

Zuwachsdynamik und Resilienzverhalten der Edelkastanie (*Castanea sativa* MILL.) in Mischbeständen in Bayern

Enno Uhl
Lehrstuhl f. Waldwachstumskunde, TU München

Zusammenfassung

In der Diskussion um die Anpassung der Wälder an den Klimawandel wird häufig auch der Anbau nicht heimischer Baumarten erwogen. Die wärmeliebende Edelkastanie (*Castanea sativa* MILL.) wird in diesem Zusammenhang vielfach, auch wegen ihres Holzes, in letzter Zeit als Alternative ins Gespräch gebracht. Bisher liegen jedoch kaum Informationen zum Zuwachsverhalten und zur Trockenstresstoleranz der Edelkastanie, insbesondere in Mischbeständen, für den bayerischen Raum vor. Der Beitrag greift diese Thematik auf und beleuchtet die Aspekte i) nach dem Zuwachspotenzial, ii) dem Resilienzverhalten auf Trockenstress und iii) vergleicht die Befunde mit dem Zuwachsverhalten von heimischen Mischbaumarten auf gleichem Standort.

Dazu wurden auf 13 Standorten Mischbestände aus Edelkastanie und anderen Nadel- und Laubholzarten dendrometrisch und jahrringanalytisch untersucht. Die Ergebnisse deuten auf eine tendenzielle Höhenwuchsunterlegenheit der Edelkastanie gegenüber Buche, Eiche und Kiefer auf bayerischen Standorten hin, jedoch zeigt die Edelkastanie in den meisten Fällen ein rascheres Dickenwachstum. Hinsichtlich ihrer Trockenstresstoleranz schneidet die Edelkastanie nicht besser ab als die heimischen Baumarten.

Summary

To adapt forests to climate change cultivation of non native tree species is generally seen as one option. For German regions sweet chestnut (*Castanea sativa* MILL.) seems to be a possible choice due to its acclimatization to warm climates and its wood characteristics. But less is known about growth dynamics of sweet chest nut on Bavarian sites so far. In this context, the study addresses i) growth potential, ii) tolerance against drought stress and iii) compares the findings with native tree species growing on the same sites.

Dendrometrical and dendroecological analyses were conducted in 13 mixed stands with sweet chest nut spread over Bavaria. Results suggest, that height growth potential of sweet chest nut is smaller but diameter growth is more intense when compared to beech, oak and pine. Growth reaction to drought stress seems to be similar as with native species.

Einleitung

Die Edelkastanie (*Castanea sativa* MILL.) ist eine Baumart, die an warm temperierte Klimabedingungen angepasst ist (BOTTACCI, 1998). Insbesondere aufgrund ihrer Früchte aber auch wegen der Vielseitigkeit ihrer Holzverwendung und ihres ausgeprägten Stockausschlagvermögens wird sie bereits seit vielen Jahrhunderten im mediterranen Raum, in Nordafrika und in Kleinasien kultiviert und wurde auch weit nördlich der Alpen eingeführt. Ihr natürliches Verbreitungsareal ist deshalb nicht mehr eindeutig nachvollziehbar und wird unterschiedlich beschrieben und diskutiert (SCHROEDER, 1998: CONEDERA et al. 2004).

Auf Basis von Inventur- und Vorkommensdaten kann das gegenwärtige Verbreitungsgebiet der Edelkastanie geographisch skizziert werden. Wird das Verbreitungsgebiet mit den jeweilig herrschenden Klimabedingungen verschnitten, kann auch der derzeitige Klimaraum des Vorkommens der Edelkastanie umrissen werden. Abbildung 1 zeigt dazu die Klimahülle, die auf Basis europäischer Inventurdaten

und korrelierender Klimadaten erstellt wurde. Das schwarze Polygon umfasst dabei den bisher erfassten, aktuellen Vorkommensbereich, abgebildet über einen Temperatur- und Niederschlagsgradienten. Die farblichen Areale umreißen Bereiche, die die Häufigkeit der Vorkommen, abgestuft in 10%-Schritten, quantifizieren (hellgelbes Areal 90% bis dunkelrot 10% aller Vorkommen). Etwa 50% der der Edelkastanien liegen somit in einem Bereich mit Jahresmitteltemperaturen von 8,5°C bis 13,5°C sowie in einem Bereich des mittleren Jahresniederschlags von 550 mm bis 1000 mm pro Jahr. Dies deckt sich mit den Angaben in der Literatur über das Klimaspektrum, in dem die Edelkastanie vorwiegend auftritt (BOTTACCI, 1998).

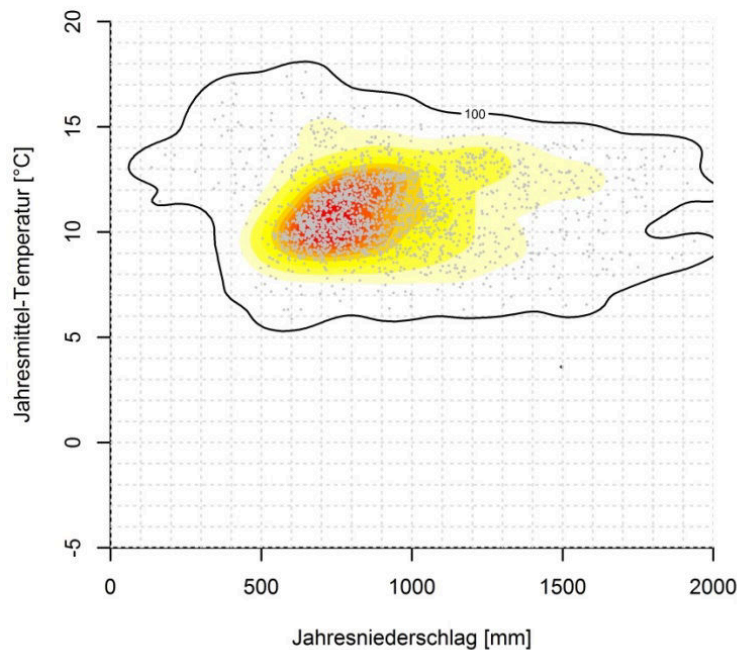


Abbildung 1: Klimahülle (Jahresmitteltemperatur und mittlerer Jahresniederschlag) für das gegenwärtige Vorkommen der Edelkastanie auf Basis europäischer Inventurdaten (THURM, 2017, unveröff.). Das schwarze Polygon umreißt das Gesamtvorkommen im Klimaraum, farblich markierte Areale repräsentieren Abstufungen der Häufigkeit der Edelkastanienvorkommen (hellgelb, 90% bis dunkelrot 10%).

Laut Literaturangaben bevorzugt die Edelkastanie saure Böden mit relativ hohem Kalium- und Phosphorgebot. Betont kalkhaltige Böden scheinen ihr eher abträglich zu sein (BOTTACCI, 1998). Auch grundwasserbeeinflusste Böden oder Böden mit ausgeprägtem Stauwassereinfluss beeinträchtigen das Wachstum der Edelkastanie.

Sowohl hinsichtlich ihrer Ansprüche an die klimatischen Umweltbedingungen als auch an die Bodeneigenschaften erscheint die Edelkastanie als eine grundsätzlich geeignete Baumart für weite Bereiche in Bayern, insbesondere in subatlantisch geprägten Regionen. Unter dem Gesichtspunkt einer möglichen Klimaverschiebung in Richtung höherer Jahresdurchschnittstemperaturen könnten sich die Wachstumsbedingungen für die Edelkastanie auf bayerischen Standorten zu ihren Gunsten verändern und sie dadurch zu einer Alternative in der Klimaanpassung der Wälder an künftige Bedingungen machen. Auch ihre Holzeigenschaften, geprägt durch hohe Festigkeitseigenschaften und Dauerhaftigkeit lassen die Edelkastanie als eine forstwirtschaftlich interessante Baumart erscheinen.

In Deutschland wird die Edelkastanie bisher vorwiegend in südlichen Regionen als Waldbaum angebaut. So stockt sie in Baden-Württemberg auf etwa 3.200 ha (WAMBSGANSS, 2014) und in Rheinland-Pfalz auf etwa 2.600 ha. Aber auch im Nordosten Deutschlands finden sich Vorkommen der Edelkastanie. Der Schwerpunkt des Anbaus in Bayern liegt in Unterfranken, wobei der Flächenanteil deutlich geringer ist als in den vorher genannten, benachbarten Bundesländern. Im Gegensatz zu vielen anderen Gebieten ihres gegenwärtigen Vorkommens wird die Edelkastanie in Bayern kaum im Niederwaldbetrieb bewirtschaftet. Vielmehr wird sie überwiegend als Mischbaumart in Hochwaldbeständen beteiligt.

Auch wenn die Waldfläche mit dominierender Edelkastanie auf 2,25 Mio. ha in Europa geschätzt wird (CONEDERA et al., 2004), sind Erfahrungen über das Wuchspotenzial und das Wuchsverhalten der Edelkastanie im Hochwaldbetrieb auf quantitativer Basis bisher eher spärlich berichtet worden. Dies gilt insbesondere für den bayerischen Raum. Auch über das Resilienzverhalten der Edelkastanie gegenüber Trockenstress wurde bisher in der Literatur wenig zu finden. Gerade die Resilienzeigenschaft erscheint vor dem Gesichtspunkt einer möglichen künftigen Zunahme von Trockenperioden von Relevanz, wenn die Baumart als klimatolerante Baumart zur Beteiligung am Waldaufbau in Bayern in Erwägung gezogen wird.

Der Beitrag hier berichtet über vorläufige Ergebnisse einer Studie zum allgemeinen Zuwachsverhalten und zur Trockenstressreaktion der Edelkastanie in Bayern. Die Studie ist in ein größeres Forschungsvorhaben der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft eingebunden, das das Vorkommen, die Genetik und die Anbaueignung der Edelkastanie in Süddeutschland untersucht. Die Studie fokussiert dabei auf die folgenden Fragestellungen:

- i. Welches Zuwachspotenzial zeigt die Edelkastanie auf verschiedenen Standorten in Bayern auf Einzelbaumebene?
- ii. Wie ist das Resilienzverhalten der Edelkastanie gegenüber Trockenstress ausgeprägt?
- iii. Wie unterscheidet sich die Edelkastanie auf den untersuchten Standorten in ihrem Zuwachs- und Resilienzverhalten von heimischen Baumarten?

Material

Für die vorliegende Studie wurden Mischbestände aus Edelkastanie und heimischen bzw. nicht heimischen Baumarten einbezogen. Insgesamt wurden 13 Mischbestände an unterschiedlichen Standorten in Bayern beprobt. Die Verteilung der Probebestände spiegelt den gegenwärtigen Verbreitungsschwerpunkt der Edelkastanie in Bayern wider. So liegt der überwiegende Anteil der Probebestände in Unter- und Mittelfranken (Bayerischer Odenwald, Spessart und Nürnberger Raum). Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Lage der einzelnen Probebestände in Bayern.

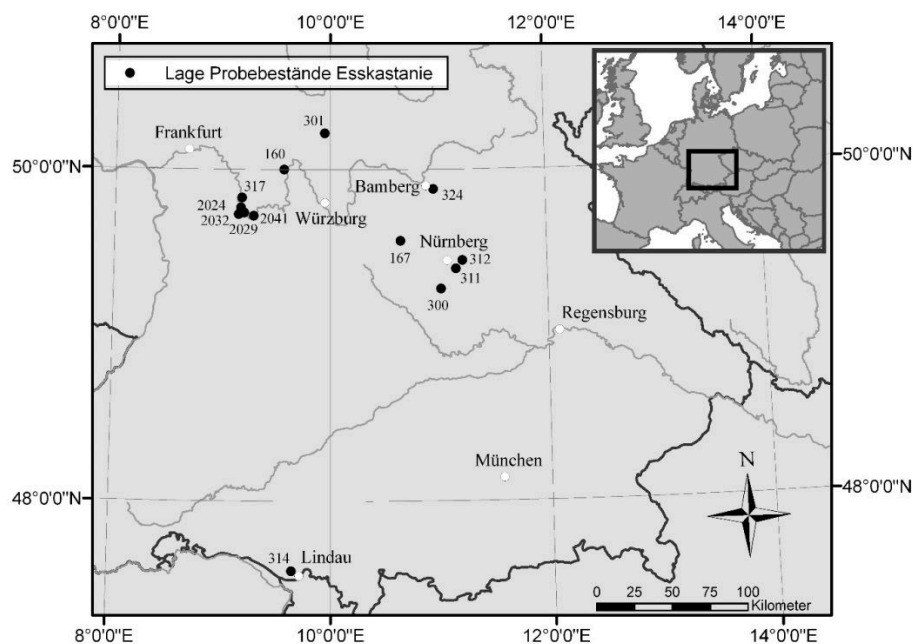


Abbildung 2: Untersuchungsgebiet und Lage der Probebestände mit Edelkastanienmischbestände.

Die Standorts- und Klimateigenschaften (Tabelle 1) für die Probebestände wurden über das Standortinformationssystem der Bayerischen Forstverwaltung abgegriffen (BECK und KÖLLING, 2013). Die Bodenty-

pen umfassen überwiegend Braunerden, die häufig podsoliert sind. Die Basenausstattung reicht von basenarm (geringe Basensättigung mit geringem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, tiefreichende Bodenversauerung), bis basenreich (hohe Basensättigung mit hohem Calcium-, Magnesium- und Kaliumvorrat, leichte Versauerung im Oberboden. Das Temperaturspektrum umfasst 8,0°C bis 9,4°C mittlere Jahrestemperatur und liegt damit eher im wärmeren Bereich für bayerische Standorte. Die Niederschläge liegen auf den untersuchten Standorten überwiegend zwischen 600 mm und 800 mm Jahresniederschlag und rangieren damit im mittleren bis unteren Bereich der durchschnittlichen Jahresniederschläge in Bayern. In Bezug auf den Klimaraum der gegenwärtigen Verbreitung der Edelkastanie (Abbildung 1) decken die untersuchten Standorte eher den etwas kühleren Bereich, jedoch einen großen Anteil des Niederschlagspektrums ab.

Tabelle 1: Ausgewählte Standorts- und Klimacharakteristika der Probestandorte.

Nr	Probebestand	Mischbaumart	Bodentyp	Basenaus- stattung	Jahresdurch- schnitts- temperatur (°C)	mittlerer jährlicher Niederschlag (mm)	Höhenlage (m ü. NN)
167	Neustadt/Aisch	Buche	(Pseudogley-)Braunerde	mittelbasisch	8,4 - 8,6	650 - 700	350
301	Stangenroth	Buche	(Podsol-) Braunerde	basenarm	8,2 - 8,4	750 - 800	350
312	Winkelhaid	Buche	(podsolige) Braunerde	basenarm	8,2 - 8,4	750 - 800	350
2029	Klingenberg	Buche	(Podsol-) Braunerde	basenarm	9,2 - 9,4	700 - 750	150
160	Lohr	Eiche	(Pseudogley-)Braunerde	basenarm	8,2 - 8,4	800 - 850	250
300	Roth	Eiche	(podsoliger) Regosol	mittelbasisch	8,0 - 8,2	700 - 750	450
317	Weibersbrunn	Kiefer	Braunerde-Pseudogley	mittelbasisch	9,0 - 9,2	600 - 650	250
324	Strullendorf	Kiefer	Anmoorgley	mittelbasisch	8,6 - 8,8	600 - 650	250
2024	Klingenberg	Kiefer	(Podsol-) Braunerde	basenarm	9,2 - 9,4	650 - 700	250
2041	Bürgstadt	Kiefer	(Podsol-) Braunerde	basenarm	8,6 - 8,8	700 - 750	350
311	Altenfurt	Linde	(podsolige) Braunerde	basenarm	8,6 - 8,8	700 - 750	350
314	Lindau	Tanne	Braunerde, Parabraunerde	basenreich	9,0 - 9,2	1200 - 1300	450
2032	Klingenberg	Roteiche	Podsol-Braunerde	basenarm	8,6 - 8,8	750 - 800	350

Bei den untersuchten Mischbeständen handelte es sich um Mischungen mit mehr als zwei Baumarten. Der Anteil der Edelkastanie in den Beständen reicht von einzelnen Exemplaren bis zu 35%.

In den ausgewählten Beständen wurden wachstumskundliche Parameter von je sechs hauptständigen Edelkastanien sowie von einer, dominierenden Mischbauart erhoben. Pro Probebaum wurden Durchmesser (BHD), Höhe, Kronenansatz, Kronenausdehnung in acht Himmelsrichtungen sowie die Konkurrenzsituation durch zweifache Spiegelrelaskopmessung (Zählfaktor 4) erfasst. Zudem wurden von jedem Probebaum zwei Bohrkerne aus nördlicher und östlicher Richtung gewonnen, die in ihrer Länge nach Möglichkeit den gesamten Radius des Baumes in BHD-Höhe abdeckten.

Tabelle 2: Anzahl, Bandbreite ausgewählter Dimensionsgrößen und des Alters der Probebäume

Nr Probebestand	Baumart	n	BHD (cm)	Höhe (m)	Alter (Jahre)
			Mittelwert min - max	Mittelwert min - max	mean min - max
167 Neustadt/Aisch	Edelkastanie	6	35,2 23,3 - 44,8	25,1 21,2 - 28,1	72 49 - 91
	Buche	6	26,3 22,3 - 30	25,5 23,8 - 27,2	86 74 - 92
301 Stangenroth	Edelkastanie	6	33,5 28,9 - 39,8	23,5 19,7 - 26,6	86 79 - 97
	Buche	6	31,6 26,2 - 37,6	25,3 21,2 - 30,8	94 90 - 1001
312 Winkelhaid	Edelkastanie	6	28,6 22,5 - 40,4	22,3 17,3 - 27,6	73 59 - 97
	Buche	6	32,6 23,7 - 41,1	27,6 22,5 - 32,7	81 76 - 86
2029 Klingenberg	Edelkastanie	6	41,3 26,4 - 63,4	25,3 22,0 - 27,8	61 59 - 65
	Buche	6	22,3 17,5 - 25,6	20,4 17,9 - 24,6	58 52 - 65
160 Lohr	Edelkastanie	6	45,1 26,6 - 60,2	23,1 18,3 - 30,0	85 44 - 126
	Eiche	6	39,5 29,2 - 43,5	26,9 23,6 - 29,6	121 114 - 128
300 Allersberg	Edelkastanie	6	40,6 33,9 - 52,1	25,8 22,8 - 28,1	98 88 - 125
	Eiche	6	33,8 25,9 - 40,4	27,8 20,5 - 31,7	90 77 - 109
317 Weibersbrunn	Edelkastanie	6	25,3 19,6 - 32,6	20,8 18,3 - 23,4	28 25 - 30
	Kiefer	6	29,2 26,9 - 32,6	26,2 24,4 - 30,1	66 63 - 71
324 Strullendorf	Edelkastanie	6	25,4 22,5 - 28,3	18,4 16,0 - 19,8	60 43 - 73
	Kiefer	6	30,5 23,5 - 40,1	22,8 17,7 - 26,4	64 38 - 83
2024 Klingenberg	Edelkastanie	6	47,6 26,7 - 70,6	25,6 18,7 - 29,2	84 51 - 146
	Kiefer	6	51,0 38,7 - 58,6	28,2 24,6 - 33,2	145 134 - 179
2041 Bürgstadt	Edelkastanie	6	40,6 24,8 - 62,6	19,3 15,8 - 20,4	62 29 - 143
	Kiefer	6	51,8 40,6 - 58,1	27,4 24,6 - 30,8	157 136 - 217
311 Altenfurt	Edelkastanie	7	27,5 16,2 - 43,6	15,3 9,0 - 20,5	37 32 - 45
	Linde	7	27,7 16,3 - 43,1	19,7 18,1 - 24,8	40 35 - 45
314 Lindau	Edelkastanie	6	22,3 18,6 - 25,9	14,8 14,2 - 15,2	15 13 - 17
	Tanne	6	26,5 22,7 - 31,5	15,5 14,6 - 17,0	69 17 - 199
2032 Klingenberg	Edelkastanie	6	32,1 26,8 - 47,9	22,3 20,6 - 24,0	54 51 - 58
	Roteiche	6	31,6 25,0 - 37,5	23,0 20,2 - 27,8	56 48 - 66

Die Probebestände umfassen verschiedene Entwicklungszustände der Edelkastanie. Der mittlere Durchmesser der Edelkastanie reicht dabei von 22,3 cm bis 47,6 cm. Das Höhenspektrum der gemittelten Probebaumhöhen schwankt zwischen 14,8 m und 25,8 m. In den meisten Fällen ist das Dimensionsspektrum der Mischbaumart vergleichbar mit dem der Edelkastanie. Größere Abweichung zwischen den Kollektiven aus Edelkastanie und Mischbaumart liegen bezogen auf den Durchmesser auf den Standorten 167, 300, 2029 und 2041, bezogen auf die Höhe bei 312, 317, 2029 und 2041 vor.

Methoden

Alters-Höhenrelation

Die Alters-Höhenrelation für die Edelkastanie wurde über alle Standorte hinweg mittels Quantilregression modelliert. Auf Basis der erhaltenen Kurven für das 5%, 50% und 95% Quantil (schlechter, mittlerer, guter Standort), die einen einfachen Bonitätsfächer darstellen, wurde die Höhenwuchsleistung der Edelkastanie standortsweise bonitiert. Dazu wurde für jeden Standort aus den Probestämmen eine grundflächengewichtete Mittelhöhe berechnet. Die Bonität wurde ausgedrückt als erwartete Mittelhöhe im Alter 100.

Jahrringanalyse

Die Untersuchung langfristiger Wachstumstrends sowie Zuwachsreaktionen auf Trockenstress fußt auf den Jahrringchronologien der Bohrkernproben. Die Bohrkernkerne wurden geschliffen und mit dem Jahrringmesstisch LINTAB™ der Firma RINNTECH® mit einer Genauigkeit von 1/100 mm vermessen. Anschließend erfolgte eine visuelle Synchronisation zunächst der zwei Bohrkernkerne eines Baumes und dann artspezifisch pro Versuchsstandort.

Das Alter der Bäume wurde über Jahrringzählung an den Bohrkernen ermittelt. Für die Fälle, bei denen der Bohrkern nicht das Zentrum des Baumes traf, wurde das tatsächliche Alter der Bäume geschätzt. Dazu wurde das Alter für den fehlenden Bohrkernabschnitt über Division der Differenz aus dem BHD und der gemessenen summarischen Jahrringbreiten und dem mittleren Zuwachs der letzten zehn messbaren Jahrringe berechnet.

Für die Analyse der Trockenstressreaktion wurden die Jahrringchronologien trendbereinigt. Dies erfolgte in zwei Schritten. Zunächst wurde über eine baumspezifisch angepasste Hegershoff-Zuwachsfunktion ein Alterstrend modelliert und durch Indexierung aus den Chronologien entfernt. Anschließend wurden mittelfristige Zuwachsniveauschwankungen, wie sie beispielsweise aufgrund von Durchforstungen ergeben, mittels kubischer Splines ausgeglichen. Die Wellenlänge des Splines wurde auf 15 Jahre eingestellt, um die Wirkungsdauer der Durchforstung zu berücksichtigen. Die Abdämpfung der Amplitude wurde auf den in der Literatur häufig verwendeten Wert von 0,5 festgelegt. Mittelfristige Trends wurden ebenfalls durch Indexierung aus den Chronologien entfernt.

Modellierung der Grundflächenentwicklung

Um die Grundflächenentwicklung der Edelkastanien mit derjenigen der Mischbaumart je Standort zu vergleichen, wurde ein lineares gemischtes Modell formuliert. Dabei wurde die Grundflächenentwicklung in Abhängigkeit vom Baumalter und artspezifisch getestet.

$$\ln g_{ijk} = a_0 + a_1 \cdot \ln \text{Alter}_{ijk} + a_2 \cdot \text{Art}_{ij} + a_3 \cdot \ln \text{Alter}_{ijk} \cdot \text{Art}_{ij} + b_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

In Formel 1 entspricht g der Grundfläche eines Probestaums, i , j und k stehen für die k -te Beobachtung des j -ten Baumes auf dem i -ten Probestandort; $a_0 - a_3$ sind die Regressionsparameter, der Parameter b_{ij} quantifiziert den zufälligen Effekt ($b_{ij} \sim N(0, \tau^2)$) auf Baumebene und ε_{ijk} beschreibt die Reststreuung.

Modellierung der Trockenstressreaktion

Zuwachsreaktionen auf Trockenstress wurden im Anhalt an LLORET et al. (2011) anhand der Parameter Resistenz (R_t) und Resilienz (R_s) quantifiziert. Die Resistenz errechnet sich dabei aus dem Verhältnis des Zuwachsniveaus (mittlerer Indexwert) einer Vorperiode und des Zuwachs (Jahrringindex) im Trockenjahr (Abbildung 3, links). Die Resilienz ergibt sich aus dem Verhältnis des Zuwachsniveaus (mittlerer

Indexwert) der Periode vor dem Trockenjahr und des Zuwachsniveaus (mittlerer Indexwert) in der Periode nach dem Trockenjahr. Die Periodenlänge für das Zuwachsniveau vor und nach dem Trockenjahr wurde hier auf drei Jahre festgelegt. Zudem wurde die Erholungszeit (GRT) im Anhalt an THURM et al. (2016) berechnet. Diese beziffert die Dauer, die ein Baum benötigt, um nach einem Trockenjahr wieder das Zuwachsniveau vor dem Trockenereignis zu erreichen (Abbildung 3, rechts).

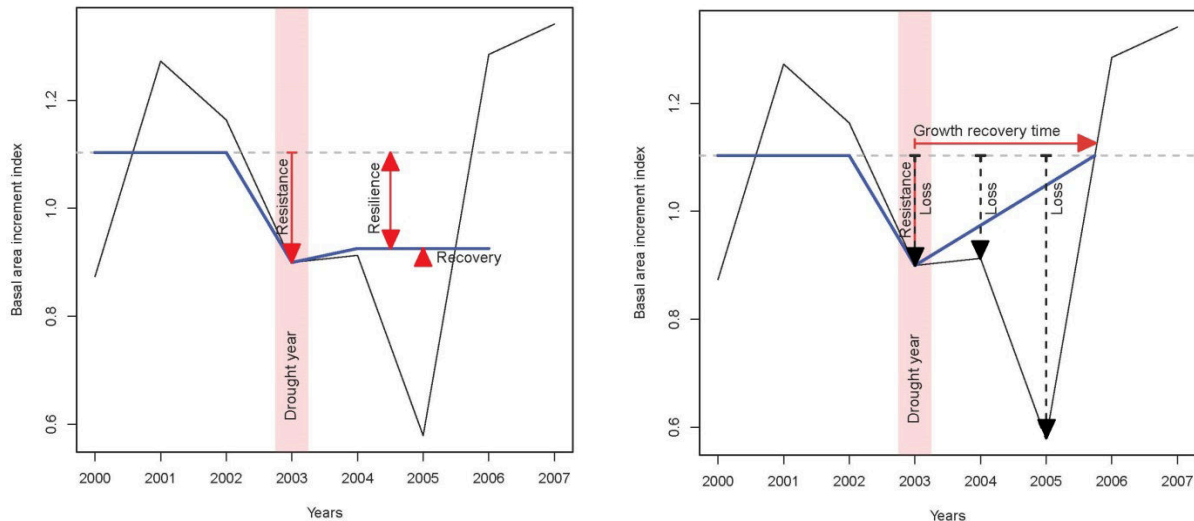


Abbildung 3: Parameter zur Quantifizierung der Zuwachsreaktion auf Trockenstress. Links: Resistenz (Resistance), Erholung (Recovery) und Resilienz (Resilience) auf Basis von Jahringindexwerten am Beispiel des Trockenheitsjahres 2003 (LLORET, 2011), Schwarze Linien: Jahringindexverlauf, blaue Linie gemittelter Indexverlauf). Rechts: Erholungsdauer (Growth recovery time) (THURM et al. 2016).

Für die Trockenstressanalyse wurden die Trockenjahre 1976 und 2003 herangezogen. Ob sich die Trockenstressreaktion zwischen Edelkastanie und den Mischbaumarten unterscheidet, wurde mittels eines linearen gemischten Modells getestet. Zusätzlich zur Art wurden das Alter der Bäume und die art- und standortsspezifische Bonität als unabhängige Variablen im Modell integriert.

$$TR_{ijk} = a_0 + a_1 \text{Alter}_{ijk} + a_2 \text{Art}_{ij} + a_3 \text{Alter}_{ijk} + \text{Art}_{ij} + a_4 \text{Bonität}_{ij} + b_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2)$$

TR umfasst dabei die Indizes der Trockenstressreaktion (Rt, RS, GRT). i, j und k stehen für die k -te Beobachtung des j -ten Baumes auf dem i -ten Probestandort, $a_0 - a_4$ sind die Regressionsparameter, der Parameter b_{ij} quantifiziert den zufälligen Effekt ($b_{ij} \sim N(0, \tau^2)$) auf Baumebene und ε_{ijk} beschreibt die Reststreuung.

Ergebnisse

Höhenwuchsleistung und Bonität

Die Alters-Höhenrelation für die Edelkastanie weist über alle Standorte ein weites Spektrum auf. So ergibt die Quantilregression für die Probestämme ein Höhenspektrum von etwa 10 Metern im Alter 100 (Abbildung 4). Im Vergleich zur Ertragstafel für die Edelkastanie von BONDOR (1986) liegen die hiesigen Werte im Bereich der ersten drei Ertragsklassen und teils sogar darüber. Insbesondere in jungen Jahren schätzt Bondor geringere Höhen an, als in den hier untersuchten Probeständen gemessen wurde.

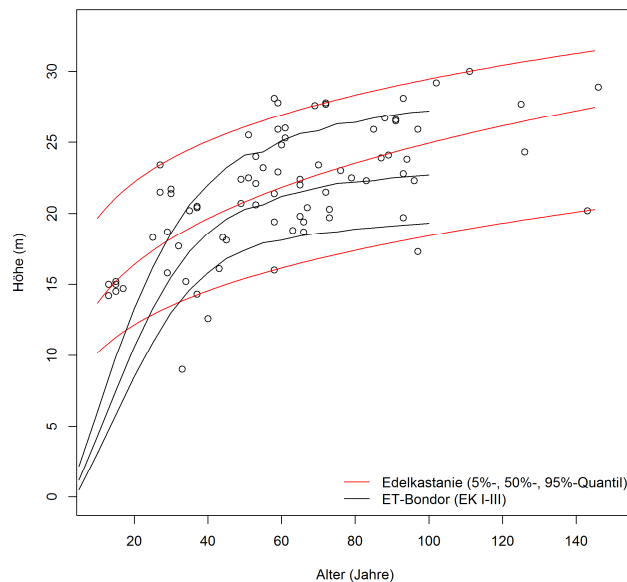


Abbildung 4: Alters-Höhenbezug der Edelkastanie auf 13 Standorten in Bayern (schwarze Kreise, $n = 79$). Die roten Ausgleichskurven repräsentieren Alters-Höhenbezugslinien als Ergebnis der Quantilregression für das 5%, 50% und 95%-Quantil. Schwarze Linien zeigen den Bonitätsfächer der Edelkastanien-ertragstafel (Ertragsklasse I-III) nach BONDOR (1986).

Im Folgenden werden die Ergebnisse von zehn Probestandorten behandelt, in denen die Edelkastanie in Mischung mit den Baumarten Buche (*Fagus sylvatica* L.), Eiche (*Quercus petraea* (MATTUSCHKA) LIEBL./*Quercus robur* L.) und Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) wächst.

Wird der Bonitätsfächer aus der Quantilregression zur Bonitierung der Edelkastanie herangezogen, so ergeben sich für die einzelnen Probestände grundflächengewichtete Mittelhöhen im Alter 100 von 20,8 m bis 28,3 m (Tabelle 3).

Tabelle 3: Probestandsspezifische Bonitäten (Mittelhöhe in m im Alter 100) der Edelkastanie und der entsprechenden Mischbaumarten auf den einzelnen Probestandorten. Die Buche wurde anhand der Ertragstafel von SCHÖBER (1967, mäßige Durchforstung), die Eiche nach der Ertragstafel von JÜTTNER (1955, mäßige Durchforstung) und die Kiefer nach WIEDEMANN (1943, mäßige Durchforstung) bonitiert. Die Bonitätsermittlung der Edelkastanie fußt auf dem Bonitätsfächer der Quantilregression. Die Bonitätsdifferenz in m ergibt sich durch Subtraktion der Bonität der Mischbaumart von der Edelkastanienbonität.

Versuch	Edelkastanie	Buche	Eiche	Kiefer	Bonitätsdifferenz
301 Stangenroth	24,3	26,7			-2,4
312 Winkelhaid	25,3	32,9			-7,6
167 Neustadt/Aisch	27,8	28,1			-0,3
2029 Klingenberg	28,3	32,7			-4,4
160 Lohr	24,6		24,5		0,1
300 Roth	25,6		29,2		-3,6
2041 Bürgstadt	20,8			24,1	-3,3
317 Weibersbrunn	27,5			32,2	-4,7
324 Strullendorf	21,1			28,4	-7,3
2024 Klingenberg	28,3			25,0	3,3

Auf den Probestandorten, auf denen die Edelkastanie in Mischung mit der Buche wächst, ist die Höhenwuchsleistung der Edelkastanie lediglich auf dem Standort 167 mit der Buche ebenbürtig. Auf den drei weiteren Standorten ist die Höhenbonität etwas bis deutlich unter der der Buche. In den untersuchten Mischbeständen aus Edelkastanie und Eiche ergibt sich ein ähnliches Bild, so dass auf einem Standort die Höhenwuchsleistung vergleichbar ist (160), auf dem zweiten Standort bleibt die Edelkastanie hinter der Eiche in der Höhenentwicklung zurück. Auf einem der vier Probestandorte, auf dem die

Edelkastanie in Mischung mit der Kiefer stockt, zeigt die Edelkastanie eine Wuchsüberlegenheit gegenüber der Kiefer (2024). Auf den anderen drei Standorten ist sie z.T. deutlich unterlegen.

Grundflächenentwicklung

Mit einer Ausnahme (Probefläche 324) zeigt die Edelkastanie auf allen Standorten ein rascheres Grundflächenwachstum als die jeweilige Mischbaumart. Dies zeigen die probeflächebezogenen, modellierten Wachstumsgänge (Abbildung 5).

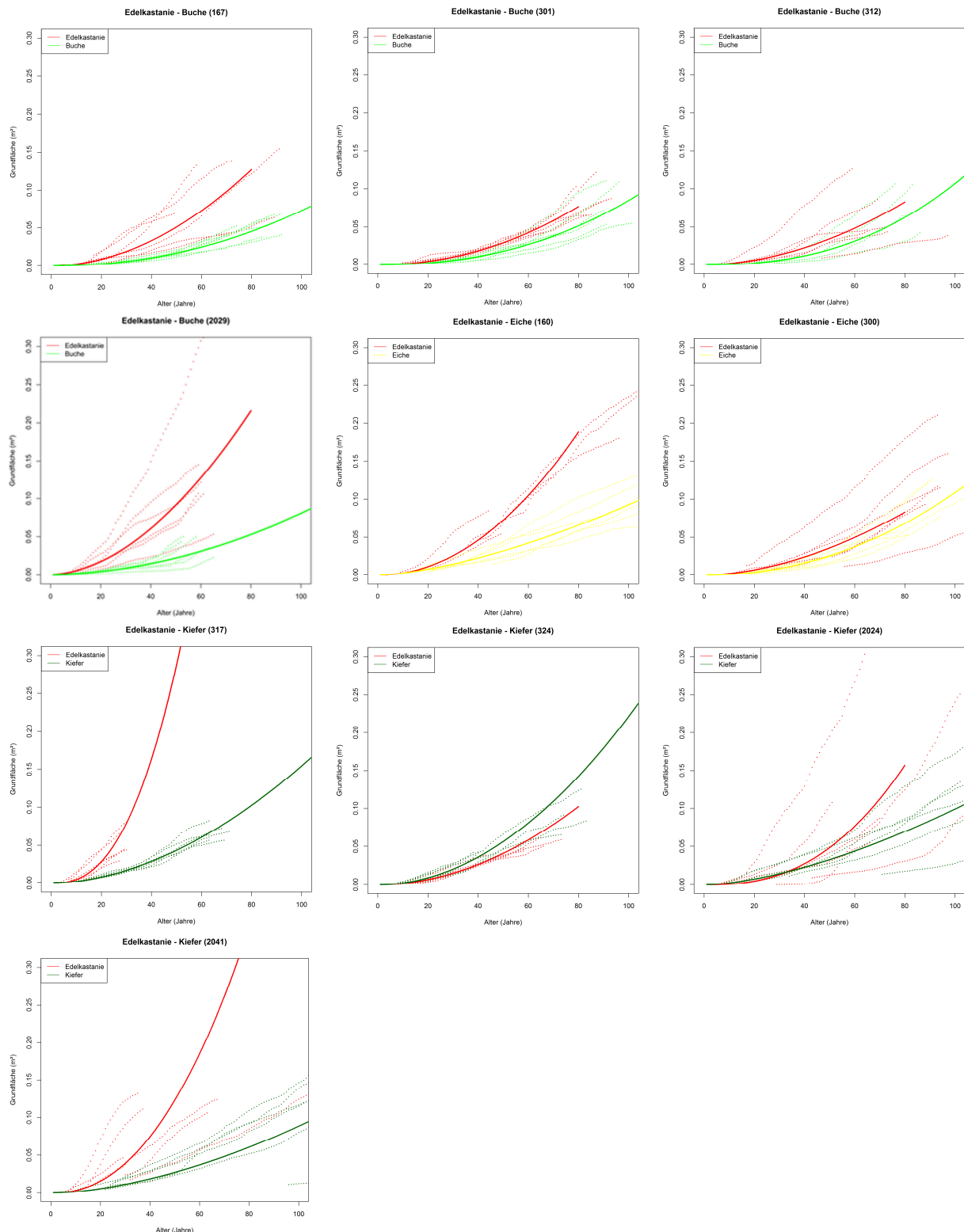


Abbildung 5: Probeflächenspezifische Grundflächenentwicklung über dem Alter für die Mischbestände aus Edelkastanie (rot) und Buche (hellgrün), Eiche (gelb) sowie Kiefer (dunkelgrün).

Sowohl das Niveau (Interzept) als auch der Verlauf (Steigung) der Ausgleichskurven (Gleichung 1) für das Grundflächenwachstum der Edelkastanie unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$) von denen der jeweiligen Mischbaumarten. Ausnahmen bildet hier wiederum Standort 324, auf dem sich Edelkastanie und Kiefer weder in Niveau noch Steigung des Grundflächenwachstumsverlauf unterschieden. Für den Standort 2029 ist die Steigung, für 2041 der Interzept des Grundflächenzuwachses der Mischbaumart nicht von demjenigen der Edelkastanie signifikant unterschiedlich. Die Edelkastanie weist insgesamt eine größere Variabilität der erreichten Grundflächen (einzelbaumbezogene Grundfläche im Alter 50: $0,029 \text{ m}^2 - 0,123 \text{ m}^2$) zwischen den Standorten auf, als die untersuchten Mischbaumarten ($0,017 \text{ m}^2 - 0,056 \text{ m}^2$) (Tabelle 4). Für die Edelkastanie entsprechen die Grundflächen Durchmesser von 19 cm bis 40 cm. Der Unterschied zwischen den erreichten, mittleren Grundflächen der Edelkastanie im Alter 50 gegenüber den Mischbaumarten beträgt zwischen 144% und 456%. Deutlich rascheres Wachstum zeigt sich insbesondere auf den besser mit Nährstoff versorgten oder wärmeren Standorten (Probstandorte 317, 2029, 2041). In der erwähnten Mischung mit der Kiefer (Probefläche 324) erreicht die Edelkastanie lediglich 73% der Grundfläche der Kiefer im Alter 50.

Tabelle 4: Probeflächenspezifische, modellierte Einzelbaumgrundflächen im Alter 50 Jahre für Edelkastanie und Mischbaumarten in m^2 , sowie Relation der Grundflächen von Edelkastanie und Mischbaumart. Aufgrund des Altersrahmens der Beprobten Bäume beziehen sich die Angaben für den Probstandort 317 auf ein Alter von 30 Jahren.

	Relation				
	Edelkastanie	Buche	Eiche	Kiefer	Mischbaumart
301 Stangenroth	0,051	0,017			300%
312 Winkelhaid	0,029	0,018			161%
167 Neustadt/Aisch	0,034	0,02			170%
2029 Klingenberg	0,091	0,022			414%
160 Lohr	0,072		0,032		225%
300 Roth	0,036		0,025		144%
2041 Bürgstadt	0,048			0,033	145%
317 Weibersbrunn	0,039			0,011	355%
324 Strullendorf	0,041			0,056	73%
2024 Klingenberg	0,123			0,027	456%

Zuwachsreaktion auf Trockenstress

Trockenstressreaktionen wurden für die Jahre 1976 und 2003 ausgewertet, beide Jahre gelten für den bayerischen Raum in den vergangenen Jahrzehnten als extreme Dürreereignisse. In den Beständen, in denen Edelkastanie und Buche beprobt wurden, zeigen beide Baumarten ein sehr ähnliches Verhalten. Beide verlieren etwa 25% an Zuwachs im Trockenjahr und erreichen nach etwa zweieinhalb Jahren (GRT) wieder das Zuwachsniveau vor dem Trockenjahr (Abbildung 6). Im Vergleich zur Eiche und zur Kiefer reagiert die Edelkastanie mit stärkerem Zuwachsrückgang (bis -12,5 %). Auf diesen Standorten ist die Resistenz der Edelkastanie auch geringer als auf den Standorten mit Buchenbeimischung. Jedoch erholt sich die Edelkastanie im Schnitt etwas schneller als Eiche und Kiefer, wobei auf den Standorten mit Eichenbeimischung die längste Erholungszeit und auf den Standorten mit Kiefernbeimischung die kürzeste Erholungszeit zu verzeichnen ist. Statistisch sind die beschriebenen Unterschiede aber nur in wenigen Fällen signifikant (Modell 2). Auch der Faktor Standort, der über den Parameter Bonität in Modell 2 getestet werden, zeigt weder für die Resistenz (RT) noch für die Resilienz (RS) und Erholungszeit (GRT) einen signifikanten Effekt.

Die mittleren Werte für die Resilienz liegen bei Edelkastanie bei 97%, bei Buche bei 88% und bei Eiche und Kiefer jeweils bei 90%. Die Resistenz der Edelkastanie nimmt mit dem Alter signifikant zu, bei der Buche ist dieser Effekt noch stärker ausgeprägt. Ein Alterseffekt tritt auch bei der Resilienz auf, indem

die Bäume mit zunehmendem Alter eine geringere Resilienz aufweisen. Dieser Effekt ist jedoch nicht signifikant. Lediglich die Buche zeigt einen signifikant stärkeren Alterseffekt in Bezug auf die Resilienz als die Edelkastanie. Mit zunehmendem Alter nimmt die Erholungszeit für die Baumarten Edelkastanie (signifikant), Buche und Kiefer (nicht signifikant) zu, bei der Eiche hingegen leicht ab (nicht signifikant).

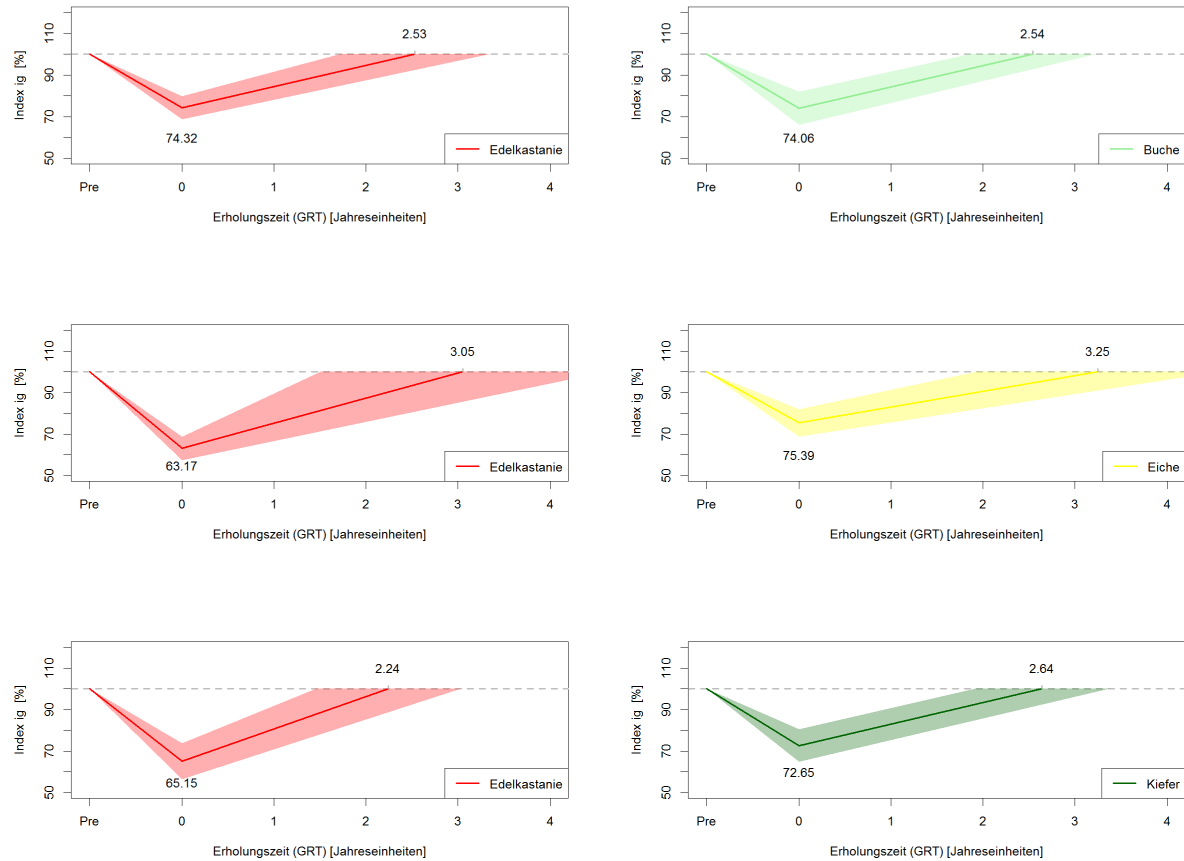


Abbildung 6: Reaktionsmuster auf Trockenstress (Trockenjahre 1976 und 2003) für Edelkastanie (links) und Buche (oben rechts, Standorte 301, 312, 167, 2029), Eiche (Mitte rechts, Standorte 160, 300) sowie Kiefer (unten rechts, Standorte 317, 324, 2024, 2041). Dargestellt ist die Resistenz im Trockenjahr in Prozent zum mittleren Zuwachsniveau einer dreijährigen Vorperiode sowie die Dauer der Erholung bis das Niveau der Vorperiode wieder erreicht wird (GRT in Jahreseinheiten).

Diskussion und Schlussfolgerung

Wurde die Edelkastanie früher insbesondere wegen ihrer Früchte auch noch deutlich nördlicher als ihr angestammtes Verbreitungsgebiet angebaut, so wird die Baumart dort jetzt eher als alternative Baumart im Zuge der Klimaanpassung der Wälder diskutiert. Auch in Bayern wurde die Edelkastanie in den vergangenen Jahren vielerorts angebaut. Sie wird dabei selten im Reinbestand begründet. Vielmehr wird sie häufig als Mischbaumart am Bestandsaufbau beteiligt. Aus waldbaulicher Sicht stellt sich dann die Frage, wie sich die Edelkastanie im Vergleich zu den Mischbaumarten entwickelt und ob entsprechende Pflegeprogramme erforderlich sind, um die Edelkastanie durch Förderung langfristig im Bestand halten zu können. Zur Beantwortung dieser Frage muss das standortspezifische Wuchsverhalten der Edelkastanie bekannt sein. Bisher gibt es dazu, zumindest für bayerische Standorte wenig Kenntnisse. Der vorliegende Bericht soll deshalb einen Beitrag zur Kenntniserweiterung leisten.

Die Höhenwachstumsrelation entscheidet häufig über die Konkurrenzfähigkeit einer Baumart, die in Mischung mit anderen Baumarten wächst. In der Literatur wird die durchschnittlich erreichbare Baumhöhe der Edelkastanie mit 20 m bis 25 m, in seltenen Fällen bis 35 m angegeben (z. B. BOTTACCI, 1998).

Obwohl einige der hier untersuchten Edelkastanien eine Höhe von 28 m übertreffen, ist sie in den meisten Fällen den Mischbaumarten (Buche, Eiche, Kiefer) auf den hier untersuchten Standorten im Höhenwachstumspotenzial unterlegen. Zu einem anderen Ergebnis kommt beispielsweise ANDERS (2010). Sie beschreibt in ihrer Arbeit über Edelkastanien in Sachsen und Brandenburg eine Höhenwuchsüberlegenheit der Edelkastanie gegenüber der Buche und Eiche.

Dennoch ist das Höhenwachstum der Edelkastanie auf den hier einbezogenen Standorten im Vergleich mit anderen Regionen als gut einzuschätzen. So sind die gemessenen Höhenbonitäten beispielsweise vergleichbar mit den besseren Bonitäten, die BONDOR (1986) für ungarische Standorte in seiner Ertrags-tafel ausgibt.

Die Durchmesserentwicklung der Edelkastanie läuft auf den untersuchten Standorten rasanter ab als diejenige der Mischbaumarten. Die Kulmination des Dickenwachstums erfolgt je nach Standort zwischen 20 und 70 Jahren (gutachterliche Einschätzung der individuellen Wachstumskurven, Abbildung 5). Die gemessenen Wuchsvorsprünge gegenüber den Mischbaumarten reichen, abgesehen vom Standort 324 von 4 cm bis hin zu 21 cm (BHD) im Alter 50 Jahre.

Das Wachstum der Edelkastanie scheint dabei vorwiegend durch die Jahresdurchschnittstemperatur und weniger durch die Menge an Niederschlag determiniert zu werden. Das Höhenwachstum ist positiv mit der standortsbezogenen Jahresdurchschnittstemperatur (Korrelationskoeffizient $r > 0,4$) korreliert. Höhere Temperaturen bewirken auch eine schnellere Kulmination des Dickenwachstums. Eine zunehmende Jahresniederschlagsmenge wirkt dagegen dämpfend auf Höhen- und Dickenwachstum. Dies kann damit zusammenhängen, dass auf den untersuchten Standorten aufgrund der Topographie ein höherer Niederschlag mit niedrigeren Temperaturen einhergeht. Auch der relative Dickenwachstumsvorsprung der Edelkastanie gegenüber den Mischbaumarten wird auf den untersuchten Standorten positiv durch höhere Temperaturen beeinflusst ($r = 0,4$). Ein klarer Zusammenhang zwischen Basenausstattung der Böden und Wuchsdynamik lässt sich aus den vorliegenden Daten nicht ableiten. Dazu ist die Variabilität der Nährstoffausstattung zwischen den Standorten vermutlich zu gering. Das geringe Abschneiden der Edelkastanie gegenüber der Kiefer auf dem Grundwasser beeinflussten Standort in Strullendorf (324) bestärkt die Aussage, dass die Edelkastanie gegenüber solchen Standorten wenig tolerant ist (NIINEMETS & VALLADARES, 2006).

Auf der einzigen, in Bayern dauerhaft unter Beobachtung stehenden ertragskundlichen Versuchsfläche mit Edelkastanie (Laugna 644) wird im Alter von 25 Jahren eine Mittelhöhe von 20,5 m erreicht. Dieser Versuchsbestand stockt auf einem Lößlehm Boden und repräsentiert eher gute Wuchsbedingungen. Die Mittelhöhe liegt aber weit über dem Mittelhöhenrahmen, der für die erste Bonität für die Buche nach der Ertragstafel von SCHÖBER (1967) angegeben wird. Diese Höhenentwicklung ist auf diesem Standort mit einer Gesamtwuchsleistung von bisher 164 Vfm verbunden.

NIINEMETS & VALLADARES (2006) stufen die Trockenheitstoleranz der Edelkastanie mäßig tolerant bis tolerant ein. Auf ihrer Skala erreicht die Buche den geringsten Toleranzwert gegenüber Trockenstress, Kiefer den höchsten. Die Eiche wird in ihrer Trockentoleranz zwischen der Buche und der Edelkastanie klassifiziert. In der Untersuchung hier zeigen alle Baumarten in den Trockenjahren 1976 und 2003 einen deutlichen Zuwachsrückgang (25% - 35% gegenüber dem Niveau vor dem Trockenereignis), wobei der der Edelkastanie tendenziell stärker als bei den anderen Baumarten ausgeprägt ist. Eine ähnliche Größenordnung der Zuwachsreduktion für die Baumarten Buche und Eiche berichten auch PRETZSCH et al. 2013 für das Jahr 1976, 2003 war dort die Reaktion jedoch geringer.

Die Niederschlagssumme belief sich in den Jahren 1976 und 2003 für die untersuchten Standorte auf etwa 70% gegenüber dem langjährigen Mittel (520 bis 540 mm). Diese Werte liegen an der Niederschlagsuntergrenze für das Verbreitungsgebiet der Edelkastanie (Abbildung 1).

Die Wachstumsdynamik der hier untersuchten Edelkastanien deutet insgesamt auf eine geringere Höhenwuchsleistung im Vergleich zu Buche, Eiche und Kiefer auf den untersuchten Standorten hin. Die dadurch entstehende Konkurrenzsituation scheint aber ihre Durchmesserentwicklung nicht einzuschränken. Ihre Schattentoleranz wird als intermediär eingeschätzt (NIINEMETS & VALLADARES, 2006). Allerdings wurde ein Konkurrenzindex bisher nicht explizit in der Analyse berücksichtigt. Die Reaktionen der Edelkastanie auf extreme Trockenereignisse legen den Schluss nahe, dass, auch wenn die Edelkastanie an wärmere Klimate angepasst, dies nicht mit einer hohen Toleranz gegenüber Trockenheit gleichgesetzt werden kann.

Danksagung

Die Studie ist Teil des Projekts "Untersuchungen zu Vorkommen, Genetik und Anbaueignung der Edelkastanie in Süddeutschland unter Berücksichtigung von waldbaulichen und waldschutzrelevanten Aspekten (FKZ 22028614)", das durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) im Rahmen des Förderprogramms Nachwachsende Rohstoffe gefördert wird.

Literatur

- ANDERS, J. (2010) Wuchsleistung der Edelkastanie (*Castanea sativa* Mill.) als klimaplastische Baumart in ausgewählten Beständen Ostdeutschlands. Diplomarbeit. Technische Universität Dresden, 115 S:
- BECK, J. und KÖLLING, C. (2013) Das bayerische Standortinformationssystem. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, LWF aktuell 94, 4-7
- BONDOR, A. (1986) The timber yield of sweet chestnut (*Castanea sativa*). Erdeszeti-Kutatasok 76-77: 133-149
- BOTTACCI, A. 2014. *Castanea sativa*. Enzyklopädie der Holzgewächse: Handbuch und Atlas der Dendrologie. 1–10.
- CONEDERA, M., KREBIS, P., TINNER, W. PRADELLA, M., TORRIANI, D. (2004) The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. Veget Hist Archeobot 13:161-179
- CONEDERA, M., MANETTI, M.C., GIUDICI, F., AMORINI, E. (2004) Distribution and economic potential of the Sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) in Europe. ecologia mediterranea 30 (2): 179-193.
- NIINEMETS, Ü. & VALLADARES, F. (2006) Tolerance to shade, drought, and waterlogging of temperate northern hemisphere trees and shrubs. Ecological Monographs, 76(4):521-547
- PRETZSCH, H., UHL, E. SCHÜTZE, G. (2013) Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. Plant Biology, 15:483-495
- SCHRÖDER, G.-G. (1998) Lehrbuch der Pflanzengeographie. Verlag Wiesbaden Quelle und Meyer, 457 S.
- THURM, E.A., UHL, E., PRETZSCH, H. (2016): Mixture reduces climate sensitivity of Douglas-fir stem growth. Forest Ecology and Management 376:205-220.
- THURM, E.A. (2017): Klimahülle der Edelkastanie (*Castanea sativa* Mill.). Schriftliche Mitteilung, unveröffentlicht.
- WAMBSGANSS, W. (2014): Die Edelkastanie im Pfälzerwald. AFZ-DerWald 11/2014