Über die Invasivität der Douglasie und ihre Auswirkungen auf Boden und Biodiversität

Thomas Wohlgemuth[1,*], Barbara Moser[1], Elisabeth Pötzelsberger[2], Andreas Rigling[1,3], Martin M. Gossner[1,3]

[1] Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)
[2] European Forest Institute, EFI Bonn (DE)
[3] ETH Zürich (CH)

Abstract

In der Diskussion um die Aufrechterhaltung der Ökosystemleistungen von Wäldern im Klimawandel stehen dem Nutzen von gebietsfremden Baumarten ernsthafte Bedenken des Naturschutzes gegenüber. Die Frage, ob eine Baumart invasiv ist oder nicht, bringt die beiden Positionen auf den Punkt. Der vorliegende Artikel überprüft den Invasivitätsstatus für die Gewöhnliche Douglasie *(Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco), die als Zukunftsbaumart gilt. Es wird dabei von der in der Schweiz gültigen Definition ausgegangen, wonach sich ausbreitende gebietsfremde Arten invasiv sind, wenn sie die Biodiversität und Ökosystemleistungen beeinträchtigen oder Mensch und Umwelt gefährden. Angesichts fehlender Hinweise auf eine selbstständige Ausbreitung der Baumart kann die Douglasie in der Schweiz nicht als invasiv bezeichnet werden. Vergleichsstudien in Mitteleuropa belegen, dass der Anbau der Douglasie nicht nachteilig auf die Bodeneigenschaften wirkt. Im Vergleich zu Rein- und Mischbeständen aus Eiche, Buche und Fichte bieten jedoch Douglasienreinbestände ungünstigere Lebensräume für Tier- und Pilzarten, was sich in geringeren Artenzahlen ausdrückt. Für Gefässpflanzen und Moose sind die Unterschiede stark von der Bestandesstruktur abhängig und daher steuerbar. Wir folgern daher, dass die Douglasie in naturnah bestockten Wäldern beigemischt werden kann, wobei mögliche Auswirkungen auf die Biodiversität kontinuierlich beobachtet werden müssen.

Keywords: biodiversity, comparison of stands, invasion, *Pseudotsuga menziesii,* soil properties, species groups
doi: 10.3188/szf.2021.0118

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail thomas.wohlgemuth@wsl.ch

Als gebietsfremd werden Arten bezeichnet, die ausserhalb ihres ursprünglichen Verbreitungsgebiets wachsen (Schweizerischer Bundesrat 2016). Um den Anbau von gebietsfremden Baumarten im Schweizer Wald hat sich eine lebhafte Diskussion entwickelt. Vertreter des Naturschutzes sehen darin eine Gefahr für die Biodiversität, Vertreter der Forstwirtschaft ziehen hingegen für die Aufrechterhaltung bestimmter Waldleistungen geeignete gebietsfremde Baumarten in Betracht (z.B. Brang et al 2016, Rigling et al 2016). Im Schweizer Wald wurden schon öfter, jedoch meist in geringer Anzahl, gebietsfremde Baumarten angepflanzt, viele davon bereits vor mehr als 100 Jahren (Bürgi & Diez 1986). Waren es bis vor Kurzem noch Überlegungen zur Produktionsoptimierung und zur Diversifizierung des Sortiments, steht heute als Motivation die Sorge um die Erhaltung der Waldfunktionen und damit der vielfältigen Ökosystemleistungen in einem sich ändernden Klima im Vordergrund. Welche Arten sollen die Fichte *(Picea abies* [L.] H. Karst.) und die Buche *(Fagus sylvatica* L.), die als Folge von neuartiger Sommerhitze und häufigerer Trockenheit immer grössere Ausfälle verzeichnen (Schuldt et al 2020, Wohlgemuth et al 2020), an problematischen Standorten ersetzen oder ergänzen? Eine oft genannte Zukunftsbaumart ist die Gewöhnliche Douglasie *(Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco), heute mit 0.2% Stammzahlanteil nach der Robinie *(Robinia pseudoacacia* L.) die zweithäufigste gebietsfremde Baumart im Schweizer Wald (Brändli et al 2020). Mit dem Aufzeigen ihres grossen Potenzials bei Trockenheit (Eilmann & Rigling 2012, Lévesque et al 2015) und dem Ruf nach einem breiteren Einsatz dieser Art in der Schweiz (z.B. Schütz 2020) nimmt aber auch die Ungewissheit zu, in welcher Weise ihr ver-

mehrter Anbau negative Folgen für die Biodiversität von Wäldern oder Offenland-Ökosystemen haben könnte (Holderegger et al 2017). Tatsächlich wird in Deutschland eine Ausweitung des Anbaus der Douglasie von aktuell 2% auf bis zu 10% der Waldfläche für möglich gehalten (Beinhofer & Knoke 2010, Reif et al 2010). In der Schweiz ist eine Beimischung der Douglasie in weit verbreiteten Waldgesellschaften der Tieflagen toleriert (z.B. Schmider et al 1994), im Kanton Luzern wird ein maximaler Anteil von 20% angegeben (von Wyl et al 2014). Skepsis ist daher verständlich und nötig (Tschopp et al 2015, Holderegger et al 2017). Eine zentrale Frage ist in diesem Zusammenhang, ob die Douglasie als invasiv zu bezeichnen ist.

Mit dieser Studie klären wir den Invasivitätsstatus der Douglasie für die Schweiz ab und vergleichen diesen mit dem Status in anderen Ländern. Insbesondere prüfen wir mit uns verfügbaren Informationen der letzten 20 Jahre die Auswirkungen von Douglasienpflanzungen auf Bodeneigenschaften und Biodiversität im Vergleich mit Beständen einheimischer Baumarten. Aus den Resultaten ziehen wir unsere Schlüsse für die zukünftige Verwendung der Douglasie im Schweizer Wald.

Grundlagen und Methoden

Die Douglasie in Europa

Die Gattung *Pseudotsuga* ist in Nordamerika entstanden *(Pseudotsuga menziesii* und *P. macrocarpa)* und hat sich im frühen Oligozän vor rund 30 Millionen Jahren über die Beringstrasse nach Asien *(P. japonica, P. sinensis)* ausgebreitet (Wei et al 2011). Zapfenfunde in Deutschland belegen die Anwesenheit einer längst ausgestorbenen Art *(P. jechorekiae* sp. *nova)* für das späte Frühmiozän und mittlere Miozän, also vor 15–11 Millionen Jahren (Czaja 2000, Kunzmann 2014). Neuere Belege gibt es nicht. Die Gewöhnliche Douglasie wurde im Jahr 1827 aus Nordamerika nach Europa eingeführt und in verschiedenen Ländern bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts in vielen Wäldern angepflanzt (Spellmann et al 2015, Kohnle et al 2021). Insbesondere durch den Anbau der Inlanddouglasie *(P. menziesii* var. *glauca)* ergaben sich Rückschläge infolge des Befalls durch die Rostige Douglasienschütte *(Rhabdocline pseudotsugae* Syd. [1922]). Mit der Beschränkung auf die Küstenform *(P. menziesii* var. *menziesii)* für Aufforstungen, insbesondere nach den Weltkriegen, setzte sich die Baumart verbreitet durch (Bastien et al 2021, Kohnle et al 2021).

Definitionen von «invasiv»

Gebietsfremde Arten werden «invasiv» genannt, wenn sie selbsterhaltende Populationen bilden, sich vom Einführungsort ausbreiten und ihre Umwelt negativ verändern (Davis & Thompson 2000). In der Diskussion um gebietsfremde Arten hat sich die «biologische Invasion» zum zentralen Begriff entwickelt (Kowarik 2003). Obwohl die oben angeführte Definition von «invasiv» breite Zustimmung findet, sind für Entscheidungsprozesse Präzisierungen nötig (Abbildung 1). Während Kowarik (2003) jene Arten als invasiv bezeichnet, die nach der Einbringung an einem neuen Standort überleben und sich somit in einem Invasionsprozess befinden, erfüllen für Richardson et al (2000) nur solche Arten diesen Status, die sich innert 50 Jahren in mehr als 100 Meter Entfernung von der Ausgangspflanze etablieren. In der Schweiz gilt eine Art als «gebietsfremd invasiv», falls bekannt ist oder angenommen werden muss (potenziell invasiv), dass sie durch ihre Ausbreitung die biologische Vielfalt, Ökosystemleistungen und deren nachhaltige Nutzung beeinträchtigen oder Mensch und Umwelt gefährden kann (Schweizerischer Bundesrat 2016). In Deutschland ist eine Art invasiv,

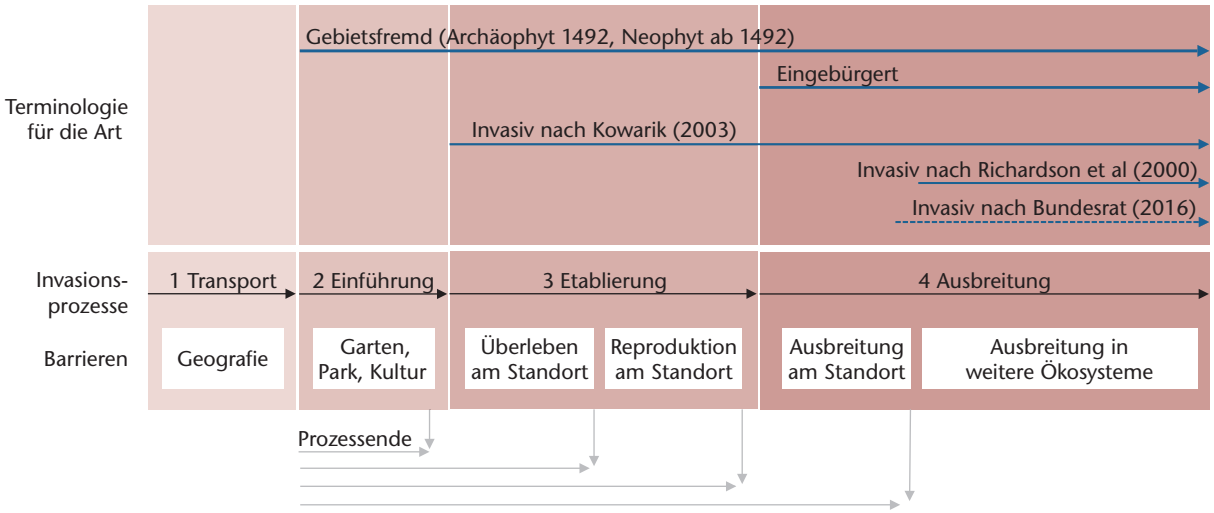

Abb 1 *Prozesse der biologischen Invasion und damit verbundene Begriffe, verändert nach Blackburn et al (2011) und mit Angaben von Kowarik (2003) und Schweizerischem Bundesrat (2016).*

wenn sie eine erhebliche Gefährdung für die biologische Vielfalt darstellt (Nehring et al 2013). Sobald eine Art als invasiv klassifiziert wird, kann dies politische Entscheidungen beeinflussen und bei Baumarten zu Anbaueinschränkungen führen (Ammer et al 2016). Dabei besteht Spielraum für Diskussionen, einerseits was die Einschätzung betrifft, ob sich eine Art erfolgreich ausbreitet, andererseits bezüglich der Frage, ob diese Ausbreitung schädlich für die Ökosysteme samt deren Leistungen, die Umwelt und die Menschen sein kann.

Invasivitätsstatus und Einfluss des Douglasienanbaus auf die Umwelt

Der Invasivitätsstatus der Douglasie wurde mittels Literaturrecherche international und für die Schweiz abgeklärt. Hierzu wurden sowohl die Ausbreitungstendenzen als auch die Einwirkung auf die Umwelt berücksichtigt. Seit der Jahrtausendwende wurden im Rahmen des Millennium Ecosystem Assessments (Hassan et al 2005) viele vergleichende Studien über den Einfluss des Menschen auf Ökosysteme begonnen. Ein Schwerpunkt stellt die Wirkung gebietsfremder Arten dar. Uns sind 34 publizierte mitteleuropäische Studien seit 2000 bekannt, die Bodeneigenschaften und/oder die Biodiversität von Organismengruppen in reinen Douglasienbeständen mit solchen in reinen oder gemischten Beständen aus einheimischer Eiche *(Quercus robur* L. oder *Q. petraea* Liebl.), Buche oder Fichte verglichen haben. In einigen dieser Studien wurden statt Bestände mehrere Baumindividuen der entsprechenden Arten verglichen. In sieben umfangreichen Studien wurden pro Vergleich mehrere Bestandespaare berücksichtigt, was diese Studien besonders aussagekräftig bzw. ihre Resultate belastbar macht.

Resultate

In einer weltweiten Rangierung von gebietsfremden invasiven Nadelholzarten wird der Douglasie aufgrund des geringen Samengewichts (10.7 mg), des Zeitpunkts der ersten Samenproduktion (Minimum: 10 Jahre) und des mittleren Intervalls zwischen zwei Mastjahren (3–7 Jahre) eine hohe potenzielle Invasivität zugeordnet (Richardson & Rejmánek 2004). Ein spontanes Auftreten in grösserer Entfernung als 100 m ausserhalb von Douglasienanpflanzungen (Richardson et al 2000) wurde in Patagonien (Argentinien und Chile; Peña & Pauchard 2001, Simberloff et al 2002) und Neuseeland (Webb et al 1988) sowie in Europa in Bulgarien (Popov 1991), Deutschland (Knoerzer 1999a), Grossbritannien (Clement & Foster 1994) und Österreich (Essl & Rabitsch 2002) festgestellt. Aufschlussreich für die Vergleiche zur Schweiz sind die Nachbarländer Deutschland, Frankreich und Österreich.

Invasivität und Risikobewertung in Mitteleuropa

In Deutschland belegte Knoerzer (1999b, Knoerzer 1999a) im Westschwarzwald sowohl für flachgründige, nährstoffarme Felsrücken als auch für Blockmeere eine Ausbreitung von in der Nähe gepflanzten Douglasien auf Kosten der ursprünglichen Traubeneichen, deren Verjüngung infolge von hohem Wilddruck nicht mehr gelingt (Kowarik 2003). Solche Habitate sind kleinflächig, haben für den Naturschutz aber einen hohen Wert, weshalb von dieser Situation ein Invasionsstatus abgeleitet wurde. Das Bundesamt für Naturschutz (BfN) folgte in seinem Einschätzungsentscheid dem deutschen Bundesnaturschutzgesetz, das für die Bewertung weder Ausnahmen des Vorkommens auf Sonderstandorten noch Erfolgsaussichten bei Massnahmen gegen die Ausbreitung berücksichtigt (Höltermann et al 2016). Dies entspricht den internationalen Standards von Risikoanalysen, wonach die Möglichkeit der Kontrolle/Schadensbegrenzung nicht Bestandteil der Invasivitäts- bzw. Risikobewertung, sondern Teil des Risikomanagements ist. Dass die Douglasie auf dieser Liste figuriert, zusammen mit der Kanadischen Pappel *(Populus* × *canadensis* Moench), dem Götterbaum *(Ailanthus altissima* [Mill.] Swingle), der Spätblühenden Traubenkirsche *(Prunus serotina* Ehrh.), der Pennsylvanischen Esche *(Fraxinus pennsylvanica* Marshall), der Robinie, der Roteiche *(Quercus rubra* L.) und der Strobe *(Pinus strobus* L.)[1], löste unter den Forstvertretern samt Waldforschenden einen Sturm der Entrüstung aus, dem verschiedene vergleichende Studien über gebietsfremde Baumarten mit messbaren Kriterien folgten (z.B. Vor et al 2015). Als Folge davon publizierten Vertreter der Forstwissenschaft und des Naturschutzes ein gemeinsam aufgesetztes Empfehlungsschreiben für den Anbau eingeführter Waldbaumarten (Ammer et al 2016). Das Schreiben rät vom Douglasienanbau an bestimmten Sonderstandorten ab, erachtet aber den Anbau der Douglasie in Mischung mit anderen Baumarten, insbesondere mit der Buche, als unbedenklich für die Biodiversität.

In Frankreich, wo die Douglasie einen Flächenanteil von 2.6% hat (Bastien et al 2021), wurde die Frage der Invasivität wohl weniger kontrovers diskutiert als in Deutschland, denn die Baumart wird, wie andere gebietsfremde Nutzbäume auch, als eingebürgert («acclimatized») betrachtet (Hasenauer et al 2016). Restriktionen sind uns nicht bekannt, ausser in Regionen, die unter die Alpenkonvention fallen (Pötzelsberger et al 2020). Der Anbau der Douglasie wird mittels eines Netzes von Samenplantagen und Testpflanzungen laufend optimiert (Bastien et al 2021, dieses Heft). Arbeiten über den Einfluss

1 https://neobiota.bfn.de/invasivitaetsbewertung/gefaesspflanzen.html (23.11.2020)

des Douglasienanbaus auf die Bodeneigenschaften und die einheimische Biodiversität erreichten zwischen 2000 und 2010 einen Höhepunkt, mit zwei umfassenden Reviewarbeiten (Augusto et al 2002, Augusto et al 2003) und weiteren über die Bodenchemie (Zeller et al 2007, Mareschal et al 2010, Mareschal et al 2013) sowie mehreren Studien über Insekten (Roques et al 2006, Bertheau et al 2009) und Pilze (Kubartová et al 2009, Buée et al 2011).

In Österreich, wo die Douglasie mit einem Volumenanteil von landesweit 0.06% einen geringen Anteil hat, berichtete Essl (2005) über Einbürgerungen an bodensauren Eichenwaldstandorten. In der Neobiota von Österreich (Essl & Rabitsch 2002) wurde die Douglasie als potenziell invasiv vermerkt. Ihr Status ist bis heute unverändert.

In der Schweiz fehlt die Douglasie auf der Schwarzen Liste der invasiven gebietsfremden Pflanzenarten von Info Flora (2014).[2] Dagegen sind dort Götterbaum, Spätblühende Traubenkirsche, Robinie und Chinesische Hanfpalme *(Trachycarpus fortunei* [Hook.] H. Wendl.) aufgeführt. Hafner & Wohlgemuth (2017) und Frei et al (2021, dieses Heft) haben in landesweiten Stichproben von Douglasien-dominierten Beständen unterschiedlich zahlreiche Verjüngungen festgestellt, die sich mit wenigen Ausnahmen auf Pflanzen im Jungwuchs (<130 cm) beschränkten. Unter den Beständen mit zahlreicher Douglasiendickung fallen solche im Wallis und im Tessin auf, wo die Bedingungen für die Keimung und den Aufwuchs durch klimatisch oder edaphisch bedingte Vegetationsarmut (ungeschlossene Vegetationsbedeckung) und genügend Lichtdurchlass das Aufkommen der beschränkt schattentoleranten Baumart zulassen. Wo die Douglasie im Mittelland und in den Voralpen an produktiven Waldstandorten angepflanzt wurde, kann sie sich gegen raschwüchsige Laubbaumarten und dichte Krautvegetation kaum durchsetzen (Frei et al 2021). Zwar waren in 90% der Douglasienaltbestände Sämlinge vorhanden, doch in nur einem Drittel der Bestände erreichten die jungen Douglasien Höhen von 130 cm und mehr. Gegenüber anderen Baumarten waren die etablierten Douglasien immer in der Minderheit (Frei et al 2021). Im experimentellen Vergleich von Douglasiensämlingen mit Sämlingen verschiedener Schweizer Hauptbaumarten wurde ebenfalls bestätigt, dass Douglasien in den ersten zwei Lebensjahren zwar rascher wachsen als Fichte und Tanne, aber ihr Höhenwachstum nur bei Wasser- und Nährstoffmangel ähnlich gross oder sogar grösser ist als jenes von Waldföhre *(Pinus sylvestris* L.) und Eiche *(Quercus* sp.; Moser et al 2021, dieses Heft). Ist die Wasser- und Nährstoffversorgung dagegen besser, wie für die Schweizer Verhältnisse charakteristisch, werden Douglasien von Laubbäumen innerhalb von zwei Jahren vollständig überwachsen. Dies dürfte auch der Grund sein, weshalb in douglasienreichen Beständen keine Anzeichen einer starken Ausbreitung gefunden wurden (Hafner & Wohlgemuth 2017), obgleich Douglasienverjüngung unter oder in nächster Nähe zu Douglasienaltbäumen vorkommen kann. Der durchschnittliche Anteil verbissener Individuen betrug dabei im Übrigen 32%. Bezüglich des Anbaus der Douglasie in der Schweiz bestehen wenige Einschränkungen. Die verwendeten Douglasienpflanzen müssen gemäss der Verordnung über den Schutz von Pflanzen vor besonders gefährlichen Schadorganismen vom 31. Oktober 2018 (Pflanzengesundheitsverordnung, PGesV; SR 916.20) aus zertifizierten Pflanzschulen von Ländern der Europäischen Union stammen. Samenimporte aus Übersee unterliegen einer Kontrolle hinsichtlich Nematoden *(Bursaphelencus xylophilus* [Steiner & Buhrer] Nickle) durch den Bund.

Zwei Übersichtsarbeiten, die die Eigenschaften mehrerer gebietsfremder Baumarten für Deutschland und die Schweiz verglichen (Vor et al 2015, Brang et al 2016), kommen zum Schluss, dass die Douglasie bezüglich verschiedener Invasivitätskriterien unproblematisch (Vor et al 2015) bzw. anbauwürdig ist (Brang et al 2016). Im Unterschied dazu werden Robinie, Götterbaum, Spätblühende Traubenkirsche als invasiv oder bedingt invasiv angesehen, insbesondere wegen Eigenschaften wie Stockausschlag und Samenausbreitung über weite Distanzen, die der Douglasie fehlen.

Einwirkung auf Bodeneigenschaften

Gemäss mehreren Studien (Tabelle 1) wird in Douglasienbeständen sowohl in der organischen Auflage als auch im darunterliegenden Oberboden (in den meisten Fällen im Ah-Horizont zwischen 1 und 10 cm gemessen) weniger Kohlenstoff (C) als in Buchen- und Fichtenbeständen gespeichert (Tabelle 1). Im Vergleich zu Eichenbeständen zeigt sich kein deutlicher Trend. Mehrere Studien belegen unter Douglasien auch weniger Stickstoff (N) in der organischen Auflage. Im Oberboden kann der N-Gehalt dagegen ähnlich oder höher als unter Buchen und Fichten sein. Für das C:N-Verhältnis wurden unter Douglasie oft günstigere (kleinere) Verhältnisse als unter Buche und Fichte gefunden. Dies wird auf die gut abbaubare Nadelstreu der Douglasie zurückgeführt (Cremer et al 2016). Insbesondere hat die Streu von Douglasien einen geringeren Ligningehalt als diejenige von Fichte und Buche (Kubartová et al 2009). Die Beimischung der Douglasie in Fichtenwäldern führt zum besseren Abbau der Nadelstreu und zu einer stärkeren Nitrifikation (Podrázský et al 2020). Der pH-Wert im Oberboden von Douglasienbeständen war ähnlich hoch oder höher als derjenige unter Fichten. Zudem war er meist vergleichbar mit den pH-Werten unter Buchen oder Eichen. In

2 www.infoflora.ch/de/neophyten/listen-und-infoblätter.html (23.11.2020)

Studien			Boden										Biodiversität: Anzahl Arten																	
Referenz	Land	Vergleichsarten	OC – Auflage	OC – Oberboden	N – Auflage	N – Oberboden	C:N – Auflage	C:N – Oberboden	pH – Oberboden	Ca – gesamt	Mg – gesamt	P – gesamt	Pflanzenarten	Moosarten	Pilzarten	Vögel	Blattlaus-Antagonisten	Gliederfüssler (Stamm)	Gliederfüssler (Krone)	Insekten (Krone)	Käfer (Krone)	Spinnen (Streu)	Ameisen (Streu)	Asseln (Streu)	Weberknechte (Streu)	Rüsselkäfer (Streu)	Doppelfüsser (Streu)	Spinnen (Krone)	Totholzkäfer	Borkenkäfer
Mehrere Vergleichspaare																														
Augusto et al (2002)	FR	EF							××																					
Augusto et al (2003)	FR	BEF				××+		+××	××	×–×	×+×		×××	××+																
Bertheau et al (2009)	FR	F																												×
Budde (2006)	DE	BF				××	×		×+	+	×		×+	×																
Gossner et al (2016)	DE	BEF																											–––	
Gossner et al (2005)	DE	B															+													
Prietzel & Bachmann (2012)	DE	BF	––	×–	––	+×	++	++	×																					
Einzelne Vergleichspaare																														
Blick & Gossner (2006)	DE	F																										×		
Buée et al (2011)	FR	BEF													–––															
Burmeister et al (2007)	DE	F																		×										
Cremer & Prietzel (2017)-1	DE	BF							×–	××	××																			
Cremer & Prietzel (2017)-2	DE	BF							×–	××	××																			
Cremer et al (2016)-1	DE	BF	–×	××	××	××	××	×–																						
Cremer et al (2016)-2	DE	BF	××	××	××	××	++	×–																						
Cremer et al (2016)-3	DE	BF	×+	××	××	××	++	××																						
Engel (2001)	DE	BF																						–+			–+			
Finch & Szumelda (2007)	DE	E							–													–	–	+	×	+	+			
Gossner & Ammer (2006)	DE	F																–	×											
Gossner & Simon (2002)	DE	F																			×									
Gossner & Utschick (2004)	DE	F														–			–											
Knoerzer & Reif (1996)	DE	F											–																	
Kostić et al (2016)	RS	B	×	–	–	–	–	–	×			–	–																	
Leitl (2001)	DE	BEF											×+																	
Malchair & Carnol (2009)-1	BE	BEF	+××		×××		×+×			×××	–+–																			
Malchair & Carnol (2009)-2	BE	BEF	+×–		×××		×–×			×××	××–																			
Mareschal et al (2010)-1	FR	BEF		×××	×××		+++		×××																					
Mareschal et al (2010)-2	FR	EF				×+																								
Martiník et al (2014)	CZ	F				–				×	×	+																		
Menšík et al (2009)-1	CZ	B			–		×	×	×																					
Menšík et al (2009)-2	CZ	B			–		+	+	+																					
Müller et al (2008)	DE	BEF																											–––	
Podrázský et al (2009)	CZ	B			×	×	×		×																					
Podrázský et al (2011)	CZ	BF											++																	
Podrázský et al (2014)	CZ	F											+																	
Ulyshen et al (2018)	CZ	EF																											––	
Utschick (2001)	DE	F													–															
Utschick (2006)	DE	BEF														–––														
Vološčuk (2012)	SK	BF					+×		+–																					
Zeller et al (2007)	FR	BEF	×××	×+×	+++	×+×	+++	××–	×××																					
Ziesche & Roth (2008)	DE	BEF																				–––								

Tab 1 *Vergleichsstudien über Bodeneigenschaften und Biodiversität (Anzahl Arten), in denen Douglasienreinbestände mit reinen oder gemischten Beständen mit Buche (B), Eiche (E) und Fichte (F) verglichen wurden. Für Biodiversitätsvergleiche dienten oft auch Stichproben von Einzelbäumen. Effekte: negativ (–), positiv (+), kein Effekt (×). Ländercodes: BE: Belgien, CZ: Tschechien, DE: Deutschland, FR: Frankreich, SK: Slowakei. Die Symbole widerspiegeln in ihrer Zahl und Abfolge die in der jeweiligen Studie behandelten Vergleichsarten (B, E, F).*

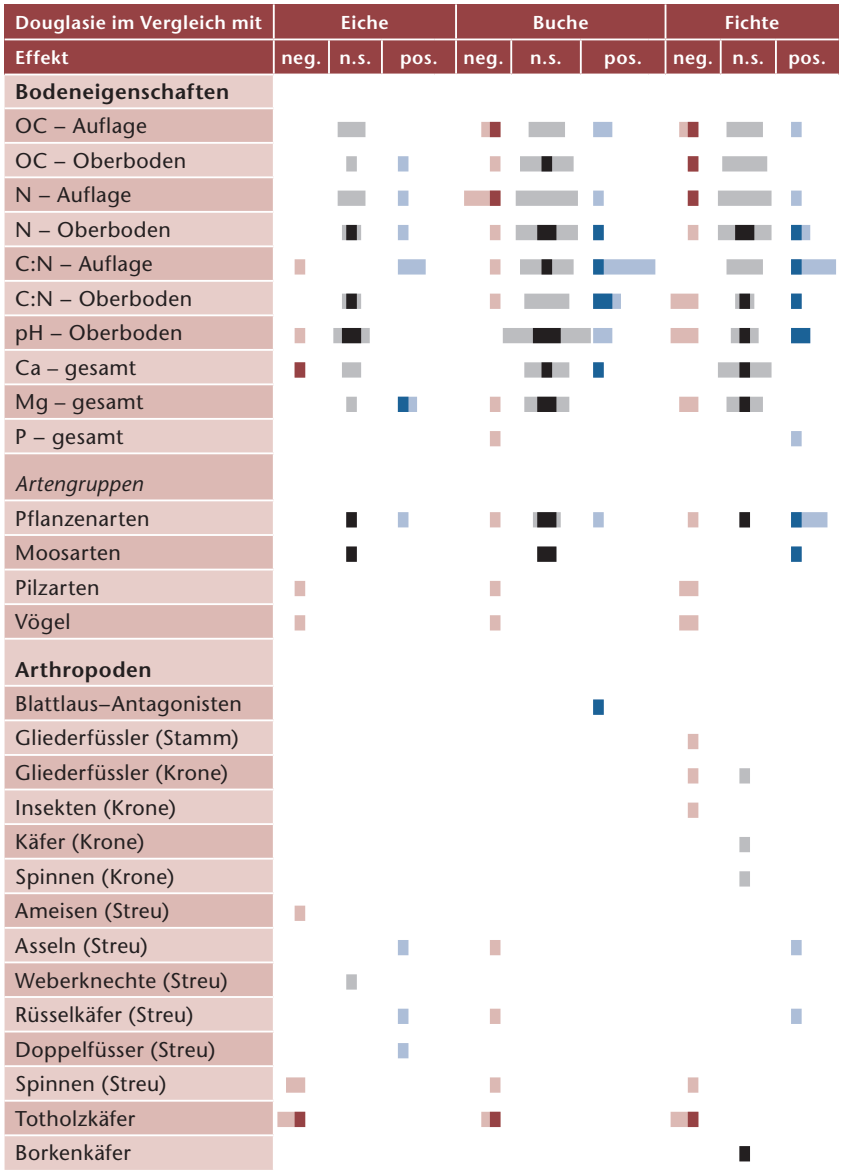

Abb 2 *Effekte (negativ, nicht signifikant, positiv) auf Boden und Biodiversität in Vergleichsstudien von Douglasienreinbeständen mit reinen oder gemischten Beständen aus Eiche, Buche und Fichte in Mitteleuropa (Referenzen in Tabelle 1). Dunkle Farbtöne beziehen sich auf belastbare Studien mit mehreren Vergleichspaaren, helle auf Fallbeispiele, in denen nur Pflanzungen an einem Standort miteinander verglichen wurden. Ein Quadrat stellt eine Studie dar; bei nicht signifikanten Eigenschaften kann eine Studie aus Symmetriegründen als zwei Halbquadrate links und rechts des Balkens zu liegen kommen.*

Abb 3 *Befall der Douglasie durch die Douglasienwolllaus (Adelges cooleyi).* Foto: Beat Wermelinger

Bezug auf das Nährelement Calcium (Ca) zeigen die Studien unter Douglasie einen ähnlich hohen oder höheren Gehalt im Oberboden als unter Buchen, dagegen einen geringeren als unter Eichen. Bei Magnesium (Mg) ist der Gehalt im Oberboden von Douglasienbeständen gleich oder kleiner als unter Fichten und Buchen. Dagegen zeigen zwei Studien unter Douglasien einen geringeren Gehalt von Phosphor (P) als unter Fichten sowie einen höheren Gehalt als unter Buchen.

Untersuchungen an gefällten Bäumen auf 138 Probeflächen in Bayern und Rheinland-Pfalz haben gezeigt, dass Fichte und Douglasie dem Boden deutlich mehr Nährstoffe entnehmen als Buche, Eiche und Waldföhre (Pretzsch et al 2014). Durch Beimischung der Douglasie in Buchenbeständen wird insbesondere auf mageren Böden eine höhere Zuwachsleistung erreicht als in reinen Buchenbeständen (engl. overyielding; Lu et al 2018).

Auswirkungen auf die Biodiversität

Über die Wirkung der Douglasie auf die einheimische Biodiversität liegen weniger Studien vor als für die Bodenparameter (Abbildung 2, Tabelle 1). Die Anzahl Gefässpflanzen in der Krautschicht war in der Mehrzahl der Studien unter Douglasien gleich gross oder grösser als unter Eichen, Buchen und Fichten. Untersuchungen von Knoerzer (Knoerzer & Reif 1996) im Schwarzwald und von Kostić et al (2016) in Serbien fanden allerdings unter Douglasien eine artenärmere Krautvegetation als unter Buchen. Moosarten waren unter Fichten zahlreicher, nicht aber unter Eichen und Buchen (Augusto et al 2003). Für das Vorkommen von Gefässpflanzen wie auch von Moosen spielt Licht eine wesentliche Rolle. So beeinflusst nebst dem Standort die Struktur von Douglasienbeständen den Bewuchs mit Moosen und Pflanzen massgeblich (siehe auch Vor & Schmidt 2006, Spellmann et al 2015).

Bei der Anzahl Pilzarten wirkt sich die Douglasie im Vergleich mit allen drei einheimischen Baumarten negativ aus (insb. Buée et al 2011), ein Resultat, das auch Schmid et al (2014) in ihrem Review über die ökologischen Konsequenzen der Douglasien hervorhoben. Ein Experiment in Spanien zeigte allerdings, dass Douglasien einen beträchtlichen Teil der natürlich vorkommenden Mykorrhizapilze nutzen können (Parladé et al 1996). Auf Douglasien wurden sowohl ganzjährig als auch nur im Winter deutlich weniger Vogelbesuche gezählt (Utschick 2006). Nur Kleiber, Waldbaumläufer und Buchfink wurden beobachtet, während Meisenarten, die auf Fichten zahlreich sind, praktisch fehlten. Für überwinternde Vögel bietet die Douglasie fast keine Insekten und Spinnentiere als Nahrung an (Gossner & Utschick 2004). Mit Ausnahme von wenigen Artengruppen beherbergen Douglasien oder Douglasienbestände weniger Arthropodenarten

als Bestände von Eiche, Buche und Fichte. Eine Ausnahme sind Insekten, die sich von der aus Nordamerika stammenden Douglasienwolllaus *(Adelges cooleyi)* ernähren (Gossner et al 2005; Abbildung 3), sowie grosse Streuabbauer wie Asseln und Doppelfüsser, die häufiger unter Douglasien als unter Fichten zu finden sind (Engel 2001, Finch & Szumelda 2007). In der Douglasienstreu halten sich weniger Spinnen auf als in der Streu der drei Vergleichsarten, und mehrere Studien belegen, dass Douglasientotholz von weniger Totholzkäfern genutzt wird als das Totholz der anderen Baumarten (z.B. Gossner et al 2016, Ulyshen et al 2018). Schliesslich wurde in einer Untersuchung in Frankreich die Douglasie von gleich vielen Borkenkäferarten befallen wie die Fichte, doch war die Befallsdichte bei der Douglasie deutlich geringer (Bertheau et al 2009).

Diskussion

Wo die Douglasie schon seit Jahrzehnten in Beständen oder Gruppen steht, ist Jungwuchs vorhanden, doch in der Regel keine Ausbreitung festzustellen. Auffällige Dickungen sind auf trockenem Untergrund im Wallis und im Tessin beobachtet worden (Frei et al 2021). Im Gegensatz zu Süddeutschland, wo die Douglasie an wenigen trocken-sauren Standorten die lokale Pflanzenartenvielfalt kleinflächig beeinträchtigen kann (Knoerzer 1999a), sind uns vergleichbare Verhältnisse in der Schweiz nicht bekannt. Dies deckt sich auch mit Erfahrungen aus der Praxis (Ammann 2020).

Die umfangreichen Übersichtsarbeiten (Augusto et al 2002, Augusto et al 2003, Budde 2006, Prietzel & Bachmann 2012, Pretzsch et al 2014, Schmid et al 2014, Tschopp et al 2015) sowie zahlreiche detaillierte Studien zu einzelnen Aspekten belegen insgesamt günstigere Bodenverhältnisse unter Douglasien als unter Fichten, die an den meisten untersuchten Orten von Natur aus nicht wachsen würden, sowie tendenziell ungünstigere Verhältnisse gegenüber den natürlicherweise vorkommenden Arten Eiche und Buche. An produktiven Standorten ist der Nährstoffaustrag durch Douglasien vergleichbar mit jenem durch Fichten, jedoch höher als durch Buchen (Pretzsch et al 2014).

Bezüglich der Artenvielfalt wurde deutlich, dass für Gefässpflanzen vor allem die Bestandesstruktur und der Kronenschluss bzw. das Ausmass des Lichtdurchlasses ausschlaggebend für die Artenzahl und die Zusammensetzung sind (Augusto et al 2003, Budde 2006). Mit waldbaulichen Eingriffen lässt sich der Lichtdurchlass und damit die Pflanzenartenvielfalt steuern. Während bei Moosen nur wenige Daten vorliegen, zeigten die Vergleichsstudien zur Artenzahl von Pilzen, Vögeln und Arthropoden, dass Douglasienreinbestände deutlich ärmer sind bzw. für weniger Arten einen Lebensraum darstellen als Bestände aus Eichen, Buchen und auch Fichten. Nur wenige Tierartengruppen sind in Douglasienbeständen artenreicher als in Fichtenbeständen. Es sind dies insbesondere die Grobzersetzer von Nadelstreu (Asseln, Doppelfüsser) und Insekten, die sich von der Douglasienwolllaus (Abbildung 3) ernähren. Mehrere Studien fanden bezüglich Boden- und Biodiversitätsparametern kleinere Unterschiede zu reinen Eichen-, Buchen- und Fichtenbeständen, wenn die Douglasie lediglich beigemischt war (z.B. Augusto et al 2002, Gossner & Ammer 2006, Prietzel & Bachmann 2012, Cremer et al 2016), weshalb die Douglasie in Mischbeständen als weniger problematisch bezeichnet werden kann, als wenn sie in Reinbeständen angebaut wird.

Unabhängig von der Frage der Habitatsgüte heben Roques et al (2006) hervor, dass neu eingeführte gebietsfremde Herbivoren oder einheimische Insekten mittels Wirtewechsel eine Nische ausnützen könnten, wodurch längerfristig Probleme mit der Douglasie entstehen könnten (Schmid et al 2014).

Fazit

In Anbetracht der Feldergebnisse für die Schweiz, wonach kein spontanes Aufkommen der Douglasie deutlich entfernt von Mutterbäumen vorgefunden wurde, halten wir die Douglasie nicht für invasiv. Die vergleichenden Studien über die Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften zeigten keine auffällig negativen Veränderungen. Dagegen erwies sich die Douglasie für die Mehrheit der untersuchten Artengruppen als ein ungünstiger Lebensraum, der im Vergleich mit einheimischen Baumarten mit wenigen Ausnahmen zu einer geringeren Artenvielfalt führt. In Analogie zu Ammer et al (2016) empfehlen wir den Anbau von Douglasie in Mischung mit anderen Baumarten, da die Douglasie die Kriterien für die Invasivität nicht erfüllt. Mögliche Auswirkungen auf die Biodiversität sollten aber kontinuierlich beobachtet werden wie auch Anpassungen einheimischer und neu eingeführter gebietsfremder Schadorganismen. ■

Eingereicht: 30. September 2020, akzeptiert (mit Review): 5. Dezember 2020

Literatur

AMMANN P (2020) Waldbau mit Douglasie. Zür Wald 52 (4): 4–8.

AMMER C, BOLTE A, HERBERG A, HÖLTERMANN A, KRÜSS A ET AL (2016) Vertreterinnen und Vertreter von Forstwissenschaft und Naturschutz legen gemeinsame Empfehlungen für den Anbau eingeführter Waldbaumarten vor. Gemeinsames Papier des DVFFA und des BfN. Nat.schutz Landsch.plan 48: 170–172.

AUGUSTO L, DUPOUEY JL, RANGER J (2003) Effects of tree species on understory vegetation and environmental conditions in temperate forests. Ann For Sci 60: 823–831.

AUGUSTO L, RANGER J, BINKLEY D, ROTHE A (2002) Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. Ann For Sci 59: 233–253.

BASTIEN JC, PHILIPPE G, ROUSSELLE Y, SANCHEZ L, CHAUMET M ET AL (2021) Les variétés améliorées de douglas en France. Schweiz Z Forstwes 172: 76–83. doi: 10.3188/szf.2021.0076

BEINHOFER B, KNOKE T (2010) Finanziell vorteilhafte Douglasienanteile im Baumartenportfolio. Forstarchiv 81: 255–265.

BERTHEAU C, SALLE A, ROSSI JP, BANKHEAD-DRONNET S, PINEAU X ET AL (2009) Colonisation of native and exotic conifers by indigenous bark beetles *(Coleoptera: Scolytinae*) in France. For Ecol Manage 258: 1619–1628.

BLACKBURN TM, PYŠEK P, BACHER S, CARLTON JT, DUNCAN RP ET AL (2011) A proposed unified framework for biological invasions. Trends Ecol Evol 26: 333–339.

BLICK T, GOSSNER M (2006) Spinnen aus Baumkronen-Klopfproben *(Arachnida: Araneae),* mit Anmerkungen zu *Cinetata gradata (Linyphiidae)* und *Theridion boesenbergi (Theridiidae).* Arachn Mitt 31: 23–39.

BRÄNDLI UB, ABEGG M, ALLGAIER LEUCH B (2020) Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL. 341 p.

BRANG P, PLUESS AR, BÜRGI A, BORN J (2016) Potenzial von Gastbaumarten bei der Anpassung an den Klimawandel. In: Pluess AR, Augustin S, Brang P, editors. Wald und Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bern: Haupt. pp. 385–405.

BUDDE S (2006) Auswirkungen des Douglasienanbaus auf die Bodenvegetation im nordwestdeutschen Tiefland. Göttingen: Cuvillier. 111 p.

BUÉE M, MAURICE JP, ZELLER B, ANDRIANARISOA S, RANGER J ET AL (2011) Influence of tree species on richness and diversity of epigeous fungal communities in a French temperate forest stand. Fungal Ecol 4: 22–31.

BÜRGI A, DIEZ C (1986) Übersicht über den Exotenanbau in der Schweiz aufgrund einer Umfrage vom Herbst/Winter 1984/85. Schweiz Z Forstwes 137: 833–851. doi: 10.5169/seals-765188

BURMEISTER J, GOSSNER M, GRUPPE A (2007) Insektengemeinschaften im Kronenraum von Koniferenarten im forstlichen Versuchsgarten Grafrath. Nachr.bl Bayer Entomol 56: 19–28.

CLEMENT EJ, FOSTER MC (1994) Alien plants of the British Isles. London: Botanical Society of the British Isles. 590 p.

CREMER M, KERN NV, PRIETZEL J (2016) Soil organic carbon and nitrogen stocks under pure and mixed stands of European beech, Douglas fir and Norway spruce. For Ecol Manage 367: 30–40.

CREMER M, PRIETZEL J (2017) Soil acidity and exchangeable base cation stocks under pure and mixed stands of European beech, Douglas fir and Norway spruce. Plant Soil 415: 393–405.

CZAJA A (2000) *Pseudotsuga jechorekiae* sp. *nova*, der erste fossile Nachweis der Gattung *Pseudotsuga* CARRIÈRE nach Zapfen aus dem Miozän der Oberlausitz, Deutschland. Feddes Repert 111: 129–134.

DAVIS MA, THOMPSON K (2000) Eight ways to be a colonizer; two ways to be an invader: A proposed nomenclature scheme for invasion ecology. Bull Ecol Soc Am 81: 226–230.

EILMANN B, RIGLING A (2012) Tree-growth analyses to estimate tree species' drought tolerance. Tree Physiol 32: 178–187.

ENGEL K (2001) Zersetzer und ihre Leistung: Buche-Fichte-Douglasie. Ber Bayer Landesanst Wald Forstwirtsch 33: 18–21.

ESSL F (2005) Distribution, status and habitat preference of subspontaneous Douglas fir stands *(Pseudotsuga menziesii)* in Austria. Phyton 45: 117–143.

ESSL F, RABITSCH W (2002) Neobiota in Österreich. Wien: Umweltbundesamt. 432 p.

FINCH OD, SZUMELDA A (2007) Introduction of Douglas fir *(Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) into Western Europe: Epigaeic arthropods in intermediate-aged pure stands in northwestern Germany. For Ecol Manage 242: 260–272.

FREI ER, MOSER B, HAFNER J, FÄSSLER F, GLANZMANN A ET AL (2021) Ausbreitungstendenzen und Konkurrenzkraft der Douglasie in der Schweiz. Schweiz Z Forstwes 172: 94–105. doi: 10.3188/szf.2021.0094

GOSSNER M, AMMER U (2006) The effects of Douglas-fir on tree-specific arthropod communities in mixed species stands with European beech and Norway spruce. Eur J For Res 125: 221–235.

GOSSNER M, SIMON J (2002) Introduced Douglas fir *(Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) affects community structure of tree-crown dwelling beetles in a managed European forest. Neobiota 1: 167–179.

GOSSNER M, UTSCHICK H (2004) Douglas fir stands deprive wintering bird species of food resource. Neobiota 3: 105–122.

GOSSNER MM, GRUPPE A, SIMON U (2005) Aphidophagous insect communities in tree crowns of the neophyte Douglas-fir *(Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) and Norway spruce (*Picea abies* L.). J Appl Entomol 129: 81–88.

GOSSNER MM, WENDE B, LEVICK S, SCHALL P, FLOREN A ET AL (2016) Deadwood enrichment in European forests: Which tree species should be used to promote saproxylic beetle diversity? Biol Conserv 201: 92–102.

HAFNER J, WOHLGEMUTH T (2017) Potentielle Invasivität der Douglasie in der Schweiz: Eine standortsbezogene Evaluation. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL. 33 p.

HASENAUER H, GAZDA A, KONNERT M, LAPIN M, MOHREN GMJ ET AL (2016) Non-native tree species for European forests: Experiences, risks and opportunities. Wien: Univ Bodenkultur, 2 ed. 420 p.

HASSAN R, SCHOLES R, ASH N, EDITORS (2005) Millenium Ecosystem Assessment, Vol. 1: Ecosystems and human well-being: current state and trends. Washington: Island Press. 917 p.

HOLDEREGGER R, BOLLMANN K, BRANG P, WOHLGEMUTH T (2017) Auswirkungen des Douglasienanbaus auf die Biodiversität: wichtige Forschungsfragen (Essay). Schweiz Z Forstwes 168: 21–25. doi: 10.3188/szf.2017.0021

HÖLTERMANN A, NEHRING S, HERBERG A, KRUG A (2016) Die Douglasie aus Sicht des Bundesamtes für Naturschutz. AFZ/Der Wald 71 (12): 34–37.

KNOERZER D (1999A) Zur Einbürgerungstendenz der Douglasie *(Pseudotsuga menziesii* [Mirbel] Franco) im Schwarzwald. Z Ökol Nat.schutz 8: 31–39.

KNOERZER D (1999B) Zur Naturverjüngung der Douglasie im Schwarzwald. Inventur und Analyse von Umwelt- und Konkurrenzfaktoren sowie eine naturschutzfachliche Bewertung. Diss Bot 306: 1–283.

KNOERZER D, REIF A (1996) Die Naturverjüngung der Douglasie im Bereich des Stadtwaldes von Freiburg. AFZ/Der Wald 71 (20): 1117–1121.

KOHNLE U, KLÄDTKE J, CHOPARD B (2021) Waldbau mit Douglasie in Deutschland und in Frankreich. Schweiz Z Forstwes 172: 66–75. doi: 10.3188/szf.2021.0066

KOSTIĆ O, JARIĆ S, GAJIĆ G, PAVLOVIĆ D, MARKOVIĆ M ET AL (2016) The effects of douglas fir monoculture on stand characteristics in a zone of montane beech forest. Arch Biol Sci 68: 753–766.

KOWARIK I (2003) Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Stuttgart: Ulmer. 380 p.

KUBARTOVÁ A, RANGER J, BERTHELIN J, BEGUIRISTAIN T (2009) Diversity and decomposing ability of saprophytic fungi from temperate forest litter. Microb Ecol 58: 98–107.

KUNZMANN L (2014) On the fossil history of *Pseudotsuga* Carr. *(Pinaceae)* in Europe. Palaeobiol Palaeoenviron 94: 393–409.

LEITL R (2001) Artenvielfalt und Bestandesform am Beispiel der Bodenvegetation. Ber Bayer Landesanst Wald Forstwirtsch 33: 9–13.

LÉVESQUE M, RIGLING A, BRANG P (2015) Réponse à la sécheresse de conifères indigènes et exotiques: une étude dendroécologique. Schweiz Z Forstwes 166: 372–379. doi: 10.3188/szf.2015.0372

LU HC, CONDES S, DEL RIO M, GOUDIABY V, DEN OUDEN J ET AL (2018) Species and soil effects on overyielding of tree species mixtures in the Netherlands. For Ecol Manage 409: 105–118.

MALCHAIR S, CARNOL M (2009) Microbial biomass and C and N transformations in forest floors under European beech, sessile oak, Norway spruce and Douglas-fir at four temperate forest sites. Soil Biol Biochem 41: 831–839.

MARESCHAL L, BONNAUD P, TURPAULT MP, RANGER J (2010) Impact of common European tree species on the chemical and physicochemical properties of fine earth: an unusual pattern. Eur J Soil Sci 61: 14–23.

MARESCHAL L, TURPAULT MP, BONNAUD P, RANGER J (2013) Relationship between the weathering of clay minerals and the nitrification rate: a rapid tree species effect. Biogeochemistry 112: 293–309.

MARTINÍK A, HOUSKOVA K, PALATOVA E (2014) Germination and emergence response of specific Douglas fir seed lot to different temperatures and prechilling duration. J For Sci 60: 281–287.

MENŠÍK L, KULHAVÝ J, KANTOR P, REMEŠ M (2009) Humus conditions of stands with different proportion of Douglas fir in the Hůrky Training Forest District and Křtiny Training Forest Enterprise. J For Sci 55: 345–356.

MOSER B, FREI A, BACHOFEN C, WASEM U, WOHLGEMUTH T (2021) Douglasiensämlinge im Wettstreit mit mitteleuropäischen Baumarten. Schweiz Z Forstwes 172: 106–117. doi: 10.3188/szf.2021.0106

MÜLLER J, BUSSLER H, GOSSNER M, RETTELBACH T, DUELLI P (2008) The European spruce bark beetle *Ips typographus* in a national park: from pest to keystone species. Biodivers Conserv 17: 2979–3001.

NEHRING S, KOWARIK I, RABITSCH W, ESSL F (2013) Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Gefässpflanzen. Bonn: Bundesamt Naturschutz, BfN-Skripten 352. 204 p.

PARLADÉ J, ALVAREZ I, PERA J (1996) Ability of native ectomycorrhizal fungi from northern Spain to colonize Douglas-fir and other introduced conifers. Mycorrhiza 6: 51–55.

PEÑA E, PAUCHARD A (2001) Coníferas introducidas en áreas protegidas: un riesgo para la biodiversidad. Bosque Nativo 30: 3–7.

PODRÁZSKÝ V, KUPKA I, PRKNOVÁ H (2020) Substitution of Norway spruce for Douglas-fir: changes of soil microbial activities as climate change induced shift in species composition – a case study. Cent Eur For J 66: 71–77.

PODRÁZSKÝ V, MARTINÍK A, MATĚJKA K, VIEWEGH J (2014) Effects of Douglas-fir *(Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) on understorey layer species diversity in managed forests. J For Sci 60: 263–271.

PODRÁZSKÝ V, REMEŠ J, HART V, MOSER WK (2009) Production and humus form development in forest stands established on agricultural lands – Kostelec nad Černými lesy region. J For Sci 55: 299–305.

PODRÁZSKÝ V, VIEWEGH J, MATĚJKA K (2011) Effect of Douglas fir on plant communities in forest ecosystems compared to other tree species. Zprávy Lesnického Výzkumu 56: 44–51.

POPOV E (1991) Study on the results from the introduction of the Douglas-fir *(Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) in Bulgaria. Sofia: Bulgarian Academy Sciences, Forest Research Institute, Dissertation. 162 p.

PÖTZELSBERGER E, LAPIN K, BRUNDU P, ADRIAENS T, ANDONOVSKI V ET AL (2020) Mapping the patchy legislative landscape of non-native tree species in Europe. Forestry 93: 567–586.

PRETZSCH H, BLOCK J, DIELER J, GAUER J, GÖTTLEIN A ET AL (2014) Nährstoffentzüge durch die Holz- und Biomassenutzung in Wäldern. Teil 1: Schätzfunktionen für Biomasse und Nährelemente und ihre Anwendung in Szenariorechnungen. Allg Forst- Jagdztg 185: 261–285.

PRIETZEL J, BACHMANN S (2012) Changes in soil organic C and N stocks after forest transformation from Norway spruce and Scots pine into Douglas fir, Douglas fir/spruce, or European beech stands at different sites in Southern Germany. For Ecol Manage 269: 134–148.

REIF A, BRUCKER U, KRATZER R, SCHMIEDINGER A, BAUHUS J (2010) Waldbau und Baumartenwahl in Zeiten des Klimawandels aus Sicht des Naturschutzes. Abschlussbericht eines F+E-Vorhabens im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz. Bonn: Bundesamt Naturschutz, BfN-Skripten 272.125 p.

RICHARDSON DM, PYSEK P, REJMANEK M, BARBOUR MG, PANETTA FD ET AL (2000) Naturalization and invasion of alien plants: Concepts and definitions. Divers Distrib 6: 93–107.

RICHARDSON DM, REJMÁNEK M (2004) Conifers as invasive aliens: a global survey and predictive framework. Divers Distrib 10: 321–331.

RIGLING A, GESSLER A, FEICHTINGER L, QUELOZ V, WOHLGEMUTH T (2016) Introduced or native tree species to maintain forest ecosystem services in a hotter an drier future? In: Krumm F, Vítková L (editors) Introduced tree species in European forests: opportunities and challenges. Freiburg i.Br.: European Forest Institute. pp. 236–246.

ROQUES A, AUGER-ROZENBERG MA, BOIVIN S (2006) A lack of native congeners may limit colonization of introduced conifers by indigenous insects in Europe. Can J For Res 36: 299–313.

SCHMID M, PAUTASSO M, HOLDENRIEDER O (2014) Ecological consequences of Douglas fir *(Pseudotsuga menziesii)* cultivation in Europe. Eur J For Res 133: 13–29.

SCHMIDER P, KÜPER M, TSCHANDER B, KÄSER B (1994) Waldstandorte im Kanton Zürich: Waldgesellschaften, Waldbau, Naturkunde. Zürich: VDF, 2 ed.. 287 p.

SCHULDT B, BURAS A, AREND M, VITASSE Y, BEIERKUHNLEIN C ET AL (2020) A first assessment of the impact of the extreme 2018 summer drought on Central European forests. Basic Appl Ecol 45: 1–18.

SCHÜTZ JP (2020) Editorial zum Schwerpunkt: Die Douglasie. Zür Wald 52 (4): 3.

SCHWEIZERISCHER BUNDESRAT (2016) Strategie der Schweiz zu invasiven gebietsfremden Arten. Beilage zum Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 13.3636 «Stopp der Ausbreitung von invasiven gebietsfremden Arten» von Nationalrat Karl Vogler vom 21.06.2013. Bern: Bundesamt Umwelt. 79 p.

SIMBERLOFF D, RELVA MA, NUÑEZ M (2002) Gringos en el bosque: introduced tree invasion in a native *Nothofagus/Austrocedrus* forest. Biol Invasions 4: 35–53.

SPELLMANN H, WELLER A, BRANG P, MICHIELS HG, BOLTE A (2015) Douglasie *(Psuedotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). In: Vor T, Spellmann H, Bolte A, Ammer C, editors. Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten: Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung. Göttingen: Universitätsverlag. pp. 188–217.

TSCHOPP T, HOLDEREGGER R, BOLLMANN K (2015) Auswirkungen der Douglasie auf die Waldbiodiversität. Schweiz Z Forstwes 166: 9–15. doi: 10.3188/szf.2015.0009

ULYSHEN MD, PAWSON SM, BRANCO M, HORN S, HOEBEKE ER ET AL (2018) Utilization of non-native wood by saproxylic insects. In: Ulyshen MD, editor. Saproxylic insects: Diversity, ecology and conservation. Cham: Springer. pp. 797–834.

UTSCHICK H (2001) Schutzstrategien für Waldpilze. Ber Bayer Landesanst Wald Forstwirtsch 33: 14–17.

UTSCHICK H (2006) Baum- und Stratenpräferenzen nahrungssuchender Waldvogelarten in Waldbeständen unterschiedlicher Baumartenzusammensetzung. Ornithol Anz 45: 1–20.

VOLOŠČUK I (2012) Changes in forest phytodiversity caused by alien woody plants in Štiavnické vrchy Mts. Thaiszia. J Bot 22: 105–119.

VON WYL B, HÄFLIGER P, BAGGENSTOS M (2014) Pflanzensoziologische Kartierung der Luzerner Wälder. Kommentar Waldbau. Luzern: Kantonsforstamt, 2 ed. 214 p.

VOR T, SCHMIDT W (2006) Auswirkungen des Douglasienanbaus auf die Vegetation der Naturwaldreservate «Eselskopf» (Nordwesteifel) und «Grünberg» (Pfälzer Wald). Forstarchiv 77: 169–178.

VOR T, SPELLMANN H, BOLTE A, AMMER C (2015) Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten: Baumartenportaits mit naturschutzfachlicher Bewertung. Göttingen: Universitätsverlag 296 p.

WEBB CJ, SYKES WR, GARNOCK-JONES PJ (1988) Flora of New Zealand, Vol. 4: Naturalized Pteridophytes, gymnosperms, dicotyledons. Christchurch: Botany Division, DSIR. 1365 p.

WEI XX, BEAULIEU J, KHASA DP, VARGAS-HERNÁNDEZ J, LÓPEZ-UPTON J ET AL (2011) Range-wide chloroplast and mitochondrial DNA imprints reveal multiple lineages and complex biogeographic history for Douglas-fir. Tree Genet Genomes 7: 1025–1040.

WOHLGEMUTH T, KISTLER M, AYMON C, HAGEDORN F, GESSLER A ET AL (2020) Früher Laubfall der Buche während der Sommertrockenheit 2018: Resistenz oder Schwächesymptom? Schweiz Z Forstwes 171: 257–269. doi: 10.3188/szf.2020.0257

ZELLER B, RECOUS S, KUNZE M, MOUKOUMI J, COLIN-BELGRAND M ET AL (2007) Influence of tree species on gross and net N transformations in forest soils. Ann For Sci 64: 151–158.

ZIESCHE TM, ROTH M (2008) Influence of environmental parameters on small-scale distribution of soil-dwelling spiders in forests: What makes the difference, tree species or microhabitat? For Ecol Manage 255: 738–752.

Sur le caractère envahissant du sapin de Douglas et son impact sur les sols et la biodiversité

Dans la discussion sur le maintien des services écosystémiques des forêts sur fond de changement climatique, l'avantage offert par les essences exotiques est battu en brèche par les sérieuses réticences des représentants de la nature. Une essence est-elle envahissante ou pas? Cette question à elle seule met en lumière les divergences d'opinions. Le présent article vérifie le bien-fondé du caractère envahissant du sapin de Douglas *(Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco), considéré comme essence d'avenir. Il s'appuie sur la définition valable en Suisse selon laquelle des espèces exotiques en expansion sont envahissantes si elles portent atteinte à la biodiversité et aux services écosystémiques, ou si elles représentent une menace pour l'être humain et l'environnement. Etant donné l'absence d'indices soulignant une propagation indépendante de l'essence, le douglas ne peut pas être qualifié d'espèce envahissante en Suisse. Des études comparatives en Europe centrale démontrent en outre que la culture du douglas n'a pas d'impacts négatifs sur les propriétés du sol. Par rapport aux peuplements purs et aux peuplements mélangés de chênes, de hêtres et d'épicéas, les peuplements purs de douglas proposent toutefois des habitats moins favorables aux espèces d'animaux et de champignons, ce qui se traduit par des espèces en nombre inférieur. Pour les plantes vasculaires et les mousses, les différences dépendent fortement de la structure du peuplement et sont de ce fait contrôlables. Nous en concluons donc que le sapin de Douglas peut être ajouté dans des forêts proches de la nature, mais que les répercussions potentielles sur la biodiversité devront néanmoins faire l'objet d'observations en continu.

About the invasiveness of Douglas-fir and its impact on soil and biodiversity

In the discussion on the maintenance of forest ecosystem services during climate change, the use of non-native tree species has been advocated by forestry, but there are major concerns regarding nature conservation. In brief, the crucial question to be answered by both parties is whether a tree species is invasive or not. This article reviews the invasiveness status of the Common Douglas-fir *(Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) that is considered a future tree species. Thereby we use the Swiss definition of an invasive species – i.e. spreading alien species that threatens ecosystems, biodiversity, humans or the environment. Given the lack of evidence for self-sustaining spread, Douglas-fir cannot be considered invasive. Based on comparative studies in Central Europe, the cultivation of Douglas-fir does not negatively affect soil conditions. However, in comparison to pure and mixed stands of oak, beech and Norway spruce, pure stands of Douglas-fir offer less favorable habitats for animal and fungi species, which is reflected in lower species numbers. For vascular plants and mosses, the differences are strongly dependent on the stand structure and can therefore be controlled by management. We conclude that Douglas-fir can be admixed to forests comprised of native tree species, whereby possible effects on biodiversity must be continuously monitored.