

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 167 (2016)

Heft: 5

Artikel: Die Verticillium-Welke : eine Option zur Bekämpfung des Götterbaumes in der Schweiz?

Autor: Siegrist, Mélanie / Holdenrieder, Ottmar

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1097446>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Verticillium-Welke – eine Option zur Bekämpfung des Götterbaumes in der Schweiz?

Mélanie Siegrist

Forstschutz & Dendrologie, Institut für Integrative Biologie, ETH Zürich (CH)

Ottmar Holdenrieder

Forstschutz & Dendrologie, Institut für Integrative Biologie, ETH Zürich (CH)*

Die Verticillium-Welke – eine Option zur Bekämpfung des Götterbaumes in der Schweiz?

Der Götterbaum (*Ailanthus altissima*) ist eine aus China stammende invasive Baumart, die sich in Australien, Europa und Nordamerika ausbreitet. Zunehmend tritt der Götterbaum auch im Schweizer Wald auf und gilt dort wegen seiner ausgeprägten Konkurrenzfähigkeit als Problemart. In Europa und Nordamerika tritt gelegentlich an *A. altissima* eine Welkekrankheit auf, die durch verschiedene Pilze der Gattung *Verticillium* verursacht wird. Die genaue Identität dieser Krankheitserreger wurde erst vor Kurzem durch molekulargenetische Methoden geklärt. Neben dem vor allem in landwirtschaftlichen Kulturen, aber auch an Gehölzpflanzen weit verbreiteten Pilz *Verticillium dahliae* wurde in absterbenden Götterbäumen in Europa und Nordamerika auch die neu beschriebene Art *V. nonalfalfae* nachgewiesen. Einzelne Genotypen dieses Krankheitserregers weisen in Nordamerika eine hohe Wirtsspezifität auf, und in den USA wird *V. nonalfalfae* bereits als Mykoherbizid zur biologischen Bekämpfung von *A. altissima* im Wald eingesetzt. Unser Beitrag fasst die aktuelle Literatur über den Götterbaum und die Verticillium-Welke zusammen und diskutiert die Frage, ob ein Einsatz von *V. nonalfalfae* auch in der Schweiz erwogen werden sollte.

Keywords: *Ailanthus altissima*, biological control, verticillium wilt, *Verticillium nonalfalfae*
doi: 10.3188/szf.2016.0249

* Universitätstrasse 16, CH-8092 Zürich, E-Mail ottmar.holdenrieder@usys.ethz.ch

Eingeschleppte invasive Arten können einheimische Organismen gefährden und Ökosysteme in ihrer Struktur bzw. Funktion verändern (Kowarik 2010, EFSA 2016a). Daher werden Strategien zu ihrer Kontrolle entwickelt (BAFU 2016, EFSA 2015, 2016b). Ein aktuelles walddrelevantes Beispiel ist der Götterbaum (*Ailanthus altissima*), eine aus China stammende Art, die vom Menschen weltweit verbreitet wurde und die sehr häufig invasiv auftritt (Kowarik & Säumel 2007). In der Schweiz ist der Götterbaum in Städten weit verbreitet und etabliert (Infoflora 2012). Vor allem auf der Alpensüdseite, stellenweise aber auch nördlich der Alpen dringt diese Baumart zunehmend auch in Wälder ein (Gurtner et al 2015, Knüsel et al 2015), wobei dieser Prozess vom Menschen stark gefördert wird (Radtke et al 2013).

Die Bekämpfung des Götterbaumes durch Ringeln oder Herbizide ist aufwendig und oft unzureichend wirksam (Constan-Nava 2010, Gover & Johnson 2004, Huebner & Rebbeck 2014). Ein Herbizideinsatz ist in der Schweiz im Wald nicht zugelassen (BAFU 2016) und wäre aus ökologischen und

toxikologischen Gründen sehr problematisch (vgl. hierzu die aktuelle Diskussion um das Herbizid Glyphosat in Portier et al 2015¹). Eine biologische Bekämpfung des Götterbaumes, zum Beispiel mit Mykoherbiziden oder Herbivoren, ist eine interessante und im Prinzip umweltfreundliche Alternative (Ding et al 2006). Ausserhalb Europas werden Organismen zur Kontrolle von invasiven exotischen Pflanzenarten bereits mit Erfolg eingesetzt, und auch in der Europäischen Union wird ein solcher Einsatz zunehmend erwogen (EFSA 2015), zum Beispiel gegen das Drüsige Springkraut, *Impatiens glandulifera* (Tanner et al 2015). Dabei muss jedoch sichergestellt werden, dass die eingesetzten Organismen möglichst keine unerwünschten oder zumindest nur gut tolerierbare Nebenwirkungen haben. Voraussetzung für den verantwortbaren Einsatz von biologischen Bekämpfungsmassnahmen ist eine sorgfältige Risikoabschätzung, die auf einer umfassenden Kenntnis der

1 PORTIER CJ, ARMSTRONG B, BAGULEY BC, BAUR X, BELIAEV I ET AL (2015) Open letter: Review of the carcinogenicity of Glyphosate by EFSA and BfR. www.efsa.europa.eu/sites/default/files/Prof_Portier_letter.pdf (25.6.2016)



Abb 1 *Ailanthus altissima* als Strassenbaum in Zürich. Foto: Ottmar Holdenrieder

Biologie der beteiligten Organismen beruht und eine Abwägung zwischen den von den invasiven Arten ausgehenden Schäden und den möglichen Nebenwirkungen des Einsatzes vornimmt.

In Europa und Nordamerika wurde ein Absterben von *Ailanthus*-Beständen beobachtet, das auf eine *Verticillium*-Infektion zurückgeführt werden konnte (z.B. Cech 1998, Schall & Davis 2009a). Diese Krankheit könnte somit zur biologischen Bekämpfung des Götterbaumes eingesetzt werden (Ding et al 2006, Sheppard et al 2006). Im folgenden Beitrag fassen wir die wichtigsten Informationen über *A. altissima* und die *Verticillium*-Welke zusammen und diskutieren die Frage, ob ein Einsatz dieses Mykoherbizids gegen den Götterbaum in der Schweiz sinnvoll und vertretbar sein könnte.

Biologie des Götterbaumes

Ailanthus altissima (Abbildung 1) ist der einzige Vertreter der Bittereschengewächse (*Simaroubaceae*) in Europa. Diese Pflanzenfamilie umfasst 16 Gattungen (mit insgesamt 102 Arten) von Gehölzpflanzen, die vorwiegend in den Tropen verbreitet sind (Plant List 2016).² Die Gattung *Ailanthus* umfasst etwa sechs bis zehn Arten in Südostasien und Nordaustralien, von denen fünf Taxa aus China stammen, darunter auch der Götterbaum (Flora of China 2016).

Der Götterbaum ist eine bis 30 m hohe, ringporige Pionierbaumart mit obligater Farbkernbil-

dung; das Holz von älteren Bäumen ist in seinen technologischen Eigenschaften teilweise dem der Esche vergleichbar, und es wird zumindest im Herkunftsgebiet auch genutzt (Hu 1979, Brandner 2009). In der Jugend ist der Götterbaum extrem starkwüchsig (bis 2 m pro Jahr). Die Blätter sind unpaarig gefiedert und werden bis über 1 m lang. An den basalen Blattzähnen sowie an der Basis des Blattstiels befinden sich extraflorale Nektarien, die von Ameisen besucht werden (Miller 1990, Kowarik & Säumel 2007). Die Blätter haben nach dem Reiben einen charakteristischen, unangenehmen Geruch, der sehr wahrscheinlich durch 1-Pyrrolin verursacht wird (Roman Kaiser, persönliche Mitteilung).

Die Wurzeln verlaufen überwiegend in geringer Bodentiefe (bis ca. 50 cm Tiefe); nur junge Bäume entwickeln eine Pfahlwurzel, die auch als Reserveorgan dient. Adventivknospen im Wurzelbereich führen nach Beschädigung des Baumes zur Bildung von zahlreichen Wurzelsprossen (Davies 1944, Kiermeier 1987). Die wenig verzweigten Lateralwurzeln können eine Länge von bis zu 27 m erreichen (Kiermeier 1987) und durch ihr sekundäres Dickenwachstum Bodenbeläge, Mauern und Abwasserrohre beschädigen (vgl. Kowarik & Säumel 2007, Miller 1990).

Der Götterbaum ist diözisch. Die verzweigten Blütenstände tragen zahlreiche circa 5 mm grosse, gelbliche Blüten, die von Insekten bestäubt werden. Der Baum blüht bereits ab einem Alter von drei bis fünf Jahren. Die Frucht ist eine einsamige, länglich-elliptische, im Schnitt 47 × 9 mm grosse, beidseitig geflügelte Nuss (Samara). Die Flügel sind spiralförmig gedreht und verlangsamen die Sinkgeschwindigkeit, sodass bereits bei einer Windgeschwindigkeit von 10 km/h Flugweiten von über 100 m erreicht werden können (Kowarik & Säumel 2007, Wunder et al 2014a). Die Freisetzung der Früchte erfolgt praktisch während des ganzen Jahres. Bereits ein 8 m hoher Baum kann jährlich bis über 300 000 Früchte bilden (Kowarik & Säumel 2007). Die Fruchtsände sind rötlich gefärbt und wirken attraktiv, weshalb weibliche Pflanzen manchmal als Zierbäume bevorzugt werden. Fruchtende Bäume können im Luftbild relativ gut identifiziert werden, was die Bekämpfung erleichtern kann (Rebbeck et al 2015).

Die Rinde des Götterbaumes enthält verschiedene Bitterstoffe vom Quassin-Typ, zum Beispiel Chaparrinon und Ailanthon. In den Blättern finden sich daneben auch Indolalkaloide, zum Beispiel 1-Methoxy-canthin-6-on (Bös 2016).³ Verschiedene Sekundärstoffe des Götterbaums können gelegentlich Entzündungen der Haut verursachen, und der Pollen kann allergen wirken (Ballero et al 2003). Die Blätter sind leicht giftig. Sie werden in der traditionellen chinesischen Medizin verwendet, zum Bei-

² www.theplantlist.org/browse/A/Simaroubaceae (26.2.2016)

³ www.giftpflanzen.com/ailanthus_altissima.html (22.6.2016)

spiel gegen Durchfall, und haben auch eine insektizide und akarizide Wirkung (z.B. Gu et al 2014). Allelopathische Effekte der Blätter bzw. Blattextrakte von *A. altissima* wurden wiederholt im Labor nachgewiesen (z.B. Kowarik & Säumel 2007, Bostan et al 2014), aber nur selten im Gelände bestätigt (Lawrence et al 1991, Vilà et al 2006, Gomez-Aparicio & Canham 2008).

Der Götterbaum bevorzugt eine lange und warme Vegetationsperiode und profitiert demnach von einer Klimaerwärmung (Kowarik & Säumel 2007). In der Schweiz ist die Art weit verbreitet, vor allem im Tessin und im Misox bis etwa 600 m (vereinzelt bis 1300 m); sie breitet sich in letzter Zeit auch in der Nordschweiz aus (Plozza & Schmid 2012, Gurtner et al 2015, Arnaboldi et al 2002, Wunder et al 2014b). *A. altissima* besetzt oft Waldbrandflächen und andere gestörte Standorte, wo er auch zur Dominanz gelangen und bestimmte Waldfunktionen beeinträchtigen kann (BAFU 2016, Gurtner et al 2015, Guthrie et al 2016, O'Neal & Davis 2015a). Die Etablierungswahrscheinlichkeit nach einem Waldbrand hängt von der Intensität des Feuers ab (Rebeck et al 2014). Der Götterbaum konkurrenziert einheimische Arten und kann Waldökosysteme umgestalten (Vilà et al 2006, Kowarik & Säumel 2007, Motard et al 2011, 2015, Castro-Diez et al 2014). Zudem könnten Götterbaumbestände aufgrund ihrer Wurzelarchitektur (Davies 1944) und des lokal häufigen Auftretens von Stammfäulen (Plozza & Schmid 2012, Knüsel et al 2015) eine geringere Schutzwirkung gegen Naturgefahren haben als einheimische Arten (BAFU 2016).

In China wird der Götterbaum von mehr als 40 Arthropodenarten und von etwa 20 Pathogenen befallen (Ding et al 2006), ausserhalb seines natürlichen Verbreitungsgebietes hat er dagegen kaum Feinde. Nur der aus China und Korea stammende Ailanthusspinner (*Samia cynthia*) ist in Europa lokal eingebürgert, so auch in der Südschweiz. Die Raupen dieses relativ seltenen Schmetterlings sind polyphag und fressen auch an *Sambucus*, *Juglans*, *Prunus* und anderen Laubgehölzen, aber der Götterbaum ist ihre wichtigste Wirtspflanze. Vom Wild wird der Götterbaum kaum verbissen, obwohl er zum Beispiel für Hirsche und Ziegen durchaus geniessbar ist (Kowarik & Säumel 2007).

Die genannten Eigenschaften machen den Götterbaum, der als eine der anpassungsfähigsten Pflanzen in gemässigten Klimazonen gilt, zu einer Problemart, die in die Liste der 20 invasivsten Pflanzen in Europa aufgenommen wurde (Sheppard et al 2006, Sladonja et al 2015) und die sich auch auf der «Schwarzen Liste» der Schweiz befindet (Info Flora 2014).⁴ Derzeit werden Strategien entwickelt, um die weitere Ausbreitung dieser Baumart zu verhindern bzw. etablierte Vorkommen in der freien Natur zu bekämpfen (BAFU 2016). Wir sollten dabei aber nicht

vergessen, dass der Götterbaum ursprünglich als Nutzpflanze eingeführt wurde und dass er in Zukunft durchaus gewisse Funktionen übernehmen könnte (Sladonja et al 2015). So könnte der Götterbaum in extrem trockenen Lagen bzw. unter sehr hohem Verbissdruck einheimische Baumarten ersetzen (Jan Wunder, persönliche Mitteilung).

Die Verticillium-Welke

Welkekrankheiten entstehen durch eine Infektion des Xylems, welche den Wassertransport in der Pflanze blockiert. In der Regel sind solche Infektionen tödlich, da sich die Erreger mit dem Saftstrom in der ganzen Pflanze ausbreiten. Die Ulmenwelke ist ein dramatisches Beispiel für diesen Krankheitstyp. Falls ein Welkeerreger jedoch eine unerwünschte exotische Baumart befällt und ausreichend wirtsspezifisch ist, könnte er als Mykoherbizid eingesetzt werden. Pilze aus der Gattung *Verticillium* sind dabei von besonderem Interesse, da sie aufgrund ihrer Bedeutung als Schaderreger an landwirtschaftlichen Kulturen relativ gut erforscht sind und die Verticillium-Welke auch beim Götterbaum natürlich vorkommt (Abbildung 2).

Die Verticillium-Welke wird von verschiedenen, voneinander nur schwer unterscheidbaren Pilzen (Askomyzeten) verursacht. Erst seit Kurzem können diese Krankheitserreger molekulargenetisch klar voneinander getrennt werden (Inderbitzin & Subbarao 2014). Schäden treten vorwiegend in landwirtschaftlichen Kulturen auf, gelegentlich werden auch Laubgehölze befallen. Bei Gehölzpflanzen wird diese Krankheit jedoch in der Regel nur an Ziergehölzen und in Baumschulen beobachtet. Im Wald tritt sie nur vereinzelt auf, kann aber nach Trockenstress lokal durchaus Schäden verursachen (Burgdorf et al 2014). Die *Verticillium*-Arten sind nur in der asexuellen Form bekannt und vermehren sich klonal (Milgroom et al 2014, 2016, Short et al 2015a). Trotzdem kann zwischen verschiedenen Genotypen einer Art gelegentlich ein Genaustausch vorkommen, und es können sich auch ohne sexuelle Vermehrung neue genetische Varianten entwickeln (de Jonge et al 2013, Milgroom et al 2014). Die *Verticillium*-Arten und -Genotypen unterscheiden sich in ihrer Wirtsspezifität und zum Teil auch in ihrer Verbreitung mehr oder weniger stark voneinander (Goud & Termorshuizen 2002, Neubauer et al 2009, Klostermann et al 2011, EFSA 2014, Inderbitzin & Subbarao 2014). Da die einzelnen Taxa aber morphologisch kaum voneinander unterscheidbar sind, sind unsere Kenntnisse über ihr ökologisches Verhalten lückenhaft.

⁴ www.infoflora.ch/de/assets/content/documents/neophyten/Schwarze%20Liste_Watch%20Liste_2014.pdf (22.6.2016)



Abb 2 Infolge einer *Verticillium*-Infektion absterbender Götterbaumbestand in Österreich.
Foto: Oliver Maschek

Die Taxonomie dieser Welkeerreger ist inzwischen weitgehend geklärt worden (Tabelle 1). Die beiden Hauptarten *V. albo-atrum* s.l. und *V. dahliae* sind nur genetisch oder in Reinkulturen voneinander unterscheidbar. *V. dahliae* bildet im Nährmedium regelmäßig diskrete, klumpige bis lang gestreckte, dunkle Mikrosklerotien, während *V. albo-atrum* s.l. meist bloss ein diffuses vielzelliges, dunkles Dauermyzel und nur gelegentlich Mikrosklerotien bildet (Domsch et al 2007, EFSA 2014, Maurer et al 2014). Die beiden Taxa wurden früher häufig miteinander verwechselt (Inderbitzin & Subbarao 2014; Christian Neubauer, persönliche Mitteilung). Die von *V. albo-atrum* s.l. neu abgegrenzte Art *V. nonalfalfae* bildet dagegen keine Mikrosklerotien (EFSA 2014). Die von *V. albo-atrum* s.l. ebenfalls neu abgetrennte Art *V. alfalfae* befällt offenbar keine Gehölzpflanzen und ist bisher nur von Luzerne (*Medicago sativa*) bekannt (EFSA 2014).

Im Boden kann *V. dahliae* durch Anreicherung der Mikrosklerotien mittels Nasssiebung, Ausplattierung auf einem Selektivmedium und Auszählen der charakteristischen Kulturen nachgewiesen werden (Neubauer & Heitmann 2011). Bei *V. albo-atrum* s.l. ist dies nicht möglich, da dieser Pilz in der Regel keine Mikrosklerotien bildet, weshalb man ihn nur aus erkrankten Pflanzen isolieren kann. Es stehen aber molekulare Methoden (Inderbitzin et al 2011, 2013, Kasson et al 2014, Peters 2012, Maurer et al 2014) zur Verfügung, mit denen man *V. nonalfalfae* wahrscheinlich auch im Boden nachweisen könnte. Im Wald wurde dies bis jetzt aber offenbar nie versucht.

V. dahliae und *V. albo-atrum* s.l. sind praktisch weltweit verbreitet (Tabelle 1). *V. dahliae* ist die häufigere Art und befällt verschiedene landwirtschaftliche Kulturpflanzen (EFSA 2014, Inderbitzin & Subbarao 2014) und Laubgehölze (Neubauer et al 2007,

2009). In Baumschulen sowie im Wald (z.B. in Bayern) verursacht *V. dahliae* gelegentlich Schäden an Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*; Burgdorf et al 2014, Schneidewind 2014). Auch der Götterbaum wird von *V. dahliae* infiziert (Maschek & Halmschlagler 2016a; Christian Neubauer, persönliche Mitteilung). Die von Inderbitzin et al (2011) neu beschriebene Art *V. nonalfalfae*, welche früher nicht von *V. albo-atrum* unterschieden wurde, befällt den Götterbaum ebenfalls (EFSA 2014). Einzelne, besonders aggressive Genotypen dieses Pilzes verursachen eine sehr bedeutende Krankheit an Hopfen; der Erreger ist deshalb relativ gut untersucht (Maurer et al 2014, Flajsman et al 2016, Jelen et al 2016). Von *V. nonalfalfae* existieren einzelne Genotypen, die sich relativ stark auf den Götterbaum spezialisiert haben (Kasson et al 2014, 2015). Die Verticillium-Welke an *A. altissima* tritt sowohl in Nordamerika (O'Neal & Davis 2015a, Rebbeck et al 2013, Snyder et al 2014) als auch in Europa sporadisch auf (Arnaud & Barthelet 1930, Goidanich 1935, Cech 1998, Skarmoutsos & Skarmoutsou 1998). Die genaue Art des Erregers lässt sich für ältere Nachweise, von denen weder Kulturen noch Herbarmaterial aufbewahrt wurden, nicht angeben. Das aktuelle Absterben des Götterbaums in Nordamerika sowie an zwei Standorten in Österreich (Maschek & Halmschlagler 2016a) ist jedoch eindeutig auf *V. nonalfalfae* zurückzuführen. Es wurde allerdings bislang nicht überprüft, ob der österreichische Genotyp mit demjenigen in Nordeuropa identisch ist.

In ihrer Biologie sind sich die *Verticillium*-Arten sehr ähnlich: Die Infektion der Wirtspflanzen erfolgt in der Regel über den Boden an jungen Wurzeln, ohne dass dazu Verletzungen notwendig sind. Im Wirt breitet sich der Pilz im Xylem aus (mit Myzel und auch über Sporen, die mit dem Transpirationsstrom verschleppt werden) und unterbricht damit den Wassertransport. Im Wirtsgewebe entwickeln sich Mikrosklerotien bzw. ein Dauermyzel, das nach der Zersetzung des Substrates als Inokulum im Boden verbleibt. Daneben können sich auf Pflanzenresten kurzlebige Sporen des Pilzes (Konidien) entwickeln, die wahrscheinlich mit dem Wind verbreitet werden (EFSA 2014).

Die Dauerformen von *Verticillium*-Arten können sehr lange (Mikrosklerotien bis ca. 15 Jahre, das Ruhemyzel ca. 2–5 Jahre) im Boden überleben, wobei die Dichte der Dauerstadien (und damit die Infektionswahrscheinlichkeit) jedoch mit der Zeit rasch abnimmt (Klostermann et al 2009). Die Überlebensdauer hängt unter anderem von der Bodentiefe, der Temperatur und dem pH-Wert des Bodens ab (Domsch et al 2007, O'Neal & Davis 2015a, Short et al 2015b). Die Dauerstadien des Pilzes können mit infizierter Erde, Pflanzenmaterial, Wasser, Wind, Tieren (z.B. Weidetiere, Insekten, Milben) verschleppt werden (Domsch et al 2007, EFSA 2014). Schall (2008) konnte

jedoch keine Übertragung von künstlich infizierten und abgestorbenen Ahornen (*Acer pennsylvanicum*) auf benachbarte gesunde Bäume der gleichen Art nachweisen. Beim Götterbaum erfolgt die Übertragung vor allem über Wurzelkontakte (O’Neal & Davis 2015b). Epidemiologische Studien zur Verticillium-Welke beschränkten sich bisher auf landwirtschaftliche Kulturen (vgl. Wu & Subbarao 2014, Short et al 2015b) und wurden für Wälder erst vor Kurzem initiiert (Snyder et al 2014, Chancey 2015⁵). Effiziente Vektoren wären die in China an *Ailanthus* vorkommenden Rüsselkäfer *Eucryptorrhynchus brandti* und *E. chinensis* (McAvoy et al 2014). Die genannten Käferarten sind monophag und könnten eventuell selbst zur biologischen Bekämpfung von *A. altissima* eingesetzt werden (Kok 2008, McAvoy et al 2014). Ausserhalb Chinas wurden sie jedoch bisher nicht nachgewiesen. In den USA und in Israel wurde jedoch der asiatische Ambrosiakäfer *Euwallacea validus* eingeschleppt, der ebenfalls ein potenzieller Vektor ist (Schall 2008, Davis 2015).

Ist *V. nonalfalfae* als Mykoherbizid geeignet?

Die biologische Bekämpfung von Pflanzen unterscheidet sich von anderen Methoden dadurch, dass die eingesetzten Organismen in der Natur überleben und sich im Lauf der Zeit auch verändern können. Allerdings entfalten invasive exotische Pflanzenarten wie der Götterbaum auch unerwünschte Wirkungen auf andere Arten bzw. Ökosystemfunktionen. Daher muss man diese gegen das von einer biologischen Bekämpfung ausgehende Risiko sorgfältig abwägen. Zudem muss auch abgeklärt werden, ob ein Organismus wirklich praktisch einsetzbar ist.

Technisch ist ein Einsatz von *V. nonalfalfae* kein Problem. Der Pilz kann über Wunden leicht in den Stamm inokuliert werden. Eine sehr einfache und elegante Inokulationsmethode dafür wurde von Maschek & Halmschlager (2016b) entwickelt. Als Inokulum werden meist Pilzsporen verwendet, die jedoch nur eine begrenzte Zeit haltbar sind. In steri-

ler Erde kultiviertes Dauermyzel ist jedoch ebenfalls gut geeignet und sehr lange haltbar (O’Neal & Davis 2015a). Der optimale Applikationszeitpunkt ist im Frühjahr (April bis Mai), aber auch während der übrigen Zeit des Jahres können die Bäume mit Erfolg inokuliert werden. Die Symptome entwickeln sich aber umso langsamer, je später im Jahr inokuliert wird, und sie erscheinen zum Teil erst im Folgejahr (O’Neal & Davis 2015a). Die Symptomexpression hängt auch von der Witterung ab: Sehr hohe Sommertemperaturen reduzieren die Krankheitssymptome, Trockenheit fördert sie aber (Kasson et al 2015, O’Neal & Davis 2015a).

Die Wirkung einer *Verticillium*-Inokulation ist in der Regel sehr gut: Die Krankheit breitet sich innerhalb eines Bestandes schnell aus, da in der Regel viele Stämme des Götterbaums über das Wurzelsystem miteinander verbunden sind (O’Neal & Davis 2015b). Auf einer Versuchsfläche in den USA, wo die Bäume künstlich mit *V. nonalfalfae* infiziert wurden, starben innerhalb von zehn Jahren sämtliche adulten Individuen ab, und einzelne junge Bäume (wahrscheinlich neue Sämlinge) waren ebenfalls infiziert. Schäden an anderen Pflanzenarten wurden auf den behandelten Flächen nicht beobachtet (Harris et al 2013, O’Neal & Davis 2015a). Dies gilt auch für Gehölze wie *Acer pennsylvanicum* oder *Sambucus racemosa*, die in Laborversuchen durchaus anfällig waren (Schall & Davis 2009b, Kasson et al 2015).

In Österreich wurden im Verbreitungsgebiet des Götterbaums an 12 von 22 untersuchten Standorten Symptome einer Verticillium-Welke beobachtet. An zwei dieser Standorte wurde erstmals in Europa *V. nonalfalfae* am Götterbaum nachgewiesen, an zehn weiteren Standorten wurde hingegen *V. dahliae* als Ursache der Welke identifiziert (Maschek 2011, Maschek & Halmschlager 2016a). Auch bei einem vor circa 20 Jahren festgestellten Absterben von Götterbäumen in der Südsteiermark wurde neben anderen Pilzen auch *Verticillium* nachgewiesen, der

⁵ www.fs.usda.gov/detail/wayne/news-events/?cid=STELPRD3840295 (26.2.2016)

| Aktuelle Artnamen | Frühere Namen | Bekannte Wirtspflanzen ⁴ | Verbreitung |
|---|---|--|--|
| <i>V. albo-atrum</i> s.s. ¹⁾ | <i>V. albo-atrum</i> ²⁾ (<i>V. dahliae</i>) | Zahlreiche Kulturpflanzen, einzelne Wildpflanzen ³⁾ | Afrika, Amerika, Asien, Europa, Ozeanien ³⁾ |
| <i>V. nonalfalfae</i> | <i>V. albo-atrum</i> ²⁾ | Baumwolle, Götterbaum , Hopfen, Petunie, Tomate, Sellerie, Spinat | Europa, Russland, Nordamerika, Neuseeland |
| <i>V. dahliae</i> | <i>V. dahliae</i> (<i>V. albo-atrum</i>) | Zahlreiche Laubgehölze (inkl. Götterbaum) und landwirtschaftliche Kulturpflanzen | Afrika, Amerika, Asien, Europa, Ozeanien |

Tab 1 An Gehölzpflanzen vorkommende Welkeerregere der Gattung *Verticillium* (nach Inderbitzin et al 2011, 2013, Inderbitzin & Subbarao 2014, EFSA 2014 und EPPO Global Database [https://gd.eppo.int]). 1) s.s. = sensu stricto (im engeren Sinne). 2) Dieser Name wird heute mit dem Zusatz s.l. = sensu lato (im weiteren Sinne) verwendet, wenn die Identität nicht mithilfe von molekular-genetischen Methoden eindeutig geklärt ist. 3) Die Angabe bezieht sich auf *V. albo-atrum* s.l. 4) Alle *Verticillium*-Arten treten in unterschiedlichen Biotypen auf, die eine mehr oder weniger starke Wirtsspezifität aufweisen.

Erreger aber nicht bis zur Art bestimmt (Cech 1998). Es kann daher nicht beurteilt werden, ob es sich damals schon um *V. nonalfalvae* oder eine andere *Verticillium*-Art handelte. Derzeit werden im Rahmen der Dissertation von Oliver Maschek (BOKU, Wien) unter anderem das Verhalten europäischer Genotypen von *V. nonalfalvae* auf dem Götterbaum und mögliche Nebenwirkungen auf andere Baumarten getestet (Erhard Halmschlager, persönliche Mitteilung).

Beim Einsatz von Mykoherbiziden sind ausser unerwünschten Effekten auf andere Pflanzenarten auch evolutive Anpassungen von Wirt und Parasit vorstellbar: Die Entwicklung einer Resistenz gegen die Verticillium-Welke ist durchaus möglich und wird bei der Pflanzenzüchtung genutzt (z.B. Klostermann et al 2009, Hayes et al 2011, Trapero et al 2015). Beim Götterbaum wurden aber bisher keine resistenten Genotypen beobachtet, und falls solche auftreten sollten, könnten diese mit anderen Methoden gezielt eliminiert werden. Beim Pilz könnte das grossflächige Ausbringen eines bestimmten Genotyps (auch von einer einheimischen Art) die evolutiven Bedingungen verändern und möglicherweise die Entwicklung neuer Genotypen fördern (EFSA 2014). Bei dem in Skandinavien seit Langem zur biologischen Bekämpfung des Wurzelschwammes (*Heterobasidion annosum*) eingesetzten Pilz *Phlebiopsis gigantea* konnten jedoch keine genetischen Veränderungen nachgewiesen werden (Samils et al 2009).

Fazit

Mit dem – nach bisheriger Kenntnis – sehr wirtsspezifischen Genotyp von *V. nonalfalvae* ist ein sehr wirksames Mykoherbizid für den Götterbaum verfügbar. Bei der Naturverjüngung auf einem infizierten Standort erfolgt eine kontinuierliche Selektion der Sämlinge, sodass sich die Präsenz des Pathogens langfristig nur im lokalen Vorkommen resistenter oder toleranter Baumarten bzw. -genotypen zeigt. In naturnahen Wäldern sollte die Verticillium-Welke deshalb kein ernsthaftes Problem darstellen. Eine Verschleppung von *Ailanthus*-spezifischen Genotypen des Krankheitserregers in das natürliche Verbreitungsgebiet des Wirtes in China könnte allerdings dramatische Folgen für die natürliche Population dieses Baumes haben, sofern dort keine oder nur wenige resistente Genotypen vorkommen. Zwar wurde bislang noch keine Ausrottung einer Pflanzenart durch ein Pathogen beobachtet (Smith et al 2006), es ist aber unbestritten, dass Krankheiten auch bei Pflanzen durchaus zur Gefährdung von Arten beitragen können (Heard et al 2013). Verschiedene Pilzarten wurden – nach sorgfältiger Risikoabwägung – in verschiedenen Ländern bereits

zur biologischen Bekämpfung von unerwünschten Pflanzen freigesetzt, und in keinem Fall kam es dabei zu besorgniserregenden Nebenwirkungen (Goettel et al 2001, Barton 2004, Suckling & Sforza 2014). Bei den in Europa an *A. altissima* parasitierenden *V. nonalfalvae*-Genotypen besteht sehr wahrscheinlich eine ausgeprägte Wirtsspezialisierung, da dieser Baum hier keine näheren Verwandten hat (De Vienne et al 2009, Gilbert et al 2012). Das Risiko einer Ausbreitung auf andere Pflanzenarten dürfte in Europa ähnlich wie in Nordamerika deshalb sehr gering sein. Ganz ausgeschlossen werden kann es jedoch nicht, wie das Beispiel des Eichenmehltaues zeigt, der wahrscheinlich mit Mangopflanzen nach Europa eingeschleppt wurde (Desprez-Loustau et al 2011). Ein häufiger Einsatz von *V. nonalfalvae* könnte die Chance einer Begegnung mit anderen genetischen Linien des gleichen Pilzes erhöhen und damit auch die Möglichkeit eines Genaustausches. Die Voraussetzung dafür wäre jedoch eine gleichzeitige Infektion eines Götterbaumes mit unterschiedlichen Genotypen des Erregers. Wir erachten das Risiko einer solchen Begegnung im Wald als sehr gering, da in Wäldern bislang fast ausschliesslich *V. dahliae* nachgewiesen wurde. Aber Verticillium-Infektionen müssen keine sichtbaren Symptome verursachen, und gesunde Wildpflanzen wurden nur selten auf Pilzinfektionen untersucht. Immerhin wurden Welkerreger aus der Gattung *Verticillium* bislang nie als Endophyten in Waldbäumen gefunden.

Da der Götterbaum 1) eine gewisse Bedrohung für einheimische Arten darstellt, 2) seine Bekämpfung in der Schweiz derzeit politisch erwünscht ist, 3) ein potenziell geeigneter Pilzstamm aus Europa verfügbar ist (Maschek & Halmschlager 2016a) und 4) die gleiche Pilzart in den USA nach langjährigen Tests erfolgreich eingesetzt wird (O'Neal & Davis 2015a, 2015b, Chancey 2015), wäre unserer Meinung nach eine versuchsweise Anwendung eines österreichischen Isolates von *V. nonalfalvae* an einem gut ausgewählten (d.h. von der Umgebung durch Nichtwirtspflanzen isolierten) Standort in der Schweiz durchaus sinnvoll. Dort könnten neben der Wirksamkeit auch die Anfälligkeit weiterer Pflanzenarten, die Persistenz des Pilzes und die Sukzession nach einem Mykoherbizideinsatz unter realistischen Bedingungen beobachtet werden (vgl. EFSA 2016a, 2016b). Voraussetzung dafür wäre jedoch die Bewilligung der zuständigen Behörde gemäss der Verordnung über den Umgang mit Organismen in der Umwelt vom 10. September 2008 (FrSV; SR 814.911), ähnlich wie dies auch in den EU-Ländern der Fall ist (EPPO 2014). Ein solches Freilandexperiment sollte allerdings erst dann angelegt werden, wenn die derzeit in Österreich laufenden Untersuchungen abgeschlossen sind und bezüglich der Wirtsspezifität zu einem ähnlichen Ergebnis kommen wie die Studien in den USA. Ergänzend sollte vorher auch

die Anfälligkeit ausgewählter landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, die für die Schweiz von besonderem Interesse sind, in einem geschlossenen System getestet werden. ■

Eingereicht: 29. Februar 2016, akzeptiert (mit Review): 24. Juni 2016

Dank

Wir bedanken uns bei Thomas Cech, Marco Conedera, Giorgio Moretti, Erhard Halmschlager, Roman Kaiser, Oliver Maschek, Christian Neubauer, Lioba Paul, Marco Pautasso, Thomas N. Sieber und Jan Wunder für wertvolle Hinweise.

Literatur

- ARNABOLDI F, CONEDERA M, MASPOLI G (2002) Distribuzione e potenziale invasivo di *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle nel Ticino centrale. *Boll Soc Tic Sci Nat* 90: 1–2.
- ARNAUD G, BARTHELET J (1930) Le dépérissement des Ailantes et le *Verticillium dahliae* Klebahn. *Rev Pathol Veget Entomol Agric France* 17: 227–230.
- BAFU (2016) Leitfaden zum Umgang mit dem Götterbaum (*Ailanthus altissima*). Bern: Bundesamt Umwelt. 17 p.
- BALLERO M, ARIU A, FALAGIANI P, PIU G (2003) Allergy to *Ailanthus altissima* (tree of heaven) pollen. *Allergy* 58: 532–533.
- BARTON J (2004) How good are we at predicting the field host-range of fungal pathogens used for classical biological control of weeds? *Biol Control* 31: 99–122.
- BOSTAN C, BORLEA F, MIHOC C, SELESAN M (2014) *Ailanthus altissima* species invasion on biodiversity caused by potential allelopathy. *Res J Agric Sci* 46: 95–103.
- BRANDNER R (2009) Götterbaum – *Ailanthus altissima*: Integration vers. Aversion – Eine Baum- und Holzart mit Zukunft! Graz: holz.bau forschungs gmbh. https://online.tugraz.at/tug_online/voe_main2.getvolltext?pCurrPk=43955 (26.2.2016)
- BURGDORF N, BLASCHKE M, PETERCORD R, FLEISCHMANN F, OSSWALD W (2014) Verticillium-Welke bei Bergahorn. *Freising: Bayerische Landesanstalt Wald Forstwirtschaft, LWF aktuell* 102. pp. 32–35.
- CASTRO-DIEZ P, VALLE R, GONZALEZ-MUNOZ N, ALONSO A (2014) Can the life-history strategy explain the success of the exotic trees *Ailanthus altissima* and *Robinia pseudoacacia* in Iberian floodplain forests? *PLoS One* 9: e100254.
- CECH T (1998) Absterben von Götterbäumen. Wien: Bundesforschungszentrum Wald, Forstschutz Aktuell 22. p. 16.
- CONSTAN-NAVA S, BONET A, PASTOR E, LLEDRO MJ (2010) Long-term control of the invasive tree *Ailanthus altissima*: Insights from Mediterranean protected forests. *For Ecol Manage* 260: 1058–1064.
- DAVIES PA (1944) The root system of *Ailanthus altissima*. *Trans Kentucky Acad Sci* 11: 33–35.
- DAVIS D (2015) Role of an ambrosia beetle (*Euwallacea validus*) in dissemination of the fungus *Verticillium albo-atrum*, causal agent of Verticillium-wilt of tree-of-heaven (*Ailanthus altissima*). Fort Collins: Forest Health technology enterprise team. 2 p. www.fs.fed.us/foresthealth/technology/pdfs/BCIP_2011_Davis_Final_Report.pdf (24.6.2016)
- DESPREZ-LOUSTAU ML, FEAU N, MOUGOU-HAMDANE A, DUTECH C (2011) Interspecific and intraspecific diversity in oak powdery mildews in Europe: coevolution history and adaptation to their hosts. *Mycoscience* 52: 165–173.
- DE JONGE R, BOLTON MD, KOMBRINK A, VAN DEN BERG GCM, YADETA KA ET AL (2013) Extensive chromosomal reshuffling drives evolution of virulence in an asexual pathogen. *Genome Res* 23: 1271–1282.
- DE VIENNE D, HOOD M, GIRAUD T (2009) Phylogenetic determinants of potential host shifts in fungal pathogens. *J Evol Biol* 22: 2532–2541.
- DING JY, WU Y, ZHENG H, FU W, REARDON R ET AL (2006) Assessing potential biological control of the invasive plant, tree-of-heaven, *Ailanthus altissima*. *Biocontrol Sci Technol* 16: 547–566.
- DOMSCH KH, GAMS W, ANDERSON TH (2007) Compendium of soil fungi. Eching: IHW-Verlag. 672 p.
- EFSA (2014) Scientific opinion on the pest categorisation of *Verticillium albo-atrum* sensu stricto Reineke and Berhold, *V. alfalfae* Inderb., HW Platt, RM Bostock, RM Davis & KV Subbarao, sp. nov., and *V. nonalfalfae* Inderb., HW Platt, RM Bostock, RM Davis & KV Subbarao, sp. nov. *EFSA J* 12: 3927.
- EFSA (2015) Statement on the assessment of the risk posed to plant health in the EU territory by the intentional release of biological control agents of invasive alien plant species. *EFSA J* 13: 4134.
- EFSA (2016A) Coverage of endangered species in environmental risk assessments at EFSA. *EFSA J* 14: 4312.
- EFSA (2016B) Recovery in environmental risk assessments at EFSA. *EFSA J* 14: 4313.
- EPPO (2014) PM 6/2 (3), Import and release of non-indigenous biological control agents. *EPPO Bull* 44: 320–323.
- FLAJSMAN M, MANDELIC S, RADISEK S, STAJNER N, JAKSE J ET AL (2016) Identification of novel virulence-associated proteins secreted to xylem by *Verticillium nonalfalfae* during colonization of hop plants. *Mol Plant Microbe In* 29: 326–373.
- FLORA OF CHINA (2016) *Ailanthus*. *Flora China Vol. 11*: 100–102. www.efloras.org/flora_page.aspx?flora_id=2 (26.2.2016)
- GILBERT GS, MAGAREY R, SUITER K, WEBB CO (2012) Evolutionary tools for phytosanitary risk analysis: phylogenetic signal as a predictor of host range of plant pests and pathogens. *Evol Appl* 5: 869–878.
- GOETTEL MS, HAJEK AE, SIEGEL JP, EVANS HC (2001) Safety of fungal biocontrol agents. In: Butt TM, Jackson C, Magan N, editors. *Fungi as biocontrol agents*. Wallingford: CAB International. pp. 347–375.
- GOIDANICH G (1935) Nuovi casi di tracheomicosi da «Verticillium» in Italia. Osservazioni su una specie nuova di «Verticillium» tracheicolo. *Boll Staz Pat Veg* 15: 548–554.
- GOMEZ-APARICIO L, CANHAM CD (2008) Neighbourhood analyses of the allelopathic effects of the invasive tree *Ailanthus altissima* in temperate forests. *J Ecol* 96: 447–458.
- GOUD J, TERMORSHUIZEN A (2002) Pathogenicity and virulence of the two Dutch VCGs of *Verticillium dahliae* to woody ornamentals. *Eur J Plant Pathol* 108: 771–782.
- GOVER A, JOHNSON J (2004) Managing Tree-of-Heaven on roadsides. University Park/PA: Pennsylvania State Univ, Department Horticulture, College Agricultural Sciences, Roadside Vegetation Management Factsheet 3. 3 p.
- GU XB, FANG CL, YANG GY, XIE Y, NONG X ET AL (2014) Acaricidal properties of an *Ailanthus altissima* bark extract against *Psoroptes cuniculi* and *Sarcoptes scabiei* var. *cuniculi* in vitro. *Exp Appl Acarol* 62: 225–232.
- GURTNER D, CONEDERA M, RIGLING A, WUNDER J (2015) Der Götterbaum dringt in die Wälder nördlich der Alpen vor. *Wald Holz* 96 (7): 22–24.
- GUTHRIE SG, CRANDALL RM, KNIGHT TM (2016) Fire indirectly benefits fitness in two invasive species. *Biol Invasions*. doi: 10.1007/s10530-016-1064-y
- HARRIS PT, CANNON GH, SMITH NE, MUTH NZ (2013) Assessment of plant community restoration following Tree-of-Heaven (*Ailanthus altissima*) control by *Verticillium albo-atrum*. *Biol Invasions* 15: 1887–1893.

- HAYES RJ, MARUHACHALAM K, VALLAD GE, KLOSTERMANN SJ, SUBBARAO KV (2011) Selection for resistance to *Verticillium* wilt caused by race 2 isolates of *Verticillium dahliae* in accessions of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Hort Sci 46: 201–296.
- HEARD MJ, SMITH KF, RIPP KJ, BERGER M, CHEN J ET AL (2013) The threat of disease increases as species move toward extinction. Cons Biol 27: 1378–1388.
- HU SY (1979) *Ailanthus*. Arnoldia 39 (2): 29–50.
- HUEBNER C, REBBECK J (2014) *Ailanthus*: A nonnative urban tree is causing trouble in our forests. Newton Square/PA: US Forest Service Northeastern Research Station, Research Review. 22. 5 p.
- INDERBITZIN P, BOSTOCK RM, DAVIS RM, USAMI T, PLATT HW, SUBBARAO KV (2011) Phylogenetics and taxonomy of the fungal vascular wilt pathogen *Verticillium*, with the descriptions of five new species. PLoS One 6: e28341.
- INDERBITZIN P, DAVIS RM, BOSTOCK RM, SUBBARAO KV (2013) Identification and differentiation of *Verticillium* species and *V. longisporum* lineages by simplex and multiplex PCR assays. PLoS ONE 8: e65990.
- INDERBITZIN P, SUBBARAO KV (2014) *Verticillium* systematics and evolution: How confusion impedes *Verticillium* wilt management and how to resolve it. Phytopathology 104: 564–574.
- INFO FLORA (2012) Götterbaum. Bern: Info Flora, Infoblatt. 3 p.
- JELÉN V, DE JONGE R, VAN DE PEER Y, JAVORNIK B, JAKSE J (2016) Complete mitochondrial genome of the *Verticillium*-wilt causing plant pathogen *Verticillium nonalfalfae*. PLoS ONE 11: e0148525.
- KASSON MT, SHORT D, O'NEAL ES, SUBBARAO KV, DAVIS D (2014) Comparative pathogenicity, biocontrol efficacy, and multilocus sequence typing of *Verticillium nonalfalfae* from the invasive *Ailanthus altissima* and other hosts. Phytopathology 104: 282–292.
- KASSON MT, O'NEAL ES, DAVIS D (2015) Expanded host range testing for *Verticillium nonalfalfae*: potential biocontrol agent against the invasive *Ailanthus altissima*. Plant Dis 99: 823–835.
- KIERMEIER P (1987) Ausbreitung von Gehölzen durch Ausläufer. Neue Landschaft 32: 371–377.
- KLOSTERMANN SJ, ATALLAH ZK, VALLAD GE, SUBBARAO KV (2009) Diversity, pathogenicity and management of *Verticillium* species. Ann Rev Phytopathol 47: 39–62.
- KLOSTERMANN SJ, SUBBARAO KV, KANG S, VERONESE P, GOLD SE ET AL (2011) Comparative genomics yields insights into niche adaptation of plant vascular wilt pathogens. PLoS Pathog 7: e1002137.
- KNÜSEL S, CONEDERA M, RIGLING A, FONTI P, WUNDER J (2015) A tree-ring perspective on the invasion of *Ailanthus altissima* in protection forests. For Ecol Manage 353: 334–343.
- KOK LT, SALOM SM, YAN S, HERRICK NJ, MCAVOY TJ (2008) Quarantine evaluation of *Eucryptorrhynchus brandti* (Harold) (Coleoptera: Curculionidae), a potential biological control agent of tree of heaven, *Ailanthus altissima*, in Virginia, USA. In: Julien MH, Sforza M, Bon MC, Evans HC, Hatcher PE et al, editors. Wallingford: CAB International, Proceedings of the XII International Symposium on Biological Control of Weeds. pp. 292–300.
- KOWARIK I (2010) Biologische Invasionen. Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Stuttgart: Ulmer, 2 ed. 492 p.
- KOWARIK I., SÄUMEL I (2007) Biological flora of Central Europe: *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. Perspect. Plant Ecol Evol Syst 8: 207–237.
- LAWRENCE JG, COLWELL A, SEXTON OJ (1991) The ecological impact of allelopathy in *Ailanthus altissima* (Simaroubaceae). Am J Bot 78: 948–958.
- MASCHEK O (2011) Untersuchungen zur biologischen Bekämpfung von *Ailanthus altissima*. Wien: Univ Bodenkultur, Masterarbeit. 53 p.
- MASCHEK O, HALMSCHLAGER E (2016A) First report of *Verticillium* wilt on *Ailanthus altissima* in Europe caused by *Verticillium nonalfalfae*. Plant Dis 100: 529.
- MASCHEK O, HALMSCHLAGER E (2016B) A rapid, reliable and less-destructive method for stem inoculations in trees. For Pathol 46: 171–173.
- MAURER KA, BERG G, SEEFELDER S (2014) Untersuchungen zur *Verticillium*-Welke im Hopfenanbaugebiet Hallertau. Gesunde Pflanzen 66: 53–61.
- MCAVOY TJ, SALOM SM, YU B, LI HL, DU YZ ET AL (2014) Occurrence and development of *Eucryptorrhynchus brandti* and *E. chinensis* (Coleoptera: Curculionidae) on *Ailanthus altissima* trees subjected to different levels of mechanical damage. Biocontrol Sci Technol 24: 65–79.
- MILGROOM MG, DEL MAR JIMENEZ-GASCO M, OLIVARES-GARCIA C, DROTT MT, JIMENEZ-DIAZ RM (2014) Recombination between clonal lineages of the asexual fungus *Verticillium dahliae* detected by genotyping by sequencing. PLoS ONE 9: e106740.
- MILGROOM MG, DEL MAR JIMENEZ-GASCO M, OLIVARES-GARCIA C, JIMENEZ-DIAZ RM (2016) Clonal expansion and migration of a highly virulent, defoliating lineage of *Verticillium dahliae*. Phytopathology. 106 (in press). PHYTO11150300.
- MILLER J (1990) *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle. In: Burns RM, Honkala BH, editors. Silvics of North America, vol. 2: Hardwoods. Washington: US Department of Agriculture, Forest Service. pp. 101–104.
- MOTARD, EA, MURATET D, CLAIR-MACZULAJTYS, MACHON N (2011) Does the invasive species *Ailanthus altissima* threaten floristic diversity of temperate peri-urban forests? Comptes rendus biol 334: 872–879.
- MOTARD E, DUSZ S, GESLIN B, AKPA-VINCESLAS M, HIGNARD C ET AL (2015) How invasion by *Ailanthus altissima* transforms soil and litter communities in a temperate forest ecosystem. Biol Invasions 17: 1817–1832.
- NEUBAUER C, SCHACHT H, HEITMANN B (2007) Untersuchungen zu Auftreten und Bekämpfung der *Verticillium*-Welke in Baumschulen. Osnabrück: Fachhochschule Osnabrück, Abschlussbericht AGIP Forschungsvorhaben. 60 p.
- NEUBAUER C, HEITMANN B, VOGEL C (2009) Morphology, vegetative compatibility and pathogenicity of *Verticillium dahliae* isolates from woody ornamentals in Germany. J Plant Dis Protect 116: 109–114.
- NEUBAUER C, HEITMANN B (2011) Quantitativer Nachweis von *Verticillium dahliae* im Boden als Grundlage der Flächenauswahl im Gartenbau. J Kulturpfl 63 (1): 1–8.
- PETERS J (2012) Detection and quantification of *Verticillium dahliae* and *V. albo-atrum* in soils to determine risk of *Verticillium* wilt in strawberry. Fera: Agriculture Horticulture Development Board. 61 p.
- O'NEAL ES, DAVIS D (2015A) Biocontrol of *Ailanthus altissima*: inoculation protocol and risk assessment for *Verticillium nonalfalfae* (Plectosphaerellaceae, Phyllochorales). Biocontrol Sci Technol 25: 950–969.
- O'NEAL ES, DAVIS D (2015B) Intraspecific root grafts and clonal growth within *Ailanthus altissima* stands influence *Verticillium nonalfalfae* transmission. Plant Dis 99: 1070–1077.
- PLOZZA L, SCHMID L (2012) Der Götterbaum im Misox. Problematik im Schutzwald. Bündner Wald (3): 37–40.
- RADTKE A, AMBRASS S, ZERBE S, TONON G, FONTANA V ET AL (2013) Traditional coppice forest management drives the invasion of *Ailanthus altissima* and *Robinia pseudoacacia* into deciduous forests. For Ecol Manage 291: 308–317.
- REBBECK J, MALONE M, SHORT D, KASSON M, O'NEAL E ET AL (2013) First report of *Verticillium* wilt caused by *Verticillium nonalfalfae* on tree-of-heaven (*Ailanthus altissima*) in Ohio. Plant Dis 97: 999.

- REBBECK J, HUTCHINSON T, IVERSON L, PETERS M, YAUSSEY D ET AL (2014) *Ailanthus* and prescribed fire: is it a volatile combination? In: Waldrop TA, editor. Proceedings: wildland fire in the Appalachians: discussions among managers and scientists. Asheville/NC: USDA Forest Service, Southern Research Station, General Technical Report SRS-GTR 199. pp. 48–52.
- REBBECK J, KLOSS A, BOWDEN M, COON C, HUTCHINSON TF ET AL (2015) Aerial detection of seed-bearing female *Ailanthus altissima*: A cost-effective method to map invasive tree in forested landscapes. *For Sci* 61: 1068–1078.
- SAMILS N, VASAITIS R, STENLID J (2009) Impact of the biological control agent *Phlebiopsis gigantea* on its resident genetic structure in the Baltic Sea area. *Biocontrol Sci Technol* 19: 263–276.
- SCHALL MJ (2008) Verticillium wilt of *Ailanthus altissima*. University Park/PA: Pennsylvania State Univ, College Agricultural Sciences, PhD-thesis. 202 p.
- SCHALL MJ, DAVIS DD (2009A) *Ailanthus altissima* wilt and mortality: etiology. *Plant Dis* 93: 747–51.
- SCHALL M, DAVIS DD (2009B) Verticillium wilt of *Ailanthus altissima*: susceptibility of associated tree species. *Plant Dis* 93: 1158–1162.
- SCHNEIDEWIND A (2014) Provenienz-Vergleich samenecht gezogener Bergahorn und Auswirkungen der parasitären Verticillium-Welke. Quedlinburg: Zentrum Gartenbau und Technik, Versuche in der Landespflege 5. 2 p.
- SHEPPARD AW, SHAW RH, SFORZA R (2006) Top 20 environmental weeds for classical biological control in Europe: a review of opportunities, regulations and other barriers to adoption. *Weed research* 46: 93–117.
- SHORT DPG, GURUNG S, GLADIEUX P, INDERBITZIN P, ATALLAH ZK ET AL (2015A) Globally invading populations of the fungal plant pathogen *Verticillium dahliae* are dominated by multiple divergent lines. *Environ Microbiol* 17: 2824–2840.
- SHORT DPG, SANDOYA G, VALLAD GE, KOIKE ST, XIAO CL ET AL (2015B) Dynamics of *Verticillium* species microsclerotia in field soils in response to fumigation, cropping patterns, and flooding. *Phytopathology* 105: 638–645.
- SKARMOUTSOS G, SKARMOUTSOU H (1998) Occurrence of wilt disease caused by *Verticillium dahliae* on *Ailanthus glandulosa* in Greece. *Plant Dis* 82: 129.
- SLADONJA B, SUŠEK M, GUILLERMIC J (2015) Review on invasive tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) conflicting values: assessment of its ecosystem services and potential biological threat. *Environ Manage* 56: 1009–1034.
- SMITH KF, SAX DF, LAFFERTY KD (2006) Evidence for the role of infectious disease in species extinction and endangerment. *Conserv Biol* 20: 1349–1357.
- SNYDER AL, SALOM SM, KOK LT (2014) Survey of *Verticillium nonalfalfae* (*Phyllachorales*) on tree-of-heaven in the southeastern USA. *Biocontrol Sci Technol* 24: 303–314.
- SUCKLING DM, SFORZA RFH (2014) What magnitude are observed non-target impacts from weed biocontrol? *PLoS ONE* 9: e84847.
- TANNER RA, POLLARD KM, VARIA S, EVANS HC, ELLISON CA (2015) First release of a fungal classical biocontrol agent against an invasive alien weed in Europe: biology of the rust, *Puccinia komarovii* var. *glanduliferae*. *Plant Pathol* 64: 1130–1139.
- TRAPERO C, RALLO L, LOPEZ-ESCUERO FJ, BARRANCO D, DIEZ CM (2015) Variability and selection of verticillium wilt resistant genotypes in cultivated olive and in the *Olea* genus. *Plant Pathol* 64: 890–900.
- VILÀ M, TESSIER M, SUEHS CM, BRUNDU G, CARTA L ET AL (2006) Local and regional assessments of the impacts of plant invaders on vegetation structure and soil properties of Mediterranean islands. *J Biogeogr* 33: 853–861.
- WU BM, SUBBARAO KV (2015) A model for multiseasonal spread of verticillium wilt in lettuce. *Phytopathology* 104: 908–917.
- WUNDER J, NOBIS M, CONEDERA M, GAY JL (2014A) La place de l'ailante en forêt reste à étudier. *La Forêt* 67 (11): 12–16.
- WUNDER J, NOBIS M, CONEDERA M (2014B) Der Götterbaum – eine Gefahr für den Schweizer Wald? *Wald Holz* 95 (6): 40–43.

Le flétrissement verticillien – une option dans la lutte contre l'ailante en Suisse?

L'ailante (*Ailanthus altissima*) est une espèce d'arbre invasive, originaire de Chine et qui se propage en Australie, en Europe ainsi qu'en Amérique de Nord. Elle est de plus en plus présente dans les forêts suisses et est considérée comme espèce problématique au vu de sa grande compétitivité. En Europe et en Amérique du Nord, l'ailante souffre parfois du flétrissement verticillien causé par différents champignons du genre *Verticillium*. L'identité exacte des champignons impliqués a été déterminée récemment grâce à des méthodes de génétique moléculaire. En plus de *Verticillium dahliae*, un champignon que l'on retrouve en particulier dans les cultures maïs également répandu sur les plantes ligneuses, une espèce nouvellement décrite comme *Verticillium nonalfalfae* a été découverte sur des ailantes en Europe et en Amérique du Nord. Certains génotypes de *V. nonalfalfae* en Amérique du Nord démontrent une haute spécificité pour leur hôte et sont déjà utilisés aux Etats-Unis dans la lutte contre l'ailante en forêt. Nous résumons la littérature concernant l'ailante et le flétrissement verticillien et discutons de la possibilité d'utiliser *V. nonalfalfae* dans la lutte biologique contre l'ailante en Suisse.

The Verticillium wilt – an option for control of *Ailanthus* in Switzerland?

Ailanthus (Ailanthus altissima), a species native to China, is becoming increasingly invasive in Australia, Europe and North America. More and more frequently, the tree is also found in Swiss forests and, due to its high competitiveness, is regarded as an invasive species. In Europe and North America, *A. altissima* is occasionally affected by a wilt disease, which is caused by several species of the genus *Verticillium*. The precise identity of the pathogens was only recently clarified by molecular genetic methods. In addition to *Verticillium dahliae*, a widespread fungus mainly affecting agricultural crops as well as woody plants, the recently described species *Verticillium nonalfalfae* was detected on dying *A. altissima* trees. Individual genotypes of this pathogen in North America show high host specificity and are already used for biological control of *A. altissima* in US forests. Our article summarizes the current literature on *Ailanthus* and the Verticillium wilt and furthermore discusses the question of whether the use of *V. nonalfalfae* as a mycoherbicide should also be considered for Switzerland.