

# Phytopathologie an der Universität Konstanz

von Kurt Mendgen

*Lange Zeit war die Grundlagenforschung zur Schädlingsbekämpfung und des Pflanzenschutzes Sache der Institute der Biologischen Bundesanstalt und der Universitäten mit landwirtschaftlichen Fakultäten. Seit 1979 gibt es nun einen Lehrstuhl für Phytopathologie in der Fakultät für Biologie an der Universität Konstanz. Über die Forschungsgebiete und -schwerpunkte – Infektionsvorgänge bei Pflanzenparasiten, Abwehrreaktionen von Pflanzen, Infektionsweise von Pilzen, die andere Pilze befallen – sowie über erste Ergebnisse berichtet Professor Dr. Kurt Mendgen, Ordinarius für Phytopathologie an der Universität Konstanz.*

## 1. Bedürfnisse der Region

Die Landschaft der Bodenseeregion ist reich gegliedert, und ebenso vielseitig ist die Zahl der landwirtschaftlichen Kulturen. Jedermann kennt die »Gemüseinsel« Reichenau. Die Apfelpflanzkultur in unserer Region ist weit verbreitet und gehört zu den größten Anbaugebieten Deutschlands. Sonderkulturen, wie der Weinbau und der Hopfenanbau, sind ebenfalls vertreten. Alle Kulturen bedürfen der Betreuung durch Phytopathologen.

Zu den wenig bekannten und eigentlich kaum diskutierten Subventionen für die Landwirt-

schaft gehört der Pflanzenschutzdienst der Länder. Diese Einrichtung hat neben hoheitlichen Aufgaben, wie Aufsicht über Import und Export von Pflanzenmaterial und der Prüfung von Pflanzenschutzmitteln, die Pflicht, die Landwirte insbesondere bei der Behandlung ihrer Kulturen mit Pflanzenschutzmitteln zu beraten. Die vielgeschmähte Vergiftung unserer Lebensmittel kann eigentlich nur dann passieren, wenn Landwirte ohne das nötige Fachwissen diese Mittel anwenden.

Einrichtungen des Deutschen Pflanzenschutzdienstes gibt es in der Bodenseeregion seit 1939. Es begann mit einer Bezirksstelle für Kartoffelkäferbekämpfung in Radolfzell. Diese wurde 1947 nach Meersburg verlegt und bestand eigentlich nur aus einem kleinen Raum im Obstgut Sigel in Riedetsweiler. Von dort aus betreute Herr Dr. Bender die Landwirte bis in den Schwarzwald hinein. Man kann sich kaum vorstellen, mit welchem Einsatz dieser Kollege diese große vielgegliederte Landwirtschaft betreute, die Landwirte zusammenrief und sie zu einem vorsichtigen und sorgfältigen Pflanzenschutz anleitete, der früher oft genug nur aus der Anwendung einer giftigen Brühe bestand.

1962 wurde das »Pflanzenschutzamt« nach Meersburg verlegt, und, als 1972 in Überlingen das alte Badische Großherzogliche Bezirksgefängnis frei wurde, richtete man in der unteren

Etage ein Amt ein, das Platz für den Leiter des Pflanzenschutzdienstes, Herrn Dr. Schick, mit seinen Mitarbeitern bietet. In der oberen Etage sind immer noch die alten Gefängniszellen vorhanden und könnten, wenn man die sanitären Einrichtungen verbesserte, gleich wieder benutzt werden. 1973 wurde in Radolfzell ein Pflanzenschutzamt und nach der Gebietsreform im Landwirtschaftsamt eine übergebietliche Pflanzenschutzberatungsstelle eingerichtet, der Herr Dr. Zohren vorsteht. Diese Kollegen betreuen also die hiesigen Landwirte in allen Fragen des Pflanzenschutzes, wobei sich Herr Dr. Schick etwas mehr der Betreuung des Apfelbaus zuwendet und Herr Dr. Zohren mehr in Fragen des Gemüseanbaus berät. Beide Kollegen sind verantwortlich für tierische, pilzliche und andere Schädlinge in der Praxis.

## 2. Einrichtung des Lehrstuhls Phytopathologie an der Universität Konstanz

Die Grundlagenforschung im Bereich der Schadorganismen und der verschiedenen Methoden zu deren Bekämpfung wird hauptsächlich bei den Instituten der Biologischen Bundesanstalt und an den Universitäten mit landwirtschaftlichen Fakultäten durchgeführt. 1979 wurde nun an der Universität Konstanz erstmals ein Lehrstuhl für Phytopathologie an einer Fakultät für Biologie eingerichtet. Diese Arbeitsgruppe befaßt sich mit den Mechanismen der Infektion durch Pilze, durchgeführt an Rostpilzen. Arbeiten dieser Art tragen wirkungsvoll zu den Methoden der biologischen Schädlingsbekämpfung bei, weil während der Infektion ein Pilz besonders leicht zu bekämpfen ist.

Diese Arbeitsrichtung paßt auch sehr gut in den an der Universität Konstanz eingerichteten Schwerpunkt »Ökologie«.

## 3. Die Untersuchung von Rostpilzen

### 3.1 *Geschichtliches über Rostpilze*

Berichte über Blattkrankheiten der Kulturpflanzen finden wir in allen Hochkulturen. Es ist natürlich schwierig, diese Krankheitsbeschreibungen, die meist nur von Rot- oder Weißfärbung der Blätter berichten, genau einzuordnen und zu definieren, ob es sich beispielsweise um einen Rostpilz oder Mehltaupilz handelte. Interessant ist jedenfalls, daß schon Theophrast (372–285 v. Chr.), ein Schüler von Plato und Aristoteles, behauptete, daß gerade die Kulturpflanzen, und nicht die Wildpflanzen, von Krankheiten befallen würden. Eine wohl gefühlsbetonte Äußerung, die man ja auch heute noch oft hört. Jedenfalls gehören die Rostpilze, die wir hier bearbeiten, zu den Pilzen, deren verschiedene Arten fast alle Pflanzen befallen können. Auf dem Getreide rufen sie durch die Sporen, die gelb, rot, braun oder schwarz gefärbt sein können, ein Rostsymptom hervor, da der Pilz im Gewebe der Pflanze wächst und nur die Sporen nach außen drückt. Dabei platzt die Epidermis der Blätter auf, und es entsteht das »rostige« Aussehen der Pflanze.

### 3.2 *Biologische Schädlingsbekämpfung und Rostpilze*

Eine eigentliche »Pflanzenpathologie« konnte erst entstehen, als den Wissenschaftlern Mikroskope zur Verfügung standen, mit denen der »Rost« beobachtet werden konnte. Die bizarre Welt, die sich dabei den Naturforschern auftat, ist auch heute noch für jeden Nichtfachmann ein besonderes Ereignis. Der Rost besteht zunächst einmal aus den Sporen des jeweiligen Pilzes. Diese Sporen sind mit spitzen Warzen versehen und werden von Luftströmungen leicht fortge-

Deutscher Pflanzenschutzdienst



# Die Berberitze

## eine Gefahr für das Getreide



Der  
Schwarzrost des Getreides  
braucht zu seiner Entwicklung  
den Berberitzenstrauch.

Deshalb ist dieser überall,  
besonders aber in der Nähe  
von Getreidefeldern,  
zu vernichten.

FRANKFURT AM MAIN  
VERLAG VON DR. WILHELM ENGELMANN

Abbildung 1 Merkblatt, das 1936 von der Biologischen Reichsanstalt verteilt wurde und die Landwirte aufforderte, die Berberitze zu vernichten.

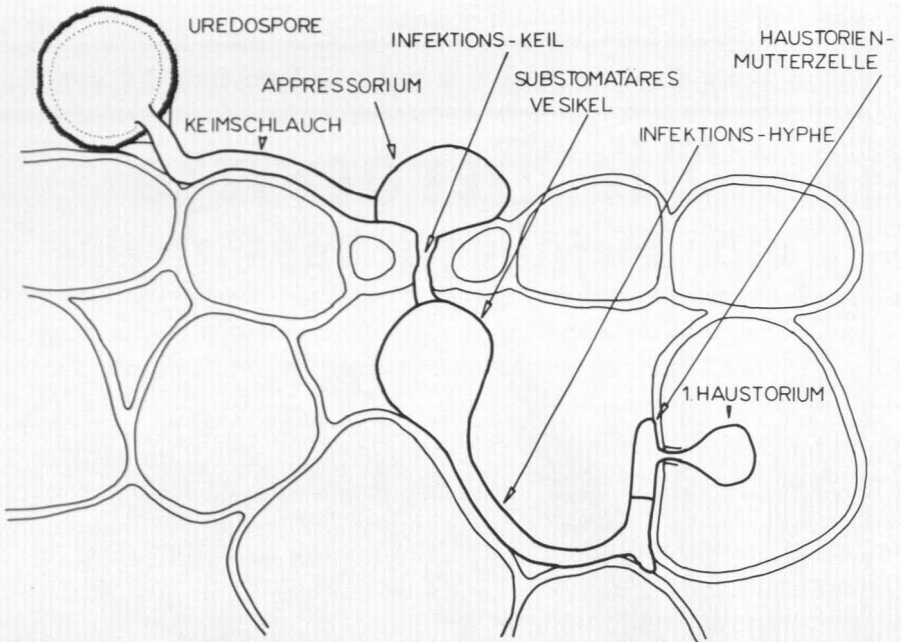


Abbildung 2 Schematische Darstellung der Infektionsstrukturen eines Rostpilzes zu Beginn der Besiedelung eines Blattes, im Querschnitt.

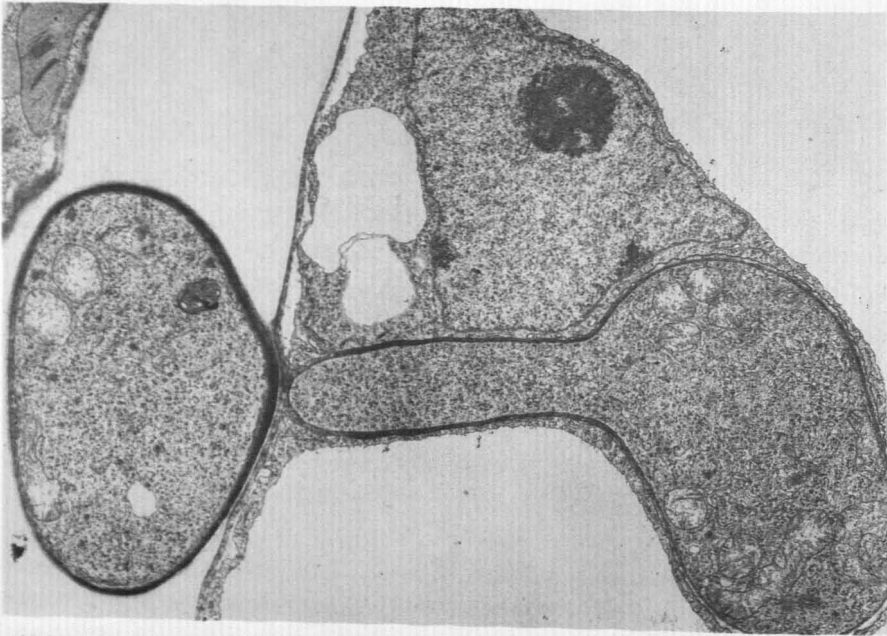


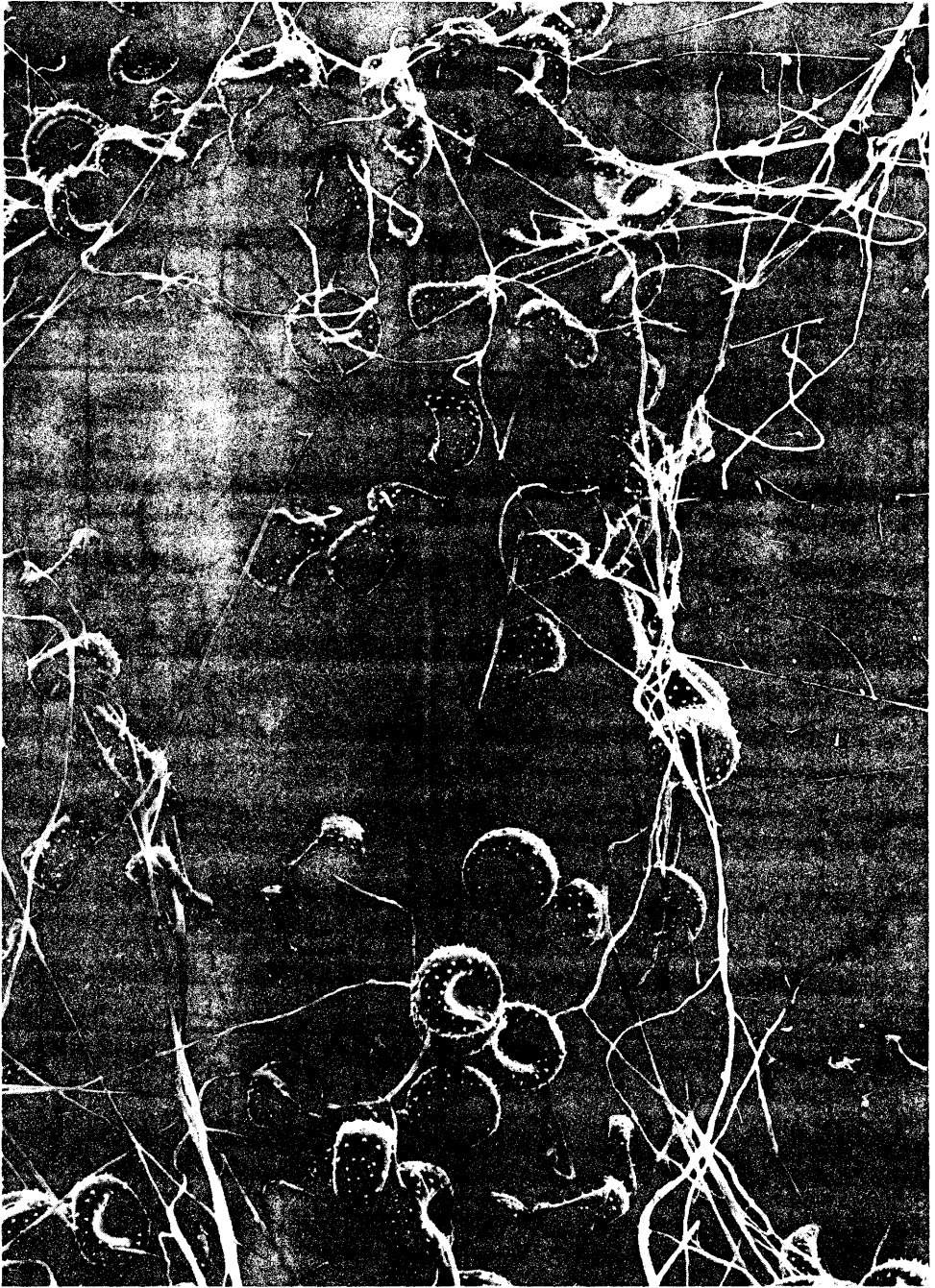
Abbildung 3 Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Haustoriums des Bohnenrosts (*Uromyces appendiculatus*), im Querschnitt, ×9000.



*Abbildung 4* Abdruck des Plasmalemmas der Bohne (*Phaseolus vulgaris*) nach Inkubation mit Filipin und Gefrierätzung, im Transmissionselektronenmikroskop,  $\times 21\,000$ .



*Abbildung 5* Das um das Haustorium geschmiegte Plasmalemma, mit der gleichen Technik wie auf *Abbildung 4* aufgearbeitet. Die Höcker, die die Sterole darstellen sollen, sind kaum noch aufzufinden. Aufnahme mit dem Transmissionselektronenmikroskop,  $\times 20\,000$ .



*Abbildung 6* Blattoberfläche der Bohne, mit den Sporen des Bohnenrostes (*Uromyces appendiculatus*) und den dazwischen und darüber wachsenden Hyphenfäden des Hyperparasiten *Verticillium lecanii*, im Rasterelektronenmikroskop,  $\times 1750$ .

tragen. Fallen die Sporen auf ein feuchtes Substrat, entsteht der Keimschlauch. Schon 1839 beobachtete Corda, wie der Keimschlauch dieser Sporen in die Blätter eindringt, ohne jedoch zu erfassen, daß es sich hier um einen Infektionsvorgang handelte. Erst De Bary (1853) verfolgte genau das weitere Wachstum des Pilzes in dem Pflanzengewebe und beobachtete auch, wie der Pilz die Sporen abschnürt. Die sorgfältigen Experimente De Barys führten denn auch zu dem anscheinend ersten, wissenschaftlich erarbeiteten Weg der biologischen Schädlingsbekämpfung: De Bary fand heraus, daß unter anderem der Schwarzrost des Getreides, *Puccinia graminis*, verschiedene Sporenformen ausbildet: Sommersporen (Uredosporen), damit er sich schnell im Getreidefeld verbreiten kann (Generationsdauer 5 bis 10 Tage). Diese Sporen sterben jedoch nach wenigen Wochen ab und überdauern keinen Winter. Im Herbst bildet der Pilz dann Wintersporen (Teleutosporen) aus, die durch Frostbehandlung erst richtig keimungsbereit werden. Im Frühjahr benötigen diese Sporen jedoch einen sogenannten »Zwischenwirt«. Dies bedeutet, daß die Teleutosporen nach einer Reduktionsteilung Basidiosporen ausbilden, die nur die Berberitze infizieren können. Erst die auf der Berberitze entstehenden Frühjahrssporen (Aecidiosporen) können wieder das Getreide befallen und dann großen Schaden anrichten (1). Da lag es nun nahe, den Landwirten zu empfehlen, ganz einfach die Berberitzen in der Nähe der Getreidefelder auszureißen, um so eine Rostinfektion zu vermeiden (Abbildung 1). Es ist ja kein Geheimnis, daß heute der Schwarzrost auf unseren Getreidefeldern nur noch ganz selten vorkommt und keinerlei Bedeutung mehr hat.

### 3.3 Der Infektionsverlauf beim Bohnenrost

Am Lehrstuhl Phytopathologie der Fakultät für Biologie untersuchen wir nun den Infektionsverlauf der verschiedenen Rostpilze auf den jeweiligen Kulturpflanzen ganz sorgfältig mit den modernen Methoden der Licht- und Elektronenmikroskopie und versuchen, mit cytochemischen Methoden herauszufinden, welche Bedingungen der Pilz benötigt, um in die Pflanze und in ihre Zellen einzudringen. Leichte Veränderungen der Infektionsbedingungen stören den Pilz oft schon so stark, daß ihm die Infektion mißlingt. Auch die Pflanze kann den Pilz abwehren. Durch sorgfältige Selektion der Kulturpflanzen haben die Züchter in aller Welt Eigenschaften der Pflanzen selektiert, die es ihr erlauben, das Pilzwachstum abzustoppen. Wir untersuchen diese Vorgänge genau und wollen dem Züchter Hinweise dafür geben, welche Gene besonders wirksam und vielversprechend in der Praxis im großflächigen Anbau sind.

Herausgegriffen seien hier unsere Untersuchungen (2) beim Bohnenrost (*Uromyces appendiculatus*), der ja auch auf der Insel Reichenau regelmäßig vorkommt. Bei uns hat dieser Rost wegen des kühlen Klimas keine große wirtschaftliche Bedeutung. In Lateinamerika oder Australien verdirbt er oft einen Großteil der Ernte.

Die Sommerspore (Uredospore) des Bohnenrosts kann die Bohnen immer dann infizieren, wenn ein Taubelag auf den Blättern vorhanden ist, oder die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Der Pilz entwickelt nämlich besondere Infektionsstrukturen (Abbildung 2), mit denen er völlig intakte, unbeschädigte und gesunde Blätter infizieren kann. Der Keimschlauch der Uredospore ist in der Lage, die Blattoberfläche der Wirtspflanze zu erkennen (3). Anscheinend orientiert sich der Pilz nach den Wachskristallen auf der Oberfläche der Epidermis. Besonders

eindrucksvoll ist seine Fähigkeit, die Spaltöffnung zu finden. Die Spaltöffnung wird durch die beiden Schließzellen gebildet. Diese besitzen, auf ihrer äußeren Seite, zwei Vorhofleisten. Sie können die Spaltöffnung fast völlig abschließen. Der Keimschlauch erkennt nun diese Vorhofleisten und differenziert darüber eine Art Haftscheibe aus, die wir Appressorium nennen. Das Appressorium verhakt sich an den beiden Vorhofleisten und dient dadurch als Widerlager für die nun stattfindende Penetration in das Blattinnere. In der Mitte des Bodens des Appressoriums entsteht ein kleiner Infektionskeil, der die beiden Schließzellen auseinanderdrücken kann. Der Infektionskeil wächst jetzt in die Atemhöhle unter den Schließzellen des Blattes, und es entsteht hier ein Bläschen, das wir substomatäres Vesikel nennen. In diesem Vesikel sammelt sich das Plasma des Pilzes an, und der Pilz bereitet die Infektion der Wirtszellen vor: Aus dem substomatären Vesikel wachsen eine oder mehrere Infektions-Hyphen, die Kontakt mit den Parenchymzellen der Wirtspflanze aufnehmen, um deren Penetration einzuleiten.

Die Wirtspflanze ihrerseits bleibt bei diesem Vorgang nicht untätig. Zunächst scheidet sie, schon während der Pilz durch die Spaltöffnung hineinwächst, Äthylen aus. Es sind zwar nur ganz geringe Mengen, die nicht toxisch sind, sie wirken aber als Alarmsignal. Wenn die Infektions-Hyphen nun Kontakt mit der Wirtszelle aufnehmen, ist diese bereits gewarnt, und die ersten Abwehrreaktionen beginnen. Der Kern der Zelle wandert an die Kontaktstelle, das Plasma aggregiert dort, und die Atmung der Zelle steigt stark an.

Hier beginnt eines der faszinierendsten Kapitel der modernen Phytopathologie. Wir möchten gerne wissen, weshalb der Rostpilz bei seiner Wirtspflanze in der Lage ist, weitere Abwehrre-

aktionen der Zelle zu unterdrücken. Der Bohnenrostpilz kann jetzt in die Zelle des Bohnenblattes eindringen. Fast alle anderen Pilze werden jedoch von der Wirtszelle abgewehrt: Sie produziert Zellwandmaterial und wehrt andere Pilze durch Wandablagerungen ab. Die Zelle kann sogar Siliziumdioxid an dieser Stelle ablagern und so eine Penetration stark behindern. Sie kann aber auch toxische Substanzen, sogenannte Phytoalexine, produzieren, die den Pilz abtöten.

Der Bohnenrost kann also Abwehrreaktionen bei der Bohne unterdrücken. Dies geschieht wahrscheinlich dadurch, daß der Pilz auf der Oberfläche der Infektions-Hyphes Moleküle besitzt, mit denen er die Reaktionen der Wirtszelle regulieren kann. Wir vermuten, daß Glykoproteine des Pilzes die Abwehrreaktionen abschalten. Dies würde bedeuten, daß der Bohnenrost die Bohne deshalb infizieren kann, weil er im Laufe seiner Evolution »gelernt« hat, Moleküle zu synthetisieren, die Abwehrreaktionen der Bohne, aber nicht die anderer Pflanzen, zu unterdrücken. Deshalb kann der Bohnenrost wohl, neben anderen Gründen, auch nur die Bohne infizieren. Viele Forscher hoffen nun, die Struktur der Moleküle, die die Abwehrreaktionen an- und abschalten, aufzuklären. Erste Hinweise haben wir schon erhalten. Es sind vielleicht Glucane (4), die völlig ungiftig sind. Mit solchen Molekülen könnte man leicht die Abwehrreaktionen der Zelle aktivieren und so die pathogenen Pilze abwehren. Dies wären ideale Pflanzenschutzmittel.

Der eigentliche Penetrationsvorgang in die Wirtszelle wird vom Pilz sorgfältig eingeleitet: An der Spitze der Infektions-Hyphes wird eine Haustorienmutterzelle ausdifferenziert. Aus dieser Zelle wächst ein Penetrationskeil durch die Zellwand in die Wirtszelle (Abbildung 3).

Die Ausdifferenzierung des Haustoriums in der

Wirtszelle ist von entscheidender Bedeutung für den weiteren Verlauf der Wirt-Parasit-Beziehung (2). Viele Resistenzgene beginnen erst jetzt, Abwehrreaktionen einzuleiten. Wenn man sich die Haustorienbildung genauer betrachtet, ist dies auch leicht zu verstehen: Der Pilz durchbohrt nicht das Plasmalemma (die äußere Haut des Cytoplasmas), sondern drückt es nur ein. Daraufhin schmiegt sich das Plasmalemma um das Haustorium. Zwischen Wirtsplasmalemma und der Wand des Haustoriums entsteht eine »helle« Zone, die wir extrahaustoriale Matrix nennen. So bleiben Wirt und Parasit stets getrennt, und die Plasmamembranen beider Organismen kommen nie in direkten Kontakt. Der Parasit ist jedoch anscheinend in der Lage, die Plasmamembran der Wirtszelle so zu beeinflussen, daß sie stark verändert wird (5). Wenn man die Membranen mit dem Antibiotikum Filipin, einem Nachweisreagens für Sterole, behandelt, so sieht man, daß das Plasmalemma normalerweise gleichmäßig mit Sterolen durchsetzt ist. In der Umgebung des Haustoriums fehlen diese Moleküle sehr oft (Abbildungen 4 und 5). Dies ist, neben anderen Hinweisen, ein wichtiger Beweis für die Annahme, daß das Plasmalemma um das Haustorium möglicherweise so verändert wird, daß es den Transport der Metabolite von der Wirtspflanze in den Pilz stark erleichtert.

Die Wirtspflanze kann aber auch Abwehrgene besitzen, um das Haustorium abzutöten. So wurde beobachtet, daß die Wirtszelle das ganze Haustorium einkapselt und dadurch offensichtlich unwirksam macht. Weitere Gene beeinflussen den Metabolitentransport von der Wirtszelle in das Haustorium (6), so daß der Parasit in der Wirtszelle »verhungert«.

Die Untersuchung der Wirkungsweise der verschiedenen Resistenzgene ist von besonderer Bedeutung, weil es dem Pilz durch Selektion

neuer Rassen immer wieder ermöglicht wird, solche Abwehrreaktionen zu überwinden oder zu unterdrücken. Die Züchter wissen aber, daß einige Resistenzgene viele Jahre stabil bleiben, und möchten nun gerne wissen, wie ein Resistenzgen funktioniert, das nicht schon bald durch neue Erregerassen überwunden wird. Dazu gehören anscheinend solche Resistenzgene, die die Pflanzenzelle dazu bringen, besonders strukturiertes Wandmaterial an der Penetrationsstelle abzulagern, wenn der Pilz noch auf der Außenseite der Wirtszelle sitzt und sich erst darauf vorbereitet, in die Zelle einzudringen. Hier wird ganz deutlich, warum sich die Arbeiten der Züchter und der Phytopathologen bei der Erarbeitung biologischer Verfahren zur Abwehr von Schaderregern ergänzen.

#### 4. Die Anwendung von Hyperparasiten

Es gibt viele Pilze, die Pilze parasitieren. Man nennt sie auch Hyperparasiten. Dies wird oft zur Bekämpfung von pflanzenparasitären Pilzen ausgenutzt. So gibt es in unseren Böden Pilze, die gegen die Pilze, welche die Wurzeln von Kulturpflanzen befallen, antagonistisch wirken oder diese befallen. Bei Pilzen, die Blätter befallen, ist es schwieriger, solche Pilzparasiten einzusetzen. Pilze benötigen meist hohe Luftfeuchtigkeiten, um wachsen zu können. Bei Sonnenschein trocknet die Blattoberfläche aber sehr stark aus, und die Pilzhyphen, die sich nicht im Blattgewebe befinden, sterben meist ab, und nur die Sporen bleiben lebensfähig. Deshalb ist der Einsatz von Hyperparasiten bei der Bekämpfung von Blattparasiten noch im Versuchsstadium. Von einem vielversprechenden Hyperparasiten soll hier kurz berichtet werden:

Der Hyperparasit *Verticillium lecanii* ist ein Pilz, der Insekten und Rostpilze befällt (Abbil-

6). Offensichtlich besitzt er die nötigen Enzyme, um die dicken Wände der Insekten und der Rostpilze, die zum großen Teil aus Chitin bestehen, angreifen zu können. Wir versuchen nun, die Sporen dieses Pilzes in Fermentern in großen Mengen heranzuziehen und zu einer Art Spritzpulver zu verarbeiten. Der Pilz wird dann auf die Felder gesprüht. Nachts, wenn der Tau die Blätter bedeckt, sollen die Sporen schnell keimen und mit dem Keimschlauch in die Rostsporen oder in die Insekten, wie zum Beispiel Blattläuse oder Schildläuse, eindringen. Damit die Sporen besser gegen die Trockenheit geschützt werden, wollen wir sie mit einem Pektinfilmm überziehen.

Im Labor und in Gewächshäusern haben wir schon gute Resultate erhalten. Im Freiland konnte sich der Hyperparasit noch nicht richtig durchsetzen. Wir hoffen nun, durch Verbesserung unserer »Spritzbrühe« dieses System so zu verbessern, daß auch der Landwirt es wie ein normales Mittel anwenden kann.

## 5. Ausblick

Die hier vorgestellten Beispiele zeigen, daß wir in der Zukunft mit sehr viel mehr Möglichkeiten einer biologischen Schädlingsbekämpfung rechnen können. Die Vorbereitungen dazu laufen in vielen Labors. Eine Einschränkung muß jedoch gemacht werden: So wie sich die Schadpilze auf ihre jeweilige Wirtspflanze spezialisiert haben, so sind auch die Methoden der biologischen Schädlingsbekämpfung meist auf einen be-

stimmten Erreger oder Erregerkreis zugeschnitten. Dadurch wird die Anwendung viel schwieriger und komplizierter als mit Hilfe eines Pflanzenschutzmittels, das leicht in großer Menge synthetisiert werden kann, ohne große Vorsichtsmaßnahmen oft über Jahre hinweg gelagert und meist gegen eine große Gruppe von Pilzen oder Insekten eingesetzt werden kann (7). Deshalb bedeutet biologische Schädlingsbekämpfung gleichzeitig »komplizierte« Schädlingsbekämpfung. Die Ausbildung der Anwender, nicht zuletzt auch unserer Landwirte, muß in dieser Richtung bedeutend verbessert werden.

## LITERATUR

- 1 MENDGEN, K., *Development and physiology of teliospores*. In: Bushnell and Roelfs (eds.), *The cereal rusts*. Academic Press 1984, pp. 375–398.
- 2 MENDGEN, K., *Der Infektionsverlauf von Uromyces phaseoli bei anfälligen und resistenten Bohnensorten*. *Phytopath. Z.* 93, 295–313 (1978).
- 3 MENDGEN, K., *Differential recognition of the outer and inner walls of epidermal cells by a rust fungus*. *Naturwissenschaften* 69, 502–503 (1982).
- 4 MENDGEN, K., LANGE, M., AND BRETSCHNEIDER, K., *Quantitative estimation of the surface carbohydrates on the infection structures of rust fungi with enzymes and lectins*. *Arch. Microbiol.* 140, 307–311 (1985).
- 5 HARDER, D. E., AND MENDGEN, K., *Filipin-sterol complexes in bean rust- and oat crown rustfungi/plant interactions: Freeze-etch electron microscopy*. *Protoplasma* 112, 46–54 (1982).
- 6 MENDGEN, K., *Nutrient uptake in rust fungi*. *Phytopathology* 71, 983–989 (1981).
- 7 MENDGEN, K., *Alternativen beim Pflanzenschutz?* *Naturwissenschaften* 70, 235–240 (1983).