

Wachstum und phänotypische Variation von sechs Herkünften der Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.) an einem Standort in Schleswig-Holstein

Mirko Liesebach*

Zusammenfassung

Im Internationalen Herkunftsversuch mit Rot-Buche von 1993/95 wurden die Entwicklung und die phänotypische Variation von sechs Herkünften an einem Standort in Schleswig-Holstein untersucht. Von den sechs Herkünften, je drei aus kühleren bzw. wärmeren Gebieten, lagen aus mehreren Jahren Messungen der Baumhöhe und der Durchmesser vor sowie Bonituren des Austrieb, der Herbstverfärbung und der Stammform. Weitere Parameter wurden aus den genannten Merkmalen abgeleitet. Außerdem existieren Klimadaten zu den Einsammlungsorten der sechs Herkünfte.

Im Alter von neunzehn Jahren variierten die Herkünfte in der Überlebensrate nur wenig zwischen 55 % und 66 %. Auch beim Höhen- sowie Dickenwachstum waren die Unterschiede gering. Lediglich die Herkunft aus Tschechien zeigte ab dem Alter dreizehn keinen Höhenzuwachs mehr. Signifikante Unterschiede traten nur zwischen den wüchsigsten Herkünften und den mattwüchsigsten auf. Auffallend war, dass die Korrelationen über verschiedene Aufnahmealter keine verlässlichen Ergebnisse lieferten. Anders sah es bei den Merkmalen Austrieb und Herbstverfärbung aus, die zwischen den Aufnahmejahren eng korreliert waren und genetisch stärker fixiert sind. Zwischen Austrieb sowie Herbstverfärbung und Klimaparametern bestanden statistische Zusammenhänge. Die qualitativ besten Stammformen hatte die Herkunft aus der höchsten Höhenlage. Das Ergebnis der Diskriminanzanalyse verdeutlicht die Variation innerhalb der Herkünfte. Die bei der Auswahl der Herkünfte zugrundeliegende Gruppierung in eine kühlere und wärmere Region des Buchenverbreitungsgebiets findet sich in den untersuchten Merkmalen nicht wieder.

Schlüsselwörter: *Fagus sylvatica*, Wachstum, Stammform, Phänologie, Diskriminanzanalyse

Abstract

Phenotypical traits and variability of six European beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances on a test site in Schleswig-Holstein

Development and phenotypic variation of six provenances, three each from cooler areas and warmer areas, were investigated on a trial site of the International Beech Provenance Experiment 1993/95 in Schleswig-Holstein. For these provenances, measurements of tree height and diameter were available as well assessment data of flushing, autumn leaf colouring, and stem-form. Further data were created. Additionally climate data exists for the collection sites of the six provenances.

At the age of nineteen years, the number of plants varies a little between the provenances (55 % to 66 %) The differences in height growth and diameter were also small, with one exception, the growth of the provenance from Check Republic decreased at age thirteen. Significant differences in growth could only be found between the best and the worst provenances. Impressive was that growth does not generally correlate between different age levels. This was different with regard to flushing and autumn leaf colouring, which are traits which are strongly under genetic control. The best stem-forms were observed within the provenance from the highest altitude. The discriminating analysis shows the variation within the provenances. A grouping of the six provenances into three provenances from cooler, or respectively, warmer, regions of the distribution area of beech, was not evident in the occurrence of the investigated traits.

Keywords: *Fagus sylvatica*, growth, stem form, phenology, discriminant analysis

* Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Forstgenetik, Sieker Landstr. 2, 22927 Großhansdorf

Kontakt: mirko.liesebach@vti.bund.de

Einleitung

Die Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.) bildet in ganz Mitteleuropa einschließlich der Karpaten, in weiten Teilen Westeuropas und in den Gebirgen Südeuropas Buchenwälder unterschiedlicher Ausprägungen (Bohn et al., 2003). Unter humiden, wintermilden Klimabedingungen dominiert sie zahlreiche Waldgesellschaften auf unterschiedlichen Standorten, unabhängig vom Nährstoffhaushalt und pH-Wert des Bodens sowie bei weiter Spanne des Wasserhaushalts von trocken bis mäßig feucht (Ellenberg, 1996). Diese Waldbaumpopulationen sind ortsgebunden und daher besonders vom Klimawandel betroffen. Als Strategie gegen sich ändernde Standortbedingungen zeichnen sich die Baumarten durch eine hohe genetische Vielfalt aus. Bei mehreren Baumarten ist die genetische Variation innerhalb einer Population (Herkunft) größer als zwischen Populationen. Dieses ist auch bei der Rot-Buche nachgewiesen (z. B. Konnert et al., 2000; Liesebach M, 2000; Liesebach et al., 2011; Liesebach H, 2012).

Aufgrund ihrer weiten Verbreitung sind bei anpassungsrelevanten Merkmalen jedoch auch deutliche Herkunftsunterschiede zu erwarten. Zur Erfassung der Variation innerhalb einer Art werden Herkunftsversuche angelegt. Der Nachteil älterer Versuche mit Buche in Dänemark (Hauch, 1909), der Schweiz (Burger, 1948), Deutschland (Krahl-Urban, 1958) und Frankreich (Teissier du Cros & Thiebaut, 1988) ist, dass jeweils überwiegend Herkünfte aus dem eigenen Land angepflanzt wurden. Dieses änderte sich mit der Anlage der internationalen Buchenherkunftsversuche von drei Serien in den 1980er Jahren und zwei weiteren Serien in den 1990 Jahren durch das Thünen-Institut für Forstgenetik (Wühlisch et al., 1998).

An einem Standort in Schleswig-Holstein des Internationalen Herkunftsversuchs mit Rot-Buche von 1993/95 werden die Entwicklung und die phänotypische Variation von sechs Herkünften im Folgenden untersucht.

Material und Methoden

Die etwa 3 ha große Versuchsfläche (Bu1901) bei Schädtkbek in Schleswig-Holstein (54° 18' N; 10° 16' O; 38 m ü.NN) wurde mit zweijährigen Buchen im Verband 2 m x 1 m bei einer Parzellengröße von 10 m x 10 m dreifach wiederholt angelegt (Liesebach M, 2012).

Von sechs Herkünften wurden auf der Versuchsfläche bei Schädtkbek von der Anlage bis zum Pflanzenalter von neunzehn Jahren Wachstumsmerkmale gemessen sowie phänologische Daten und die Stammform bonitiert. Je drei Herkünfte (Nr. 44 Oderhaus /Deutschland, Niedersachsen; Nr. 109 Neuberg-Mürzsteg /Österreich; Nr. 110 Kladská /Tschechien) kommen aus relativ kühlen Gebieten mit Jahresmittel-

temperaturen zwischen 4,9 °C und 5,9 °C, die übrigen drei (Nr. 5 Anguiano /Spanien; Nr. 46 Gransee /Deutschland, Brandenburg; Nr. 146 Beius-Bihor /Rumänien) aus Gebieten mit Jahresmitteltemperaturen zwischen 8,1 °C und 11,7 °C. Details zu den Einsammlungsorten der sechs Herkünfte sind in Liesebach M (2012) beschrieben.

In mehreren Jahren wurden die Baumhöhen und der BHD (Durchmesser in 1,3 m Höhe) gemessen sowie der Austrieb (7 Stufen: 1 = ruhende Winterknospe; 2 = Knospe anschwellend und verlängert; 3 = Knospe öffnet sich, erstes Grün sichtbar; 4 = die noch gefalteten, behaarten Blätter entfalten sich; 5 = Blätter falten sich auf; 6 = Blätter geöffnet, aber noch faltig und blassgrün; 7 = Blätter vollständig entfaltet, glatt und dunkelgrün (Malaisse, 1964)), der Vegetationsabschluss (5 Stufen: 1 = bis 10 verfärbt; 2 = > 10 bis 35 % verfärbt; 3 = > 35 bis 65 % verfärbt; 4 = > 65 bis 90 % verfärbt; 5 = bis 10 % nicht verfärbt) und die Stammform (3 Stufen: 1 = gerade; 2 = krumm; 3 = sehr krumm / mehrstämmig) bonitiert. Aus den Daten der Vollerhebungen wurde die Anzahl der Bäume auf der Fläche (Überlebensrate) im jeweiligen Alter abgeleitet. Das Merkmal H/D-Verhältnis ist aus dem Merkmalen Höhen- und Durchmesserwuchs in einem Alter hergeleitet. Bei der Grund- bzw. Kreisfläche werden der BHD und die Anzahl der lebenden Bäume einer Parzelle berücksichtigt ($G_{\text{Parzelle}} = \Sigma(d/2)^2 \cdot \pi$). In Tabelle 1 ist zusammengestellt, in welchem Alter die einzelnen Merkmale erfasst wurden.

Tabelle 1

Zusammenstellung der gemessenen, erhobenen bzw. abgeleiteten Merkmale nach Pflanzenalter

Merkmal (Abkürzung)	Vollerhebung im Alter	Stichprobe im Alter
Anzahl Bäume	3, 6, 10, 12, 13, 15, 19	
Höhe (h_{Alter})	3, 6, 10, 12, 13	15
BHD (d_{Alter})	11, 12, 13, 15	
Form (f_{Alter})	19	
Austrieb (aus_{Alter})	12, 13	4, 6
Verfärbung (ab_{Alter})	13, 14, 15	
H/D-Verhältnis (hd_{Alter})	12, 13	15
Grund-/Kreisfläche	12, 13, 15	

Zu den Einsammlungsorten liegen die geografischen Koordinaten (geogr. Breite (gb) und geogr. Länge (gl)) und Höhenlage (hh) sowie Klimadaten von europäischen Wetterstationen vor. Die Klimadaten wurden auf die Koordinaten und Höhenlage der Einsammlungsorte interpoliert. Dabei handelt es sich im Einzelnen um die in Tabelle 2 zusammengestellten Klimaparameter.

Tabelle 2

Zusammenstellung von Klimaparametern zu den sechs Herkünften

Gruppe	Klimaparameter (Abkürzung bzw. Herleitung)
Temperatur	mittlere Jahresdurchschnittstemperatur (tj)
	mittlere Temperatur während der Vegetationsperiode (Mai bis Sept.) (t59)
	mittlere Temperatur im Januar (t1)
	mittlere Temperatur im Juli (t7)
	Temperaturamplitude (Juli bis Januar) (tamp)
Anzahl Tage mit mind. 10 °C (nn10)	
Niederschlag	Mittlerer Jahresdurchschnittsniederschlag (nj) mittlerer Niederschlag in der Vegetationsperiode (Mai bis Sept.) (n59)
Sonnenstunden	mittlere Anzahl Sonnenstunden von Mai bis Sept. (s59)
	mittlere Anzahl Sonnenstunden von Jan. bis April (s14)
Indizes	Ariditätsindex: $ai = nj / (tj + 10)$
	Kontinentalitätsindex: $ki = hh / nj$
	Klimafaktor (nach Lang): $Kfa = (nj * tj) / tamp$
	Ellenbergfaktor: $eq = 1000 * t7 / nj$

Auswertungsmethoden

Die Versuchsfläche wurde als randomisierte vollständige Blockanlage angelegt und ausgewertet. Dafür wurden Mittelwerte je Parzellen und Herkunft gebildet. Bei der Bearbeitung von Herkunftsversuchen werden Aussagen über Populationen und nicht über Einzelbäume hergeleitet. Daher bilden, außer in besonders vermerkten Fällen (z. B. Kontingenztafel-, Diskriminanzanalyse), arithmetische Mittelwerte der Einzelbäume je Prüfglied und Parzelle die Grundlage der statistischen Auswertung, die überwiegend mit den Methoden der Varianz- und der Korrelationsanalyse erfolgt. Auf Ebene der Parzellenmittelwerte wurden multiple Mittelwertvergleiche für alle Prüfglieder untereinander (Tukey-Test, $\alpha = 0,05$) durchgeführt (Moll et al., 2004).

Zur Aufdeckung von Zusammenhängen bei den ordinalskalierten Merkmalen Stammform, Austrieb und Herbstverfärbung wurde die Kontingenztafelanalyse herangezogen. Um hierbei vermutete Abhängigkeiten statistisch abzusichern, wurden der Chi-Quadrat-Test bzw. der exakte Test von Fisher eingesetzt.

Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse wurden die Einzelbäume, an denen ein Merkmalsvektor mit Variablen beobachtet war, einer von mehreren vorgegebenen Gruppen zugeordnet. Dabei fand die Maximum-Likelihood-Diskriminanzanalyse Anwendung.

Die statistische Datenanalyse erfolgte mit dem Statistik-Softwareprogrammpaket SAS und zwar überwiegend mit den Prozeduren GLM, FREQ, CORR und DISCRIM.

Ergebnisse

Entwicklung der Pflanzenanzahl

Nach der ersten Vegetationsperiode im Feld im Pflanzenalter von drei Jahren lag die Überlebensrate bei 99 %. Nur vereinzelt waren Bäume trotz eines ausgeprägt trockenen Frühjahrs im Jahr der Pflanzung ausgefallen. Ausgefallenen Pflanzen wurden auf der Fläche nicht ersetzt. Bei den folgenden Aufnahmen im Alter sechs und zehn war eine Differenzierung zwischen den Herkünften festzustellen (Abbildung 1). Die höchsten Ausfälle traten bei der Herkunft Angiano /ES (Nr. 5) auf. Die größte Differenzierung war im Alter zehn zu beobachten, wo bei den Herkünften Kladská /CZ (110) und Beius-Bihor /RO (146) die geringsten Ausfälle auftraten. In den Jahren 2005 bis 2007 wurden je Jahr 2 Bäume pro Herkunft, insgesamt sechs Bäume (bei der Herkunft Angiano /ES nur 4 Bäume), für Untersuchungen zur Holzbildung (Schmitt et al., 2012) entnommen. Bei allen weiteren Ausfällen handelte es sich um natürliche Abgänge unbekannter Ursache. Im Alter von neunzehn Jahren standen im Mittel noch 58 % der gepflanzten Bäume. Seit dem Alter zwölf hat die Herkunft Oderhaus /DE (44) die geringsten Ausfälle. Von dieser Herkunft lebten im Alter von neunzehn Jahren noch 66 % der Bäume. Der Anteil der lebenden Bäume der anderen fünf Herkünfte variierte nur zwischen 55 % und 57 %.

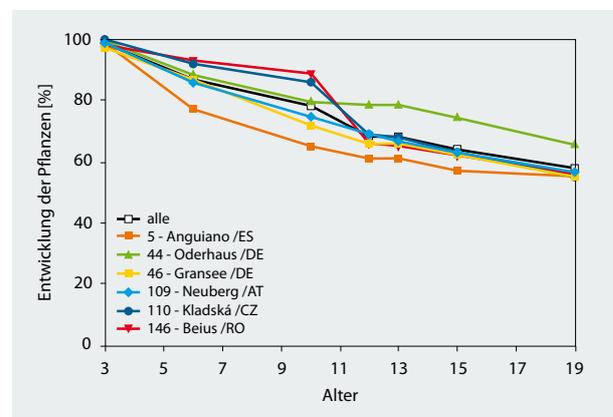


Abbildung 1

Entwicklung der Pflanzenanzahl der sechs Herkünfte und Mittel

Höhen- und BHD-Wachstum

Die Entwicklung der **Baumhöhen** verlief bei den sechs Herkünften ähnlich (Abbildung 2). Einen leichten Vorsprung im Höhenwuchs zeigte die Herkunft Neuberg /AT (109), der jedoch mit zunehmendem Alter geringer wurde. Einen mehr oder weniger stetigen Anstieg wies die Herkunft Oderhaus /DE (44) auf, die im Alter von fünfzehn Jahren 14 % höher als das Mittel über die sechs Herkünfte lag. Auffällig war das

Stagnieren des Höhenwachstums bei der Herkunft Kladská / CZ (110) im Alter fünfzehn im Vergleich zur vorangegangenen Messung im Alter dreizehn. Hier betrug die mittlere Höhe der Herkunft Kladská /CZ (110) nur 67 % im Vergleich zum Mittel über die sechs Herkünfte (Abbildung 3).

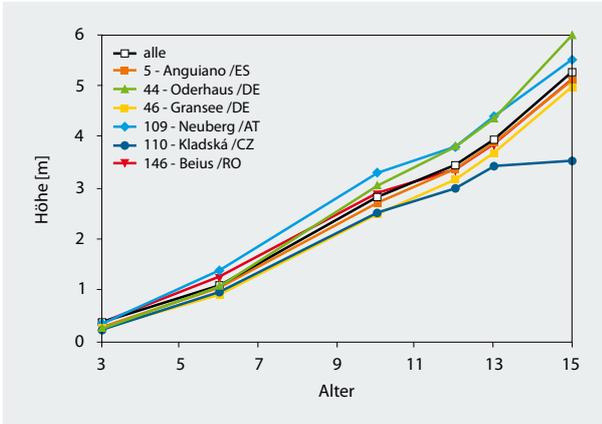


Abbildung 2
Absolute Entwicklung der Baumhöhen der sechs Herkünfte

Im Alter von drei Jahren führt der Tukey-Test ($\alpha = 0,05$) zu drei Gruppen beim Höhenwachstum (Tabelle 3). Dabei sind die Herkünfte Neuberg /AT (109) und Beius-Bihor /RO (146) signifikant besser im Höhenwuchs als die restlichen vier Herkünfte. Die weiteren vier Herkünfte sind zwei sich überlappenden Gruppen zugeordnet. Im Alter von sechs Jahren weist der Tukey-Test drei sich überlappende Gruppen aus. Für die Höhenwerte im Alter zehn und zwölf ergibt der Test zwei sich überlappende Gruppen und im Alter dreizehn und fünfzehn lassen sich Unterschiede statistisch nicht nachweisen. Bis zum Alter von zwölf Jahren weist die Herkunft Neuberg /AT (109) einen signifikant besseren Höhenwuchs auf als die Herkunft Kladská /CZ (110).

Die Entwicklung der BHD verlief im Alter bis elf bis fünfzehn zwischen den Herkünften ähnlich, das heißt, es hat keine nennenswerten Rangänderungen gegeben (Abbildung 4). Die größten BHD hatten die Herkünfte Oderhaus /DE (44) und Neuberg /AT (109) und den geringsten die Herkunft Kladská /CZ (110). Einen Abfall im Dickenwachstum, wie bei der mittleren Baumhöhe, war bei der Herkunft Kladská /CZ (110) nicht festzustellen.

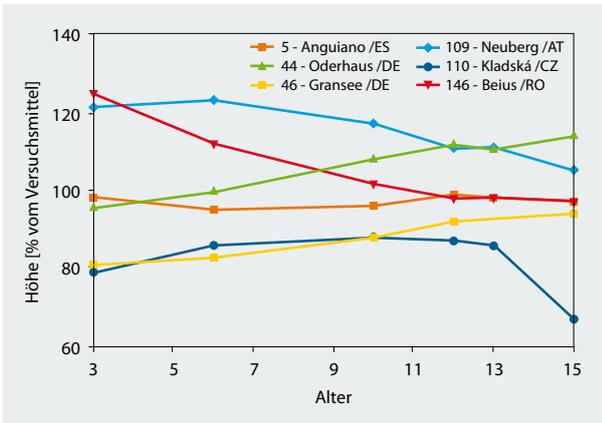


Abbildung 3
Höhenentwicklung im Vergleich zum Mittel der sechs Herkünfte

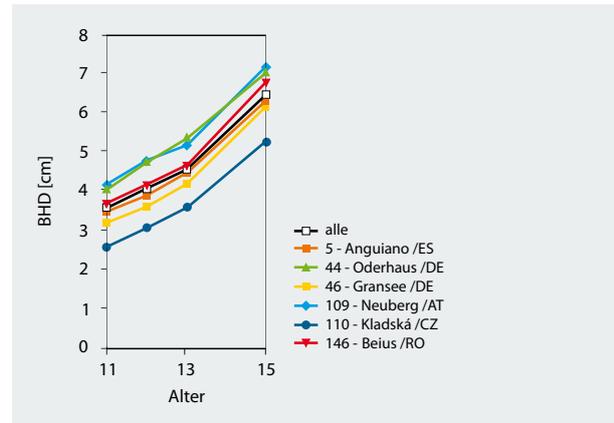


Abbildung 4
Absolute Entwicklung der BHD

Tabelle 3

Tukey-Gruppen für das Merkmal Höhe im Alter drei, sechs, zehn und zwölf

Höhe Alter 3		Höhe Alter 6		Höhe Alter 10		Höhe Alter 12	
Herkunft	Gruppe	Herkunft	Gruppe	Herkunft	Gruppe	Herkunft	Gruppe
146 (Beius /RO)	A	109	A	109	A	44	A
109 (Neuberg /AT)	A	146	A B	44	A B	109	A
5 (Anguiano /ES)	B	44	B C	146	A B	5	A B
44 (Oderhaus /DE)	B C	5	B C	5	A B	146	A B
46 (Gransee /DE)	B C	110	C	110	B	46	A B
110 (Kladská /CZ)	C	46	C	46	B	110	B

Tabelle 6

H/D-Verhältnis im Alter zwölf, dreizehn und fünfzehn

Herkunft	Alter zwölf		Alter dreizehn			Alter fünfzehn		
	HD	Gruppe	Herkunft	HD	Gruppe	Herkunft	HD	Gruppe
110 (Kladská /CZ)	139	A	110	132	A	110	104	A
46 (Gransee /DE)	104	A B	46	104	A B	5	92	A
146 (Beius /RO)	103	A B	5	97	B	46	89	A
5 (Anguiano /ES)	100	A B	109	95	B	44	89	A
109 (Neuberg /AT)	92	B	44	95	B	109	89	A
44 (Oderhaus /DE)	92	B	146	94	B	146	82	A

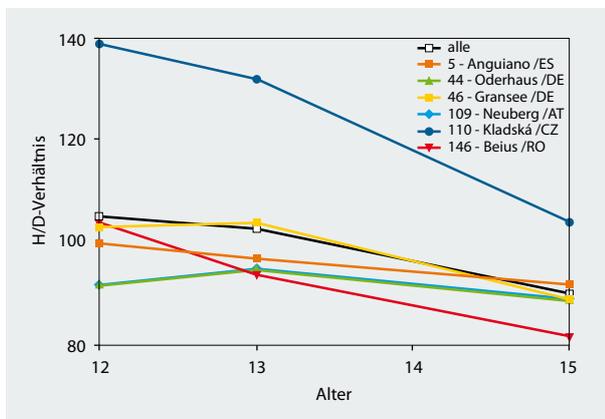


Abbildung 5
H/D-Verhältnis

Grundfläche

In das Merkmal Grundfläche (Kreisfläche) einer Parzelle gehen die Merkmale BHD und Überlebensrate ein. Die Entwicklung der Kreisflächen im Alter zwölf bis fünfzehn ist für die sechs Herkünfte in Tabelle 7 dargestellt. Die Herkunft Beius-Bihor /RO (146) entspricht etwa dem Mittel über die sechs Herkünfte. Eine über dem Gesamtmittel liegende mittlere Grundfläche haben die Herkünfte Oderhaus /DE (44) und Neuberg /AT (109), unter dem Gesamtmittel liegen die Herkünfte Anguiano /ES (5), Gransee /DE (46) und Kladská /CZ (110). Statistisch lassen sich keine Unterschiede zwischen den Herkünften sichern.

Tabelle 7

Grund- / Kreisfläche [m²/ha] der sechs Herkünfte und im Mittel im Alter zwölf, dreizehn und fünfzehn

Alter	Herkunft						Mittel
	5	44	46	109	110	146	
12	4,3	8,2	4,1	6,8	3,3	5,1	5,2
13	5,4	10,6	5,5	8,1	4,2	6,6	6,7
15	10,3	17,6	10,7	14,4	8,6	12,2	12,2

Phänologie

Der **Austrieb** der Buchen ist in vier Jahren (1997 – 4jährig, 1999 – 6j., 2005 – 12j. und 2006 – 13j.) erfasst worden. Das mittlere Austriebsstadium vier wurde dabei im Mittel über die sechs Herkünfte zwischen dem 123. (3. Mai) und 132. Tag (12. Mai) ab Jahresbeginn erreicht. Dieses entspricht zwischen 138 und 171 Gradtagen (Summe Kelvin über > 5 °C Tagesmitteltemperatur; Abbildung 6). In den Jahren 1997 und 2006 wurden die wenigsten Gradtage für den Austrieb benötigt. Die meisten Gradtage waren im Jahr 2005 für das gleiche Austriebsstadium erforderlich.

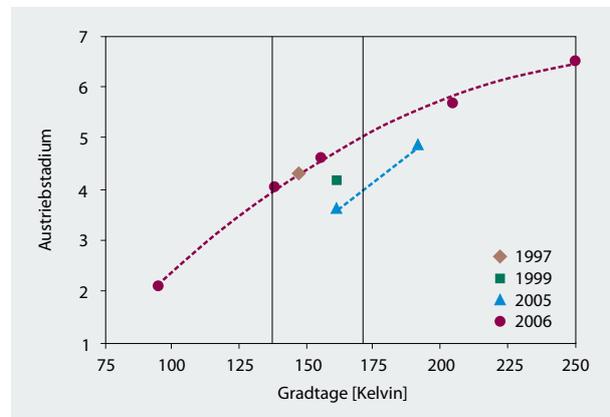


Abbildung 6

Mittlere Gradtage (> 5 °C) über die sechs Herkünfte im Austrieb in den Jahren 1997, 1999, 2005 und 2006. Das mittlere Austriebsstadium vier war zwischen 138 und 171 Gradtagen erreicht (senkrechte Linien).

In Abbildung 7 ist die Entwicklung des Austriebs im Jahr 2006 für die sechs Herkünfte einzeln dargestellt. Den frühesten Austrieb hatte die Herkunft (Neuberg /AT (109). Am spätesten trieb die Herkunft Gransee /DE (46) aus. Die Variation, die an einem Boniturtermin innerhalb der sechs Herkünfte auftrat, ist exemplarisch in Abbildung 8 für den 10. Mai 2006 (130. Tag) dargestellt. Hier werden die Unterschiede zwischen und die Variation innerhalb der Herkünfte deutlich.

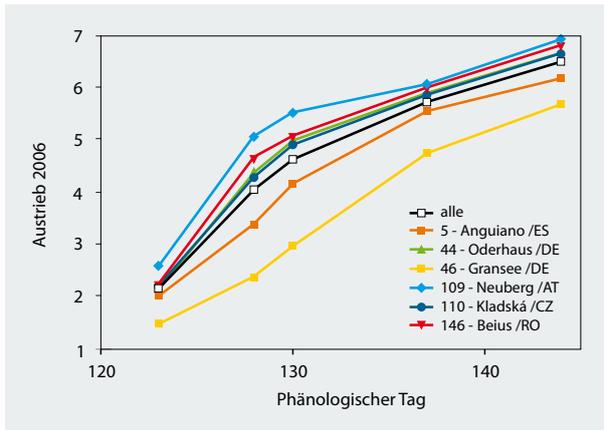


Abbildung 7
Mittlere Austriebsentwicklung der sechs Buchenherkünfte im Frühjahr 2006 (123. Tag = 3. Mai bis 144. Tag = 24. Mai)

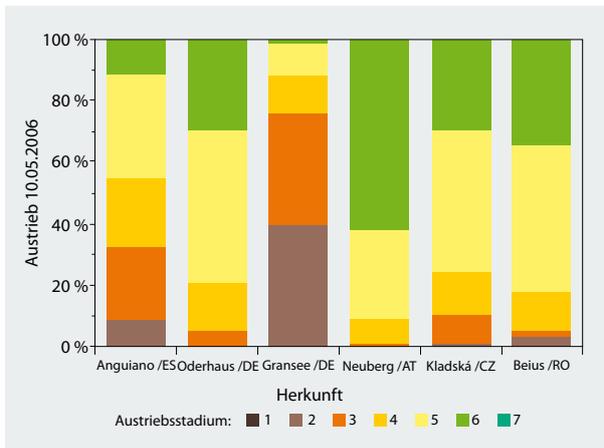


Abbildung 8
Häufigkeit der Austriebsstadien (eins bis sieben) für die sechs Buchenherkünfte bei der Aufnahme am 10.5.2006

Zwischen den Aufnahmejahren ist das Austriebsverhalten der Bäume hoch korreliert. Zum Zeitpunkt der größten Differenzierung des Austrieb in einem Aufnahmejahr unterscheiden sich die meisten der sechs Herkünfte in ihrer Häufigkeitsverteilung der Austriebsstadien. Die Ergebnisse der statistischen Vergleiche sind in Tabelle 8 für je einen Austriebstermin im Jahr 2005 (3. Mai) und 2006 (8. Mai) dargestellt. Die meisten Verteilungen der Austriebsstadien zwischen den Herkünften sind signifikant unterschiedlich. Lediglich zwischen den Herkünften Kladská /CZ (110) und Beius /RO (146) lassen sich in beiden Jahren keine Unterschiede statistisch absichern. Keinen Unterschied ergibt der Vergleich der Herkünfte Neuberg /AT (109) und Beius /RO (146) im Jahr 2005 und nur einen schwachen Unterschied im Jahr 2006. Die Herkunft Oderhaus /DE (44) unterscheidet sich im Jahr 2005 von der Herkunft Kladská /CZ (110), während im folgenden Jahr (2006) kein Unterschied nachweisbar ist.

Tabelle 8

Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung (exakter Test nach Fisher) des Austriebs 3.5.2005 (oberhalb der Diagonalen) und 8.5.2006 (unterhalb der Diagonalen)

Herkunft	5	44	46	109	110	146
5		***	***	***	***	***
44	***		***	***	***	***
46	***	***		***	***	***
109	***	***	***		*	ns
110	***	ns	***	***		ns
146	***	*	***	*	ns	

Die Aufnahme der **Verfärbung im Herbst** liegt aus drei Jahren vor. Die Unterschiede zwischen den sechs Herkünften sind geringer als beim Austrieb. Im Herbst beginnen sich zuerst die Herkünfte Kladská /CZ (110) und Neuberg /AT (109) zu verfärben. Am spätesten setzt die Verfärbung bei der Herkunft Gransee /DE (46) ein (Abbildung 9). In den Jahren 2005 und 2007 ist das mittlere Verfärbungsstadium (3) etwa am 297. Tag seit Jahresbeginn (24. Okt.) erreicht. Im Jahr 2006 trat dieses Stadium 16 Tage später am 9. November ein.

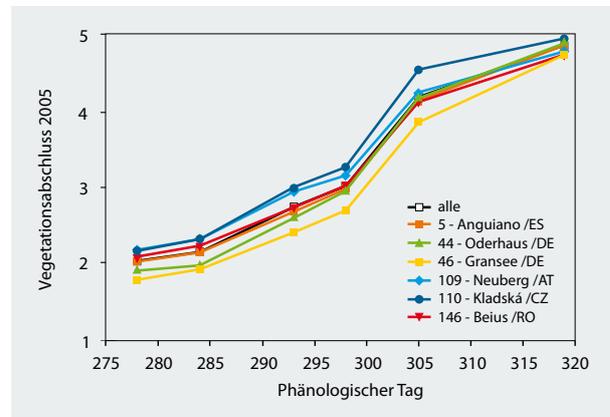


Abbildung 9
Entwicklung der mittleren Verfärbung der sechs Buchenherkünfte im Herbst 2005 (278. Tag = 5. Okt. bis 319. Tag = 15. Nov.)

Die Verfärbung im Herbst ist zwischen den drei Beobachtungsjahren hoch korreliert, obwohl die Variation zwischen den sechs Herkünften gering ist. In den paarweisen Vergleichen mit dem exakten Test von Fischer werden seltener als beim Austrieb Unterschiede nachgewiesen. Wenn Unterschiede nachweisbar sind, wiederholen sich diese nicht immer im Folgejahr (Tabelle 9).

Tabelle 9

Unterschiede in der Häufigkeitsverteilung (exakter Test nach Fisher) der Verfärbung im Herbst am 25.10.2005 (oberhalb der Diagonalen) und 24.10.2007 (unterhalb der Diagonalen)

Herkunft	5	44	46	109	110	146
5		ns	***	ns	**	**
44	***		***	**	***	***
46	ns	ns		***	***	***
109	***	**	**		ns	ns
110	***	ns	***	***		ns
146	ns	***	ns	**	***	

Stammform

Den höchsten Anteil gut geformter Stämme (38 %) hat im Alter neunzehn die Herkunft Neuberg /AT (109), die auch den geringsten Anteil sehr krummer und mehrstämmiger Bäume (31 %) hat (Abbildung 10). Den geringsten Anteil gut geformter Stämme (15 %) hat die Herkunft Oderhaus /DE (44), die auch den höchsten Anteil sehr krummer und mehrstämmiger Bäume (54 %) hat. Der Chi-Quadrat-Test bestätigt einen globalen Unterschied zwischen den sechs Herkunftorten ($\chi^2 = 30,54$ ***). Im Vergleich der Stammformverteilung der einzelnen Herkunftorten gegen die zusammengefassten restlichen Herkunftorten bestätigt der exakte Test von Fisher die Unterschiede der Herkunft Neuberg /AT (109) mit dem höchsten Anteil gut geformter Stämme und der Herkunft Oderhaus /DE (44) mit dem geringsten Anteil.

Der Vergleich der einzelnen Herkunftorten ergibt gesicherte Unterschiede in der Verteilung der Stammformen zwischen der besser geformten Herkunft Neuberg /AT (109) und den schlechteren Herkunftorten Anguiano /ES (5), Oderhaus /DE (44), Kladská /CZ (110) und Beius-Bihor /RO (146). Außerdem unterscheidet sich die schlechter geformte Herkunft Oderhaus /DE (44) von den Herkunftorten Anguiano /ES (5), Neuberg /AT (109) und Kladská /CZ (110).

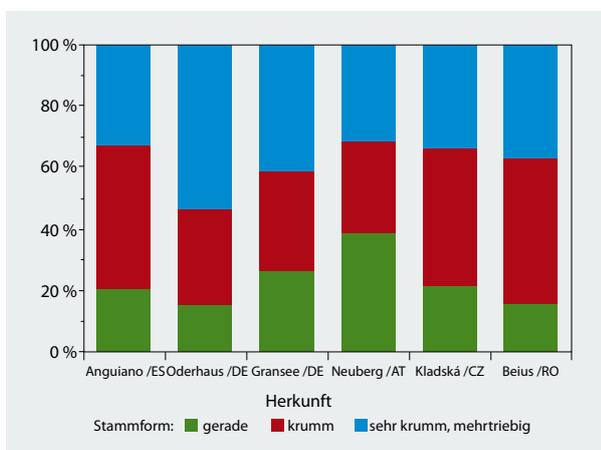


Abbildung 10

Stammform der sechs Herkunftorten

Zusammenhang von geografischen Daten und Klimaparametern sowie der Merkmalsausprägung

Ein statistischer Zusammenhang von den geografischen Koordinaten und der Höhenlage sowie der in Tabelle 2 beschriebenen Klimaparameter der Einsammlungsorte und den Wachstumsmerkmalen Höhe und BHD sowie dem H/D-Verhältnis lässt sich mit der Korrelationsanalyse nicht nachweisen (Anhang 1a, c). Lediglich zwischen der Höhe im Alter von zehn Jahren und dem mittleren Jahresniederschlag bzw. dem Niederschlag im Frühjahr (März bis Mai) tritt ein Zusammenhang auf. Bei der Vielzahl der berechneten Korrelationsanalysen ist dieses Auftreten als zufällig zu beurteilen.

Weiterhin findet sich kein Zusammenhang zwischen den geografischen Koordinaten und der Höhenlage sowie der in Tabelle 2 beschriebenen Klimaparameter der Einsammlungsorte und dem Austriebsstadium an den unterschiedlichen Aufnahmetermi- nen (Anhang 1b).

Auch zu der Verfärbung im Herbst 2005 gibt es an den sechs Aufnahmetermi- nen keine Zusammenhänge (Anhang 1c). Dagegen gibt es statistisch gesicherte Zusammenhänge bei der Merkmalsausprägung Verfärbung im Herbst in den Jahren 2006 und 2007 (Anhang 1d). An den beiden letzten der insgesamt sechs Aufnahmetermi- ne im Herbst 2006 und den drei letzten der fünf im Jahr 2007 lässt sich ein Zusammenhang zwischen Verfärbungsgrad und der Jahresdurchschnittstemperatur (tm), der Temperatur in der Vegetationsperiode (tv), der Durchschnittstemperatur der Tage mit mind. 10 °C (tv10), der Anzahl Tage über 10 °C (nn10) und dem Ellenberg-Quotienten (eq) sichern. Weiterhin bestehen Zusammenhänge an vier Aufnahmetermi- nen zwischen Verfärbungsgrad und der mittleren Temperatur im Juli (t7) sowie der Sonnenscheindauer in der Vegetationsperiode (s59). Außerdem lassen sich Zusammenhänge an zwei Aufnahmetermi- nen zwischen Verfärbungsgrad und dem mittleren Jahresniederschlag (nj), dem Ariditätsindex (ai), der mittleren Temperatur im Juli (t7) sowie Sonnenscheindauer zu Jahresbeginn (s14) nachweisen. Ein Zusammenhang mit dem mittleren Jahresniederschlag (nj) bzw. dem Ariditätsindex (ai) wurde jeweils beim letzten Aufnahmetermi- n beobachtet. Bei den anderen Kombinationen ist keine Regelmäßigkeit zu erkennen. Die einzelnen Korrelationskoeffizienten sind im Anhang 1a-d zusammengestellt.

Multivariate Unterscheidung von Herkunftorten, Differenzierung zwischen Herkunftorten

Unter Berücksichtigung von fünf Variablen (Austriebsstadium am 3.5.2005, Verfärbung am 1.11.2005, Höhe Alter dreizehn, BHD Alter fünfzehn und Stammform Alter neunzehn) im Merkmalsvektor, die an 502 Bäumen der sechs Herkunftorten erhoben wurden, werden mit der Diskriminanzanalyse im

Mittel 45 % der Bäume der richtigen Herkunft zugeordnet. Die Zuordnung ist in Tabelle 10 zusammengestellt. Den höchsten Anteil richtig zugeordneter Bäume weist die Herkunft Gransee /DE (46) mit 74 % auf und den geringsten die Herkunft Anguiano /ES (5) mit 27 %. Anhand der Merkmalsausprägung wurden von der Herkunft Anguiano /ES (5) sogar 29 % der Herkunft Oderhaus /DE (44) und 28 % der Herkunft Gransee /DE (46) zugeordnet. Bei der Herkunft Beius Bihor /RO (146) sind 27 % der Bäume der Herkunft Neuberg /AT (109) zugeordnet. Die weiteren Fehlklassifikationen sind gering.

Tabelle 10

Zuordnung von 502 Bäumen anhand von fünf erfassten Merkmalen (Gesamtfehlklassifikation 55 %)

von Herkunft	in Herkunft					
	5	44	46	109	110	146
5	22 (27 %)	24 (29 %)	23 (28 %)	6 (8 %)	5 (6 %)	2 (2 %)
44	15 (16 %)	55 (56 %)	6 (6 %)	12 (12 %)	3 (3 %)	7 (7 %)
46	7 (9 %)	8 (10 %)	61 (74 %)	1 (1 %)	3 (4 %)	2 (2 %)
109	5 (6 %)	18 (21 %)	3 (3 %)	38 (44 %)	9 (11 %)	13 (15 %)
110	8 (11 %)	8 (11 %)	6 (8 %)	9 (13 %)	25 (35 %)	15 (21 %)
146	7 (8 %)	14 (17 %)	6 (7 %)	22 (27 %)	10 (12 %)	24 (29 %)

Tabelle 11

Zuordnung von 489 Bäumen anhand von zehn erfassten Merkmalen (Gesamtfehlklassifikation 46 %)

von Herkunft	in Herkunft					
	5	44	46	109	110	146
5	28 (35 %)	14 (18 %)	21 (27 %)	3 (4 %)	8 (10 %)	5 (6 %)
44	11 (11 %)	60 (62 %)	6 (6 %)	9 (9 %)	4 (4 %)	8 (8 %)
46	7 (9 %)	5 (6 %)	61 (77 %)	0 (0 %)	2 (3 %)	4 (5 %)
109	6 (7 %)	10 (12 %)	3 (4 %)	48 (58 %)	7 (8 %)	9 (11 %)
110	3 (4 %)	11 (16 %)	7 (10 %)	2 (3 %)	33 (47 %)	14 (20 %)
146	11 (14 %)	8 (10 %)	5 (6 %)	12 (15 %)	9 (11 %)	35 (44 %)

Werden zehn Variablen (zusätzlich zu den fünf o. a. Merkmalen: Austrieb am 8.5.2006, Verfärbung am 5.10.2006 und 24.10.2007, Höhe Alter sechs, BHD Alter elf) in den Merkmalsvektor von 489 Buchen einbezogen, erhöht sich die richtige Zuordnung auf 54 %. Den höchsten Anteil richtig zuge-

ordneter Bäume weist weiterhin die Herkunft Gransee /DE (46) mit 77 % auf und den geringsten die Herkunft Anguiano /ES (5) mit 35 % (Tabelle 11). Anhand der Merkmalsausprägung wird die höchste Fehlzuordnung (27 %) von der Herkunft Anguiano /ES (5) in die Herkunft Gransee /DE (46) verzeichnet.

Diskussion

Mit der Rot-Buche, die den höchsten Anteil im Wald unter den Laubbaumarten in Deutschland einnimmt, wurden systematische Herkunftsversuche im Vergleich zu den Nadelbaumarten erst spät angelegt. Gründe hierfür sind, dass die Rot-Buche lange Zeit wenig gepflanzt wurde und sich damit die Frage nach der richtigen Herkunft nicht gestellt hat. Außerdem sind trotz des großen Verbreitungsgebiets Unterschiede in morphologischen und holztechnologischen Eigenschaften zwischen Populationen geringer als z. B. bei Fichte und Kiefer. Als Ende der 1980er Jahre verstärkt Buche gepflanzt wurde, haben die Versuchsanstalten durchsetzen können, Herkunftsversuche mit Rot-Buche anzulegen. Durch die sich ändernde Klimabedingungen ist die Kenntnis, wie Buchen darauf reagieren, für die Forstwirtschaft von Bedeutung (Rennenberg et al. 2004). Hierzu liefern Herkunftsversuche wertvolle Ergebnisse.

Im Vergleich zu den wenigen älteren Herkunftsversuchen wurden die internationalen Serien der 1980 und 1990 Jahre als Blockversuche angelegt, wodurch die Heterogenität innerhalb einer Versuchsfläche möglichst ausgeglichen wird. Außerdem erfolgte die Anlage mit großen Parzellen, so dass für die ausgewählte Versuchsfläche Aussagen zur Variation zwischen Herkünften und innerhalb der Herkünften möglich sind. Für die Anpassbarkeit einer Population interessiert dabei jeweils der Mittelwert, für die Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Temperaturregimes die Variation innerhalb der Population.

Die Anlage der Versuchsfläche erfolgte zu Beginn einer außergewöhnlich langen Frühjahrstrockenheit. Daher war überraschend, dass nur geringe Ausfälle am Ende der ersten Vegetationsperiode im Feld zu verzeichnen waren. Ebenso gute Anwuchsergebnisse wurden von einer parallel angelegten Fläche in Malter / Sachsen (DE) beschrieben (Liesebach et al., 2011). In den folgenden Jahren ging die Pflanzanzahl im Gegensatz zur Fläche Malter leicht zurück. Der Rückgang der Pflanzanzahlen bis zum Alter zehn ist vergleichbar mit dem auf einer weiteren Parallelfäche Gablitz /AT (Liesebach et al., 2011).

Das Eignung des Merkmals Entwicklung der Pflanzanzahl wird zur Beurteilung einer Herkunft kontrovers diskutiert (z. B. Hoffmann, 1962). Bei der Etablierung des Internationalen Versuchs und der Fläche Schädtkbek wurden zahlreiche seiner Kritikpunkte berücksichtigt. So wurden die Pflanzen für die Anlage der Versuchsserie unter einheitlichen Bedingungen in der Baumschule des Thünen-Instituts für Forstgenetik in Großhansdorf angezogen. Standortliche Unterschiede innerhalb der Baumschule konnten aus logistischen Gründen nicht berücksichtigt werden, da die Anlage

von Blöcken einen unverhältnismäßigen Mehraufwand bedeutet hätte. Durch die Wahl eines Blockdesigns für den Feldversuch wurden bereits bei der Anlage aufgetretene Witterungsunterschiede gemindert ebenso wie standörtliche Unterschiede, die aus einer forstlichen Kartierung vorlagen (Liesebach M, 2012).

Dennoch ließ es sich nicht vermeiden, dass Grenzen von Standortseinheiten durch einzelne Parzellen verlaufen (Liesebach M, 2012). Die Feinanalyse zeigt jedoch, dass auch innerhalb der anderen Parzellen kleinstandörtliche Unterschiede im Boden- und Wasserhaushalt vorliegen (Müller, 2012).

Aus anderen Herkunftsversuchen mit Buchen werden übereinstimmend Unterschiede im Wachstum zwischen den geprüften Herkünften beschrieben (z. B. Hoffmann, 1962; Kleinschmit und Svolba, 1996; Barzdajn, 2002; von Wühlisch et al., 2008; Liesebach et al., 2011). Betrachtet man die Wachstumsunterschiede bzw. die Rangfolge von Herkünften, die in Serien auf mehreren Flächen getestet werden, so lassen sich Genotyp-Umwelt-Interaktionen feststellen.

Während das mittlere Höhenwachstum im Alter zehn der sechs untersuchten Herkünfte auf der Fläche Schädtkbek (Schleswig-Holstein) mit dem auf der Parallelfäche Malter (Sachsen) vergleichbar ist, fällt es auf einer weiteren Fläche Gablitz Österreich deutlich geringer aus (Liesebach et al., 2011). Zwischen den sechs Herkünften war die Differenzierung im Wachstum auf der Fläche Malter (Sachsen) am geringsten und auf der Fläche Gablitz /AT am deutlichsten ausgeprägt (Liesebach et al., 2011). Drei der Herkünfte sind auch auf einer Fläche in Polen in Prüfung, wo die Herkünfte eine abweichende Rangfolge im Höhenwachstum zeigen (Barzdajn, 2002). Gömöry und Paule (2011) fanden einem Zusammenhang von Höhen- und Durchmesserwachstum mit der Länge der Vegetationsperiode in einem Versuch mit 32 Herkünften.

In der vorliegenden Untersuchung fällt auf, dass das Höhenwachstum zwischen den einzelnen Aufnahmealtern nicht korreliert. Auch Kleinschmit und Svolba (1996) stellten fest, dass Korrelationen zwischen verschiedenen Aufnahmealtern der Höhenmessungen der ersten siebzehn Jahre keine verlässlichen Ergebnisse lieferten. Die fehlenden Zusammenhänge zwischen frühem und etwas späterem Jugendwachstum relativieren die Ergebnisse von Topfversuchen mit Buche, die nur die frühe Jugendphase erfassen. Zumindest sollten Schlüsse auf das weitere Wachstum der Buche nicht verallgemeinert werden.

Bereits frühere Auswertungen von phänologischen Beobachtungen in Buchenherkunftsversuchen haben gezeigt, dass zwischen den Jahren auch bei abweichenden Witterungsverhältnissen kaum Änderungen in der Rangfolge von Herkünften beim Austrieb und Blattfall auftraten (z. B. Hoffmann, 1962; von Wühlisch et al., 1995). So treiben Hochlagenherkünfte früher aus als solche aus Tieflagen und südöstliche früher als nordwestliche (z. B. Liesebach et al., 1999; Liesebach, 2000; von Wühlisch et al., 2008; Gömöry und Paule, 2011; Schüler et al., 2012). Buchenherkünfte aus südlichen Gegenden entlauben im Herbst früher als solche aus nördlichen Regionen (Burger, 1948).

Auch in der vorliegenden Untersuchung unterschieden sich die Herkünfte im Austrieb. Dabei treiben frühtreibende Herkünfte immer früh, während spätreibende immer spät austreiben. Es bestätigt sich erneut, dass sich der Austrieb als ein Merkmal erweist, das über die Jahre stabil ist, d. h. unter strenger genetischer Kontrolle ist.

In den Versuchsserien von Krahl-Urban aus den 1950er Jahren zeichnen sich Berglandherkünfte in der Regel durch bessere Stammformen als Tieflandherkünfte aus (Kleinschmit und Svolba, 1996; Rau, pers. Mitt.). Einen geographischen Trend konnten die Autoren jedoch nicht nachweisen. Auch in der vorliegenden Auswertung hat die Herkunft aus der höchsten Höhenlage (Neuberg /AT 1050 m ü.NN) den höchsten Anteil gerader Stämme. Den geringsten Anteil gerader Stämme hat die Herkunft Oderhaus /DE (710 m ü. NN). Die Tieflagenherkunft Gransee /DE (70 m ü. NN) liegt im Mittelfeld und hat von den sechs untersuchten Herkünften jeweils den zweithöchsten Anteil gerader als auch sehr krummer / mehrtriebiger Bäume. Die von Krahl-Urban angelegten Versuche (Kleinschmit und Svolba, 1996) zeigten in Übereinstimmung mit der vorliegenden Untersuchung, dass viele Herkünfte insgesamt schlechte Stammformen aufweisen. Eine Ursache für die schlechten Stammformen sind in erste Linie Frostereignisse, insb. Spätfröste, die bei Freiflächenaufforstungen immer wieder auftreten (z. B. Krahl-Urban, 1958; Sindelar, 1988). Ein Einfluss der Bodengüte, wie er von Wühlisch et al. (2008) angenommen wird, dürfte hier eher von untergeordneter Bedeutung sein.

Die bei der Auswahl zugrundeliegende Gruppierung von je drei Herkünften aus kühleren und wärmeren Regionen des Buchenverbreitungsgebiets findet sich bei den untersuchten Merkmalen nicht wieder. Das Merkmal mittlere Jahresdurchschnittstemperatur der Herkunftsorte reicht daher allein nicht aus, um Vorhersagen zum Wachstum, zur Phänologie oder zur Stammform geben zu können. Die Ergebnisse zeigen vielmehr, dass die phänotypischen Eigenschaften der Buchenherkünfte unabhängig von den Temperaturverhältnissen am Einsammlungsort sind.

Das Ergebnis der Diskriminanzanalyse verdeutlicht die Variation innerhalb einer Herkunft (Bestandesabsaat). Dabei spricht eine hohe Fehlzuordnungen für potenzielle Anpassungsfähigkeit einer Herkunft, während die Zuordnung zur eigentlichen Herkunft die Anpassung an die spezifischen Standortbedingungen am Einsammlungsort wiedergibt. Die Herkunft Anguiano /ES (5) hat für die untersuchten phänotypischen Merkmale eine hohe potenzielle Anpassungsfähigkeit. Für eine andere spanische Herkunft, aus einer drei Jahre später angelegten Versuchsfläche, kommen Robson et al. (2012) für physiologische Merkmale zu derselben Schlussfolgerung. Danach bestätigt sich, dass die Rot-Buche über ein breites Potenzial zur Anpassung an eine Variabilität der Witterung verfügt (Peuke et al., 2002; Bolte und Czaikowski, 2006; Kriebitzsch et al., 2008). Schlussfolgerungen, die in älteren Arbeiten wegen der Unzulänglichkeiten der Versuchsanlagen nur als Tendenz bezeichnet wurden, werden durch die vorliegenden Ergebnisse im Allgemeinen bestätigt.

Die natürliche Ausbreitung der Rot-Buche ist noch nicht abgeschlossen und wird durch Bewirtschaftung anthropo-

gen beeinflusst. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die weitere natürliche Arealentwicklung sind nicht vorhersehbar (Knapp, 2008), zumal bereits erhebliche Unterschiede zwischen Bestandesnachkommenschaften auf kurze Entfernung auftreten können. Diese werden anhand der Ergebnisse von Krahl-Urban (1958) für die untersuchten Merkmale auf ökotypische Variationsmuster zurückgeführt. Auch auf der Versuchsfläche, auf der die sechs Herkünfte in der vorliegenden Pilotstudie untersucht wurden, treten Unterschiede zwischen Bestandesnachkommenschaften auf kurze Entfernung auf (Liesebach et al., 2011). Diese Nachkommenschaften gilt es, künftig in Hinsicht auf die Bedeutung der lokalen Anpassung zu analysieren.

Dank

Den zahlreichen Mitarbeitern des Instituts, die bei der Anzucht der Pflanzen und der Anlage der Versuchsfläche geholfen haben, danke ich ebenso wie denen, die über die Jahre die Messungen und Bonituren durchgeführt haben. Besonderer Dank gilt auch dem Forstpersonal des Bundesforstbetriebs Trave, Forstrevier Ostholstein, das die erforderlichen Forstschutz- und Pflegemaßnahmen verantwortungsvoll durchgeführt hat.

Anhang 1

Korrelationsmatrix der geografischen Koordinaten, der Höhenlage sowie der in Tabelle 2 beschriebenen Klimaparameter des Einsammlungsortes und ...

(a) den Wachstumsmerkmalen Höhe in sechs Altern und BHD in vier Altern. Gelb hervorgehoben sind jeweils signifikante Zusammenhänge ($\alpha = 0,05$).

	h3	h6	h10	h12	h13	h15	d11	d12	d13	d15
gl	0.405	0.387	0.219	0.008	0.020	-0.014	0.139	0.142	0.091	0.224
gb	-0.482	-0.364	-0.172	-0.063	-0.054	-0.027	-0.120	-0.059	-0.077	-0.072
hh	0.220	0.421	0.550	0.499	0.471	0.137	0.357	0.359	0.330	0.206
tv10	0.256	-0.051	-0.364	-0.412	-0.394	-0.104	-0.229	-0.299	-0.248	-0.149
nv10	0.591	0.794	0.748	0.501	0.509	0.181	0.516	0.499	0.413	0.450
nn10	0.172	-0.119	-0.398	-0.416	-0.401	-0.123	-0.263	-0.332	-0.277	-0.202
tamp	0.728	0.588	0.222	-0.082	-0.064	-0.058	0.132	0.078	0.040	0.205
tj	0.086	-0.198	-0.423	-0.386	-0.373	-0.077	-0.258	-0.319	-0.254	-0.202
tv	0.242	-0.064	-0.367	-0.405	-0.388	-0.097	-0.229	-0.298	-0.245	-0.151
t1	-0.304	-0.498	-0.515	-0.320	-0.318	-0.042	-0.312	-0.341	-0.259	-0.297
t7	0.256	-0.046	-0.346	-0.386	-0.370	-0.087	-0.212	-0.282	-0.230	-0.140
nj	0.352	0.636	0.820	0.736	0.728	0.385	0.644	0.671	0.604	0.555
n59	0.391	0.657	0.739	0.571	0.572	0.222	0.522	0.535	0.451	0.446
n35	0.427	0.702	0.854	0.751	0.745	0.394	0.669	0.683	0.616	0.568
s59	0.260	-0.015	-0.245	-0.230	-0.217	0.053	-0.089	-0.156	-0.095	-0.040
s14	0.209	0.035	-0.070	-0.001	0.005	0.178	0.060	<0.000	0.058	0.048
ai	0.288	0.580	0.780	0.708	0.699	0.357	0.606	0.638	0.571	0.517
ki	0.003	0.007	0.028	0.056	0.028	-0.080	-0.040	-0.058	-0.033	-0.146
kfa	0.294	0.421	0.627	0.733	0.719	0.579	0.632	0.629	0.641	0.525
eq	-0.052	-0.348	-0.581	-0.532	-0.515	-0.177	-0.397	-0.454	-0.388	-0.321

(b) des Austriebs in vier Jahren (1997 und 1999 von je 1 Aufnahmetermin, 2005 von 2 Terminen und 2006 von 5 Terminen).

	aus97	aus99	aus05a	aus05b	aus06a	aus06b	aus06c	aus06d	aus06e
gl	0.754	0.578	0.575	0.484	0.240	0.435	0.334	0.212	0.435
gb	0.001	-0.040	-0.182	-0.220	-0.361	-0.188	-0.233	-0.352	-0.179
hh	-0.007	0.190	0.371	0.446	0.699	0.514	0.585	0.618	0.491
tv10	-0.085	-0.214	-0.232	-0.261	-0.314	-0.353	-0.364	-0.263	-0.345
nv10	0.578	0.549	0.771	0.710	0.782	0.740	0.687	0.561	0.691
nn10	-0.197	-0.290	-0.314	-0.331	-0.336	-0.412	-0.406	-0.289	-0.405
tamp	0.751	0.553	0.623	0.522	0.361	0.434	0.345	0.294	0.423
tj	-0.327	-0.396	-0.419	-0.413	-0.404	-0.483	-0.463	-0.333	-0.473
tv	-0.112	-0.233	-0.250	-0.273	-0.319	-0.363	-0.370	-0.263	-0.354
t1	-0.698	-0.660	-0.720	-0.661	-0.572	-0.681	-0.615	-0.467	-0.665
t7	-0.116	-0.231	-0.239	-0.258	-0.296	-0.347	-0.351	-0.242	-0.339
nj	0.299	0.358	0.599	0.622	0.706	0.703	0.689	0.577	0.665
n59	0.476	0.491	0.685	0.651	0.716	0.709	0.669	0.531	0.667
n35	0.277	0.339	0.612	0.633	0.757	0.712	0.703	0.603	0.667
s59	-0.281	-0.361	-0.304	-0.288	-0.271	-0.353	-0.337	-0.212	-0.351
s14	-0.477	-0.472	-0.339	-0.283	-0.144	-0.303	-0.254	-0.122	-0.315
ai	0.287	0.352	0.570	0.591	0.671	0.675	0.662	0.546	0.639
ki	-0.296	-0.108	-0.061	0.025	0.258	0.045	0.145	0.283	0.049
kfa	-0.402	-0.271	0.050	0.180	0.402	0.262	0.331	0.381	0.229
eq	-0.330	-0.422	-0.515	-0.534	-0.559	-0.612	-0.604	-0.489	-0.597

(c) dem H/D-Verhältnis sowie der Herbstverfärbung von sechs Aufnahmetermen im Jahr 2005.

	hd12	hd13	hd15	ab05a	ab05b	ab05c	ab05d	ab05e	ab05f
gl	0.175	0.079	-0.730	0.155	0.274	0.197	0.108	0.044	-0.338
gb	0.178	0.352	-0.377	-0.501	-0.455	-0.288	-0.322	-0.111	0.076
hh	-0.226	-0.129	0.502	0.635	0.455	0.602	0.643	0.548	0.475
tv10	-0.002	-0.259	0.002	-0.089	0.026	-0.286	-0.291	-0.428	-0.531
nv10	-0.190	-0.128	-0.297	0.650	0.630	0.661	0.538	0.338	-0.149
nn10	-0.010	-0.241	0.142	-0.094	>0.001	-0.288	-0.283	-0.405	-0.455
tamp	0.088	-0.146	-0.535	0.424	0.566	0.313	0.210	-0.021	-0.586
tj	-0.056	-0.263	0.197	-0.182	-0.112	-0.371	-0.342	-0.432	-0.377
tv	-0.010	-0.264	0.026	-0.096	0.012	-0.294	-0.293	-0.425	-0.508
t1	-0.095	-0.166	0.460	-0.398	-0.408	-0.516	-0.433	-0.393	-0.042
t7	-0.024	-0.277	0.043	-0.074	0.027	-0.277	-0.274	-0.411	-0.496
nj	-0.330	-0.163	-0.226	0.432	0.306	0.498	0.459	0.382	0.225
n59	-0.183	-0.044	-0.279	0.514	0.454	0.590	0.497	0.384	0.058
n35	-0.379	-0.227	-0.163	0.509	0.380	0.543	0.495	0.374	0.175
s59	-0.187	-0.406	0.119	-0.093	-0.045	-0.315	-0.288	-0.429	-0.416
s14	-0.357	-0.482	0.322	-0.021	-0.056	-0.234	-0.190	-0.330	-0.224
ai	-0.293	-0.112	-0.214	0.397	0.273	0.482	0.444	0.391	0.257
ki	-0.069	-0.091	0.765	0.381	0.253	0.274	0.368	0.316	0.396
kfa	-0.667	-0.575	0.238	0.217	0.004	0.108	0.181	0.077	0.271
eq	0.058	-0.138	0.157	-0.308	-0.199	-0.460	-0.448	-0.496	-0.428

(d) der Herbstverfärbung von 6 Aufnahmeterminen im Jahr 2006 und von 5 Terminen im Jahr 2007. Gelb hervorgehoben sind jeweils signifikante Zusammenhänge ($\alpha = 0,05$).

	ab06a	ab06b	ab06c	ab06d	ab06e	ab06f	ab07a	ab07b	ab07c	ab07d	ab07e
gl	0.102	0.272	-0.045	0.027	-0.102	0.350	0.214	0.407	0.238	0.041	0.321
gb	0.133	0.101	0.055	0.273	0.379	0.588	0.464	0.583	0.594	0.237	0.273
hh	0.013	0.291	0.436	0.319	0.568	0.264	0.063	0.090	0.218	0.628	0.500
tv10	-0.146	-0.399	-0.449	-0.587	-0.934	-0.922	-0.558	-0.742	-0.869	-0.863	-0.812
nv10	0.127	0.518	0.384	0.281	0.366	0.515	0.283	0.431	0.333	0.503	0.634
nn10	-0.128	-0.403	-0.397	-0.546	-0.878	-0.955	-0.550	-0.767	-0.867	-0.834	-0.833
tamp	0.064	0.187	-0.119	-0.220	-0.535	-0.202	-0.106	-0.043	-0.282	-0.306	-0.031
tj	-0.191	-0.486	-0.438	-0.569	-0.833	-0.941	-0.592	-0.811	-0.868	-0.820	-0.856
tv	-0.157	-0.413	-0.452	-0.589	-0.924	-0.926	-0.570	-0.756	-0.872	-0.858	-0.816
t1	-0.214	-0.556	-0.352	-0.418	-0.499	-0.770	-0.499	-0.735	-0.661	-0.606	-0.783
t7	-0.164	-0.412	-0.445	-0.589	-0.913	-0.925	-0.579	-0.766	-0.877	-0.844	-0.807
nj	-0.077	0.352	0.314	0.318	0.720	0.843	0.256	0.489	0.558	0.776	0.819
n59	0.108	0.512	0.418	0.393	0.611	0.753	0.389	0.585	0.559	0.693	0.784
n35	-0.085	0.346	0.324	0.280	0.658	0.739	0.195	0.396	0.453	0.728	0.759
s59	-0.295	-0.516	-0.488	-0.644	-0.834	-0.892	-0.686	-0.868	-0.918	-0.788	-0.802
s14	-0.351	-0.502	-0.364	-0.545	-0.562	-0.752	-0.674	-0.857	-0.824	-0.557	-0.664
ai	-0.047	0.369	0.337	0.359	0.757	0.873	0.304	0.536	0.609	0.800	0.835
ki	-0.004	-0.011	0.200	0.059	0.084	-0.364	-0.209	-0.352	-0.233	0.109	-0.082
kfa	-0.495	-0.270	-0.090	-0.190	0.319	0.181	-0.421	-0.360	-0.156	0.316	0.175
eq	-0.099	-0.462	-0.424	-0.525	-0.866	-0.956	-0.491	-0.731	-0.817	-0.884	-0.913

Literatur

- Barzdajn W, Rzeznik Z (2002) Wstepne wyniki miedzynarodowego doswiadczenia proveniencyjnego z bukiem (*Fagus sylvatica* L.) serii 1993/95 w Lesnym Zakladzie Doswiadczalnym Siemianice. Sylwan 146(2):149-164
- Bohn U, Neuhäusl R (2003) Karte der natürlichen Vegetation Europas. Münster : BfN-Schriftenvertr im Landwirtschaftsverl, 655 p
- Bolte A, Czajkowski T (2006) Die Buche : eine Baumart mit Zukunft im östlichen Mitteleuropa? BfN-Skripten 185:130-137
- Burger H (1948) Einfluß der Herkunft des Samens auf die Eigenschaften forstlicher Holzgewächse : VI. Mitt: Die Buche. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw 25:287-326
- Ellenberg H (1996) Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen : in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart : Ulmer, 1059 p
- Gömöry D, Paule L (2011) Trade-off between height growth and spring flushing in common beech (*fagus sylvatica* L.). Ann For Sci 68:975-984
- Hauch (1909) Erblichkeit der Buche und Eiche. Centralbl gesamte Forstwes (8/9):333-348
- Hoffmann J (1961) Ergebnisse eines Anbauversuchs mit Buchen verschiedener Herkunft im Tharandter Wald. Forstwiss Centralbl 80(7-8):240-252
- Hoffmann J (1962) Die bisherigen Ergebnisse von Buchenprovenienzversuchen. Allg Forst Z 17(8):121-123
- Kleinschmit J, Svolba J (1996) Ergebnisse der Buchenherkunftsversuche von Krahl-Urbahn. AFZ Wald (14):780-782
- Knapp HD (2008) Buchenwälder als spezifisches Naturerbe Europas. BfN-Skripten 222:13-39
- Konnert M, Ziehe M, Tröber U, Maurer W, Janßen A, Sander T, Hussensdörfer E, Hertel H (2000) Genetische Variation der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Deutschland : gemeinsame Auswertung genetischer Inventuren über verschiedene Bundesländer. Forst Holz 55(13):403-408
- Krahl-Urban J (1958) Vorläufige Ergebnisse von Buchen-Provenienzversuchen. Allg Forst Jagdzeitg 129(11/12):242-251
- Kriebitzsch WU, Beck W, Schmitt U, Veste M (2008) Bedeutung trockener Sommer für Wachstumsfaktoren von verschiedenen Herkünften der Buche. AFZ Wald (5):246-248
- Liesebach H (2012) Genotypisierung mit nuklearen Mikrosatellitenmarkern : Möglichkeiten der Datenauswertung am Beispiel von Buchenpopulationen (*Fagus sylvatica* L.) aus einem Herkunftsversuch. Landbauforsch 62(4):221-236
- Liesebach M (2000) Genetic value and management of beech in mountainous regions in Germany. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kollataja w Krakowie 358:79-91
- Liesebach M (2012) Der Internationale Herkunftsversuch mit Rot-Buche von 1993/95 : Beschreibung der ausgewählten 6 Herkünfte und 2 Versuchsfelder. Landbauforsch 62(4):159-168
- Liesebach M, Degen B, Scholz F (1999) Zur genetischen Anpassungsfähigkeit der Rotbuche. Ber Landwirtschaft 77:128-133
- Liesebach M, Schüler S, Wolf H (2011) Klima-Wachstums-Beziehungen von Rotbuchen-Herkünften (*Fagus sylvatica* L.) im Vergleich. Mitt Forschungsanst Waldökologie Forstwirtschaft 69/11:79-91
- Malaise F (1964) Contribution à l'étude des hêtres d'Europe occidentales : note 4: Quelques observations phénologiques de hêtres en 1963. Bull Soc Bot Belg 97:85-97
- Moll E, Gröger J, Liesebach M, Rudolph PE, Stauber T, Ziller M (Hrsg.) (2004) Einführung in die Biometrie : 1-4. Ribbesbüttel : Saphir-Verl
- Müller J (2012) Untersuchung bodenphysikalischer, -chemischer und -hydrologischer Differenzierungen von ausgewählten Parzellen des Buchenprovenienzversuches „Schädtbek“ als Voraussetzung für die Bewertung des Wachstumsverhaltens. Landbauforsch 62(4):169-178
- Peuke AD, Schraml C, Hartung W, Rennenberg H (2002) Identification of drought-sensitive beech ecotypes by physiological parameters. New Phytol 154:373-387

- Rennenberg H, Seiler W, Matyssek R, Geßler A, Kreuzwieser J (2004) Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) - ein Waldbaum ohne Zukunft im südlichen Mitteleuropa? Allg Forst Jagdzeitg 175(10/11):210-244
- Robson TM, Sánchez-Gómez D, Gano FJ, Aranda I (2012) Variation in functional leaf traits among beech provenances during a Spanish summer reflects the differences in their origin. Tree Genomics Genomes 8(5):1111-1121
- Schmitt U, Seo J-W, Kriebitzsch W-U, Schüler S, Potsch T (2012) **Holzbildungsdynamik von Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.) verschiedener Herkünfte.** Landbauforsch 62(4):237-246
- Schüler S, Liesebach M, Wühlisch G von (2012) Genetische Variation und Plastizität des Blattaustriebs von Herkünften der Rot-Buche. Landbauforsch 62(4):211-220
- Sindelar J (1988) Ergebnisse einiger phänologischer Untersuchungen in den Provenienzflächen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). In: Korpel S, Paule L (eds) 3. IUFRO-Buchensymposium. Zvolen, pp 47-56
- Teissier du Cros E, Thiebaut B (1988) Variability in beech : budding, height growth and tree form. Ann Sci For 45(4):383-398
- Wühlisch G von, Duval H, Jacques D, Muhs H-J (1995) Stability of differences in flushing between beech provenances in different years and at different sites. In: Madsen SF (ed) Genetics and silviculture of beech : proceeding from the 5th Beech Symposium of the IUFRO Project Group P1.10-00, 19-24 September 1994, Mogenstrup, Denmark. Kobenhavn : Miljø- og Energiministeriet, pp 83-89
- Wühlisch G von, Liesebach M, Muhs H-J, Stephan R (1998) A network of international beech provenance trials. In: Turok J, Kremer A, de Vries S (eds) First EUFORGEN Meeting on Social Broadleaves : 23-25 October 1997, Bordeaux, France. Rome : IPGRI, 164-172
- Wühlisch G von, Hansen JK, Mertens P, Liesebach M, Meierjohann E, Muhs H-J, Teissier du Cros E, Vries S de (2008) Variation among *Fagus sylvatica* and *Fagus orientalis* provenances in young international field trials. In: Programs & abstracts : the 8th IUFRO International Beech Symposium organized by IUFRO Working Party 1.01.07 " Ecology and silviculture of beech " ; Nanae, Hokaido, Japan ; 8-13 September 2008. Vienna : IUFPRO, pp 4-6