

Wachstumsmodelle der heimischen Eichenarten (*Quercus robur* L. und *Q. petraea* L.) in Abhängigkeit von Standortsfeuchte und Mischung

Anna Wöhlbrandt¹, Maria Pegel¹, Ute Bachmann-Gigl², Eric A. Thurm¹

Abstract

Stiel- und Trauben-Eiche (*Quercus robur* L. und *Q. petraea* L.) gehören zu den wichtigsten Wirtschaftsbaumarten in Deutschland. Beide Arten allerdings eine große morphologische Variabilität auf und hybridisieren in seltenen Fällen auch, sodass beide Spezies in Studien häufig zusammengefasst werden. In dieser Arbeit wurde untersucht, ob die genannten Eichenspezies anhand von Standortsfeuchte und Mischbaumarten unterschieden werden können und inwiefern diese Trennung vorteilhaft für die Vorhersage des Oberhöhenwachstums ist. Obwohl eine Trennung der Eichenarten über ein standortgetriebenes Modell möglich war, führte dies anschließend nicht zu einer Verbesserung der Wachstumsprognose. Durch die Verwendung anderer Zielgrößen (z. B. Grundflächen- oder Volumenzuwachs) kann womöglich das Wachstum beider Eichenarten besser voneinander differenziert werden.

Keywords: Stiel-Eiche, Trauben-Eiche, Artbestimmung, Standort, Wachstumsmodell

1 Einleitung

Stiel-Eichen (*Quercus robur* L., nachfolgend SEI) und Trauben-Eichen (*Quercus petraea* L., TEI) sind zwei europäische Baumarten, deren Verbreitungsgebiete sich in Zentraleuropa weitgehend überschneiden, die Arten kommen also sympatrisch vor (Eaton et al. 2016). Sie gleichen sich vielen morphologischen Aspekten, wie z. B. dem Habitus, Kronenform, Holzanatomie und der allgemeinen Blattform (Aas 2004). Als Unterscheidungsmerkmal gelten die Stiellänge, Buchtenerven und Behaarung der Blätter sowie die Stiellänge des Fruchtstandes. Beide Arten weisen allerdings auch eine große Variabilität dieser Merkmale auf, sowohl innerhalb eines Individuums als auch zwischen Individuen einer Art (Aas 2014).

Diese teilweise Übereinstimmung und Durchmischung der Merkmale führte zur Diskussion des Artstatus, ob SEI und TEI als getrennte Arten

(Aas 2014) oder eine Art mit jeweils zwei Subspezies (Kleinschmit 1995) anzusehen sind. Mit neueren genetischen Untersuchungen steht fest, dass es sich um getrennte Arten handelt (Hertel 2000; Neophytou 2014). Sie können aber dennoch hybridisieren (Neophytou et al. 2014; Gerber et al. 2014). Hybriden kommen auch in der Natur vor, sind aber aufgrund von z. B. unterschiedlichen Blütezeitpunkten selten (Aas 2014).

Eine eindeutige Bestimmung der Arten im Feld ist also anhand rein morphologischer Merkmale nicht immer möglich. Daher wird häufig der Standort als finales Unterscheidungsmerkmal herangezogen. SEI bevorzugen tonreiche, dichtgelagerte Böden mit nahe anstehendem Grund- oder Stauwasser (Auenstandorte) und wachsen daher häufig nahe Flussläufen oder in Senken. Sie verträgt periodische Überflutungen. Die TEI reagiert hingegen empfindlich auf stagnierende Nässe und zieht daher trockene bis frische, flach- bis mittelgründige Stein- oder Lehmböden vor. Meist kann sie an Hängen oder auf Kuppen vorgefunden werden (Aas 2014; Eaton et al. 2016).

Im folgendem wollen wir uns unter der Annahme, dass SEI und TEI gelegentlich falsch bestimmt werden, damit beschäftigen, ob 1) in Bundeswaldinventurdaten die Trennung der beiden Eichenspezies anhand der Artengemeinschaft möglich ist und 2), ob diese neue Aufteilung dann zu einer besseren Prognose des Wachstums führt.

¹ Anna Wöhlbrandt: SG Waldbau und Waldwachstum, Forstl. Versuchswesen, BT FVI, Landesforstanstalt Mecklenburg-Vorpommern Schwerin, Deutschland
anna.woehlbrandt@lfoa-mv.de

² Ute Bachmann-Gigl: Abt. Boden und Klima Bayrische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) Freising, Deutschland

2 Methodik

Datengrundlage unserer Untersuchung ist die Bundeswaldinventur 3 (BWI) (Thünen-Institut für Waldökosysteme 2012). Sie ist ein deutschlandweites Inventurverfahren mit einem 4 x 4 km Netz (in einigen Regionen mit 2 x 2 km Verdichtung), das alle 10 Jahre durchgeführt wird. An den Schnittpunkten des Messnetzes (Inventurtrakte) befinden sich jeweils vier Traktecken im Quadrat von 150 Metern. An diesen erfolgen die Aufnahmen mittels konzentrischer Probekreise. Auf den Probekreisen werden, sofern sie sich in einem Waldgebiet der Bundesrepublik befinden, Parameter wie Baumart, Durchmesser, Alter und Höhe erfasst. Von den insgesamt 54.593 Traktecken haben wir 12.646 Traktecken mit SEI und TEI identifiziert.

Um die die beiden Eichenspezies anhand der Artengemeinschaft zu trennen, haben wir den Mischbaumarten auf allen Traktecken mit Eichen zwei Feuchtigkeitsindizes zugeordnet:

- (1) Der *flooding tolerance*-Index (kurz FI) aus der Metaanalyse von Niinemets & Valladares (2006) basiert auf den Eigenschaften der heimischen Baumarten, unter anderem auf der Berücksichtigung morphologischer Merkmale nach Glenz et al. (2006). Er weist jeder Baumart einen Wert auf einer fünfstufigen Skala zu. Sie reicht von dem Überstehen langanhaltender Staunässe für mehr als ein Jahr (Stufe 5), über das Ertragen von Staunässe innerhalb der Vegetationsperiode (Stufe 4) bzw. eines Monats (Stufe 3) über wenige Wochen (Stufe 2) bis nicht mehr als wenige Tage (Stufe 1) innerhalb der Vegetationsperiode.
- (2) Der modifizierte SAGA *wetness*-Index (kurz SAGA) nach Plettenbacher ist ein dimensionsloser, topographischer Feuchtigkeitsindex, der das Wasserpotential auf Basis der Geländehöhe berechnet (Conrad et al. 2015; Wimmer & Plettenbacher 2022). Grundlage unserer Berechnung ist ein europäisches digitales Geländemodell (*digital elevation model*, DEM) (Tomislav 2019) über das die Geländeneigung (*catchment slope*) und das Wassereinzugsgebiet (*modified catchment area*) abgeleitet wird (Abbildung 1). Mit zunehmendem Index steigt das Feuchtigkeitspotentials des Standortes. Auf den Traktecken der Eichen liegt der Wertebereich zwischen 90 und 218.

SEI-Traktecken erreichen danach mit einem FI von 1,8 (± 0,5) einen signifikant höheren Wert als TEI-Traktecken mit 1,4 (± 0,3) (Wilcoxon-Rangsummentest) (Abbildung 2, links). Zudem liegen

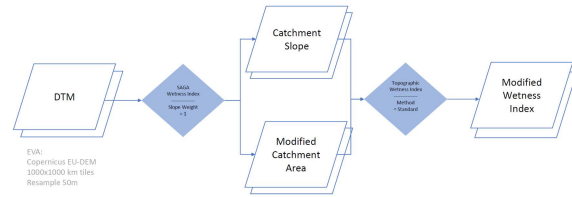


Abbildung 1: Fließdiagramm zur Berechnung des Feuchtigkeitsindex "SAGA" nach Plettenbacher (Wimmer & Plettenbacher 2022). Eingangsgröße ist das digitale Geländemodell (DTM) in 50 m Rasterweite, mit Hilfe derer die Geländeneigung (slope) und das modifizierte Wassereinzugsgebiet (modified catchment area) berechnet werden. In Kombination ergeben diese dann den modifizierten SAGA.

TEI-Traktecken durchschnittlich etwa 19 Indexpunkten unter dem SAGA der SEI (Abbildung 2, rechts). Traktecken mit beiden Eichenarten befinden sich bei beiden Indizes zwischen den Index-Werten von SEI und TEI (Abbildung 2).

Für die Neuklassifizierung der Eichenarten haben wir einen Schwellenwert bestimmt, der angibt ab wann ein Baum in Abhängigkeit von FI oder SAGA entweder als SEI oder als TEI gilt. Mit beiden Indizes wurde jeweils ein binomiales Modell erstellt und anschließend eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Die Berechnung des Schwellenwertes erfolgte mit dem *pROC*-package (Robin et al. 2023) über den Abstand zwischen ROC-Kurve und diagonaler Linie nach Youden (1950). Bei beiden Indizes ändern Werte unter dem Schwellenwert (trocken) die Eichenart zu TEI und Werte darüber (feucht) zu SEI (Abbildung 3).

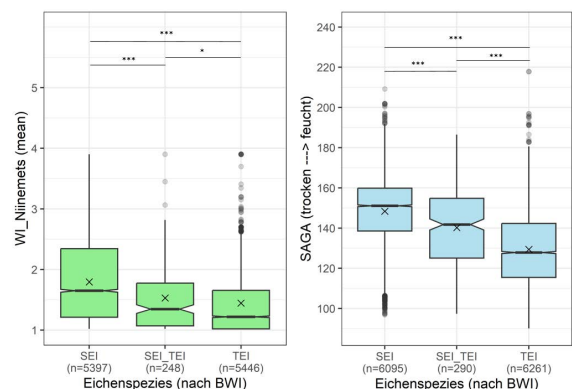


Abbildung 2: Boxplots der für die Traktecken berechneten beiden Feuchtigkeitsindizes *flooding tolerance*-Index (links) und SAGA-Index (rechts), getrennt nach den jeweils vorort angesprochenen Baumarten Stiel-Eiche (*Quercus robur*, SEI) und Trauben-Eiche (*Quercus petraea*, TEI) sowie Traktecken an denen beide Arten angesprochen wurden (SEI, TEI).

Tabelle 1: Parameter für die nichtlineare Quantilsregression (nlrq-Funktion, package quantreg) (Koenker 2023) zur Erstellung der Oberhöhenbonitätskurven (Site index-Kurven) von Stiel-Eiche (*Quercus robur* L.) und Trauben-Eiche (*Quercus petraea* L.).

Art	Startparameter				Koeffizienten				Altersgrenzen	
	k	p	a _{0.05}	k _{0.05}	p _{0.05}	a _{0.95}	k _{0.95}	p _{0.95}	a _{min}	a _{max}
Stiel-Eiche	0,012	0,652	25,407	0,011	0,740	38,761	0,014	0,621	0,000	200,000
Trauben-Eiche	0,005	0,700	33,700	0,005	0,700	40,367	0,012	0,623	0,000	200,000

Zur Prüfung, ob eine Neuklassifizierung der Eichen eine bessere Prognose des Wachstums ermöglicht, vergleichen wir nachfolgend Bonitätsfächer nach BWI-Artklassifizierung mit Bonitätsfächern der Artklassifizierung über Standortsfeuchte und Mischbaumarten. Aus dem Datensatz wurden dafür 20 Prozent der höchsten Bäume pro Traktecke selektiert. Sie bilden die

Datengrundlage um die Oberhöhenbonitätskurven (Site index-Kurven) zu erstellen. Bäume die älter als 200 Jahre waren, wurden entfernt. Die Anpassung der Kurven erfolgte durch eine nicht-lineare Quantilsregression (nlrq, package quantreg) (Koenker 2023) nach dem Algorithmus von Koenker & Park (1996) angepasst mit der Wachstumsfunktion nach Chapman Richards (Richards 1959). Als Parameter dienten die Werte aus Tabelle 1. Um die Grenzen des gesamten Höhenfächers abzubilden haben wir das 5- sowie 95-Prozentquantil gewählt.

Beide Bonitätsfächer haben wir daraufhin mit den gefilterten BWI-Daten und Ertragstafeln nach Röhe et al. (2020) für die SEI und der nach Albert et al. (2021) für die TEI verglichen. Letztere ist eine für beide Baumarten entwickelte Tafel und wurde in Ermangelung einer besseren Alternative gewählt.

Mit den zwei neuen Artklassifizierungen, über den FI sowie den SAGA, wurden daraufhin erneut die Bonitätsfächer mit den gleichen Parametern erstellt (Tabelle 1). Die gesamte Auswertung erfolgte über die frei verfügbare Statistik-Software R (R Core Team 2023, Version 4.2.3) in Verbindung mit der Entwicklungsumgebung R-Studio (R Studio Team 2023).

3 Ergebnisse

Die Auswertung der BWI-Daten ergab, dass beide Eichenarten innerhalb Deutschlands (gemessen an der Anzahl der Traktecken) gleich häufig vertreten sind. TEI überwiegen in der Fläche allerdings im Harz und Südwesten, wohingegen SEI vorwiegend im Norden und Südosten Deutschlands zu finden sind. Traktecken mit beiden Spezies treten selten und vorrangig in Niedersachsen und Baden-Württemberg auf (Abbildung 4). Primäre Mischbaumarten beider Spezies sind Rot-Buchen (*Fagus sylvatica* L.), Wald-Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) und Fichten (*Picea abies* (L.) H.Karst.). Allerdings bilden TEI anteilig häufiger

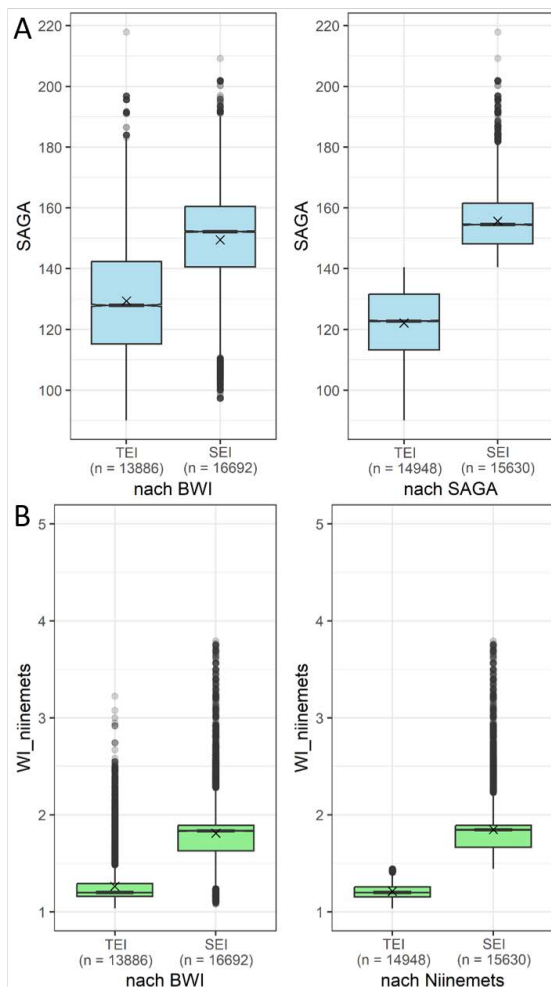


Abbildung 3: Änderung der Baumart (Stiel-Eiche (*Quercus robur*, SEI) und Trauben-Eiche (*Quercus petraea*, TEI) durch Neuklassifizierung über Mischbaumarten (FI) (A) und Feuchtigkeit (SAGA) (B) jeweils im Vergleich mit der Baumartenbestimmung der Bundeswaldinventur 3 (BWI3).

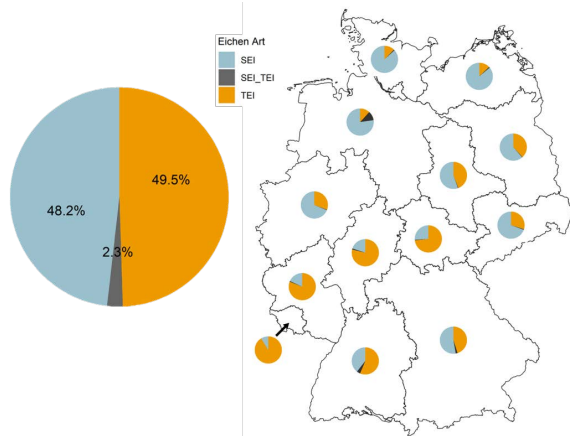


Abbildung 4: Verteilung der Stiel-Eiche (*Quercus robur*, blau), Trauben-Eiche (*Q. petraea*, orange) und Mischung (schwarz) auf Aufnahmepunkten der Bundeswaldinventur 3 (BWI3) in Deutschland für Gesamtdeutschland (links) und anteilig je Bundesland (rechts).

Mischbestände mit Buchen (53% vs. 32%), Hainbuchen (16% vs. 13%) und europäische Lärche (*Larix decidua* L.) (6% vs. 3%) als die SEI. Letztere ist stärker vergesellschaftet mit Schwarz-Erlen (*Alnus glutinosa* L.) (7% vs. 1%), Eschen (*Fraxinus excelsior* L.) (11% vs. 4%) und Sand-Birken (*Betula pendula* L.) (15% vs. 7%) (Abbildung 5).

Unsere standortsunabhängige Auswertung zeigt, dass in der Altersklasse 0 - 20 und von Altersklasse 41 - 60 bis 181 - 200 die SEI eher weniger als einen Meter höher sind als die TEI. Zwischen den Jahren 21 bis 40 ist die Höhe vergleichbar und in der höchsten betrachteten Altersklasse (>200 Jahre) erreichen die TEI tendenziell größere Höhen (Abbildung 6A). SEI verfügen über durchschnittlich höhere Brusthöhendurchmesser (kurz BHD) als TEI. Mit zunehmendem Alter besteht ein Trend zu stärkerer Differenzierung

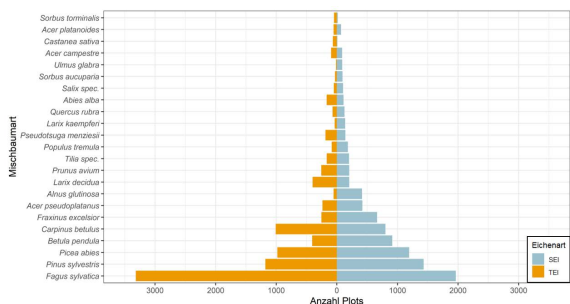


Abbildung 5: Anzahl der Traktecken (BWI3) auf denen Stiel-Eiche (*Quercus robur*, blau, $n = 6093$) oder Trauben-Eiche (*Quercus petraea*, orange, $n = 6258$) zusammen mit mindestens einer Mischbaumart vorkommt (Mehrfachnennungen möglich, da auf einer Traktecke bis zu sechs Arten vorhanden sein können).

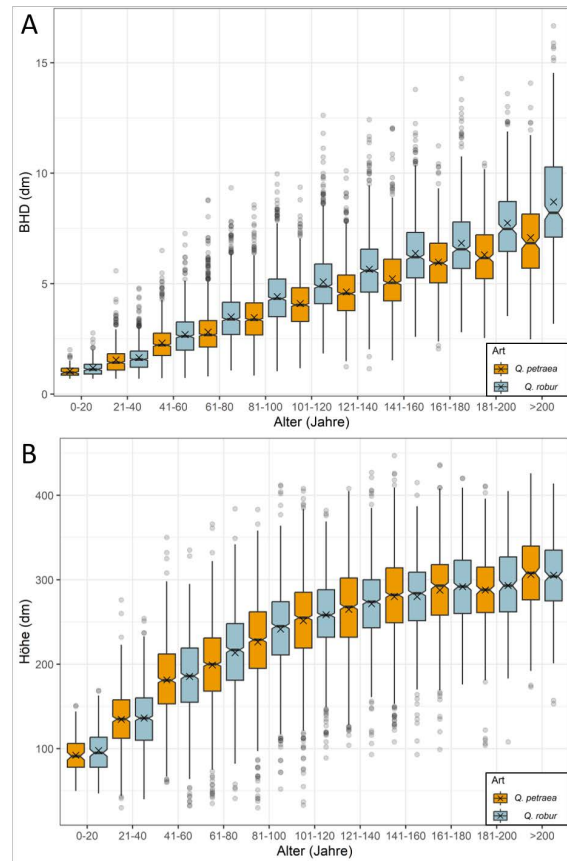


Abbildung 6: Vergleich der Oberhöhen in Dezimetern (A) und Brusthöhendurchmesser (BHD) in Dezimetern (B) für Stiel-Eiche (*Quercus robur*, blau) und Trauben-Eiche (*Quercus petraea*, orange) über die Altersklassen von 0-20 bis >200 Jahre.

des BHDs zwischen SEI und TEI. So liegt die Differenz der Mittelwerte in der Altersklasse 41 – 60 bei 3,4 cm, in der Altersklasse 181 – 200 dagegen bei 13,4 cm (Abbildung 6B).

Bis zum Alter von 100 Jahren erreicht die SEI im Vergleich der Ertragstafeln von Albert et al. (2021) und Röhe et al. (2020) geringfügig höhere Werte. Ab dem Alter 100 übersteigt das Wachstum der TEI das der SEI (siehe Ekl. II, Abbildung 7).

Auch die von uns erstellten Wachstumsfächer zeigen bei SEI einen steileren Höhenverlauf und früheren Kulminationspunkt. So liegt der SI im Alter 100 des 50-Prozent-Quantils im Falle der SEI bei 25,9 m, TEI erreicht 24,7 m. Die Höhen der TEI streuen dabei ins Positive wie ins Negative stärker als die SEI (vgl. Abbildung 8A und 8B).

Um festzustellen, ob sich die Bonitätsfächer nach der Neuklassifizierung der Eichenarten anhand von Standortsfeuchte und Mischbaumarten verändern, vergleichen wir diese. Die mit den

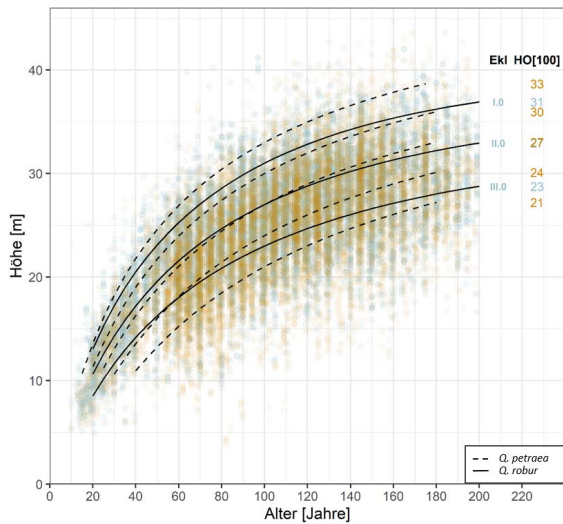


Abbildung 7: Oberhöhe (in Metern) von dominanten Stiel-Eichen (*Quercus robur*, blau) mit Ertragstafelkurve von Röhe et al., (2019, durchgezogen) und Trauben-Eichen (*Quercus petraea*, orange) mit Ertragstafelkurven von Albert et al. (2021, gestrichelt).

neuklassifizierten Baumarten erstellten Wachstumsfächer zeigen nahezu gleiche Kurvenverläufe (Abbildung 9). Einzige Ausnahme bildet die mittels SAGA Neubestimmte TEI. Dort steigt die Kurve bis zum Alter von etwa 140 Jahren stärker an (Abbildung 9B).

4 Diskussion

Es ist immer wieder zu beobachten, dass die Bestimmung der SEI und TEI im Bestand zu Diskussionen führt. In unserer Studie wollten wir versuchen, ob über die Standortsfeuchte oder die Mischbaumarten die Zuweisung der Eichenarten eindeutiger funktioniert und anschließend testen, ob diese neue Klassifizierung stärker differenzierte Ergebnisse der Oberhöhenbonitätsmodelle ergibt.

In Deutschland sind SEI und TEI gemessen an der Trakteckenanzahl gleichverteilt, TEI wächst allerdings vermehrt im Südwesten, SEI eher im Nordosten (Abbildung 4). Neben den geographischen Schwerpunkten in der Verbreitung indizieren Unterschiede bei den Mischbaumarten, dass die Besetzung der Standorte durch SEI oder TEI maßgeblich von der Standortsfeuchte abhängig ist. SEI ist verglichen mit der TEI häufiger vergesellschaftet mit Schwarz-Erlen (FI 3,9) und Eschen (FI 2,7), die beide tolerant gegenüber Staunässe und zeitweiliger Überflutung sind (Ninemets & Valladares 2006). TEI kommen hingegen häufig gemischt mit Buchen vor, die Staunässe und Überschwemmungen schlechter

ertragen (FI 1,0), was auf eine Bevorzugung der TEI von trockeneren Standorten hindeutet (Abbildung 5).

Im Wuchsverhalten bestehen weniger Unterschiede. Beide Eichenarten sind annähernd gleich hoch (Abbildung 6A). Allerdings weisen SEI tendenziell höhere BHDs auf als TEI (Abbildung 6B). Aus der Literatur ist unter anderem bekannt, dass TEI durchgehendere Stämme und regelmäßiger Kronen bilden (Aas 2014). Ertragstafeln und Bonitätsfächer beziehen sich auf hingegen immer auf die Höhe nicht auf die Dimension. Unsere weiteren Auswertungen berücksichtigen somit nicht die Unterschiede im Grundflächen- oder Volumenzuwachs.

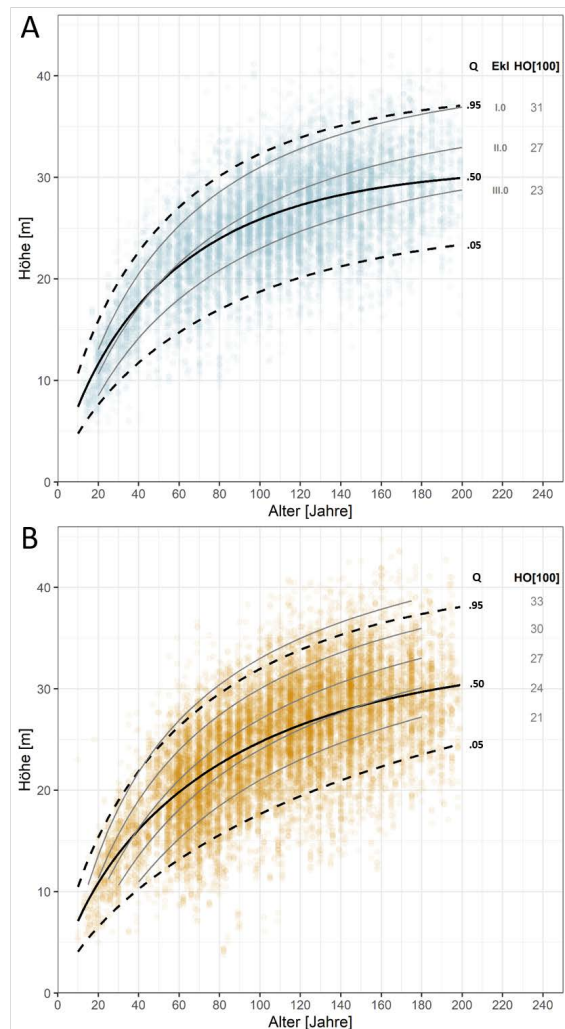


Abbildung 8: Deutschlandweiter relativer Site index (.95, .50 und .05-Quantilsgrenzen) von dominanten Stiel-Eichen (*Quercus robur*, blau) mit eingezeichneter Ertragstafelkurve (grau) nach Röhe et al. (2019) (A) bzw. von dominanten Trauben-Eichen (*Quercus petraea*, orange) mit eingezeichneter Ertragstafelkurve (grau) nach Albert et al. (2021) (B)

Entsprechend ähneln sich die Verläufe der Ertragstafelkurven von SEI und TEI (Abbildung 7). Da uns keine reine TEI-Ertragstafel bekannt war,

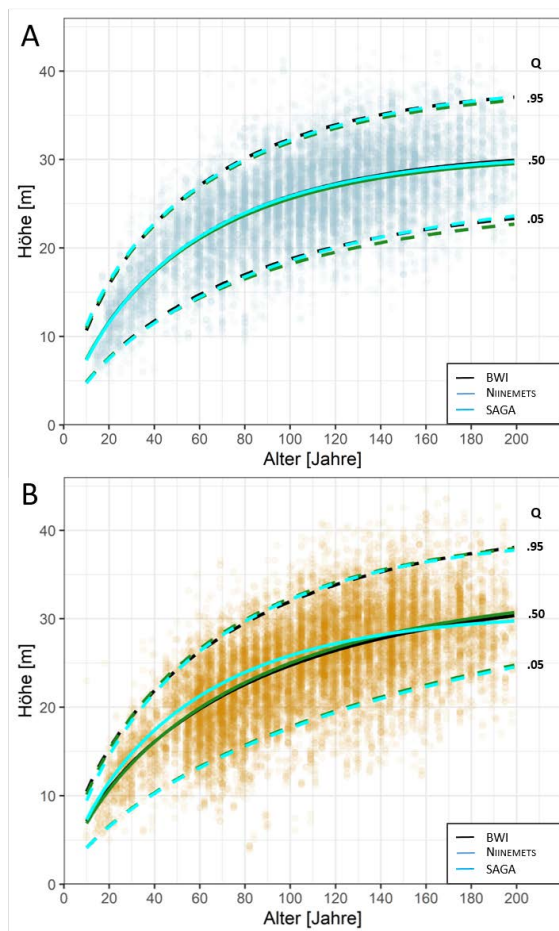


Abbildung 9: Site index-Kurven (.95, .50 und .05 Quantilsgrenzen) für die drei Baumartenklassifizierungen: nach der BWI (schwarz), dem FI (grün) und dem SAGA (blau) vor den Aufnahmepunkten der Bundeswaldinventur (BWI3) für Stiel-Eiche (*Quercus robur*, blau) (A) und Trauben-Eiche (*Quercus petraea*, orange) (B).

mussten wir auf eine gemischte TEI-SEI-Tafel zurückgreifen, was den Vergleich von SEI- und TEI-Wachstum erschwert. Die Vergleichbarkeit der Kurvenverläufe könnte also auf einem geringen interspezifischen Unterschied, die gemischte Tafel oder auch auf die ungleiche Klasseneinteilung der Ertragstafeln zurückzuführen sein. Letzterer Punkt wird allerdings durch die Ertragsklasse 2 konterkariert, da die Oberhöhenbonität im Alter 100 beider Tafeln 27 m beträgt und SEI bis zum Alter von 100 Jahren einen steileren Wachstumsverlauf zeigt. Über 100 Jahren ist das Wachstum der TEI stärker. Dennoch sind die Differenzen wie bereits erwähnt marginal (Abbildung 7).

Die von uns erstellten Site index-Kurven umfassen den Ertragstafelfächer der SEI (Abbildung 8A). Bei der TEI liegen die Ertragstafelkurven im

oberen Bereich unseres Fächers. Bis auf die höchste Bonität (H0100 = 33 m) sind jedoch alle Bonitäten der Ertragstafelkurven abgebildet (Abbildung 8B). Auch hier könnten die Unterschiede auf die Verwendung einer gemischten Tafel (SEI und TEI) zurückzuführen sein, denn im Alter 100 Jahre ist die SEI knapp einen Meter höher als die TEI, was sich mit dem stärkeren Anstieg des Wachstums von SEI in der Ertragstafel deckt (vgl. Abbildung 7 und 8).

Nach der Neuklassifizierung über FI und SAGA ändert sich der Wachstumsverlauf nur minimal (Abbildung 9). Lediglich die Neubestimmung der TEI über den SAGA ergibt eine leichte Veränderung, die sich vermutlich auf einen vermehrten Anteil der SEI (Klassifizierung nach BWI) in der TEI (Klassifizierung nach SAGA) zurückführen lässt. Generell sind die Unterschiede jedoch sehr gering. In Bezug auf die Neuklassifizierung der Arten stellt sich noch die Frage, inwieweit die Artbestimmung bereits in der Fläche über Standort und Mischung erfolgt sobald die Zuordnung über morphologische Merkmale uneindeutig ist und somit die Klassifizierung der BWI bereits über standörtliche Faktoren mitbestimmt wurde.

4.1 Fazit

Die Trennung der beiden Eichenarten, sowohl nach Ansprache der Aufnahmeteams in der BWI, als auch nach unserem Klassifizierungsmerkmalen (FI und SAGA), haben nicht zu einer deutlich unterschiedlichen Prognose des Oberhöhenbonitätsfächers geführt. Das bedeutet, es spricht nichts gegen eine Bonitierung von heimischen Eichen mit nur einem Bonitierungs-fächer (nach Oberhöhe).

Dennoch deuten die eingangs erwähnten BHD-Entwicklungen darauf hin, dass sich beide Arten in weiteren waldwachstumskundlichen Größen unterscheiden könnten. Die Nutzung einer gemeinsamen Ertragstafel können wir aus unseren Daten derzeit noch nicht ableiten. Weitere Untersuchungen sollten daher Kenngrößen wie Volumenzuwachs, Gesamtwuchsleistung und Bestandesdichte (*Stand density index*) beider Arten gegenüberstellen um eine Nutzung von artübergreifenden Tafeln zu rechtfertigen. Unsere Auswertungen haben gezeigt, dass für solch einen Vergleich standortsgetriebene (SAGA) und konkurrenzgetriebene (FI) Modelle wichtig sind, weil beide Arten sich hierin wesentlich unterscheiden.

5 Literaturverzeichnis

- Aas, G. (2004): *Quercus robur*. In: Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie, 1-14.
- Aas, G. (2014): Traubeneiche (*Quercus petraea*): Systematik, Morphologie und Ökologie. In: LWF Wissen. Bd. 75. - S. 6-13.
- Albert, M.; Nagel, J.; Schmidt, M.; Nagel, R-V; Spellmann, H. (2021): Eine neue Generation von Ertragstafeln für Eiche, Buche, Fichte, Douglasie und Kiefer [Datensatz]. Version 1.1. Ertragstafelwerk. Online verfügbar unter <https://www.nw-fva.de/unterstuetzen/waldpflege-und-nutzung/neue-ertragstafeln>, zuletzt geprüft am 21.08.2023.
- Caudullo, G.; Welk, E.; San Miguel Ayanz, J. (2017): Chorological maps for the main European woody species. Data in brief 12, 662 666
- Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., Böhner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.
- Eaton, E. G. S. D. J.; Caudullo, G.; Oliveira, S.; De Rigo, D. (2016). *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: European Atlas of Forest Tree Species. Publi.: Public Office of the European Union, Luxembourg, 162-3.
- Gerber, S.; Chadœuf J.; Gugerli F.; Lascoux M.; Buitveld J.; et al. (2014) High Rates of Gene Flow by Pollen and Seed in Oak Populations across Europe. In: PLOS ONE 9(1): e85130.
- Glenz, C.; Schlaepfer, R.; Iorgulescu, I.; Kienast, F. (2006): Flooding tolerance of Central European tree and shrub species. In: Forest Ecology and Management 235 (1-3), S. 1–13. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.05.065.
- Hengl, Tomislav (2019): Digital Terrain Model in dm. Open Environmental Data Cube Europe. Online verfügbar unter [https://ecodatacube.eu/?base=OpenStreetMap%20\(grayScale\)&layer=Digital%20Terrain%20Model%20in%20dm&zoom=5.8&eye=5000000¢er=45.8517,10.7571&opacity=45](https://ecodatacube.eu/?base=OpenStreetMap%20(grayScale)&layer=Digital%20Terrain%20Model%20in%20dm&zoom=5.8&eye=5000000¢er=45.8517,10.7571&opacity=45), zuletzt geprüft am 30.11.2023.
- Hertel, H.; Degen, B. (2000): Unterscheidung von Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* L. und *Q. petraea* [Mattuschka] Liebl.) mit Hilfe von genetischen und morphologischen Merkmalen. In: Forest Snow and Landscape Research, Birmensdorf, 75(1), 2.
- Kleinschmit, J. R.; Bacilieri, R.; Kremer, A.; Roloff, A. (1995): Comparison of morphological and genetic traits of pedunculate oak (*Q. robur* L.) and sessile oak (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.). In: *Silvae Genetica*, 44(5), 256-268.
- Koenker, Roger (2023): r-package: quantreg. Quantile Regression. Version 5.94. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/package=quantreg>, zuletzt geprüft am 21.08.2023.
- Koenker, Roger; Park, Beum J. (1996): An interior point algorithm for nonlinear quantile regression. In: *Journal of Econometrics* 71 (1), S. 265–283. DOI: 10.1016/0304-4076(96)84507-6.
- Neophytou, C. (2014): Bayesian clustering analyses for genetic assignment and study of hybridization in oaks: effects of asymmetric phylogenies and asymmetric sampling schemes. In: *Tree Genetics & Genomes* 10, 273–285
- Neophytou, C.; Fussi, B.; Konnert, M.; Luckas, M. (2014): Traubeneiche und Stieleiche – Zwei ungleiche Schwestern. In: LWF Wissen. Bd. 75. - S. 14-20.
- Niinimets, Ülo; Valladares, Fernando (2006): Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperatenorthern hemisphere trees and shrubs. In: *Ecological Monographs* (76(4)), S. 521–547. Online verfügbar unter [https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/0012-9615\(2006\)076\[0521:TTSDAW\]2.0.CO;2](https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1890/0012-9615(2006)076[0521:TTSDAW]2.0.CO;2).
- Wimmer, N. & Plettenbacher, T. (2022): Projektbericht „Monitoring der Naturwälder Bayerns (MonNWF)“. Neuberechnung topografisch/topologischer Geoparameter für Bayern in 10x10m Auflösung nach T. Plettenbacher. LWF, Freising. Unveröffentlicht. 166 S.
- R Core Team (2023): R: A language and environment for statistical computing. A Foundation for Statistical Computing. Version 4.2.3 (2023-03-15 ucrt). Vienna, Austria. Online verfügbar unter <https://www.R-project.org/>, zuletzt geprüft am 21.08.2023.
- R Studio Team (2023): RStudio. Integrated Development Environment for R. Version 2023.3.0.386. Online verfügbar unter <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>, zuletzt geprüft am 2023/31/11.
- Richards, F. J. (1959): A Flexible Growth Function for Empirical Use. In: *Journ. of Experimental Botany* 10 (29), S. 290–300.
- Robin, Xavier; Turck, Natacha; Hainard, Alexandre; Tiberti, Natalia; Lisacek, Frédérique; Sanchez, Jean-Charles; Müller, Markus (2023): r-package: pROC. Display and Analyze ROC Curves. Version 1.18.2. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/package=pROC>, zuletzt geprüft am 21.08.2023.
- Röhe, Peter; Lockow, Karl-Willi; Noack, Matthias (2020): Ertragstafel für die Stieleiche. (*Quercus robur* L.). 1. Aufl.: NWM-Verlag.
- Thünen-Institut für Waldökosysteme (2012): Dritte Bundeswaldinventur. online. Online verfügbar unter <https://bwi.info/Download/de/>, zuletzt geprüft am 2023/11/31.
- Youden, W. J. (1950): Index for rating diagnostic tests. In: *Cancer* 3 (1), S. 32–35. DOI: 10.1002/1097-0142(1950)3:1<32::AID-CNCR2820030106>3.0.CO;2-3.