

Zum Thema Waldsterben: Rotfäule der Fichte

Möglichkeiten biologischer Bekämpfung / Von Hans Otto Schwantes und Erich Falk

Pilzliche Parasiten sind nicht selten als sekundärer, aber letztlich für das Absterben ausschlaggebender Schadfaktor am komplexen „Baumsterben“ beteiligt, das unter dem primären Einfluß von Standortverschlechterungen z. B. durch Grundwasserabsenkungen oder Schadstoffimmissionen in der Industrielandschaft ständig zunimmt.

Jährlich ruft die sogenannte Rotfäule in Mittel- und Nordeuropa sowie in den USA und in Kanada enorme forstwirtschaftliche Verluste hervor. In Westeuropa sind es vor allem Kiefern- und Fichtenbestände, die von dieser Krankheit heimgesucht werden. Wie eine Beschreibung von Bechstein aus dem Jahre 1821 belegt, ist das Auftreten der Rotfäule eine seit langem bekannte Erscheinung, war also bereits vor der eigentlichen Industrialisierung mit ihren umweltbelastenden Folgeerscheinungen bekannt. Im 1. Band seines Forstwissenschaftlichen Lehrbuches (Forstbotanik oder Naturgeschichte der deutschen Holzgewächse) bemerkt Bechstein im Kapitel „von den Krankheiten der Holzgewächse“ über die „Rotfäule“: „Man findet sie vorzüglich an Nadelhölzern und am meisten an den Fichten... z. B. auf fettem Kalkboden... sind sie inwendig rot, an- oder ausgefault, und das Holz ist wegen seiner schwammigen Substanz zum Bauen und zur Feuerung untauglich“ (Titelbild).

Inzwischen ist die Fichte, die den heimischen Laubhölzern durch ihre Schnellwüchsigkeit im Ertrag weit überlegen ist, in der BRD zur wichtigsten Baumart, dem „Brotbaum“ der Forstwirtschaft geworden. Da sie dem Befall durch Rotfäule im Vergleich zu anderen Forstpflanzen nur geringen Widerstand entgegenbringt, sind die Schäden beträchtlich und machen Bekämpfungsmaßnahmen erforderlich. Der Faulholzanteil des jährlichen Einschlags an Fichtenholz wird auf 20% geschätzt. Infolge der Bedeutung dieser Holzverluste stellte die Deutsche Forschungsgemeinschaft Ende der 60iger Jahre ein Schwerpunktprogramm „Rotfäule der Fichte“ heraus, an dem sich zahlreiche Wissenschaftler verschiedener Fachrichtungen beteiligten, und förderte die Erforschung dieser Krankheit, die lange vernachlässigt worden war, durch hohe Finanzmittel. Die Untersuchungen sind teilweise heute noch nicht abgeschlossen.



Bild 1: Fruchtkörper des „Wurzelschwammes“ *Fomes annosus* an einer Fichte.

die Fäule ausschließlich durch *Fomes annosus* hervorgerufen wird, zu 20% befindet sich dieser Schädling in Gemeinschaft mit anderen Pilzen, an den restlichen 40% ist er überhaupt nicht beteiligt. Es können also eine ganze Reihe anderer Schadpilze, darunter vor allem der Hallimasch, dessen Fruchtkörper im Herbst auf dem Boden, auf Stubben oder im Stammbereich infolge ihrer Häufigkeit auffallen, die gleichen Krankheitserscheinungen hervorrufen. Der Begriff „Rotfäule“ sagt also zunächst nichts über den Schädling aus, gibt auch keinen Anhalt darüber, welche Substanzen im Baum vom Pilz abgebaut werden (Zellulose oder/und Lignin), sondern kennzeichnet lediglich das bereits von Bechstein charakterisierte Schadbild.

Infektion und Ausmaß der Schäden

Nach dem Ort und der Art der Infektion lassen sich zwei Befallstypen unterscheiden. Bei der Wundfäule nutzt der Erreger oberirdische Verletzungen an Stamm und Ästen aus, wie sie z. B. durch vom Wild verursach-

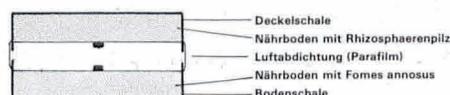


Bild 2: Nachweismöglichkeit der Wirkung leichtflüchtiger Metabolite auf das Wachstum mit Hilfe eines geschlossenen Kultursystems.

Erreger der Rotfäule

1878 erkannte Hartig den „Wurzelschwamm“ *Fomes annosus* (Bild 2) als häufig vorkommenden Rotfäuleerreger. In der Folgezeit schrieb man sämtliche Rotfäuleerscheinungen diesem Pilz zu. Es hat sich jedoch gezeigt, daß nur in ca. 40% der Fälle

te Schälschäden oder Beschädigungen der Borke infolge Rückarbeiten beim Abtransport des Holzes nach Durchforstungen im Bestand entstehen. Der Anteil der durch Wundfäule hervorgerufenen Rotfäule dürfte ca. 50% betragen. Beim zweiten Fäuletypus der Kernfäule, erfolgt der Befall durch die Wurzel; die Fäule steigt im Kern des Holzes von der Wurzel in den Stamm hin auf. Der Fäulepilz kann sowohl durch das unversehrte Abschlußgewebe der Wurzel eindringen, aber auch bei der Kernfäule können Verletzungen als Eintrittspforten dienen.

Nur etwa 10% des Vorkommens von *Fomes annosus* läßt sich auf Wundfäule zurückführen. Aus diesem Grunde richtet die Forschung ihren Schwerpunkt auf die Suche nach wirksamen Bekämpfungsmaßnahmen zur Eindämmung der durch diesen Erreger hervorgerufenen Kernfäule, denn immerhin 70% dieser Schäden werden durch den Wurzelschwamm verursacht.

Das Ausmaß der Holzverluste läßt sich erkennen, wenn neben der Abundanz eines Erregers auch der Umfang seines Schadens am einzelnen Baum berücksichtigt wird. *Fomes annosus* zeigt sich auch in dieser Hinsicht anderen Fäulepilzen überlegen.

Während der zweitwichtigste Kernfäuleerreger, der Hallimasch, durchschnittlich ein bis zwei Meter im Stamm aufsteigt, vermag *Fomes* bis in 12 m Höhe vorzudringen, also die für einen Erlös wichtigsten Teile des Stammes durch Rotfäule zu zerstören (Titelbild).

Die Einleitung gezielter Bekämpfungsmaßnahmen gegen diesen Pilz, der sich durch epidemisches Auftreten, Aggressivität, Pathogenität und Wachstumsintensität auszeichnet, setzt Kenntnisse über Befall und Ausbreitung in der Wirtspflanze voraus. Die Schwierigkeit besteht jedoch darin, daß die Infektion eines Baumes – abgesehen von den wenigen Fällen, in denen *Fomes annosus* über oberirdische Wunden in das Holz eindringt – über das Wurzelsystem unmerklich bleibt. Erst starker Harzfluß, fleckenförmige Verdickungen der Stammschwamm dort, wo durch vermehrtes Dickenwachstum der durch die Fäule verursachte Festigkeitsverlust zunächst ausgeglichen wird sowie Fruchtkörperbildung an den aus der Rohhumusschicht hervortretenden Wurzeln (Bild 1) sind erste äußere Kennzeichen für den Befall eines Baumes. In diesem Stadium ist der Pilz jedoch schon weit im Kern des Stammes vorgedrungen. Sinnvolle Bekämpfung kann daher nur durch präventive Maßnahmen erfolgen, die dem Parasiten die Möglichkeit der Infektion nehmen.

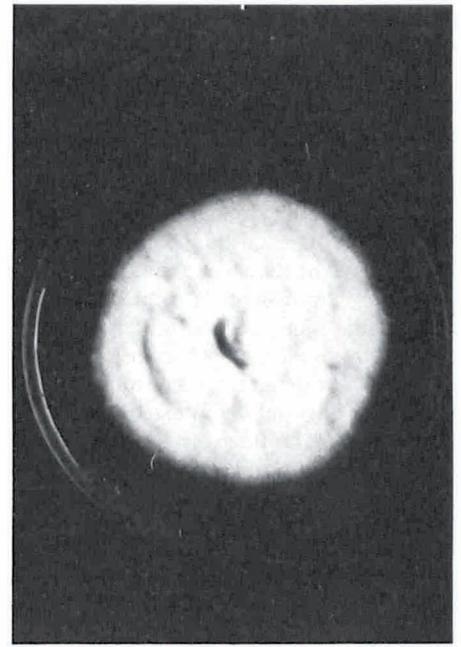
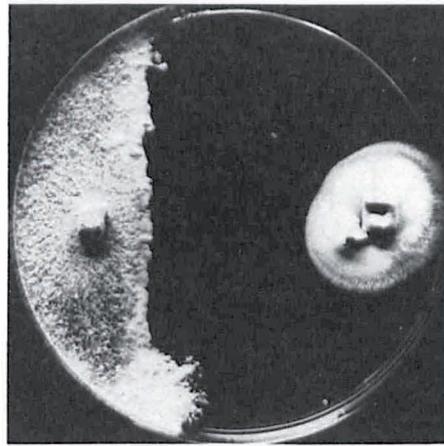
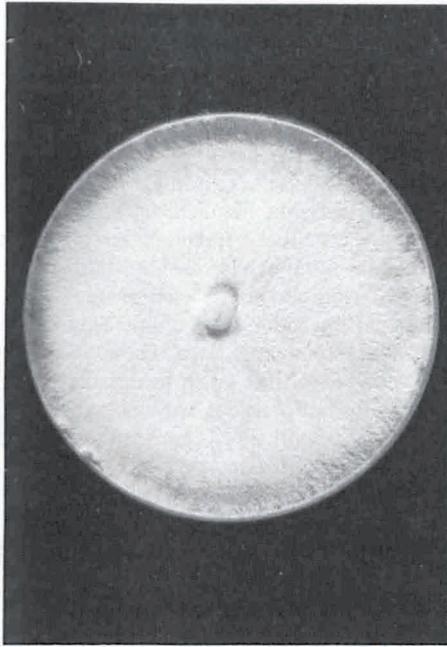


Bild 3: Hemmung von Fomes annosus durch diffusible Metabolite (linke Schale Fomes annosus, rechte Schale Rhizosphärenorganismus jeweils in Reinkultur, Mitte Wechselwirkung bei gleichzeitiger Kultur beider Pilze in einer Schale).

Für die Verbreitung und Infektion stehen *Fomes annosus* mehrere Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Basidiosporen: Diese auf der Unterseite des Fruchtkörpers zu Millionen nach Reduktionsteilung gebildet, also der sexuellen Fortpflanzung dienenden Sporen können vom Wind über große Distanzen transportiert und durch Regen bis in eine Tiefe von 25 cm in den Boden eingewaschen werden. Die Anlage der Fruchtkörper in Bodennähe scheint der Verbreitung nicht entgegenzustehen. Die Sporulation der Fruchtkörper erfolgt das ganze Jahr hindurch und wird nur bei extremen Temperaturen und Trockenheit eingestellt.

2. Konidien: Den in Kultur häufig beobachteten Sporen der vegetativen Vermehrung, die gleichfalls überreich, jedoch am vegetativen Myzel (dem eigentlichen Pilzgeflecht) entstehen, wurde lange Zeit wenig Beachtung geschenkt. Befunde aus neuerer Zeit sprechen aber für eine Beteiligung auch dieser Sporenform an der Verbreitung.

3. Myzelien: Das Pilzgeflecht kann sich auch saprophytisch von totem Holz (Wurzelreste, Stubben usw.) ernähren und durch Transport dieser Nährstoffe im Myzel in den Boden vordringen. Auf dieser Möglichkeit beruht auch die Übertragung der Krankheit von einer befallenen auf eine gesunde, benachbarte Fichte über Wurzelkontakte, die so die Ausbreitung der Fäule innerhalb eines dichten Bestandes fördern. Der Stubbeninfektion als Ursache für die Verbreitung der Rotfäule durch *Fomes annosus* wird bisher in der BRD keine allzu große Bedeutung beigemessen, doch sollte man auch diesen Weg berücksichtigen. Auf der Schnittfläche im Boden belassener Stubben keimen die Sporen des Fäuleerregers

aus, das sich aus ihnen entwickelte Myzel dringt in die Wurzeln vor. Wurzelkontakte und das im Boden sich weiter ausbreitende Myzel ermöglichen einen Befall benachbarter Bäume. Diese Art der Verbreitung dürfte eine größere Rolle bei dem anderen wichtigen Rotfäuleerreger, dem Hallimasch, spielen und macht daher die Forderung nach Hygienemaßnahmen im Wald verständlich. Bevor in unserer Wohlstandsgesellschaft das Lesen von Fallholz und Entfernen der Stubben auf Kahlschlägen aus der Mode kam, blieb die saprophytische Lebensweise beider Pilze, also des Hallimasch, wie auch des Wurzelschwammes begrenzt. Eine Behandlung der Stubben mit fungizid wirkenden Chemikalien oder Beimpfen mit allein saprophytisch lebenden Konkurrenten soll die Stubbeninfektion eindämmen.

Da in alten Waldböden, wie oben erwähnt, genügend Infektionsquellen in Form von Sporen und vor allem von Myzel, das im Boden in dort verbliebenen Wurzelresten überdauert, vorhanden sind, wird eine Stockbehandlung nur in Erstaufforstungsbeständen auf vorher landwirtschaftlich genutzten Flächen für sinnvoll gehalten

Resistenz der Fichte: Standortfaktoren

Natürlich vermag die Fichte sich der Aggression des Parasiten zu widersetzen. Unter gleichen Standortbedingungen weisen einzelne Teilpopulationen jedoch einen sehr verschiedenen Befalls- und Schädigungsgrad auf. Dieses deutet auf eine unterschiedliche Widerstandsfähigkeit der einzelnen Populationen hin und bietet die Möglichkeit, durch Auswahl und Züchtung resistenter Klone zu einer Reduzierung der Verluste

zu gelangen. Eine selektionswürdige Eigenschaft ist z. B. die Bildung einer starken Borke, da eine wohl ausgebildete Borke zum einen mechanischen Schutz bietet und zum anderen hochmolekulare Oxidationsprodukte von Gerbstoffen enthält, die eine deutliche Hemmwirkung auf das Myzelwachstum von *Fomes annosus* ausüben. Auch in anderen Geweben des Baumes konnten bereits fungistatische Substanzen nachgewiesen werden. Neben der genetisch bedingten Widerstandsfähigkeit der Fichte haben auch Umweltfaktoren einen entscheidenden Einfluß auf die Anfälligkeit eines Bestandes wie besonders deutlich unter der Streßsituation der verschiedenartigen Immissionsbelastungen im „Waldsterben“ sichtbar wird.

So leiden z. B. Fichten auf basischen und dichtgelagerten Böden sowie auf stark wechselfeuchten Standorten, da hier die Nährstoffversorgung erschwert ist, stärker unter dem Wurzelschwamm als auf sauren, lockeren und gleichmäßig wasserversorgten Böden. Aber auch Erstaufforstungen auf vorher landwirtschaftlich genutzten Böden zeigen infolge ihres Stickstoffreichtums oft schwere Schäden, wogegen Pflanzungen auf alten Waldböden für Generationen gesund bleiben. Hoher Stickstoffgehalt der Böden führt nämlich dazu, daß im Holz vermehrt pilzfördernde Stoffe wie Zucker und freie Aminosäuren auftreten, die sich positiv auf die Ausbreitung des Parasiten auswirken.

Einfluß der Mikroflora

Zusätzlich läßt sich das Fehlen von antagonistischen Mikroorganismen in Böden von Erstaufforstungsbeständen für den starken Rotfäulebefall verantwortlich machen. So

ist es ebenfalls nicht der direkte Einfluß alkalischen Bodens auf die Wirtspflanze allein, der auf Kalk die Rotfäuleanfälligkeit bedingt, sondern hinzu kommt, daß dieser Bodentyp einer reichhaltigen Pilzflora entbehrt. Es liegen vereinzelte Angaben vor, nach denen im Boden fäulefreier Bestände prozentual mehr Antagonisten von *Fomes annosus* auftreten als in Rotfäule-gefährdeten Böden. Die Resistenz gesunder Bestände ist daher voraussichtlich nicht nur auf die Widerstandsfähigkeit der Fichten zurückzuführen, sondern wird wahrscheinlich auch durch Mikroorganismen beeinflusst, die in der Nähe oder auf der Wurzel leben. Diese Vorstellungen eröffnen die Aussicht auf eine biologische Kontrolle des Rotfäuleerregers durch den Einsatz von Antagonisten, da *Fomes annosus*, der sich nach erfolgreicher Infektion eines Baumes durch Pathogenität und Wachstumsintensität auszeichnet, gegenüber einer Vielzahl von bodenbewohnenden Mikroorganismen als nur schwacher Konkurrent auftritt.

So erwiesen sich dann auch im Kulturversuch auf Nährböden einige Vertreter der Schimmelpilze, wie *Penicillium*, *Aspergillus* und *Trichoderma*-Arten, desgleichen Bakterien aus der Gruppe der Aktinomyzeten als geeignete Antagonisten, die eine Hemmwirkung auf das Wachstum des Wurzelschwammes ausüben, ohne daß bisher einer der Organismen bei Bekämpfungsmaßnahmen zum Einsatz kam.

Beobachtungen der Makromyzetenflora an Hand von Fruchtkörpern legten den Grundgedanken nahe, daß auch Mykorrhiz-

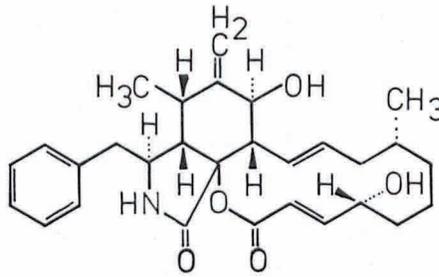


Bild 5: Struktur von Substanzen aus der Gruppe der Cytochalasine.

zapilze (Mykorrhiza = Vergesellschaftung der Wurzeln mit Pilzen) eine gewisse Schutzfunktion übernehmen könnten. Untersuchungen eines Mitarbeiters unserer Arbeitsgruppe bestätigten diese Ausnahme einer antagonistischen Wirkung im Kulturplattentest und wurden Anregung zu weiteren Arbeiten. Der Vorteil einer Symbiose mit Mykorrhizapilzen liegt für die Fichte nicht nur in dem durch Ausscheidung antibiotischer Stoffwechselprodukte hervorgerufenen Infektionsschutz, sondern auch in einer Erhöhung der Vitalität und Abwehrkraft aufgrund der verbesserten Versorgung mit Wasser und Nährstoffen. Zudem stellt das die Wurzel umgebende Pilzgeflecht eine physikalische Barriere dar und setzt durch die Verwertung der in Wurzelabscheidungen enthaltenen Nährstoffe die Attraktivität für den Parasiten herab. Da aber die Ausbildung einer Symbiose nur an den jüngsten Wurzeln eines Baumes erfolgt, *Fomes annosus* bei der Fichte jedoch vorwiegend über ältere Wurzeln in die Wirtspflanze eindringt, verliert der Einsatz von Mykorrhizapilzen zumindest bei der Fichte an Bedeutung.

Die Aufgabe eines längerfristigen Infektionsschutzes kann daher nur von Mikroorganismen erfüllt werden, die über längere Zeit in unmittelbarer Nähe auch zu älteren Wurzelteilen existieren können. Aus diesem Grund muß der Isolierung von Antagonisten, deren natürlichen Lebensraum die Rhizosphäre darstellt, erhöhte Beachtung geschenkt werden, denn die Vorstellung ist nicht von der Hand zu weisen, daß eine geeignete Rhizosphärenpopulation als biologischer Filter die Wurzel vor den Gefahren des sie umgebenden Bodens abschirmt.

Isolierung aus dem Wurzelbereich der Fichte zeigten dann auch vielversprechende Ansätze. So konnte in unserer Arbeitsgruppe nachgewiesen werden, daß alle vier zunächst erhaltenen Pilzisolat im Nährboden diffusionsfähige, auf das Myzel des Rotfäuleerregers fungistatisch wirksame Metabolite ausscheiden, zwei von ihnen bilden auch leicht flüchtige Substanzen, die über den Luftraum übertragen (Bild 2) das Myzel von *Fomes annosus* signifikant hemmen. Wegen

der hohen Aktivität seiner diffusiblen Metabolite wurde dann nur noch weitergearbeitet mit einem Rhizosphärenorganismus, der aufgrund fehlender Sporenbildung systematisch nicht einzuordnen ist und daher als Mycelium sterile bezeichnet wird (Bild 3). Die Aufnahme seines antimykotischen Wirkungsspektrums zeigte nämlich selektive Hemmung gegenüber nadelholzerstörenden Fäulepilzen (Wurzelschwamm und Halbmuschel), während bodenbewohnende Saprophyten keine oder nur geringe Stagnation des Wachstums aufwies. Diese Selektivität muß jedoch für einen praktischen Einsatz gefordert werden, um sicherzustellen, daß kein wesentlicher Eingriff in die übrige Bodenflora stattfindet.

In einem von der DFG finanzierten 12-Liter-Labor-Fermentor (Bild 4), in welchem sich die physikalischen Parameter konstant halten lassen, wurde sodann durch Variation der Ernährungs- und übrigen Kulturbedingungen die Hemmstoffausbeute des Antagonisten optimiert. Aus dem Kulturfiltrat ließ sich mit Chloroform eine fungistatische Fraktion abtrennen, deren säulen- und dünnenschichtchromatographische Reinigung zur Isolation von zwei antimykotisch aktiven Substanzen führte. Mit Hilfe massenspektroskopischer Techniken konnten die beiden Fungistatika als Verbindungen mit identischer Masse und der Summenformel ($C_{30}H_{37}NO_6$) sowie cytochalasinartige Struktur (Bild 5) identifiziert werden. Eine minimale Hemmkonzentration gegenüber *Fomes annosus* dürfen 10 µg/ml angesehen werden. Zur Reduktion des Myzelwachstums um 50% (ED_{50} -Wert) sind 0,02 µg pro ml Nährmedium notwendig, während die bisher bekannten Cytochalasine (strukturell ähnliche Verbindungen gleicher Masse und elementarer Zusammensetzung) um 1 bis 2 Zehnerpotenzen höhere Konzentration für die gleiche Wirkung erfordern (Cytochalasin D 0,3 µg und C 1,0 µg). Die Wachstumshemmung bei *Fomes annosus* kann in einer Schädigung der wachsenden Myzelspitzen gesehen werden. Zunächst erfolgt zwar eine Förderung der Myzelverzweigung, danach aber ein blasiges Auftreiben der Myzelspitzen, die schließlich aufplatzen (Bild 6) und so absterben.

Im Hinblick auf einen möglichen Einsatz des isolierten Rhizosphärenorganismus in der forstlichen Praxis war es sodann wichtig zu überprüfen, ob er auch unter natürlichen Bedingungen im Boden das Antibiotikum in ausreichender Menge produzieren und die Infektionsgefahr durch *Fomes annosus* herabsetzen kann. Die im Laborversuch erhaltenen Ergebnisse können nämlich nicht ohne weiteres auf die natürlichen Gegebenheiten übertragen werden. Unter Laborbedingungen sind die Nährstoffe leicht zugänglich und der Antibiotikumproduzent

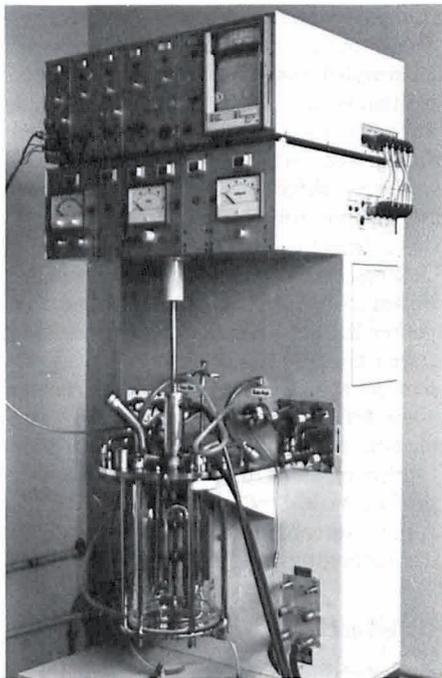
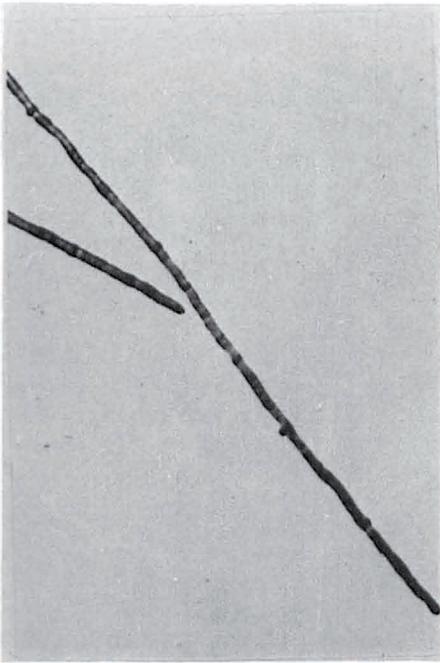


Bild 4: Laborfermentor Biostat S, der die Konstanzhaltung der Kulturparameter ermöglicht.



nicht der Konkurrenz anderer Mikroorganismen ausgesetzt. Im Boden dagegen, wenn er auf dem jeweiligen Substrat überhaupt in der Lage ist, Hemmstoffe zu bilden, dürfte von diesen wesentlich weniger anfallen als im Labor, da das Myzel aufgrund der Bodenstruktur nicht so dicht zu wachsen vermag wie auf einem Nährmedium und die Wachstumsfaktoren nicht im Optimum gehalten werden können. Zudem ist es möglich, daß das Antibiotikum nur geringe, lokal begrenzte Wirkung besitzt, wenn es durch Adsorption an Bodenpartikel oder chemische Umwandlung inaktiviert wird.

Bei einer entsprechenden Versuchsserie wurden achtjährige Fichten und Kiefern mit sog. „Körnerbrut“, das sind von Myzel umwachsene Getreidekörner (Bild 7), des Rotfäuleerregers und des Rhizosphärenorganismus dreimal in Abständen von je zwei Monaten beimpft. Die Untersuchung der Wurzeln neun Monate nach dem letzten Impftermin ergab, daß selbst bei den Pflanzen, die ausschließlich mit *Fomes annosus* beimpft waren, die Wurzeln nicht infiziert wurden. Aber auch der Rhizosphärenorganismus ließ sich nicht mehr im Boden nachweisen.

Wie aus der Literatur hervorgeht, kann sich *Fomes annosus* gegenüber dem Einfluß anderer Bodenmikroorganismen nur behaupten, wenn ihm eine ausreichende Nahrungsquelle, z. B. in Form eines Wurzelstückes, zur Verfügung steht. Eine mögliche Ursache des negativen Versuchsausganges könnte daher sein, daß die Getreidekörner als Grundlage für das Eindringen von *Fomes annosus* in benachbarte Wurzeln nicht ausreichte und er von anderen Organismen verdrängt wurde.

Aufgrund seines selbst unter Laborbedingungen sehr langsamen Wachstums und der

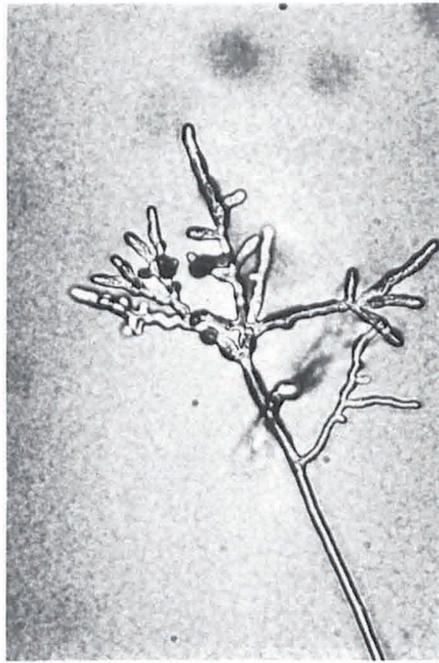


Bild 6: Einfluß des cytochalasinartigen Antibiotikums auf die Spitzen des Pilzgeflechts (links normale Myzelspitze; Mitte Vermehrung der Spitzenverzweigungen und rechts Aufplatzen der blasig angeschwollenen Myzelspitzen unter Einfluß des Antibiotikums).

fehlenden Verbreitungsmöglichkeiten in Form von Sporen, dürfte der Rhizosphärenorganismus ebenso wie *Fomes annosus* in der Konkurrenz mit *Penicillium*-, *Aspergillus*-, *Fusarium*-, *Mucor*- und *Trichoderma*-Arten, um nur die am häufigsten im Boden vorkommenden Pilzgattungen zu nennen, nur über ein geringes Durchsetzungsvermögen verfügen.



Bild 7: Körnerbrut zum Beimpfen von Fichten und Kiefern.

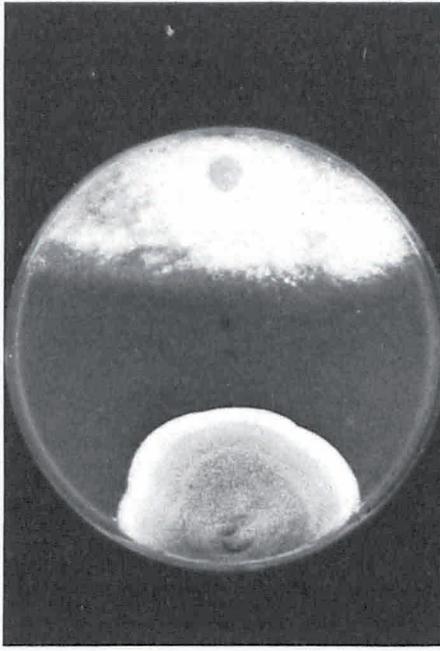


Zudem läßt sich auch die Meinung vertreten, daß bei einer biologischen Bekämpfung der Rotfäule der gleichzeitige Einsatz mehrerer Antagonisten wirkungsvoller ist als der eines einzelnen. Daher isolieren wir Pilze, die *Fomes annosus* zu hemmen vermögen, aus dem Boden von Fichtenbeständen. Das Interesse richtet sich hierbei besonders auf die in der Nähe der Fichtenwurzel vorkommenden Pilze, da sie unserer Meinung nach am ehesten in der Lage sind, die Wurzel vor einer Infektion zu schützen.

Verbunden mit der Isolierung weiterer Antagonisten ist eine Untersuchung über das Vorkommen hemmender Pilze im Boden gesunder bzw. stark befallener Standorte. Es wird dabei der Frage nachgegangen, ob sich Standorte mit erheblichem Fäulebefall von fäulefreien hinsichtlich der Artenzahl vorkommender Pilze insgesamt sowie des prozentualen Anteils antagonistischer Pilze an der Pilzflora unterscheiden.

Dazu muß in Laborversuchen das Verhalten der isolierten Pilze gegenüber dem Rotfäuleerreger geprüft werden. In Vorversuchen zeigten sich folgende, vereinfacht dargestellte Verhaltensmuster:

1. *Fomes annosus* wird durch die Ausscheidungen des Testpilzes, die durch den Nährboden diffundieren, gehemmt und beendet das Wachstum, bevor beide Myzelien zusammentreffen, während der Testpilz weiterwächst. (Bild 8a)
2. Beide Pilze hemmen sich gegenseitig und stellen vor dem Zusammentreffen der Myzelien das Wachstum ein, so daß eine konstante Hemmzone entsteht. (Bild 8a)
3. Die Pilze wachsen bis zur Berührung der Myzelfronten und stellen das Wachstum ein. (Bild 8b)



4. Das Myzel von *Fomes annosus* breitet sich bis zum Zusammentreffen mit dem Myzel des Testpilzes aus, der nun in das Myzel von *Fomes annosus* hinein- und diesen überwächst. (Bild 8c)

5. *Fomes annosus* überwächst den Testpilz, der die Berührung der Myzelien mit einem Wachstumsstopp reagiert. (Bild 8d)

Bei Isolaten mit ausgeprägten Hemmeigenschaften, die für den Einsatz einer biologischen Bekämpfung von *Fomes annosus* geeignet erscheinen, muß ebenfalls überprüft werden, inwieweit sie in der Lage sind, unter den im Vergleich zu denjenigen in Laborversuchen völlig anders gearteten Bedingungen im Boden Hemmstoffe zu bilden. Da das oben erwähnte Beimpfen des Bodens mit Körnerbrut von *Fomes*, um den direkten Einfluß des Testpilzes auf den Rotfäuleerreger zu ermitteln, sich als ungeeignet erwies, soll zunächst exemplarisch für einen Pilz mit Hilfe der Dünnschichtchromatographie eine ausreichend empfindliche Nachweismethode erarbeitet werden, die es erlaubt, auch

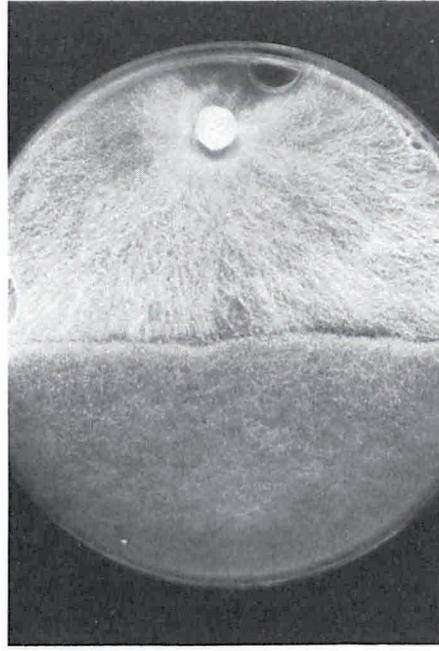


Bild 8: Möglichkeiten einer Wechselwirkung zwischen *Fomes annosus* und Isolaten aus dem Wurzelbereich der Fichte (*Fomes* jeweils links, Testpilz rechts aufgeimpft. Näheres siehe Text).

äußerst geringe Mengen des Antibiotikums in einer Probe festzustellen.

Dem kommt zugute, daß Hemmstoffe gewöhnlich nicht nur bei Anwesenheit von Konkurrenten gebildet werden, sondern als sekundäre Stoffwechselprodukte unter günstigen Bedingungen ständig anfallen. Eine entsprechend empfindliche Methode würde es also ermöglichen, die im Boden vorliegenden Hemmstoffe eines Pilzes nachzuweisen, ohne daß sich das Problem der Bodenbeimpfung mit *Fomes annosus* stellt. Somit leisten die Untersuchungen auch einen Beitrag zur Beantwortung der Frage, ob Antibiose, also die Hemmung von Mikroorganismen durch Substanzen anderer Mikroorganismen, im Boden eine Rolle spielt.

