

PRAXIS-INFORMATION Nr. 5 – Oktober 2018

## Gemeiner Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum* s. l.)



**Abb. 1:** Befall mit Wurzelschwamm (Titelseite)

oben: Sterbelücke mit abgestorbenen Bäumen in einem Kiefernbestand, verursacht durch Wurzelschwamm

unten links: gesäuberter Fruchtkörper von *Heterobasidion annosum* s. s.  
(Kiefern-Wurzelschwamm, gesammelt von *Abies nobilis*),

unten rechts: Fruchtkörper des Wurzelschwamms am Wurzelanlauf eines Fichtenstubbens

**Herausgeber**

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)

Abteilung Waldschutz

Grätzelstrasse 2, D-37079 Göttingen

Tel.: (+49) 0551 / 69401 - 0, Fax: (+49) 0551 / 69401 - 160

E-Mail: Zentrale@NW-FVA.de

<http://www.nw-fva.de>

**Stand: Oktober 2018**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>2</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>1 Biologie und Verbreitung des Schaderregers in Deutschland</b>	<b>5</b>
1.1. <i>Heterobasidion annosum</i> s. l.	6
1.2. Entwicklungsgang und Biologie	9
1.3. Wurzelschwamm-Infektionswege im Bestand	10
<b>2 Wurzelschwamm – Wirtspflanzen</b>	<b>11</b>
2.1. Symptome eines Befalls mit Wurzelschwamm	11
2.2. Auswirkungen des Befalls mit Wurzelschwamm auf die Wirtsbäume	14
2.3. Wirtspflanzen – Anfälligkeit gegenüber Wurzelschwamm	17
<b>3 Infektionsgefährdete Standorte / prädisponierende Faktoren im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA</b>	<b>19</b>
<b>5 Wurzelschwamm und forstübliche Kalkung</b>	<b>21</b>
<b>6 Potentielle Ursachen für den verstärkten Befall mit Wurzelschwamm</b>	<b>22</b>
<b>7 Stubbenbehandlung</b>	<b>22</b>
7.1. Stubbenbehandlung mit Chemikalien	23
7.2. Stubbenbehandlung mit <i>Phlebiopsis gigantea</i> -Präparaten	24
<b>8 Handlungsempfehlungen</b>	<b>26</b>
<b>9 Verzeichnis der angesprochenen Taxa</b>	<b>28</b>
<b>10 Quellen</b>	<b>28</b>

## Vorwort

Die Wurzelschwamm-Problematik ist ein Untersuchungsschwerpunkt des Sachgebiets Mykologie und Komplexerkrankungen in der Abteilung Waldschutz der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA). In der vorliegenden Praxis-Information werden die derzeitigen Erkenntnisse zum Wurzelschwamm zusammenfassend dargestellt. Biologische und wissenschaftliche Grundlagen werden so aufbereitet, dass für Waldbesitzer, Revierleiter und Interessierte über unsere Waldschutz-Informationen hinausgehende, verständliche Informationen vorliegen. Handlungsempfehlungen für die forstliche Praxis zum Umgang mit Beständen, die mit Wurzelschwamm befallen sind, werden soweit möglich entsprechend der aktuellen Sachlage gegeben.

Zusammenfassende Darstellungen zur Wurzelschwamm-Problematik wurden durch Woodward et al. 1998, Korhonen und Holdenrieder 2005 sowie Garbelotto und Gonthier 2013 [1, 2, 3] publiziert. Quellenangaben im Text erfolgen nummeriert in Klammern und sind im Quellenverzeichnis aufgeführt. Die Nomenklatur der Pilze erfolgt nach Index Fungorum ([www.indexfungorum.org](http://www.indexfungorum.org)). Die vollständigen wissenschaftlichen Namen der angesprochenen Taxa werden in einem Verzeichnis am Ende der Praxis-Information gelistet. Zur Dokumentation werden vornehmlich Fotos der NW-FVA verwendet, soweit nicht anders vermerkt.



**Abb. 2:** Fruchtkörper des Wurzelschwamms, links: freigelegt an Kiefer, rechts: an oberflächennaher Wurzel mit weißem Sporenpulver im Moos (Foto rechts: Prof. Dr. E. Langer)

## Zusammenfassung

Der Wurzelschwamm (Fichten- und Kiefern-Wurzelschwamm) stellt im nordwestdeutschen Tiefland örtlich ein großes und zunehmendes Problem dar. Vom Kiefern-Wurzelschwamm wird eine Vielzahl an Baumarten befallen (Nadel- und Laubholz). Der Wurzelschwamm ruft vornehmlich Wurzelfäulen (Kiefer, Lärche, Douglasie) aber auch intensive Stammfäulen hervor (Fichte, Tanne). Vielerorts werden im nordwestdeutschen Tiefland hohe Durchseuchungsraten mit dem Wurzelschwamm in Kiefern- und Fichtenbeständen festgestellt (80-100 %). Ausfälle können einzelstammweise, gruppenweise oder kleinflächig bis hin zur Bestandesauflösung auftreten. Vorangebaute junge Douglasien, Rotbuchen und Roteichen können in mit Wurzelschwamm durchseuchten Beständen infiziert werden und absterben. Die Rotbuche ist jedoch in deutlich geringerem Umfang betroffen.

Infektionen von Waldbeständen mit Wurzelschwamm erfolgen hauptsächlich über frische Stubben (primäre Infektion). Einzelbäume hingegen infizieren sich jedoch meist sekundär über Wurzelverwachsungen mit infizierten Bäumen. Besonders infektionsgefährdet sind ehemalige landwirtschaftlich genutzte Flächen und Standorte mit hohem Sandgehalt und wenig organischem Material. Sporenflug kann ganzjährig bei geeigneten Witterungsbedingungen stattfinden. Ursachen für ein verstärktes Vorkommen des Wurzelschwamms in jüngerer Zeit könnten veränderte Umweltbedingungen (Klimaerwärmung sowie Schadstoffeinträge und ihre vielfältigen Folgen) und veränderte forstliche Nutzungsstrategien sein. Eine direkte Bekämpfung des Wurzelschwamms ist nicht möglich. Empfohlen werden daher vorbeugende Maßnahmen, z. B. Risikostreuung durch die Begründung von Laub- (Nadel-) Mischbeständen und der Baumart angepasster Pflanzverbände. Die Bodenschutz- oder Kompensationskalkung mit 3 t / ha Kalk und eine geringe Pflanzlochdüngung bei Laubhölzern werden bei sachgerechter, standortsangepasster Anwendung weiterhin empfohlen.

Die Technik zur Ausbringung einer Antagonisten-Suspension mittels Harvester zur Stubbenbehandlung wurde in einem Praxisversuch der NW-FVA getestet. Die Deckungsgrade der Stubben lagen um 90 %. Es wurde jedoch nur bei Kiefer und nicht bei Fichte eine Etablierung des pilzlichen Antagonisten *P. gigantea* beobachtet. Eine Erfolgskontrolle, bezogen auf die Absenkung des Befalls mit Wurzelschwamm in den behandelten Flächen gegenüber den nicht behandelten Flächen, ergab weder für behandelte Kiefern- noch für Fichtenstubben eine eindeutige Reduktion des Befalls mit Wurzelschwamm. Grundsätzlich ist die Stubbenbehandlung mit *P. gigantea* in Nordwestdeutschland in befallenen Beständen nicht zu empfehlen, da Hinweise auf hohe Durchseuchungsraten in der Region vorliegen.

## Einleitung

Der Gemeine Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum*) im weiteren Sinne (sensu lato = s. l.) umfasst einen weltweit verbreiteten Artenkomplex und gehört zu den wirtschaftlich bedeutendsten pilzlichen Schaderregern in den Wäldern der nördlichen gemäßigten Klimazone. Dieser Artenkomplex hat ein sehr großes Wirtsspektrum mit über 200 Gehölzarten, vornehmlich Nadel-, aber auch zahlreichen Laubbäumen [4].

Als bodenbürtiger, holzabbauender Pilz kann er in seiner parasitischen Phase lebende Wurzeln angreifen und zu einer starken Wurzelfäule und je nach Baumart zu einer bis in die Stämme hineinreichenden, holzentwertenden Weißfäule, einer intensiven Kernfäule oder der sogenannten „Rotfäule“ bei Fichte führen. Diese Rot- bzw. Kernfäule ist nicht zu verwechseln mit der sogenannten „Rotstreifigkeit“ bei Fichte oder Kiefer, die durch Weißfäule erregende Wundfäulepilze, wie z. B. *Stereum sanguinolentum* oder *Amylostereum* spp., hervorgerufen wird. Letztlich kann ein starker Befall mit Wurzelschwamm eine erhöhte Bruchgefährdung sowie das Absterben der Bäume hervorrufen. In natürlichen Misch- oder Buchenwäldern Deutschlands stellt der Wurzelschwamm bisher keine große Gefahr dar. Gravierende wirtschaftliche Schäden entstehen vor allem in Nadelholzbeständen.

In Wäldern des nordwestdeutschen Tieflandes besonders im pleistozänen Flachland und im Großraum der „Lüneburger Heide“ werden seit etwa 10-20 Jahren massive Bestandesschädigungen durch den Wurzelschwamm beobachtet [5, 6]. Letztere können mit der bisher bekannten Epidemiologie und Virulenz des Pilzes oder der sogenannten „Ackersterbe“ [7] nicht erklärt werden. Der Wurzelschwamm, der in fast allen Nadelwald-Beständen der Region latent vorkommt, ist hier in unterschiedlicher Schadausprägung weit verbreitet. Vorläufige Schätzungen lagen 2007 bei mindestens 100.000 ha Befallsfläche im Zuständigkeitsgebiet der NW-FVA [8].

Gegenüber früheren Beobachtungen ist eine auffällige und aggressive Zunahme des Befalls mit unterschiedlichen Schadbildern bis hin zur Auflösung von Bestandesstrukturen zu verzeichnen. Betroffen sind in erster Linie Kiefern gefolgt von Fichten, Douglasien und Lärchen. Aber auch verschiedenste Laubbäume (z. B. Birken oder jüngere Roteichen sowie Buchen im Voranbau in mit Wurzelschwamm durchseuchten Kiefernbeständen) sind betroffen. Diskutierte Ursachen für diesen verstärkten Befall, wie zunehmende Klimaerwärmung inklusive Extremwetterlagen, Immissionen von Stickstoff und anderen schad- oder düngewirksamen Stoffen, etwaige Artbildungsprozesse des Schaderregers sowie zunehmend veränderte Nutzungsstrategien bei der Holzernte wurden teilweise in die Untersuchungen der NW-FVA zum Thema Wurzelschwamm mit einbezogen.

## 1 Biologie und Verbreitung des Schaderregers in Deutschland

In Europa und in Deutschland kommt der Artkomplex des Wurzelschwamms mit drei heimischen Arten vor, die je nach Wirtsspezifität, Morphologie der Fruchtkörper, Verbreitungsschwerpunkt und Kreuzungsverhalten unterschieden werden [9-13]. Diese europäischen Arten sind intersteril, d. h. sie lassen sich in der Regel nicht miteinander kreuzen und zeigen eine unterschiedliche Virulenz. Zunächst wurden sie als Intersterilitätsgruppen von *Heterobasidion annosum* s. l. aufgefasst [10] und später in den Rang von eigenständigen Arten erhoben [14]:

„**Kiefern-Wurzelschwamm**“, *H. annosum sensu stricto (s. s.)*: (Abb. 3, 5 und 7)

Diese Art ist in Europa außer im äußersten Norden weit verbreitet. Sie befällt neben Kiefern auch viele andere Nadelbaum- und verschiedene Laubbaumarten, insbesondere, wenn sie in Mischung mit Kiefer stehen. *H. annosum* s. s. wurde im Rahmen unserer Untersuchungen sowohl in Hessen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein als auch Sachsen-Anhalt nachgewiesen [15].

„**Fichten-Wurzelschwamm**“, *H. parviporum*: (Abb. 4 und 6)

Diese Art, auch Kleinporiger Wurzelschwamm genannt, kommt fast ausschließlich an Fichte vor. Gelegentlich werden auch jungen Kiefern und selten andere Koniferen oder Laubbäume befallen [16]. Das Verbreitungsgebiet erstreckt sich von Mitteleuropa bis nach Eurasien im natürlichen Areal der Fichte. In Niedersachsen wurde *H. parviporum* bisher nur in wenigen Beständen an Fichte (*Picea abies*) festgestellt [15].

„**Tannen-Wurzelschwamm**“, *H. abietinum*:

Er wächst hauptsächlich an Weißtanne (*Abies alba*), aber ebenso an anderen Tannenarten sowie an Lärche, Kiefer, Buche und Douglasie. *H. abietinum* hat einen Verbreitungsschwerpunkt im südlichen Mitteleuropa und im Mittelmeerraum und ist nördlich der Alpen schwach pathogen bis saprobiontisch [16]. Diese Art wurde bisher noch nicht in den von der NW-FVA betreuten Waldbeständen beobachtet [15].

Im nordwestdeutschen Tiefland ist hauptsächlich der Kiefern-Wurzelschwamm verbreitet und kommt auch in Fichtenbeständen vor [2, 14, 16, 17]. In Italien hat sich nach dem 2. Weltkrieg die nordamerikanische, Kiefern bevorzugende Art *Heterobasidion irregulare* etabliert [3] und hybridisierte mit heimischen Wurzelschwämmen. Bisher wurde *H. irregulare* noch nicht in Deutschland nachgewiesen. Im nachfolgenden werden, soweit nicht anders vermerkt die heimischen Arten des *H. annosum*-Komplexes unter *H. annosum* s. l. zusammenfassend betrachtet.

## 1.1. *Heterobasidion annosum* s. l.

Erreger: ***Heterobasidion annosum*** (FR.) BREF., Unters. Gesammtgeb. Mykol. (Leipzig) 8: 154 (1888).

Synonym: u. a. *Fomes annosus* (FR.) COOKE, Grevillea 14 (no. 69): 20 (1885)

Nebenfruchtform: ***Spiniger meineckellus*** (A.J. OLSON) STALPERS, Proc. K. Ned. Akad. Wet., Ser. C, Biol. Med. Sci. 77(4): 402 (1974).

Systematik: Bondarzewiaceae, Russulales, Agaricomycetes, Agaricomycotina, Basidiomycota, Fungi.

Fruchtkörper: 3 - 20 cm breite, krustenförmige bis konsolige, korkartige bis zähe, (Hauptfruchtform) mehrjährige, meist bodennahe, teilweise mit Streu bedeckte Porlinge (Abb.1, 2, 3, 4, 8, 9). Letztere können dachziegelartig oder unregelmäßig miteinander verwachsen sein und haben einen säuerlichen bis stark pilzigen Geruch. Die Oberseite ist hell- bis dunkel-/rötlichbraun, runzelig und ledrig verkrustet. Meist ist ein weißer Zuwachsrand zu erkennen. Auf der cremeweißen Unterseite befinden sich die feinen Poren mit der Basidiosporen bildenden Schicht (Abb. 5-7). Die Poren werden geotrop, d. h. in Richtung Schwerkraft ausgerichtet und bilden ein weißes Sporenpulver (Abb. 2b). Die Fruchtkörper können ganzjährig an Wurzelanläufen und an flach streichenden Wurzeln gebildet werden. Sie sind teilweise nur schwer zu finden, da sie oft von Nadel- oder Laubstreu bedeckt sind. Zudem erscheinen sie nicht an jedem befallenen Baum und oft auch erst längere Zeit nach der Infektion oder nach Absterben des Baumes.

Nebenfruchtform: Entwicklung meist auf feuchtem, befallenen Wurzelholz in Höhlungen. Das Mycel bildet an langen, kopfig angeschwollenen Konidienträgern (Abb. 10) zahlreiche Konidien. Die Konidienbildung kann jedoch auch an am Boden gelagerten Stämmen, an Totholz, an Schnittstellen von Stubben, an Holzschnitzeln und Holzernteresten [18-20] sowie in Insektenfraßgängen [21, 22] erfolgen. Für einige Insekten wie z. B. den Großen Braunen Rüsselkäfer (*Hylobius abietis*) wurde nachgewiesen, dass er als Vektor für Konidien dienen kann [23]. Die Bedeutung der Konidien bei der natürlichen Infektion durch *Heterobasidion* und für die Ausbreitung des Erregers ist noch nicht gänzlich geklärt.

Lebensweise: Weißfäuleerreger, parasitisch (Primärparasit sowie Sekundär-, Wund- oder Schwächeparasit) bis saprobiontisch, bodenbürtig; sowohl nekrotroph (ernährt sich von toten Zellen seines lebenden Wirtes) als auch saprotroph (ernährt sich von totem Holz seiner Wirte).

Pathogenstatus: im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA weit verbreitet.

Hinsichtlich der Verkehrssicherungspflicht wird der Wurzelschwamm der Gefahrenstufe: „gefährlich (■)“ zugeordnet [24].



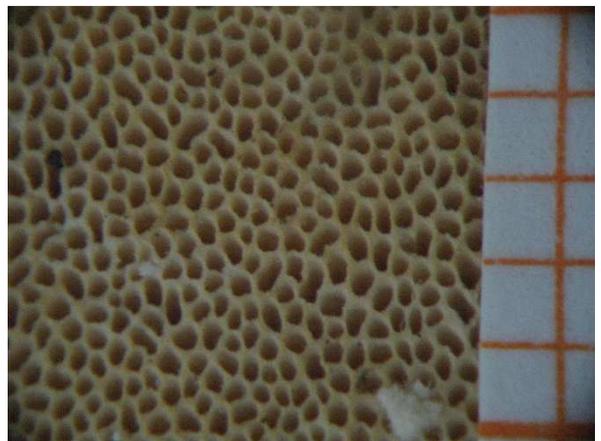
**Abb. 3:** Kiefern-Wurzelschwamm (*H. annosum* s. s.), Fruchtkörperunterseite



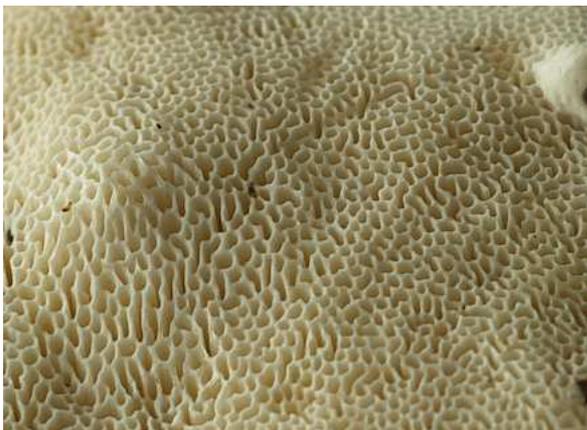
**Abb. 4:** Fichten-Wurzelschwamm (*H. parviporum*), Fruchtkörperunterseite



**Abb. 5:** Kiefern-Wurzelschwamm (getrocknet), Porenaufsicht (1 Teilstrich = 1 mm)



**Abb. 6:** Fichten-Wurzelschwamm (getrocknet), Porenaufsicht (1 Teilstrich = 1 mm)



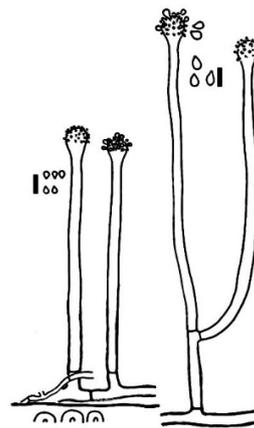
**Abb. 7:** Kiefern-Wurzelschwamm, Fruchtkörperunterseite (frisch), Porenaufsicht



**Abb. 8:** *H. annosum* s. l. Fruchtkörperoberseite (frisch)



**Abb. 9:** Wurzelschwamm, Fruchtkörper im Wurzelbereich



Balken = 10 µm

**Abb. 10:** *Spiniger meineckellus* (Nebenfruchtform des Wurzelschwamms)



**Abb. 11:** Typische „Rotfäule“ bei Fichte, verursacht durch Befall mit Wurzelschwamm



**Abb. 12:** Stamm einer Douglasie mit Fäule infolge des Befalls mit Wurzelschwamm



**Abb. 13:** Douglasie, Nachweis des Befalls mit Kiefern-Wurzelschwamm durch Feststellung der Nebenfruchtform (Gewebebereiche mit *S. meineckellus* sind blau umrandet)



**Abb. 14:** Waldkiefer, Nachweis des Befalls mit Kiefern-Wurzelschwamm durch Feststellung der Nebenfruchtform (Gewebebereiche mit *S. meineckellus* sind rot umrandet)

## 1.2. Entwicklungsgang und Biologie

Der Wurzelschwamm bildet sowohl sexuelle Basidiosporen, die aktiv aus den Fruchtkörpern geschleudert werden, als auch asexuelle *Spiniger*-Konidien [25]. Beide Sporentypen sind, bei mäßig warmem, nicht zu heißem und zu trockenem Wetter, zu etwa gleichen Anteilen ein normaler Bestandteil der Luft in Nadelwäldern [1]. In Nordwestdeutschland ließen sich keimfähige Sporen des Wurzelschwamms ganzjährig in der Luft von Kiefernbeständen nachweisen [9]. **Basidiosporen stellen die Hauptinfektionsquelle für Bestände dar** [20, 26, 27].

Fruchtkörper entstehen in der Regel erst am völlig abgestorbenen Substrat, gern am Wurzelhals toter Bäume, an Stubben sowie an toten Wurzeln in Bodenhohlräumen [1]. Eigene Beobachtungen zeigten, dass teilweise auch an lebenden Wurzelanläufen von Fichten, Roteichen und seltener Birken, Spätblühende Traubenkirsche sowie Kiefern Fruchtkörper gebildet werden. Die Sporulation beginnt bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt, ist ab 5°C optimal und hört bei Temperaturen über 20°C auf. Im gemäßigten Westeuropa ist ganzjährig bevorzugt nachts eine Sporulation unterschiedlicher Stärke möglich [1]

**Basidiosporen gelangen vorwiegend in die bodennahe Luft und werden vom Regen in den Boden eingewaschen** [28] (Abb. 15). Dort können sie in trockenen Böden monatelang überleben und keimfähig bleiben. UV-Licht wirkt abtötend auf die Sporen [29, 30]. Ein Großteil der Basidiosporen wird in einer Distanz von wenigen Metern vom Fruchtkörper entfernt deponiert. Für einen kleinen Teil der Sporen wurde eine Windverbreitung von 50 km bis zu 500 km bzw. transkontinental nachgewiesen [4, 26, 31] (Abb. 15).

Basidiosporen, die auf unverletzte, vitale Wurzeloberflächen gelangen, können diese in der Regel nicht infizieren. Zur Keimung und Primärinfektion (Abb. 15) durch Mycelien sind besondere, von offenen Wunden oder gestressten Wurzeln ausgehende Reize erforderlich [1]. Erst sekundäre Mycelien können Wurzeln lebender Bäume infizieren und Fruchtkörper bilden [1]. Es wird davon ausgegangen, dass Wurzeln lebender Fichten erst ab einer Stärke von 2-3 cm, bei lebenden Kiefern auch dünnere Schwachwurzeln, jedoch keine Feinwurzeln infiziert werden [1]. Die Bedeutung der Konidien bei der natürlichen Infektion und der Ausbreitung des Erregers ist teilweise noch unklar, obwohl in Studien [z. B. 1, 29, 32] eine Infektion mit Konidien an Wurzeln, Keimlingen und Stubbenoberflächen nachgewiesen wurde.

**Dauerhaft kann das Mycel des Wurzelschwamms nur im Inneren des Wirtsgewebes wachsen.** Im natürlichen, unsterilen Boden wird es in der Regel nach wenigen Millimetern Wachstum abgetötet. Ausnahmen sind von alkalischen Böden bekannt. Hier kann das Mycel auch außen auf Kiefernwurzeln und zwischen den

Rindenschuppen über größere Strecken wachsen und so zu besonders schneller Ausbreitung des Erregers beitragen [1]. Ausgehend von einem frisch infizierten Stubben kann es in einem bisher befallsfreien Waldbestand zu einer radialen Ausbreitung des Befallsherdes von bis zu (1-) 2 m / Jahr kommen. In Wurzeln lebender Bäume beträgt die Wachstumsgeschwindigkeit des Mycels etwa 10 cm / Jahr, in absterbenden oder frisch abgestorbenen Wurzeln sowie in totem Kernholz etwa 25 -40 cm / Jahr und von einem infizierten Baumstumpf über Wurzelverwachsungen zu einem gesunden Baum etwa 50 cm / Jahr [1, 33]. Die Wachstumsgeschwindigkeit im Stammholz beträgt in Abhängigkeit von der Vitalität des Wirtes, der Holzfeuchte, dem Vorkommen antagonistischer Endophyten und anderen Faktoren in nordischen Ländern etwa 20-30 cm bis maximal 1 Meter pro Jahr und nimmt mit der Zeit und der erreichten Höhe im Stamm ab [1]. Das Wachstum des Wurzelschwamms wird in toten Wurzeln durch saprobiontische Antagonisten gehemmt [1]. Letzteres erklärt, warum manchmal bei Nachuntersuchungen an toten Wurzeln und Stammscheiben eindeutig befallener Kiefern einige Jahre nach deren Fällung kein labortechnischer Nachweis des Pathogens geführt werden konnte [9, 34].

**Die Infektion lebender Bäume erfolgt meist über eine Sekundärinfektion durch Wurzelkontakte mit Wurzeln infizierter Bäume oder Stubben.** Das Mycel des Wurzelschwamms ist in infizierten Stubben in der Regel mehrere Jahrzehnte infektiös [1, 35, 36].

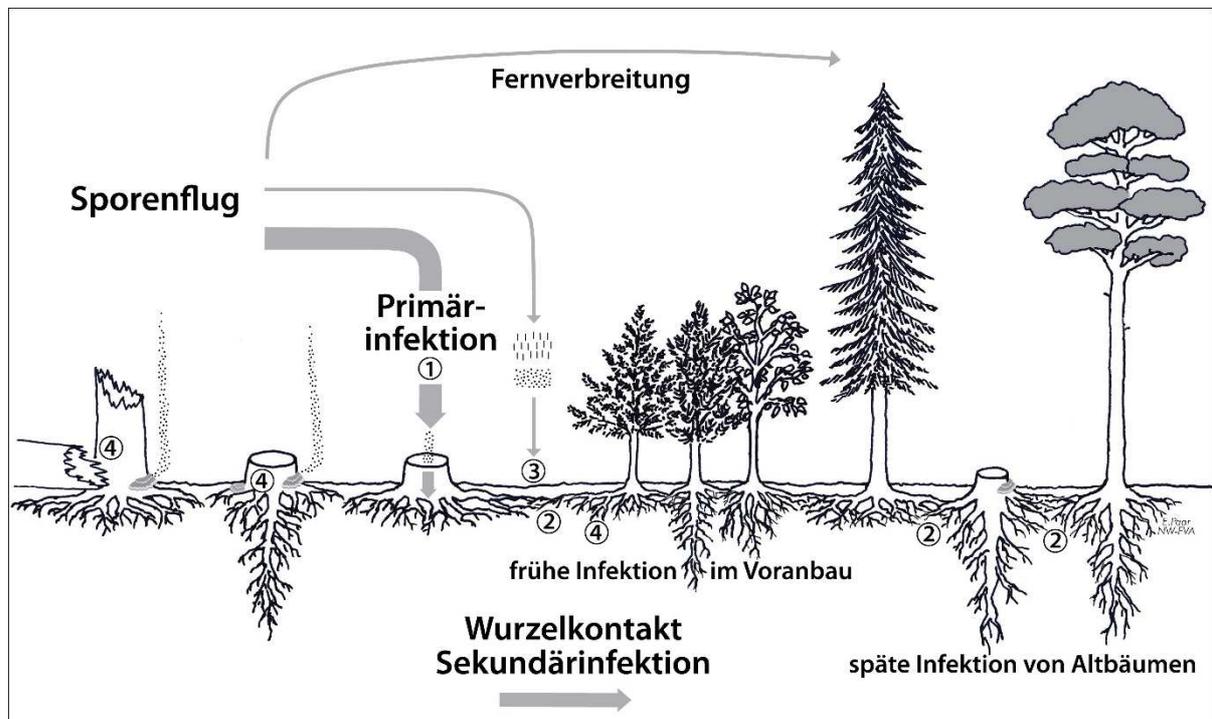
### 1.3. Wurzelschwamm-Infektionswege im Bestand

Eine Infektion mit Wurzelschwamm kann auf verschiedene Weise erfolgen, wie in Abb. 15 (verändert nach Stenlid und Redfern [37]) dargestellt:

1. **Die Primärinfektion eines Bestandes erfolgt meist durch Infektion frischer Stubben mit Basidiosporen aus der Luft.** Dieser Übertragungsweg spielt auch bei der Ausbreitung des Befalls innerhalb des Bestandes eine Rolle. Auf den Stubben erfolgt die Etablierung sogenannter primärer Mycelien und Bildung infektiöser sekundärer Mycelien, die in das Wurzelsystem des gefälltten Baumes einwachsen. Die Besiedelung von Stammwunden durch **Basidiosporen** ist ebenfalls möglich.
2. **Wurzelverwachsungen / Wurzelkontakte** zwischen infizierten und gesunden Bäumen (**Sekundärinfektionen**) verbreiten den Befall innerhalb des Bestandes.
3. **Basidiosporen des Wurzelschwamms** (von Fruchtkörpern im Bestand oder fernverbreitet) können **in die oberen Bodenschichten eingewaschen werden** und auf den Wurzeln auskeimen. **Wurzelschäden / -verletzungen**, wie sie durch Sturm, Rücketätigkeit oder Harvestereinsätze entstehen, **stellen dabei meist**

Eintrittspforten für den Pilz dar.

4. **Befallene Stümpfe, Holzstücke und Wurzeln bleiben über mehrere Jahre infektiös und können somit die nächste Waldgeneration infizieren.** Dies erfolgt meist durch Wurzelkontakte.



**Abb. 15:** Wurzelschwamm – Infektionswege im Bestand, verändert nach Stenlid und Redfern [37]:

1. **Primärinfektion** durch Infektion **frischer Stubben** mit luftgebundenen Basidiosporen
2. **Sekundärinfektion** gesunder Bäume **durch Wurzelverwachsungen / Wurzelkontakte**
3. Infektion gesunder Wurzeln **durch in den Boden eingewaschene Sporen**
4. **Infektion neu gepflanzter Kulturpflanzen bei (Wurzel-) Kontakten zu befallenen Stümpfen, Holzstücken und Wurzeln**

## 2 Wurzelschwamm – Wirtspflanzen

### 2.1. Symptome eines Befalls mit Wurzelschwamm

Die ersten Symptome des Befalls mit Wurzelschwamm bei lebenden Bäumen sind eher unspezifisch und können oft nicht von anderen pilzlichen Wurzelkrankungen unterschieden werden [9, 38]. **Das sicherste Kennzeichen für einen Befall mit Wurzelschwamm ist die Bildung von Fruchtkörpern** an der Wirtspflanze. Sie erscheinen an der Stammbasis (Abb. 16) an Wurzelanläufen, an flach streichenden Wurzeln (Abb. 9) oder auf der Oberfläche und in Höhlungen von Stubben. Meist sind

sie von der Streu bedeckt und in sehr frühen Stadien nur sichtbar als weiße krustenförmige Initialstadien, die oft noch keine Poren ausgebildet haben.



**Abb. 16:** Jüngere Fruchtkörper des Kiefern-Wurzelschwamms an der Stammbasis einer mittelalten Kiefer (Nadelstreu und Grasbewuchs etwas beiseite geräumt)

Betroffene Bäume zeigen oft über einen längeren Zeitraum keine äußerlich sichtbaren Symptome. Erst 2-6 Jahre nach der Infektion, wenn schon der größte Teil des Wurzelsystems infiziert ist, werden oberirdisch Symptome sichtbar [9, 38, 39]:

- Wuchsbeeinträchtigungen, Vergilbungen in der Krone, Chlorosen, Degeneration von Baumkronen, verkürzte Nadeln und Sekundärbefall mit Borkenkäfern bei älteren Bäumen
- Bei jüngeren Bäumen hohe Absterberaten, braune Nadeln oder Blätter, Gruppen von chlorotischen Nadeln an den Zweigenden; „typische Rotfärbung“ frisch abgestorbener Jungpflanzen (Abb. 25, 26, 29)
- Wurzelhalsfäule und Harzüberzüge bei Jungpflanzen
- Harzfluss im unteren Stammbereich durch Stammnekrosen (Abb. 20, 21)
- Verdickungen an der Stammbasis bei Fichte
- Wurzelfäule, Weißfäule im Stock und Stamm, ggf. Rotfäule (Abb. 10)
- Mehrjährige Fruchtkörper an der Stammbasis, an Wurzelanläufen und flachstreichenden Wurzeln (Abb. 2, 8, 16, 26-28)
- Absterben der Bäume, das 1 bis mehrere Jahre dauern kann, ggf. Windbruch oder Windwurf.

Für die Waldkiefer wurde nachgewiesen, dass der Befall mit Wurzelschwamm drei bis fünf Jahre nach Durchforstungseingriffen zu Absterbeprozessen führen kann [39]. Ausgehend von einzelnen absterbenden Bäumen intensivieren sich die Absterbeprozesse und es entstehen kreisförmig um den Befallsherd herum Sterbelücken [40], die dann ineinander übergehen und bis zur Bestandesauflösung führen können.

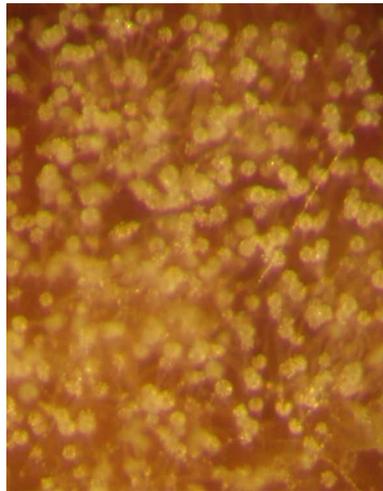
Bei der Fichte tritt häufig im fortgeschrittenen Krankheitsstadium eine flaschenförmige Verdickung des unteren Stammteils auf. Im entsprechenden Reifholz findet man die sogenannte „Rotfäule“, eine zentral im Stammquerschnitt gelegene, kreisförmige, rotbraune Fäule (Abb. 11), deren Durchmesser mit zunehmender Baumhöhe abnimmt. Typisch können auch Ausharzungen im Stammbereich und Nekrosebildungen sein (Abb. 21, 22).

Die Nebenfruchtform (*Spiniger meineckellus*) ist diagnostisch in der Forschung wichtig, da sie auf befallenem Holz bei hoher Feuchtigkeit nach wenigen Tagen auch im Labor gebildet wird. Der Nachweis des Wurzelschwamms kann dadurch auch in scheinbar „gesunden“ Stammscheiben oder Scheiben vom Wurzelholz erfolgen. Wenn diese mit Wurzelschwamm infiziert sind, werden nach einer Inkubationszeit in einer sogenannten „feuchten Kammer“ typische Konidienträger und Konidien des Wurzelschwamms (*Spiniger*-Stadien) auf der Holzoberfläche gebildet (Abb. 17-19, [34]).

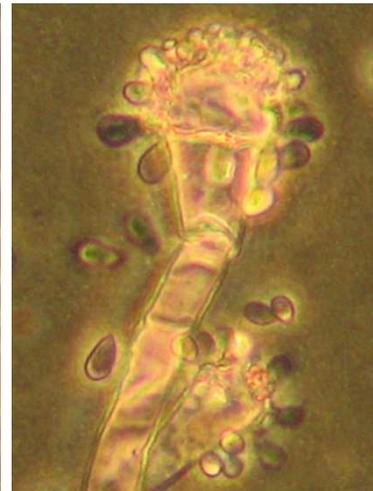
**Abb. 17-19:** Nachweis des Befalls mit Wurzelschwamm im Labor. Bildung von *Spiniger*-Stadien auf der Oberfläche einer infizierten Stammscheibe 7-14 Tage nach Inkubation in einer „feuchten Kammer“



**Abb. 17:**  
Lupenvergrößerung 25-fach



**Abb. 18:** Vergrößerung im  
Binokular 125-fach



**Abb. 19:** Vergrößerung im  
Mikroskop 400-fach

**Abb. 20 - 23:** Befall mit Wurzelschwamm bei Fichte (*P. abies*)**Abb. 20 u. 21:** Starke Ausharzungen und freigelegte Stammnekrose, die durch Infektion mit Wurzelschwamm und nachfolgender Besiedelung durch Käfer verursacht wurden**Abb. 22:** Befallene Stammscheibe vor der Inkubation in der „feuchten Kammer“**Abb. 23:** Wurzelschwammnachweis nach Inkubation in der „feuchten Kammer“ (rote Markierung = Nachweis von *Spiniger*-Stadien)

## 2.2. Auswirkungen des Befalls mit Wurzelschwamm auf die Wirtsbäume

Man unterscheidet beim Befall mit Wurzelschwamm zwischen einer frühen Mortalität bei infizierten Jungpflanzen und der späten Mortalität an älteren Bäumen. Bisher wurde davon ausgegangen, dass nur wenige Baumarten eine „frühe Mortalität“ aufweisen wie z. B. die Sitkafichte, gefolgt von Douglasie und Waldkiefer [41].

Grundsätzlich ruft der Befall mit Wurzelschwamm eine, meist im Wurzelraum beginnende, Weißfäule hervor, die sich bis in höhere Stammbereiche hinaufziehen kann. Diese Weißfäule entwickelt sich jedoch bei den verschiedenen Wirtsbaumarten unterschiedlich:

- Bei **harzarmen Bäumen (z. B. Fichte und Tanne)** wird eine **Kernfäule** hervorgerufen, die zuerst das Kernholz (Kernfäule) und nicht oder erst später das Splintholz angreift. Der infizierte Wirtsbaum ist längere Zeit überlebensfähig, da der Pilz vornehmlich das Kernholz schädigt. Bei Fichten baut der Wurzelschwamm als

Weißfäuleerreger zwar wie üblich Lignin und Cellulose ab, die Fäule ist jedoch von einer rotbraunen Verfärbung begleitet, da Lignin nur teilweise abgebaut oder in seiner Struktur verändert wird. Diese Fäule breitet sich im Laufe des Befalls als sogenannte „**Rotfäule**“ aus und kann bis zu mehreren Metern in den Stamm hinauf reichen. Durch die Fäule zerfällt das Holz faserig, es entstehen oft Hohlräume und Holzwertverluste, eine erhöhte Bruchgefahr sowie Zuwachsverluste gehen einher.

- Bei Bäumen mit **harzreichem Kernholz (z. B. Kiefern, Lärchen und Douglasien) verursacht der Wurzelschwamm eine intensive Wurzelfäule. Dies kann zu einem Absterben des Wirtes innerhalb weniger Jahre führen.** Die Fäule breitet sich vornehmlich im **Splintbereich** aus und soll kaum (20-50 cm) in den Stamm hineinreichen [3]. Bei eigenen Untersuchungen an befallenen 41j. Waldkiefern wurde jedoch Wurzelschwamm an Stammscheiben ohne sichtbare Holzverfärbungen bis in eine Höhe von ca. 4 m nachgewiesen, bei 55j. Douglasien bis in 18 m Stammhöhe. Bei Douglasien wird neben dem Splint in geringerem Umfang auch das Kernholz befallen und eine höher in den Stamm reichende, sichtbare Fäule beobachtet (Abb. 11 - 13).

Andere Holzfäulepilze, wie z. B. der Kiefern-Braunporling (*Phaeolus schweinitzii*), können bei Douglasien parallel zum Wurzelschwamm eine massive Braunfäule im Kern hervorrufen, die nicht mit der „Rotfäule“ zu verwechseln ist.

Ein im Labor nachgewiesener Befall mit Wurzelschwamm an der Stammbasis oder in Stämmen visuell gesund erscheinender Bäume ist nicht obligat mit einer aktuellen, sichtbaren Holzfäule oder Holzverfärbung der betroffenen Bäume gleichzusetzen. Mit dem Nachweis des Wurzelschwamms in augenscheinlich gesunden Bäumen kann der Durchseuchungsgrad eines Bestandes ermittelt werden. Im niedersächsischen Tiefland wurden so Durchseuchungsraten mit Wurzelschwamm in mittelalten Kiefernbeständen von 88-98 %, in mittelalten bis alten Fichtenbeständen von 76-94 % und in 55-jährigen Douglasienbeständen von 100 % festgestellt [9, 34].

Im nordwestdeutschen Tiefland sind vor allem Bestände mit Nadelbäumen wie Kiefer, Fichte, Douglasie und Lärche durch Wurzelschwamm geschädigt. Je nach Schadausprägungen vor Ort kommt es zu Ausfällen in mittelalten und älteren Beständen, aber auch im Voranbau, im Unterbau und in sonstigen Kulturen. Daneben werden auch Birken und geschwächte Laubbäume, wie z. B. vom Eschentriebsterben infizierte Eschen, befallen.

In mit Wurzelschwamm durchseuchten Kiefern-Altbeständen sind oft auch die Voranbauten mit Douglasie, Roteiche und seltener Rotbuche vom Wurzelschwamm

betroffen und zeigen eine „frühe Mortalität“ (Abb. 25-29). Stiel- und Traubeneichen in der Verjüngung werden vom Wurzelschwamm nur sehr selten und vereinzelt befallen. Die Intensität der Ausfälle bei der „späten Mortalität“ reicht von einzelstamm- über truppweisen bis hin zu flächigen Absterbeerscheinungen. Massiver Befall kann zur Auflösung der Bestandesstrukturen (Abb. 24), wie z. B. in der Lüneburger Heide, führen. Aufgrund des breiten Wirtsspektrums und der weiten Altersspanne anfälliger Bäume ergibt sich bei einem Wurzelschwammbefall oft ein „waldbauliches Dilemma“ und es stellt sich die Frage, welche Baumarten zukünftig auf befallenen Standorten angebaut werden sollen.

Ein massiver Befall von Waldbeständen mit Wurzelschwamm kann regional zu schwerwiegenden wirtschaftlichen Verlusten [15, 42] führen, da Mindereinnahmen durch den Verkauf geringwertiger Holzqualitäten entstehen und erhöhte außerplanmäßige Nutzungen infolge von Absterbeerscheinungen sowie Windwürfen und -brüchen anfallen.



**Abb. 24:** Bestandesauflösung in einem mit Wurzelschwamm befallenen Kiefernbestand



**Abb. 25:** Absterbeerscheinungen in einem Douglasien-Voranbau in einem vom Wurzelschwamm befallenen Kiefern-Altbestand

### 2.3. Wirtspflanzen – Anfälligkeit gegenüber Wurzelschwamm

Keine der in Mitteleuropa heimischen oder eingeführten forstlichen Wirtschaftsbaumarten kann als völlig resistent gegen *H. annosum* s. l. eingestuft werden. Es bestehen jedoch Unterschiede hinsichtlich der Anfälligkeit (Suszeptibilität) und der Schadwirkung bei den einzelnen Baumarten sowie zwischen Herkünften und Individuen [41]. In Bezug auf den Wurzelschwamm gelten Laubbaumarten grundsätzlich als weniger anfällig als Nadelbaumarten, sie besitzen also eine höhere „**relative Resistenz**“ gegenüber dem Pathogen im Vergleich zu anderen Wirtsarten. Kommt an einem Standort hauptsächlich der Fichten-Wurzelschwamm vor, so weisen Kiefern und Laubbäume eine höhere Feldresistenz als Fichten auf und werden meist nicht befallen [36, 43].

Von praktischer Bedeutung sind jedoch die sogenannte „**ökologische Resistenz**“ (Resistenz hauptsächlich gesteuert durch Standortfaktoren) und die „**Feldresistenz**“ (Resistenz, die bei einer natürlichen Infektion unter natürlichen Standortbedingungen beobachtet wird) [41]. Beide verhindern durch einen Komplex aus biotischen und abiotischen Faktoren an einem bestimmten Standort die Erkrankung durch Wurzelschwamm. Da die ökologische Resistenz vornehmlich an bestimmte Standortbedingungen (z. B. gute Nährstoffversorgung und Anbau unter Schirm für Buchenvoranbau) gebunden ist, kann sie in anderen Gebieten unwirksam sein [41]. Die Feldresistenz wird sowohl durch ein niedriges Infektionspotential (z. B. geringer Sporeneintrag sowie geringer Anteil infektiöser Wurzel-/ Holzanteile im und am Boden), die Standortbedingungen als auch durch die relative Resistenz des Wirts beeinflusst [41].

Garbelotto und Gonthier [3] haben 2013 weltweit verschiedene Baumarten hinsichtlich ihrer Anfälligkeit bezüglich Wurzelschwamm in fünf „Anfälligkeitsstufen“ (0 = immun, 1 = Befall selten beobachtet, 2 = Schäden selten vorkommend, selten geschädigt, 3 = moderat geschädigt und 4 = schwer geschädigt) vorläufig eingeteilt:

Bezüglich ihrer Anfälligkeit gegenüber dem Kiefern-Wurzelschwamm wurden die Waldkiefer, die Douglasie und die Europäische Lärche als „moderat geschädigt“ (3), die Gemeine Fichte als „selten geschädigt“ (2) sowie die Sitkafichte als „schwer geschädigt“ (4) bewertet. Bezüglich des Fichten-Wurzelschwamms wurde die Gemeine Fichte (*P. abies*) als „schwer geschädigt“ (4), die Europäische Lärche (*Larix decidua*) als „selten geschädigt“ (2) und die Waldkiefer (*P. sylvestris*) als „immun“ (0) in Eurasien eingestuft.

Im niedersächsischen Tiefland wurde von der NW-FVA eine hohe Anfälligkeit gegenüber dem Kiefern-Wurzelschwamm bei Waldkiefern, Douglasien (Abb. 26, 27), Gemeinen Fichten, Lärchen, Sitkafichten, Birken sowie jungen Roteichen (Abb. 28)

festgestellt. Bisher vereinzelt wurde Befall mit Kiefern-Wurzelschwamm an Küstentannen, Edeltannen, Nordmantannen, jungen Rotbuchen, vitalitätsgeschwächten Altbuchen, Hainbuchen, Ebereschen, Gemeinen Eschen und jungen Stieleichen nachgewiesen. Bei jüngeren und mittelalten Tannen, insbesondere Küstentannen waren diese Schäden teilweise gravierend.

Junge Stiel- und Traubeneichen sowie Rotbuchen auf basenreichen Böden weisen soweit bekannt eine größere Feldresistenz [9, 41, 44] auf. Unter einem starken Befallsdruck und einer Prädisposition z. B. durch Trockenstress werden jedoch auch junge Rotbuchen von *H. annosum* s. s. befallen [9, 44]. Im Gegensatz zur Rotbuche (Abb. 29) wurden in Nordwestdeutschland keine durch Wurzelschwamm verursachten, wirtschaftlich relevanten Ausfälle in der Verjüngung von Stiel- und Traubeneiche festgestellt. In dieser Region kann nach ersten Untersuchungen [9] und bisherigen Einschätzungen [3, 41] für einige Baumarten / -gattungen folgende Rangfolge bei der Feldresistenz im Voranbau (von nicht anfällig bis sehr anfällig) gegenüber dem Kiefern-Wurzelschwamm prognostiziert werden:

**Stieleiche / Traubeneiche > Rotbuche > Birke > Roteiche > Küstentanne > Fichte / Lärche > Kiefer / Douglasie**



**Abb. 26 u. 27:** Durch Wurzelschwamm abgestorbene junge Douglasien im Voranbau mit Fruchtkörpern am Wurzelanlauf und an bodennahen Wurzeln (Grasfilz und Streu etwas entfernt)



**Abb. 28:** Durch Wurzelschwamm abgestorbene junge Roteiche im Voranbau unter einem Kiefern-Altbestand mit Fruchtkörpern am Wurzelanlauf



**Abb. 29:** Abgestorbene Douglasie und Buche im Voranbau unter einem mit Wurzelschwamm befallenen Kiefernbestand

### 3 Infektionsgefährdete Standorte / prädisponierende Faktoren im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA

In nicht bewirtschafteten, naturnahen Wäldern und bewirtschafteten Beständen auf alten Waldstandorten, die mit Baumarten innerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes bestockt sind, kommt der Wurzelschwamm auch vor, soll aber zu geringeren Schäden führen [45]. Dort wächst der Wurzelschwamm eher in seiner saprobiontischen Phase [46]. Grundsätzlich ist zu unterscheiden, ob ein Bestand mit Wurzelschwamm durchseucht ist oder ob durch den Befall forstwirtschaftlich relevante Schäden an den Einzelbäumen oder im Bestand zu verzeichnen sind.

Bestimmte standörtliche Gegebenheiten und forstwirtschaftliche Maßnahmen fördern jedoch den Befall mit Wurzelschwamm:

- Wurzelschwamm kommt auf den verschiedensten Böden vor. Im Zuständigkeitsgebiet der NW-FVA wurden jedoch hauptsächlich Schäden in Beständen auf sandigen Böden im Tiefland beobachtet. Besonders gravierende Schadereignisse gab es in Beständen auf nährstoffarmen Böden, wenn diese zuvor unsachgemäß und zu stark aufgekalkt und / oder gedüngt worden waren. Ein Grund hierfür könnte

sein, dass sehr hohe Calcium- und Stickstoff-Gehalte für die Infektion mit Wurzelschwamm eine große Rolle spielen können [4]. Hierbei sind **insbesondere erhöhtes freies Calcium, erhöhte pH-Werte (über 5,5 gemessen in H<sub>2</sub>O) des Bodens als kritisch zu erachten.**

- Besonders infektionsgefährdet sind **Erstaufforstungen auf ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen** („Ackersterbe“). Dies liegt zum einen daran, dass dort natürliche Konkurrenten und Gegenspieler des Wurzelschwamms nicht so häufig wie in Beständen mit langer Waldtradition vorkommen [47]. Zum anderen sind dort meist hohe pH-Werte und hohe Nährstoffgehalte (insbesondere Calcium) zu verzeichnen, die den Wurzelschwamm fördern. Zudem gibt es in ehemaligen Ackerböden oft ein unausgewogenes Nährstoffangebot und eine Bodenverdichtung durch Pflugsohlen. Letztere können zu einer flacheren Durchwurzelung führen und somit für einen Befall mit Wurzelschwamm prädisponierend sein.
- **Standorte mit hohen Sandgehalten und geringen Gehalten an organischem Material** sind sehr infektionsgefährdet, da sie zu periodischem Wassermangel neigen. Zudem kann die Abwehr des Wirts durch Wassermangel auf diesen gut drainierenden Böden dauerhaft geschwächt sein [4].
- **Flachgründige Standorte** mit verdichtetem Unterboden mit Staunässe und Feinwurzelschäden sind infektionsgefährdet [4].
- **Junge oder neu begründete Wirtschaftswälder**, insbesondere dichte, einförmige Reinbestände sind besonders gefährdet, da in ihnen durch Läuterung und Durchforstungen regelmäßig frische Stubben und Wunden am verbleibenden Bestand erzeugt werden. Die frischen Schnittflächen und Wunden bieten dem Wurzelschwamm zunächst Eintrittspforten, die meist ohne Behinderung durch Antagonisten durch luftgebundene Basidiosporen infiziert werden können [48]. Eine dichte Bestockung und mangelnde Diversität ermöglichen dem Wurzelschwamm eine schnelle Ausbreitung über Wurzelkontakte in anfälligen Wirtspopulationen (siehe auch Kapitel 1.3 und Abb. 15).
- Der Wurzelschwamm kann sich im wintermilden, ausgeglichenen, atlantisch bis subkontinental getönten Klima und somit in großen Teilen des nordwestdeutschen Flachlandes fast ganzjährig entwickeln [9, 49]. Die Bildung der Basidiosporen kann grundsätzlich durch Witterungsbedingungen, wie stark anhaltender Winterfrost, Hitze oder Starkregen, behindert [9, 37, 50] werden.

## 5 Wurzelschwamm und forstübliche Kalkung

Bisher wurde kein negativer Zusammenhang zwischen forstüblicher Bodenschutz- bzw. Kompensationskalkung und der Befallsintensität mit Wurzelschwamm festgestellt. Mäßige Kalkungen, die den pH-Wert der Böden nicht über pH 4,5 anheben, wirken sich soweit bekannt, nicht befallsfördernd aus [4, 51]. Dies belegen Untersuchungen aus den 1960er Jahren im niedersächsischen Tiefland [52, 53] sowie Untersuchungen aus jüngerer Zeit [54]. Voraussetzung ist jedoch, dass bei der Kalkung entsprechende Vorgaben eingehalten werden (siehe auch Merkblatt Bodenschutzkalkung der NW-FVA [55]). Hierzu gehört die gleichmäßige Verteilung von ca. 3 t/ha kohlensauren Mg-Kalkes in den Beständen via moderner Hubschrauber-Technik. In früheren Zeiten wurde der Kalk vielfach mit Hilfe von Verblasegeräten ausgehend von Rückegassen in die Bestände verbracht. Dabei kam es teilweise zu einer ungleichmäßigen Kalkverteilung im Bestand, die kleinräumig zu überhöhten Kalkkonzentrationen führte.

Kritisch zu beurteilen sind überhöhte Kalkmengen, ungleichmäßige Ausbringung, zu kurze Zeitabstände zwischen den Kalkungsmaßnahmen und zusätzlich verabreichte Düngergaben. Die sachgerechte und standortsangepasste Bodenschutz- und Kompensationskalkung mit 3 t/ha Kalk wird derzeit weiterhin empfohlen.

Ähnlich ist die Pflanzlochkalkung bei der Pflanzung mit dem Lochbohrer zu beurteilen. Das Ziel ist hier, den Kulturpflanzen gute Startbedingungen zu schaffen, indem die Bodenversauerung soweit ausgeglichen wird, so dass im Bodenwasser kaum noch bzw. kein freies Aluminium mehr vorkommt. Die Pflanzlochkalkung wird ausschließlich für Laubholz (vornehmlich Buche und Hainbuche aber auch Bergahorn, Kirsche und Winterlinde) empfohlen. Die Menge des einzubringenden Kalks ist abhängig von der Pflanzlochgröße. Bei einem Pflanzloch mit einem Durchmesser von 50 cm und einer Tiefe von 40 cm werden auf sorptions-schwachen, sandigen Böden im nordwestdeutschen Tiefland ca. 150 - 200 g des kohlensauren Magnesiumkalks empfohlen [55]. Bei kleineren Pflanzlöchern ist die Kalkgabe entsprechend zu reduzieren. Grundsätzlich muss der Kalk im Bodenaushub gut verteilt werden.

## 6 Potentielle Ursachen für den verstärkten Befall mit Wurzelschwamm

Die konkreten Ursachen des verstärkten Befalls mit Wurzelschwamm z. B. in der Lüneburger Heide sind noch weitgehend unklar. Folgende Faktoren werden in diesem Zusammenhang diskutiert:

- Die **Klimaerwärmung** hat seit den 1990er Jahren zu milderem Wintern geführt, in denen nennenswerter Sporenflug mit etwaiger Infektion frischer Stubben stattfinden kann. Die Klimaextreme der letzten Jahre wie Hitzeperioden und Stürme führen zur Prädisposition der Bäume und Schwächung ihrer Abwehr gegenüber Pathogenen.
- Bis in der 1980er Jahre waren erhöhte **Schwefel-Einträge** in die Wälder zu verzeichnen. Die Folgen dieser Immissionen (u. a. Versauerung, Nährstoffauswaschung) sind bis heute spürbar. Auch die seit mehr als 30 Jahren zu hohen **Stickstoffeinträge** haben vielfältige Einflüsse auf die Wälder. Sie führen u. a. zu Nährstoffungleichgewichten und ggf. auch zu einem verstärkten Sprosswachstum auf Kosten des Wurzelwachstums. Dies kann gerade in Trockenperioden zu Stress führen. Zudem ist wahrscheinlich, dass durch die hohen Stickstoffeinträge die Symbiosen mit Mykorrhizapilzen beeinflusst werden und somit ggf. die Wurzeln nicht mehr ausreichend vor einem Befall mit pathogenen Pilzen geschützt werden.
- Eine Förderung des Befalls mit Wurzelschwamm ist ebenfalls durch **geänderte forstliche Nutzungsstrategien** möglich. Hierzu zählt der ganzjährige Holzeinschlag, unabhängig vom Sporenflug. Daraus resultiert eine erhöhte Gefahr der Stubbeninfektion. Ebenso können der vermehrte Einsatz von schweren Harvestern und Forwardern und damit verbundene, vermehrte Wurzelverletzungen und -abriss in der Vegetationszeit einen Einfluss auf die Infektionsrate mit dem Wurzelschwamm haben.

## 7 Stubbenbehandlung

In einigen europäischen Staaten besonders in Nordeuropa wurde bzw. wird die prophylaktische Stubbenbehandlung zur Verhinderung des Befalls mit Wurzelschwamm empfohlen [1, 56-60]. Teilweise wurde sie aber auch wieder eingestellt [1]. Neuere Studien zur biologischen Kontrolle der Wurzelfäule, insbesondere mit dem Antagonisten *Phlebiopsis gigantea*, wurden von verschiedenen Arbeitsgruppen durchgeführt [z.B. 33, 34, 56-60]. In der Forstpraxis und -wissenschaft besteht keine einheitliche Meinung über die Wirksamkeit und Notwendigkeit einer Stubbenbehandlung. Unterschiedliche Maßnahmen und Präparate, die entweder

antagonistische Pilze (Gegenspieler-Pilze, wie z. B. den Großen Zystenrindenpilz, *Phlebiopsis gigantea*) oder Chemikalien (z. B. Bohrsalze, Harnstoffverbindungen oder Natrium-Nitrit) beinhalten, wurden untersucht und kommen teilweise zum Einsatz [33, 57, 59, 61, 62]. Die Präparate werden jedoch nicht als Pflanzenschutzmittel, teilweise aber als Bodenhilfsstoffe eingestuft.

Grundgedanke der Stubbenbehandlungsverfahren ist, frische Stubbenschnittflächen möglichst schnell mit geeigneten Präparaten zu behandeln, um eine primäre Infektion der Stubben mit Wurzelschwamm zu verhindern. Diese Methoden basieren auf der Annahme, dass die Schnittflächen frischer Stubben nur für einen kurzen Zeitraum durch die Wurzelschwammsporen infizierbar sind, da deren Schnittflächen wahrscheinlich rasch durch Antagonisten besiedelt werden.

Bei Fichten- und Kiefernstubben wird der anfällige Zeitraum unterschiedlich mit 1-7 Tagen bis zu 2-3 Wochen nach der Fällung angegeben [63]. In diesem Zeitraum soll die schnelle Etablierung eines pilzlichen Antagonisten auf der Stubbenoberfläche oder die Aufbringung fungizider Substanzen die Infektion des Stubbens durch luftgebundene Sporen verhindern. In der Regel soll daher die Stubbenbehandlung innerhalb von wenigen Stunden nach der Fällung erfolgen. Dies kann entweder manuell oder wesentlich kostengünstiger und voll mechanisiert durch die Mittelausbringung über das Lochschwert des Harvesteraggregats (Abb. 30-32) beim Fällschnitt geschehen.

**Erfolgversprechend kann die Stubbenbehandlung jedoch nur in Beständen sein, die nicht oder nur zu einem geringen Prozentsatz mit Wurzelschwamm durchseucht sind** [59, 60, 64], denn die Behandlung mit dem Antagonisten hat keine kurative Wirkung. Die Stubbenbesiedelung mit z. B. dem Antagonisten *P. gigantea* hat, soweit bekannt, keinen Einfluss auf die sekundären Infektionen über Wurzelverwachsungen, wenn die befallenen Wurzeln eines frischen Stubbens im Boden die Wurzeln der Nachbarbäume infizieren. In Deutschland wurde bzw. wird die Stubbenbehandlung in Baden-Württemberg und Bayern bei Fichten [33, 57, 59] sowie in Brandenburg bei Kiefern auf Kippenstandorten und bei entsprechenden Voraussetzungen empfohlen [58].

## 7.1. Stubbenbehandlung mit Chemikalien

Hauptsächlich wurden bisher Borate, Harnstoffverbindungen und Natrium-Nitrit zur Stubbenbehandlung eingesetzt und untersucht [62]. In den 1980er Jahren wurden in Süddeutschland Versuche zur Stubbenbehandlung mit Natrium-Nitrit durchgeführt. Bei einer etwa 10 Jahre später vorgenommenen Folgedurchforstung wurden 71 % weniger

infizierte Stämme in den behandelten Flächen gegenüber den unbehandelten Vergleichsflächen ermittelt. Aufgrund seiner hohen Toxizität kann das Natrium-Nitrit jedoch nicht zur praktischen Anwendung im Forst kommen [59]. Ähnlich wird in Deutschland die Anwendung von Boraten beurteilt. Gesättigte Harnstofflösungen (z.B. 37 %-ig) erwiesen sich in der Stubbenbehandlung gegenüber dem Wurzelschwamm teilweise als erfolgreich [59, 62, 65] und wurden teilweise auch in die Praxis übernommen [33].

## 7.2. Stubbenbehandlung mit *Phlebiopsis gigantea*-Präparaten

Im Labor wurde nachgewiesen, dass der holzabbauende, kiefernspezifische Ständerpilz *P. gigantea* gegenüber dem Wurzelschwamm antagonistisch wirkt und dessen Hyphen auflösen kann (Hypheninterferenz) [66]. Dieses Erkenntnis wurde schon früh in Feldversuchen zur Wurzelschwammbekämpfung von Rishbeth (ab 1950) in England eingesetzt [66-68]. Im Handel werden bzw. wurden *P. gigantea*-Präparate in Nordeuropa wie „ROTSTOP“ (finnische Firma Verdera), „ROTEX“ (der deutschen Firma e-nema, Abb. 31) und „PHLEBIOSAN“ (deutsche Firma Flügel) angeboten. „ROTSTOP“ und „ROTEX“ enthalten getrocknete Pilzdiasporen (Arthrokonidien oder auch Oidien genannt) in Silikatmehl. Mit diesen Präparaten werden dann Sporensuspensionen mit Wasser zur Stubbenbehandlung hergestellt. „ROTEX“ ist auf dem deutschen Markt als Bodenhilfsstoff erhältlich. Das Präparat „PHLEBIOSAN“ enthält lebendes *P. gigantea*-Mycel auf Holzspänen.

Bei der Ausbringung der wässrigen „ROTSTOP“- oder „ROTEX“-Suspension wird die Zugabe eines Lebensmittelfarbstoffs (z. B. Turfmark, Abb. 32) empfohlen, um den Deckungsgrad der Stubbenbehandlung, der möglichst 90 % der Stubbenoberfläche überschreiten sollte, auf den einzelnen Stubben sichtbar zu machen.

Die Anwendung einer lebenden, speziell gezüchteten Mycelsuspension von *P. gigantea* hat sich als sehr vorteilhaft bei der Etablierung auf den Stubben und in der voll mechanisierten Harvesterausbringung erwiesen [9, 60]. Derzeit führt die NW-FVA einen längerfristigen Versuch zur Stubbenbehandlung beim Fällschnitt im Harvestereinsatz in Kiefern- und Fichtenbeständen durch (Abb. 30-35, Ergebnisse siehe auch [34]). Die Ausbringung des Antagonisten erfolgte bei Durchforstungen im Herbst 2010 im niedersächsischen Forstamt Oerrel mit einer selbst hergestellten *P. gigantea*-Mycel-Suspension und dem vorschriftsmäßig angewandten Präparat „ROTEX“. In beiden Behandlungsvarianten wurde eine gute Benetzung der Stubbenoberfläche mit den Präparaten erzielt. Drei Monate sowie ein Jahr nach Ausbringung zeigte sich jedoch nur eine Etablierung des Antagonisten mit

Fruchtkörpern bei den Kiefernstubben (Abb. 34), nicht oder vernachlässigbar bei den Fichtenstubben (Abb. 33). Unbehandelte Kiefernstubben (Abb. 35) wiesen aber ein Jahr nach der Fällung eine ähnlich gute Besiedlung mit *P. gigantea* auf, wie die mit „ROTEX“-Behandlung. Am stärksten war jedoch die Etablierung und Fruchtkörperbildung in der Behandlungsvariante mit der selbst hergestellten *P. gigantea*-Mycel-Suspension.

Infolge des hohen Vorbefalls mit Wurzelschwamm in den untersuchten Kiefern- und Fichtenbeständen, konnten im Jahr 2013 nur sechs Kiefernstubben hinsichtlich des Neubefalls durch Wurzelschwamm ausgewertet werden. Dabei ließ sich auch bei den Probestubben, bei denen ein eindeutiger Befall vorlag, da sie Fruchtkörper des Wurzelschwamms aufwiesen, kein labortechnischer Nachweis erbringen. Bei den untersuchten Fichtenstubben (n = 27) lag die bis zum Jahr 2015 ermittelte Neubefallsrate mit Wurzelschwamm bei 37 %.

**Mit diesen Ergebnissen konnte die Wirksamkeit der *P. gigantea*-Präparate im Feldversuch nicht zweifelsfrei nachgewiesen werden. Da in den untersuchten Kiefern- und Fichtenbeständen des nordwestdeutschen Tieflandes hohe, 20 % bis 30 % deutlich überschreitende Durchseuchungsraten mit Wurzelschwamm festgestellt wurden [34], ist eine Stubbenbehandlung mit *P. gigantea*-Präparaten unter diesen Rahmenbedingungen nicht sinnvoll [65].** Eine erfolgreiche Prophylaxe kann hier nicht gewährleistet werden, da andere Infektionswege (insbesondere die Übertragung von Baum zu Baum über Wurzelkontakte) die Anzahl an möglicherweise verhinderten Stubbeninfektionen überlagern. Besonders im Großraum Lüneburger Heide ist daher die Stubbenbehandlung nicht zu empfehlen, obwohl sie sich grundsätzlich nicht negativ auswirkte.



**Abb. 30:** Stubbenbehandlung während des Fällschnitts beim Harvestereinsatz



**Abb. 31:** Harvesterschwert mit Sprühfunktion zur Stubbenbehandlung



**Abb. 32:** Stubbenschnittfläche nach Behandlung mit *P. gigantea*-Suspension



**Abb. 33:** Fichtenstubben, der mit *P. gigantea*-behandelt wurde, ein Jahr nach Fällschnitt



**Abb. 34:** Fruchtkörper von *P. gigantea* an behandeltem Kiefernstubben ein Jahr nach Fällschnitt



**Abb. 35:** Fruchtkörper von *P. gigantea* an unbehandeltem Kiefernstubben ein Jahr nach Fällschnitt

## 8 Handlungsempfehlungen

In Deutschland sind bis dato keine Pflanzenschutzmittel zur Anwendung gegen den Wurzelschwamm zugelassen. Da eine direkte Bekämpfung des Wurzelschwamms nicht möglich ist, ist der Waldbewirtschaftende gezwungen, den Schaderreger in sein Managementkonzept einzubeziehen, um wirtschaftliche Verluste zu minimieren. Weil der Gemeine Wurzelschwamm weit verbreitet ist und nicht mit Fungiziden flächendeckend bekämpft werden kann, ist es sehr wichtig, vorbeugende Maßnahmen zu entwickeln und umzusetzen sowie die Abwehrfähigkeit der Bäume zu stärken. In dichten, einförmigen Reinbeständen anfälliger Wirtspopulationen erlauben Einförmigkeit und dichte Bestockung dem Wurzelschwamm nach der Primärfäule über Wurzelkontakte eine schnelle Ausbreitung.

Eine detaillierte Studie zum Forstmanagement und zur Regeneration von infizierten Standorten wurden z. B. in Finnland durchgeführt [69]. Es zeigte sich, dass mit den steigenden anthropogenen Aktivitäten – besonders in Zusammenhang mit intensiver maschineller Forstwirtschaft – eine verstärkte Verbreitung der Wurzelfäule durch Wurzelschwamm einhergeht. Der maschinelle Holzeinschlag ist eng gekoppelt mit dem Verbleiben befallener Stubben im Bestand [70-73]. Diese Stubben stellen über einen längeren Zeitraum eine mögliche Infektionsquelle über Wurzelverwachsungen dar (siehe Kapitel 1.3 und [1, 32, 35]).

Stubbenrodung senkt den Befall in der nächsten Bestandesgeneration [48]. Theoretisch wäre daher die Stubbenrodung eine vorbeugende Maßnahme zur Minimierung des Wurzelschwammbefalls nachfolgender Waldgenerationen auf mit Wurzelschwamm durchseuchten Standorten. Ein entsprechender längerfristiger

Anbauversuch mit einer Stubbenrodungsvariante wird seit 2007 von der Abteilung Waldschutz durchgeführt. Stubbenrodung ist sehr kostenintensiv und sinnvoll nur nach Kahlschlägen anwendbar. Da zudem eine sehr starke Beeinträchtigung des Bodengefüges und der Bodenbiozönose damit verbunden ist und die Ergebnisse des entsprechenden Versuchs seitens der NW-FVA noch ausstehen, wird **die Stubbenrodung derzeit nicht empfohlen.**

**Stubbenbehandlung mit *P. gigantea* wird im Nordwestdeutschen Tiefland derzeit ebenfalls nicht empfohlen,** da in den Kiefern- und Fichtenbeständen meist hohe Durchseuchungsraten (> 50 %) mit dem Wurzelschwamm vorliegen. Eine erfolgreiche Prophylaxe gegen Wurzelschwamm mit Hilfe von *P. gigantea* kann dann nicht gewährleistet werden, da andere Infektionswege, insbesondere die Übertragung von Baum zu Baum über Wurzelkontakte, sich auswirken und die Wirksamkeit der eingesetzten Präparate in den untersuchten Beständen nicht nachgewiesen werden konnte [34]. Falls nach Abwägung im Einzelfall (keine oder sehr geringe Durchseuchung mit Wurzelschwamm im Bestand oder Läuterungsmaßnahme in einer Erstaufforstung) dennoch die Entscheidung zugunsten einer Stubbenbehandlung z. B. mit „ROTEX“ fallen sollte, ist folgendes zu beachten:

- Die Behandlung ist unabhängig von der Jahreszeit ab 5 °C möglich
- Einsatz von tagesfrischer Gebrauchslösung, die sich nicht über 35 °C erwärmen darf
- Einhaltung einer durchgehenden Kühlkette (ca. 4-7 °C) für das Präparat bis zur Anwendung
- Mindestens 90 % Benetzung der Stubbenoberfläche mit der Antagonistenlösung

**Zur Vermeidung oder Abschwächung der befallsfördernden Einflüsse dienen vorwiegend waldbauliche Maßnahmen:**

- **Baumartenwahl** und **Risikostreuung** durch die Begründung von Laub- (Nadel-) Mischbeständen sind wesentliche Maßnahmen. In der Verjüngung sind die gegenüber Wurzelschwamm nicht bzw. deutlich weniger anfälligen Stiel- / Traubeneichen in mit Wurzelschwamm durchseuchten Beständen vorzuziehen, falls es die vorliegenden Standortbedingungen und Belichtungsverhältnisse erlauben. Die Buche ist z. B. deutlich weniger anfällig als Nadelbaumarten.
- Das **Pflanzmaterial sollte möglichst keine Wurzelschnitte aufweisen** und schonend und verletzungsarm gepflanzt werden, um möglichst vitale Jungpflanzen zu etablieren. In der Praxis werden oft Container gepflanzt, z. B. mit Douglasien

(Schwedisches Verfahren). Dies könnte sich ggf. günstiger als die Pflanzung wurzelnackter Pflanzen erweisen, da die Wurzeln im Container in der Regel nicht verletzt oder verbogen werden.

- **Der Zeitpunkt der Durchforstung** sollte in nicht oder nicht stark befallenen Beständen möglichst in Perioden mit geringem Sporenflug (z. B. Frostperioden) gelegt werden, da dann auch das Infektionspotential niedriger sein sollte.

## 9 Verzeichnis der angesprochenen Taxa

Deutscher Name	Wissenschaftlicher Name
Gemeiner Wurzelschwamm	<i>Heterobasidion annosum</i> (FR.) BREF. s. l. Synonym: <i>Fomes annosus</i> (FR.) COOKE s. l.
Tannen-Wurzelschwamm	<i>H. abietinum</i> NIEMELÄ & KORHONEN
Kiefern-Wurzelschwamm	<i>H. annosum</i> (FR.) BREF. s. s.
Fichten-Wurzelschwamm	<i>H. parviporum</i> NIEMELÄ & KORHONEN
Nordamerikanischer Kiefern-Wurzelschwamm	<i>H. irregulare</i> (UNDERW.) GARBEL. & OTROSINA
Nebenfruchtform des Wurzelschwamms	<i>Spiniger meineckellus</i> (A.J. OLSON) STALPERS
Amyloidschichtpilze z. B. Fichten-Schichtpilz	<i>Amylostereum</i> spp. z. B. <i>A. areolatum</i> (CHAILLET ex FR.) BOIDIN
Blutender Nadelholz-Schichtpilz	<i>Stereum sanguinolentum</i> (ALB. & SCHWEIN.) FR.
Kiefern-Braunporling	<i>Phaeolus schweinitzii</i> (FR.) PAT.
Douglasie	<i>Pseudotsuga menziesii</i> (MIRB.) FRANCO
Eberesche, Vogelbeere	<i>Sorbus aucuparia</i> L.
Edeltanne	<i>Abies procera</i> REHD. , syn. <i>A. nobilis</i>
Europäische Lärche	<i>Larix decidua</i> MILL.
Gemeine Esche	<i>Fraxinus excelsior</i> L.
Gemeine Fichte, Rotfichte	<i>Picea abies</i> (L.) KARST.
Hainbuche	<i>Carpinus betulus</i> L.
Küstentanne	<i>Abies grandis</i> (DOUGLAS ex D. DON) LINDLEY
Nordmantanne	<i>Abies nordmanniana</i> (STEV.) SPACH
Rotbuche	<i>Fagus sylvatica</i> L.
Roteiche	<i>Quercus rubra</i> L.
Sitkafichte	<i>Picea sitchensis</i> (BONG.) CARRIÈRE
Waldkiefer, Gemeine Kiefer	<i>Pinus sylvestris</i> L.
Weißtanne	<i>Abies alba</i> MILL.
Großer Brauner Rüsselkäfer	<i>Hylobius abietis</i> L.

## 10 Quellen

- [1] Woodward S, Stenlid J, Karjalainen R., Hüttermann A (Edit.) (1998): *Heterobasidion annosum*: Biology, Ecology, Impact and Control. CAB International. 589 S.
- [2] Korhonen K, Holdenrieder O (2005): Neue Erkenntnisse über den Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum* s. l.). Forst und Holz 60: 206-211.
- [3] Garbelotto M, Gonthier P. (2013): Biology, Epidemiology, and Control of *Heterobasidion* Species

- Worldwide. Annu Rev Phytopathol. 2013 May 1. [im Druck]
- [4] Korhonen K und Stenlid J (1998) in Woodward S, Stenlid J, Karjalainen R, Hüttermann A (Edit.): *Heterobasidion annosum*: Biology, Ecology, Impact and Control. CAB International. 43-71.
- [5] Habermann M, Bressemer U, Hurling R, Krüger F (2009): Waldschutzsituation 2008/9 im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA. AFZ/Der Wald, 64: 358-361.
- [6] Habermann M (2009): Hilft bald ein pilzlicher Gegenspieler? Land und Forst. 162 (42): 52-53.
- [7] Gulder, H-J, Masching E (1997): Ackersterbe bei Kiefer. ©1995-2002 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF – Informationen aus der Wissenschaft/ aus LWFaktuell Nr. 10, Internet: <http://www.lwf.bayern.de>
- [8] NW-FVA Waldschutzbericht 2007 (intern)
- [9] NW-FVA, Abteilung Waldschutz unveröffentlichte Ergebnisse
- [10] Korhonen K (1978): Intersterility groups of *Heterobasidion annosum*. Comm Inst For Fenn 94: 1-25.
- [11] Capretti P, Korhonen K, Mugnai L, Romagnoli C. 1990: An intersterility group of *Heterobasidion annosum* specialized to *Abies alba*. European Journal of Forest Pathology 20: 231-240.
- [12] Capretti P, Goggioli V, Mugna L (1994): Intersterility groups of *Heterobasidion annosum* in Italy: distribution, hosts and pathogenicity tests. In: Johansson M., Stenlid J (Edit.), Proceedings of the 8th IUFRO Conference on Root and Butt Rots. Sweden and Finland, August 9-16, 1993. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 218-226.
- [13] Tsoelas P, Korhonen K (1996): Hosts and distribution of the intersterility groups of *Heterobasidion annosum* in the highlands of Greece. European Journal of Forest Pathology 26: 4-11.
- [14] Niemelä T, Korhonen K (1998): Taxonomy of the genus *Heterobasidion*. In: Woodward S, Stenlid J, Karjalainen R, Hüttermann A (Edit.), *Heterobasidion annosum*: Biology, Ecology, Impact and Control. CAB International. 27-33.
- [15] Langer GJ (2018): Current forest pathogenic fungi in Northwest Germany. In: P. Planz (Edit.), Biodiversity and Ecology of Fungi, Lichens, and Mosses. Kerner von Marilaun Workshop 2015 in memory of Josef Poelt. - Biosyst. Ecol. Ser. 34: 459-479. - Wien: ÖAW.
- [16] Korhonen K, Capretti P, Karjalainen R, Stenlid J (1998): Distribution of *Heterobasidion* intersterility groups in Europe. In: Woodward, S, Stenlid J, Karjalainen R, Hüttermann A (Edit.), *Heterobasidion annosum*: Biology, Ecology, Impact and Control. CAB International. 93-104.
- [17] Siepmann R (1988): Intersterilitätsgruppen und Klone von *Heterobasidion annosum* in einem 31jährigen Fichtenbestand. European Journal of Forest Pathology 19(4): 251 - 253
- [18] Rishbeth J (1957): Some further observations on *Fomes annosus* Fr. Journal Forestry 1957, 30(1): 69-89.
- [19] Peace TR (1939): Forest Pathology in North America. Forestry (1939) 13 (1): 36-45.
- [20] Kallio T (1971): Incidence of the Conidiophores of *Fomes annosus* (Fr.) Cooke on the Logging Waste of Spruce (*Picea Abies* (L.) Karst. Acta Forestalia Fennica 124: 1-9.
- [21] Bakshi BK (1950): Fungi associated with ambrosia beetles in Great Britain. Transactions of the British Mycological Society 33(1-2): 111-120.
- [22] Bakshi BK (1952): *Oedocephalum lineatum* is a conidial stage of *Fomes annosus*. Transactions of the British Mycological Society 35(3): 195.
- [23] Kadlec Z, Starý P, Zúmr V (1992): Field evidence for the large pine weevil, *Hylobius abietis* as a vector of *Heterobasidion annosum*. European Journal of Forest Pathology 22(5): 316–318.
- [24] Brandstätter M, Müller-Riemenschneider, Tomiczek C (2009): Holzerstörende Pilze – Einteilung in drei Gefahrenstufen. Ploetz-Druck St. Stefan.
- [25] Brefeld O (1889): Untersuchungen aus dem Gesamtgebiete der Mykologie: Basidiomyceten III. Autobasidiomyceten und die Begründung des natürlichen Systemes der Pilze – Leipzig, Heft 8: 134-184.
- [26] Kallio T (1971): Aerial Distribution of the Root-Rot Fungus *Fomes annosus* (Fr.) Cooke in Finland. Acta Forestalia Fennica 107: 1-55.
- [27] Möykkynen T, von Weissenberg K, Pappinen A (1997): Estimation of dispersal gradients of S- and P-type basidiospores of *Heterobasidion annosum*. European Journal of Forest Pathology 27: 291-300.
- [28] Molin NL (1957): Om *Fomes annosus* spridningsbiologi. Medd. Stat. Skogsforsk. Inst. Stockholm, 47(3): 1-36.
- [29] Kuhlman EG (1969): Survival of *Fomes annosus* spores in soil. Phytopath. 59, 198-201.
- [30] Schönhar S. (1980): Untersuchungen über die Überlebensdauer von *Fomes annosus*-Sporen im Boden. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 151(10): 197-199.

- [31] Stenlid J (1994): Regional differentiation in *Heterobasidion annosum*. Johansson M and Stenlid, J (eds.), Proceedings of the 8th IUFRO Conference on Root and Butt Rots. Sweden and Finland, August 9-16, 1993. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 243-248.
- [32] Asiegbu FO, Daniel G, Johansson M (1993): Studies on the infection of Norway spruce roots by *Heterobasidion annosum*. Canadian Journal of Botany 71(12): 1552-1561, 10.1139/b93-189.
- [33] Metzler B, Blaschke M (2005): Der frische Wurzelstock ist eine offene Tür für den Wurzelschwamm. LWFaktuell Nr. 49, Seite 8-9.
- [34] Langer GJ, Bressemer U (2017): *Phlebiopsis gigantea* als Antagonist des Wurzelschwamms. AFZ/Der Wald, 72. Jg., 3: 39-43.
- [35] Greig BJW, Pratt JE. 1976: Some observations on the longevity of *Fomes annosus* in conifer stumps. European Journal of Forest Pathology 6: 250-253.
- [36] Piri M (1996): The spreading of the S type of *Heterobasidion annosum* from Norway spruce stumps to the subsequent tree stand. European Journal of Forest Pathology, 26: 193-204
- [37] Stenlid J, Redfern DB (1998): Spread within the Tree and Stand. In: Woodward S, Stenlid J, Karjalainen R, Hüttermann A (Edit.), *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International. 125-141.
- [38] Greig BJW (1998): Field Recognition and Diagnosis of *Heterobasidion annosum*. In: Woodward S, Stenlid J, Karjalainen R und Hüttermann A (Edit.), *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International. 35-41.
- [39] Knoche D, Ertle C (2008): Wurzelschwamm bedroht Kiefern-Erstaufforstungen. AFZ/Der Wald 5: 239-242.
- [40] Heydeck P (2000): Bedeutung des Wurzelschwamms im nordostdeutschen Tiefland. AFZ-DerWald, 742-744.
- [41] Delatour C, von Weissenberg K., Dimitri L. (1998): Host Resistance. In: Woodward S, Stenlid J, Karjalainen R und Hüttermann A (Edit.), *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International. 143-166.
- [42] Habermann M (2009): Schädlinge am reich gedeckten Tisch. Holz und Forst 35: 46-47.
- [43] Piri T, Korhonen K, Sairanen A (1990): Occurrence of *Heterobasidion annosum* in pure and mixed spruce stands in southern Finland. Scand. J. For. Res. 5 (1-4): 113-125,
- [44] Lakomy P, Cieslak R (2008): Early infection of *Fagus sylvatica* by *Heterobasidion annosum* sensu stricto. For. Path. 38:314-319.
- [45] Graber D (1994): Die Fichtenkernfäule in der Nordschweiz. Schadenausmass, ökologische Zusammenhänge und waldbauliche Massnahmen. Schweiz. Z. Forstwes. 145: 905-925.
- [46] Shaw D, Edmonds R, Littke W, Browning J, Russell K, Driver C (1994): Influence of forest management on *annosus* root disease in coastal western hemlock, Washington State, USA. In: Johansson, M. & Stenlid, J. (eds.), Proceedings of the 8th Int. Conf. on Root and Butt Rots, Sweden and Finland, Aug. 9-16, 1993. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. Seite: 646-655. ISBN 91-576-4803-4.
- [47] Vasiliauskas R (1989): Root fungus and the resistance of coniferous forests' ecosystems. Mokslas publisher, Vilnius, 174 S. [Russisch mit englischer Zusammenfassung].
- [48] Korhonen K, Delatour C, Greig BJW, Schönhar S. (1998): Silvicultural Control. In: S. Woodward, J. Stenlid, R. Karjalainen, A. Hüttermann (eds.), *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International. 125-141.
- [49] Otto HJ (1991): Langfristige ökologische Waldbauplanung für die Niedersächsischen Landesforsten, Band 1: A: Allgemeiner Band Teil B. Spezieller Teil: Das niedersächsische Flachland. Aus dem Walde 42.
- [50] Dimitri L (1963): Untersuchungen über die Ausbreitung von *Fomes annosus* (Fr.) Cooke). Journal of Phytopathology 48(4): 349-369.
- [51] Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt (2003): Waldzustand 2002 – Ergebnisse der Waldzustandserhebung 35 S.
- [52] Kramer H (1970): Beobachtungen über das Auftreten von *Fomes annosus* an Fichte auf Flottsandboden, insbes. im Zusammenhang mit Meliorationsmaßnahmen. Der Forst- und Holzwirt 25 (19): 405-409.
- [53] Seibt G (1964): Zur Frage des Einflusses von Düngemitteln und Melioration auf die Fäule von Wurzel- und Stammholz. Forstwissenschaftliches Centralblatt. 83(3-4): 101-118.
- [54] Hartmann G (2004): unveröffentlichte Ergebnisse aus Versuchen der NW-FVA.
- [55] NW-FVA (2010): Merkblatt Bodenschutzkalkungen für Niedersachsen und Sachsen-Anhalt [https://www.nw-fva.de/fileadmin/user\\_upload/Verwaltung/Publikationen/](https://www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Verwaltung/Publikationen/)

- Merkblaetter/Merkblatt\_Bodenschutzkalkungen\_und\_Anlagen\_11\_2010.pdf
- [56] Berglund M, Rönnerberg J, Holmer L und Stenlid (2005): Comparison of five strains of *Phlebiopsis gigantea* and two *Trichoderma* formulations for treatment against natural *Heterobasidion* spore infections on Norway spruce stumps. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20(1): 12-17
- [57] Metzler B, Thumm H, Scham J (2005a): Gegen die Rotfäule kann man etwas tun. *Badische Bauernzeitung* 1/2005.
- [58] Heydeck P, Knoche D (2015): Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum*) in der Bergbaufolgelandschaft Südbrandenburgs. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 61*: 1-72.
- [59] Metzler B, Thumm H, Scham J (2005b): Stubbenbehandlung vermindert das Stockfäulerisiko an Fichte. *AFZ-Der Wald*. 60: 52-55.
- [60] Heydeck P, Knoche D, Dahms C, Rakel T, Bieler T, Sauermann J, Duhr M (2010): Pro-phylaktische Maßnahmen zur Abwehr des Kiefern-Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum* [Fr.] Bref.) in Erstaufforstungen auf Kippenstandorten im südlichen Brandenburg (Lausitz). *Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol.* 44(3): 107-115.
- [61] Holdenrieder O, Greig BJW (1998): Biological Methods of Control. In: Woodward S, Stenlid J, R. Karjalainen, Hüttermann A (Edit.), *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International. 235-258.
- [62] Pratt JE, Johansson M, Hüttermann A (1998): Chemical Methods of Control of *Heterobasidion annosum*. In: Woodward S, Stenlid J, Karjalainen R., Hüttermann A (Edit.), *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International. 235-258.
- [63] Redfern, Stenlid J (1998): Spore dispersal and Infection. In: S. Woodward, J. Stenlid, R. Karjalainen, Hüttermann A (Edit.), *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International. 105-124.
- [64] NW-FVA (2007): Kurzinfo Wurzelschwamm (*Heterobasidion annosum*). Praxis-Info: Wurzelschwamm (12.11.2007).
- [65] Metzler B (2005): Integrierte Maßnahmen gegen die Rotfäule der Fichte (*Heterobasidion annosum* s.l.) FVA Freiburg WALDSCHUTZ-INFO 4/2005.
- [66] Holdenrieder O, Greig BJW (1998): Biological Methods of Control. In: Woodward S, Stenlid J, R. Karjalainen, Hüttermann A (Edit.), *Heterobasidion annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. CAB International. 235-258.
- [67] Rishbeth J (1951a). Observations on the biology of *Fomes annosus*, with particular reference to East Anglian pine plantations. II. Spore production, stump infection, and saprophytic activity in stumps. *Annals of Botany* 15: 1-21.
- [68] Rishbeth J (1951b). Observation on the biology of *Fomes annosus*, with particular reference to East Anglian pine plantations. III. Natural and experimental infection of pines, and some factors affecting severity of the disease. *Annals of Botany* 15: 221-246.
- [69] Piri H (2003): Silvicultural control of *Heterobasidion* root rot in Norway spruce forests - Regeneration and vitality fertilization of infected stands in southern Finland. Finnish Forest Research Institute Vantaa Research Centre, Dissertation. 64 S.
- [70] Venn K, Solheim H (1994): Root and butt rot in first generation of Norway spruce affected by spacing and thinning. In: Johansson M and Stenlid J (Edit.), *Proceedings of the 8th Int. Conf. on Root and Butt Rots, Sweden and Finland, Aug. 9-16, 1993*. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 642-645. ISBN 91-576- 4803-4.
- [71] Shaw D, Edmonds R, Littke W, Browning J, Russell, K., Driver, C 1994. Influence of forest management on annosus root disease in coastal western hemlock, Washington State, USA. In: Johansson M, Stenlid J (Edit.), *Proceedings of the 8th Int. Conf. on Root and Butt Rots, Sweden and Finland, Aug. 9-16, 1993*. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 646-655. ISBN 91-576-4803-4.
- [72] Orosina WJ, Garbelotto M (1998): Rot diseases and exotic ecosystems: implications for long-term site productivity. In: Delatour C, Guillaumin JJ, Lung-Escarmant B, and Marçais B (Edit.), *Proceedings of the 9th Int. Conf. on Root and Butt Rots, Carcans- Maubuisson, France, Sept. 1-7, 1997*. Institut Nationale de la Recherche Agronomique, Paris. 275-283.
- [73] Filip G, Sullivan K (1998) Incidence of infection and decay caused by *Heterobasidion annosum* in managed *Abies procera* in Oregon, USA. In: Delatour C, Guillaumin JJ, Lung-Escarmant B, Marçais B (Edit.), *Proceedings of the 9th Int. Conf. on Root and Butt Rots, Carcans-Maubuisson, France, Sept. 1-7, 1997*. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris. 199-207.

**Stand: 01. Oktober 2018**