et al.*, 1993a).

In den USA sind Vergilbungskrankheiten vom Elm Yellows- und vom X-Disease-Typ auf die östlichen Weinbaugebiete beschränkt. In New York und Ohio sind die Schäden bisher ohne wirtschaftliche Bedeutung, während einzelne mit Chardonnay bestockte Weinberge in Virginia stärker befallen sind. In Australien wurde ein Grapevine Yellows 1979 bei der Rebsorte Riesling beobachtet und zunächst als "Rhine-Riesling Problem" bezeichnet (MAGAREY, 1979). Inzwischen hat sich das Australian Grapevine Yellows (AGY) in die wichtigsten Weinbaugebiete South Australias, Victorias und New South Wales' ausgebreitet. AGY tritt fast ausschließlich in Riesling- und Chardonnayweinbergen auf, wo bis zu 40 % der Reben infiziert sein können (MAGAREY & MAIXNER, in Vorb.).

4.2 Mechanismen der Ausbreitung

Phytoplasmen können sich als obligate Zellparasiten nicht aktiv verbreiten. Im Freiland sind sie auf Vektoren angewiesen, während experimentell die Infektion gesunder Pflanzen auch mit Hilfe parasitischer Pflanzen (*Cuscuta* spp.) und durch Pfropfung erfolgen kann. Die Möglichkeit der Pfropfübertragung ist für die Ausbreitung der Rebphytoplasmosen von praktischer Bedeutung, denn Rebenpflanzgut wird durch Pfropfung von *V. vinifera*-Edelreisern auf Unterlagsreben gewonnen.

Kenntnisse über den jeweiligen Übertragungszyklus der einzelnen Vergilbungskrankheiten sind insbesondere dann notwendig, wenn Bekämpfungsstrategien entwickelt werden sollen. Im einfachsten Fall besteht der Zyklus aus einem Wirtswechsel des Erregers zwischen der Weinrebe und einer Vektorart. Das System kann aber durch weitere Vektorspezies oder alternative Wirtspflanzen erweitert und kompliziert werden. Bisher wurde nur die Epidemiologie der FD in Südeuropa sowie der VK in Deutschland und des BN in Frankreich aufgeklärt. Vektoren und Übertragungswege anderer Vergilbungskrankheiten sind nach wie vor unbekannt.

4.2.1 Bedeutung alternativer Wirtspflanzen

Als alternative Wirtspflanzen der Phytoplasmen bezeichnet man Pflanzen, die neben den wirtschaftlich interessanten Kulturpflanzen befallen werden. Für die Epidemiologie der Vergilbungskrankheiten können sie als Reservoirs der Pathogene und als Infektionsquellen der Vektoren interessant sein. Die Kulturpflanzen treten häufig als neue Glieder in den natürlichen Zyklus der Phytoplasmen zwischen (alternativer) wilder Wirtspflanze und Vektor ein. Dabei sind zwei Modelle zu unterscheiden (CAUDWELL, 1983):

- Beim "direkten Modus" der Übertragung wird die Kulturpflanze in einen bereits existierenden Zyklus einbezogen, indem der natürliche Vektor sie als Nahrungspflanze nutzt und infiziert. Die VK, das BN und die FD sind Beispiele für diese Möglichkeit.
- Ein "indirekter Modus" liegt vor, wenn ein neu auftretender Vektor, der nicht nur die Wildpflanze sondern auch die Kulturpflanze als Nahrungsquelle nutzt, einen natürlichen Zyklus zur Kulturpflanze hin aufzweigt. Für die Vergilbungskrankheiten ist bisher nur das experimentelle System zur Übertragung der FD zwischen Rebe -

Euscelidius variegatus - *Vicia faba* als Beispiel für diesen Modus zu nennen (CAUDWELL *et al.*, 1987). Es besteht jedoch das Risiko, daß bestehende natürliche Zyklen erweitert und Schäden an Kulturpflanzen induziert werden könnten, wenn kranke Pflanzen in das Verbreitungsgebiet potentieller Vektoren verbracht oder mögliche Überträger mit breitem Wirtsspektrum in bislang nicht besiedelte Gebiete verschleppt werden.

In Europa ist kein Alternativwirt des FD-Phytoplasmas bekannt, während in Nordamerika die verbreitete Wildrebe *Vitis riparia* nicht nur die wichtigste Nahrungsquelle für *Scaphoideus titanus* (MAIXNER *et al.*, 1993), den natürlichen Vektor der FD, sondern auch ein Alternativwirt für den Erreger der Krankheit ist. Der wichtigste Wirt des VK-Phytoplasmas in Deutschland ist die Ackerwinde *Convolvulus arvensis* (MAIXNER *et al.*, 1995a), ein weit verbreitetes Weinbergsunkraut. Sie spielt für die Epidemiologie der VK eine Schlüsselrolle, da sich an ihr die Entwicklung und Überwinterung des größten Teils der Population des Vektors vollzieht.

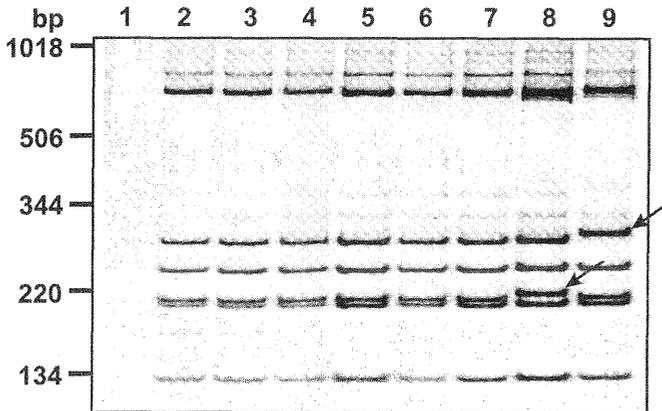


Abb. 3: Vergleich der *AluI*-Restriktionsfragmentmuster von DNA-Fragmenten, die durch Amplifikation (Primer P1/P7) der DNA von Phytoplasmen der Elm Yellows-Gruppe aus verschiedenen Wirtsorganismen im Verbreitungsgebiet des FD-Typs Pfalz gewonnen wurden. 1: Gesunder Rebsämling. 2, 3: *Alnus glutinosa*. 4: *Psylla alni*. 5-7: Symptomatische Reben (FD-Typ Pfalz). 8: Isolat der Ulmenvergilbung aus *Catharanthus roseus* als Referenz. 9: *Rubus sp.* vom Rand eines Weinberges. Das Restriktionsfragmentmuster der Proben von *Oncopsis alni* entspricht dem der Proben 2 bis 7.

Bei Untersuchungen zur Epidemiologie des "FD-Typ Pfalz" wurden in der Nähe aller untersuchten Standorte dieser Vergilbungskrankheit Erlen (*Alnus glutinosa*) gefunden, die, wie die Reben, von einem Phytoplasma aus der EY-Gruppe infiziert sind. Dieser Erreger kann durch RFLP-Analysen ribosomaler und nicht-ribosomaler Fragmente nicht von dem Erreger des FD-Typs Pfalz unterschieden werden (Abb. 3; REINERT & MAIXNER, 1997). Ob die Erreger identisch sind, und Erlen somit als alternative Wirtspflanzen eine Rolle für die Epidemiologie des FD-Typs Pfalz spielen, ist Gegenstand aktueller Untersuchungen.

Alternative Wirtspflanzen anderer Vergilbungskrankheiten sind bisher nicht bekannt.

4.2.2 Übertragung durch Vektoren

Alle bekannten Vektoren von Phytoplasmen sind Homopteren, die meisten davon Zikaden (Auchenorrhyncha). Als Überträger kommen nur phloemsaugende Arten in Frage, denn sie allein können die Phytoplasmen mit der Nahrung aus den Wirtspflanzen aufnehmen. Die Familie der Cicadellidae (engl. Leafhopper) stellt die meisten Phytoplasmavektoren, vor allem die meist phloemsaugenden Arten der Unterfamilie Deltocephalinae. Dagegen spielt die Unterfamilie der Typhlocybinae, zu denen auch die Rebzikade *Empoasca vitis* gehört, mit überwiegend parenchymsaugenden Arten eine untergeordnete Rolle. Auch in der Familie der Cixiidae (Überfamilie Fulgoroidea) - engl. Planthopper - kommen Phytoplasmavektoren vor.

Der Übertragungsmodus der Phytoplasmen ist propagativ und persistent, das heißt, die Pathogene vermehren sich im Vektor, und einmal infizierte Individuen bleiben zeitlebens infektiös. Eine vertikale Übertragung auf die nächste Generation findet nicht statt. Der Infektionszyklus besteht aus drei Phasen: In der Akquisitionphase werden die Pathogene mit dem Phloemsaft aufgenommen. Während der Latenzphase, in der die Krankheit noch nicht übertragen werden kann, findet im Vektor eine Vermehrung der Phytoplasmen statt, wobei zunächst die Zellen des Darms besiedelt werden. Bei der Zikade *Euscelidius variegatus* werden etwa fünf Wochen nach der Akquisition des FD-Phytoplasmas die Speicheldrüsen infiziert (LEFOL *et al.*, 1994). Mit der Infektion der Speicheldrüsen beginnt die Inokulationsphase, in der die Pathogene mit dem Speichel bei der Nahrungsaufnahme, aber auch bei Probestichen, in das Phloem übertragen wer-

den. Zur Identifikation einer Vektorart reicht es nicht aus, die Phytoplasmen nachzuweisen, denn alle am Phloem infizierter Pflanzen saugenden Insekten nehmen auch die Pathogene auf. Mit empfindlichen Diagnosemethoden wie der PCR können die Phytoplasmen auch in Nichtvektor-Zikaden (VEGA *et al.*, 1993) und selbst in Blattläusen, die an vergilbungsranken Pflanzen saugen (REINERT, unveröffentlicht), nachgewiesen werden. Daher ist neben dem Nachweis der Erreger im Insekt die experimentelle Übertragung der Krankheit auf gesunde Wirtspflanzen zur Identifikation eines Vektors unverzichtbar.

Viele Phytoplasmen werden nur von einer oder von wenigen Zikadenarten übertragen. Über die Gründe für die hohe Vektorspezifität ist zwar noch wenig bekannt, Untersuchungen mit dem FD-Phytoplasma weisen jedoch darauf hin, daß die Erkennung und Anheftung der Pathogene im Mitteldarm des Vektors für die Aufnahme in den Körper von entscheidender Bedeutung sind (LEFOL *et al.*, 1993).

Wie viele Viruskrankheiten gehören die Phytoplasmosen zu den "One-hit-diseases" (VAN DER PLANK, 1975), die Wirtspflanzen durch eine einmalige Inokulation dauerhaft und oft systemisch infizieren. Für die Epidemiologie der Vergilbungskrankheiten sind daher alle Faktoren entscheidend, die das Zusammentreffen infektiöser Vektoren mit den sensiblen Reben beeinflussen. Der Infektionsdruck hängt in hohem Maße vom Anteil infizierter Tiere in der Vektorpopulation ab. Daneben spielen aber auch noch Populations- und Aktivitätsdichte der Vektoren, ihr Wirtsspektrum und die Übertragungseffizienz eine Rolle (PURCELL, 1985). Auch Ort, Zeitpunkt und Entwicklungsstadium des Vektors sind für die Verbreitung und Bekämpfung der Vergilbungskrankheiten von Bedeutung.

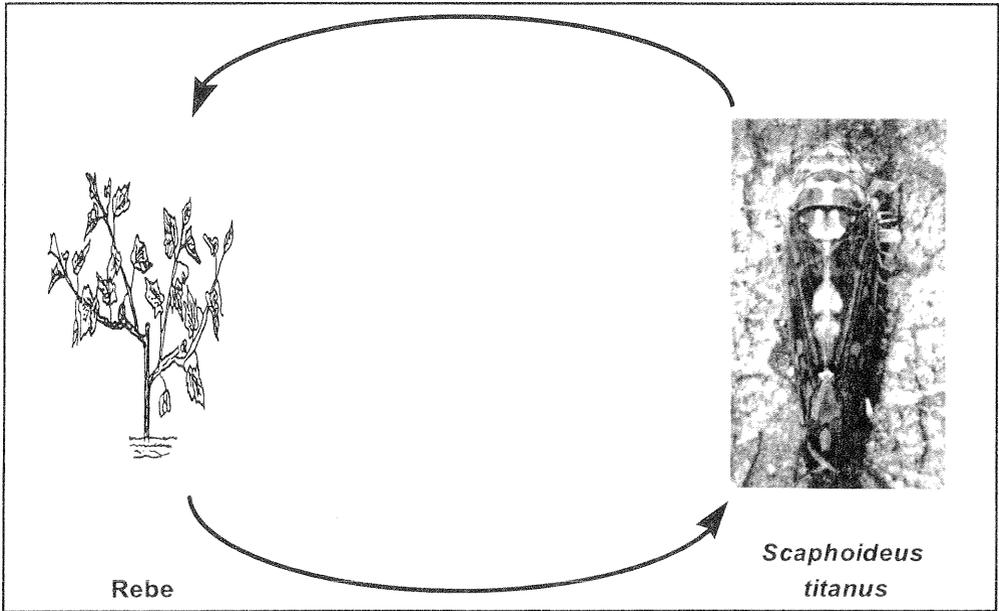
4.2.2.1 Epidemiologie der Flavescence dorée

Der Vektor der FD wurde schon 1961 identifiziert (SCHVESTER *et al.*, 1961). Es handelt sich um *Scaphoideus titanus*, eine nearktische Zikade, die vermutlich zu Anfang dieses Jahrhunderts aus Nordamerika eingeschleppt wurde (CAUDWELL, 1983). Dort ist sie vor allem auf der Wildrebe *V. riparia* weit verbreitet (MAIXNER *et al.*, 1993) und wurde vermutlich mit Rebholz nach Europa eingeführt. In Europa kommt *S. titanus* mit allen Entwicklungsstadien ausschließlich auf der Weinrebe vor, auf der er hohe

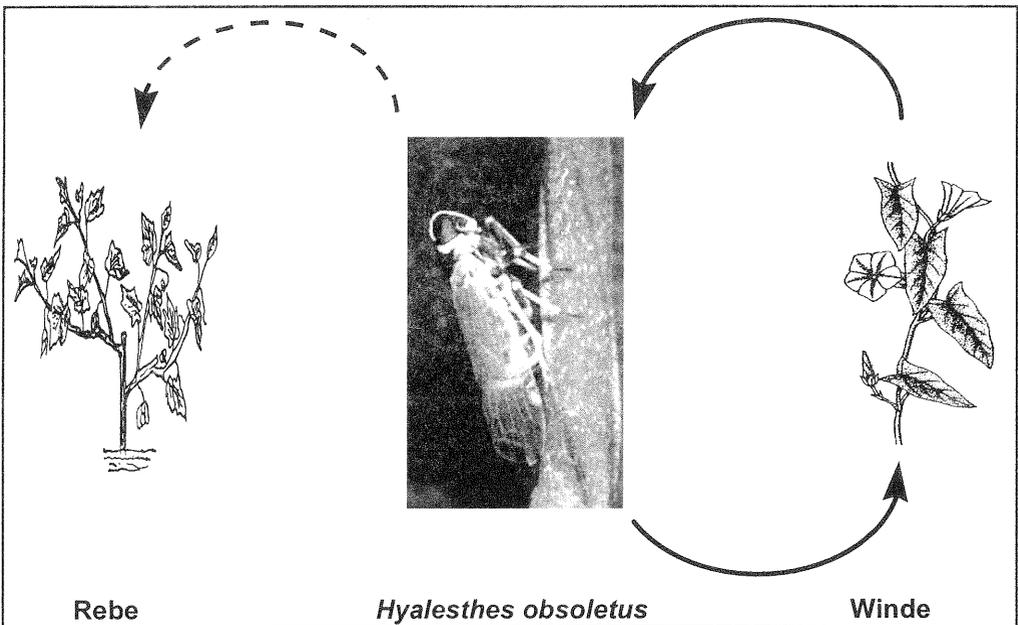
Populationsdichten erreicht. Die Eier als Überwinterungsstadium der univoltinen Zikade werden überwiegend in der Borke des zweijährigen Holzes abgelegt, und die fünf Larvalstadien saugen an den Blattadern derjenigen Rebstöcke, an denen sie schlüpfen. Die geflügelten Adulten sind dagegen sehr mobil und können sich über mehrere Kilometer verbreiten. Der erste Nachweis von *S. titanus* in Europa wurde 1960 für die Verbreitungsgebiete der FD im Südwesten Frankreichs erbracht, gefolgt von Nachweisen in Norditalien (1964), dem Tessin (1968), Korsika (1978) und Jugoslawien (1987) (ARZONE *et al.*, 1987). Die Verbreitung der Zikade wird durch ihre klimatischen Ansprüche bestimmt, da sie einerseits tiefe Wintertemperaturen zur Brechung der Diapause benötigt, zum anderen aber auf ausreichend hohe Sommertemperaturen zur Vollendung ihres Generationszyklus angewiesen ist. Seit Ende der 80er Jahre dringt *S. titanus* weiter nach Norden vor. Sein Verbreitungsgebiet hat sich seitdem vom Rhonetal nach Burgund, Savoyen und Poitou ausgedehnt (BOUDON-PADIEU, 1996). In Deutschland wurde die Zikade bisher nicht gefunden.

Infolge der Anwesenheit von *S. titanus* kommt es gewöhnlich zu epidemischen Ausbrüchen der FD (CAUDWELL, 1983). Allerdings wurde die Zikade schon 1968 im Tessin festgestellt (BAGGIOLINI *et al.*, 1968), ohne daß es dort bisher zum Auftreten der FD kam.

Die FD wird im Freiland nur von Rebe zu Rebe übertragen (Abb. 4). Infizierte Reben sind die ausschließliche Infektionsquelle des Vektors und damit ein wichtiges Element für die Epidemiologie der Krankheit. Die Übertragungswahrscheinlichkeit ist wegen der engen Bindung von *S. titanus* an Reben sehr hoch. Da schon die Larven das FD-Phytoplasma beim Saugen an kranken Reben aufnehmen, kann die Latenzphase, die ca. vier bis fünf Wochen dauert (BOUDON-PADIEU *et al.*, 1989), mit dem Erreichen des Imaginalstadiums abgeschlossen sein. Die sehr aktiven adulten Zikaden sind von Anfang an infektiös und können durch häufige Wechsel ihrer Wirtsreben die Krankheit schnell verbreiten.



Flavescence dorée



Vergilbungskrankheit

Abb. 4: Übertragungszyklen von Rebphytoplasmosen.

Oben: Die Flavescence dorée wird durch *S. titanus* von Rebe zu Rebe übertragen.

Unten: Die Vergilbungskrankheit wird durch *H. obsoletus* von der Ackerwinde als alternativer Wirtspflanze auf Reben übertragen.

4.2.2.2 Epidemiologie der Vergilbungskrankheit

Die beiden Vergilbungskrankheiten VK und BN sind auch in nördlichen Weinbaugebieten verbreitet, in denen *S. titanus* nicht vorkommt. Selbst experimentell kann dieser Vektor die Krankheiten vom Stolbur-Typ nicht übertragen (CAUDWELL *et al.*, 1987; CARRARO *et al.*, 1994). Im Gegensatz zur epidemischen Ausbreitung der FD wird seit einigen Jahren eine zwar stetige, aber relativ langsame Zunahme von VK und BN beobachtet. Aufgrund dieses Verhaltens und der Verteilungsmuster des BN in kranken Weinbergen vermutete CAUDWELL (1983), daß der Erreger des BN in unkultivierten Wirtspflanzen vorkomme und von einer polyphagen Zikade auf Reben übertragen würde. Alle Versuche zur Identifikation des Vektors schlugen jedoch fehl.

Nachdem der Erreger der VK als ein Phytoplasma der Stolbur-Untergruppe identifiziert war, begannen wir mit der Suche nach dem Vektor unter mehr als 80 in den Weinbergen gefundenen Zikadenarten. In befallenen Weinbergen wurde regelmäßig *Hyalesthes obsoletus* angetroffen, eine Zikade aus der Familie der Cixiidae, die in Deutschland bis zu diesem Zeitpunkt als extrem selten galt. Sie war für weitere Untersuchungen besonders interessant, weil sie in Süd- und Südosteuropa das Stolbur-Phytoplasma auf Solanaceen überträgt (FOS *et al.*, 1992). Wie ELISA- und PCR-Tests ergaben, waren einige *H. obsoletus*, die in befallenen Weinbergen gefangen worden waren, tatsächlich mit dem VK-Phytoplasma infiziert. Durch erfolgreiche Übertragungsversuche auf Rebsämlinge, die danach Symptome der VK entwickelten, wurde *H. obsoletus* eindeutig als Vektor der VK identifiziert (Abb. 5; MAIXNER *et al.*, 1995). Inzwischen wurde bestätigt, daß diese Zikade auch das BN überträgt (SFORZA *et al.*, 1996).

H. obsoletus ist eine extrem xerotherme Zikadenart, die sich in Deutschland an der nördlichen Grenze ihres Verbreitungsgebiets befindet (HOCH & REMANE, 1985). Im Gegensatz zu *S. titanus* saugt sie nur selten an Reben, sondern bevorzugt krautige Pflanzen. Die Larven haben ein engeres Wirtsspektrum als die Adulten. In Weinbergsarealen entwickeln sie sich an *Convolvulus arvensis*, *Urtica dioica*, *Artemisia vulgaris*, *Senecio erucifolius* und *Ranunculus bulbosus* (WEBER & MAIXNER, 1997), die entweder in den Rebflächen selbst oder in deren Umgebung wachsen. Die Ackerwinde, *C. arvensis*, ist nicht nur Wirtspflanze der Zikade, sondern auch des VK-Phytoplasmas (MAIXNER *et al.*, 1995). In Befallslagen kann ein erheblicher Teil der Windenpopulation von

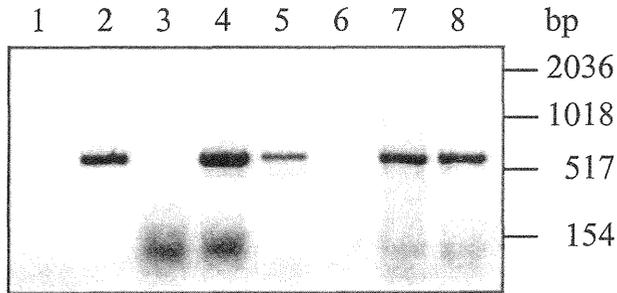


Abb. 5: Ergebnisse von Versuchen zur Übertragung des VK-Phytoplasmas (Stolbur-Untergruppe) durch *Hyalesthes obsoletus*. Nachweis des Erregers in natürlichen und experimentellen Wirtspflanzen und dem Vektor durch PCR mit Stolbur-spezifischen Primern. 1, 2: Gesunde bzw. infizierte Ackerwinde. 3: Gesunde Zikade (*Fiberiella flori*) aus Laborzucht. 4: *H. obsoletus* aus dem Übertragungsversuch; 5: Durch *H. obsoletus* infizierte Bohne; 6, 7: Gesunder bzw. durch *H. obsoletus* infizierter Rebsämling. 8: Vergilbungsranke Rebe aus dem Weinberg, in dem die Zikaden gefangen wurden.

diesem Erreger befallen sein und als Infektionsquelle für die Vektoren dienen. So waren an der Mosel in Weinbergen mit *C. arvensis* als vorherrschendem Unkraut mehr als ein Drittel der getesteten *H. obsoletus* mit dem VK-Phytoplasma infiziert, während der Anteil infizierter Vektoren in einem Weinberg mit anderer Unkrautflora nur ca. 7 % betrug (WEBER & MAIXNER, 1997). Schon die an den Wurzeln der Winden saugenden Larven werden infiziert. Der natürliche Zyklus des Erregers verläuft zwischen Ackerwinde und Zikade (Abb. 4); Reben stellen für das Phytoplasma eine Sackgasse dar, da sie aufgrund der Nahrungspräferenz der Zikade als Infektionsquelle keine Rolle spielen. Die geringe Attraktivität der Weinrebe für *H. obsoletus* ist die Ursache für die langsame Ausbreitungsgeschwindigkeit von Krankheiten wie VK und BN im Feld. Daher könnte die Einschleppung einer ampelophagen Zikade, die das VK-Phytoplasma überträgt, epidemische Ausbrüche der Krankheit zur Folge haben.

Die VK tritt überall dort auf, wo der Vektor *H. obsoletus* geeignete Bedingungen findet. Neben günstigen Temperaturen sind die Bodenverhältnisse von großer Bedeutung, da die Larven sich an den Wurzeln der Wirtspflanzen entwickeln, im Boden aber nicht aktiv graben. Daher sind lockere, skelettreiche Böden besonders günstig für den Vektor. Weiterhin ist *H. obsoletus* als extrem xerotherme Art in Deutschland auf mikroklimatisch bevorzugte Lebensräume beschränkt. Dies erklärt die hohen Populationsdichten des Vektors in den Steillagen der Weinbaugebiete Mosel-Saar-Ruwer, Mittelrhein und

Rheingau im Vergleich zu Flachlagen mit schwereren Böden. An allen von uns überprüften Standorten mit vergilbungsranken Reben wurde auch *H. obsoletus* gefunden.

4.2.2.3 Epidemiologie anderer Rebphytoplasmosen

Die Übertragungswege anderer Vergilbungskrankheiten sind noch nicht bekannt. Während *S. titanus* möglicherweise neben der FD auch eine Vergilbungskrankheit in New York überträgt (MAIXNER *et al.*, 1993), liegen keine Informationen über potentielle Vektoren der in Italien und Virginia auftretenden Krankheiten vom X-Disease Typ vor. In Australien ist *Orosius argentatus*, ein Vektor des Tomato-Big-Bud-Phytoplasmas, auch in Weinbergen weit verbreitet (OSMELAK, pers. Mitt.), ohne daß in dieser Zikade bisher der Erreger des AGY gefunden werden konnte. Als weiterer potentieller Vektor kommt die Cixiide *Oliarus atkinsoni* in Frage, da sie in Neuseeland eine Phytoplasmaose des Flachs (*Phormium tenax*) überträgt (CUMBER, 1952), deren Erreger mit dem in AGY-kranken Reben gefundenen Phytoplasma eng verwandt ist (PADOVAN *et al.*, 1996).

Die Epidemiologie der im Weinbaugebiet Rheinpfalz auftretenden Vergilbungskrankheit vom Elm Yellows-Typ ("FD-Typ Pfalz") ist ebenfalls noch ungeklärt. Obwohl *S. titanus* in der Pfalz nicht auftritt, werden Transmissionsversuche mit diesem Vektor durchgeführt. Das im Verbreitungsgebiet dieser Vergilbungskrankheit in Erlen vorkommende Phytoplasma (Abschn. 4.2.1) wurde auch in Psylliden (*Psylla alni*) und der Zikade *Oncopsis alni* detektiert. Ob diese Arten als Vektoren fungieren, wird zur Zeit durch Transmissionsversuche überprüft.

Für keine Vergilbungskrankheit kann ausgeschlossen werden, daß außer den bekannten Vektoren noch andere potentielle Überträger existieren. Daher besteht bei der Verschleppung von Zikaden oder der Ausbreitung einer Vergilbungskrankheit in bisher nicht betroffene Gebiete immer das Risiko neuer Wirt-Vektor-Kombinationen mit möglicherweise schwerwiegenden Auswirkungen auf die Reben als Kulturpflanzen. Allein die Entwicklung und Anwendung adäquater Pflanzenbeschau- und Quarantänemaßnahmen kann auf lange Sicht die Ausbreitung der rebpathogenen Phytoplasmen wirksam verhindern.

4.2.3 Andere Übertragungswege

Für die Ausbreitung der Vergilbungskrankheiten über große Entfernungen ist infiziertes Vermehrungsgut von großer Bedeutung (CAUDWELL & LARRUE, 1979). So ist es wahrscheinlich, daß die FD durch infiziertes Rebmaterial aus Nordamerika nach Europa eingeschleppt wurde (CAUDWELL, 1983). Vermutungen, das AGY wäre mit europäischem Pflanzgut nach Australien gelangt, konnten dagegen durch molekularbiologische Untersuchungen widerlegt werden, da der Erreger mit keinem der in Europa bekannten reblpathogenen Phytoplasmen identisch ist (PADOVAN *et al.*, 1996). Zwar fordern Zertifizierungs- und Pflanzenbeschaubestimmungen die Freiheit von Vermehrungsmaterial von FD bzw. allen Vergilbungskrankheiten, jedoch sind die Kontrollen bislang auf visuelle Bonituren der Vermehrungsanlagen beschränkt, womit latent infizierte Reben nicht identifiziert werden können. Besonders problematisch sind die symptomfreien Unterlagsreben, die zudem zum überwiegenden Teil in Vermehrungsanlagen im Mittelmeerraum gewonnen werden, die sich im Verbreitungsgebiet der FD befinden (BOUDON-PADIEU, 1996).

5. Diagnose

Unspezifische Methoden zum Nachweis von Phytoplasmen, wie mikroskopische und elektronenmikroskopische Techniken, sind aufgrund der niedrigen Titer der Erreger in Reben nicht zuverlässig. Neben Pfropftests auf sensible Indikatorreben stehen inzwischen auch serologische und molekularbiologische Methoden zum Nachweis der mit Vergilbungskrankheiten assoziierten Phytoplasmen zur Verfügung. Da diese Methoden jedoch nach wie vor aufwendige Extraktions- und Anreicherungsverfahren erfordern, haben sie noch keinen Eingang in die Praxis der Routinetests gefunden. Auch die jahreszeitliche Dynamik der Phytoplasmatiter und ihrer Verteilungsmuster in infizierten Reben ist noch Gegenstand laufender Untersuchungen. Außer zum Nachweis kranker Reben werden zuverlässige Diagnoseverfahren auch zur Abschätzung der Durchseuchung der Vektorpopulationen benötigt.

5.1 Serologische Nachweismethoden

Die serologischen Techniken werden durch sensitivere molekularbiologische Methoden nicht ersetzt, sondern können zur gegenseitigen Evaluierung und Ergänzung angewandt werden. So läßt sich zum Beispiel der FD-Typ Pfalz von der FD durch RFLP-Analyse unterscheiden (DAIRE *et al.*, 1997b), während beide Phytoplasmenisolate mit poly- und monoklonalen Antikörpern gegen das FD-Phytoplasma reagieren (MAIXNER *et al.*, 1995b). SEDDAS *et al.* (1996) entwickelten verschiedene monoklonale Antikörper, die entweder nur mit dem FD-Phytoplasma oder auch mit einem Elm Yellows Isolat reagieren.

Poly- oder monoklonale Antikörper wurden gegen die FD (BOUDON-PADIEU *et al.*, 1989) und eine Vergilbungskrankheit vom X-Disease-Typ (CHEN *et al.*, 1993) produziert. Monoklonale Antikörper gegen das Stolbur-Phytoplasma (FOS *et al.*, 1992) können auch zum Nachweis von VK und BN verwendet werden. Für den serologischen Nachweis der Phytoplasmen in Rebmateriale ist die Aufarbeitung und Extraktion der Proben entscheidend. Geeignete Methoden wurden für die FD (CAUDWELL & KUSZALA, 1992) und das BN (KUSZALA, 1996) entwickelt.

Einfacher als das Testen von Rebmateriale ist der serologische Nachweis der FD im Vektor *S. titanus* (Abb. 6) (BOUDON-PADIEU *et al.*, 1989; OSLER *et al.*, 1992; MAIXNER *et al.*, 1993), da sich die Probenaufarbeitung auf das Homogenisieren

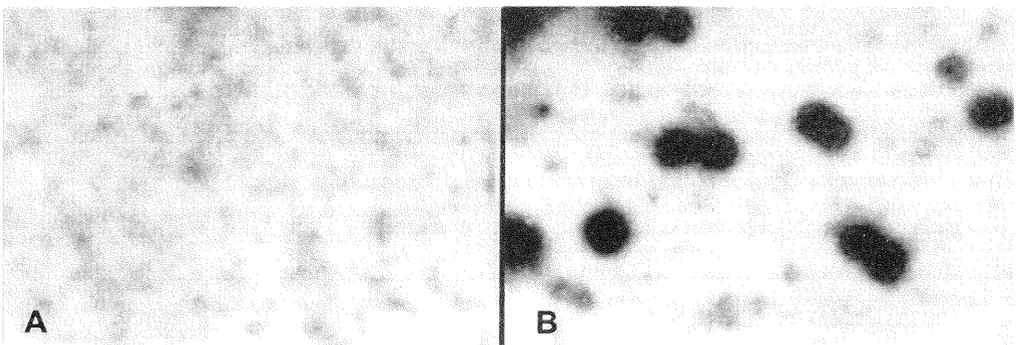


Abb. 6: Nachweis von Phytoplasmen in Extrakten des Vektors *Scaphoideus titanus* durch Immunsorbentelektronenmikroskopie (ISEM).

A: Extrakt einer gesunden Zikade.

B: Extrakt einer infizierten Zikade. Die Phytoplasmen sind durch Antikörper gegen das FD-Phytoplasma dekoriert (MAIXNER *et al.*, 1993).

einzelner Zikaden in PBS-Puffer beschränkt. WEBER & MAIXNER (1997) überprüften die Möglichkeit, die Durchseuchung von Freilandpopulation des Vektors *H. obsoletus* mit dem VK-Phytoplasma durch ELISA-Tests zu überwachen. Dazu wurden individuelle Zikaden längsgeteilt und je eine Hälfte einem ELISA- bzw. PCR-Test unterzogen. Die Interpretation der Ergebnisse wurde durch geschlechtsspezifische Unterschiede in der Reaktionsstärke erschwert, da sowohl PCR-negative als auch PCR-positive Weibchen signifikant stärker reagierten als die jeweiligen männlichen Zikaden. Mit für beide Geschlechter getrennt errechneten Positiv/Negativ-Schwellen der ELISA Ergebnisse wurden ca. 60 % der PCR positiven Zikaden als ELISA-positiv eingestuft. Keine PCR-negativen Zikaden waren im ELISA-Test als infiziert eingestuft worden. Für Felduntersuchungen zur Abschätzung des Durchseuchungsgrads der Vektorpopulationen ist die Genauigkeit des ELISA-Tests ausreichend, zumal die Frage noch offen ist, ob die Unterschiede zwischen serologischen und molekularbiologischen Tests möglicherweise den Unterschied zwischen Zikaden in der Latenz- und der Inokulationsphase repräsentieren (BOUDON-PADIEU et al., 1989). Zur Überprüfung dieser Frage ist es allerdings nötig, *H. obsoletus* in Laborzuchten zu halten, was bisher bei dieser univoltinen und überwiegend bodenlebenden Art noch nicht gelungen ist.

5.2 Molekularbiologische Nachweismethoden

Die Zuverlässigkeit der molekularbiologischen Nachweismethoden wird wesentlich von der Qualität der extrahierten DNA beeinflusst. Daher sind Reben mit ihrem hohen Gehalt an Polyphenolen ein besonders schwieriges Ausgangsmaterial. Am besten gelingt die Extraktion von Phytoplasmen-DNA aus den Adern und Stielen symptomatischer Blätter und der grünen Rinde junger Triebe. Noch nicht zufriedenstellend ist die Aufarbeitung aus dormantem Rebholz, dem üblichen Testmaterial im Rahmen der Überwachung der Pflanzgutqualität und der Quarantäne. Anders als bei grünem Gewebe reicht für Rebholz die Extraktion der Gesamt-DNA gewöhnlich nicht aus, sondern es muß eine Anreicherung der Phytoplasmen vorausgehen. Der Arbeitsaufwand steigt dadurch erheblich. Von Zikaden liefert die Gesamt-DNA-Extraktion dagegen Proben ausreichender Qualität für die Polymerase-Kettenreaktion (PCR). Einzelne Zikaden und selbst Hälften längsgeteilter *H. obsoletus* ergeben genügend DNA zum Nachweis der Phytoplasmen (WEBER & MAIXNER, 1997).

DNA-Hybridisierungstechniken wurden zum Nachweis der FD in Reben und dem Vektor *S. titanus* angewandt (BERTACCINI *et al.*, 1993; DAIRE *et al.*, 1992). Während Dot-Blots zum Screening individueller Vektoren gut geeignet sind, reicht die Sensitivität zum Nachweis der Phytoplasmen in Reben nicht immer aus. Daher entwickelte sich die Polymerase-Kettenreaktion aufgrund ihrer hohen Sensitivität und des relativ geringen Arbeitsaufwands zur bevorzugten Nachweismethode für Rebphytoplasmen.

Zur Diagnose der Phytoplasmen bedient man sich überwiegend der Amplifikation von Sequenzen des 16S rRNA Gens und der angrenzenden Spacer-Region (MAIXNER *et al.*, 1997). Da diese Abschnitte sowohl variable als auch hochkonservierte Regionen enthalten, können Primer unterschiedlicher Spezifität eingesetzt werden. Mit phytoplasmaspezifischen, "universellen" Primern können auch bisher unbekannte Phytoplasmen detektiert werden. Durch anschließenden Restriktionsverdau der amplifizierten Fragmente und nachfolgende Analyse der Restriktionsfragmentmuster (RFLP-Analyse) lassen sich die Pathogene den bekannten Gruppen oder Untergruppen zuordnen (Abb. 7). Zur Identifikation von Rebphytoplasmen empfiehlt sich die Amplifikation der gesamten 16S rDNA und der angrenzenden Spacer-Region mit den Primern P1 (DENG

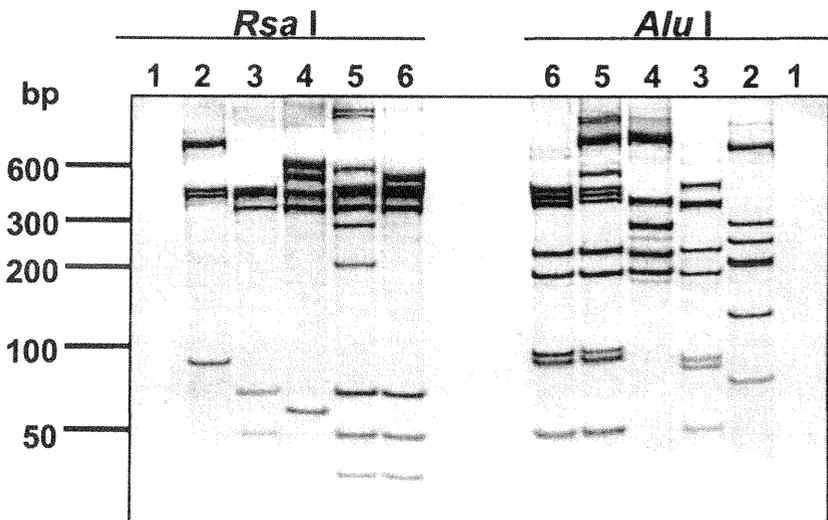


Abb. 7: RFLP-Analyse (Verdau durch *RsaI* und *AluI*) von PCR-Amplifikaten der DNA verschiedener in Reben und Weinbergsunkräutern gefundener Phytoplasmen: 1: Gesunde Rebe. 2: FD-Typ Pfalz (Elm-Yellows-Gruppe). 3: Vergilbungs-krankheit (Stolbur-Untergruppe). 4: Vergilbungs-krankheit aus Norditalien (X-Disease-Typ). 5, 6: Isolate der Aster-Yellows Gruppe.

& HIRUKI, 1991) und P7 (SMART *et al.*, 1996) und der anschließende Verdau des amplifizierten Fragments mit den Restriktionsenzymen *AluI* oder *RsaI*. Spezifische Primer erlauben die Detektion von Phytoplasmen bestimmter Gruppen oder Untergruppen ohne weitere Bearbeitung der Amplifikationsprodukte. Zum spezifischen Nachweis von Rebphytoplasmen werden sowohl ribosomale (BIANCO *et al.*, 1993; MAIXNER *et al.*, 1995a; MARCONE *et al.*, 1996; PRINCE *et al.*, 1993) als auch nicht-ribosomale Primer (DAIRE *et al.*, 1997b; MAIXNER *et al.*, 1995b; PADOVAN *et al.*, 1996) eingesetzt. Aufgrund der höheren Variabilität der amplifizierten Sequenzen sind die nicht-ribosomalen Primer in Kombination mit der RFLP-Analyse zur Untersuchung und Differenzierung von Phytoplasmen geeignet, die der gleichen Gruppe bzw. Untergruppe angehören (DAIRE *et al.*, 1997). So lassen sich zum Beispiel verschiedene Isolate des FD-Typs Pfalz damit unterscheiden (Abb. 8). Da die natürliche Variabilität innerhalb der Population nicht bekannt ist, kann es allerdings schwierig sein, die biologische Bedeutung dieser Unterschiede zu beurteilen.

Die PCR eignet sich auch zum Monitoring von Vektorpopulationen, da der Zeitaufwand für die DNA-Aufarbeitung aus Zikaden gering ist und bei Reaktionsvolumina von 10 µl ein hoher Probendurchsatz erreichbar ist. Weiterhin ist es möglich, nicht nur einzelne *H. obsoletus* sondern auch Gruppen von Vektoren zu testen, da eine infizierte Zikade unter 24 gesunden Individuen noch zuverlässig detektiert werden kann (WEBER &

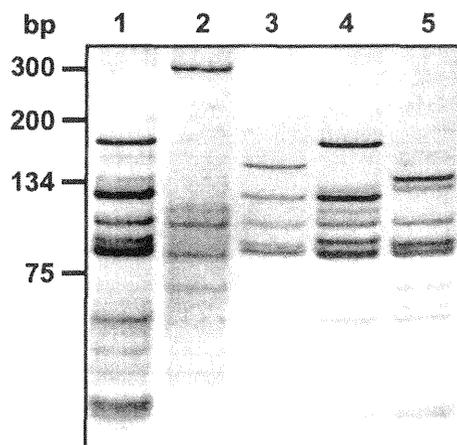


Abb. 8: RFLP-Analyse (Verdau durch *MseI*) von PCR-Amplifikaten eines nichtribosomalen DNA-Fragments von Phytoplasmen aus Reben und Erlen im Verbreitungsgebiet des FD-Typs-Pfalz. 1: *Alnus glutinosa*, St. Martin 2: Elm Yellow-Isolat aus *Catharanthus roseus* als Referenz. 3 bis 5: Reben infiziert von

MAIXNER, 1997).

6 Wirtschaftliche Bedeutung und Bekämpfung der Vergilbungskrankheiten

Vergilbungskrankheiten verursachen Schäden, indem sie zum Kümmeren oder Absterben kranker Reben führen, die Ernteerträge und das Mostgewichts vermindern, den Geschmack des Weines negativ beeinflussen und das nutzbare Sortenspektrum einengen.

In vielen Weinbaugebieten sind lokale Rebsorten traditionell mit der Produktion qualitativ hochwertiger Weine verbunden. Diese Sorten sind häufig sehr sensibel, so daß die Erträge besonders stark beeinträchtigt werden, oder ihr Anbau in den Befallsgebieten unmöglich wird. Dazu zählt z.B. die Rebsorte Sangiovese, ein wichtiger Bestandteil des Chianti, deren Anbau in den Verbreitungsgebieten der FD in Italien stark gefährdet ist (Osler, pers. Mitt.) und auf Korsika (lokale Bezeichnung: Nielluccio) zum Erliegen kam (CAUDWELL *et al.*, 1974). Auch Riesling und Chardonnay, die nicht nur in Europa sondern auch in Nordamerika und Australien zur Produktion besonders hochwertiger Weine verwandt werden, gehören zu den empfindlichsten Sorten.

In bezug auf die Ausbreitung der Vergilbungskrankheiten muß zwischen der Zunahme der Befallshäufigkeit in bereits befallenen Gebieten und der Ausbreitung in bislang nicht betroffene Regionen unterschieden werden. Besonders die FD breitet sich nicht nur epidemisch in Befallsflächen aus - so wurden im Department Aude in Südfrankreich nach dem ersten Auftreten der Krankheit 1982 bis zum Jahr 1988 schon 80 000 ha der gesamten Weinbergsfläche von 110 000 ha befallen (LAURENT & AGULHON, 1989) -, sondern sie dringt auch in bisher nicht betroffene Gebiete vor. Nach dem ersten Auftreten in Frankreich in den 50er Jahren in der Gascogne wurde die FD schon 1962 auf Korsika und ab dem Anfang der 80 Jahre in den mediterranen Weinbaugebieten des französischen Festlands nachgewiesen. Im Languedoc war seit 1982 zunächst das Department Aude befallen, von wo aus die Krankheit sich bis 1986 über sieben Departements von der Rhonemündung bis zur Ardeche ausbreitete (LAURENT & AGULHON, 1989). Inzwischen wurde die FD auch südlich der Pyrenäen in Nordspanien nachgewiesen (BATTLE *et al.*, 1997). Befallene Weinberge in denen keine

Bekämpfungsmaßnahmen durchgeführt werden, werden innerhalb weniger Jahre nahezu vollständig von der FD infiziert.

Wie neuere Untersuchungen kranker Reben ergaben, ist nahezu keine Weinbauregion in Europa frei von Vergilbungskrankheiten des Stolbur-Typs. Zudem nimmt in vielen Gebieten die Befallshäufigkeit deutlich zu, so in Norditalien, Nordspanien, Israel und einigen Weinbaugebieten Deutschlands (Abb. 9). In Deutschland sind vorwiegend die Steilhänge der Flußtäler, und damit die qualitativ besonders hochwertigen Lagen, von der Vergilbungskrankheit betroffen. An Mosel und Mittelrhein sind Befallshäufigkeiten von 20 bis 30 % keine Seltenheit. In besonders stark betroffenen Parzellen können bis zu zwei Drittel der Reben infiziert sein. Auch in der Rheinpfalz, wo in den achtziger Jahren die VK noch unbekannt war, an der Nahe und in den Steillagen des Rheingaus werden immer mehr vergilbungskranke Reben gefunden.

Die Symptomausprägung vergilbungskranker Reben wird von der Rebsorte, der Witterung und den Kulturmaßnahmen beeinflusst. Daher ist es schwierig, die Schäden in Zahlen zu fassen und zwischen verschiedenen Weinbaugebieten Vergleiche anzustellen. In Norditalien geht man von 20 bis 50 % Ertragseinbußen in befallenen Rebparzellen aus. Totalausfälle werden ab einem Anteil kranker Reben von ca. 70 % angenommen

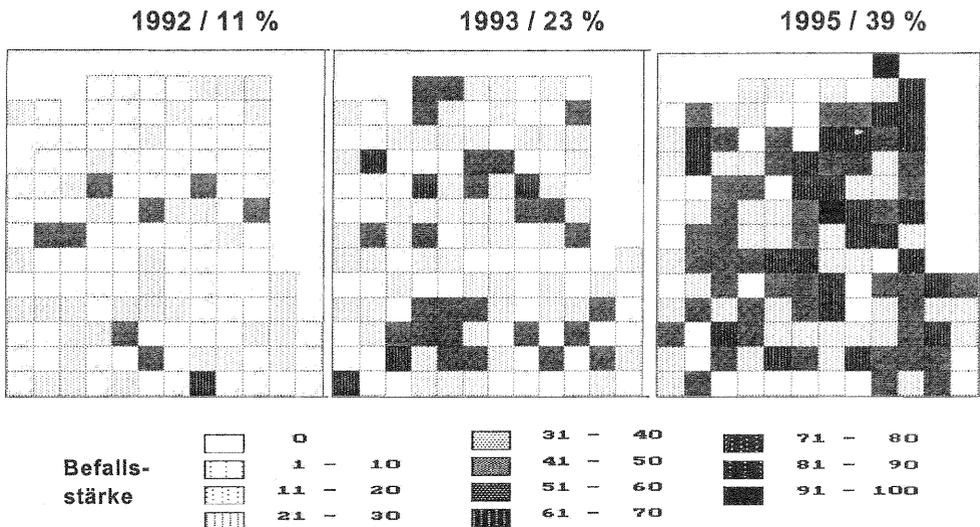


Abb. 9: Zunahme der Vergilbungskrankheit in einem Weinberg an der Mosel von 1992 (11 %) bis 1995 (39 %). Rasterkarten der Befallsstärke.

(Osler, pers. Mitteilung). In einigen Departements Südfrankreichs werden Weinberge bei mehr als 30 % Befall zwangsweise gerodet, so daß diese Befallshäufigkeit als Grenze für Totalausfälle angenommen werden muß. In unbehandelten Weinbergen des Departements Aude betragen die Ernteausfälle durch die FD im ersten Jahr nach dem Auftreten 60 bis 80 % (ROSSEAU, 1995). Im Weinbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer wurde die Bewirtschaftung von Weinbergen eingestellt, die mehr als 40 % befallene Reben aufwiesen, und in denen als Ersatz gepflanzte Jungreben innerhalb kurzer Zeit ebenfalls erkrankten.

6.1 Phytosanitäre Risiken durch Vergilbungskrankheiten

Die Erreger von Vergilbungskrankheiten gelten als Quarantäneschädlinge nach der EPPO-Zertifizierungsrichtlinie für Reben, wie auch nach der EU Pflanzenbeschaurichtlinie. Damit wird dem Risiko Rechnung getragen, daß durch die Ausbreitung von Vergilbungskrankheiten in nicht befallene Gebiete, aber auch durch die Einschleppung effektiver Vektoren in Befallsgebiete, neue Epidemien ausbrechen können.

Das Risiko durch Vergilbungskrankheiten des Stolbur-Typs wird im Vergleich zur FD geringer eingeschätzt, da diese Krankheiten nahezu ubiquitär vorkommen. Allerdings ist nicht ausgeschlossen, daß durch Einwanderung oder Einschleppung neuer Vektoren, die im Gegensatz zu dem derzeit bekannten Vektor *H. obsoletus* möglicherweise Reben als Nahrungspflanzen nutzen, der Übertragungszyklus von Rebe zu Rebe geschlossen werden könnte, und damit die Voraussetzungen für epidemische Ausbrüche auch dieser Krankheiten gegeben wären.

Rebenpflanzgut ist ein Verbreitungsvehikel für die FD über die Befallsgebiete hinaus, da die zur Pfropfung verwendeten Unterlagen als potentiell infizierte, symptomfreie Träger der Erreger angesehen werden müssen, die durch visuelle Bonitur nicht von der Vermehrung ausgeschlossen werden können (CAUDWELL & LARRUE, 1979; CAUDWELL *et al.*, 1994). Darüber hinaus liegen die meisten Unterlagenschnittgärten in Verbreitungsgebieten der FD und des Vektors *S. titanus*, so daß dort gewonnenes Rebholz sowohl die Erreger der FD als auch die Eier der Zikade enthalten kann. Durch sorgfältige Kontrolle der Rebschulen können befallene Pfropfreben, die aus infizierten Pfropfpartnern erzeugt wurden, ausgesondert werden. Allerdings entwickeln nicht alle

von der FD infizierten Pfropfreben schon in der Rebschule Symptome (BOUDON-PADIEU, 1996). Über die VK liegen darüber bislang noch keine Informationen vor.

Eine höchstmögliche Sicherheit vor der Infektion von Pflanzgut mit Vergilbungskrankheiten wäre gewährleistet, wenn Vermehrungsanlagen und Rebschulen außerhalb der Befallsgebiete lägen. Da dies nicht der Praxis entspricht, müssen solche Anlagen bestmöglich vor Infektionen geschützt werden. Dies bedeutet für die FD, daß Schnittholz als Brutstätte der Vektoren vernichtet wird, und die Anlagen während der Entwicklung der Zikaden mit Insektiziden behandelt werden. In von BN oder VK befallenen Gebieten sollten Vermehrungsanlagen und ihre Umgebung frei von Wirtspflanzen des Vektors *H. obsoletus* sein. Die Pflanzenbeschaurichtlinie der EU schreibt vor, daß Rebmaterial nur in Verkehr gebracht werden kann, wenn es aus Vermehrungsanlagen stammt, die seit mindestens zwei Vegetationsperioden frei von Anzeichen der FD waren. Damit wird der Beobachtung Rechnung getragen, daß zwischen Inokulation und Symptomausbruch eine Latenzphase liegt, in der infiziertes Rebholz nicht durch visuelle Inspektion identifiziert werden kann. Da kranke Reben, unabhängig von der Befallshäufigkeit, auf die Existenz eines Inokulums hinweisen, ist die Nichtanerkennung der gesamten Anlage die logische Konsequenz.

Eine Möglichkeit zur Eliminierung von Phytoplasmen aus infizierten Reben ist die Heißwasserbehandlung. Effekte hoher Temperaturen auf rebpathogene Phytoplasmen sind auch unter natürlichen Bedingungen bekannt. So kommt es in Australien nach Hitzeperioden zu einer offenbaren "Genesung" vergilbungs Kranker Reben (MAGEREY, pers. Mitt.). Infizierte Reben können durch Eintauchen in Wasser von 50 °C über 45 Minuten von der FD geheilt werden (CAUDWELL *et al.*, 1990). Unsere Untersuchungen zur Eliminierung des VK-Phytoplasmas zeigten ebenfalls die besten Ergebnisse bei einer Behandlung von 50 °C. In Frankreich stehen bei der ENTAV (Établissement National Technique pour l'Amélioration de la Viticulture) Geräte zur Verfügung, mit denen ca. 5000 laufende Meter Rebholz gleichzeitig behandelt werden können. Diese Behandlungsmöglichkeit ist wichtig für Exportzwecke, da viele außereuropäische Staaten die Heißwasserbehandlung als Voraussetzung für den Import vorschreiben.

6.2 Bekämpfung

Ein wesentlicher Aspekt der Bekämpfung ist die Verwendung gesunden Pflanzguts bei der Anlage von Rebflächen. Maßnahmen zur Erhaltung und Steigerung der phytosanitären Qualität des Rebenpflanzguts wurden im vorhergehenden Abschnitt besprochen. Zur aktiven Bekämpfung der Vergilbungskrankheiten gehören jedoch auch Maßnahmen zur Senkung des Infektionsdrucks und zur Unterbrechung des Infektionszyklus. Diese können sich entweder gegen die Vektoren oder gegen infizierte Reben sowie alternative Wirtspflanzen wenden. Aufgrund der Unterschiede in der Epidemiologie von FD und VK/BN müssen verschiedene Bekämpfungsstrategien verfolgt werden.

6.2.1 Maßnahmen gegen die Flavescence dorée

Zwei Maßnahmen stehen im Mittelpunkt der Bekämpfung der FD: die Vernichtung kranker Reben und die Bekämpfung des Vektors *S. titanus*. Aufgrund der Bedrohung des Weinbaus durch die FD, deren Auftreten meldepflichtig ist, wurde die Bekämpfung in Frankreich gesetzlich geregelt (BOUDON-PADIEU, 1996). So müssen Mutterrebenbestände und Rebschulen durch regelmäßige Insektizidbehandlungen vor Vektoren geschützt werden. Für Ertragsanlagen in Befallsgebieten sind ebenfalls Insektizidanwendungen vorgeschrieben. Weiterhin besteht die Pflicht zur Rodung von brachliegenden und verwilderten Rebflächen sowie zur Rodung von Ertragsrebflächen, wenn der Befall bestimmte, für die jeweilige Präfektur gültige Schwellen (meist 30 % der Rebstöcke) überschreitet.

Die Vernichtung kranker Reben ist sinnvoll, weil diese die einzige Infektionsquelle für den Vektor darstellen. Weiterhin muß durch die Verbrennung des Schnittholzes sichergestellt sein, daß die in der Borke des ein- und zweijährigen Holzes abgelegten Eier von *S. titanus* nicht zur Entwicklung kommen. Zur Bekämpfung von *S. titanus* werden Winter- und Sommerapplikationen von Insektiziden durchgeführt. Behandlungen des Rebholzes mit Oleoparathion zielen auf die darin abgelegten Eier, um die Zahl der schlüpfenden Zikaden zu minimieren. Zwischen 60 und 80 % der Eier können dadurch abgetötet werden (DECOIN, 1995; LAURENT & AGULHON, 1989). Durch Insektizidanwendungen während der Vegetationszeit wird versucht, die Zikadenpopulationen vor dem Erscheinen der geflügelten Adulten zu vernichten. Wegen des sich über meh-

rere Wochen hinziehenden Schlupfes der Larven sind dazu zwei Behandlungen notwendig. Besteht die Gefahr, daß adulte Zikaden von außerhalb in die Weinberge einwandern, wird eine dritte Behandlung durchgeführt. Da die Bekämpfung möglichst flächendeckend erfolgen muß, werden die Insektizide meist durch Hubschrauber appliziert.

Durch diese Insektizidanwendungen können der Infektionsdruck vermindert und die Schäden verringert werden. Diese Maßnahmen stehen jedoch im Gegensatz zu Bemühungen, die Anwendung von Insektiziden zu verringern. Zwar kann mindestens eine der Behandlungen mit der Bekämpfung der Traubenwickler kombiniert werden, die Einführung der biotechnischen Traubenwicklerbekämpfung durch Pheromone ist in diesen Gebieten jedoch nicht möglich. Vor einem Dilemma stehen die Ökowinzer, da sie entweder gegen die Bekämpfungspflicht verstoßen und zusätzlich schwere Schäden durch die FD hinnehmen müssen oder sich der Bekämpfung anschließen und dadurch ihre Anerkennung als Ökowinzer verlieren (ROUSSEAU, 1995). Zwar werden zur Zeit Versuche mit dem pflanzlichen Insektizid Rotenon durchgeführt, die Anwendung dieses Wirkstoffs ist jedoch aufgrund seiner hohen Warmblütertoxizität und seiner schlechten Beständigkeit nicht zufriedenstellend (DECOIN, 1995). Winzer, die nach den Richtlinien des ökologischen Weinbaus wirtschaften, aber zur Bekämpfung der FD Insektizide anwenden, verkaufen ihre Produkte unter dem Label "ORGAVIGNE" (ROUSSEAU, 1995).

6.2.2 Maßnahmen gegen die Vergilbungskrankheit

Im Gegensatz zur FD ist der Vektor der VK nicht an Reben gebunden, und der Übertragungszyklus ist komplizierter, da die Ackerwinde als alternative Wirtspflanze eingeschaltet ist. Daher muß zur Bekämpfung der VK eine andere Strategie als gegen die FD verfolgt werden.

Infizierte Reben sind für die Epidemiologie der VK ohne Bedeutung, da sie aufgrund der Präferenz von *H. obsoletus* für krautige Pflanzen keine wesentliche Infektionsquelle für diesen Vektor darstellen. Somit erübrigt sich die Rodung kranker Reben zur Bekämpfung der VK. Allerdings kann der Anteil symptomatischer Reben durch sorgfältigen Rebschnitt vermindert werden, indem nicht-systemisch erkrankte Reben bis auf

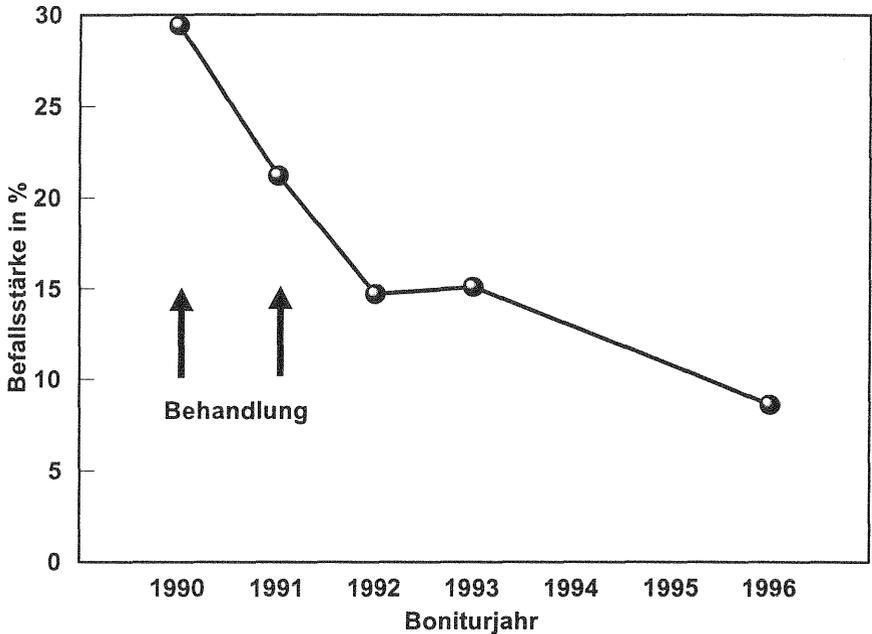


Abb.10: Einfluß des Rebschnitts auf die Befallshäufigkeit der Vergilbungskrankheit in einem Riesling-Weinberg. Durch Entfernen von Bogen, die symptomatische Triebe trugen, wurde der Anteil kranker Reben deutlich gesenkt.

solches Holz zurückgeschnitten werden, aus dem keine symptomatischen Triebe wuchsen (Abb. 10).

Aufgrund seiner Lebensweise kann *H. obsoletus* nicht durch Insektizide bekämpft werden, denn die Zikade ist die meiste Zeit ihres Lebens in der Erde verborgen und hält sich während der kurzen Flugzeit im Sommer (Abb. 11) überwiegend auf Wildpflanzen auf. Außerdem fliegen adulte Zikaden auch von außerhalb in Rebflächen ein (WEBER, 1996). Möglicherweise kann die Populationsdichte durch Bodenbearbeitungsmaßnahmen im späten Frühjahr, wenn sich die Larven aus den Überwinterungsquartieren in Richtung Bodenoberfläche bewegen (WEBER & MAIXNER, 1996), gesenkt werden.

Die Ackerwinde als wichtigste Nahrungspflanze und Infektionsquelle des Vektors spielt für die Epidemiologie der VK eine Schlüsselrolle. In bekannten Befallslagen, in Rebflächen mit hohem Infektionsdruck, vor allem aber in Jung- und Vermehrungsanlagen sollten deshalb keine Ackerwinden geduldet werden. Wo die Kulturbedingungen es

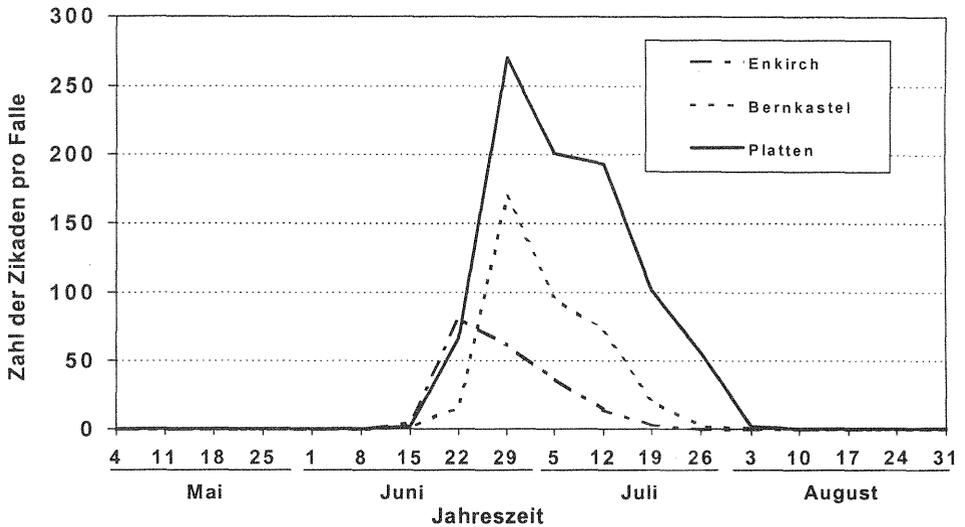


Abb. 11: Verlauf des Fluges von *Hyalesthes obsoletus* in Weinbergen des Weinbaugebiets Mosel-Saar-Ruwer im Jahr 1995.

erlauben, kann versucht werden, die Winde durch eine gezielte Begrünung zurückzudrängen. In der Praxis wachsen jedoch auch in begrünnten Weinbergen nicht selten infizierte Winde im Unterstockbereich der Reben.

Aktive Bekämpfungsmaßnahmen gegen die Ackerwinde sind nur in Gebieten sinnvoll, wo, bedingt durch die Dichte und Durchseuchung der Vektorpopulationen, ein hoher Infektionsdruck herrscht. Das Vorkommen, die Flugaktivität und die relative Dichte der Zikaden können durch Gelbfallen überwacht werden. Diese müssen unmittelbar über dem Boden exponiert werden, da nur etwa 10 % der insgesamt gefangenen *H. obsoletus* auf Fallen in der Höhe der Laubwand der Reben anzutreffen sind (WEBER, 1996). Der überwiegende Anteil wird in Höhe der Bodenvegetation gefangen. Von Gelbfallen, die nicht länger als eine Woche im Freiland exponiert waren, können die gefangenen *H. obsoletus* entnommen und für PCR-Tests aufgearbeitet werden. Zwar ist der Anteil der positiv reagierenden Proben gegenüber frisch gefangenen Tieren etwas verringert, die Ergebnisse stimmen jedoch zur Abschätzung des Durchseuchungsgrads ausreichend überein. Die Informationen über Dichte und Infektionshäufigkeit der Vektoren können von den Winzern bei der Neuanlage von Weinbergen oder beim Aufbau von Vermehrungsanlagen berücksichtigt werden, um Entscheidungen über Bekämpfungsmaßnah-

men zu treffen oder vor der Anlage von Vermehrungsflächen gegebenenfalls in weniger betroffenen Gebiete auszuweichen.

7 Weiterer Forschungsbedarf

In den letzten Jahren wurden unsere Kenntnisse über die Vergilbungskrankheiten der Reben vor allem durch den Einsatz molekularbiologischer Methoden erheblich erweitert. Es zeigte sich, daß die Erreger von Rebphytoplasmosen sehr heterogen sind. Die Diversität der rebpathogenen Phytoplasmen wird auch weiterhin ein Thema der praxisorientierten Forschung sein, da die dabei gewonnenen Erkenntnisse von unmittelbarem Nutzen für Definition von gesetzlichen Anforderungen an die Qualität und den phytosanitären Status von Rebmaterial sind.

Mit Ausnahme der FD und der VK/BN ist die Epidemiologie der Vergilbungskrankheiten noch nicht geklärt. Informationen über die Art der Vektoren, ihre Biologie und die Übertragungswege der Krankheiten sind aber notwendig, um der immer noch zunehmenden Ausbreitung der Vergilbungskrankheiten entgegenzuwirken. Neben den für die Ausbreitung verantwortlichen Arten müssen dabei auch potentielle Vektoren identifiziert werden, die im Verbreitungsgebiet der jeweiligen Vergilbungskrankheit nicht vorkommen, um gegebenenfalls durch Überwachungsmaßnahmen die Einschleppung solcher Vektoren zu verhindern. Am Beispiel der FD wird deutlich, wie neue Phytoplasma-Vektor-Kombinationen schwerwiegende Ausbrüche von Vergilbungskrankheiten provozieren können.

Untersuchungen zu den Phytoplasma-Wirt-Interaktionen sind ein weiterer wichtiger Aspekt für zukünftige Forschungsarbeiten. Dazu zählen Studien über die Mechanismen der Vektorspezifität der Phytoplasmen sowie zu den Ursachen der zu beobachtenden Sortenunterschiede in Art und Stärke der Symptomausprägung und zum Einfluß der Unterlagen auf die Ausprägung der Krankheiten.

Die Vergilbungskrankheiten der Rebe werden auch in Zukunft nicht aus dem Weinbau verschwinden; Ziel der Forschung muß es jedoch bleiben, die Schäden zu minimieren und durch geeignete Kultur- und Pflanzenschutzmaßnahmen diese Krankheiten zu einem für die Winzer handhabbaren Problem zu machen.

Yellows Diseases of Grapevine

Summary

Grapevine yellows diseases (GY) are caused by phytoplasmas. They are known from almost all viticultural areas world wide. Although the symptoms induced by the various GY are almost identical, their epidemiology and economic importance are considerably different. Typical symptoms of GY are the discoloration and rolling of leaves, the incomplete lignification of shoots, and the shriveling of clusters. The quality of yields is affected by low sugar contents and bitter taste of the berries. The reaction of infected vines depends on the cultivar and varies from immediate dying of susceptible cultivars to the lack of any specific symptoms in several rootstocks varieties.

Phytoplasmas are non culturable prokaryotes that are restricted to the phloem cells of their host plants. The classification of GY rested on the type of symptoms, the geographic area and the vector transmissibility, before molecular techniques allowed the characterization of the pathogens themselves. Recently, grape pathogenic phytoplasmas were classified based on the analysis of their 16S rRNA gene and were assigned to different phylogenetic groups. Most important are GY of the stolbur- (Vergilbungskrankheit, Bois noir) and the elm yellows group (Flavescence dorée). Different strains can be distinguished within the latter group. However, there is still a lack of information about the seasonal dynamics of phytoplasma titers and their distribution in infected vines. Symptoms of GY often are restricted to some shoots while others appear healthy. Latent infections are common in rootstocks varieties but are also possible in *Vinifera* vines.

Although GY are known for half a century, their importance is considerably increasing. The geographic range of Flavescence dorée (FD) in Southern Europe is expanding, while the incidence of Vergilbungskrankheit (VK) in Germany is rapidly increasing. Recently, GY create severe problems in viticulture of various Mediterranean countries and in Australia.

While infected wood used for grafting is a possible way of dissemination, the field spread of GY depends on vectors. Phloem feeding planthoppers and leafhoppers

(Auchenorrhyncha) are known as vectors of phytoplasma diseases. Flavescence dorée spreads epidemically since its vector *Scaphoideus titanus*, a leafhopper introduced from North America, is closely related to grapevine, which is its only natural host in Europe. Consequently, this vector transmits FD from grape to grape. VK is vectored by the planthopper *Hyalesthes obsoletus*, that prefers herbaceous hosts and acquires the phytoplasma from infected bindweed, *Convolvulus arvensis*. Due to this feeding preference of the vector, VK spreads slowly compared to FD. The epidemiology of other GY beside VK and FD is not yet understood, because no other vectors have been identified. New vector-pathogen combinations, either by long distance spread of the pathogens through infected planting material or by introduction of potential vector species in new areas, imply the risk of new epidemics of GY and a high danger for viticulture. This legitimizes restrictive quarantine and certification requirements for GY.

Phytoplasmas can be detected in grapevine by serological and molecular techniques. The polymerase chain reaction technique (PCR) is most appropriate to detect the low titers of phytoplasmas in grapevine. Various ribosomal and non-ribosomal primers have been developed that allow the detection of GY with different levels of specificity. In combination with RFLP-analysis, PCR is commonly used to characterize new phytoplasmas associated with GY. Beside the detection of phytoplasmas in infected vines, PCR as well as ELISA are also applied to monitor and screen vector populations.

Grapevine yellows are quarantine diseases. Propagation material is an important vehicle for their dissemination, since dormant cuttings and rootstocks can be latently infected and are frequently grown in areas where GY occur. Visible inspection of propagation plots and hot water treatments of dormant wood are measures to prevent their dissemination. Appropriate control measures depend on the epidemiology of the particular GY. Vector control by insecticides is most effective for FD, whose vector is closely associated with grapevine. The vector of VK, on the other hand, cannot be controlled by insecticide treatments. Instead, it is necessary to minimize infection pressure by the control of infected herbaceous hosts of the phytoplasma. The fighting of the current spread of several other types of GY is hindered by the lack of information about their epidemiology.

Literatur

- ARZONE, A., VIDANO, C. & A. ALMA (1987): Auchenorrhyncha introduced into Europe from the nearctic region: Taxonomic and phytopathological problems. In WILSON, M. R. & L. R., NAULT (Hrsg.): Proc. 2nd Int. Workshop on Leafh. and Planth. of Econ. Importance, Provo, Utah, 28th July - 1st Aug. 1986: 3-17.
- BAGGIOLINI, M., CANEVASCINI, V., CACCIA, R., TENCALLA, Y. & G. SOBRINO (1968): Présence dans le vignoble du Tessin d'une cicadelle néarctique nouvelle pour la Suisse, *Scaphoideus littoralis* Ball, vecteur possible de la Flavescence dorée. Mitt. Schw. Entomol. Gesell. **LX**, 270.
- BATTLE, A., LAVIÑA, A., BOUDON-PADIEU, E., LARRUE, J. & D. CLAIR (1997): Detection of Flavescence dorée in grapevine in Spain. *Vitis* **36**: im Druck.
- BELLI, G., FORTUSINI, A., OSLER, R. & A. AMICI (1973): Presenza di una malattia del tipo 'Flavescence Dorée' in vigneti dell'Oltrepó pavese. Riv. Pat. Veg. **9** S.IV (Suppl): 51-56.
- BELLI, G., FORTUSINI, A. & D. RUI (1985): Recent spread of flavescence dorée and its vector in vineyards of Northern Italy. *Phytopath. medit.* **24**: 189-191.
- BERTACCINI, A., ARZONE, A., ALMA, A., BOSCO, D. & M. VIBIO (1993): Detection of mycoplasma-like organisms in *Scaphoideus titanus* Ball reared on flavescence dorée infected grapevine by dot hybridizations using DNA probes. *Phytopath. medit.* **32**: 20-24.
- BERTACCINI, A., VIBIO, M. & E. STEPHANI (1995): Detection and molecular characterisation of phytoplasmas infecting grapevine in Liguria (Italy). *Phytopath. medit* **34**: 137-141.
- BIANCO, P. A., DAVIS, R. E., PRINCE, J. P., LEE, I. M., GUNDERSEN, D. E., FORTUSINI, A. & G. BELLI (1993) Double and single infections by aster yellows and elm yellows MLOs in grapevines with symptoms characteristic of flavescence dorée. *Riv. Patol. Veget.* **3**: 69-82.
- BOUDON-PADIEU, E. (1996): Jaunisses à phytoplasmes de la vigne. Diagnostic, épidémiologie et développement de recherches. *C. R. Acad. Agric. Fr.* **82**: 5-20.
- BOUDON-PADIEU, E., LARRUE, J. & A. CAUDWELL (1989): ELISA and Dot-Blot detection of Flavescence dorée-MLO in individual leafhopper vectors during latency and inoculative state. *Curr. Microbiol.* **19**: 357-364.
- BOUDON-PADIEU, E., LARRUE, J. & A. CAUDWELL (1990): Serological detection and characterization of grapevine Flavescence dorée MLO and other plant MLOs. *IOM Letters* **I**: 217-218.
- CARRARO, L., LOI, N., KUSZALA, C., CLAIR, D., BOUDON-PADIEU, E. & E. REFATTI (1994): On the ability-inability of *Scaphoideus titanus* Ball to transmit different grapevine yellows agents. *Vitis* **33**: 231-234.
- CAUDWELL, A. (1957): Deux années d'études sur la flavescence dorée, nouvelle maladie grave de la vigne. *Ann. de l'amél. des plantes* **4**: 359-393.
- CAUDWELL, A. (1961): Étude sur la maladie du bois noir de la vigne: ses rapports avec la flavescence dorée. *Ann. Épiphyties* **12**: 241-262.
- CAUDWELL, A. (1964): Identification d'une nouvelle maladie à virus de la vigne, "La Flavescence dorée". Étude des phénomènes de localisation des symptômes et de rétablissement. *Ann. Épiphyt.* **15**, No hors-série: 1-193.
- CAUDWELL, A. (1983): L'origine des jaunisses à mycoplasmes (MLO) des plantes et l'exemple des jaunisses de la vigne. *Agronomie* **3**: 103-111.

- CAUDWELL, A. (1989): Recent development and progress in epidemiology and characterization of grapevine yellows disease. Proc. 9th Meet. ICVG, Kiryat Anavim, Israel, Sept. 6-11, 1987: 173-184.
- CAUDWELL, A., BOUDON-PADIEU, E., KUSZALA, C. & J. LARRUE (1987): Biologie et étiologie de la flavescence dorée. Recherches sur son diagnostic et sur les méthodes de lutte. Atti del Convegno sulla Flavescenza dorata della vite, Verona, 175-208.
- CAUDWELL, A., GIANOTTI, J., KUSZALA, C. & J. LARRUE (1971): Étude du rôle de particules de type mycoplasme dans l'étiologie de la flavescence dorée de la vigne. Examen cytologique des plantes malades et des cicadelles infectieuses. Ann. Phytopathol. 3: 107-123.
- CAUDWELL, A. & C. KUSZALA (1992): Mise au point d'un test ELISA sur les tissus de vignes atteintes de flavescence dorée. Res. Microbiol. 143: 791-806.
- CAUDWELL, A. & J. LARRUE (1979): Examen du problème de la flavescence dorée dans le cadre de la sélection sanitaire des bois et plantes de vigne. Progr. Agric. Vitic. 96: 128-134.
- CAUDWELL, A., LARRUE, J., TASSART, V., BOIDRON, R., GREANAN, S., LEGUAY, M. & P. BERNARD (1994): Caractère 'porteur de la flavescence dorée' chez les vignes porte-greffes, en particulier le 3309 Couderc et le Fercal. Agronomie 14: 83-94.
- CAUDWELL, A., LARRUE, J., VALAT, C. & S. GREANAN (1990): Les traitements à l'eau chaude des bois de vigne atteints de la flavescence dorée. Progr. Agric. Vitic. 107: 281-286.
- CAUDWELL, A., MOUTOUS, G., BRUN, P., LARRUE, J., FOS, A., BLANCON, G. & J. P. SCHICK (1974): Les épidémies de flavescence dorée en Armagnac et en Corse et les nouvelles perspectives de lutte contre le vecteur par des traitements ovicides d'hiver. Bull. Techn. d'Inf. 294: 783-794.
- CHEN, K. H., GUO, J. R., WU, X. Y., LOI, N., CARRARO, L., GUO, Y. D., OSLER, R., PEARSON, R. & T. A. CHEN (1993): Comparison of monoclonal antibodies, DNA probes, and PCR for detection of the grapevine yellows disease agent. Phytopathology 83: 915-922.
- CUMBER, R. A. (1952): Studies on *Oliarus atkinsoni* Myers (Hem. Cixiidae), vector of the Yellow-Leaf Disease of *Phormium tenax*. N.Z. J. Sci. Technol. 10: 3-5.
- DAIRE, X., BOUDON-PADIEU, E., BERVILLE, A., SCHNEIDER, B. & A. CAUDWELL (1992): Cloned DNA probes for detection of grapevine flavescence dorée mycoplasma-like organism (MLO). Ann. Appl. Biol. 121: 95-103
- DAIRE, X., CLAIR, D., LARRUE, J. & E. BOUDON-PADIEU (1997a): Survey for grapevine yellows phytoplasmas in diverse European countries and Israel. Vitis 36: 53-54.
- DAIRE, X., CLAIR, D., LARRUE, J., BOUDON-PADIEU, E. & A. CAUDWELL (1993a): Diversity among mycoplasma-like organisms inducing grapevine yellows in France. Vitis 32: 159-163.
- DAIRE, X., CLAIR, D., LARRUE, J., BOUDON-PADIEU, E., ALMA, A., ARZONE, A., CARRARO, L., OSLER, R., REFATTI, E., GRANATA, G., CREDI, R., TANNE, E., PEARSON, R. & A. CAUDWELL (1993b): Occurrence of diverse MLOs in tissues of grapevine affected by grapevine yellows in different countries. Vitis 32: 247-248.
- DAIRE, X., CLAIR, D., REINERT, W. & E. BOUDON-PADIEU (1997b): Detection and differentiation of grapevine yellows phytoplasmas belonging to the elm yellows

- group and to the stolbur subgroup by PCR-amplification of non-ribosomal DNA. *Europ. J. Plant Path.* **103**: im Druck.
- DECOIN, M. (1995): Flavescence dorée - la guerre des corbières. *Phytoma* **477**: 26-28.
- DENG, S. & C. HIRUKI (1991): Amplification of 16S rRNA genes from culturable and nonculturable mollicutes. *J. Microbiol. Methods* **14**: 53-61.
- ESAU, K. (1948): Phloem structure in the grapevine and its seasonal changes. *Hilgardia* **18**: 217-296.
- FOS, A., DANET, J. L., ZREIK, L., GARNIER, M. & J. M. BOVÉ (1992): Use of a monoclonal antibody to detect the Stolbur mycoplasma-like organism in plants and insects and to identify a vector in France. *Plant Disease* **11**: 1092-1096.
- GÄRTEL, W. (1965): Untersuchungen über das Auftreten und das Verhalten der Flavescence dorée in den Weinbaugebieten an Mosel und Rhein. *Weinberg u. Keller* **12**: 347-376.
- GOLINO, D. A., OLDFIELD, G. N. & D. J. GUMPF (1988): Induction of flowering through infection by beet leafhopper transmitted virescence agent. *Phytopathology* **78**: 285-288.
- GRANATA, G. (1985): Epidemic yellows in vineyards of CV Inzolia in Sizily. *Phytopath. Medit.* **24**: 79-81.
- HERSCHLER, A. (1937): Erfahrungen über Wachstumsstörungen an Reben durch Bodenverhältnisse. *Dtsch. Weinb.* **16**: 177-179.
- HOCH, H. & R. REMANE (1985): Evolution und Spezifikation der Zikaden-Gattung *Hyalesthes* Signoret, 1865 (Homoptera Auchenorrhyncha Fulgoroidea Cixiidae). *Marb. Ent. Publ.* **2**: 1-427.
- KUSZALA, C. (1996): Influence du milieu d'extraction sur la detection du bois noir et de la flavescence dorée de la vigne, par des anticorps poly- et monoclonaux dirigés contre les phytoplasmes du stolbur et de la flavescence dorée. *Agronomie* **16**: 355-365.
- KUSZALA, C., CAZELLES, O., BOULUD, J., CREDI, R., GRANATA, G., KRIEL, G., MAGAREY, P., MAGNIEN, C., PEARSON, R. C., REFATTI, E., TANNE, E. & A. CAUDWELL (1993): Contribution à l'étude des jaunisses de la vigne dans le monde. Prospection par test Elisa spécifique du mycoplasma-like organism (MLO) de la flavescence dorée. *Agronomie* **13**: 929-933.
- LAURENT, J. C. & R. AGULHON (1989): La flavescence dorée de la vigne. Situation et évolution de la maladie et de la cicadelle vectrice dans le vignoble français. In CAVALLORO, R. (Hrsg.): *Plant-protection problems and prospects of integrated control in viticulture*. Commission of the European Communities, 489-496.
- LEE, I. M., HAMMOND, R. W., DAVIS, R. E. & D. E. GUNDERSEN (1993): Universal amplification and analysis of pathogen 16S rDNA for classification and identification of mycoplasma-like organisms. *Phytopathology* **83**: 834-842.
- LEFOL, C., CAUDWELL, A., LHERMINIER, J. & J. LARRUE (1993): Attachment of the flavescence dorée pathogen (MLO) to leafhopper vectors and other insects. *Ann. Appl. Biol.* **123**: 611-622.
- LEFOL, C., LHERMINIER, J., BOUDON-PADIEU, E., LARRUE, J., LOUIS, C. & A. CAUDWELL (1994): Propagation of flavescence dorée MLO (Mycoplasma-like Organism) in the leafhopper vector *Euscelidius variegatus* Kbm. *J. Invert. Pathol.* **63**: 285-293.
- LEVADOUX, L. (1955): L'état sanitaire et la sélection du Baco 22A. *Agriculture* **172**: 257-259.
- MAGAREY, P.A. (1979): The rhine riesling problem - a new disorder. *Aust. Hort. Res. Newsl.* **50**: 21-25.

- MAIXNER, M. (1994): Transmission of German grapevine yellows (Vergilbungskrankheit) by the planthopper *Hyalesthes obsoletus* (Auchenorrhyncha: Cixiidae). *Vitis* **33**: 103-104.
- MAIXNER, M., AHRENS, U. & E. SEEMÜLLER (1994): Detection of mycoplasmalike organisms associated with a yellows disease of grapevine in Germany. *J. Phytopathol* **142**: 1-10.
- MAIXNER, M., AHRENS, U. & E. SEEMÜLLER (1995): Detection of the German grapevine yellows (Vergilbungskrankheit) MLO in grapevine, alternative hosts and a vector by a specific PCR procedure. *Europ. J. Phytopathol.* **101**: 241-250.
- MAIXNER, M., DAIRE, X., BOUDON-PADIEU, E., LAVIÑA, A., BATTLE A. & W. REINERT (1997): Phytoplasmas. In WALTER, B. (Hrsg.): Sanitary selection of the grapevine: protocols for detection of viruses and virus-like diseases. Éditions INRA (im Druck).
- MAIXNER, M., PEARSON, R.C., BOUDON-PADIEU, E. & A. CAUDWELL (1993): *Scaphoideus titanus*, a possible vector of grapevine yellows in New York. *Plant Disease* **77**: 408-413.
- MAIXNER, M. & W. REINERT (1997): Spatio-temporal analysis of the distribution of grapevine yellows in Germany. Extended abstracts 12^h Meeting ICVG, Lissabon, Portugal, 29. Sept. - 3. Okt. 1997, im Druck.
- MAIXNER, M., RÜDEL, M., DAIRE, X. & E. BOUDON-PADIEU (1995): Diversity of grapevine yellows in Germany. *Vitis* **34**: 235-236.
- MARCONI, C., RAGOZZINO, A., CREDI, R. & E. SEEMÜLLER (1996): Detection and characterization of phytoplasmas infecting grapevine in southern Italy and their genetic relatedness to other grapevine yellows phytoplasmas. *Phytopath. medit.* **35**: 207-213.
- McCOY, R. E., CAUDWELL, A., CHANG, C. J., CHEN, T. A., CHIYKOWSKI, L. N., COUSIN, M. T., DALE, J. L., de LEEUW, G. T. N., GOLINO, D. A., HACKETT, K. J., KIRKPATRICK, B. C., MARWITZ, R., PETZOLD, H., SINHA, R. C., SUGIURA, M., WHITCOMB, R. F., YANG, I. L., ZHU, B. M. & E. SEEMÜLLER (1989): Plant diseases associated with mycoplasmalike organisms. In WHITCOMB, R. F. & J. G. TULLY, (Hrsg.): *The Mycoplasmas Vol.V.* Academic Press, New York.
- PADOVAN, A. C., GIBB, K. S., DAIRE, X. & E. BOUDON-PADIEU (1996): A comparison of the phytoplasma associated with Australian grapevine yellows to other phytoplasmas in grapevine. *Vitis* **35**: 189-194.
- PRINCE, J. P., DAVIS, R. E., WOLF, T. K., LEE, I.-M., MOGEN, B. D., DALLY, E. L., BERTACCINI, A., CREDI, R. & M. BARBA (1993): Molecular detection of diverse mycoplasmalike organisms (MLOs) associated with grapevine yellows and their classification with aster yellows, X-disease, and elm yellows MLOs. *Phytopathology* **83**: 1130-1137.
- PURCELL, A. H. (1985): The ecology of bacterial and mycoplasmalike plant diseases spread by leafhoppers and planthoppers. In NAULT, L. R. & J. G. RODRIGUEZ (Hrsg.): *The leafhoppers and planthoppers.* John Wiley & Sons, New York, 351-380.
- REFATTI, E., OSLER, R., CARRARO, L. & F. PAVAN (1991): Natural diffusion of a flavescence dorée-like disease of grapevine in north-eastern Italy. In RUMBOS, I. C., BOVEY, R., GONSALVES, D., HEWITT, W. B. & G. P. MARTELLI (Hrsg.): *Proc. 10th Meet. ICVG, Volos, Griechenland, Sept. 3-7, 1990,* 164-172.
- REINERT, W. & M. MAIXNER (1997): Epidemiological studies on a new grapevine yellows in Germany. Extended abstracts 12^h Meeting ICVG, Lissabon, Portugal, 29. Sept. - 3. Okt. 1997, im Druck.

- ROUSSEAU, J. (1995): Flavescence dorée: Welche Bedeutung hat sie für den ökologischen Weinbau. In Hampl, U., Hofmann, U., Dostal, B., Lünzer, I. & J. Wagenitz (Hrsg.): Öko-Weinbau. SÖL-Sonderausgabe **64**: 118-122.
- SCHNEIDER, B., SEEMÜLLER, E., SMART, C. D. & B. C. KIRKPATRICK (1995): Phylogenetic classification of plant pathogenic mycoplasma-like organisms or phytoplasmas. In RAZIN, S. & TULLY, J. G. (Hrsg.): Molecular and diagnostic procedures in mycoplasmaology Vol. I, 369-380.
- SCHNEIDER, B., AHRENS, U., KIRKPATRICK, B. C. & E. SEEMÜLLER (1993): Classification of plant-pathogenic mycoplasma-like organisms using restriction-site analysis of PCR-amplified 16S rDNA. J. Gen. Microbiol. **139**: 519-527.
- SCHVESTER, D., CARLE, P. & G. MOUTOUS (1961): Sur la transmission de la flavescence dorée des vignes par une cicadelle. C. R. Acad. Agric. France **47**: 1021-1024.
- SEDDAS, A., MEIGNOZ, R., DAIRE, X. & E. BOUDON-PADIEU (1996): Generation and characterization of monoclonal antibodies to flavescence dorée phytoplasma: Serological relationships and differences in electroblot immunoassay profiles of flavescence dorée and Elm yellows phytoplasmas. Europ. J. Plant Path. **102**: 757-764.
- SEEMÜLLER, E., SCHNEIDER, B., MÄURER, R., AHRENS, U., DAIRE, X., KISON, H., LORENZ, K.-H., FIRRAO, G., AVINENT, L., SEARS, B. B. & E. STACKEBRANDT (1994): Phylogenetic classification of phytopathogenic mollicutes by sequence analysis of 16S ribosomal DNA. Int. J. Syst. Bacteriol. **44**: 440-446.
- SMART, C. D., SCHNEIDER, B., BLOMQUIST, C. L., GUERRA, L. J., HARRISON, N. A., AHRENS, U., LORENZ, K. H., SEEMÜLLER, E. & B. C. KIRKPATRICK (1996): Phytoplasma-specific PCR primers based on sequences of the 16S-23S rRNA spacer region. Appl. Environ. Microbiol. **62**: 2988-2993.
- SFORZA, R., CLAIR, D., DAIRE, X., LARRUE, J. & E. BOUDON-PADIEU (1996): Leafhoppers, planthoppers and phytoplasmas. Proc. XX Intern. Congr. Entomol., Firenze, Italien, August 25-31, 486.
- TANNE, E. & F. E. NITZANY (1973): Virus diseases of grapevine in Israel. Vitis **12**: 222-225.
- VAN DER PLANK, J. E. (1975): Principles of plant infection. Academic Press, New York.
- WEBER, A. (1996): Untersuchungen zur Biologie der Zikade *Hyalesthes obsoletus* Signoret, 1865 (Auchenorrhyncha: Cixiidae) als Vektor der Vergilbungskrankheit der Rebe. Diplomarbeit, Fachbereich Biologie der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz.
- WEBER, A. & M. MAIXNER (1997): Habitat requirements of *Hyalesthes obsoletus* (Auchenorrhyncha: Cixiidae) and approaches to control this planthopper in vineyards. IOBC/WPRS Bulletin, (im Druck).
- WEBER, A. & M. MAIXNER (1998): Survey of populations of the planthopper vector *Hyalesthes obsoletus* Sign. (Auchenorrhyncha: Cixiidae) for infection with the phytoplasma causing grapevine yellows (Vergilbungskrankheit) in Germany. J. Appl. Ent. (im Druck).
- WOLF, T. K., PRINCE, J. P. & R. E. DAVIS (1994): Occurrence of Grapevine Yellows in Virginian vineyards. Plant Disease **78**: 208.

Untersuchungen zur Verteilung und Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln bei der Bekämpfung des Roten Brenners, *Pseudopezicula tracheiphila* (MÜLLER-THURGAU) KORF & ZHUANG, im Weinbau

Horst D. Mohr und Bernhard Holz

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Institut für Pflanzenschutz im Weinbau, Bernkastel-Kues

1 Einleitung

Der Rote Brenner, auch Sang genannt, ist eine durch den Ascomyzeten *Pseudopezicula tracheiphila* (MÜLLER-THURGAU) KORF & ZHUANG (syn. *Pseudopeziza tracheiphila* MÜLLER-THURGAU) hervorgerufene pilzliche Erkrankung des Rebstocks und seit langer Zeit im deutschen Weinbau bekannt. Bestimmte Weinbaugebiete wie Mosel-Saar-Ruwer, Ahr, Nahe, Baden und Sachsen sind stärker gefährdet als andere Regionen. An der Mosel wurden die Rebstöcke in diesem Jahrhundert wiederholt von Rotbrennerepidemien heimgesucht. Die letzten beiden Infektionswellen ereigneten sich ab etwa 1939 mit einem Maximum im Jahre 1953 sowie ab Mitte der 80er Jahre.

Der Erreger des Roten Brenners wurde von MÜLLER-THURGAU (1903) entdeckt und beschrieben. Der Pilz überwintert als Myzel in abgefallenen Rebblättern bei saprophytischer Lebensweise. Im Frühjahr bilden sich als Fortpflanzungsorgane Apothezien, die nach abgeschlossener Reife Ascosporen ausschleudern. Die Ascosporen dringen durch die Kutikula in die Epidermis der Rebblätter ein. Nur das Ausschleudern, nicht aber der Infektionsvorgang, erfordert Wasser. Von der Infektion bis zum Sichtbarwerden der Symptome vergehen zwei bis drei Wochen. Durch Besiedlung der Gefäße in den Blattadern kommt es im Endstadium der Krankheit zu einem sektoriellen Vertrocknen der Blattspreite. Die Folge ist ein frühzeitiger Blattfall im Sommer. Im Jahre 1997 traten an der Mosel außerdem stärkere Schäden an jungen Trauben auf. Der Rote Brenner kann Ertragsausfälle bis zu 70 % verursachen. Insbesondere nach stärkerem Vorjahresbefall können daher Behandlungen erforderlich sein.

Im Rahmen einer integrierten Bekämpfung verringert das Untergraben des alten, am Boden liegenden Laubes die Infektionsgefahr. Ab dem Drei- bis Sechsstadium können mit gutem Erfolg Fungizide eingesetzt werden. Dabei ist die richtige Terminierung (*vor* Niederschlägen) von entscheidender Bedeutung. Normalerweise beginnen die ersten Pflanzenschutzmaßnahmen an der Mosel im letzten Maidrittel, wenn die Reben das Entwicklungsstadium "Infloreszenzen vergrößern sich, Einzelblüten sind dicht zusammengedrängt" erreicht haben. Bei dieser sog. ersten Vorblütebehandlung wird vorbeugend gegen den Echten und Falschen Mehltau (*Oidium*, *Plasmopara*) vorgegangen. Diese Maßnahmen werden in den Steilhängen der Mosel mit dem Hubschrauber durchgeführt. Die ersten Versuche hierzu begannen 1968 (BOURQUIN 1993). Der Hubschrauber setzte sich schnell durch und verdrängte weitgehend die bis dahin verwendete Schlauchspritze. Sie wird nur noch für bestimmte Aufgaben, vor allem zum Schutz der reifenden Trauben, eingesetzt.

Bei Gefahr stärkerer Rotbrenner-Infektionen sind Behandlungen bereits ab einem früheren Entwicklungsstadium (zwei bis drei Blätter entfaltet) als sonst üblich erforderlich. Diese Situation ist an Mosel-Saar-Ruwer seit Mitte der 80er Jahre gegeben, als eine neue Rotbrenner-Epidemie registriert wurde. Unter diesen Gegebenheiten war zu klären, wie die Bekämpfung durchzuführen sei. Da zu diesem frühen Zeitpunkt kaum Blattfläche vorhanden ist und dementsprechend ein hoher Anteil der Pflanzenschutzmittel auf den Boden gelangt, waren besonders Fragen des Boden- und Umweltschutzes zu berücksichtigen. Zunehmende Kritik aus der Bevölkerung am Hubschraubereinsatz verschärfte die Problematik. Im Vordergrund stand die Frage, ob der Hubschrauber eine der Schlauchspritze vergleichbare Wirkung erzielen würde, ohne eine höhere Wirkstoffmenge zu benötigen. Dies erschien fraglich und sollte durch Versuche an verschiedenen Standorten der Mosel geklärt werden.

In diesem Zusammenhang wurde die Gelegenheit genutzt, um eine Reihe weiterer Fragen zu beantworten: Wie intensiv werden die Rebblätter von der Spritzflüssigkeit benetzt? Welche Anteile gelangen auf den Boden? Welche Anteile werden über die Luft aus der Behandlungsfläche ausgetragen und wie weit gelangen sie? In den Vergleich von Hubschrauber und Schlauchspritze sollte auch ein Sprühgerät einbezogen werden.

Da die Rotbrenner-Bekämpfung Vorrang hatte, mußten bei den Sediment-Messungen Zugeständnisse gemacht werden. Eine Messung der "direkten Abtrift" exakt nach BBA-Richtlinie (GANZELMEIER et al. 1992; 1995) war daher im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht möglich.

2 Material und Methoden

2.1 Allgemeines

Detaillierte Angaben zu den Versuchsflächen, den verwendeten Pflanzenschutzgeräten, den ausgebrachten Pflanzenschutzmitteln und Tracern, den Rebstadien, der Probenahme, der Analytik und der Witterung finden sich bei MOHR u. HOLZ (1995). Wir beschränken uns hier auf wenige orientierende Angaben:

Die Versuchsflächen lagen an der Mittel- und Untermosel in den Gemarkungen Piesport, Bernkastel, Graach, Wittlich und Pommern. Sie befanden sich meist im Steilhang, z.T. aber auch Hang oder in der Ebene. Rebsorten, Pflanzweiten und Bodenpflegemaßnahmen waren uneinheitlich. Die Versuche fanden in den Jahren 1991 und 1992 auf bestockten Rebflächen statt, also nicht wie sonst bei Abtriftmessungen üblich auf freiem Feld. Als Pflanzenschutzgeräte eingesetzt wurden zwei verschiedene Hubschraubertypen, ein Sprühgerät mit Axialgebläse und zwei verschiedene Spritzpistolen (Schlauchspritzen), s. Abb. 2. Stellvertretend ist der Aufbau der Graacher Versuchsfläche in Abb. 1 dargestellt.

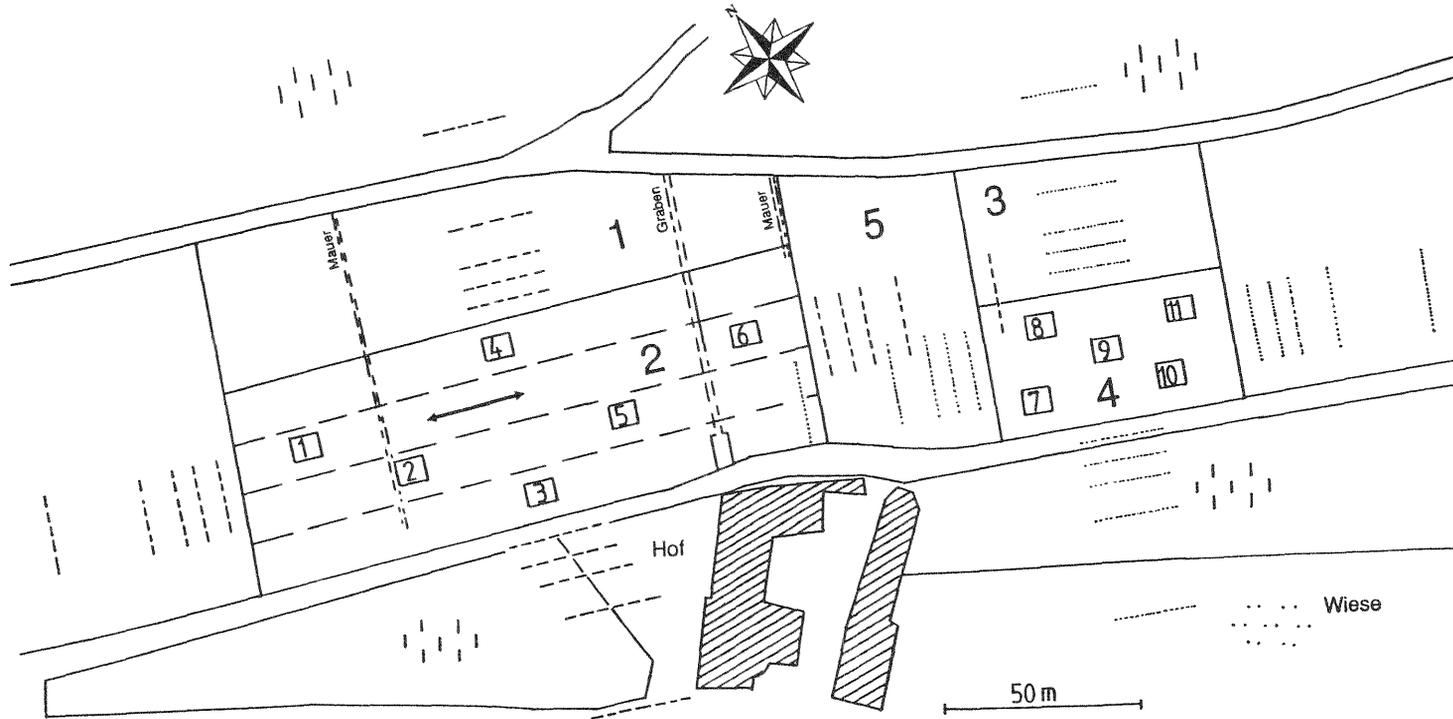
Abb. 1: Versuchsfläche Graach, 1992

1 = Hubschrauber, 2 kg/ha 2 = Hubschrauber, 3 kg/ha (vier Flugbahnen; Doppelpfeil: Flugrichtung; Testfelder 1 - 6))

3 = Schlauchspritze, 2 kg/ha 4 = Schlauchspritze, 3 kg/ha (Testfelder 7 - 11) 5 = Unbehandelt.

Gestrichelte Linien = Bodensediment des Hubschraubers oben, unten, links und rechts von der Behandlungsfläche, bis 50 m Entfernung.

Gepunktete Linien = dto, Schlauchspritze. Der Gebäudekomplex liegt am Hangfuß. Hangneigung 30 - 55 %.



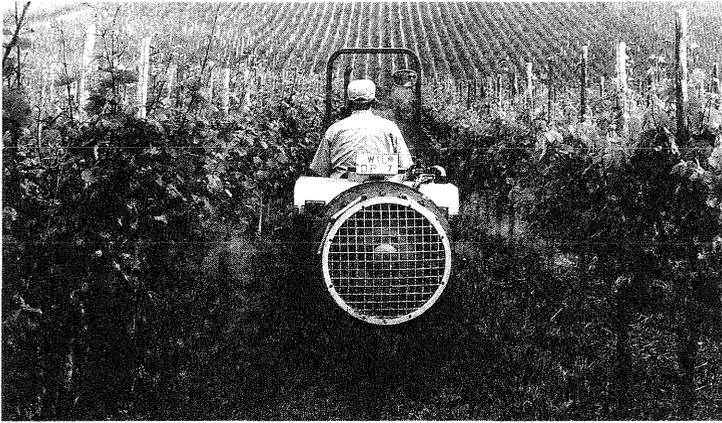
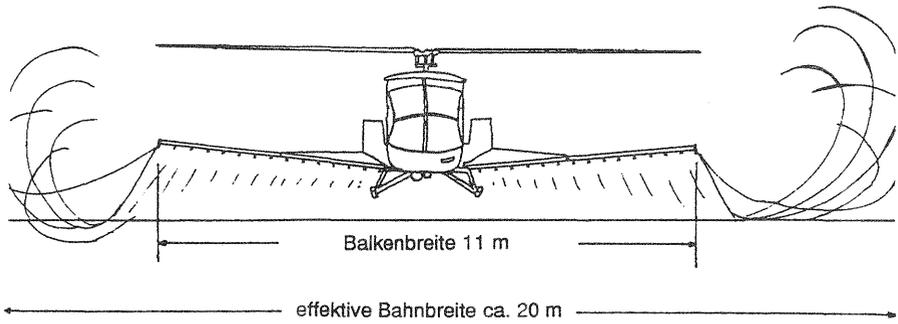


Abb. 2: Die in den Versuchen eingesetzten Pflanzenschutzgeräte
oben: Hubschrauber mit Spritzgestänge
Mitte: Sprühgerät mit Axialgebläse
unten: Schlauchspritze (Spritzpistole)

2.2 Ermittlung des Rotbrennerbefalls

Die Bewertung des Rotbrennerbefalls erfolgte nach der Richtlinie 22 - 1.3 für die Prüfung von Fungiziden zur Bekämpfung von *Pseudopeziza tracheiphila* Müller-Thurgau an Reben (FLICK et al. 1988). In jeder Parzelle wurden 40 Triebe in vierfacher Wiederholung ausgewertet. Die Datenerhebung wurde beim Erscheinen der Symptome in der unbehandelten Parzelle durchgeführt. Hieraus ließen sich Befallshäufigkeit und Wirkungsgrade berechnen. Die statistische Verrechnung erfolgte nach dem multiplen Mittelwertsvergleich nach DUNCAN (Varianzanalyse mit Transformation) nach Richtlinie 3 - 3, Teil 3 (BLEIHOLDER et al. 1984).

2.3 Messung des Spritzmittelbelags auf Laubwand und Boden sowie Erfassung der Schwebeteilchen

Am 1.7.1992 wurde der Spritzflüssigkeit ein Kupferpräparat als Tracer zugesetzt. Nach der Behandlung wurden aus jedem Testfeld getrennt nach Traubenzonen (ca. 80 cm Höhe) und Gipfelzone (mindestens 180 cm Höhe) Rebblätter entnommen und ihr Belag im Labor abgespült und analysiert. Zur Messung des Bodensediments innerhalb und außerhalb der Behandlungsfläche dienten Kunststoff-Petrischalen von 15 cm Durchmesser. Eine Messung der "direkten Abtrift" nach BBA-Richtlinie (GANZELMEIER et al. 1992) war im Rahmen des Forschungsvorhabens nicht möglich. Die Messungen wurden im Zusammenhang mit der Rotbrenner-Bekämpfung durchgeführt. Daher mußten bei der Messung der Abtrift Zugeständnisse gemacht werden. So standen die Petrischalen meist nicht auf freier Fläche, sondern im Reb Gelände. Auch eine Ausrichtung parallel zur Flug- bzw. Fahrtrichtung war nicht immer möglich. Die Grenzwerte für die Windgeschwindigkeit von 5 m/s (GANZELMEIER und LYRE 1991, GANZELMEIER et al. 1992) konnten eingehalten werden, die Windrichtung entsprach aber selten den Anforderungen der Richtlinie (Haupttrichtung senkrecht zur Fahrtrichtung, mittlere Windrichtung nicht mehr als 30 Grad von Hauptwindrichtung abweichend). Die Lufttemperatur im Schatten überschritt an einem Termin (7.8.1991) den Grenzwert von 25 °C um 3 - 7 °C, was eine verstärkte Thermik bedeutete.

1991 wurde das Bodensediment außerhalb der Behandlungsflächen in 5, 10, 15, 20 und 30 m Abstand vom Parzellenrand gemessen, und zwar sowohl nach links als auch nach rechts. 1992 erfolgte die Aufstellung in 5, 10, 15, 25 und 50 m Entfernung von der Behandlungsfläche, und zwar sowohl parallel (oben, unten) als auch senkrecht (links, rechts) zur Flugbahn des Hubschraubers. Die Petrischalen wurden in den angrenzenden Rebanlagen plaziert, seltener auf freien Flächen (Straße, Hof oder Wiese, s. Abb. 1). Am 1.7. wurde zusätzlich 50 m von der Behandlungsfläche entfernt der Anteil der Schwebeteilchen bis zu einer Höhe von 8 m gemessen.

Alle Ergebnisse sind Mittelwerte, angegeben als "Sediment bzw. Belag in Prozent der Aufwandmenge".

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Rotbrenner-Bekämpfung

1991

Zum Zeitpunkt des Sechsstadium- und Neunstadium-Stadiums der Reben waren die Witterungsverhältnisse für massive Infektionen durch den Roten Brenner günstig. Belegt wird dies durch den verhältnismäßig hohen Befall in den "Unbehandelt"-Parzellen, der zwischen 24,6 % (Wittlich) und 55,3 % (Pommern) lag (s. Tab. 1 - 4). Während der ersten Behandlung im Dreiblatt-Stadium (letztes Maidritzel) war es im Gebiet um Bernkastel-Kues allerdings sehr trocken und nur zeitweise gab es Tau, so daß hier nicht mit Infektionen zu rechnen war.

Die zweite Behandlung wurde, mit Ausnahme von Bernkastel, noch vor den etwa am 3. oder 4. Juni einsetzenden, länger andauernden Niederschlägen durchgeführt. In Bernkastel erfolgte die erste Behandlung am 29.5., nachdem es einen Tag zuvor Tau gegeben hatte. Da es sich um eine geringe Niederschlagsmenge handelte, dürfte die Befallshäufigkeit kaum beeinflusst worden sein. Für eine wirksame Bekämpfung im Rahmen der Versuche bedeutsam waren die beiden Behandlungen Ende Mai bis Mitte

Juni. Dies war bei den Versuchen Piesport, Wittlich und Pommern die zweite und dritte Rotbrennerbehandlung. Normalerweise ist Mitte Juni das Blütestadium erreicht und die Behandlungen gegen den Roten Brenner werden abgeschlossen. Aus den Ergebnissen ist zu erkennen, daß der Schwerpunkt der Bekämpfung 1991 später lag.

Die Festlegung der Bekämpfungstermins sollte sich neben der Beachtung des Vegetationsstandes und der Witterung auf die Untersuchung des Reifezustands der Asci in den Apothezien des vorjährigen Laubes stützen. Das Versuchsjahr 1991 zeigte, daß mit den zeitlich eng aufeinanderfolgenden Behandlungen gegen den Roten Brenner nicht zu früh aufgehört werden darf. Der gute Bekämpfungserfolg, sichtbar an den hohen Wirkungsgraden in den mit Schlauchspritze und Hubschrauber behandelten Parzellen, macht deutlich, daß die verwendeten Präparate Aktuan, Dithane Ultra und Polyram Combi einen guten Schutz gegen den Roten Brenner boten.

In Bezug auf Lage, Hangneigung, Parzellengröße, Rebsorte, Erziehungsart und Stockabstand stellten die vier Versuchsflächen einen repräsentativen Querschnitt der im Weinbaugebiet der Mittleren Mosel vorhandenen Rebflächen dar. Das Piesporter Versuchsareal (Tab. 2) lag in einem Steilhang, in halber Höhe des Moseltals. Nach MÜLLER-THURGAU (1903) wird der Befall durch den Roten Brenner häufiger durch die Bodenverhältnissen beeinflusst. An trockenen Stellen wurde ein besonders starker Befall beobachtet. Der stärkere Befall im oberen Teil des Piesporter Versuchsareals könnte mit der wahrscheinlich nach oben zunehmenden Trockenheit erklärt werden.

In der Versuchsfläche Bernkastel (Tab. 1) begann die Sonneneinstrahlung in der Unbehandelt-Parzelle, die neben einem Waldgebiet lag, später als in den übrigen Parzellen. In der Variante „Hubschrauber, 3 kg/ha“ wurde gegenüber Variante „Hubschrauber, 2 kg/ha“ eine deutlich bessere Wirkung gegen den Roten Brenner festgestellt. Dies dürfte teilweise auf die schnellere Abtrocknung des Bodens in der zuerst genannten Variante zurückzuführen sein, die früher am Tag besonnt wurde. Die Varianten „Schlauchspritze, 2 kg/ha“ und „Hubschrauber, 2 kg/ha“ zeigten dagegen bei ähnlicher Sonneneinwirkung keine wesentlichen Unterschiede im Rotbrenner-Befall. Beim Mittelaufwand von 2 kg/ha zeigte der Hubschrauber eine für die Weinbaupraxis ausreichende Wirkung. Der verhältnismäßig hohe Befallsdruck in Bernkastel, erkennbar

an der Befallshäufigkeit von 30 % in der Unbehandelt-Parzelle und von immerhin 8 bzw. 6,6 % und 1,56 % in den behandelten Parzellen, verdeutlicht, daß Maßnahmen zur Bekämpfung getroffen werden müssen, sobald die Sporenschläuche sich zu öffnen beginnen und die Ascosporen entlassen werden. Die Spritzabstände dürfen bis zum Neunblatt-Stadium wegen des starken Laubzuwachses bei entsprechender Infektionsgefahr nicht über eine Woche hinausgehen. Nach ausgedehnten Regenfällen, wie sie im Juni 1991 herrschten, ist außerdem eine Verringerung des Wirkstoffbelags auf den Blättern wahrscheinlich. In der Bernkasteler Anlage wurde wegen des verspäteten Austriebs mit der Behandlung zugewartet, so daß die erste Behandlung (29. Mai) acht Tage später als in Piesport und sechs Tage später als in Wittlich durchgeführt wurde. In Bernkastel sind wegen Taubildung in der Woche vom 21. bis 27. Mai Infektionen vor der erstmals am 29. Mai durchgeführten Behandlung nicht auszuschließen.

In Wittlich (Tab. 3) zeigte eine der „Unbehandelt“-Parzellen, in der eine Winterfurche gezogen worden war, mit 14,27 % eine deutlich geringere Befallshäufigkeit als die unmittelbar danebenliegende Parzelle ohne Bodenbearbeitung (22,92 %). Hier bestätigte sich die alte Erfahrung, daß der Befall durch das Unterpflügen des alten Laubes wirkungsvoll reduziert werden kann. Nach Behandlungen mit der Schlauchspritze und dem Bodensprühgerät konnten hohe Wirkungsgrade erzielt werden. Beim Hubschrauber waren die Wirkungsgrade z. T. vergleichbar, z. T. aber auch niedriger, wie die Werte von 82,65 und 78,38 zeigen. Bemerkenswert ist, daß der niedrigste Wirkungsgrad (78,38) beim Aufwand von 3 kg/ha ermittelt wurde.

In der Versuchsfläche Pommern (Tab. 4) konnte leider infolge der später vom Hubschrauber auf der gesamten Versuchsfläche ausgebrachten Mittelmenge von 4 kg/ha nicht geklärt werden, ob für die Rotbrenner-Bekämpfung eine Aufwandmenge von 3 kg sinnvoller gewesen wäre als eine solche von 2 kg/ha.

Vergleicht man an den vier genannten Versuchsstandorten die Wirkungsgrade, die mit den Mitteln Polyram Combi und Dithane Ultra (jeweils 2 kg/ha) mit Schlauchspritze, Hubschrauber und Sprühgerät erzielt wurden, so ergeben sich aufgrund der Bonitur von Laub und Gescheinen ähnlich hohe Wirkungsgrade. Diese lagen für die Schlauchspritze

bei 73,2 bis 99,6, für den Hubschrauber bei 68,5 bis 97,7 und für das Bodensprühgerät bei 95,5.

Tab. 1: Versuch Bernkastel, Bonitur des Rotbrennerbefalls am 4. Juli 1991.

Variante	Wasser- und Präparatmenge je ha	Befallshäufigkeit %	Wirkungs- grad
Unbehandelt	-	30,00	-
Schlauchspritze	1000 l, 2 kg	8,02	73,26
Hubschrauber	150 l, 2 kg	6,56	78,13
Hubschrauber	150 l, 3 kg	1,56	94,79

Tab. 2: Versuch Piesport, Bonitur des Rotbrennerbefalls am 9. Juli 1991

Variante	Wasser-und Präparatmenge je ha	Befallshäufigkeit %	Wirkungs- grad
<u>oberer Teil des Steilhangs</u>			
Unbehandelt	-	38,54	-
Schlauchspritze	1000 l, 2 kg	2,71	91,13
Hubschrauber	150 l, 2 kg	10,83	68,53
<u>unterer Teil des Steilhangs</u>			
Unbehandelt	-	30,31	-
Schlauchspritze	1000 l, 2 kg	2,60	92,44
Hubschrauber	150 l, 2 kg	3,54	89,71
Hubschrauber	150 l, 3 kg	1,77	94,86

Tab. 3: Versuch Wittlich, Bonitur des Rotbrennerbefalls am 5. Juli 1991.

Variante	Wasser-und Präparatmenge je ha	Befallshäufigkeit %	Wirkungs- grad
Unbehandelt, Riesling, Pfahlerziehung, Furche	-	14,27	-
Unbehandelt, Riesling, Pfahlerziehung mit Draht	-	22,92	-
Unbehandelt, Riesling, Pfahlerziehung	-	36,67	-
	Mittelwert:	24,62	-
Schlauchspritze, Pfahlerziehung	1000 l, 2 kg	0,10	99,58
Schlauchspritze, Pfahlerziehung	1000 l, 2 kg	0,83	96,61
Bodensprüngerät, Riesling, Pfahlerziehung	600 l, 2 kg	1,35	94,50
Hubschrauber, Kerner, Pfahlerz. mit Draht	250 l, 2 kg	0,52	97,80
Hubschrauber, Riesling, Pfahlerziehung	250 l, 2 kg	0,78	89,00
Hubschrauber, Riesling, Drahtrahmen	150 l, 2 kg	0,86	97,04
Hubschrauber, Riesling, Pfahlerziehung	150 l, 2 kg	4,27	82,65
Hubschrauber, Riesling, Pfahlerz. mit Draht	150 l, 3 kg	7,29	78,38

1992

Der Rotbrenner-Befall der "Unbehandelt"-Parzellen war 1992 mit durchschnittlich 2,56 % wesentlich schwächer als 1991. Bei derart geringen Befallswerten ist eine Beurteilung von Bekämpfungserfolgen kaum möglich. Unter diesen für die Fragestellung des Versuchs ungünstigen Bedingungen zeichnete sich andeutungsweise ein besseres Abschneiden der Schlauchspritze (Befall: 0,73 % bei 2 kg/ha und 0,77 % bei 3 kg/ha) im Vergleich zum Hubschrauber (1,4 % bei 2 kg und 1,8 % bei 3 kg) ab.

Tab. 4: Versuch Pommern, Bonitur des Rotbrennerbefalls am 16. Juli 1991.

Variante	Wasser-und Präparatmenge je ha	Befallshäufigkeit %	Wirkungs- grad
Unbehandelt, Riesling, Pfahlerziehung	-	55,31	-
Unbehandelt, Riesling, Drahtrahmen	-	55,21	-
	Mittelwert:	55,26	-
Schlauchspritze, Riesling, Pfahlerziehung	2 kg	4,58	91,71
Schlauchspritze, Riesling, Vertikoerziehung	2 kg	1,56	97,17
Schlauchspritze, Riesling, Drahtrahmen	2 kg	9,17	83,41
Hubschrauber, Riesling, Pfahlerziehung	150 l, 2 kg	1,98	96,42
Hubschrauber, Riesling, Drahtrahmen	150 l, 2 kg	1,25	97,74
Hubschrauber, Riesling, Pfahlerziehung	150 l, 3 kg	3,13	94,34
Hubschrauber, Riesling, Pfahlerziehung	150 l, 3 kg	1,25	97,74
Hubschrauber, Riesling, Pfahlerziehung	75 l, 3 kg	10,83	80,40

Fazit:

Bezüglich der Rotbrenner-Bekämpfung sollten vorrangig folgende Fragen beantwortet werden: Können Reben im Drei- bis Fünfblattstadium durch den Hubschrauber ausreichend vor Befall durch den Roten Brenner geschützt werden? Reicht hierfür die bei der Schlauchspritze eingesetzte Pflanzenschutzmittel-Menge von 2 kg/ha aus? Die erste Frage konnte in dieser Form nicht beantwortet werden, da die entscheidenden Infektionen erst später, d.h., im Sechs- bis Neunblattstadium (Anfang Juni), auftraten. Zu diesem späteren Zeitpunkt konnte dann allerdings die wichtige Erkenntnis gewonnen werden, daß bei Einsatz von 2 kg Präparat (Dithane Ultra oder Polyram Combi) je ha der Hubschrauber eine ähnliche Wirkung wie die Schlauchspritze erzielte. Beim Hubschraubereinsatz reichte eine Wassermenge von 150 l/ha aus, 250 l/ha brachten keine eindeutige Verbesserung.

3.2 Verbleib der Pflanzenschutzmittel

3.2.1 Belag auf der Laubwand

Zur Charakterisierung des Blattbelages wurden verschiedene Methoden angewandt. Der Einsatz von Rundfiltern und die Messung eines Bittersalz-Belages auf den Blättern erwies sich als wenig oder gar nicht brauchbar. Die Verwendung von Kupfer als Tracer führte dagegen zu befriedigenden Ergebnissen. Wegen der Korrosionsgefahr am Hubschrauber konnte es allerdings nur einmal, am 1.7.1992, eingesetzt werden. Eine Verflüchtigung von der Blattoberfläche, wie sie bei anderen Wirkstoffen z.T. in erheblichem Umfang festgestellt wurde (SIEBERS et al. 1993; KUBIAK et al. 1995), war bei Kupfer nicht zu befürchten.

1992 wurden in der Gipfelzone auf der Blattoberseite nach Hubschrauberapplikation 36 %, nach Applikation mit der Schlauchspritze dagegen nur 4,1 % der Aufwandmenge wiedergefunden. Auf der Blattunterseite waren es beim Hubschrauber 12 %, bei der Schlauchspritze 4,4 %. In der Traubenzone konnten auf der Blattoberseite 18 % (Hubschrauber) bzw. 12 % (Schlauchspritze) wiedergefunden werden. Erst auf der Blattunterseite lag die Schlauchspritze deutlich vorn: dort wurden 8,0 % gegenüber 1,2 % (Hubschrauber) gemessen (Abb. 3). Dies zeigt, daß schwerer zugängliche Bereiche der Traubenzone von der Schlauchspritze wesentlich besser erreicht wurden als vom Hubschrauber.

Die Blattfläche der Versuchsanlage Graach wurde nicht gemessen, jedoch kann aufgrund der Angaben von EICHHORN (1980, 1984) und LÜDERS u. GANZELMEIER (1983) eine Pflanzenoberfläche (Laubwand, Beeren, Triebachsen und Stämme) von ca. 50.000 m²/ha angenommen werden. Weiterhin soll zur groben Orientierung angenommen werden, daß die Gipfelzone etwa 1/3, die Traubenzone 2/3 der Pflanzenoberfläche ausmachte. Bezieht man das Bodensediment von 32,7 % (Hubschrauber) bzw. 21,2 % (Schlauchspritze) ein, so läßt sich die Wiederfindungsrate in der Behandlungsfläche näherungsweise auf 80 % (Hubschrauber) bzw. 40 % (Schlauchspritze) schätzen. Bei der Schlauchspritze ergibt sich also ein erheblicher Fehlbetrag. Er ist möglicherweise dadurch zu erklären, daß ein erheblicher Teil der Spritzflüssigkeit von den Blättern abtropfte. Die Petrischalen zur

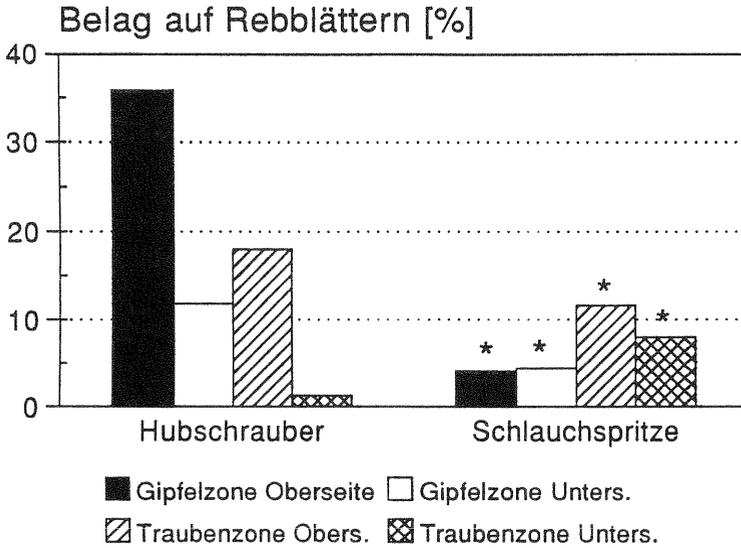


Abb. 3: Belagswerte der Spritzflüssigkeit auf der Laubwand, Graach, 1. Juli 1992. Statistisch gesicherte Unterschiede ($\alpha = 0,05$) durch * gekennzeichnet. Blätter, Ober- und Unterseite, in der Gipfel- und Traubenzone.

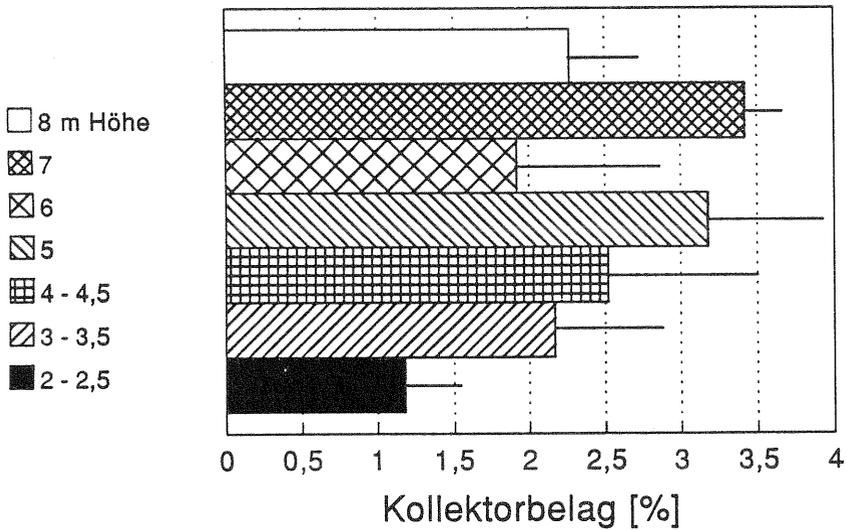


Abb. 4: Schwebeteilchen auf Kollektoren in 50 m Entfernung nach Hubschrauber-einsatz. Graach, 1. Juli 1992

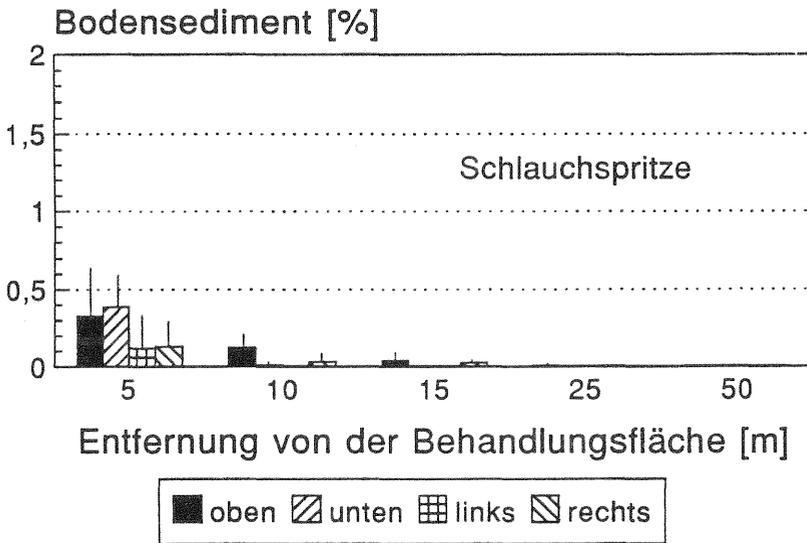
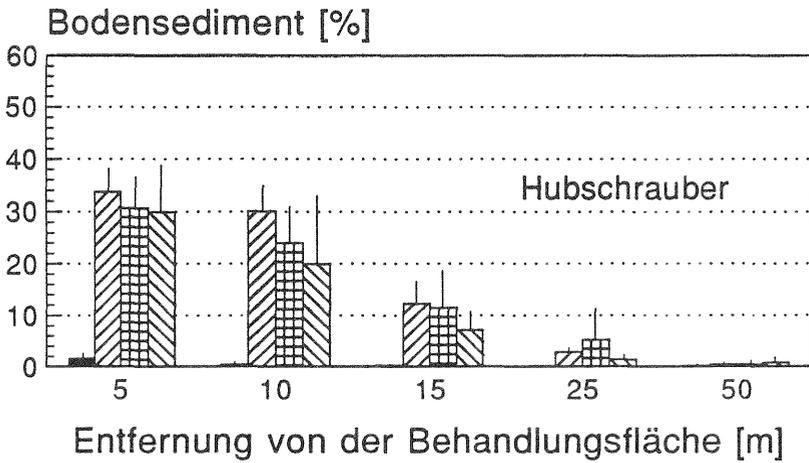


Abb. 5: Bodensediment außerhalb der Behandlungsflächen, Graach, 15. Mai 1992.
(Beachte die unterschiedliche Skalierung)

Erfassung des Bodensediments standen teils unter den Stöcken, teils in der Gassenmitte. Bei dieser groben Rasterung dürfte die im Bereich der "Traufe" von der Laubwand abtropfende Spritzflüssigkeit nur zu einem geringen Prozentsatzerfaßt worden sein. Daß ein erheblicher Teil der Spritzflüssigkeit abgetropft sein muß, zeigt auch folgende Überlegung: Eine gut entwickelte Laubwand kann ca. 800 - 1000 l Spritzflüssigkeit/ha halten (IPACH, pers. Mittlg.). Am 1.7.1992 wurden mit der Schlauchspritze aber 1660 l, also etwa das Doppelte, ausgebracht. In einem Steilhang von 60 % Neigung bestimmten bereits LÜDERS u. GANZELMEIER (1983) die Belagswerte auf den Rebblättern zur Zeit der Rebblüte. Auf der Blattoberseite betragen sie beim Hubschrauber ca. 18 - 23 %, beim Großsprühgerät 11 %, bei Kleinsprühgerät und Schlauchspritze je 9 %. Auf der Blattunterseite wurden beim Hubschrauber ca. 5 - 7 %, beim Großsprühgerät 5 %, beim Kleinsprühgerät 27 % und bei der Schlauchspritze 7 % ermittelt. Die Anlagerung an Triebachsen, Stämme und Unterstützungsvorrichtungen betrug maximal 6,5 %. Die Wiederfindungsrate für Reben und Boden innerhalb der Behandlungsfläche betrug beim Kleinsprühgerät nahezu 100 %, beim Hubschrauber je nach Düsentyp ca. 74 bis 89 %, beim Großsprühgerät 51 %, bei der Spritzpistole (Schlauchspritze) 45 %. Diese Werte entsprechen also etwa den eigenen Ergebnissen.

Nach SIEGFRIED et al. (1990) können im Obstbau mit Sprühgeräten ohne Recycling-Technik max. 45 - 55% der ausgebrachten Präparatmenge an Blätter und Früchte angelagert werden. SIEGFRIED u. RAISIGL (1991) ermittelten im Weinbau bei Einsatz eines Axialgeräts im Zeitraum Juni bis August eine Anlagerungsrate von 52 - 56 %. Diese Werte entsprechen etwa den in der vorliegenden Arbeit für den Hubschrauber geschätzten.

Bei der Hubschrauberapplikation im Moseltal werden i. d. R. 150 l/ha mit einer 10fach erhöhten Pflanzenschutzmittelkonzentration ausgebracht. Hinterher läßt sich auf den freistehenden Rebblättern ein Muster feiner Tröpfchen erkennen, die bei günstiger Witterung schnell eintrocknen. Der relativ geringe Bedeckungsgrad reicht, wie die Erfahrung an der Mosel zeigt, i. d. R. zum Schutz des Blattes aus. Nach RAISIGL et al. (1993) wird im südtiroler Obstanbaugebiet bei Einsatz von Sprühgeräten eine Blattbedeckung von 15 % als ausreichend angesehen. Diese wird mit 500 l Spritzflüssigkeit/ha erzielt. Eine wesentlich geringere Menge an Spritzflüssigkeit kann

unzureichend sein, wenn die Witterung trocken ist. In Versuchen von SIEGFRIED et al. (1993) im Obst- und Weinbau wurde ein 100%iger Schutz gegen den Falschen Mehltau festgestellt, wenn die Blattunterseite zu 20 % von Spritzflüssigkeit bedeckt war. IRLA und SIEGFRIED (1990) bestimmten den Bedeckungsgrad einer fluoreszierenden Behandlungsflüssigkeit auf Rebblättern in der Traubenzone. 12 Sprühgeräte mit Radial-, Axial-, Umkehraxial- und Tangential-Gebläsen ergaben einen durchschnittlichen Bedeckungsgrad von 52 % (Blattoberseite) bzw. 74 % (Blattunterseite), also erheblich höhere Werte. Die beste Wirkung erzielten Geräte mit Umkehraxialgebläse, gefolgt von Axial-, Radial- und Tangentialgebläse.

Bei hohen Mengen an Spritzflüssigkeit entstehen auf den Blättern große Tropfen. Beim Antrocknen lagert sich Wirkstoff vorwiegend am Tropfenrand ab, wodurch eine ungleichmäßige Bedeckung mit großen Lücken entstehen kann (SIEGFRIED et al. 1990). Die Spritzflüssigkeit sammelt sich vor allem am Blattrand und kann dort zu Schäden führen. Diese treten z. B. auf, wenn Kupferpräparate bei kühler Witterung ausgebracht werden. Andererseits ist aber ein höherer Wasseraufwand häufig für einen Bekämpfungserfolg nötig. Dies gilt z.B. für die Bekämpfung von *Phomopsis* (SIEGFRIED u. RAISIGL 1991) und *Oidium* (IPACH 1995). Auch ein unterstützender Luftstrom erhöht die Wirkung (BÄCKER 1993). So erzielte ein Axialgerät mit Luftunterstützung auf der Unterseite der Rebblätter einen rund 50 % höheren Bedeckungsgrad als ein Recyclinggerät ohne eine solche Unterstützung (SIEGFRIED u. RAISIGL 1991). Ein ausreichender Bedeckungsgrad auf der Blattunterseite ist im Hinblick auf die Bekämpfung des Falschen Mehltaus (*Plasmopara*), aber auch des Roten Brenners, von besonderer Bedeutung. In Untersuchungen von EICHHORN (1980) konnte eine Verminderung der Abtrift und eine bessere Wirkung gegen *Botrytis* dadurch erreicht werden, daß der Luftstrom eines Axialsprühgeräts nicht senkrecht, sondern in einem Winkel von 45 Grad auf die Laubwand gerichtet wurde und dadurch eine längere Strecke in der Laubwand zurücklegte.

Eine mit dem Hubschrauber vorgenommene feintropfige Applikation (Düse D5-25) hatte gegen *Botrytis* eine der Schlauchspritze oder dem Kleinsprühgerät vergleichbare Wirkung, während bei großtropfiger Applikation (Düse D7-46) die Wirkung des Hubschraubers wesentlich schlechter war (LÜDERS und GANZELMEIER (1983). Der

Düsentyp D5-25 wurde auch in den Hubschrauberbehandlungen der vorliegenden Arbeit (Varianten mit 150 l/ha) verwendet.

3.2.2 Bodensediment innerhalb der Behandlungsfläche

1991 wurden an zwei Standorten durchschnittlich folgende Werte ermittelt: Bei früher Rebenentwicklung durchschnittlich 53 % (Hubschrauber), 36 % (Schlauchspritze) bzw. 58 % (Sprühgerät); bei später Rebenentwicklung 18 % (Hubschrauber), 37 % (Schlauchspritze) bzw. 27 % (Sprühgerät). Im Jahre 1992 wurden auf der Versuchsfläche Graach bei den frühen Behandlungen durchschnittlich 57 % (Hubschrauber) bzw. 76 % (Schlauchspritze) gemessen. Bei den späten Behandlungen waren es durchschnittlich 31 % (Hubschrauber) bzw. 28 % (Schlauchspritze).

Die Bodenbelastung durch den Hubschrauber und das Sprühgerät, teilweise auch durch die Schlauchspritze, war also bei den frühen Behandlungen deutlich höher als bei den späten. Dies kann auf die dichter werdende Laubwand zurückgeführt werden. 1992 war dieser Effekt besonders deutlich zu erkennen, das Bodensediment nahm vom 15.5. bis zum 23.7.1992 kontinuierlich von 64 auf 29 % ab.

Im Steilhang bestimmten LÜDERS und GANZELMEIER (1983) zur Reblüte den auf den Boden gelangten Anteil der Spritzflüssigkeit. Beim Hubschrauber waren es je nach Düsentyp ca. 39 - 47 %, beim Kleinsprühgerät 37 %, beim Großsprühgerät 27 % und bei der Schlauchspritze 16 %. Dieses Ergebnis stimmt tendenziell mit den eigenen, 1992 ermittelten Werten überein.

Erheblich reduziert werden kann das Bodensediment durch Recyclinggeräte. In Untersuchungen von SIEGFRIED u. RAISIGL (1991) nahmen die Wirkstoffverluste (Bodensediment innerhalb und außerhalb der Behandlungsfläche) von der Austriebs- bis zur Abschlußbehandlung der Reben kontinuierlich ab. Beim Axialgerät gingen bei der Austriebsbehandlung der Reben 64-87 % des Wirkstoffs verloren, beim Recyclinggerät nur 30-35 %. Im Zeitraum Juni bis August gingen beim Axialgerät 44-48 %, beim Recyclinggerät 5-12 % verloren. Messungen quer zur Fahrgasse ergaben folgendes:

Beim Axialgerät war das Bodensediment gleichmäßig über die ganze Gasse verteilt. Beim Recyclinggerät wurde in der Fahrgasse nur ein geringer Anteil (10 %) gemessen, der größte Teil dagegen in einem schmalen Band unter den Stöcken (SIEGFRIED u. RAISIGL 1991). RÖDLER (1995) bestätigte diese Ergebnisse. In Versuchen von IPACH (1996) war das Bodensediment bei Einsatz verschiedener Recyclinggeräte vor der Blüte um 76 oder 95 %, nach der Blüte um 43, 82 oder 85 % verringert. Eine Alternative zur Recyclingtechnik ist die Sensortechnik. Mit ihr konnte das Bodensediment in der Behandlungsfläche um mehr als 50 % (BÄCKER und BRENDEL 1995) bzw. um mehr als 60 % (BÄCKER et al. 1995) reduziert werden.

3.2.3 Bodensediment außerhalb der Behandlungsfläche; Schwebeteilchen

Das Bodensediment außerhalb der Behandlungsfläche wurde 1991 links und rechts, 1992 links, rechts, oben und unten von der Behandlungsfläche gemessen. Es nahm naturgemäß mit zunehmender Entfernung von der behandelten Fläche stark ab.

1991 lag in beiden Versuchsflächen, frühe und späte Behandlung, das Bodensediment des Hubschraubers bei Windgeschwindigkeiten bis zu 5 m/s in 30 m Entfernung unter 1 %, nur in einem Fall wurde ein höherer Wert (7,5 %) erreicht. Beim Schlauch wurden bei 30 m Werte unter 0,1 % gemessen. Beim Sprühgerät wurden zum ersten Termin 0 %, zum zweiten Termin 0,23 % erreicht.

1992 war beim Hubschrauber morgens eine deutliche Verlagerung der Spritzwolke zum Hangfuß zu beobachten, weshalb dort die Bodensediment-Werte erheblich höher waren als hangaufwärts (s. Abb. 5). 1992 lag das Bodensediment bei Windgeschwindigkeiten bis zu 1,5 m/s (Hubschrauber) bzw. 3 m/s (Schlauchspritze) in 50 m Entfernung bei 0,7 - 1,4 % (Hubschrauber), bzw. 0 % (Schlauchspritze).

In Raumkulturen (Obstbau, Weinbau, Hopfen) wurde zunächst beim Einsatz von Feldspritzgeräten mit folgender Abtrift (Bodensediment) gerechnet: 12,5 % bei 10 m; 6,2 % bei 20 m; 3,1 % bei 30 m (KÖPP und GANZELMEIER 1992). Aufgrund umfangreicher Freilandmessungen nach der von GANZELMEIER et al. (1992)

erarbeiteten Richtlinie wurden von der Biologischen Bundesanstalt in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt und dem Bundesgesundheitsamt Abtrift-Eckwerte für den Weinbau festgelegt. Sie sind in Tab. 5 zusammengestellt und werden heute bei der Abschätzung von Gefahren, z.B. bei der Festlegung von Mindestabständen zu Gewässern, zugrunde gelegt (GANZELMEIER et al. 1995).

Vergleicht man diese Werte mit den in der vorliegenden Arbeit ermittelten, so läßt sich folgendes feststellen: Mit der Schlauchspritze wurden die Eckwerte eingehalten bzw. unterschritten. Beim Sprühgerät war z.T. eine leichte Überschreitung festzustellen. Nur der Hubschrauber überschritt die Eckwerte häufig.

Tab. 5: Abtrift-Eckwerte für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mit Sprühgeräten bei früher und später Rebenentwicklung (nach GANZELMEIER et al. 1995)

Abstand [m]	Entwicklungsstadien	
	frühe Abtrift-Eckwerte [%]	späte
5	1,6	5,0
10	0,4	1,5
15	0,2	0,8
20	0,1	0,4
30	0,1	0,2
40	0,1	0,2
50	0,1	0,2

Pflanzenschutzmittel werden nach der Ausbringung nicht nur horizontal, sondern auch vertikal verteilt bzw. "verdünnt" (GATH et al. 1993). Daher wurde in der Graacher Versuchsfläche am 1.7. 1992 die Verlagerung von Schwebeteilchen in 50 m Entfernung bis zu einer Höhe von 8 m gemessen. Dabei ergab sich ein Maximum von 3,4 % in 7 m Höhe (Abb. 4). Offensichtlich wurde also eine Tropfenwolke in einigen Metern Höhe verlagert.

In Versuchen von SCHMIDT (1991) mit Sprühgeräten im Obstbau bestand zwischen den Wasseraufwandmengen und der Größe der Düsenmundstücke einerseits sowie den Abtriftverlusten andererseits eine umgekehrt proportionale Beziehung. In

Untersuchungen von RAISIGL et al. 1993 betrug die Abtrift einer Gebläsespritze (Differenz des an Obstbäume und Boden angelagerten Teils der Spritzflüssigkeit zu 100) bei der als optimal angesehenen Spritzflüssigkeitsmenge von 500 l/ha ca. 13%. Nach Modellrechnungen von KAUL et al. (1995) ist bei Ausbringung mit dem Flugzeug noch in 100 m Entfernung ein Bodensediment von 0,5 bis 3,7 % zu erwarten. Untersuchungen zur Hubschrauber-Abtrift im Obstbau wurden von KÖHLER et al. (1982; 1983) durchgeführt. Ihre Messungen ergaben folgendes: Bei einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s wurde in 125 - 175 m Entfernung eine Abtrift von 1 % gefunden. Bei einer Windgeschwindigkeit von 4 - 5 m/s waren es in 200 m Entfernung ca. 1 - 2 %, in 100 m Entfernung ca. 10 % Abtrift. Bei Windgeschwindigkeiten von 6 - 9 m/s lag die Abtrift in 200 m Entfernung etwa bei 10 %. LÜDERS (1978) fand beim Hubschraubereinsatz im Steilhang bei einer Windgeschwindigkeit bis 4 m/s den 1%-Wert in etwa 17,5 m Entfernung, also in deutlich geringerer Distanz. In den eigenen Versuchen wurden 1991 und 1992 bei 20 bzw. 25 m Entfernung Werte zwischen 0 und 5,2 % Bodensediment gefunden. Die eigenen Werte stimmen also mit denen anderer Versuchsansteller in der Größenordnung überein.

Bei Geräten mit Tangentialgebläse, Radialgebläse mit Luftführungsschläuchen oder Axialgebläse mit Aufsatz ist die Abtrift verringert (IRLA und SIEGFRIED 1990). Werte, die man im Weinbau bei konventioneller Technik (Axialgebläse) noch in 15 m Entfernung findet, treten bei abtriftmindernder Technik (Tunnel-, Kollektor-, Reflektorverfahren) in nur 3 m Entfernung auf (RAUTMANN 1993). Im Weinbau kann bei Einsatz von Recyclinggeräten mit einer Verminderung der Abtrift um eine Zehnerpotenz gerechnet werden (BÄCKER 1993). In Untersuchungen von SIEGFRIED et al. (1993) im Weinbau wurde die Abtrift bei Einsatz eines Recyclinggeräts gegenüber einem Axialgerät um 95 % reduziert. Neuere Entwicklungen wie Injektordüsen (UHL 1995) oder sensorgesteuerte Düsen ermöglichen ebenfalls erhebliche Reduktionen an Mitteleinsatz und Abtrift. So konnte durch die Sensortechnik die atmosphärische Abtrift um ca. 75 % reduziert werden (BÄCKER und BRENDEL 1995). Die Sensortechnik eröffnet auch neue Perspektiven für den Pflanzenschutz in Steillagen (BÄCKER et al. 1996). SCHRUF et al. (1996) weisen auf die Vernichtung zahlreicher in der Laubwand lebender Gliedertiere durch Tunnelspritzgeräte hin. Unter diesen befinden sich

Nützlinge und seltene Arten. Sie schlagen vor, ihnen durch Installation eines Warnsystems (z. B. Luftdüse) die rechtzeitige Flucht zu ermöglichen.

3.3 Problematik des Hubschraubereinsatzes

Der erste Einsatz eines Spritzhubschraubers für Rebschutzzwecke im deutschen Weinbau geht auf das Jahr 1955 zurück. In den Steilhängen der Mosel wurden die ersten Versuche 1968 durchgeführt (ENGLERT u. GÄRTEL 1989; BOURQUIN 1993).

Beim Ausbringen von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen sind die Richtlinien der BBA (GANZELMEIER u. LYRE 1991) zu beachten. So beträgt der Mindestabstand zu Häusern und anderen gefährdeten Objekten 50 m, die Windgeschwindigkeit darf 5 m/s nicht überschreiten. Bei Lufttemperaturen über 25 °C im Schatten oder bei Thermik darf ebenfalls nicht geflogen werden. Im übrigen ist der Hubschraubereinsatz in das Ermessen der Länder gestellt. Im Folgenden eine Gegenüberstellung seiner Vor- und Nachteile (ENGLERT u. GÄRTEL 1989; BOURQUIN 1993):

Vorteile:

- In der Zeit des intensivsten vegetativen Wachstums, also von Anfang Juni bis Ende Juli, besteht im Weinberg eine starke Arbeitsspitze. Sie ist bedingt durch die notwendigen Maßnahmen der Laubarbeit und des Pflanzenschutzes. Hier hat der Hubschrauber eine enorme Arbeits- und Zeitersparnis gebracht. Umgekehrt würde sein Wegfall viele Winzer in große Schwierigkeiten bringen.
- Der Einsatz der Mittel kann vollständig überwacht werden. Die Spritzpläne müssen vor Beginn der Spritzsaison vom amtlichen Pflanzenschutzdienst abgezeichnet, die Behandlungen spätestens 14 Tage vorher dem Landespflanzenschutzamt und 48 Stunden vorher der Ortspolizeibehörde gemeldet werden. Seit Januar 1992 dürfen in Rheinland-Pfalz keine Insektizide und bienengefährlichen Mittel mehr durch den Hubschrauber ausgebracht werden. Neue Entwicklungen wie die Einführung

raubmilbenschonender Spritzfolgen oder der Verzicht auf Insektizide konnten mit dem Hubschrauber daher schnell und effizient umgesetzt werden.

- Verzicht auf überflüssige, vorbeugende Einsätze. Genaue, den Anwendungsvorschriften der BBA entsprechende Dosierung der Pflanzenschutzmittel.
- Der Infektionsdruck pilzlicher Krankheitserreger (z. B. Echter und Falscher Mehltau, Roter Brenner, Graufäule) wird großräumig auf niedrigem Niveau gehalten.
- Hoher Schutz des Anwenders, hier des Piloten in seiner Kabine.

Nachteile:

- Pilzkrankheiten wie der Falsche Mehltau (*Plasmopara*) oder die Graufäule (*Botrytis*) können mit dem Hubschrauber nur vorbeugend behandelt werden. Haben sie sich erst in den Stöcken eingenistet, so ist eine ausreichende Bekämpfung vom Hubschrauber aus nicht mehr möglich. Kurative Maßnahmen, insbesondere bei zunehmender Laubwanddichte, können daher nur vom Boden aus, in erster Linie mit der Schlauchspritze, durchgeführt werden.
- Verwehung von Tropfenwolken auf angrenzende Flächen, in Gewässer sowie auf Personen, Haustiere und wildlebende Tiere. Dabei ist zu bedenken, daß es sich um eine 10fach aufkonzentrierte Spritzflüssigkeit handelt.
- Die Benetzung geteerter Weinbergswegen kann nach Regengüssen zu einer teilweisen Verfrachtung der Sedimente in die vorgelagerten Gewässer führen.
- Relativ starre Behandlungsabstände. Dadurch ist eine flexible Reaktion auf eine fehlende oder besonders große Infektionsgefahr kaum möglich.
- Lärmbelästigung, insbesondere in den frühen Morgenstunden (ab 6.00 Uhr).

Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, daß der Hubschrauber im Sechs- bis Neunblattstadium bei gleicher Wirkstoffmenge eine ähnlich gute Wirkung gegen den Roten Brenner hatte wie die Schlauchspritze. Mit zunehmend dichter

werdender Laubwand gelangte aber immer weniger Spritzflüssigkeit in die Traubenzone. Insbesondere der Hubschrauber brachte weit weniger Pflanzenschutzmittel auf die Blattunterseite der Traubenzone als die Schlauchspritze (Abb. 3). Dies dürfte in kritischen Jahren und Lagen für einen ausreichenden Schutz der Traubenzone nicht ausreichen. Tatsächlich zeigen die Erfahrungen, daß die Wirksamkeit der Hubschrauberbehandlungen in der zweiten Hälfte der Vegetationszeit laufend abnimmt. Die Laubmasse verhindert ein ausreichendes Vordringen der Pflanzenschutzmittel zu den an Größe zunehmenden Trauben. Die letzten Behandlungen zur Vorbeugung von Stiellähme und Traubenfäule müssen daher vom Boden aus, i. d. R. mit der Schlauchspritze, vorgenommen werden.

In den eigenen Untersuchungen der Jahre 1991 und 1992 wurde der Boden in den Behandlungsflächen bei den frühen Behandlungen durch den Hubschrauber und das Sprühgerät eher stärker belastet als durch die Schlauchspritze. Bei den späten Behandlungen nahm diese Belastung dagegen bei Hubschrauber und Sprühgerät deutlich ab, während der Trend bei der Schlauchspritze nicht einheitlich war. Das Bodensediment außerhalb der Behandlungsfläche war beim Hubschrauber deutlich am größten. Die am 1.7.1992 in 50 m Entfernung gemessene atmosphärische Abtrift erreichte ihren Höchstwert von 3,4 % in 7 m Höhe (Abb. 4). Tropfenwolken können also auch über 50 m Entfernung hinaus verfrachtet werden. Hierin ist, neben der nicht völlig befriedigenden Wirkung bei voll entwickelter Laubwand, das größte Problem des Hubschraubers zu sehen. Wie Proteste seit den 70er Jahren immer wieder gezeigt haben, wird der Spritzhubschrauber von Teilen der Bevölkerung als potentiell gesundheitsgefährdend angesehen. Diese Problematik wurde allerdings durch die zunächst restriktive Handhabung und seit Januar 1992 durch das völlige Verbot der Insektizidabbringung durch den Hubschrauber teilweise entschärft. Akarizide wurden ohnehin schon seit vielen Jahren nicht mehr mit dem Hubschrauber ausgebracht. Die Tatsache, daß der Mitteleinsatz beim Hubschrauber lückenlos überwacht werden kann, ist zweifellos ein starkes Argument für dieses Gerät. Dennoch können die mit dem Hubschraubereinsatz im Steillagenweinbau zusammenhängenden Probleme nicht als gelöst gelten. In den letzten Jahren bieten Neuentwicklungen wie das selbstlenkende Gerät der Fa. Schenk oder das Seilzug-Mechanisierungssystem (SMS) der Fa. Clemens echte Alternativen zum Hubschrauber (DIETRICH et al. 1995).

4 Zusammenfassung / Summary

In den Jahren 1991 und 1992 im Weinbaugebiet Mosel-Saar-Ruwer durchgeführten Versuche sollten klären, ob der Hubschrauber bei frühem Einsatz (Drei- bis Fünfblattstadium) eine der Schlauchspritze (Spritzpistole) bzw. dem Sprühgerät vergleichbare Wirkung gegen den Roten Brenner (*Pseudopezicula tracheiphila* [MÜLLER-THURGAU] KORF & ZHUANG) erzielen kann. Weiterhin war zu klären, welcher Anteil an Pflanzenschutzmitteln innerhalb und außerhalb der Behandlungsfläche abgelagert wird. Die Versuche wurden an fünf Standorten durchgeführt. Mit Rücksicht auf die Rotbrenner-Bekämpfung konnten die Messungen zur Abtrift nicht streng nach der Abtrift-Richtlinie der BBA durchgeführt werden. Insgesamt wurden 5000 Proben analysiert.

Die für die Versuchsfrage entscheidenden Rotbrenner-Infektionen ereigneten sich in den unbehandelten Parzellen nicht im Drei- bis Fünfblattstadium, sondern erst im Sechs- bis Neunblattstadium. Zu diesem Zeitpunkt erreichte bei Einsatz von 2 kg/ha Präparat (Dithane Ultra oder Polyram Combi) der Hubschrauber eine ähnlich gute Wirkung wie die Schlauchspritze oder das Sprühgerät. Daraus kann gefolgert werden, daß auch Behandlungen im Drei- bis Fünfblattstadium vom Hubschrauber mit dem gleichen Mittelaufwand erfolgreich durchgeführt werden können.

Bei voll entwickelter Laubwand war die Schlauchspritze 1992 weitaus besser als der Hubschrauber in der Lage, Pflanzenschutzmittel in die Traubenzone zu bringen. Bei der Schlauchspritze wurden Spritzbeläge auf der Blattunterseite von 8 % erreicht, beim Hubschrauber von nur 1,2 %.

Das Bodensediment in den Behandlungsflächen sank 1991 beim Hubschrauber von den frühen zu den späten Behandlungen durchschnittlich von 53 auf 18 %. 1992 nahmen die entsprechenden Werte in der Zeit vom 15.5. bis 23.7. kontinuierlich von 64 auf 29 % ab. Beim Sprühgerät, das nur 1991 eingesetzt wurde, nahm das Bodensediment von der frühen zur späten Behandlung von 58 auf 27 % ab. Bei der Schlauchspritze war der Trend uneinheitlich.

Das Bodensediment außerhalb der Behandlungsflächen lag 1991 in 30 m Entfernung vom Parzellenrand bei der Schlauchspritze stets unter 0,1 %, beim Hubschrauber unter 1 %. Nur in einem Fall wurde beim Hubschrauber bei Windgeschwindigkeiten von 4 - 5 m/s in 30 m Entfernung ein Bodensediment von 7,5 % ermittelt. Das Sprühgerät nahm eine Mittelstellung zwischen Hubschrauber und Schlauchspritze ein. 1992 betrug das Bodensediment in 50 m Entfernung von der Behandlungsfläche bei der Schlauchspritze stets 0 %, beim Hubschrauber bis zu 1,4 %.

Die atmosphärische Abtrift des Hubschraubers, 1992 mit kugelförmigen Kollektoren in 50 m Entfernung gemessen, erreichte maximal 3,4 % in 7 m Höhe. Daraus kann gefolgert werden, daß eine Tropfenwolke in einigen Metern Höhe über eine größere Entfernung verfrachtet wurde.

Die Problematik des Hubschraubereinsatzes in Steillagen zum Zwecke des Rebschutzes wird diskutiert.

Investigations of the distribution and efficacy of plant protection products during the control of Roter Brenner, *Pseudopezicula tracheiphila* (MÜLLER-THURGAU) KORF & ZHUANG, in viticulture

The aim of the investigations was to clarify whether a spraying helicopter is as efficient in controlling the 'Rotbrenner' (*Pseudopezicula tracheiphila* [MÜLLER-THURGAU] KORF & ZHUANG) as a spraying gun or an axial sprayer. Furthermore it should be cleared up which percentage of the spray liquid is deposited inside and outside the treated vineyard area. The investigations were carried out in 1991 and 1992 at five locations of the vinegrowing region of Mosel-Saar-Ruwer. With respect to the Rotbrenner control the measurements could not be carried out in agreement with the "Drift Guideline" of the BBA. Altogether 5000 samples were analyzed.

In 1991, infections by Rotbrenner in the untreated plots happened in the growth stage '6 - 9 leaves unfolded'. At this stage, the control of Rotbrenner by helicopter was satisfying and comparable with that of the spraying gun or the axial sprayer, when 2

kg/ha preparation ('Dithane Ultra' or 'Polyram Combi') were used. From this it can be concluded that applications in an earlier growth stage (3 - 5 leaves unfolded) will also be successful with the same amount of preparation.

When the foliage was completely developed in 1992, the spraying gun was much more effective than the helicopter to transport spray liquid into the zone of grapes. Thus the percentage of spray liquid on the underside of the leaves was 8,0 % (spraying gun), compared with 1,2 % (helicopter).

The deposition from helicopter application on the soil surface of the treated area decreased from 53 % (early vegetation) to 18 % (late vegetation) on an average. During the growing season of 1992, it decreased continually from 64 to 29 %. The deposition from sprayer application decreased from 58 % (early vegetation) to 27 % (late vegetation) in 1991. 1992 no sprayer was used. Concerning the spraying gun, no unequivocal tendency was stated.

In 1991, 30 m from the treated area, deposition on the soil surface was always below 0,1 % (spraying gun) respectively 1 % (helicopter). Only in one case (helicopter, 4 - 5 m/s wind speed, 30 m distance), a deposition of 7,5 % was measured. The values of the sprayer laid between helicopter and spraying gun. In 1992, 50 m from the treated area, deposition on soil surface was generally 0 % (spraying gun) respectively up to 1,4 % (helicopter).

The atmospheric drift from helicopter application, measured in 1992 with spherical collectors in a distance of 50 m, reached maximally 3,4 % in a height of 7 m. Thus it can be concluded that, in a height of several meters, a cloud of droplets was transferred over a larger distance.

The difficulties of plant protection measures in steep slopes by helicopter are discussed.

5 Literatur

- BÄCKER, G., 1993: Stand der Recyclingtechnik. Der Deutsche Weinbau, Heft 7, 15-19.
- BÄCKER, G., BRENDEL, G., 1995: Möglichkeiten zur Reduzierung der Abtrift im Pflanzenschutz. Deutsches Weinbau-Jahrbuch 1996 (47), 137-146.
- BÄCKER, G., WESTPHAL, O., GÖHLICH, H., 1995: Infrarotaugen steuern die Düsen. Das Deutsche Weinmagazin, Heft 15, 24-28.
- BÄCKER, G., WESTPHAL, O., GÖHLICH, H., 1996: Sensortechnik in der Bewährungsprobe. Der Deutsche Weinbau, Heft 12, 14-18.
- BLEIHOLDER, H., GEIDEL, H., GRIGO, E., KOMINEK, H., LYRE, H., MOGK, M., O'SVATH, J., RESCHKE, M., RIEPERT, M., ROTHERT, H., SCHICKE, P., STELZER, G., 1984: Richtlinie für Planung, Durchführung und Auswertung von Versuchen mit Pflanzenbehandlungsmitteln 3 - 3, Teil 3: Auswertung des Einzelversuches. Herausgegeben von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin und Braunschweig.
- BOURQUIN, H. D., 1993: Die Bedeutung des Hubschraubers im Rebschutz - Empfehlungen für 1993. Die Winzer-Zeitschrift 8, Heft 5, 28-29.
- DIETRICH, J., UHL, W., RÜHLING, W., 1995: Steillagenweinbau: Neue Mechanisierungssysteme. Der Deutsche Weinbau, Heft 6, 12-17.
- EICHHORN, K. W., 1980: Umweltgerechte Applikation im Pflanzenschutz. Der Deutsche Weinbau 35, 479-484.
- EICHHORN, K. W., 1984: Entwicklungen der Blattflächen der Rebe - Untersuchungen über den Zuwachs der Blattfläche und anderer grüner Organe in Abhängigkeit von den Entwicklungsstadien der Rebe. Der Deutsche Weinbau 39, 1532-1537.
- ENGLERT, W. D., GÄRTEL, W., 1989: Dokumentation über die Verwendung des Hubschraubers zur Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln im Weinbau. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz im Weinbau, Bernkastel-Kues.
- FLICK, G., HOLZ, B., HUBER, W., KASSEMAYER, H.-H., KAST, W.K., LIPPS, H.P., LORENZ, D., 1988: Richtlinien für die amtliche Prüfung von Pflanzenschutzmitteln. Teil.2, Nr. 22 - 1.3: Richtlinien für die Prüfung von Fungiziden zur Bekämpfung von *Pseudopeziza tracheiphila* Müller-Thurgau an Reben. Herausgegeben von der Abt. für Pflanzenschutzmittel und Anwendungstechnik der Biologischen Bundesanstalt Braunschweig. ACO Druck, Braunschweig.
- GANZELMEIER, H., 1993: Bewertung der Abtrift. Aus: Festveranstaltung und Kolloquium Sprühgeräte. Bearbeitet von S. Rietz und H. Ganzelmeier. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft. Berlin Dahlem, Heft 292, 174-183.
- GANZELMEIER, H., LYRE, H., 1991: Richtlinien für die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mit Luftfahrzeugen. 2. Auflage. Herausgegeben von der Abteilung für Pflanzenschutzmittel und Anwendungstechnik der Biologischen Bundesanstalt Braunschweig. Saphir Verlag Ribbesbüttel.
- GANZELMEIER, H., RAUTMANN, D., BÄCKER, G., EICHHORN, K. W., IPACH, R., KERSTING, E., KOCH, H., RIPKE, F.-O., SCHMIDT, K., 1992: Richtlinien für die Prüfung von Pflanzenschutzgeräten, Teil VII, 2 - 1.1. Messung der direkten Abtrift beim Ausbringen von flüssigen Pflanzenschutzmitteln im Freiland. Herausgegeben von der Abt. für Pflanzenschutzmittel und Anwendungstechnik der Biologischen Bundesanstalt Braunschweig. Saphir Verlag Ribbesbüttel.

- GANZELMEIER, H., RAUTMANN, D., SPANGENBERG, R., STRELOKE, M., HERRMANN, M., WENZELBURGER, H.-J., WALTER, H.-F., 1995: Untersuchungen zur Abdrift von Pflanzenschutzmitteln. Ergebnisse eines bundesweiten Versuchsprogramms. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft. Berlin Dahlem, Heft 304.
- GATH, B., JAESCHKE, W., KUBIAK, R., RICKER, I., SCHMIDER, F., ZIETZ, E., 1993: Depositionsmonitoring von Pflanzenschutzmitteln: Teil 2 - Süddeutscher Raum. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 45, 134-143.
- IPACH, R., 1995: Optimaler Pflanzenschutz. Das Deutsche Weinmagazin, Heft 15, 16-20.
- IPACH, R., 1996: Möglichkeiten zur Verringerung des Bodensedimentes im Weinbau durch den Einsatz unterschiedlicher Applikationstechniken bei verschiedenen Entwicklungsstadien der Rebe. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft. Berlin Dahlem, Heft 321, 40.
- IRLA, E., SIEGFRIED, W., 1990: Vergleichsprüfung Weinbau-Sprühgeräte 1989. FAT-Berichte Nr. 382, CH-8356 Tänikon.
- KAUL, P., MEYER, E., GEBAUER, S., 1995: Direkte Abdrift von Pflanzenschutzmitteln - Flugzeug. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 47, 36-44.
- KÖHLER, S., MOTTE, G., GOEDICKE, H.-J., 1983: Zur Problematik von Abdriftweiten und Sicherheitsabständen beim Einsatz von Hubschraubern in der intensiven Obstproduktion. Arch. Phytopathol. u. Pflanzenschutz 19, 53-59.
- KÖHLER, S., MOTTE, G., ZIMMERMANN, U., GOEDICKE, J., DUNSING, M., BURTH, U., 1982: Zu Fragen der Abdrift beim Einsatz von Hubschraubern in der intensiven Obstproduktion. Arch. Phytopathol. u. Pflanzenschutz 18, 49-58.
- KÖPP, H., GANZELMEIER, H. 1992: Abdrift von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer - Grundlagen der Risikoabschätzung bei der Prüfung von Pflanzenschutzmitteln im Zulassungsverfahren. Aus: Beurteilung von Pflanzenschutzmitteln in aquatischen Ökosystemen. Redaktion: H. Becker, F. Döpke, E. Dorn, R. Heitefuss, B. Holtschulte, H. Köpp. 61-66. Verlag VCH.
- KUBIAK, R., MÜLLER, T., MAURER, T., EICHHORN, K. W., 1995: Volatilization of pesticides from plant and soil surfaces - Field versus laboratory experiments. Intern. J. Environ. Anal. Chem. 58, 349-358.
- LÜDERS, W., 1978: Abdriftversuche beim Ausbringen von Flüssigkeiten im Pflanzenschutz mit einem Hubschrauber (Weinbau). Gesunde Pflanzen 30, 209-216.
- LÜDERS, W., GANZELMEIER, H., 1983: Untersuchungsergebnisse über die Anlagerung der Behandlungsflüssigkeit bei verschiedenen Pflanzenschutzgeräten in Rebsteillagen. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 35, 70-75.
- MOHR, H. D., HOLZ, B., 1995: Applikationstechnische Versuche im Weinbau zur Bekämpfung des Roten Brenners, *Pseudopeziza tracheiphila* (MÜLLER-THURGAU) KORF & ZHUANG und zur Verteilung von Pflanzenschutzmitteln. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft. Berlin Dahlem, Heft 306.
- MÜLLER-THURGAU, H., 1903: Der rote Brenner des Weinstocks. Zentralbl. f. Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten 10, 1 - 38.
- RAISIGL, U., MANTINGER, H., VIGEL, J., 1993: Optimale Ausbringvolumina. Aus: Festveranstaltung und Kolloquium Sprühgeräte. Bearbeitet von S. Rietz und H. Ganzelmeier. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- Forstwirtschaft. Berlin Dahlem, Heft 292, 139-155.

- RAUTMANN, D., 1993: Geräteentwicklungen zur Verringerung des Pflanzenschutzmittelaufwandes. Aus: Festveranstaltung und Kolloquium Sprühgeräte. Bearbeitet von S. Rietz und H. Ganzelmeier. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin Dahlem, Heft 292, 184-187.
- RÖDLER, G., 1995: Untersuchungen über Abtrift und Abtropfverluste und der damit verbundenen unerwünschten Bodensedimentation von Pflanzenschutzmitteln im Weinbau unter Einbeziehung der Recyclingtechnik. Der Winzer, Heft 5, 12-14.
- SCHMIDT, K., 1991: Untersuchungen zur Abtrift beim Sprühen im Obstbau mit reduziertem Flüssigkeitsaufwand. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Braunschweig, Merkblatt Nr. 68.
- SCHRUF, G., ROTH, B., WEGNER, G., 1996: Zur ökologischen Bewertung von Tunnelspritzgeräten. Deutsches Weinbau-Jahrbuch 1997 (48), 163-166.
- SIEBERS, J., HAENEL, H.-D., GOTTSCHILD, D., 1993: Untersuchungen zur Verflüchtigung von Lindan unter Freilandbedingungen - Bestimmung aus Konzentrationsmessungen in Luft und aus Rückstandsmessungen. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 45, 240-246.
- SIEGFRIED, W., KREBS, Ch., RAISIGL, U., 1990: Applikationstechnik im Obstbau - Vergleich verschiedener Gebläsespritzen. Schweiz. Zeitschrift für Obst- und Weinbau 126, 185-197.
- SIEGFRIED, W., RAISIGL, U., 1991: Erste Erfahrungen mit dem Joco-Recyclinggerät im Rebbau. Schweiz. Zeitschrift für Obst- und Weinbau 127, 154-160.
- SIEGFRIED, W., HOLLIGER, E., RAISIGL, U., 1993: Tunnel-Recyclinggeräte - die neue Sprühtechnik im Obst- und Rebbau. Schweiz. Zeitschrift für Obst- und Weinbau 129, 36-43.
- UHL, W., 1995: Weniger Abtrift beim Pflanzenschutz im Weinbau. Rebe und Wein, Heft 2, 50-52.

Danksagung

Dem Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau des Landes Rheinland-Pfalz wird für die finanzielle Unterstützung gedankt.