

Negative Auswirkungen des Fichtennadelblasenrosts (*Chrysomyxa rhododendri*) auf den subalpinen Fichtenwald. Resistente Fichten könnten eine Lösung sein.

Andrea Ganthaler, Stefan Mayr, Christian Annewanter und Christian Schwaninger

Abstract

Negative Effects of the Needle Bladder Rust (*Chrysomyxa rhododendri*) on Subalpine Spruce Forests. Resistant Trees could be a Solution.

Norway spruce trees in the subalpine forests of the European Alps have been frequently attacked by the needle bladder rust (*Chrysomyxa rhododendri*) in the recent years. The obligate parasite undergoes a complex life cycle with a host shift between rhododendron (*Rhododendron* sp.) and Norway spruce (*Picea abies*) and causes a yellowing and defoliation of the current-year needles in summer. Infected trees show several anatomical, morphological and physiological modifications, including lower biomass production and reduced growth. The consequences are diminished timber yield, cripple growth and increasing difficulties in both natural regeneration and afforestation. A project was started to analyze the plant pathogen and establish resistant Norway spruce varieties.

Keywords | *Chrysomyxa rhododendri*, *Picea abies*, rust fungus, timberline, resistance

Kurzfassung | Fichten im Bereich der alpinen Waldgrenze wurden in den vergangenen Jahren wieder vermehrt vom Fichtennadelblasenrost (*Chrysomyxa rhododendri*) befallen. Der Parasit durchläuft einen komplexen Lebenszyklus mit Wirtswechsel zwischen der Alpenrose (*Rhododendron* sp.) und der Fichte (*Picea abies*) und führt zu Gelbfärbung und Abwurf der jungen Nadeln im Sommer. Betroffene Fichten weisen verschiedenste anatomische, morphologische und physiologische Veränderungen auf, wie Abnahme des Chlorophyllgehaltes und der Photosyntheserate der Nadeln, geringere Biomasseproduktion und reduziertes Wachstum. Die Folgen sind geringerer Holzertrag, Krüppelwuchs und vermehrte Probleme bei Naturverjüngung und Aufforstung von Fichtenwäldern im Bereich von Alpenrosenbeständen. In einer Kooperation von den Landesforstgärten Tirol, dem Waldpflegeverein Tirol und der Universität Innsbruck wurde nun ein Projekt zur genaueren Untersuchung des Forstpathogens und zur Etablierung resistenter Fichtensorten gestartet.

Schlüsselworte | Fichtennadelblasenrost, *Chrysomyxa rhododendri*, *Picea abies*, Rostpilz, Waldgrenze, Resistenz

Der Nadelrost *Chrysomyxa rhododendri* (DC.) de Bary (De Bary 1879) stellt eine der auffälligsten Erkrankungen der Fichte im Alpenraum dar. Das charakteristische Krankheitsbild zeichnet sich durch eine deutliche und weithin sichtbare Gelbfärbung der neu ausgetriebenen Nadeln im Laufe des Sommers (Abbildung 1) und Nadelabwurf im Herbst aus. Bei wiederholter starker Infektion kann es zum Verlust mehrerer Nadeljahrgänge kommen. Die Erkrankung ist bereits seit über 100 Jahren bekannt und zeigt im Auftreten starke regionale und zeitliche Schwankungen, deren Ursprung noch nicht vollständig aufgeklärt werden konnte. Aufgrund wiederholt hoher Infektionsraten in den vergangenen Jahren und entsprechend zunehmenden Problemen bei Naturverjüngung und Aufforstung von subalpinen Fichtenwäldern wurde in einer Zusammenarbeit von den

Landesforstgärten Tirol, dem Waldpflegeverein Tirol und dem Institut für Botanik der Universität Innsbruck das alpSCOMET-Projekt „RustResist“ gestartet. Ziel des Projektes ist eine Verbesserung der Kenntnis der Pilzinfektion und die Etablierung resistenter Fichtensorten.

Der Fichtennadelblasenrost

Die Gattung *Chrysomyxa* gehört zur Gruppe der Rostpilze (Uredinales, Basidiomycota) und ist in Europa mit mehreren heimischen Arten vertreten, welche alle obligate Pflanzenparasiten sind und zum Teil einen Wirtswechsel durchführen. Die wichtigsten sind *C. pyrolata* ("Gelber Zapfenrost", Wirtswechsel zwischen Fichtenzapfen und Wintergrünwäldchen), *C. empetri* (Wirtswechsel zwischen Fichte und Krähenbeere), *C. ledi* (Wirtswechsel zwischen Fichte und Sumpfporst), *C. abietis* ("Fichtennadel-

rost", an der Fichte ohne Wirtswechsel) und die in diesem Artikel behandelte Art *C. rhododendri* ("Fichtennadelblasenrost", Wirtswechsel zwischen Fichte und Alpenrose; Butin 1996, Nierhaus-Wunderwald 2000).

C. rhododendri ist im gesamten Alpenraum verbreitet, aber aufgrund seines komplexen Wirtswechsels zwischen dem Hauptwirt Alpenrose und dem Zwischenwirt Fichte (Abbildung 2) auf subalpine Standorte beschränkt. Die Erkrankung tritt nur dort auf, wo beide Pflanzenarten in unmittelbarer Nähe zueinander vorkommen. Die Teleuto-Sporen des Erregers überdauern den Winter in den Blättern der Alpenrose und keimen im Frühsommer an der Blattunterseite zu Basidio-Sporen aus (Abbildung 3). Diese können vom Wind mehrere Kilometer weit transportiert werden. Die Sporen keimen aus und dringen mit dem Keimungsschlauch in die Fichtennadeln ein. In den folgenden Wochen werden in den Nadeln ein ausgedehntes Myzel und dann zahlreiche Sporenlager gebildet. Diese durchbrechen die Cuticula und entlassen Aecidio-Sporen, welche wiederum die Alpenrose infizieren können und den Lebenszyklus schließen. Auf der Alpenrose können zudem sogenannte Uredo-Sporen gebildet werden, welche eine Ausbreitung innerhalb der Alpenrosenbestände beschleunigen.



Abbildung 1: Infizierte Fichtennadeln mit aufplatzenden Sporenlagern.

Figure 1: Infected needles of Norway spruce with bursting spore stocks.

In den letzten fünf Jahren wurden nach einem vorangegangenen starken Rückgang wiederum hohe Infektionsraten in den Alpen beobachtet. Leider liegen keine Langzeitbeobachtungen für alle Alpenregionen vor, doch Daten für Süd- und Nordtirol unterstreichen diesen Trend (Abbildung 4). Ein Grund für die hohen Infektionsraten in den letzten Jahren könnte die Ausbreitung von Alpenrosenbeständen in Folge vermehrter Auflassung von Wiesen und Weiden im Bereich der Almen sein. Denkbar ist auch eine Begünstigung des Pilzes durch steigende Temperaturen und veränderte Niederschlagsmuster aufgrund des globalen Klimawandels. Es scheint jedoch auch ein zyklisches Muster im Auftreten des Fortschädling zu geben, dessen Ursachen bisher unklar sind.

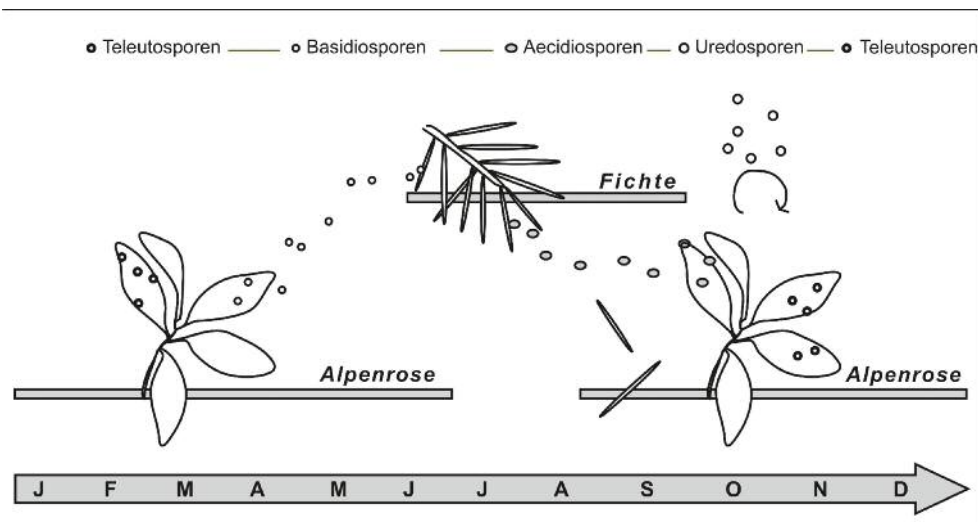


Abbildung 2: Wirtswechsel und Sporentypen des Schadpilzes.

Figure 2: Host shift and spore types of the fungus.

Tabelle 1: Veränderung wichtiger Kennparameter in *Chrysomyxa*-infizierten Bäumen im Vergleich zu gesunden Bäumen (↓ Abnahme, ↑ Zunahme, → kein signifikanter Unterschied; nach Ganthaler et al. 2014).

Table 1: Changes in key parameters of *Chrysomyxa*-infected trees with respect to healthy trees (↓ decrease, ↑ increase, → no significant difference; Ganthaler et al. 2014, modified).



Abbildung 3: Lichtmikroskopische Aufnahme von Basidiosporen.

Figure 3: Basidiospores under the light microscope.

Abbildung 4: Betroffene Waldfläche in Süd- und Nordtirol (Für Nordtirol liegen Daten ab 2003 vor. Daten: Autonome Provinz Bozen – Abteilung Forstwirtschaft und Bundesforschungszentrum für Wald).

Figure 4: Affected forest area in South and North Tyrol (for North Tyrol no data before 2003 are available. data: Autonome Provinz Bozen – Unit Silviculture and Austrian Research Centre for Forests).

Parameter	Veränderung in infizierten Bäumen	
Biomasse	↓	
Jahringbreite	↓	
Höhenwachstum	↓	
Zellwanddicke im Spätholz	↓	
	diesjährige Nadeln	einjährige Nadeln
Chlorophyll a+b (% der Trockenmasse)	↓	↓
Carotenoide (% der Trockenmasse)	↓	→
Stickstoffgehalt (% der Trockenmasse)	↓ / → / ↑	→ / ↑
Trockenmasse (pro Blattfläche)	↓	→
Netto-Photosynthese (pro Blattfläche)	↓	↑
Atmungsrate	↑	→

Negative Auswirkungen auf betroffene Fichten und Fichtenbestände

Infektionen durch *Chrysomyxa rhododendri* wirken sich in vielerlei Hinsicht negativ auf die betroffenen Bäume aus. Wissenschaftlich nachgewiesen wurden sowohl anatomische, morphologische als auch physiologische Veränderungen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die bedeutendsten Auswirkungen, welche im Folgenden genauer erläutert werden:

Nadel-Pigmente: Der Gehalt an Chlorophyll a und b sowie Carotin nimmt in infizierten Nadeln um 40-60 % ab (Pfeifhofer 1989, Bauer et al. 2000). Dies wurde sowohl an drei bis vier Jahre alten Jungbäumen als auch an adulten Fichten festgestellt. Gleichzeitig produziert der Pilz selbst β - und γ -Carotin, welche zur charakteristischen Gelbfärbung der Nadeln führen. Der Grund für den Chloro-

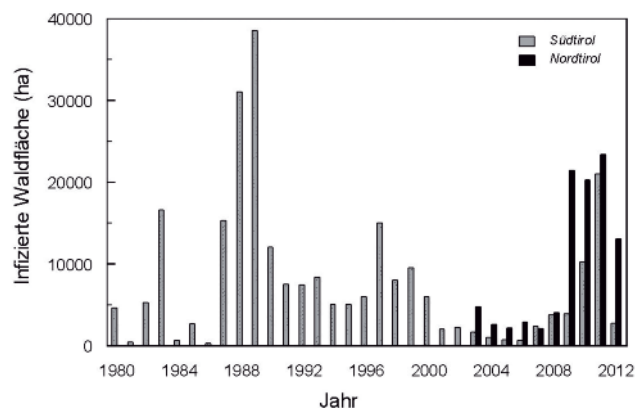
phyllabbau dürften vom Pilz ausgelöste Veränderungen in den Chloroplasten oder eine verfrüht einsetzende Seneszenz der Nadeln sein.

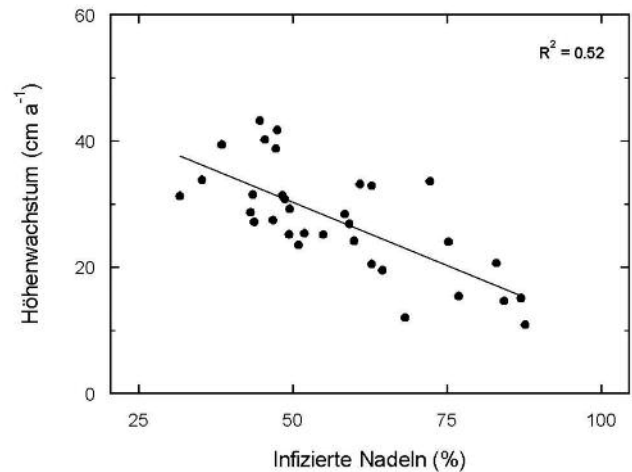
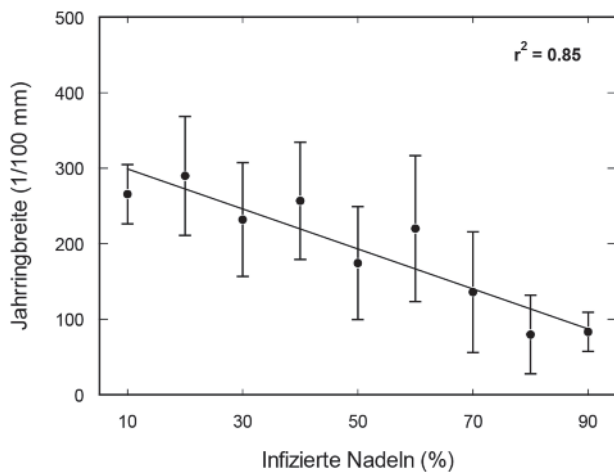
Photosynthese: Aufgrund des verringerten Chlorophyllgehaltes kommt es zu einer starken Abnahme der Netto-Photosynthese um bis zu 50 % im Vergleich zu gesunden Kontrollbäumen (Bauer et al. 2000, Mayr et al. 2001). Dieser Effekt wird durch eine reduzierte CO₂-Fixierung und geringere Elektronentransportrate im Photosynthese-Apparat sowie die hohe Atmungsrate des Pilzes verstärkt. Interessanterweise können einjährige, gesunde Nadeln als Reaktion darauf ihre eigene Photosynthese steigern und den Ausfall der infizierten, diesjährigen Nadeln damit etwas kompensieren.

Transpiration: Bei der stomatären Leitfähigkeit der Nadeln wurden nach Infektion keine Veränderungen festgestellt.

Jedoch weisen geschädigte, aber nicht abgeworfene Nadeln eine höhere cuticuläre Leitfähigkeit im Winter auf, welche zu erhöhtem Wasserverlust und damit Trockenstress führen könnte (Mayr et al. 2010).

Stickstoff-, Kohlenstoff- und Zuckergehalt: Analysen des Stickstoffgehaltes lieferten stark voneinander abweichende Er-





gebnisse mit teilweiser Zunahme oder Abnahme in den infizierten Versuchspflanzen. Dies dürfte am unterschiedlichen Nährstoffgehalt des Bodens und nicht direkt an der Pilzinfektion liegen. Im Kohlenstoffgehalt wurden keine Veränderungen in infizierten Nadeln festgestellt. Eine deutliche Abnahme des Gehalts an löslichen Zuckern und Stärke ist eine direkte Folge der reduzierten Photosyntheserate sowie des Nährstoffverbrauchs durch den Pilz (Bauer et al. 2000, Mayr et al. 2001).

Vorzeitiger Verlust von Nadeln:

Fichten reagieren auf *C. rhododendri*-Befall durch die Bildung eines Abschlussgewebes an der Basis infizierter Nadeln und vorzeitigem Nadelfall am Ende des Sommers. Dadurch kann der Pilz eliminiert werden, gleichzeitig kommt es bei hohen Infektionsraten aber zum Verlust eines großen Teils des Nadeljahrgangs und bei wiederholt starken Infektionen können fast kahle Äste zurückbleiben.

Wachstum: Die verringerte Photosynthese schlägt sich in geringerem Wachstum der betroffenen Bäume nieder. Mit zunehmendem Infektionsgrad nimmt die Biomasse der einzelnen Pflanzenteile signifikant ab, wobei die diesjährigen Nadeln und die Feinwurzeln am stärksten betroffen sind. Bei wiederholter Infektion über mehrere Jahre wird der Effekt verstärkt (Plattner et al. 1999). Dazu kommt eine Abnahme des Dickenwachstums mit zunehmend schmäleren Jahrringen bei steigender Infektionsrate sowie geringeres Höhenwachstum (Abbildung 5; Oberhuber et al. 1999, Mayr et al. 2001, Bauer und Schwaninger 2007). Jüngere Bäume reagieren dabei

viel sensibler als adulte Bäume, da sie weniger Nadeljahrgänge aufweisen und die Verluste schwerer ausgleichen können. Auf Zellebene wurden eine Abnahme der Zellwanddicke im Spätholz und unregelmäßig angeordnete, abnormal geformte Zellen festgestellt. Eine ausführliche Zusammenfassung aller Auswirkungen der Pilzinfektion auf die Fichte wurde kürzlich im „European Journal of Forest Research“ veröffentlicht (Ganthaler et al. 2014).

Da kein großflächiges Absterben von infizierten ausgewachsenen Bäumen auftritt, wurden die Auswirkungen von *Chrysomyxa* auf Fichtenwälder lange eher unterschätzt. Aufgrund der genaueren Analyse der vorliegenden Forschungsergebnisse und den Beobachtungen der Forstinstitutionen in Tirol in den letzten Jahren kann jedoch Folgendes zusammengefasst werden:

1. Wiederholte starke Infektionen führen zu deutlich reduziertem Wachstum bei jungen und adulten Bäumen und somit zu ökonomischen Einbußen beim Holzertrag. Es muss zudem befürchtet werden, dass infizierte Fichten anfälliger gegenüber anderen Störeinflüssen sind und die reduzierte Vitalität der Bäume die Schutzfunktion der Wälder beeinträchtigt.
2. Für wenige Jahre alte Jungbäume können wiederholte Infektionen aufgrund der geringen Anzahl an Nadeljahrgängen fatal sein. Waldaufseher und Forstinstitutionen melden vermehrt Krüppelwuchs und auch das Absterben von Jungfichten in stark betroffenen Gebieten in Tirol und damit verbunden auch große Probleme

Abbildung 5: Korrelation zwischen Infektionsrate und Jahrringzuwachs bzw. Längenwachstum (nach Ganthaler et al. 2014).

Figure 5: Correlation between infection rate and annual ring width as well as annual shoot increment (Ganthaler et al. 2014, modified).



Abbildung 6: Zweig eines infizierten Baumes mit Nadelverlust in mehreren Nadeljahrgängen (links) und eines resistenten Baumes (rechts). Beide wachsen am selben Standort in Praxmar, Tirol auf 1650 m Seehöhe.

Figure 6: Branch of an infected (left) and resistant (right) tree, standing nearby in Praxmar, Tyrol at 1650 m altitude. The infected tree shows severe needle loss in several years.

bei Naturverjüngung und Aufforstungen in subalpinen Fichtenwäldern. Die Fichte ist eine der am weitesten verbreiteten und ökonomisch bedeutendsten Forstbaumarten im Alpenraum. Da nur eine begrenzte Anzahl von an Hochlagen angepassten Baumarten verfügbar ist, kann sie nur schwer ersetzt werden. Gleichzeitig ist eine Bekämpfung der Pilzinfektion durch den Einsatz von Fungiziden oder großflächige Eindämmung der Alpenrosen kaum durchführbar und würde zu nicht abschätzbaren Effekten in den Ökosystemen führen. Es besteht deshalb ein großer Bedarf, eine alternative, in der Praxis anwendbare Anpassungsstrategie zu entwickeln. In manchen Gegenden, wie dem Trentino (Italien), scheinen die Infektionen allerdings nur kleinräumig wiederholt aufzutreten und damit die Fichtenverjüngung kaum zu beeinflussen (Zottele et al. 2014).

Etablierung resistenter Fichtensorten

Es ist schon lange bekannt, dass die Anfälligkeit gegenüber dem Pilz zwischen einzelnen Fichten stark variieren kann (z. B. Dufrénoy 1932). Vereinzelt treten offensichtlich resistente Fichtenindividuen, die keine Infektionssymptome aufweisen, innerhalb eines stark befallenen Bestandes auf (Abbildung 6). Der Resistenzmechanismus ist bisher leider unbekannt, es werden jedoch verschiedene Hypothesen diskutiert: (a) ein späterer Nadelaustrieb im Frühjahr, sodass die Nadeln den hohen Sporenkonzentrationen entgehen, (b) eine dickere Epidermis und Cuticula der Nadeln, die als mechanisches Schutzschild ein Eindringen des Pilzes verhindern oder (c) eine höhere Konzentration an fungizid wirkenden Substanzen in den Nadeln als chemische Abwehr.

nen entgehen, (b) eine dickere Epidermis und Cuticula der Nadeln, die als mechanisches Schutzschild ein Eindringen des Pilzes verhindern oder (c) eine höhere Konzentration an fungizid wirkenden Substanzen in den Nadeln als chemische Abwehr.

In einem alpS-COMET-Projekt mit den Partnern Landesforstgärten Tirol, Waldpflegeverein Tirol und Institut für Botanik der Universität Innsbruck wird zurzeit an der vegetativen Vermehrung dieser natürlich vorkommenden resistenten Fichten gearbeitet. Die ausgewählten Bäume werden dabei nicht über Samen, sondern durch Bewurzelung einjähriger Endtriebe vermehrt (Weißenbacher et al. 2007, Pickenpack 2012). Die Vorteile dieser Methode sind zum einen der Erhalt genetisch identer Ableger (Klone) und zum anderen die Möglichkeit einer schnellen Weitervermehrung, ohne viele Jahre auf die Samenbildung warten zu müssen. Unter tatkräftiger Mithilfe der Waldaufseher wurden in ganz Tirol resistente Bäume identifiziert. Im April 2013, wenige Wochen vor dem Austrieb, wurden Zweige dieser Bäume von den oberen Astquirlen geerntet und gut verpackt zum Forstgarten des Forstbetriebes Franz-Mayr-Melnhof-Saurau in Frohnleiten (Steiermark) gebracht. Die letztjährigen Triebe wurden dort nochmals abgeschnitten, mit Fungizid behandelt und für 14 Wochen in einem Kiesbett bei kontrollierter Temperatur und Feuchtigkeit bewurzelt. Die Stecklinge wurden anschließend getopft und weiter

aufgezogen (Abbildung 7). Der Bewurzelungserfolg lag nur bei rund 18 %, wohl bedingt durch das teilweise relativ hohe Alter der beernteten Bäume (die Fichten waren 30-120 Jahre alt), das die Wurzelbildung erschwert. Zurzeit erfolgt die Überprüfung der Resistenz durch gezielte Infektion der Stecklinge mit dem Fichtennadelblasenrost und einer Auswertung der Infektionssymptome am Ende des Sommers. Für die nächsten Jahre ist der Aufbau eines resistenten Muttergartens mit den resistenten Stecklingen geplant, sodass jährlich neue Bäumchen weiter vermehrt werden können. Ziel des Projektes ist es, zukünftig resistentes Pflanzenmaterial für stark betroffene Flächen bereitstellen zu können.



Danksagung

Die Finanzierung der Untersuchungen erfolgt über die alpS-COMET-Projekte B04 Adapt AF-C und L03 Adapt AF II (gefördert von BMVIT, BMFWF, Land Tirol, Land Vorarlberg und den Unternehmenspartnern Landesforstgärten Tirol und Waldpflegeverein Tirol) und einem Forschungsstipendium des Vereins zur Förderung der wissenschaftlichen Ausbildung und Tätigkeit von Südtirolern an der Landesuniversität Innsbruck. 🐼

Abbildung 7: Resistente Fichtenstecklinge.

Figure 7: Resistant cuttings of Norway spruce.

Literatur

Bauer, H., Schwaninger, C. 2007: Phytopathogens at the alpine timberline. In: Wieser G. (ed), Trees at their upper limit. *Plant Ecophysiology* 5: 163–170.

Bauer, H., Plattner, K., Volgger, W. 2000: Photosynthesis in Norway spruce seedlings infected by the needle rust *Chrysomyxa rhododendri*. *Tree Physiology* 20: 211–216.

Butin, H. 1996: Krankheiten der Wald- und Parkbäume. Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag

De Bary, A. 1879: *Aecidium abietinum*. *Botanische Zeitung* 37: 761–774, 777–789, 801–811, 825–830, 840–847.

Dufrénoy, J. 1932: The unequal susceptibility of spruces towards *Chrysomyxa rhododendri*. *Comptes Rendus Soc Hebdom Soc Biol Filial* 109: 352–353.

Ganthaler, A., Bauer, H., Gruber, A., Mayr, M., Oberhuber, W., Mayr, S. 2014: Effects of the needle bladder rust (*Chrysomyxa rhododendri*) on Norway spruce: implications for subalpine forests. *European Journal of Forest Research* 133: 201–211.

Mayr, S., Siller, C., Kriss, M., Oberhuber, W., Bauer, H. 2001: Photosynthesis in rust-infected adult Norway spruce in the field. *New Phytologist* 151: 683–689.

Mayr, S., Schwienbacher, F., Beikircher, B., Dämon, B. 2010: Damage in needle tissues after infection with *Chrysomyxa rhododendri* increases cuticular conductance of *Picea abies* in winter. *Protoplasma* 243: 137–143.

Nierhaus-Wunderwald, D. 2000: Rostpilze an Fichten. Eidg. Forsch.-Anst. WSL, Birmensdorf, Switzerland, Merkbl Prax 32.

Oberhuber, W., Thomaser, G., Mayr, S., Bauer, H. 1999: Radial growth of Norway spruce infected by *Chrysomyxa rhododendri*. *Phyton (Horn, Austria)* 39: 147–154.

Pfeifhofer, H. 1989: On the pigment content of Norway spruce needles infected with *Chrysomyxa rhododendri*, and the carotenoids of the fungus aeciospores. *European Journal of Forest Pathology* 19: 363–369.

Pickenpack, L. 2012: Fichtenstecklinge - Antworten auf die Herausforderung Klimawandel. *Forstzeitung Spezial* 03: 1–2.

Plattner, K., Volgger, W., Oberhuber, W., Mayr, S., Bauer, H. 1999: Drymass production in seedlings of Norway spruce infected by the needle rust *Chrysomyxa rhododendri*. *European Journal of Forest Pathology* 29: 365–370.

Weißbacher, L., Herz, H., Schüler, S., Zwerger, P. 2007: Fichtenstecklinge - eine Alternative für Hochlagen-Aufforstungen. *Forstzeitung* 06: 36–38.

Zottele, F., Salvadori, C., Corradini, S., Andreis, D., Wolynski, A., Maresi, G. 2014: *Chrysomyxa rhododendri* in Trentino: a first analysis of monitoring data. *Baltic Forestry* 20: 28–36.

Andrea Ganthaler MSc. und Univ.-Prof. Stefan Mayr, Universität Innsbruck, Institut für Botanik, Sternwartestraße 15, 6020 Innsbruck und Zentrum für Klimawandelanpassung alpS, Grabenweg 68, 6020 Innsbruck, Österreich, Tel. +43- 512 507-51024, E-Mail: andrea.ganthaler@uibk.ac.at

Ing. Christian Annewanter, Landesforstgärten Tirol, Abteilung Forstorganisation, Bürgerstraße 36, 6020 Innsbruck, Österreich, Tel. +43-512 508-4530, E-Mail: forstorganisation@tirol.gv.at

DI Schwaninger Christian, Waldpflegeverein Tirol, Bürgerstraße 36, 6020 Innsbruck, Österreich, Tel. +43-512 508-4502, E-Mail: gf@waldpflegeverein-tirol.at