

forstarchiv 88, 131-135  
(2017)

DOI 10.4432/0300-  
4112-88-131

© DLV GmbH

ISSN 0300-4112

Korrespondenzadresse:  
nico.frischbier@forst.  
thuringen.de

Eingegangen:  
02.12.2016

## Zur Naturverjüngung der Westlichen Hemlocktanne (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) in Kleinbeständen in Thüringen

The natural regeneration of Western Hemlock (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) in small forest stands in Thuringia

NICO FRISCHBIER<sup>1</sup>, CHRISTOPH DAMM<sup>2</sup>, MICHAEL WOHLWEND<sup>3,4</sup>, GREGOR AAS<sup>4</sup> und SVEN WAGNER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Thüringenforst – Anstalt öffentlichen Rechts, Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum (FFK Gotha), Jägerstraße 1, 99867 Gotha, Deutschland

<sup>2</sup> Technische Universität Dresden, Institut für Waldbau und Waldschutz, Professur für Waldbau, Piener Str. 8, 01737 Tharandt, Deutschland

<sup>3</sup> Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Deutsches Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, Deutscher Platz 5e, 04103 Leipzig, Deutschland

<sup>4</sup> Universität Bayreuth, Ökologisch-Botanischer Garten, 95440 Bayreuth, Deutschland

### Kurzfassung

Die Westliche Hemlocktanne ist eine sehr leistungsfähige Nadelbaumart im pazifischen Nordwesten Nordamerikas. Anbau-erfahrungen mit ihr außerhalb des natürlichen Areals sind spärlich, geben allerdings Hinweise auf eine leistungsfähige, verjüngungsfreudige Baumart, die bereits Jahrzehnte in heimischen Wäldern standhält. Der Beitrag befasst sich daher einerseits mit einem Überblick zu älteren *T. heterophylla*-Beständen in Thüringen und andererseits mit der Analyse dort vorgefundener Naturverjüngung.

In den untersuchten Fallbeispielen in Thüringen ist die Naturverjüngung von *T. heterophylla* im Nahbereich zu Mutterbäumen sehr dicht (10.000–40.000 n ha<sup>-1</sup>) und durch Windausbreitung weitreichend (Durchschnitt 110 m, max. 866 m). Im Rahmen der vorgefundenen Standortvariabilität der untersuchten Fläche „Kranichfeld“ lassen sich für die Verjüngung von *T. heterophylla* z. B. (1) geringe Ansprüche an die Bodentrophie, (2) hohe Ansprüche an den Bodenwasserhaushalt und (3) höhere Keim- und Etablierungserfolge bei möglichst geringen Humusaufgaben auch außerhalb des natürlichen Areals belegen. Das beobachtete Naturverjüngungspotenzial nimmt aber mit zunehmender Distanz zur Samenquelle ab etwa 250 m rasch ab. Neben dieser räumlichen Beschränkung sprechen auch Bodenwasserhaushalt, Humusmächtigkeit und signifikanter Strahlungseinfluss gegen eine omniprésente, stets dichte Verjüngung von *T. heterophylla* und damit für Steuerungsmöglichkeiten von *T. heterophylla*-Naturverjüngung durch Forstplanung und -management. Invasives Verhalten ist aus den Fallbeispielen nicht ableitbar. Diese Schlussfolgerungen können sich allerdings nur auf den untersuchten Naturraum und Nadelmischwaldtyp beziehen. Es fehlen Erfahrungen zum Verhalten in verschiedenen Waldgesellschaften sowie bei Klima- und Bodengradienten. Für den Anbau von *T. heterophylla* außerhalb des weiten, natürlichen Areals sind auch andere Aspekte bisher nicht erschöpfend beleuchtet.

**Schlüsselwörter:** Ausbreitung, Verjüngungsdichte, Etablierung, Mikrostandort, nicht-heimisch, Exot

### Abstract

At the moment experience with *Tsuga heterophylla* outside of the natural area is too scarce to give a well-grounded evaluation of its growth and ecological behaviour in landscapes within central Europe. Plantings close to general forestry praxis are present occasionally (with Thuringia as an example here) and give evidence for it being a highly productive, vitally regenerating species, which has persisted in the native forests for decades. Yet, a large scaled, systematic analysis of such plantings has not taken place yet, also considering the circumstances of an ongoing climatic change.

In the presented case studies, the natural regeneration of *T. heterophylla* is very dense close to the parental trees (10.000–40.000 n ha<sup>-1</sup>). Also the wind dispersal of seeds over large distance, which is known from the area of origin, could be confirmed in the populations in Thuringia (mean 110 m, max. 866 m). Within the frame of the heterogeneity of forest site variables found within the examined forest stand “Kranichfeld”, the deviated requirements for the regeneration of *T. heterophylla* are e. g. (1) low for the soil nutrient availability (2) high for the soil water balance. Also, (3) a low thickness of humus layer increases germination and seedling establishment success, also outside of the native area.

The potential for natural regeneration declines with increasing distance to seed source, especially considering distances higher than 250 m. Besides limitation in space, also soil water balance, thickness of the humus layer and the influence of radiation vote against the potential for an omnipresent, always dense regeneration, which gives regulation opportunities for the regeneration of *T. heterophylla* through forestry planning and management. Invasive behaviour is not deceivable from our case studies.

These conclusions can only be made within the studied landscape and the tested mixed coniferous forest type. Experiences from different forest compositions as well as climate and soil gradients are still missing. Also effects of different provenience are not sufficiently studied for the cultivation of *T. heterophylla* outside of its vaste natural habitat. Here, more research is needed to determine its suitability regarding resistance to wind, climate and water demand as well as pathogens.

**Key words:** dispersal, abundance, establishment, safe site, non-native, exotic

## Einleitung

*Tsuga heterophylla* (Westliche Hemlocktanne) ist eine sehr leistungsfähige Nadelbaumart im pazifischen Nordwesten Nordamerikas mit dem Potenzial zu beachtlichen Bestandesvorräten und -grundflächen (2.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> bzw. 100 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>), die in Nordamerika eine große holzwirtschaftliche Bedeutung hat (Franklin und Dyrness 1969, Packee 1990, Hennon 1999). Ihr natürliches Areal hat eine große Nord-Süd-Ausdehnung (3.200 km) und umfasst Höhenlagen von 0 bis 2.130 m ü. NN, weshalb *T. heterophylla* hinsichtlich Temperatur und Niederschlag ein weites Spektrum unterschiedlicher Standorte besiedelt. Gavin und Hu (2006) konnten zeigen, dass *T. heterophylla* zur Besiedelung eines noch größeren klimatischen Areals in der Lage wäre, jedoch durch artspezifische Ausbreitungsdynamik, Waldbrände und Konkurrenz gegenüber störungsangepassten Arten beschränkt wird. An die Bodennährkraft werden geringe Ansprüche gestellt, dagegen sind aber ausreichende Bodenfrische und -belüftung ausschlaggebend für Wuchsleistung, Konkurrenzkraft und Vitalität (Hennon 1999).

Obwohl die Westliche Hemlocktanne u. a. vergesellschaftet sein kann mit *Picea sitchensis*, *Thuja plicata*, *Pseudotsuga menziesii* oder *Abies grandis* und in Mitteleuropa winterhart ist (Bannister und Neuner (2001) Zone 6: -17,8 bis -23,2 °C bzw. Roloff und Bärtels (1996) Zone 6b: -17,8 bis -20,5 °C), konnte sie hier bisher keine forstwirtschaftliche Bedeutung erlangen. In alten Versuchsanbauten ist sie selten präsent (gelegentlich in den Preussischen Fremdländerversuchen 1881–1890, vgl. Stratmann 1988), Berichte beruhen eher auf Kleinversuchen (z. B. Harrer 1927, Thomasius 1972, Trauboth 2002, Glawenda und Koprowski 2012). Dabei wird *T. heterophylla* besser bewertet als *Tsuga canadensis*, die hinsichtlich Wuchsleistung, Qualität und Holzigenschaften in europäischen Anbauversuchen häufig nicht überzeugen konnte (Trauboth 2002, Liesebach 2007). *T. heterophylla* gerät im Moment aufgrund ihrer Standortansprüche, potenziellen Wuchsleistung, Ökologie und Holznutzungspotenziale im Rahmen von Klimaanpassungsstrategien für Baumartenversuche und Baumartenempfehlungen erneut in den Fokus (Schmiedinger et al. 2009, Schölch et al. 2010, Metzger et al. 2012), obwohl es zu ihrer Anbauwürdigkeit auf großer Fläche auch ältere Gegenpositionen gibt (bei Otto (1993) hinsichtlich Bodenpfleglichkeit und Mischbarkeit).

*T. heterophylla* zeichnet sich an vielen Naturstandorten durch intensive Naturverjüngung aus. Aus diesem Grund ist es wichtig, das Naturverjüngungsverhalten der Art außerhalb des natürlichen Areals zu analysieren, um das Potenzial einer möglichen Invasivität dieser Baumart auch in Mitteleuropa zu beurteilen. Bei Schrader (1998)

und Hennon (1999) wird für die Hemlocktanne im natürlichen Areal beispielsweise zusammengefasst, dass adulte Bäume regelmäßig große Samenmengen produzieren und Mastjahre sehr häufig sind. In Reinbeständen werden bis zu 20 Mio. keimfähige Samen je Hektar gebildet und bei wechselnder Luftfeuchte ab September über den kompletten Winter hinweg aus dem Zapfen entlassen. Die leichten, geflügelten Samen starten ihre Windverbreitung aus relativ hohen Kronenpositionen und werden im natürlichen Areal im Mittel 120 bis 600 m und maximal bis etwa 1.600 m ausgebreitet (Isaac 1930, Gashwiler 1969, Packee 1990). Auch hierbei unterscheidet sich *T. heterophylla* erheblich von *T. canadensis*, die mit schwereren Samen und kleineren Samenflügeln für eine stammnahe Ausbreitung mit mittleren Distanzen unter 5 m bekannt ist (Ribbens et al. 1994, Liesebach 2007).

Nicht zuletzt dank einer hohen Keimfähigkeit der Samen sind aus dem Heimatgebiet dichte Verjüngungen von *T. heterophylla* mit bis zu 25.000 bzw. 37.000 Pflanzen ha<sup>-1</sup> bekannt (Packee 1990, Hennon 1999). Auf einzelnen Plots in Altbaumnähe findet Schrader (1998) sogar 140.000 Stück ha<sup>-1</sup>. Für den Keimerfolg der Samen sowie Etablierung und Wachstum der Verjüngung sind in Wäldern im natürlichen Areal Niederschlagsangebot, Licht, Boden- und Humusfeuchte, Hitze, Trockenheit, Wind und Kälte von unterschiedlicher Bedeutung. Zusammenfassend gilt *T. heterophylla* dort als schattenertragende Baumart selbst in mehrschichtigen Waldbildern mit hohen Ansprüchen ausschließlich an die Bodenfeuchte und ist empfindlich gegen Witterungsextreme.

Der Beitrag befasst sich daher mit (1) *Tsuga-heterophylla*-Beständen im Bundesland Thüringen und mit (2) der Analyse vorgefundener Naturverjüngung von *T. heterophylla* hinsichtlich Dichte und Ausbreitungsdistanz sowie der Bedeutung des Mikrostandorts für diese Verjüngung.

## *Tsuga heterophylla* in Thüringen

Die Thüringer Forstinventuranweisung unterscheidet bei *Tsuga* nicht konkret nach Arten. Für die Wälder im Freistaat Thüringen ist daher per Datenbankselektionen lediglich bekannt, dass *Tsuga spec.* zum Stichjahr 2016 mit neun Vorkommen im Landeswald und weiteren drei im Privatwald auf insgesamt 3,55 ha präsent ist. Im Rahmen der methodischen Beschränkungen flächiger Forstinventurverfahren, z. B. hinsichtlich Stichtag, Baumartenflächenschätzung und Konzentration auf die jeweils wichtigsten Bestandeskomponenten, bestätigt diese Bilanz weitestgehend frühere Erhebungen ausschließlich für den Landeswald (1999: 1,84 ha, 2010: 4,60 ha, 2016: 2,90 ha).

Tab. 1. Waldwachstumskundliche Daten der untersuchten *Tsuga-heterophylla*-Bestände beider Flächen anhand einer Vollaufnahme im Probekreis (0,2 ha). Forest inventory data of *Tsuga heterophylla* on both forest sites based on a complete analysis within a sampling circle (0.2 ha).

	Blankenhain	Kranichfeld
<b>Ortsbezeichnung</b>	Bad Berka, Blankenhain, 222a1	Erfurt-Willrode, Kranichfeld, 308a1
<b>Alter [Jahre]</b>	60–110	70
<b>Bestandestyp</b>	HTA-GKI-GFI-Mischbestand	GFI-HTA-GKI-RBU-Mischbestand
<b>Stammzahl <i>Tsuga</i> [N ha<sup>-1</sup>]</b>	340	188
<b>D<sub>100</sub> [cm]</b>	54,5	40,4
<b>H<sub>100</sub> [m]</b>	29,8	34,7
<b>Grundfläche [m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>]</b>	42,9	17,8
<b>Vorrat [Vfm ha<sup>-1</sup>]</b>	546	288
<b>Bonität [relativ bzw. absolut]</b>	0 bzw. 17,8 Vfm ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	-1,6 bzw. 24,4 Vfm ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>

HTA = Hemlocktanne (*Tsuga heterophylla*), GKI = Gemeine Kiefer (*Pinus sylvestris*), GFI = Gemeine Fichte (*Picea abies*), RBU = Rotbuche (*Fagus sylvatica*)

*Tsuga spec.* wurde als Restvorrat, im Ober- und Unterstand, mit Alter 5 bis 110 Jahre, BHD 5 bis 40 cm und mit bis zu 32 m Baumhöhe inventarisiert. Zusätzlich wird *Tsuga spec.* 25mal im Textteil der Bestandesblätter ohne Flächen- und Holzvorratszuordnung im Wald aller Eigentumsformen erwähnt. Zusammenfassend ist *Tsuga spec.* in Thüringen in der Mehrzahl der Forstamtsbereiche und in etwa 10 % aller Forstreviere mindestens sporadisch präsent außerhalb der Thüringer Gebirge bis ca. 350–550 m ü. NN. *Tsuga spec.* verjüngt sich in einzelnen taxierte Beständen natürlich und wird darüber hinaus von Waldbesitzern und Revierleitern gelegentlich auch bei der künstlichen Waldverjüngung berücksichtigt.

Die neun Vorkommen im Landeswald mit Inventurdaten wurden aufgesucht und z. T. nochmals waldwachstumskundlich charakterisiert (Straube 2010, 2011, 2012, vgl. Tabelle 1). Dabei konnte für *T. canadensis* erneut bestätigt werden, dass Schaftqualität, Vitalität und soziologischer Stellung im Mischbestand ungenügend sind (Trauboth 2002, Straube 2011). Vorkommen von *T. heterophylla* waren dagegen vital, vorwüchsig und verjüngungsfreudig, jedoch nicht frei von Schäden durch Trockenheit, Nassschnee, Wild, Fäll- und Rückung. In der Naturverjüngung ausgewählter Kleinvorkommen konnten in Probeflächen (25–300 m<sup>2</sup>) Verjüngungsdichten von ca. 800–11.600 Stück ha<sup>-1</sup> ermittelt werden. Für die Studien zur Naturverjüngung konnten vor Ort zwei besonders auffällige Vorkommen ausgewählt werden.

## Naturverjüngung von *Tsuga heterophylla*

### Untersuchte Bestände

Beide Bestände mit Naturverjüngung liegen im gleichen Naturraum mit ähnlichen Klima- und Bodenverhältnissen (Tabelle 2). Sie sind ca. 5 km voneinander entfernt und gehören zu unterschiedlichen Forstämtern. Herkunft und Historie dieser Anpflanzungen sind nicht bekannt.

Die Fläche „Kranichfeld“ weist einen einzelnen, kompakten Horst mit 33 lebenden Altbäumen von *T. heterophylla* auf, weitere 27 Bäume finden sich einzelbaumweise beigemischt in einem Fichtenbestand etwa 500 m südlich davon entfernt (Damm 2016). Der

zweite Hemlockbestand liegt im Revier „Blankenhain“. Er besteht aus vier räumlich getrennten Kleinvorkommen trupp- und gruppenweise eingemischter *T. heterophylla* unterschiedlichen Alters in einem Umkreis von ca. 3 km (Wohlwend 2016).

### Ergebnisse

#### Fläche „Blankenhain“

Mithilfe von Transekten in die vier Haupthimmelsrichtungen konnten ausgehend von jeweils äußersten Mutterbaum je Kleinvorkommen durchschnittliche Dichte-Distanz-Beziehungen für die Verjüngung von *T. heterophylla* dargestellt werden (Abbildung 1). Plots für Verjüngungszählungen waren dafür jeweils 10 m lang auf der Transektlinie und 5 m breit (50 m<sup>2</sup>). Die Verjüngung war im Durchschnitt bereits 3,2 m hoch, auch besonders hohe Individuen aus der Naturverjüngung (max. 26 m) konnten visuell eindeutig von Mutterbäumen unterschieden werden. Im Nahbereich zu Mutterbäumen (≤ 10 m) konnten mittlere Verjüngungsdichten von 6.000–10.000 Stück ha<sup>-1</sup> ausgezählt werden. Bis 50 m Distanz zum nächsten Samenbaum liegen die Verjüngungsdichten im Durchschnitt bei über 1.000 Stück ha<sup>-1</sup>. In weiteren Distanzen stammen höhere Dichten stets aus Transekten entgegen der Hauptwindrichtung. Ab etwa 120 m Distanz tritt kaum noch Verjüngung auf.

Ergänzend dazu wurden maximale Verjüngungsdistanzen je Kleinvorkommen in alle acht Himmelsrichtungen erschritten (Wohlwend 2016). Verjüngung ließ sich dabei in jede Himmelsrichtung stets bis mindestens 364 m Distanz zum letzten Mutterbaum finden. Das Maximum wurde ausgehend von einem dieser Kleinvorkommen in Richtung Süd-Ost bei 866 m Entfernung festgestellt.

#### Fläche „Kranichfeld“

Auf der Fläche Kranichfeld wurde ausgehend vom zentral gelegenen Altbaumhorst ein systematisches Netz von Aufnahmeflächen mit 10 x 10 Plots jeweils 25 m entfernt zueinander angelegt (Abbildung 2). Dieses systematische Netz wurde mit identischen Distanzschritten strahlenförmig in die acht Himmelsrichtungen bis maximal 500 m Entfernung ergänzt (n = 10 x 10 + 8 x 13 = 204). Verjüngungsinventuren erfolgten je Plot auf jeweils 5 m<sup>2</sup>. Bestimmt wurde dazu, ob sich Naturverjüngung von *T. heterophylla* etablieren konnte, mit

Tab. 2. Naturräumliche, klimatische und edaphische Charakterisierung beider Flächen für die Untersuchungen der Naturverjüngung.  
Environmental, climatic and edaphic description of both sites for the analysis of the natural regeneration.

<b>Wuchsgebiet</b>	Ostthüringisches Trias-Hügelland (B.33)
<b>Wuchsbezirk</b>	Ilm-Saale-Muschelkalk-Platten (B.33.3)
<b>Höhenlage [m ü. NN]</b>	Wuchsbezirk: 150–600 Untersuchungsflächen: 360–380
<b>Temperatur [°C]</b>	Jahresmitteltemperatur: 7,9 Mitteltemperatur Vegetationszeit: 14,6 Mittlere Januartemperatur: -1,1 Mittlere Julitemperatur: 16,8 Vegetationszeit: 155 Tage
<b>Niederschlag [mm]</b>	Jahr: 640 Vegetationszeit: 320
<b>Klimat. Wasserbilanz [mm]</b>	Jahr: 63 Vegetationszeit: -121
<b>Boden</b>	W-M/Z-S2 (wechselfrische mittlere/ziemlich arme Sand-Standorte), Buntsandstein

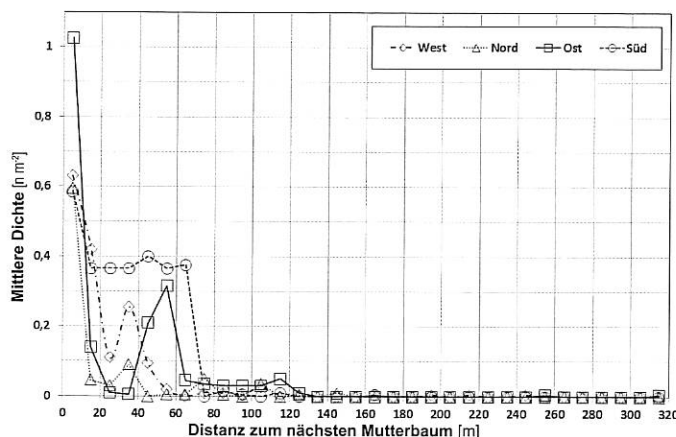


Abb. 1. Mittlere Verjüngungsdichten (aus je vier Vorkommen und vier Himmelsrichtungen) auf der Fläche „Blankenhain“ in Abhängigkeit von der Distanz zum nächsten potenziellen Mutterbaum.  
Mean regeneration density (consisting of four origins and four orientations) on the site „Blankenhain“ in relation to its distance to nearest mature tree.

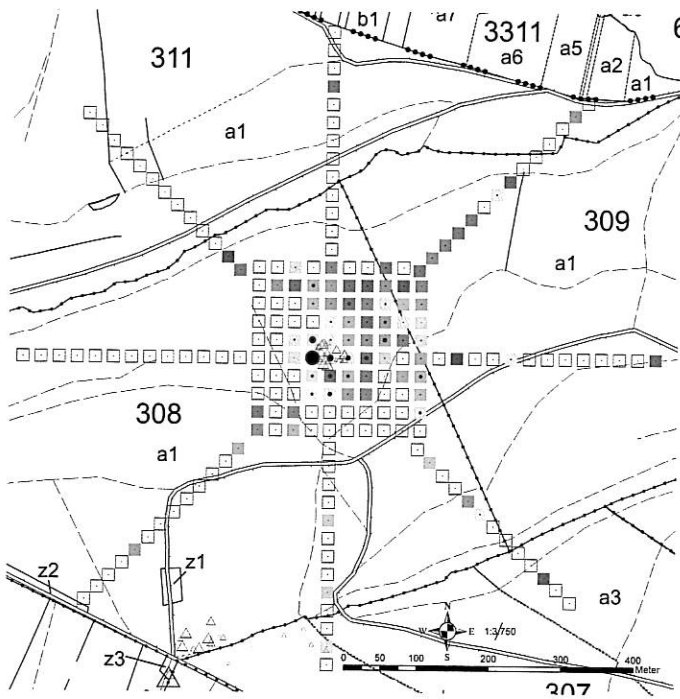


Abb. 2. Karte der Fläche Kranichfeld inkl. *T. heterophylla*-Altbäume ( $\Delta$ , BHD-sensitiv) im Zentrum des Gitternetzes und im Süden der Fläche sowie dem Stichprobendesign für die Verjüngungsinventur ( $\square$ ), Alter der Verjüngung ( $\blacksquare$ , Grün-Töne für 1–24 Jahre) und Verjüngungsdichte am Plot ( $\bullet$ , Kreisgrößen für 0–4,2 n m<sup>-2</sup>).  
Map of the site „Kranichfeld“, including mature trees ( $\Delta$ , DBH-sensitiv) in the centre and in the south, the sample design for the regeneration inventory analysis ( $\square$ ), age of the regeneration ( $\blacksquare$ , green shades for 1–24 years) and regeneration density at the plot ( $\bullet$ , size of circle for 0–4,2 n m<sup>-2</sup>).

welcher Verjüngungsdichte und mit welchem Alter. Dafür wurde die Verjüngung am Plot ausgezählt und jeweils eine repräsentative Pflanze für die Jahrringzählung entnommen. Im Nahbereich des Altbaumhorstes wurden an Plots der systematischen 100er-Stichprobe zusätzlich Standorteigenschaften erhoben oder per GIS aus der forstlichen Standortkartierung ergänzt (vgl. Tabelle 3).

Plots mit etablierter, häufig auch älterer Verjüngung finden sich vorrangig nord-östlich von der potenziellen Samenquelle und damit entgegen der Hauptwindrichtung. Im Datensatz liegt eine höchstsignifikante lineare Beziehung zwischen ermittelter Verjüngungsdichte am Plot und dem dazugehörigen Verjüngungsalter vor. Ältere

Verjüngung wies geringere Verjüngungsdichten auf und war damit offensichtlich bereits konkurrenzbedingter Selbstausdünnung unterworfen. Diese Alter-Dichte-Relation wurde durch eine Regressionsanalyse parametrisiert und anschließend benutzt, um die beobachtete Verjüngungsdichte auf das mittlere Alter (10 Jahre) zu normieren und damit Alters- und Konkurrenzeffekte aus dem Datensatz zu eliminieren. Alle weiteren Auswertungen beziehen sich auf diese alterstrendbereinigten Dichtewerte.

Naturverjüngung konnte bis 475 m Distanz zum Zentrum des Altbaumhorstes nachgewiesen werden. Besonders hohe Verjüngungsdichten fanden sich mit 17.500–40.000 n ha<sup>-1</sup> in unmittelbarer Altbaumnähe und direkt unter dem Kronenschirm. Mit zunehmender Entfernung vom Horstzentrum nimmt die Verjüngungsdichte kontinuierlich ab (Abbildung 3). Dieser Trend lässt sich mit Gleichungssystemen verallgemeinern und führt im konkreten Fall zur Ableitung einer mittleren Verjüngungsdistanz von ca. 110 m. Höhere Dichten und weitere Distanzen erreicht die Verjüngung von *T. heterophylla* statistisch gesichert entgegen der Hauptwindrichtung.

Tabelle 3 gibt Auskunft über signifikante Einflüsse unterschiedlicher Standortvariablen auf (1) die Häufigkeit verjüngter Plots, (2) die Mittelwerte der Verjüngungsdichte innerhalb der 100er-Stichprobe und (3) die Verjüngungsdichte ausschließlich innerhalb des

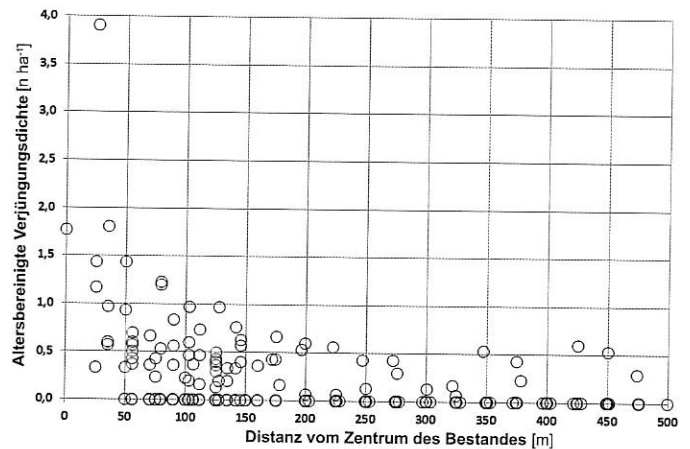


Abb. 3. Distanzabhängige Verjüngungsdichten auf der Fläche „Kranichfeld“ im Verhältnis zum Zentrum des Altbestands.  
Distance related regeneration density on the site „Kranichfeld“ in relation to the centre of the old planted area.

Tab. 3. Einfluss unterschiedlicher Standorteigenschaften auf die Verjüngungshäufigkeit und -dichte auf allen Plots und Verjüngungsdichte auf Plots mit etablierter Verjüngung von *Tsuga heterophylla*. n.s. = nicht signifikant, sig. = signifikant.  
The influence of the different local conditions at the plots on the quantity of the regeneration, its density and its density after establishment. n.s. = not significant, sig. = significant.

Variable	Häufigkeit	Dichte auf allen Plots	Dichte auf Plots mit etablierter Verjüngung
Wassergehalt (Vol. %)	n.s.	n.s.	n.s.
Wasserhaushalt Standortkartierung (3)	sig. (seltener & spärlich bei „mittel“)		sig. (dichter bei „gut“)
Bodennährkraft (2)	sig. (häufiger bei „ziemlich arm“)	n.s.	n.s.
Reliefform (5 bzw. zusammengefasst zu 3)	n.s.	n.s.	sig. (dichter am Hang)
Humusform (5)	n.s.	n.s.	n.s.
Humusmächtigkeit (cm)	n.s.	sig. (geringer je mächtiger der Humus)	
Bodenvegetation (4 bzw. zusammengefasst zu 2)	n.s.	n.s.	n.s.
Überschirmung (4)	n.s.	n.s.	n.s.
Strahlung (% und W m <sup>-2</sup> )	sig. (häufiger u. dichter je mehr Strahlung)		n.s.

mit Verjüngung etablierten Teildatensatzes ( $n = 57$  von 100). Hierfür erfolgten Chi<sup>2</sup>-Tests, nichtparametrische Verteilungstests und lineare Regressionen mit dem Programm R (The R Core Team, Version 3.3.2 2016) jeweils in Abhängigkeit von der Skaleneigenschaft vorgelegener Standortvariablen (Damm 2016).

Der gemessene volumetrische Wassergehalt am Plot, die Humusform, die Bodenvegetation und die Überschirmung wirkten nicht signifikant auf die Häufigkeit und Dichte der Verjüngung auf der Fläche Kranichfeld. Signifikant häufiger und dichter war Naturverjüngung bei gutem Bodenwasserhaushalt zu finden. Darunter zählen am Ort der Untersuchung laut Nomenklatur der forstlichen Standortkartierung frische terrestrische Standorte, Standorte mit Staunässe im Unterboden und solche mit Wechselfeuchte. Auf Plots mit Verjüngung finden sich höhere Dichten am Hang im Vergleich zu Plateau- und Muldenlage sowie auf Plots mit geringer Humusmächtigkeit. Signifikant häufiger wurden ärmere Standorte besiedelt. Auch die Strahlungsinformation aus Fish-Eye-Aufnahmen kann dazu beitragen, signifikante Unterschiede in der Häufigkeit und Dichte der Naturverjüngung zu erklären. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass sich Verjüngung von *T. heterophylla* auf der Fläche Kranichfeld vorrangig und besonders dicht auf wechselfeuchten und auf frischen, ziemlich armen Hangstandorten mit geringer Humusmächtigkeit und besserer Strahlungsversorgung findet.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Anbauerfahrungen mit *T. heterophylla* außerhalb ihres natürlichen Areal sind spärlich, sie reichen momentan nicht aus, um fundierte Einschätzungen z. B. für einzelne Regionen oder Naturräume in Mitteleuropa abzuleiten. Praxisnahe Anbauten sind gelegentlich zu finden (Thüringen soll hier als Beispiel gelten) und geben Hinweise auf eine leistungsfähige, verjüngungsfreudige Baumart, die bereits Jahrzehnte in heimischen Wäldern standhält. Eine großräumige, systematische Auswertung bestehender Anbauten, beispielsweise auch im Zusammenhang mit dem dynamischen Klimawandel, hat jedoch noch nicht stattgefunden.

In den untersuchten Fallbeispielen ist die Naturverjüngung von *T. heterophylla* im Nahbereich zu Mutterbäumen sehr dicht (10.000–40.000  $n\ ha^{-1}$ ). Auch die aus dem natürlichen Areal bekannte weitreichende Windausbreitung konnte in den Beständen in Thüringen bestätigt werden (Durchschnitt 110 m, max. 866 m). Im Rahmen der vorgefundenen Standortvariabilität der untersuchten Fläche „Kranichfeld“ lassen sich für die Verjüngung von *T. heterophylla* z. B. (1) geringe Ansprüche an die Bodentrophie, (2) hohe Ansprüche an den Bodenwasserhaushalt und (3) höhere Keim- und Etablierungserfolge bei möglichst geringen Humusaufgaben auch außerhalb des natürlichen Areal belegen.

Das beobachtete Naturverjüngungspotenzial nimmt aber mit zunehmender Distanz zur Samenquelle ab etwa 250 m rasch ab. Neben dieser räumlichen Beschränkung sprechen auch Bodenwasserhaushalt, Humusmächtigkeit und signifikanter Strahlungseinfluss gegen eine omnipräsente, stets dichte Verjüngung von *T. heterophylla* und damit für Steuerungsmöglichkeiten von *T. heterophylla*-Naturverjüngung durch Forstplanung und -management. Invasives Verhalten ist aus den Fallbeispielen nicht ableitbar.

Diese Schlussfolgerungen können sich allerdings nur auf den untersuchten Naturraum und Nadelmischwaldtyp beziehen. Es fehlen Erfahrungen zum Verhalten in verschiedenen Waldgesellschaften sowie bei Klima- und Bodengradienten. Für den Anbau von *T. heterophylla* außerhalb des weiten natürlichen Areal ist außerdem die Provenienzfrage bisher nicht erschöpfend beantwortet und weitere Forschung zur Anbaueignung notwendig, z. B. hinsichtlich Standfestigkeit, Klima- und Wasseransprüchen sowie Pathogenen.

## Literatur

- Bannister P., Neuner G. 2001. Frost resistance and the distribution of conifers. In: Bigras F.J., Colombo S.J. (Hrsg.) Conifer cold hardiness. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 3–21
- Damm C. 2016. Verjüngungsökologische Untersuchungen an der Westlichen Hemlocktanne (*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.) in Thüringen. Masterarbeit TU-Dresden (unveröff.)
- Franklin J.F., Dyrness C.T. 1969. Vegetation of Oregon and Washington. USDA, For. Service, Res. Paper PNW-80
- Gashwiler J.S. 1969. Seed fall of three conifers in West-Central Oregon. Forest Science 15, 290–295
- Gavin D.G., Hu F.S. 2006. Spatial variation of climatic and non-climatic controls on species distribution: the range limit of *Tsuga heterophylla*. Journal of Biogeography 33 (8), 1384–1396
- Glawenda M., Kopyrowski M. 2012. Dendrochronological analysis of radial growth of western hemlock (*Tsuga heterophylla* Sarg.) from Western Pomerania (Dobrzany Forest District). Sylwan 156 (4), 287–293
- Harrer F. 1927. *Tsuga*. Forstwissenschaftliches Centralblatt 49, 308–321
- Hennon P. 1999. *Tsuga heterophylla*. Enzyklopädie der Holzgewächse – 17. Erg. Lfg. 9/99 III-1, 1–8
- Isaac L.A. 1930. Seed flight in the Douglas fir region. Journal of Forestry 28 (4), 492–499
- Liesebach M. 2007. *Tsuga canadensis*. Enzyklopädie der Holzgewächse – 47. Erg. Lfg. 3/07 III-1, 1–14
- Metzger H.G., Schirmer R., Konner M. 2012. Neue fremdländische Baumarten im Anbautest. AFZ-Der Wald 67 (5), 32–34
- Otto H.J. 1993. Fremdländische Baumarten in der Waldbauplanung. Forst und Holz 48 (16), 454–456
- Packee E.C. 1990. *Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg., Western Hemlock. In: Burns R.M., Honkala B.H. (Hrsg.) Silvics of North America. Vol. 1. Conifers. Washington D.C., 613–623
- Ribbens E., Silander J.A., Pacala S.W. 1994. Seedling recruitment in forests. Calibrating models to predict patterns of tree seedling dispersion. Ecology 75, 1794–1806
- Roloff A., Bärtels A. 1996. Gehölze. Gartenflora Band 1. Ulmer, Stuttgart.
- Schmiedinger A., Bachmann M., Kölling C., Schirmer R. 2009. Verfahren zur Auswahl von Baumarten für Anbauversuche vor dem Hintergrund des Klimawandels. Forstarchiv 80, 15–22
- Schölch M., Arenhövel W., Frischbier N., Leder B., Mettendorf B., Schmiedinger A., Stimm B., Vor T., Aas G. 2010. Anbauerfahrungen mit fremdländischen Baumarten – ein Beitrag zur richtigen Baumartenwahl. Forst und Holz 65 (3), 22–26
- Schrader B. 1998. Structural development of late successional forests in the central oregon coast range: Abundance, dispersal, and growth of Western Hemlock (*Tsuga heterophylla*) regeneration. Dissertation, Oregon State University, 1–188
- Stratmann J. 1988. Ausländeranbau in Niedersachsen und den angrenzenden Gebieten: Inventur und waldbaulich-ertragskundliche Untersuchungen. Sauerländer's, Frankfurt a. M.
- Straube H. 2010, 2011, 2012. Werkverträge zu Gastbaumarten und Hemlocktanne im Staatswald im Auftrag des FFK Gotha (unveröff.)
- Thomasius H. 1972. Möglichkeiten einer Produktivitätssteigerung der Wälder durch Anbau fremdländischer Baumarten im Bereich der VVB Forstwirtschaft Suhle. Fachkommission Forstwirtschaft der Agrarwissenschaftlichen Gesellschaft der DDR, 97–157
- Trauboth V. 2002. Anbauten der Kanadischen Hemlocktanne im Thüringer Wald. AFZ-Der Wald 57 (3), 132–135
- Wohlwend M.R. 2016. Regeneration of the non-native western hemlock (*Tsuga heterophylla*) – a methodological approach. Universität Bayreuth, Masterarbeit (unveröff.)