

Rostpilze an Fichten

Dagmar Nierhaus-Wunderwald

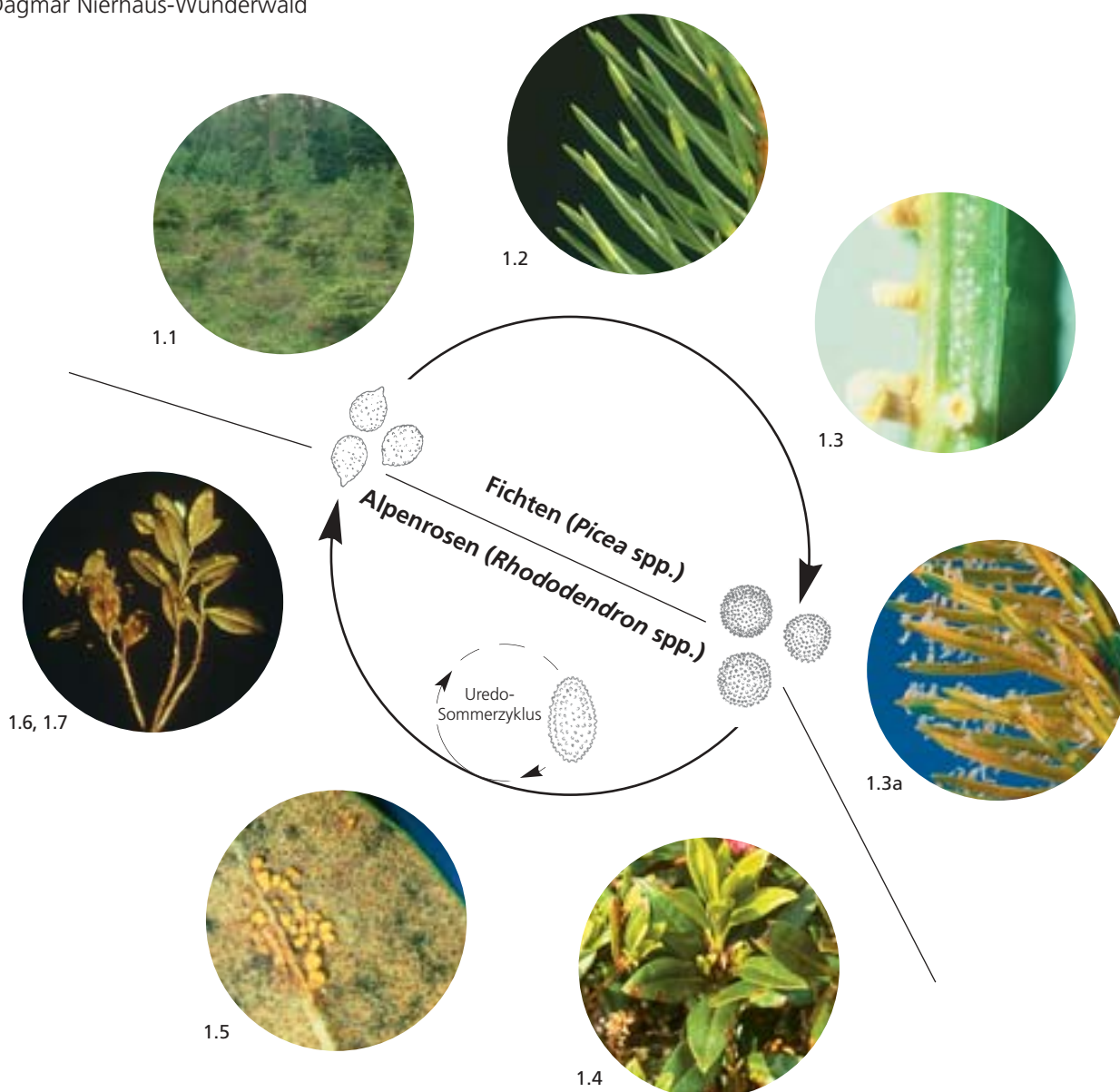


Abb. 1.1–1.7 Entwicklungszyklus von *Chrysomyxa rhododendri* an Fichtennadeln und Alpenrosenblättern (GÄUMANN 1959, 1964; DÖRFELT 1989; VOLGGER 1997).

1.1 Juni/Juli: Infektion austreibender Fichtennadeln durch **Basidiosporen**. 1.2 Ab Juli: **Querbänder** auf befallenen Nadeln. 1.3 August: Entwicklung von **Sporenlagern** mit Aecidiosporen. 1.3a Leere Sporenlager als **weisse Häutchen**. 1.4 Aecidiosporen ($\varnothing \sim 20 \mu\text{m}$) infizieren Alpenrosenblätter. 1.5 Nach 10 bis 14 Tagen: **Uredolager** mit Uredosporen ($25 \times 18 \mu\text{m}$); diese Sommersporen infizieren ausschliesslich Alpenrosenblätter, keine Fichtennadeln. 1.6 Überwinterung: Auf der Unterseite von Alpenrosenblättern Anlage von Sporenlagern (Teleutolager) mit Winter-sporen. 1.7 Einige Wochen nach der Schneeschmelze gelbe Sporenlager; Entwicklung von **Basidiosporen** ($7 \times 5 \mu\text{m}$).

Einleitung

Fichtenrostpilze, insbesondere der auffällige Fichtennadelblasenrost, sind ein Teil des Ökosystems subalpiner Fichtenwälder. Als echte oder obligate Schmarotzer sind die Rostpilze zur Vollendung ihres Entwicklungsganges stets auf lebende Pflanzen angewiesen. Deshalb werden diese Parasiten ihre Lebensgrundlage nur in äusserst seltenen Fällen zerstören.

Rostpilze gehören zur Klasse der Ständerpilze (Basidiomycetes) und zur Ordnung der Rostpilze (Uredinales). Sie sind weltweit mit mehr als 5000 Arten vertreten. Alle Rostpilze leben wirtsspezifisch, sind also auf bestimmte Wirtspflanzen spezialisiert. Ihre Entwicklung wird selten auf *einer* Wirtspflanze vollendet, meist ist der Zyklus mit einem Wechsel zwischen zwei systematisch nicht verwandten Arten verbunden. Fichtenrostpilze (*Chrysomyxa* spp.) mit einem Wirtswechsel leben auf Fichtenarten sowie auf verholzten oder krautigen Blütenpflanzen aus der Familie der Heidekrautgewächse (Ericaceae) beziehungsweise auf Vertretern nahe verwandter Familien. Das Überleben und damit das Vorkommen wirtswechselnder Fichtenrostarten ist immer an das Verbreitungsgebiet der Ericaceen und verwandter Familien gebunden. Von den sechs in Europa heimischen *Chrysomyxa*-Arten kommen drei in der Schweiz vor. Die häufigste Rostpilzart in der Schweiz ist der Fichtennadelblasenrost (*Chrysomyxa rhododendri*) mit einem Wirtswechsel zwischen Fichten und Alpenrosen, weshalb dieser Pilz in grösserem Ausmass nur in höheren Lagen vorkommt. Diese *Chrysomyxa*-Art verursacht auffällige Verfärbungen an Fichtennadeln. Ein weiterer Rostpilz, der in unseren Breiten eher lokal anzutreffen ist, der Fichtennadelrost (*Chrysomyxa abietis*), lebt ohne Wirtswechsel ausschliesslich an Fichtennadeln. Der selten auftretende Gelbe Zapfenrost (*Chrysomyxa pyrolata*) weist einen Wirtswechsel zwischen Fichtenzapfen und verschiedenen Arten von Wintergrünpflanzen auf.



Abb. 2 *Chrysomyxa rhododendri*, ein typischer Rostpilz des subalpinen Alpenraumes: starke Infektion des jüngsten Fichtennadeljahrgangs.

Wirtspflanzen, Vorkommen und Biologie

Fichtennadelblasenrost (*Chrysomyxa rhododendri*)

Fichtenrostpilze gehören zur Familie der Melampsoraceae (Unterfamilie Chrysomyxaceae). *Chrysomyxa rhododendri*, der bereits 1879 von dem Biologen Anton de Bary untersucht und beschrieben wurde, wechselt zwischen den Wirtspflanzen Alpenrose und Fichte. Auf den beiden Alpenrosenarten *Rhododendron ferrugineum* und *Rhododendron hirsutum* (Tab. 1) vermag der Pilz zu überdauern und sich zu vermehren, gleichzeitig sind Alpenrosen Überwinterungsorte für sie. Der zweite Wirt ist die Fichte, vor allem *Picea abies*, aber auch andere nichtheimische Fichtenarten (Tab. 1). Bevorzugt werden junge Fichten infiziert, aber auch ältere Bäume können betroffen sein. Dieser Rostpilz ist in seiner Lebensweise nicht unbedingt auf die Fichte angewiesen und kommt deshalb auch ausserhalb von Fichtenverbreitungsgebieten vor. *Chrysomyxa rhododendri* ist sehr häufig in den Alpen und in anderen europäischen Gebirgen sowie in Nordamerika und Ostasien. In der Schweiz kommt die Fichte etwa in Höhenlagen zwischen 1000 und 2000 m ü. M.



Abb. 3 *Chrysomyxa rhododendri*: Befall im letzten Jahr. Mit Ausnahme einzelner, schwach erkrankter Nadeln sind die meisten im vorjährigen Herbst abgefallen, der jüngste diesjährige Nadeljahrgang ist bereits wieder infiziert.

mit der Alpenrose in Berührung. Besonders häufig ist der Pilz in den Bündner und Tessiner Alpentälern anzutreffen.

Chrysomyxa rhododendri kann aus Hochlagen auch in Tallagen verschleppt werden. In Europa wurde der Pilz in Parks, botanischen Gärten und Gärtnereien bisher auf 15 verschiedenen Zierrhododendron-Arten und -Varietäten gefunden, an denen er sich auch in Abwesenheit von Fichten weiter vermehren kann. An den infizierten Rhododendren-Arten verursacht er eine optische Wertminderung. Gleichzeitig konnte vereinzelt aber auch ein Befall von benachbarten Fichten beobachtet werden. Da die Anzahl an Alpenrosen- bzw. Zierrhododendron-Sträuchern in Tallagen jedoch relativ gering ist und damit auch ein möglicher Sporenflug im Frühjahr, ist ein Fichtenbefall durch *Chrysomyxa rhododendri* in tieferen Lagen bedeutungslos.

Die Infektion der austreibenden Fichten durch *Chrysomyxa rhododendri* beginnt im Frühling (Juni/Juli) vor oder während der Blütezeit der Alpenrosen (Abb. 1.1). Die auf der Blattunterseite, gelegentlich auch an Stengeln von Alpenrosen gebildeten Sporen (Basidiosporen) werden durch den Wind verbreitet und müssen auf Fichtennadeln treffen, da sie nur hier bei

Tab. 1 In Europa heimische *Chrysomyxa*-Arten und ihre Wirtspflanzen (GÄUMANN 1959; HEGI 1975, 1981; SCHMIDT-VOGT 1989; PHILLIPS und BURDEKIN 1992; FITSCHEN 1994; BRÄNDLI 1996; BUTIN 1996; LAUBER und WAGNER 1998).

Rostpilzarten	Wirtspflanzen und deren Vorkommen	
Fichtennadelblasenrost <i>Chrysomyxa rhododendri</i> (DC.) de Bary	Heidekrautgewächse (Ericaceae) – Rostblättrige Alpenrose <i>Rhododendron ferrugineum</i> L. zwischen 1000 und 2300 m ü. M., oft auch tiefer; vereinzelt bis zu 2500 m ü. M.: Alpen («Alpenrosengürtel» an der Waldgrenze); Mittelland (in Alpennähe); Südjura (nördlich bis Creux du Van) – Bewimperte Alpenrose <i>Rhododendron hirsutum</i> L. zwischen 1200 und 2000 m ü. M.: Alpen (hauptsächlich Nordalpen und GR; selten im VS und TI); Mittelland (in Alpennähe) <i>Chrysomyxa rhododendri</i> kann aus Hochlagen in Tallagen verschleppt werden und sich auf verschiedenen Rhododendronarten (in Gärten, Parks usw.) weiter verbreiten	Föhrgewächse (Pinaceae) Fichte, Rottanne <i>Picea abies</i> (L.) Karsten als ursprünglicher Fichtenreinbestand meist nicht unter 800 m ü. M.; vertikale Verbreitung in der Schweiz von 250 bis 2200 m ü. M., wobei 90% aller Fichten zwischen 500 und 1800 m ü. M. wachsen nichtheimische Fichtenarten: – Sitkafichte <i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carrier – Engelmanns Fichte <i>Picea engelmannii</i> Parry ex Engelm. – Stechfichte <i>Picea pungens</i> Engelm. – Kanadische Fichte <i>Picea glauca</i> (Mill.) B.S.P. – Schwarzfichte <i>Picea mariana</i> (Mill.) B.S.P. (Rostpilz an Nadeln) Fichtenbefall durch <i>Chrysomyxa rhododendri</i> in tieferen Lagen möglich, aber bedeutungslos
Fichtennadelrost <i>Chrysomyxa abietis</i> (Wallroth) Unger	an Fichtennadeln ohne Wirtswechsel <i>Picea abies</i> , <i>Picea pungens</i> , <i>Picea sitchensis</i> , <i>Picea engelmannii</i> , <i>Picea rubens</i> Sargent (Rotfichte)	
Gelber Zapfenrost <i>Chrysomyxa pyrolata</i> (Schweinitz) Winter	Wintergrüngewächse (Pyrolaceae) – Rundblättriges Wintergrün <i>Pyrola rotundifolia</i> L. (kollin-)montan-subalpin(-alpin): verbreitet in der Schweiz – Kleines W. <i>Pyrola minor</i> L. (kollin-)montan-subalpin(-alpin): verbreitet in der Schweiz – Grünlichblütiges W. <i>Pyrola chlorantha</i> Schwartz (kollin-)montan-subalpin: selten in der Schweiz (fehlt TI) – Mittleres W. <i>Pyrola media</i> Schwartz (kollin-)subalpin: Alpen, Mittelland (in Alpennähe), Südjura, Nordjura (BE, JU); zerstreut in der Schweiz – Moosauge <i>Moneses (Pyrola) uniflora</i> (L.) Gray (kollin-)montan-subalpin: hauptsächlich Alpen, Jura selten – Birngrün <i>Orthilia (Pyrola) secunda</i> L. (kollin-)montan-subalpin: verbreitet in der Schweiz	<i>Picea abies</i>, <i>Picea engelmannii</i>, <i>Picea pungens</i>, <i>Picea glauca</i>, <i>Picea mariana</i>, <i>Picea rubens</i> (Rostpilz an Zapfenschuppen)
<i>Chrysomyxa empetri</i> (Persoon) Schroeter	Krähenbeerengewächse (Empetraceae) – Zwittrige Krähenbeere <i>Empetrum nigrum</i> ssp. <i>hermaphroditum</i> (Lange) Böcher subalpin-alpin; in den Alpen verbreitet; meist nicht unter 1700 m ü. M.: Berner Oberland bis 2800 m, Wallis bis 2550 m, Tessin bis 2800 m ü. M.; Reculet-Kette – Schwarze Krähenbeere <i>Empetrum nigrum</i> ssp. <i>nigrum</i> L. montan-subalpin: Südjura (VD, NE); selten	<i>Picea abies</i>, <i>Picea glauca</i>, <i>Picea rubens</i> (Rostpilz an Nadeln) wohl kaum Befall von Fichten, da der Rostpilz in unseren Breiten vorwiegend als Uredoform auf Vertretern von Krähenbeerengewächsen lebt
<i>Chrysomyxa ledi</i> (Albertini & Schweinitz) de Bary <i>Chrysomyxa woronini</i> Tranzschel	Heidekrautgewächse Porst <i>Ledum</i> spp. Skandinavien u. weiter ostwärts bis Sibirien; Nordamerika in der Schweiz fehlend	<i>Picea abies</i>, <i>Picea engelmannii</i>, <i>Picea glauca</i>, <i>Picea mariana</i>, <i>Picea rubens</i> (<i>Chrysomyxa ledi</i> an Nadeln/ <i>Chrysomyxa woronini</i> an terminalen Knospen)

feuchter Witterung (Tau, Regen, Nebel) zu keimen vermögen. Der Pilz infiziert ausschliesslich die eben aus den Knospen hervorbrechenden Nadeln. Ein- und mehrjährige Nadeln werden nicht mehr befallen. Der Pilz wächst im Nadelinneren zu einem reichverzweigten Pilzgeflecht (Myzel) aus, das sich von den Zellinhaltsstoffen der Nadeln ernährt. Sehr frühzeitige Diagnosehilfen sind Nadelquerschnitte, an denen man einen Rostbefall anhand gelb bis gelb-orange gefärbter Pilzhyphen, die das Nadelgewebe durchziehen, nachweisen kann. Etwa drei Wochen nach der Infektion bilden sich auf den Nadeln ein bis mehrere, gelb-grüne, später orange-gelbe Querbänder (Abb. 1.2, Tab. 2). Die Farbänderung wird durch Chlorophyllabbau und durchscheinende, gelb-orange Pilzfäden (pilzliche Carotinoid-Bildung) verursacht. Ende Juli, in höheren Lagen im August und September, entwickeln sich auf den Bändern Fruchtkörper, die als «Lager» (hier Aecidienlager oder Aecidien) bezeichnet werden. Sie bilden leicht erkennbare orange-gelbe Pusteln (Abb. 1.3). Auf einer Nadel können bis zu 20 Aecidien produziert werden mit je einer Länge von 0,5 bis 3 mm und einer Breite von etwa 0,5 mm. Bei starkem Befall reifen die Aecidiosporen in so grossen Mengen, dass Fichtenäste bei einer Erschütterung in gelbe Sporenwolken eingehüllt werden. Nach der Sporenfreisetzung bleiben die leeren Aecidien als auffallend weisse, unregelmässig aufgerissene Häutchen auf den diesjährigen Nadeln zurück (Abb. 1.3a). Infizierte Nadeln der Triebenden sind auffallend leuchtend gelb verfärbt (Abb. 2) und fallen im Herbst, gelegentlich auch erst im Winter ab (Tab. 2). An stark befallenen Bäumen kann so ein ganzer Nadeljahrgang ausfallen, zurück bleiben kahle Triebe. Die Knospen werden



Abb. 5 *Chrysomyxa abietis*: nach der Schneeschmelze werden die bräunlichen Sporenlager (Teleutolager) allmählich auf den Querbändern von Fichtennadeln sichtbar.

renwolken eingehüllt werden. Nach der Sporenfreisetzung bleiben die leeren Aecidien als auffallend weisse, unregelmässig aufgerissene Häutchen auf den diesjährigen Nadeln zurück (Abb. 1.3a). Infizierte Nadeln der Triebenden sind auffallend leuchtend gelb verfärbt (Abb. 2) und fallen im Herbst, gelegentlich auch erst im Winter ab (Tab. 2). An stark befallenen Bäumen kann so ein ganzer Nadeljahrgang ausfallen, zurück bleiben kahle Triebe. Die Knospen werden



Abb. 4 *Chrysomyxa rhododendri*: nach Freilassen der Basidiosporen fallen die Teleutolager auf den Alpenrosenblättern zusammen und sterben ab. Auf der Blattunter- und -oberseite bleiben als Zeichen ehemaliger Pilzinfektionen braune Flecken zurück.



Abb. 6 *Chrysomyxa abietis*: reife, bis zu 10 mm lange rostbraune Teleutolager.

vom Pilz nicht befallen und können im kommenden Frühjahr wieder austreiben (Abb. 3).

Die vom Wind über grosse Flächen verteilten Aecidiosporen infizieren nun die Blätter der Alpenrose (Abb. 1.4). Die keimenden Sporen dringen mit ihren Keimschläuchen durch die Spaltöffnungen in die ausgereiften Blätter ein und bilden ein ausgedehntes Myzel. Von diesem werden an der Blattunterseite, etwa 10–14 Tage nach der Infektion, Uredolager (Abb. 1.5) angelegt, die gelb-bräunliche Gruppen bilden. Die in ihnen heranreifenden Uredosporen («Sommerosporen») dienen ausschliesslich der Weiterverbreitung des Pilzes auf den Alpenrosen. Der Pilz bildet in mehreren Infektionszyklen stets Uredolager mit Uredosporen, das heisst die Alpenrosen infizieren sich im Laufe des Spätsommers immer wieder selbst (Uredo-Sommerzyklus, Abb. 1.5). Fichtennadeln können von dieser Sporenart nicht infiziert werden. Im Herbst entwickelt das Myzel, das bisher Uredolager bildete, weitere Sporenlager (Teleutolager), in denen Teleutosporen («Wintersporen») angelegt werden. Die dickwandigen Sporen sind weitgehend resistent gegen Trockenheit und Kälte, haben also die Funktion von Dauersporen. Der Pilz überwintert in den Alpenrosenblättern. Im kommenden Frühjahr, einige Wochen nach der Schneeschmelze, werden die gelben, meist in Gruppen angeordneten Teleutolager auf der Blattunterseite sichtbar (Abb. 1.7). Die in den Lagern angelegten Teleutosporen reifen und keimen mit je einer Basidie («Sporenträger»), an der sich Basidiosporen entwickeln, die unmittelbar wieder junge Fichtennadeln infizieren. Damit beginnt ein neuer Entwicklungszyklus. Nach

Tab. 2 Vorkommen, Verbreitung und Erkennungsmerkmale von *Chrysomyxa rhododendri*, *Chrysomyxa abietis* und *Chrysomyxa pyrolata* an Fichten (GÄUMANN 1959; SUTHERLAND et al. 1984; SCHMIDT-VOGT 1989; PHILLIPS und BURDEKIN 1992; HARTMANN et al. 1995)

	Fichtennadelblasenrost <i>Chrysomyxa rhododendri</i>	Fichtennadelrost <i>Chrysomyxa abietis</i>	Gelber Zapfenrost <i>Chrysomyxa pyrolata</i>
Wirtswechsel mit	Alpenrosen	–	Wintergrünpflanzen
Vorkommen in der Schweiz	1000–2000 m ü. M.	400–1100 m ü. M.	Mittelland und höhere Lagen
Verbreitung in der Schweiz	häufig; in Höhenlagen meist flächig verbreitet	weniger häufig; vor allem an Einzelbäumen; relativ häufig in Christbaumkulturen	in der Schweiz eher selten; kein Problem für Verjüngung und Samenernte
– betroffene Pflanzenorgane	– jüngster Nadeljahrgang	– jüngster Nadeljahrgang	– Schuppen junger, karminroter oder grünlicher, aufrechtstehender Zapfen (weiblicher Blütenstand)
– Alter der Fichten bei Befall	– bevorzugt junge Bäume	– vor allem an dichtstehenden Jungfichten	– ältere Fichten (Blühreife im Freiland mit 30–50 Jahren, im Bestand mit 60–70 Jahren; Blühhäufigkeit in Tieflagen alle 3–4 Jahre, in Hochlagen alle 7–8 (12) Jahre)
Erkennungsmerkmale	<ul style="list-style-type: none"> – gelb-grüne, später orange-gelbe Querbänderung (ab Juli) an Fichtennadeln – Bildung bis zu 20 orange-gelber Sporenbehälter (Aecidien) auf Querbändern (ab August) – Freisetzung grosser Mengen gelber Sporen (Aecidiosporen) bei starkem Befall – an Nadeln bleiben leere, weisse, unregelmässig aufgerissene, häutige Aecidienreste zurück – leuchtendgelbe Nadelverfärbung – Nadelfall im Herbst (im Infektionsjahr) 	<ul style="list-style-type: none"> – gelb-grüne, später orange-gelbe Querbänderung (ab Juli) an Fichtennadeln – Überwinterung des Pilzes in lebenden Nadeln – im folgenden Frühjahr dunkel orange-rote, längliche, samtartige Sporenlager (Teleutolager) auf vergilbten Nadeln – kein sichtbar austretender Sporenstaub – Nadelfall im Sommer (ein Jahr nach der Infektion) 	<ul style="list-style-type: none"> – wenige (1–2), sehr grosse, gelb bis goldgelbe Aecidien (ab August) auf der Aussenseite von Fichtenzapfenschuppen – erkrankte Zapfen verbräunen und öffnen sich vorzeitig; bei starker Infektion verkrümmen, schrumpfen und sterben sie ab; im Spätsommer lassen sie sich leicht mit einem Feldstecher von den gesunden grünen Zapfen unterscheiden – die Samenproduktion ist vermindert – ungewöhnlicher Harzfluss infizierter Zapfenschuppen erschwert zudem die natürliche Samenverbreitung – die Keimfähigkeit der Samen aus befallenen Zapfen ist beeinträchtigt – Zapfen fallen nach vollständigem Samenausfall vorzeitig als Ganzes ab

dem Freisetzen der Basidiosporen fallen die Teleutolager zusammen, sterben ab und hinterlassen braune Flecken, an denen ehemals infizierte Alpenrosenblätter leicht zu erkennen sind (Abb. 4).

In schneereichen Wintern sind die Alpenrosen und somit auch der Pilz *Chrysomyxa rhododendri* unter der Schneedecke gegen Kälte und Trockenheit geschützt, so dass sich die «Krankheit» im darauffolgenden Frühjahr in nahen Fichtenbeständen unter Umständen epidemisch ausbreiten kann. Nur wenn solche Epidemien wiederholt während mehrerer Jahre auftreten, können vor allem geschwächte Jungfichten beeinträchtigt sein (siehe auch Kasten). In strengen, schneearmen Wintern oder wenn an exponierten

Stellen Alpenrosenpflanzen vom Wind freigelegt wurden, erfrieren die Alpenrosenblätter und mit ihnen die überwinterten Myzelien des Rostpilzes. Der Pilz kann deshalb alljährlich in unterschiedlicher Intensität an Fichten auftreten. Nur äusserst selten wird der gesamte Nadelbaum befallen. Je nach Windrichtung sind meist einseitig nur untere Triebe infiziert, jedoch kaum gleichzeitig alle Kronenpartien.

In stark mit *Chrysomyxa rhododendri* infizierten Fichtenbeständen wird immer wieder beobachtet, dass nicht alle Bäume gleich intensiv befallen werden und einzelne sogar von einer Infektion verschont bleiben. Die Ursache dieser Widerstandsfähigkeit einzelner Individuen ist bisher noch nicht geklärt.

Fichtennadelrost (*Chrysomyxa abietis*)

Der Fichtennadelrost lebt ohne Wirtswechsel ausschliesslich auf Nadeln von Fichtenarten (Tab. 1) und befällt bevorzugt dichtstehende, unterdrückte Jungbäume (bis 20-jährig), aber auch ältere Fichten können betroffen sein. Dieser Nadelrost ist in der Schweiz von der Ebene (400 m ü. M.) bis in Höhenlagen von 1100 m ü. M. verbreitet, im übrigen Europa bis in Höhenlagen von 1700 m ü. M. und kommt auch in Asien bis einschliesslich Japan vor.

Basidiosporen von *Chrysomyxa abietis* infizieren nur frisch austreibende Nadeln verschiedener Fichtenarten (Tab. 1). Kühle und feuchte Frühjahrswitterung schafft für den Pilz besonders günstige Ausbreitungsbedingungen. Erste sicht-



Abb. 7 *Chrysomyxa abietis*: erkrankte, verfärbte Nadeln, die am Baum überwinterten, werden im folgenden Sommer abgeworfen; der Nadelneuaustrieb ist bereits wieder infiziert (Querbänderbildung).

bare Anzeichen einer «Erkrankung» sind wie bei *Chrysomyxa rhododendri* gelb-grüne, später orange-gelbe Querstreifen auf den Nadeln. Der Pilz durchwächst das Nadelgewebe und bildet gegen den Herbst Sporenlager (Teleutolager), in denen Teleutosporen angelegt werden. In diesem Stadium überwintert der Pilz in den lebenden Nadeln. Im folgenden Frühjahr entwickeln sich die Lager allmählich zu auffällig dunkel orangerot gefärbten, samtartigen, bis zu 10 mm langen Polstern weiter (Abb. 5 und 6). Die Teleutosporen reifen im Mai/Juni und produzieren bei ihrer Keimung Basidiosporen, die durch den Wind verbreitet werden und wiederum austreibende Fichtennadeln infizieren. Aecidio- bzw. Uredolager werden bei *Chrysomyxa abietis* nicht gebildet. Die erkrankten Nadeln überwintern am Baum (Abb. 7) und fallen im darauffolgenden Sommer ab (Tab. 2).

Gelber Zapfenrost (*Chrysomyxa pyrolata*)

Chrysomyxa pyrolata, ein wirtswechselnder Rostpilz zwischen Vertretern von Wintergrünpflanzen (Pyrolaceae) und verschiedenen Fichtenarten (Tab. 1), besiedelt ausschliesslich jüngste Zapfenschuppen. Der Pilz kommt im Verbreitungsgebiet von Wintergrünpflanzen vor, z.B. im Alpenraum sowie von Skandinavien ostwärts bis

Russland und ist auch in Japan und Nordamerika vertreten.

Der Gelbe Zapfenrost überwintert und überdauert in Pyrolaceen als Myzel in Blättern, Blattstielen und Knospen sowie in Knoten (Nodien) älterer, unterirdischer Ausläufer (Stolonen). Bald nach der Schneeschmelze lassen sich an allen ausdauernden, oberirdischen Teilen der Wintergrünarten orange-gelbe Uredolager beobachten. Die rundlichen Teleutolager sind etwas heller gefärbt. Die Lager wurden bereits während der Winterzeit angelegt. Bei hoher Luftfeuchtigkeit wird bevorzugt die Bildung von Teleutolagern gefördert. Die Teleutosporen keimen im Frühjahr und bilden Basidiosporen, die junge, karminrote oder grünliche Fichtenzapfenschuppen infizieren. Das geschieht etwa zur Zeit der Fichten-Pollenfreigabe im Mai. Auf der Aussenseite der Schuppen entwickeln sich nur wenige, grosse, gelb bis goldgelbe Aecidien, die oft miteinander verschmelzen (Abb. 8). Aecidiosporen können wiederum Pflanzen der Wintergrünpflanzen infizieren.

Bei dieser *Chrysomyxa*-Art spielen aber vermutlich in unseren Breiten Neinfektionen von Wintergrünpflanzen durch Aecidiosporen bzw. die Weiterverbreitung des Pilzes durch Uredosporen eine untergeordnete Rolle. Der Pilz verbreitet sich offensichtlich unterirdisch auf Vertretern der Pyrolaceen hauptsächlich auf die Weise, dass sein in Knoten älterer Ausläufer ausdauerndes Myzel immer wieder junge Pflanzen sowie junge Ausläufer neu besiedelt.

Eine epidemische Ausbreitung dieses Pilzes auf Fichtenzapfenschuppen kommt bei uns kaum vor; denn eine Infektion von Zapfenschuppen ist nur dann erfolgreich, wenn die Basidiosporenproduktion auf den Wintergrünpflanzen zur Zeit der Bestäubung weiblicher Zapfen stattfindet, verbunden mit kühler, feuchter Witterung. Zudem blühen Fichten in relativ grossen Jahresabständen (Tab. 2).

Weitere wirtswechselnde Rostpilzarten an Fichtennadeln

Die folgenden in Europa verbreiteten *Chrysomyxa*-Arten kommen in der Schweiz nur selten bzw. gar nicht vor.

Chrysomyxa empetri lebt auf Fichten sowie auf der in den Alpen verbreiteten Zwittrigen Krähenbeere und der verein-

zelt im Südjura auftretenden Schwarzen Krähenbeere (Tab. 1). In unseren Breiten scheint sich dieser Rostpilz überwiegend in einem reduzierten Zyklus zu entwickeln unter Ausbildung von Sporen (Uredosporen), die wiederum nur Krähenbeeren-Arten zu infizieren vermögen. Fichten werden demnach wohl äusserst selten befallen. Der Pilz tritt in Europa, Grönland, Japan und Nordamerika sowie auf den Falkland-Inseln auf.

Chrysomyxa ledi wechselt zwischen Fichtennadeln und Porstarten (*Ledum* spp.), Heidekrautgewächsen, die in der Schweiz nicht vorkommen (Tab. 1), weshalb dieser Rostpilz in unseren Breiten an Fichten nicht anzutreffen ist. Das gleiche gilt für *Chrysomyxa woronini*, der ebenfalls auf Porstarten und an verschiedenen *Picea*-Arten lebt (Tab. 1), an denen er im Spätfrühling terminale Knospen infiziert. Die fleischig werdenden Endtriebe der befallenen Fichten werden wegen ihres süssen Geschmacks (hoher Stärkegehalt) in Nordschweden und Finnland gelegentlich als «Mjölkomlor» verzehrt, für Auerhühner können sie eine Zusatznahrung im Winter sein. In Finnland heissen diese Triebe deshalb auch «Auerhühnerbrot».

Bedeutung für die Waldwirtschaft

Chrysomyxa rhododendri, die auffälligste und häufigste Rostpilzart an Fichtennadeln, ist seit mehr als 100 Jahren im Alpenraum bekannt. Dennoch wurde bisher nie ein massenhaftes Absterben befallener Bäume dokumentiert. Auch die Alpenrosen werden durch den



Abb. 8 *Chrysomyxa pyrolata*: grosse Sporenlager (Aecidien) an der Aussenseite der infizierten Fichtenzapfenschuppe.

Pilz kaum beeinträchtigt. Gegenmassnahmen sind deshalb nicht angezeigt.

Ein Befall von Fichtennadeln durch den Fichtennadelrost (*Chrysomyxa abietis*) ist besonders auf junge dichtstehende Fichtenbestände mit stagnierender Luftfeuchtigkeit beschränkt und tritt vor allem lokal in Erscheinung. Dichte Jungbestände sollten frühzeitig durchforstet werden. In Christbaumkulturen kommt dieser Rostpilz recht häufig vor (Tab. 2) und kann erhebliche Wertverluste verursachen. Aufgrund der schweizerischen Stoffverordnung ist einzig in Christbaumkulturen und Baumschulen ausserhalb des Waldareals eine mehrmalige vorbeugende Fungizidbehandlung während des Knospenaufbruchs möglich.

Die Samenproduktion von Fichtenzapfen, die durch *Chrysomyxa pyrolata* befallen sind (Tab. 2), kann zwischen 20 und 60 Prozent reduziert sein. In schweren «Krankheitsfällen» fällt die Bildung von Samen vollständig aus. Vorbeugende Massnahmen sind nicht bekannt. Dieser Pilz kommt in der Schweiz selten vor und stellt kein Problem für die Verjüngung und Samenernte dar.

Natürliche Regulation der Fichtenrostpilze

Die zeitweilige Lebensgemeinschaft zwischen dem Pilz *Chrysomyxa rhodo-*

dendri und erwachsener Fichte ist ein eindrückliches Beispiel für die über lange Zeiträume gewachsene hohe gegenseitige Anpassung zweier Organismen mit völlig unterschiedlichen Lebensgewohnheiten. Zudem wird diese «Pilzkrankheit» durch mannigfaltige Einflüsse reguliert. Es sind dies vor allem die klimatischen Bedingungen am Standort, wie winterliche Schneedecke und feuchte kühle Witterung im Frühling. Weiterhin vermögen gesunde, besonders ein- und zweijährige Nadeln älterer Fichten durch Steigerung ihrer Stoffproduktion, den Verlust befallener jüngster Nadeln teilweise zu kompensieren.

Bisher wenig bekannt ist, dass Gegenspieler (Antagonisten) unter natürlichen Bedingungen zur biologischen Kontrolle von Rostpilzen an Fichtennadeln beitragen können. Es sind allerdings erst zwei Antagonisten bekannt: Zum einen der Deuteromycet (Sphaerosporidiales) *Darluka filum* (Biv. ex Fr.) Cast., der Teleutolager von *Chrysomyxa*-Arten parasitiert, zum anderen die Larven einer noch nicht eindeutig bestimmten Gallmückenart (Cecidomyiidae), die diese Lager abweiden, was zu einer Verminderung der Sporenfreisetzung führen kann.

Literatur

- BAUER, H.; PLATTNER, K.; VOLGGER, W., 2000: Photosynthesis in Norway spruce seedlings infected by the needle rust *Chrysomyxa rhododendri*. *Tree Physiol.* 20, 3: 211–216.
- BRÄNDLI, U.-B., 1996: Die häufigsten Waldbäume der Schweiz. Ergebnisse aus dem Landesforstinventar 1983–85: Verbreitung, Standort und Häufigkeit von 30 Baumarten. *Ber. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch.* 342: 278 S.
- BUTIN, H., 1996: Krankheiten der Wald- und Parkbäume. 3. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart/New York, Thieme. 261 S.
- CECH, T.L., 1994: Nadelkrankheiten und Kronenzustand der Fichte (*Picea abies* L.). Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien. Forstschutzmerkblatt 10: 10 S.
- CRANE, P.E.; HIRATZUKA, Y., 2000: Evidence for environmental determination of uredinia and telia production in *Chrysomyxa pirolata* (inland spruce cone rust). *Can. J. Bot.* 78, 5: 660–667.
- DE BARY, A., 1879: *Aecidium abietum*. *Bot. Ztg.* 37, 48–52: 761–774, 777–789, 801–811, 825–830, 841–847.
- DÖRFELT, H., 1989: Lexikon der Mykologie. Stuttgart/New York, Fischer. 432 S.
- ENGESSER, R., 1990: Rostpilze an Fichten. *Der Gartenbau* 28: 1449.
- FITSCHEN, J., 1994: Gehölzflora. Überarbeitet von MEYER, F.H.; HECKER, U.; HÖSTER, H.R.; SCHROEDER, F.-G. 10. überarb. Aufl. Heidelberg/Wiesbaden, Quelle & Meyer.
- GÄUMANN, E., 1946: Pflanzliche Infektionslehre. Basel, Birkhäuser. 611 S.
- GÄUMANN, E., 1959: Die Rostpilze Mitteleuropas, mit besonderer Berücksichtigung der Schweiz. In: Beiträge zur Kryptogamenflora der Schweiz. Bd. 12. Bern, Bümchler. 1407 S.
- GÄUMANN, E., 1964: Die Pilze. Grundzüge ihrer Entwicklungsgeschichte und Morphologie. Basel/Stuttgart, Birkhäuser. 541 S.
- GRILL, D.; FACHBACH, G.; BRUNEGGER, A., 1983: REM-Beitrag zum Befall von *Chrysomyxa abietis* Teleutosporenlagerung durch Mückenlarven. *Eur. J. For. Pathol.* 13: 409–414.
- HARTMANN, G.; NIENHAUS, F.; BUTIN, H., 1995: Farbatlas Waldschäden – Diagnose von Baumkrankheiten. 2. überarb. und erw. Aufl. Stuttgart, Ulmer. 288 S.
- HEGI, G., 1975: Illustrierte Flora von Mitteleuropa: Dicotyledones. Bd. V, Teil 3. Berlin/Hamburg, Parey. 2254 S.
- HEGI, G., 1981: Illustrierte Flora von Mitteleuropa: Gymnospermae, Angiospermae, Monocotyledoneae 1. Bd. I, Teil 2; 3. völlig neu bearb. Aufl. Berlin/Hamburg, Parey. 269 S.
- HEINIGER, U., 1990: Pilzliche Krankheiten der Fichtennadeln – Untersuchungen in der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 141, 4: 295–301.
- LAUBER, K.; WAGNER, G., 1998: Flora Helvetica. 2. verbesserte und ergänzte Aufl. Bern/Stuttgart/Wien, Haupt. 1614 S.

Neueste Forschungsergebnisse über *Chrysomyxa rhododendri* aus Labor- und Feldstudien (Institut für Botanik, Leopold-Franzens-Universität, Innsbruck)

Jungfichten und erwachsene Bäume sind in unterschiedlichem Ausmass von einer *Chrysomyxa rhododendri*-Infektion betroffen. Bei jungen Bäumen (weniger als 6 Jahre alt) hat der Neutrieb einen wesentlich grösseren Anteil an der gesamten Nadelmasse als bei ausgewachsenen Bäumen. Deshalb sind Jungbäume in grösserem Ausmass auf das Funktionieren ihrer neu gebildeten Nadeln angewiesen. Sind mehr als ein Drittel der jungen Nadeln befallen, führt dies zu signifikanten Wachstums- und Vitalitätseinbussen, was sich in einer verminderten Trockengewichtszunahme von Spross und Wurzel widerspiegelt: Ursache ist eine deutliche Reduktion der Photosyntheseleistung befallener Nadeln. Die Trockenmasse kann bei einer einmaligen starken Infektion um 30–50% reduziert sein. Solche Verluste können durch ein rostfreies Folgejahr nicht ausgeglichen werden. Eine Infektion in zwei aufeinanderfolgenden Jahren reduziert die Trockenmasse um etwa 60%. In Gegenden mit ausgedehnten Alpenrosenbeständen kann das Aufkommen der Fichte, wie verschiedentlich in österreichischen Alpengebieten beobachtet, deshalb deutlich beeinträchtigt sein.

Ältere Fichten verkraften eine *Chrysomyxa rhododendri*-Infektion wesentlich besser. Bei erwachsenen Fichten mit bis zu zehn Nadeljahrgängen ist der Anteil des Nadelneuzuwachses im Verhältnis zur Gesamtnadelmasse relativ gering. Deshalb beeinträchtigt ein einmaliger Befall des jüngsten Nadeljahrganges durch den Fichtennadelblasenrost das Wachstum kaum. Zudem können die nicht befallenen Nadeln des vorherigen Jahres ihre Stoffproduktion um bis zu 50% steigern, so dass die Produktionsverluste durch den Nadelfall teilweise kompensiert werden. Ein allerdings selten vorkommender starker Befall in zwei bis drei aufeinander folgenden Jahren und der damit verbundene Verlust eines grösseren Anteils der Nadeln, hat eine Verringerung des Wachstums zur Folge (schmalere Jahrringe) und beeinträchtigt die Vitalität der betroffenen Fichten.

- MURRAY, J. S., 1953: A note on the outbreak of *Chrysomyxa abietis* Unger (spruce needle rust) in Scotland, 1951. *Scott. For.* 7, 2: 52–56.
- OBERHUBER, W.; THOMASER, G.; MAYR, S.; BAUER, H., 1999: Radial Growth of Norway Spruce infected by *Chrysomyxa rhododendri*. *Phyton* 39, 4: 147–154.
- OECHSLIN, M., 1927: Die Verbreitung des Alpenrosenrostes, *Chrysomyxa rhododendri*, im Kanton Uri in den Sommern 1924–1926. *Schweiz. Z. Forstwes.* 78, 10: 316–323.
- OECHSLIN, M., 1933: Die *Chrysomyxa rhododendri*. *Schweiz. Z. Forstwes.* 84, 1: 1–5.
- PHILLIPS, D.H.; BURDEKIN, D.A., 1992: Diseases of forest and ornamental trees. 2. ed. London/Basingstoke, MacMillan Press. 581 S.
- PLATTNER, K., 1998: Photosynthese und Wachstum *Chrysomyxa*-infizierter Jungfichten. Innsbruck, Leopold-Franzens-Universität. Diplomarbeit: 80 S.
- PLATTNER, K.; VOLGGER, W.; OBERHUBER, W.; MAYR, S.; BAUER, H., 1999: Dry mass production in seedlings of Norway spruce infected by the needle rust *Chrysomyxa rhododendri*. *Eur. J. For. Pathol.* 29, 5: 365–370.
- Professur für Waldbau und Professur für Forstschutz und Dendrologie, 1993: *Picea abies* (L.) Karst. In: Mitteleuropäische Waldbaumarten. Artbeschreibung und Ökologie unter besonderer Berücksichtigung der Schweiz. ETH Zürich, Departement Forstwissenschaften. 7 S.
- RICHTER, B., 1991: Der Alpenrosenrost – ein interessanter Vertreter der Rostpilze. *Mikrokosmos* 80, 9: 260–264.
- SCHMIDT-VOGT, H., 1989: Die Fichte. Krankheiten, Schäden, Fichtensterben. Bd. II/2. Hamburg/Berlin, Parey. 607 S.
- SELOCHNIK, N.N., 1990: Microflora of azaleas and rhododendrons. *Mikologiya i Fitopatologiya* 24, 4: 358–362.
- SILLER, CH., 1999: Auswirkungen eines *Chrysomyxa*-Befalls auf die Photosynthese erwachsener Fichten. Innsbruck, Leopold-Franzens-Universität. Diplomarbeit. 88 S.
- SINGH, P.; CAREW, G.C., 1990: Inland spruce cone rust of black spruce: Effect on cone and seed yield, and seed quality. *Eur. J. For. Pathol.* 20: 397–404.
- SUTHERLAND, J.R.; HOPKINSON, S.J.; FARRIS, S.H., 1984: Inland spruce cone rust, *Chrysomyxa pirolata*, in *Pyrola asarifolia* and cones of *Picea glauca*, and morphology of the spore stages. *Can. J. Bot.* 62, 11: 2441–2447.
- THOMASER, G., 1998: Auswirkungen eines Befalls mit *Chrysomyxa rhododendri* auf den Jahrringzuwachs der Fichte. Innsbruck, Leopold-Franzens-Universität. Diplomarbeit: 84 S.
- VOLGGER, W., 1997: Auswirkungen einer Infektion mit *Chrysomyxa rhododendri* auf Photosynthese und Wachstum der Fichte. Innsbruck, Leopold-Franzens-Universität. Diplomarbeit. 87 S.
- ZILLER, W.G., 1974: The tree rusts of western Canada. *Can. For. Serv. Publ. No.* 1329: 272 S.

Abbildungsnachweis

Für die Anfertigung von Zeichnungen und die Ausleihe von Fotos möchte ich folgenden Kolleginnen, Kollegen und Institutionen herzlich danken: Zeichnungen «Entwicklungszyklus» Verena Fataar, Bereich Logistik und Marketing, Abt. Kommunikation und Marketing/WSL; Abb. 1.1 Ulrich Wasem, Forschungsbereich Waldressourcen und -management, Abt. Gebirgswaldökologie/WSL; Abb. 1.2, 1.3a, 1.4, 1.5, 6, 7, 8 PBMD, Forschungsbereich Wald, Abt. Wald- und Umweltschutz/WSL; Abb. 1.3, 1.7 Prof. Dr. Helmut Bauer, Institut für Botanik, Universität Innsbruck; Abb. 2, 3, 5 Phytopathologie, Forschungsbereich Wald, Abt. Wald- und Umweltschutz/WSL; Abb. 4 Prof. Dr. Ottmar Holdenrieder, D-FOWI, Professur für Forstschutz und Dendrologie ETH, Zürich.

Adresse der Autorin

Dr. Dagmar Nierhaus-Wunderwald
Eidg. Forschungsanstalt WSL
Zürcherstrasse 111
CH-8903 Birmensdorf
E-mail: dagmar.nierhaus@wsl.ch

Verzeichnis der neuesten Nummern der Reihe «Merkblatt für die Praxis»

- Nr. 24* NIERHAUS-WUNDERWALD, D., 1995: Der Grosse Lärchenborkenkäfer. Biologie, Überwachung und forstliche Massnahmen. 6 S.
- Nr. 25*/** EGLI, S.; AYER, F.; LUSSY, S.; SENN-IRLET, B.; BAUMANN, P., 1995: Pilzschutz in der Schweiz. Ein Leitfaden für Behörden und interessierte Kreise. 8 S.
- Nr. 26* STÖCKLI, B., 1995: Moderholz für die Naturverjüngung im Bergwald. Anleitung zum Moderanbau. 8 S.
- Nr. 27* NIERHAUS-WUNDERWALD, D., 1996: Pilzkrankheiten in Hochlagen. Biologie und Befallsmerkmale. 8 S.
- Nr. 28* NIERHAUS-WUNDERWALD, D.; LAWRENZ, P., 1997: Zur Biologie der Mistel. 8 S.
- Nr. 29*/** NIERHAUS-WUNDERWALD, D., 1998: Biologie und natürliche Regulation von Gespinstmotten. 8 S.
- Nr. 30*/** FORSTER, B.; BUOB, S.; COVI, S.; OEHRY, E.; URECH, H.; WINKLER, M.; ZAHN, C.; ZUBER, R., 1998: Schlagräumung. 4 S.
- Nr. 31*/** NIERHAUS-WUNDERWALD, D.; FORSTER, B., 2000: Rindenbrütende Käfer an Föhren. 12 S.

* Auch in Französisch/** Italienisch erhältlich.