

Tsuga und Thuja als Nadelholz-Alternativen im Klimawandel?

Standörtliches und waldwachstumskundliches Potential der westlichen Hem-locktanne und des Riesenlebensbaums in Deutschland

Eric Andreas Thurm¹, Maik Werning², Ralf Nagel²

¹Landesforst MV, BT FVI, Forstliches Versuchswesen MV, Sachgebiet Waldbau/Waldwachstum

²Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW FVA), Sachgebiet Ertragskunde

Zusammenfassung

Nichtheimische Baumarten können eine wichtige Rolle für die Anpassung der Wälder an den Klimawandel spielen. Anhand von Praxisanbauten und langfristigen Versuchsflächen in Nord- und Mitteldeutschland wurde in der vorliegenden Studie das Leistungs-, Qualitäts-, und Standortpotential der Westamerikanischen Hemlocktanne und des ebenfalls aus Westamerika stammenden Riesenlebensbaum dargestellt. Die Untersuchung von 87 Versuchsflächen hat gezeigt, dass sich beide Baumarten schon in Deutschland etablieren konnten. Die Wuchsleistungen sind mit rund 950 Vfm/ha stehendem Vorrat im Alter 100 vergleichbar hoch und bewegen sich auf dem Niveau zwischen Fichte und Douglasie. Das Qualitätspotential konnte nur für den Riesenlebensbaum bestimmt werden. Es befindet sich im Alter 50 mit rund 110 Z-Bäumen pro ha in einem ausreichenden Rahmen. Standortlich haben beide Baumarten überrascht. Schon derzeit werden sehr vielfältige Standort besiedelt. Besonders der Riesenlebensbaum scheint unter gewissen Voraussetzungen auch auf mineralischen Nassstandorten zu recht zu kommen. Beide Baumarten können als Alternative zur Fichte zum Einsatz kommen. Klimatisch sollte der Riesenlebensbaum auf Standorten mit mehr als 550 mm geeignet sein. Der Hemlocktanne sollte mit 600 mm etwas mehr Niederschlag zur Verfügung stehen. Neben der vorläufigen ertragskundlichen Bewertung beider Baumarten werden Praxisanbauten als weiterer Forschungsansatz für nichtheimische Baumarten herausgestellt und verschiedene Auswertungsmethoden skizziert. Das Fazit dieser Arbeit ist, dass die Ergebnisse der vorliegenden Studie auf der Grundlage regional begrenzter Praxisanbauten nur ein Teilbeitrag zu Anbauempfehlungen von Hemlocktanne und Riesenlebensbaum sein können. Um zu gesicherten Baumartenempfehlungen zu gelangen, ist es essentiell, bundesweit die Praxisanbauten zu sammeln und zu analysieren und diese Ergebnisse mit den weiteren Forschungsansätzen zu verschneiden.

Einleitung

Bei unseren vier wichtigen Wirtschaftsbaumarten (Fichte, Kiefer, Buche, Eiche) werden in den Waldzustandsberichten regelmäßig hohe Zahlen an Kronenverlichtung festgestellt (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT 2022). Neben verschiedenen eingeführten Schaderregern wird im Wesentlichen der Klimawandel für diese Entwicklung verantwortlich gemacht. Da ist es nicht verwunderlich, dass Waldbesitzer als auch Forstliche Versuchsanstalten im Auftrag der Forstverwaltungen vermehrtes Interesse an Alternativbaumarten aus anderen Regionen Europas sowie anderen Kontinenten zeigen.

Ziel dieser Nachforschungen - im praktischen als auch im wissenschaftlichen Umfeld - ist es, einen ähnlichen Glücksgriff zu landen, wie er einst mit der Grünen Douglasie gelungen ist. Die Douglasie ist scheinbar sehr gut an Standort- und Klimabedingungen in weiten Teilen Deutschlands angepasst, verfügt über überlegene Wuchseigenschaften (MILLER et al. 2022) und integriert sich gut in heimische

Waldbausysteme (GÖHRE 1958), ohne dabei heimische Waldökosysteme zu überprägen (SCHMID et al. 2014).

Mittlerweile gibt es verschiedene, sehr gute Literaturreviews zu nichtheimischen Baumarten (LÜDEMANN 1998, VOR et al. 2015, ALBRECHT u. DE AVILA 2018, LWF 2019). Zwangsläufig fußen diese auf Erfahrungsberichten und Fallstudien, die meist keine großen Standortsgradienten abdecken. Großangelegte Studien benötigen Zeit, sind aber unerlässlich, um wissenschaftliche Baumartenempfehlungen geben zu können. In THURM et al. (2017) wurden vier unterschiedliche Forschungsansätze zusammengestellt, mit denen man zu gesicherten Baumartenempfehlung gelangen kann. Einen weiteren Ansatz möchten wir an dieser Stelle beschreiben, weil er pragmatisch und ohne lange Versuchslaufzeiten umsetzbar ist – die *Recherche und Auswertung sogenannter Praxisanbauten*.

Praxisanbauten sind Bestände, die von Waldbewirtschaftern mit dem Ziel begründet worden sind, nichtheimische Baumarten unter lokalen Standortbedingungen auszutesten. Folglich sind sie nicht standardisiert, unterscheiden sich in Größe und Mischungsform und auch die Herkunft des Saatguts ist teilweise unklar. Dennoch haben nun auch die Versuchsanstalten diese Bestände für sich entdeckt, denn die Praxisanbauten repräsentieren erfolgreiche Zeitreihen des Wachstums unter heimischen Standortbedingungen. Und so gibt es mittlerweile in den Bundesländern verschiedene Projekte, die versuchen die Praxisanbauten zu finden und wissenschaftlich auszuwerten.

In Mecklenburg-Vorpommern war es das BeNi in MV- Projekt, welches mit Hilfe der Landesinitiative „Unser Wald in MV“ aufgelegt wurde. In Kooperation mit dem Forstlichen Versuchswesen MV und der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt wurden 2021/22 zwölf nichtheimischen Laub- und Nadelbaumarten untersucht. Nach Abschluss des Projektes kamen wir zu dem Fazit, dass es für Baumartenempfehlungen größerer Standortsgradienten und mehr Versuchsflächen bedarf. Nur so können die Nachteile der ungesicherten Herkunft und heterogenen Standorts- und Altersabdeckung ausgeglichen werden. Wir haben daher die Daten zweier Projekte (BeNi in MV, IKSP) zusammengefasst, um exemplarisch für die Westamerikanische Hemlocktanne (*Tsuga heterophylla*) und den Riesenlebensbaum (*Thuja plicata*) zu zeigen, welche Erkenntnisse aus den Praxisanbauten gewonnen werden können und wo sie durch andere Forschungsansätze zu ergänzen sind.

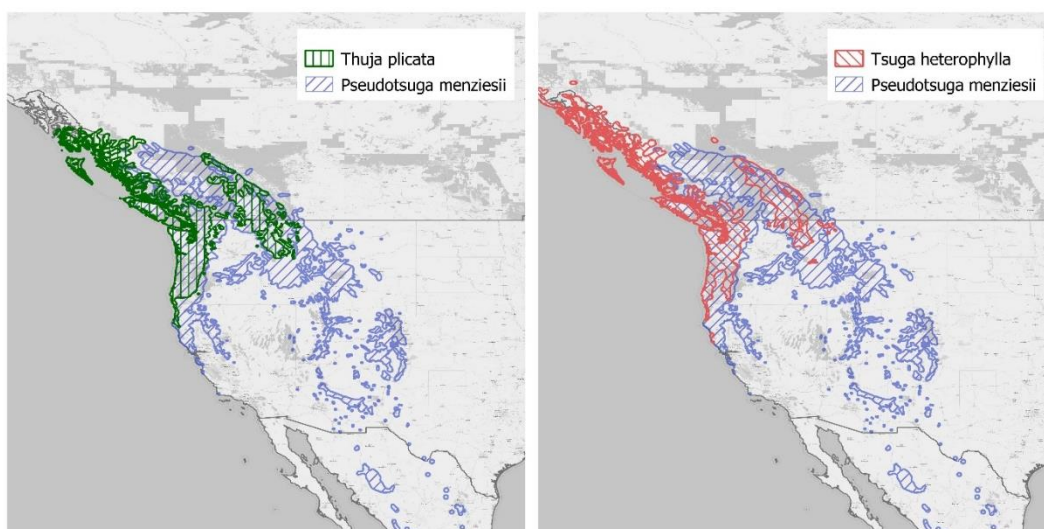


Abbildung 1: Verbreitung des Riesenlebensbaumes (*Thuja plicata*, grün) und der Westamerikanischen Hemlocktanne (*Tsuga heterophylla*, rot) im Vergleich zum Verbreitungsgebiet der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) basierend auf den Karten von LITTLE JR. (1971).

Beide Baumarten stammen ursprünglich von der Westküste Nordamerikas (siehe Abbildung 1). Durch das Wirken von Schwappach existieren erste Anbauten in Deutschland schon seit 1881 (SCHÖBER 1956). Ihr heutiger Anteil in deutschen Wäldern ist allerdings selbst im Vergleich zur Douglasie, Roteiche und Robinie verschwindend gering geblieben. In ihrem Ursprungsgebiet sind Hemlocktanne und Riesenlebensbaum miteinander vergesellschaftet und wachsen unter anderem mit Baumarten wie der Douglasie, der Großen Küstentanne oder der Sitkafichte (MINORE 1983, TESKY 1992). Beide Baumarten sind ausgesprochen schattentolerant, insbesondere der Riesenlebensbaum (KOBE u. COATES 1997). Beide Arten kommen nur selten in Reinbeständen vor (MINORE 1990), dominieren jedoch in alten Wäldern alle Kronenschichten (KOBE u. COATES 1997). Im Inlandsbereich der Baumarten (vergleichbar mit dem Inlandsgebiet der Douglasie), u. a. in Idaho, gewinnt die Hemlocktanne mit zunehmender Höhe an Dominanz, währenddessen der Riesenlebensbaum in feuchten Tieflandsgebieten vorherrschend ist. Sogar sumpfige Standorte sollen für den Riesenlebensbaum kein Problem darstellen, mit stagnierender Nässe im Winter bei Wasserständen bis 15 cm unter Flur (MINORE 1990). Auch bei trockneren Standorten scheint der Riesenlebensbaum flexibler zu sein als die Hemlocktanne. MINORE (1990) führt das auf seine bessere Durchwurzelungsfähigkeit zurück. Die Verbreitung beider Arten besitzt in Nordamerika einen ausgeprägten Höhengradienten von 0 bis über 2100 m ü. NN (MINORE 1983, TESKY 1992).

Bei diesem weit gefächerten Standortsspektrum ist es erstaunlich, dass die Arten nicht in gleichem Maße durch forstliche Maßnahmen gefördert wurden, wie beispielsweise die Douglasie. Dass das Holz beider Baumarten keine Verwendung findet, sollte jedoch kein Grund sein. Der Riesenlebensbaum besitzt dauerhaftes und leichtes Holz, welches für Dachschindeln, als Konstruktionsholz und für Außenanwendungen verwendet wird. Die Westamerikanische Hemlocktanne eignet sich ausgezeichnet für die Papierherstellung, liefert aber u. a. auch Schwellen- und Grubenholz, Dielung, Deckenverkleidungen und Sperrholz-Furnier. Während die Douglasie 43 % des Nadelholzanteils in den westlichen Staaten der USA liefert, sind es bei dem Riesenlebensbaum 0,03 % bei der Hemlocktanne 3 %. Im Vergleich zu dort durchschnittlichen Preisen von 30 €/m³ Nadelholz, liefern die Hemlocktanne mit 32 €/m³ und der Riesenlebensbaum mit 81 €/m³ jedoch überdurchschnittliche Holzerlöse (Douglasie 39 €/m³)¹ (HOWARD u. LIANG 2019).

Im Folgenden möchten wir nun analysieren, inwieweit beide Baumarten als Nadelholz-Alternative unter heimischen Standortbedingungen gelten können. Dabei werden drei Themenkomplexe beziehungsweise Forschungsfragen mit einbezogen. 1) Wie gestaltet sich das Leistungsniveau im Vergleich zu heimischen Nadelhölzern? 2) Wie sind die Qualitätsaussichten der Baumarten? 3) Welche Standortsgradienten decken beide Baumarten schon heute in Deutschland ab, bezogen auf a) das Klima und b) den Boden?

Material

Das verwendete Datenmaterial stammt aus Praxisanbauten ergänzt um Daten langfristiger, waldwachstumskundlicher Versuchsflächen. Anders als die langfristigen Versuchsflächen verfügen die Praxisanbauten über kein standardisiertes Versuchsdesign. Die Bestände wurden über Abfragen an die Forstämter und aus den Forsteinrichtungsdaten der Länder detektiert. Es erfolgt ein Vorort-Kontrolle (Erstbereisung), um zu erfassen, ob die Bestände prinzipiell für eine repräsentative, waldwachstumskundliche Auswertung geeignet sind. Kriterien der Auswahl waren rechteckige Versuchsflächen mit

¹ Die Umrechnung der Angaben aus der U.S. Timber Production, Trade, Consumption, and Price Statistics basieren auf den Erlösen verkauften Schnittholzes aus nationalen Wäldern im Jahr 2017 mit dem Umrechnungskurs von Juni 2017

einer Größe von rund 0,1 ha. Die Flächen sollten in geschlossen Beständen liegen mit möglichst wenigen Randeffekten. Als untere Grenze des Mitteldurchmessers für aufzunehmende Bestände wurde ca. 15 cm festgelegt, um die Auswertung etablierter Bestände zu gewährleisten.

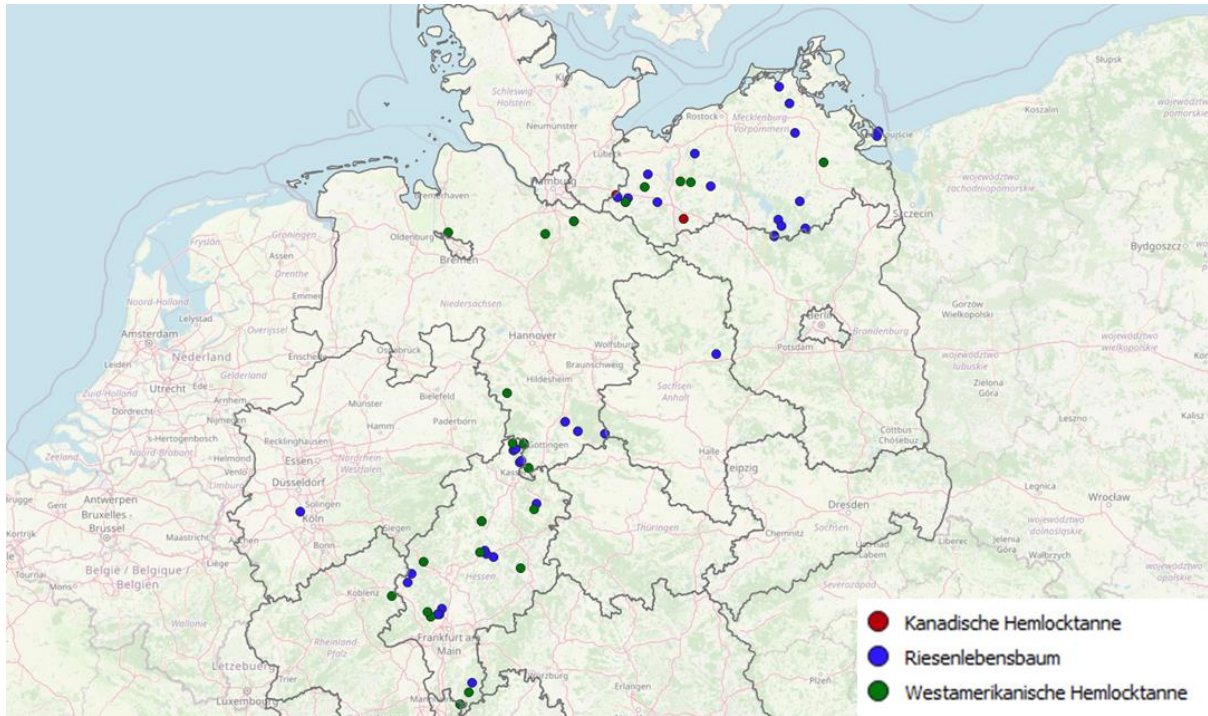


Abbildung 2: Übersicht der ausgewerteten Flächen aus Praxisanbauten und langfristiger Versuchsflächen.

Die nördlichste Fläche mit einem 25-jährigen *T. plicata* Bestand liegt nahe Stralsund auf dem 54° Breitengrad (siehe Abbildung 2). Die südlichste Fläche befindet sich in der Nähe von Heidelberg auf dem 49° Breitengrad und ist ein Bestand mit 74-jähriger *T. heterophylla*. Die Ursprungsgebiete der Arten liegen zwischen dem 61° bis 38° Breitengrad (*T. heterophylla*) bzw. dem 56° bis 40° (*T. plicata*) (basierend auf den Karten von LITTLE JR. (1971) siehe Abbildung 1).

Tabelle 1: Übersicht der aufgenommenen Versuchsflächen sowohl aus dem langfristigen Versuchsflächenmessnetz als auch aus den Praxisanbauten.

	Flächen		Größe			Alter			Mitteldurchmesser			Mittelhöhe			Vorrat		
	Aufnahmen	N	min	mittel	max	min	mittel	max	min	mittel	max	min	mittel	max	min	mittel	max
	N	N	ha			Jahre			cm			m			m ³ /ha		
<i>Thuja plicata</i>	57	217	0.05	0.13	0.25	17	69	140	9.7	34.4	85.8	7.9	23.6	43.4	1	476	2096
<i>Tsuga heterophylla</i>	30	105	0.04	0.12	0.26	17	52	127	8.5	27.9	67.5	7.5	23.1	43.7	23	384	1494

Insgesamt standen für die Auswertung 87 Flächen mit 322 Aufnahmen zur Verfügung (siehe Tabelle 1).

Bezüglich der waldbaulichen Pflege sind die Flächen der Praxisanbauten nach dem derzeitigen Bestandesbild überwiegend einer mäßigen bis starken Niederdurchforstung mit aktuell geschlossenem bis teilweise gedrängtem Kronenschluss zuzuordnen.

Neben den waldwachstumskundlichen Daten wurden klimatische Daten des Deutschen Wetterdienstes der Klimaperiode 1961-1990 mit einbezogen (DEUTSCHER WETTERDIENST 2020). Die verwendeten Standortdaten entstammen der jeweiligen Standortkartierung der Länder und wurden nach dem nordostdeutschen Standortkartiersystem (SEA95, SCHULZE et al. 2009) vereinheitlicht (siehe auch WOLFF et al. 1998, Anhang 1 & 2).

Methoden

Die Aufnahme der Versuchsflächen erfolgte nach dem Aufnahmeverfahren der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. Die Ableitung der Bestandesdaten erfolgte nach der DESER-Norm (JOHANN 1993). Da für die beiden Baumarten noch keine Formzahlen zur Verfügung stehen, wurde die Schaftformfunktion für das Schaftholz der Fichte unterstellt (BERGEL 1973).

Der Leistungsvergleich der beiden Arten erfolgte durch die Gegenüberstellung der aufgenommenen Bestandeskennwerte mit der Ertragstafeln der Waldkiefer (LEMBCKE et al. 1975, ALBERT et al. 2022), der Gemeinen Fichte (WENK et al. 1984, ALBERT et al. 2022) und der Douglasie (BERGEL 1985, ALBERT et al. 2022). Zusätzlich standen noch zwei Ertragstafeln zum Riesenlebensbaum und zur Westamerikanische Hemlocktanne aus England zur Verfügung (HAMILTON u. CHRISTIE 1971). Da nur die Tafeln und nicht die Ertragstafelfunktionen vorlagen, erfolgte für Bestandeskennwerte, die nicht durch die Ertragstafeln erfasst wurden, eine Extrapolation mittels eines Generalisierten Additiven Modells (gam, mgcv-package, WOOD 2011).

Neben dem visuellen Vergleich zwischen den Versuchsflächen und den Ertragstafelverläufen wurden zwei Indizes berechnet, die zur groben Abschätzung der Angepasstheit der Ertragstafeln dienen. Der Anpassungsindex galt der Frage, ob sich der Schwerpunkt der Aufnahmen für einen bestimmten Bestandesparameter im Zentrum des Ertragstafelfächers befindet. Der Anpassungsanteil diente der Frage, wie viele einzelne Aufnahmepunkte sich zwischen der höchsten und der niedrigsten Ertragsklasse befinden in Relation zur Gesamtanzahl an Aufnahmen.

Der Leistungsvergleich erfolgte anhand der Bestandeskennwerte Bestandesmitteldurchmesser, Oberhöhe (h_{100}), Grundfläche und Vorrat des verbleibenden Bestandes.

Die Qualitätsaussichten einer nichtheimischen Baumart stellen in der Forstwirtschaft ein wichtiges Eignungskriterium da. Das Potenzial an Z-Bäumen pro ha wäre zum Beispiel ein Kennwert dafür, der auch Praktikern gut zu vermitteln ist. Zur Bestimmung dieses Wertes wurden in Mecklenburg-Vorpommern zusätzlich sogenannte Qualitätsbäume bei der Feldaufnahme angesprochen. Bei der Bestimmung der Qualitätsbäume galten ähnliche Vorgaben wie für Z-Bäume. Die Auswahl von Z-Bäume ist jedoch an eine räumliche Verteilung bzw. eine gewünschte Anzahl an Z-Bäumen im Endbestand geknüpft. Diese Kriterien wurden bei der Auswahl der Qualitätsbäume nicht berücksichtigt. Es galt jeder Baum als Qualitätsbaum, der aufgrund guter Form- und Qualitätsmerkmale grundsätzlich zur Wertholzproduktion geeignet wäre. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Baumarten zu erreichen und die natürlichen Stammzahlreduktion zu berücksichtigen, wurde ein lineares Model (lm, CHAMBERS 2017) angepasst. Kam für eine Baumart ein signifikanter, negativer Trend zustande, nutzten wir den Regressionsterm im Alter 50 als Z-Baumpotenzial. Zur Vereinheitlichung verwenden wir im Folgenden den Begriff Z-Bäume, trotz der leicht abweichenden Definition (s. o.).

Für den Standortvergleich nutzten wir Kernel-Dichte-Funktionen (*kde*, *kde2*) für zweidimensionale Daten aus dem R-Paket (MASS, VENABLES u. RIPLEY 2002).

Alle Auswertungen sind in der Softwareumgebung R 3.6.1 erfolgt (R CORE TEAM 2019).

Ergebnisse

Leistungsvergleich

Anhand des Vergleiches der Ertragstafeln mit den Aufnahmen der Versuchsflächen zeigte sich, dass sowohl der Riesenlebensbaum als auch die Hemlocktanne durchaus mit dem Leistungsniveau unserer heimischen Nadelbaumarten Kiefer und Fichte mithalten (siehe Abbildungen 3 und 4). Beim Höhenwachstum (h_{100}) der Hemlocktanne treffen die jungen Versuchsflächen die besten Ertragsklassen vieler Tafeln noch recht gut, gehen dann aber über deren Verlauf hinaus. Besonders eignete sich hier die Tafel für die Hemlocktanne von HAMILTON u. CHRISTIE (1971) und die Tafel der Douglasie von ALBERT et al. (2022). Die Bestandesmitteldurchmesser sind bei der Hemlocktanne etwas kleiner als bei der Douglasie, daher waren es hier eher die Tafeln der Gemeinen Fichte (ALBERT et al. 2022) und der Hemlocktanne (HAMILTON u. CHRISTIE 1971), die übereinstimmten. Beim Vorrat des verbleibenden Bestandes sind es die Tafel der Douglasie (ALBERT et al. 2022) und die Tafel des Riesenlebensbaumes (HAMILTON u. CHRISTIE 1971), die am besten die gemessenen Werte auf den Versuchsflächen widerspiegeln.

Letztlich empfehlen wir für die Hemlocktanne die Anwendung der Douglasien-Ertragstafel von ALBERT et al. (2022). Trotz vieler Übereinstimmung mit Hamilton u. Christie (1971) führte letztlich das ungewöhnlich schmale Band der Grundflächenhaltung dieser Tafel zwischen bester und schlechtester Bonität dazu, dass wir sie nicht empfehlen.

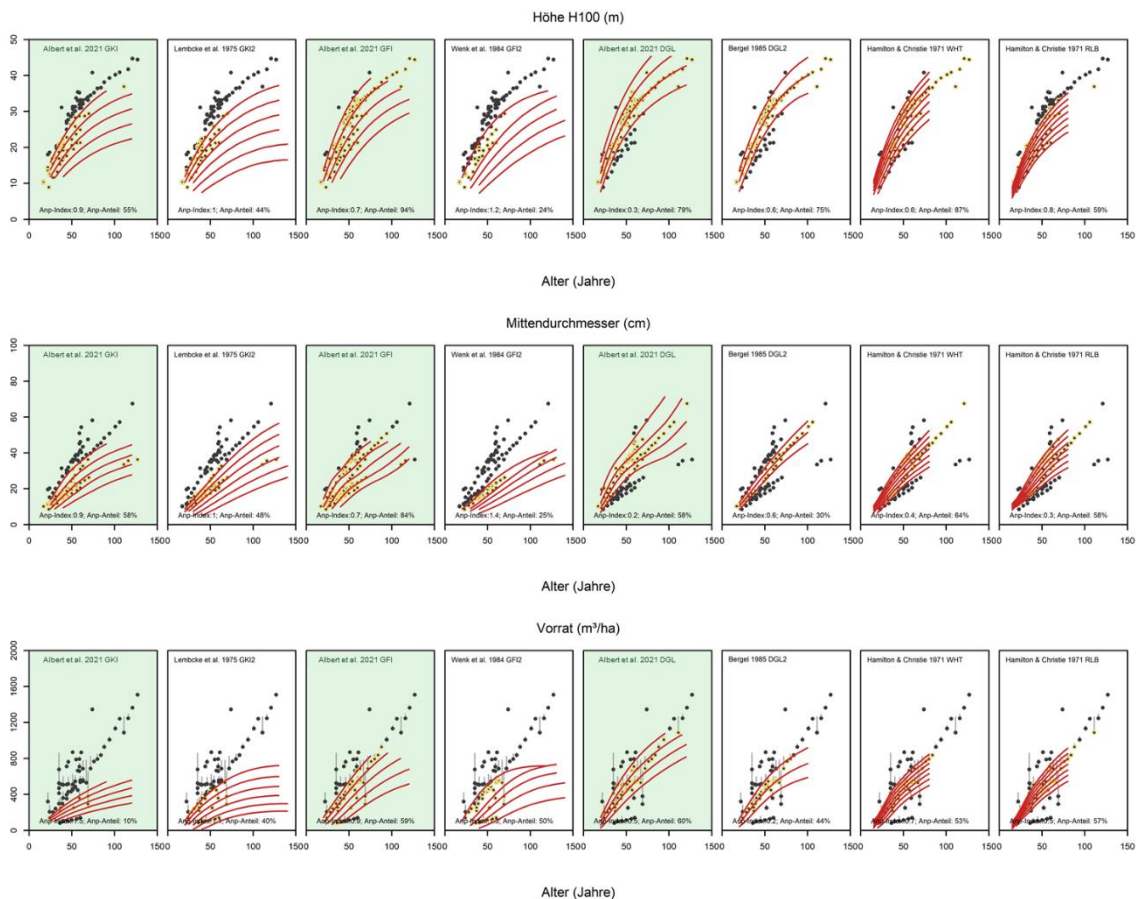


Abbildung 3: Exemplarische Darstellung einzelner Bestandeskennwerte der Hemlocktanne in Abhängigkeit des Alters für die jeweiligen Ertragstafelfächer (rot). Schwarze Punkte stellen die einzelnen Aufnahmen dar. Gelb umrandet sind Aufnahmen, die im Ertragstafelfächer liegen.

Im Vergleich zur Hemlocktanne waren es beim Riesenlebensbaum vor allem die jüngeren Bestände (> 70 Jahre), die das Wuchsniveau der besten Ertragsklassen der verschiedenen Tafeln überstiegen (siehe

Abbildung 4). Die Altbestände trafen die Ertragstafelfächer verhältnismäßig gut. Bei der Oberhöhe zeigten am ehesten die Fichtenertragstafel von ALBERT et al. (2022) und die Riesenlebensbaum-Ertragstafel von HAMILTON u. CHRISTIE (1971) Übereinstimmungen. Auch beim Bestandesmitteldurchmesser schnitt die Fichten-Tafel von ALBERT et al. (2022) am besten ab. Beim stehenden Vorrat waren es die Tafeln von HAMILTON u. CHRISTIE (1971) für den Riesenlebensbaum und die Douglasien-Tafel von ALBERT et al. (2022), die am besten zu den Daten passten. In der Gesamtwertung empfehlen wir für den Riesenlebensbaum entweder die Riesenlebensbaum-Ertragstafel von HAMILTON u. CHRISTIE (1971) oder die Fichten-Tafel von ALBERT et al. (2022) zu nutzen.

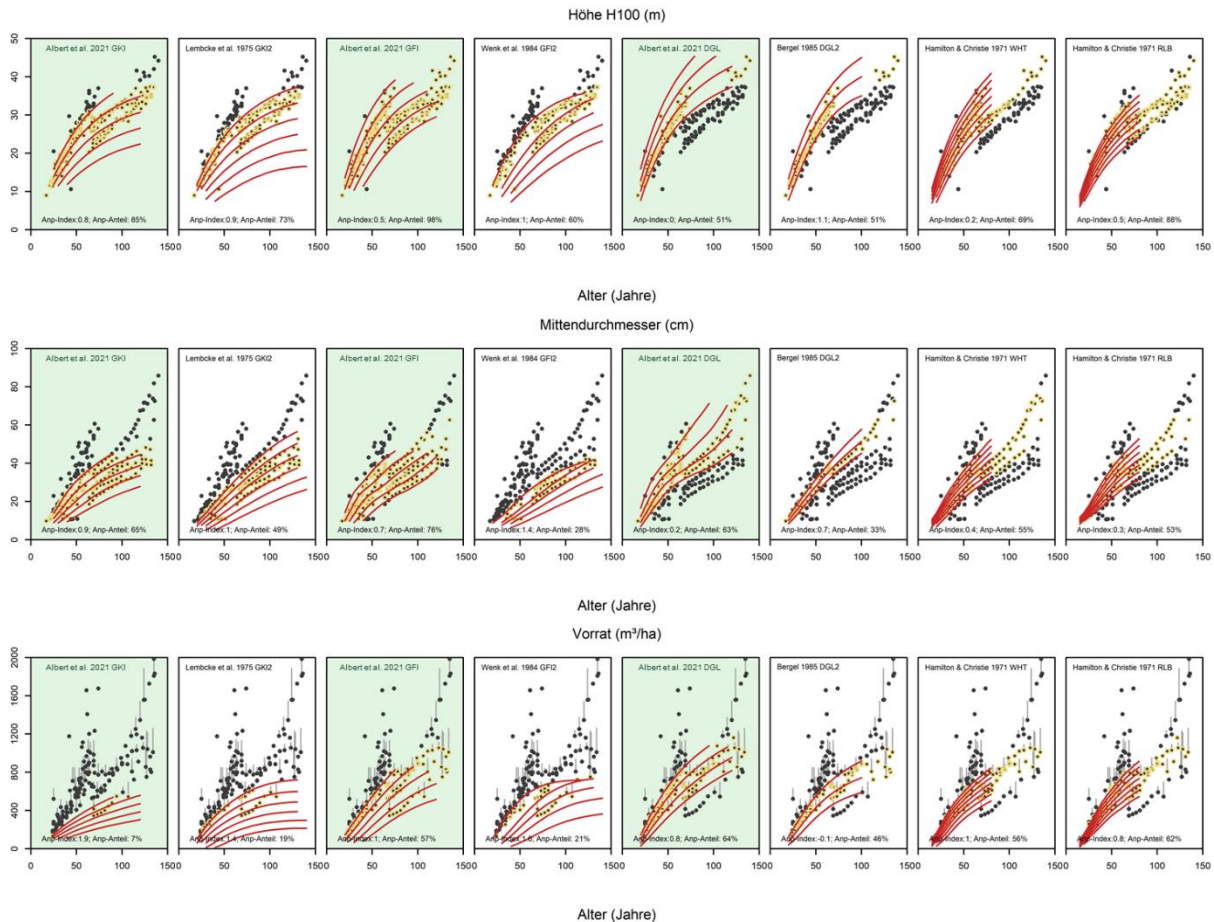


Abbildung 4: Exemplarische Darstellung einzelner Bestandeskennwerte des Riesenlebensbaumes in Abhängigkeit des Alters für die jeweiligen Ertragstafelfächer (rot). Schwarze Punkte stellen die einzelnen Aufnahmen dar. Gelb umrandet sind Aufnahmen, die im Ertragstafelfächer liegen.

Um die Wuchseistung der Westamerikanische Hemlocktanne und des Riesenlebensbaums für unsere Verhältnisse besser einzuordnen, betrachteten wir in Abbildung 5 zusätzlich die Bestandeskennwerte der Versuchsflächen im Alter 100 im Vergleich zu den verschiedenen Ertragsklassen der Gemeinen Fichte (Ertragstafel ALBERT et al. 2022). Auffällig ist bei beiden Baumarten das hohe Vorratsniveau, welches im Mittel zwischen der 1. und 2. EKL liegt der Fichte liegt (rund 950 Vfm/ha). Bei der Stammzahl besitzt der Riesenlebensbaum eine ungewöhnlich hohe Stammzahlhaltung. Diese liegt oberhalb des Verlaufes der Fichte, wobei die Bestandesmitteldurchmesser dann wieder vergleichbar mit der 2. bis 3. EKL der Fichte sind, sowohl für den Riesenlebensbaum als auch für die Hemlocktanne. Das macht sich in einer überproportional hohen Grundflächenhaltung des Riesenlebensbaums bemerkbar, während die Hemlocktanne hier ebenfalls wieder auf dem Niveau der Fichte 1. bis 2. EKL verbleibt. Aufgrund der geringeren Höhe des Riesenlebensbaums (3. bis 4. EKL) ergibt sich dann aber wieder das ausgeglichene Bild bezüglich des verbleibenden Vorrats.

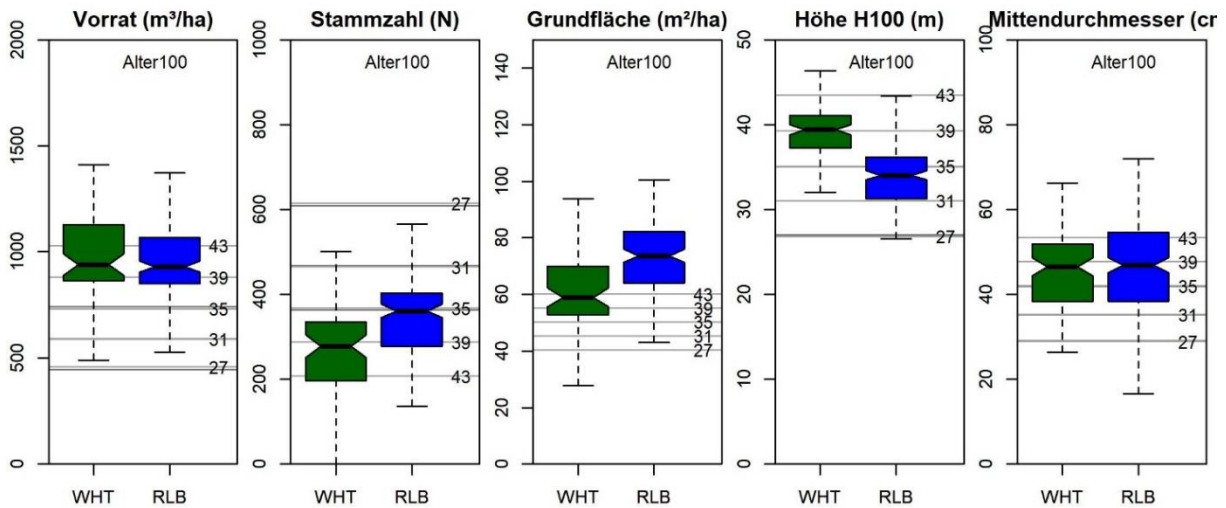


Abbildung 5: Prognostizierte Bestandeskennwerte der Hemlocktanne (grün, WHT) und des Riesenlebensbaums (blau, RLB) im Alter 100. Grau hinterlegte Balken beschreiben die verschiedenen Ertragsklassen der Fichte mit ihren jeweiligen Oberhöhen (ALBERT et al. 2022).

Qualitätspotential

Neben der Wuchsleistung ist die Holzqualität ein wichtiges Entscheidungskriterium für die Anbauwürdigkeit einer Baumart aus forstlicher Sicht. Auf Basis der Versuchsflächen in MV wurde die potentielle Anzahl an Z-Bäumen im Alter 50 prognostiziert (siehe Abbildung 6). Beim Riesenlebensbaum waren das rund 110 Z-Bäume/ha. Das Durchschnittsalter der 20 Versuchsflächen in MV entsprach 50 Jahren und daher war eine signifikante Prognose möglich. Die Z-Baumanzahl besaß nur eine geringe Streuung im Vergleich zu anderen Baumarten in der Auswertung (z. B. Schwarzkiefer und Robinie), was ein vergleichsweise zuverlässiges Qualitätsniveau anzeigt. Die Z-Baumanzahl lag über dem Niveau der Weißtanne als vergleichbarer Nadelbaumart mit 90 Z-Bäumen pro ha.

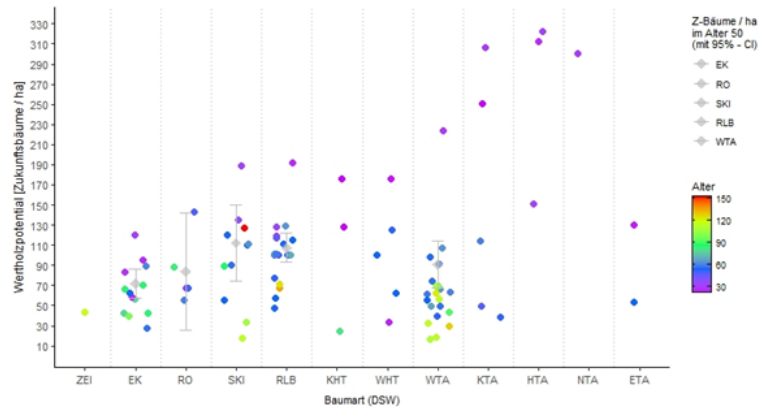


Abbildung 6: Darstellung des Wertholzpotentials anhand potenzieller Z-Bäume je Hektar. Farbige Punkte sind Praxisanbauten, entsprechend ihres Alters eingefärbt. Die grauen Punkte sind berechnete Z-Baumzahlen, die im Alter 50 zur Verfügung stehen. Die Balken verdeutlichen die Unsicherheit (Konfidenzintervall). ZEI – Zerreiche, EK – Esskastanie, RO – Robinie, SKI – Schwarzkiefer, RLB - Riesenlebensbaum, KHT – Kanadische Hemlocktanne, WHT – Westamerikanische Hemlocktanne, WTA – Weißtanne, KTA – Küstentanne, HTA – Nikkottanne, NTA – Nordmannstanne, ETA – Edeltanne.

Bei der Hemlocktanne war die Prognose der Z-Bäume leider nicht möglich, da nicht ausreichend Flächen in allen Altersphasen zur Verfügung standen.

Abdeckung des klimatischen Gradienten

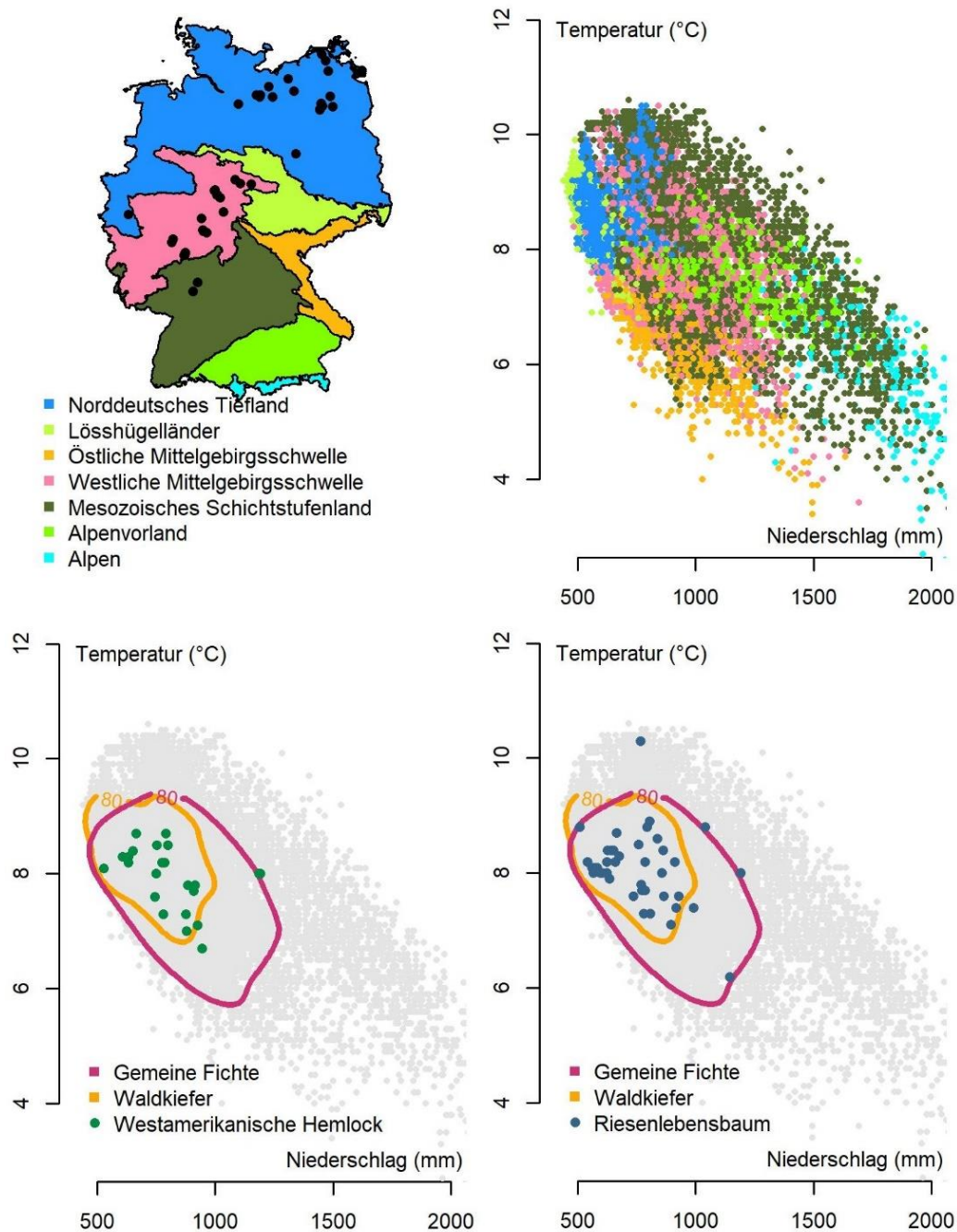


Abbildung 7a-d: a) Lage der Versuchsflächen in den Wuchsgebieten Deutschlands (nach Gauer und Kroiher 2012) Deutschland. b) Lage der Bundeswaldinventur Punkte getrennt nach den verschiedenen Wuchsgebieten aus Abb 7a. Gegenüberstellung der Versuchsflächen c) der Hemlocktanne und d) des Riesenlebensbaums zum klimatischen Verbreitungsgebiet der Fichte und der Kiefer (80 % Klimahülle). Grau hinterlegt die Gesamtheit der BWI3-Punkte als Orientierung zur klimatischen Lage der Waldfläche in Deutschland.

Mit Hilfe von Klimahüllen lässt sich die Verbreitung von Baumarten im klimatischen Raum darstellen. Dies ist eine der Kerninformationen, wenn es um nichtheimische Baumarten und veränderliche Standortbedingung geht. In Abbildung 7 haben wir einerseits die klimatische Verteilung der Hauptbaumarten Waldkiefer und Gemeiner Fichte mit Hilfe einer Klimahülle geplottet und dazu die Versuchsflächen eingezeichnet. Aufgrund der geringen Punktdichte beider Arten war eine Klimahülle für sie nicht sinnvoll. Dennoch erkennt man gut, dass beide Baumarten keine extremen klimatischen Standorte in

Deutschland abdecken, sondern recht zentral in dem 80 % Perzentil des klimatischen Verbreitungsgebietes der Kiefer liegen. Eine Ausreißer-Fläche bezgl. der Temperatur existiert beim Riesenlebensbaum mit einem Bestand mit 10,3° C Jahresmitteltemperatur in der Nähe von Köln. Bei den Ausreißern des Niederschlags handelt es sich bei beiden Baumarten um Flächen im West-Harz und im Odenwald mit Niederschlägen über 1000 mm Jahresniederschlag. Die trockensten Flächen mit weniger als 550 mm Niederschlag, liegen einmal küstennah auf der Insel Usedom und eine Fläche befindet sich nahe Magdeburg. Beide Flächen sind mit Riesenlebensbaum bestockt. Eine Hemlocktannen-Fläche befindet sich mit 526 mm Jahresniederschlag südlich von Greifswald. Diese Fläche bildet jedoch eine Ausnahme bei der Hemlocktanne. Insgesamt sind es sonst nur Riesenlebensbaum-Bestände, die sich auf Standorten mit weniger als 600 m Niederschlag in unseren Daten finden.

Abdeckung des standörtlichen Gradienten

Die Bodeneigenschaften Feuchtestufe und Nährkraft haben wir ebenfalls in Abhängigkeit zur Fichte und Kiefer dargestellt (siehe Abbildung 8). Dabei ist zu erkennen, dass sowohl die Hemlocktanne als auch der Riesenlebensbaum ihren Schwerpunkt in dem frischen und mäßig nährstoffreichen bis kräftigen Standortbereich haben. Bei der Hemlocktanne ist erstaunlich, dass auch auf nassen Standorten Bestände zu finden waren. Der Riesenlebensbaum etablierte sich sogar auf nassen als auch sumpfigen Standorten.

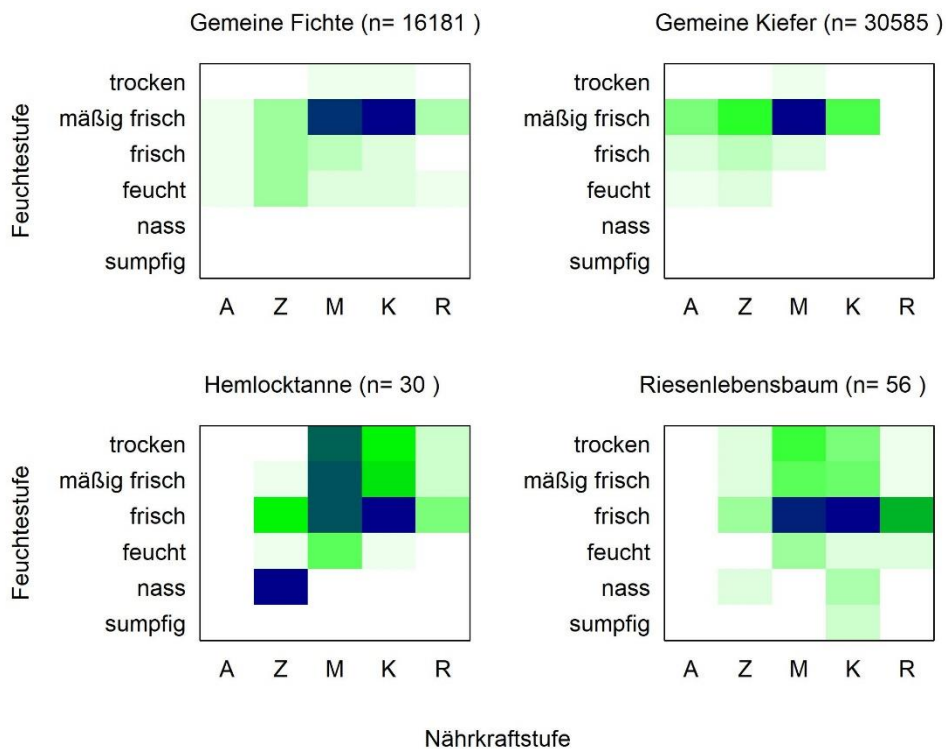


Abbildung 8: Häufigkeitsdiagramme der Standortbedingungen von a) Fichte und b) Kiefer (auf Basis der Datenspeicher Wald Information in Mecklenburg-Vorpommern) und für c) Hemlocktanne und d) Riesenlebensbaum (auf Basis der Versuchsflächen).

Diskussion

Praxisanbauten in der Wissenschaft

Unsere Arbeit sollte einerseits dazu dienen, die systematische Untersuchung von Praxisanbauten als zusätzlichen Forschungsansatz für nichtheimische Baumarten aufzuzeigen. Entsprechend der Tabelle 1 aus THURM et al. (2017) haben wir daher die Eigenschaften, Stärken und Grenzen der Praxisanbauten erneut tabellarisch eingeordnet (siehe Tabelle 2). Die Tatsache, dass es sich bei den Praxisanbauten um etablierte Bestände handelt, ist einer der wesentlichen Vorteile dieses Ansatzes.

Das Hauptproblem besteht darin, dass die Praxisanbauten, aufgrund des fehlenden Versuchsdesigns und der fehlenden Kenntnis über die Historie, nur mit Einschränkungen „gesicherte“ Schlüsse zulassen. Bei den „klassischen“ Versuchsaufbauten geht es im Wesentlichen darum, auf der Grundlage einer Hypothese die Wirkung eines Faktors auf eine Zielvariable entlang eines Gradienten auszutesten - unter sonst gleichen Bedingungen (*ceteris paribus*). Somit werden konsequent die verschiedenen Einflussvariablen ausgetestet, wie zum Beispiel verschiedene Herkünfte auf einem Standort (Herkunftsversuch) oder verschiedene Baumarten auf einem Standort (Anbauversuch). Die Praxisanbauten sind dagegen ein singuläres Zufallsprodukt bei zunächst unbekanntem Ausgangsfaktoren (Herkunft, Bestandesentwicklung, Störungen, etc.). Des Weiteren können nur Praxisanbauten eingemessen werden, die noch existieren. Die ausgefallenen Anbauten und deren Ursachen wären für die Einwertung einer Art jedoch genauso wichtig, wie die zum Teil intensiv gepflegten „Vorzeige“-Anbauten (KÖLLING u. SCHMIDT 2013).

Dennoch können eine hohe Anzahl dokumentierter und aufgenommener Praxisanbauten diesen Nachteil verringern. Unter der Voraussetzung eines möglichst umfangreichen Datensatzes sind einige Auswertungsschritte wirklich sinnvoll und ergänzen die bisherigen drei Forschungsansätze. 1) Ein genereller Auswertungsschritt sollte der Leistungsvergleich mit Ertragstabellen sein. Auch Tabellen aus den Ursprungsregionen können entscheidend der Einordnung dienen. Die genutzten Indizes (Anpassungsanteil und Anpassungsindex) sollen die Zuordnung der am besten passenden Tabelle objektivieren. Nach der Zuordnung geeigneter Tabellen können zu erwartende Wachstumsniveaus wie in Abbildung 5 abgeschätzt werden. 2) Der zweite Auswertungsschritt, die Qualitätsaussichten, zeigte ebenfalls gut verwertbare Ergebnisse. Die Aufnahme erforderte wenig Zeitaufwand, war gut auszuwerten und leicht zu kommunizieren. 3) Eine erste Abschätzung für die Baumart geeigneter Standortsbedingungen ist ebenfalls ein wichtiger Baustein der Praxisanbauten. Hier können die genutzten Klimahüllen bzw. Dichtefunktionen dienlich sein. Bei größeren Flächenzahlen (> 100), die uns leider nicht zur Verfügung standen, können auch Modelle angewendet werden. In diesen können dann auch mehrere Klimavariablen eingehen und interagieren, vergleichbar mit den Artverbreitungs- und Wachstumsmodellen (DOLOS et al. 2015, THURM et al. 2018).

Zwei weitere Auswertungen die wir bisher noch nicht durchgeführt haben, aber ebenfalls als essentiell ansehen, ist 4) die retrospektive Analyse der Bestände mittels Jahrringchronologie (z. B. UHL 2017) und 5) die genetische Analyse zur Detektierung von Ursprungsregionen (z. B. JARMAN et al. 2019). Auch Auswertungen zu phänotypischen Eigenschaften und zur Diversität wären denkbar, machen aber Referenzflächen notwendig.

Tabelle 2: Übersicht der „Recherche und Auswertung von Praxisanbauten“ in Anlehnung an die vier beschriebenen Forschungsansätze um zu Baumartenempfehlungen von nichtheimischen Arten zu gelangen (THURM et al. 2017).

Kriterium	Recherche und Auswertung von Praxisanbauten
Fragestellung	Ökologische Ansprüche einer Art, Leistungs- und Qualitätsvermögen
Eingangsgrößen	Versuchsflächendaten
Zielvariable	Leistungsvermögen, Qualitätspotential, phänotypische Eigenschaften, Standortinformationen
Zeitlicher Horizont der Analyse	kurzfristig (1 bis 3 J.)
Räumlicher Horizont der Ergebnisse	Regional (aktuell meist bundeslandspezifisch)
Stärken	Schnelle Empfehlungen für eine Baumart möglich, Anschauungsobjekte, Potentielle Saatgutflächen
Grenzen	Ceteris paribus fehlt, Aufwand bei Recherche und Aufnahme, wenig Informationen zur Herkunft und Behandlung, „Lüge der Überlebenden“, nicht alle Baumarten im ausreichenden Maß vertreten

Alternativbaumarten

Nichtheimische Baumart werden häufig auch unter dem Begriff Alternativbaumarten eingeordnet. Diese Zuordnung trifft es letztlich ebenso gut, weil natürlich die Kernfrage ist, welche derzeit existierende Baumart wird durch die nichtheimische Baumart leistungsgerecht

¹ ergänzt. Wir haben unterstellt, dass die Hemlocktanne und der Riesenlebensbaum für Kiefer, Fichte und Douglasie eine Alternative bilden könnten. Unsere Daten zeigen, dass die Ertragsleistungen der beiden Arten sich zwischen dem Niveau von Fichte und Douglasie befinden. TENNHOFF u. HANKE (2021) sehen die Leistung der Hemlocktanne ebenfalls vergleichbar mit der Douglasie. Die Oberhöhe des Riesenlebensbaumes erreicht wahrscheinlich nicht die der Douglasie, auch wenn vergleichbar hohe Vorräte zur Fichte und zur Hemlocktanne durch ungewöhnlich hohe Stammzahlen erreicht werden. PANKA (2014) verglich das Wachstum des Riesenlebensbaumes in Brandenburg mit dem der Kiefer und stellte dort eine deutlich höhere Grundflächen- und Vorratshaltung des Riesenlebensbaumes fest. Eine Besonderheit ist sicherlich die sehr späte Kulmination des Volumenzuwachses (SACHSSE 1991), was zusätzlich das hohe Leistungspotenzial der Art unterstreicht.

Standörtlich sehen wir ein Potential beider Baumarten in Regionen, die in Zukunft zu trocken für die Fichte werden. Der Riesenlebensbaum scheint eine breitere Amplitude zu besitzen als die Hemlocktanne, so dass er potenziell auch mineralische Nassstandorte und wechselfeuchte Standorte besiedeln kann. Klimatisch eignen sich derzeit grundsätzlich große Teile des Bundesgebietes. In Regionen mit weniger als 550 mm scheint der Riesenlebensbau als wirkliche Alternative zu anderen Baumarten nicht mehr geeignet, bei der Hemlocktanne bis 600 mm. Gerade im Zuge unserer Untersuchungen mit Artverbreitungsmodellen möchten wir betonen, dass die genannten Zahlen nur Richtwerte sind. Sie be-

¹ Leistungsgerecht bezieht sich an dieser Stelle auf die unterschiedlichen Ökosystemleistungen des Waldes.

dürfen dringend einer Untersetzung mit den entsprechenden Modellen, um auch Niederschlagsverteilung und Temperaturschwankungen mit einzubeziehen sowie die mit der Temperatur deutlich steigenden Transpirationsansprüche zu berücksichtigen.

Mit welchen im Waldbau in Deutschland etablierten Baumarten die beiden Arten in der Bestandesbehandlung vergleichbar sind, bleibt näher zu untersuchen. Fichte und Douglasie sind es unserer Ansicht nicht und keinesfalls die Waldkiefer. Am ehesten ist es wohl die Weißtanne, die eine vergleichbare ökologische Nische besetzt. Eine ihr ähnliche Schattentoleranz prädestiniert beide Arten für stark strukturierte Bestände in ausreichend wasserversorgten Lagen. In Mischung mit Douglasie und heimischen Nadel- und Laubbäumen können diese Strukturen etabliert werden. Die schlechte Humusstreu der Hemlocktanne (TENNHOF u. HANKE 2021) erfordert die Beimischung schattenertragender Laubhölzer. Der Riesenlebensbaum besitzt scheinbar eine recht gut abbaubare Streu (PANKA 2014), jedoch sollte auch hier Laubholz immer in Mischung beteiligt werden. Im Rahmen der neuen Bestockungszieltypen von Mecklenburg-Vorpommern ist aktuell ein „Nordamerika“ – Typ möglich, der neben Douglasie und Roteiche auch Beteiligung von 30 % Hemlocktanne zulässt (MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT, LÄNDLICHE RÄUME UND UMWELT MECKLENBURG-VORPOMMERN 2022).

Fazit

Auch heute kommen schon Bestände von Riesenlebensbaum und Westamerikanischer Hemlocktanne in Deutschland vor und werden in der Forsteinrichtung Baumartengruppen zugeordnet. Der hier durchgeführte Leistungsvergleich soll helfen, trotz fehlender artspezifischer Ertragstabellen für unsere heimischen Standortbedingungen, die Wuchsverläufe der beiden nordamerikanischen Baumarten in möglichst guter Näherung abzubilden.

Neben der Beurteilung der beiden Baumarten möchten wir aber auch ein methodisches Fazit ziehen, welche Bedingungen für Projekte zur Recherche und Auswertung von Praxisanbauten

wichtig wären:

- a) „*Flächen, Flächen, Flächen*“: Weitere Auswertungen sollten sich auf eine möglichst breite Datenbasis verfügbarer Praxisanbauten, möglichst unter Abdeckung eines breiten Standorts- und Altersspektrums, stützen. Bundeslandspezifische Auswertungen sind aufgrund zu kleiner standörtlicher und klimatischer Gradienten von sehr begrenzter Aussagekraft.
- b) „*An einer Baumart arbeiten*“: Es ist neben der Auswertung wichtig, die ökologischen Eigenschaften einer Baumart zu verstehen, um Muster in den Ergebnissen zu deuten. Auch in unserem Beitrag sind einige Parameter der Eignung noch unerwähnt (Waldschutz, Verjüngung, Wild, etc.). Bearbeiter sollten sich daher auf wenige Arten fokussieren, um Recherche und Auswertung zusammenzubringen.
- c) „*Die Kombination verschiedener Ansätze führt zum Erfolg*“: Es ist von großer Bedeutung verschiedene Forschungsansätze zu nutzen, um die Nachteile einzelner Ansätze auszugleichen. Wir sehen beispielsweise die Praxisanbauten als ein Element, um auch die Artverbreitungsmodelle und Analog-Klimate zu verifizieren.

Die Etablierung von nichtheimischen Baumarten ist zwar mit Risiken verbunden, bietet aber auch viel Potential, eine dezidierte Auswertung ist daher im Sinne der Anpassung unserer Wälder.

Literatur

- ALBERT, M.; MATTHIAS, S.; NAGEL, R.-V.; SPELLMANN, H. (2022): Eine neue Generation von Ertragstafeln. *AFZ – DerWald* 77(15): 35–39.
- ALBRECHT, A.T.; DE AVILA, A.L. (2018): Baumarten im Klimawandel: Artensteckbriefe – eine Stoffsammlung. www.waldwissen.net
- BERGEL, D. (1973): Formzahluntersuchungen an Buche, Fichte, europäischer Lärche und japanischer Lärche zur Aufstellung neuer Massentafeln. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 144: 117–124.
- BERGEL, D. (1985): Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland. Niedersächsisch Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (Hrsg.) (2022): Ergebnisse der Waldzustandserhebung 2021. Bonn.
- CHAMBERS, J.M. (2017): Linear Models. In: Hastie T.J. (Hrsg.), *Statistical Models in S*. Routledge.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2020): Grids germany-monthly. mean temperature and precipitation. ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/grids_germany/monthly/. (Zugriff am 01.02.2020)
- DOLOS, K.; BAUER, A.; ALBRECHT, S. (2015): Site suitability for tree species: Is there a positive relation between a tree species' occurrence and its growth? *European Journal of Forest Research* 134(4): 609–621. <https://doi.org/10.1007/s10342-015-0876-0>
- GÖHRE, K. (1958): Die Douglasie und ihr Holz. Akademie Verlag, Berlin. 595 S.
- HAMILTON, G.J.; CHRISTIE, J.M. (1971): Forest management tables (metric). Forestry Commission Booklet No. 34. Cornell University, London. 201 S.
- HOWARD, J.L.; LIANG, S. (2019): U.S. timber production, trade, consumption, and price statistics, 1965-2017. Res Pap 701: 1–96. <https://doi.org/10.2737/FPL-RP-701>
- JARMAN, R.; MATTIONI, C.; RUSSELL, K.; CHAMBERS, F.M.; BARTLETT, D.; MARTIN, M.A.; CHERUBINI, M.; VILLANI, F.; WEBB, J. (2019): DNA analysis of *Castanea sativa* (sweet chestnut) in Britain and Ireland: Elucidating European origins and genepool diversity. *PLOS ONE* 14(9): e0222936. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222936>
- JOHANN, K. (1993): DESER-Norm 1993: Normen der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten zur Aufbereitung von waldwachstumskundlichen Dauerversuchen. In: Beiträge zur Jahrestagung 1993. DVFFA – Sektion Ertragskunde, Unterreichenbach-Kapfenhardt, S. 96–104.
- KOBE, R.K.; COATES, K.D. (1997): Models of sapling mortality as a function of growth to characterize interspecific variation in shade tolerance of eight tree species of northwestern British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 27(2): 227–236. <https://doi.org/10.1139/x96-182>
- KÖLLING, C.; SCHMIDT, O. (2013): Die Lüge der Überlebenden. Wie unsere Urteile über Chancen und Risiken verzerrt werden können. *LWF aktuell* 96: 22–24.
- LEMBCKE, G.; KNAPP, E.; DITTMAR, O. (1975): Kiefern-ertragstafel 1975. Institut für Forstwissenschaften Eberswalde, Eberswalde.
- LITTLE JR., E.L. (1971): Atlas of United States trees Volume 1. Conifers and important hardwoods. Miscellaneous publication 1146. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Washington, D.C. 345 S. 1–345 S. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.130546>
- LÜDEMANN, G. (1998): Schnellwachsende Baumarten in Wald und Landschaft Norddeutschlands: eine Veröffentlichung der „Gesellschaft zur Förderung schnellwachsender Baumarten in Norddeutschland“ e.V. Ges. zur Förderung Schnellwachsender Baumarten in Norddeutschland. 144 S.
- LWF (Hrsg.) (2019): Praxishilfe-Klima-Boden Baumartenwahl. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising.
- MILLER, T.; HONER, H.; LARYSCH, E.; STANGLER, D.; ERHARDT, A.T.; PUHLMANN, H.; SEIFERT, T. (2022): Blick unter die Rinde entschlüsselt Wuchsüberlegenheit der Douglasie. *AFZ/Der Wald* 19: 31–34.

- MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT, LÄNDLICHE RÄUME UND UMWELT MECKLENBURG-VORPOMMERN (2022): Bestockungszieltypen im Klimawandel für die Wälder des Landes Mecklenburg-Vorpommern. Heft A3.
- MINORE, D. (1983): Western redcedar. a literature review [General Technical Report (PNW-150)].
- MINORE, D. (1990): Thuja plicata Donn ex D. Don—western redcedar. *Silvics of North America* 1: 590–600.
- PANKA, S. (2014): Der Riesen-Lebensbaum (Thuja plicata Donn ex D. Don) - Wuchsleistung einer bisher unterschätzten Baumart in Brandenburg. *Eberswalder Forstliche Schriftreihe* 55.
- R CORE TEAM (2019): R: A Language and Environment for Statistical Computing (Version 3.6.1) [Software]. <https://www.R-project.org/>
- SACHSSE, H. (1991): Exotische Nutzhölzer. Pareys Studientexte. Parey, Hamburg u. Berlin. 250 S.
- SCHMID, M.; PAUTASSO, M.; HOLDENRIEDER, O. (2014): Ecological consequences of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) cultivation in Europe. *European Journal of Forest Research* 133(1): 13–29. <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0745-7>
- SCHOBER, H. (1956): Ergebnisse von Anbauversuchen ausländischen Holzarten. *Nederlands bosbouw tijdschrift* 128: 187–202.
- SCHULZE, G.; KOPP, D.; WIRNER, M. (2009): Anleitung für die forstliche Standortserkundung im nordost-deutschen Tiefland – SEA 95. Landesforst Mecklenburg Vorpommern AöR, Malchin.
- TENNHOFF, N.; HANKE, J.M. (2021): Kurzporträt Westliche Hemlocktanne (*Tsuga heterophylla*). www.waldwissen.net. (Zugriff am 11.01.2023)
- TESKY, J.L. (1992): *Tsuga heterophylla*. In: Fire Effects Information System. <https://www.fs.usda.gov/database/feis/plants/tree/tsuhet/all.html>. (Zugriff am 04.01.2023)
- THURM, E.A.; HERNANDEZ, L.; BALTENSWEILER, A.; AYAN, S.; RASZTOVITS, E.; BIELAK, K.; ZLATANOV, T.M.; HLADNIK, D.; BALIC, B.; FREUDENSCHUSS, A.; BÜCHSENMEISTER, R.; FALK, W. (2018): Alternative tree species under climate warming in managed European forests. *Forest Ecology and Management* 430: 485–497. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.028>
- THURM, E.A.; METTE, T.; HUBER, G.; UHL, E.; FALK, W. (2017): Anbauempfehlungen - von der Forschung in die Fläche. *AFZ/Der Wald* 22: 19–23.
- UHL, E. (2017): Zuwachsdynamik und Resilienzverhalten der Edelkastanie (*Castanea sativa* MILL.) in Mischbeständen in Bayern. In: Beiträge zur Jahrestagung 2017. DVFFA – Sektion Ertragskunde, S. 30–42.
- VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D. (2002): *Modern Applied Statistics with S. Statistics and Computing*. Springer, New York, NY. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21706-2>
- VOR, T.; SPELLMANN, H.; BOLTE, A.; AMMER, C. (Hrsg.) (2015): Potenziale und Risiken eingeführter Baumarten. Baumartenportraits mit naturschutzfachlicher Bewertung. Universitätsverlag Göttingen, Göttingen. 296 S.
- WENK, G.; RÖMISCH, K.; GEROLD, D. (1984): DDR-Fichtenertragstafel. Tharandt.
- WOLFF, B.; HÖLZER, W.; FRÖMDLING, D.; BONK, S. (1998): Datenaufbereitung für Modellrechnungen aus der Bundeswaldinventur (BWI) und dem Datenspeicher Waldfonds (DSW) [Abschlußbericht „Deutsche Waldstudie“]. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg, Eberswalde.
- WOOD, S.N. (2011): Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* 73(1): 3–36. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x>