Beiträge von Forstpflanzenzüchtung und Forstgenetik für den Wald von Morgen

7. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung vom 12. bis 14. September 2022 in Ahrensburg

Tagungsband

Mirko Liesebach (ed.)

Thünen Report 105

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliography; detailed bibliographic data is available on the Internet at www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter www.thuenen.de

Volumes already published in this series are available on the Internet at www.thuenen.de

Zitationsvorschlag – *Suggested source citation:*
Liesebach M (ed.) (2023) Beiträge von Forstpflanzenzüchtung und Forstgenetik für den Wald von Morgen : 7. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung vom 12. bis 14. September 2022 in Ahrensburg : Tagungsband. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 318 p, Thünen Rep 105, DOI:10.3220/REP1681451577000

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are responsible for the content of their publications.

THÜNEN

Thünen Report 105

Herausgeber/Redaktionsanschrift – Editor/address

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-report@thuenen.de
www.thuenen.de

ISSN 2196-2324
ISBN 978-3-86576-265-8
DOI:10.3220/REP1681451577000
urn:nbn:de:gbv:253-202304-dn066221-6

Beiträge von Forstpflanzenzüchtung und Forstgenetik für den Wald von Morgen

7. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung vom 12. bis 14. September 2022 in Ahrensburg

Tagungsband

Mirko Liesebach (ed.)

Thünen Report 105

Mirko Liesebach (ed.)
Thünen-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstr. 2
22927 Großhansdorf
Tel.: +49 4102 696156
E-Mail: mirko.liesebach@thuenen.de

Thünen Report 105

Braunschweig/Germany, April 2023

Ergebnisse aus dem Internationalen Buchenherkunftsversuch 1996/98 von den Versuchsflächen in Deutschland

MIRKO LIESEBACH, KATHARINA J. LIEPE, MUHIDIN ŠEHO, RALF KÄTZEL, FRANK BECKER, SONJA LÖFFLER

Zusammenfassung

Die Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.) ist eine der wichtigsten Laubbaumarten in Mitteleuropa. Mit Ihrem großen natürlichen Verbreitungsgebiet wächst sie unter verschiedenen Standortbedingungen und hat sich diesen angepasst. In den letzten Jahren kam es wiederholt zu Trockenschäden und damit verbunden zu gravierenden Wachstums- und Vitalitätseinbußen.

Vielerorts gerieten die örtlichen Populationen so unter Stress, dass es zu Absterbeerscheinungen kam. Daher ist zu überlegen, ob die Populationen durch die Pflanzung mit einer dürretoleranteren Herkunft angereichert oder ersetzt werden sollten. Die durch den Klimawandel bedingten Änderungen laufen häufig so schnell ab, dass sich die vorhandenen Populationen durch natürliche Prozesse nicht anpassen können. Maßnahmen wie *„assisted gene flow“* oder *„assisted migration“* stellen eine Option dar dies zu unterstützen. Internationale Herkunftsversuche liefern hierfür wichtige Erkenntnisse.

Im folgenden Beitrag werden Ergebnisse von drei Untersuchungen vorgestellt, die auf den deutschen Flächen des Internationalen Buchenherkunftsversuchs 1996/98 erfolgt sind: (1) Wachstumsanalysen auf 6 Flächen in Nord-, West und Ostdeutschland, (2) Wachstumsanalysen in Süddeutschland und (3) physiologische Untersuchungen auf einer Fläche im Fläming an 9 Herkünften.

Abstract

Results of the International Beech Provenance Trial 1996/98 from the sites in Germany

European beech (*Fagus sylvatica* L.) is one of the most important deciduous tree species in Central Europe. Across its large natural distribution, it grows under different environmental conditions to which populations are adapted. In recent years, drought damage has repeatedly occurred, resulting in serious losses of tree growth and vitality.

In many places, the local populations came under such stress that dieback occurred. Therefore, it should be considered to enrich or even replace populations by planting a more drought-tolerant provenance. Climate change is occurring so rapidly that existing populations cannot adapt through natural processes. Measures such as "assisted gene flow" or "assisted migration" appear to be a suitable option. International provenance experiments provide important results to develop management prescriptions.

This article presents results of three investigations carried out on German sites of the International Beech Provenance Trial 1996/98: (1) growth analyses on 6 sites in northern, western and eastern Germany, (2) growth analyses in southern Germany, and (3) physiological studies with 9 provenances at one site in the Fläming.

1 Einleitung

Die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) ist eine wichtige Waldbaumart in West- und Mitteleuropa und bedeckt etwa 12 Millionen ha Waldfläche. Das natürliche Verbreitungsgebiet ist in Abbildung 1 dargestellt. Es ist überraschend, dass es zu der häufigsten Laubbaumart Mitteleuropas bis in die 1980er Jahre nur wenige Herkunftsversuche gab, obwohl das weiträumige natürliche Verbreitungsgebiet große standörtliche Unterschiede (hinsichtlich Klima,

Höhenlage, Exposition, Grundgestein, Bodenart usw.) aufweist. Ein wesentlicher Grund ist, dass Buchenholz einen verhältnismäßig geringen wirtschaftlichen Wert besaß (KRAHL-URBAN 1958; HOFFMANN 1961).

Erst mit dem Aufkommen der Furnierindustrie und der Verwendung der Buche als Faserholz nahm ihre wirtschaftliche Bedeutung zu. Trotz einer zunehmenden Bedeutung wurden noch in der Mitte des letzten Jahrhunderts vor allem ertragsschwächere Buchenwälder abgeholzt und mit Nadelbäumen, vor allem Fichten, aufgeforstet, da die Umtriebszeiten kürzer sind und das Holz früher Geld einbringt.

Seit mehreren Jahrzehnten ist die Buche nun nicht nur aus wirtschaftlichen, sondern auch aus ökologischen Gründen von Interesse. Sie ist eine waldbaulich sehr wertvolle Baumart mit vielen positiven Eigenschaften, die zur Stabilisierung der Waldökosysteme beitragen. Aufgrund von Veränderungen in der Waldbewirtschaftung nimmt ihr Flächenanteil zu.

Der Klimawandel und insbesondere die zunehmende Trockenheit und Hitze der Jahre 2018-2022 bereiten auch der Buche regional Probleme, was Vitalitätseinschränkungen bis hin zum gruppenweisen Absterben von Altbuchen führte. Vor diesem Hintergrund können Herkunftsversuche Informationen zum Anpassungs- und Ertragspotenzial der Baumart liefern.

2 Herkunftsversuche mit Rot-Buche – Grundlage für die Untersuchung intra-spezifischer Variation

2.1 Herkunftsversuche vom Beginn bis in die 1980er Jahre

Bereits im Jahr 1878 legte KIENITZ (1879) im Mündener Botanischen Garten (Niedersachsen) den ersten Aussaatversuch mit 107 Buchenherkünften an, der in den darauffolgenden Jahren jedoch nicht weitergeführt wurde (HOFFMANN 1962). Es folgte ein Herkunftsversuch mit 3 Herkünften an einem Standort in Dänemark (HAUCH 1915). Im Tharandter Wald wurde von MÜNCH im Jahre 1927 eine Versuchsfläche mit 2-jährigen Pflanzen von 8 Buchenherkünften aus Mitteleuropa angelegt (MÜNCH 1948) – der älteste dokumentierte Buchenherkunftsversuch in Deutschland. Ergebnisse dieses Versuchs wurden u. a. von HOFFMANN (1961, 1962) sowie THOMASIUS und GÄRTNER (1991) veröffentlicht.

Tabelle 1: In den 1950er bis Mitte der 1980er angelegte Herkunftsversuche (* ausschließlich nationale Herkünfte).

Anlagejahr	Land	Flächen	Herkünfte	Quelle
1951-59	Deutschland	19	133*	KRAHL-URBAN 1958
1956-57	Dänemark	6	27*	MADSEN 1985
1963	Dänemark	1	9	LARSEN 1985
1964	Polen	6	7*	RZEZNIK 1988
1974	Italien	1	5*	BORGHETTI und GIANNINI 1982
1976	Polen	2	20	RZEZNIK 1988
1977-79	Frankreich	5	11-30*	TEISSIER DU CROS 1993
1978	Deutschland	6	16	SITTLER 1981
1980	Frankreich	2	6*	TEISSIER DU CROS 1993
1980-84	Frankreich	7	22-49	TEISSIER DU CROS 1993
1985	Tschechoslowakei	8	20	SINDELAR und STRNADY 1988

In den 1950er bis 1980er Jahren wurden weitere Herkunftsversuche als Serien bzw. Einzelflächen in Dänemark, Polen, Frankreich und der Tschechoslowakei überwiegend mit heimischen Herkünften der Rot-Buche angelegt

(Tabelle 1). Einige der Flächen, so die von KRAHL-URBAN (1958) in Grafrath (Bayern) und im Bramwald (Niedersachsen) angelegte Versuche, wurden wegen Frostschäden und Wildverbiss bzw. wegen starken Schäden durch Scher- und Erdmäuse kurz nach der Anlage wieder aufgegeben. Ergebnisse von den Versuchen der 1950er bis 1980er Jahre sind in MUHS und VON WÜHLISCH 1992 zusammengefasst.

Die Angaben zu den Herkünften variieren in den Veröffentlichungen, da zum einen nicht immer zwischen eingesammelten und auf Versuchsflächen ausgebrachten Absaaten und zum andern nicht immer zwischen Baumschul- und Feldversuchen unterschieden wurde. Nicht aufgeführt sind Versuche, bei denen aus den Quellen nicht hervorgeht, ob es sich um Bestandes- (Herkünfte) oder Einzelbaumabsaaten handelt.

2.2 Internationale Serien von Herkunftsversuchen der 1980er Jahre

Zwischenzeitlich wuchs das Interesse an Wiederaufforstungen von Buchenwäldern und an Erstaufforstungen von landwirtschaftlich stillgelegten Flächen. Aus wissenschaftlicher Sicht bestand die Notwendigkeit einer Bewertung der genetischen Ressourcen der Buche.

In den 1980er Jahren wurden drei internationale Serien 1983/1986 (Aussaat-/Anlagejahr), 1984/1987 und 1985/1988 angelegt (VON WÜHLISCH et al. 1998; LIESEBACH 2015). Sie umfassen insgesamt 15 Flächen (Tabelle 2) mit einer Gesamtzahl von 187 Herkünften. Aufgrund der damaligen politischen Situation ist die Stichprobe der einbezogenen Herkünfte nicht repräsentativ für das Verbreitungsgebiet der Rot-Buche. Auch die Versuchsstandorte repräsentieren nicht die Bandbreite der von der Buche besiedelten Standorte. In der Serie 1983/86 sind auch Herkünfte der Orientalischen Buche (*Fagus orientalis*) aus der Nordtürkei enthalten.

Tabelle 2: Flächen der internationalen Serien von Herkunftsversuchen mit Rot-Buche der 1980er Jahre.

Serie	Land	Flächen	Herkünfte
1983/86	Dänemark	1	49
	Deutschland	2	48 bzw. 54
1984/87	Deutschland	3	28-48
	Frankreich	1	24
	Niederlande	1	36
1985/88	Belgien	1	73
	Deutschland	4	31-69
	Frankreich	1	58
	Niederlande	1	79

2.3 Internationale Serien von Herkunftsversuchen der 1990er Jahre

Anfang der 1990er Jahre wurde die Situation der politischen Entspannung in Europa genutzt, um eine weitere Versuchsreihe zu initiieren, die den östlichen Teil des Verbreitungsgebiets der Buche besser repräsentieren sollte. Es erfolgte eine weitere vom Thünen-Institut für Forstgenetik (damals noch Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft) koordinierte Saatguteinsammlung.

Das im Winter zentral in Großhansdorf stratifizierte Saatgut wurde im Frühjahr 1993 ausgesät. Im Frühjahr 1995 wurden die 2-jährigen Pflanzen an die Partnerinstitutionen im In- und Ausland zur Anlage der Flächen verschickt. Insgesamt wurden 23 Flächen in 17 Ländern mit überwiegend 49 (11 Flächen) bzw. 100 Herkünften (5 Flächen) Herkünften etabliert (Tabelle 3). Die restlichen 7 Flächen hatten zwischen 26 und 48 Herkünfte. Das Versuchslayout wurde im Thünen-Institut für alle Standorte entworfen und wurde weitestgehend einheitlich umgesetzt. Einige Institutionen haben zusätzlich noch nationale Herkünfte auf ihren Flächen in den Versuch integriert.

Durch die unterschiedlichen Saatgutqualitäten und das im Laufe der Anzucht steigende Interesse an der Anlage weiterer Flächen konnte eine mehr oder weniger einheitliche Herkunftsverteilung auf die Flächen nicht umgesetzt werden. Insgesamt sind 128 Herkünfte auf den Flächen der Serie 1993/95 im Vergleich, davon stehen 15 Herkünfte auf allen Flächen. Ein parallel zur Anzucht angelegter Baumschulversuch hatte 158 Herkünfte.

In der Serie 1993/95 fehlten Herkünfte aus dem südöstlichen Teil des Verbreitungsgebiets nahezu vollständig, da die Buche dort nicht fruktifiziert hatte. Es wurde ein weiterer Buchenversuch geplant, bei dem der Schwerpunkt auf Herkünften aus dem Südosten liegt. Zusätzlich sollte eine begrenzte Anzahl an Herkünften aus dem restlichen Verbreitungsgebiet, die bereits in der Serie 1993/95 enthalten waren, aufgenommen werden.

Wie bei der Serie 1993/95 erfolgte auch für die Serie 1996/98 die Stratifizierung und Anzucht der 2-jährigen Pflanzen am Thünen-Institut. Im kalten, aber schneearmen Winter (1996/97) gingen viele der verschulten Pflanzen verloren. Anders als bei der vorangegangenen Serie wurde die Bereitschaft zur Anlage von Flächen mit Forderungen verbunden. So wollten zahlreiche Partnerinstitutionen insb. Herkünfte aus ihrer geografischen Region und nicht mehr aus dem gesamten Verbreitungsgebiet. Als der Versand der Pflanzen anstand, meldeten mehrere Partnerinstitutionen Interesse an der Anlage weiterer Flächen an. Von Seiten der Institutsleitung sollten diese Flächen ebenfalls berücksichtigt werden. Im Frühjahr 1998 wurde das Gros der Pflanzen an die Partnerinstitute zur Anlage der Flächen verschickt. Einige Flächen wurden erst ein oder zwei Jahre später angelegt. Das Versuchsdesign wurde wie bei der vorangegangenen Serie vom Thünen-Institut erstellt. Insgesamt umfasst die Serie 1996/98 26 Flächen in 17 Ländern mit insgesamt 61 Herkünften (Tabelle 3), von denen 2 auf allen Flächen wachsen. Die Folgen des strengen Winters 1996/97 und die Aufgabe, möglichst viele Flächen gleichzeitig anzulegen, machten die Pläne einer Serie mit auf allen Flächen einheitlich vertretenen Herkünften zunichte.

Tabelle 3: Internationale Serien von Herkunftsversuchen mit Rot-Buche der 1990er Jahre.

Serie	Länder	Flächen	Herkünfte
1993/95	17	23	26-100
1998/98	17	26	13-45

2.4 Internationale Serie 2004/07

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass aufgrund des Mangels an Herkünften aus Südosteuropa zwischen 2001 und 2003 weitere 26 Saatgutpartien eingesammelt und im Frühjahr 2004 in der Baumschule des Instituts in Großhansdorf ausgesät wurden. Von der Ernte 2004 konnte im Herbst zusätzlich Saatgut aus 12 Beständen bezogen und im Frühjahr 2005 ausgesät werden. Im Frühjahr 2007 wurden mit 3 bzw. 2 Jahre alten Pflanzen die Versuchsflächen einer sechsten internationalen Serie 2004/07 angelegt. Diese Versuchsserie umfasst 10 Flächen in 5 Ländern (in Südosteuropa und Deutschland), in denen insgesamt 38 Herkünfte getestet werden.

2.5 Experimentelles Design der Feldversuche der internationalen Serien

Die Versuchsflächen der internationalen Serien sind als randomisierte Blockanlagen mit drei Wiederholungen angelegt. Die Pflanzung erfolgte in Reihen mit einem Abstand von 2 m x 0,5 m (Serien 1983/86, 1984/87 und 1985/88) bzw. 2 m x 1 m (Serien 1993/95, 1996/98 und 2004/07). Jede Parzelle wurde mit 100 Pflanzen (Serien 1983/86, 1984/87 und 1985/88) bzw. 50 Pflanzen (Serien 1993/95, 1996/98 und 2004/07) angelegt, was eine Parzellengröße von 10 m x 10 m ergibt (LIESEBACH et al. 2017). Ein Versuch mit 33 Herkünften nimmt somit etwa 1 ha ein. Die Parzellen werden als groß genug angesehen, um die Entwicklung der Bäume 40 bis 60 Jahre lang beobachten und auswerten zu können. In der Regel wurden zwei Reihen mit Buche als Rand um die Flächen gepflanzt.

3 Die deutschen Versuchsflächen der Serie 1996/98

In Deutschland wurden acht Flächen der Serie 1996/98 angelegt (Abb. 1). Von denen sechs (20-01, 20-02, 20-07, 20-11, 20-25, 20-28) vom Thünen-Institut und je eine von der FVA Freiburg (20-22) bzw. vom AWG in Teisendorf (20-23) betreut werden.

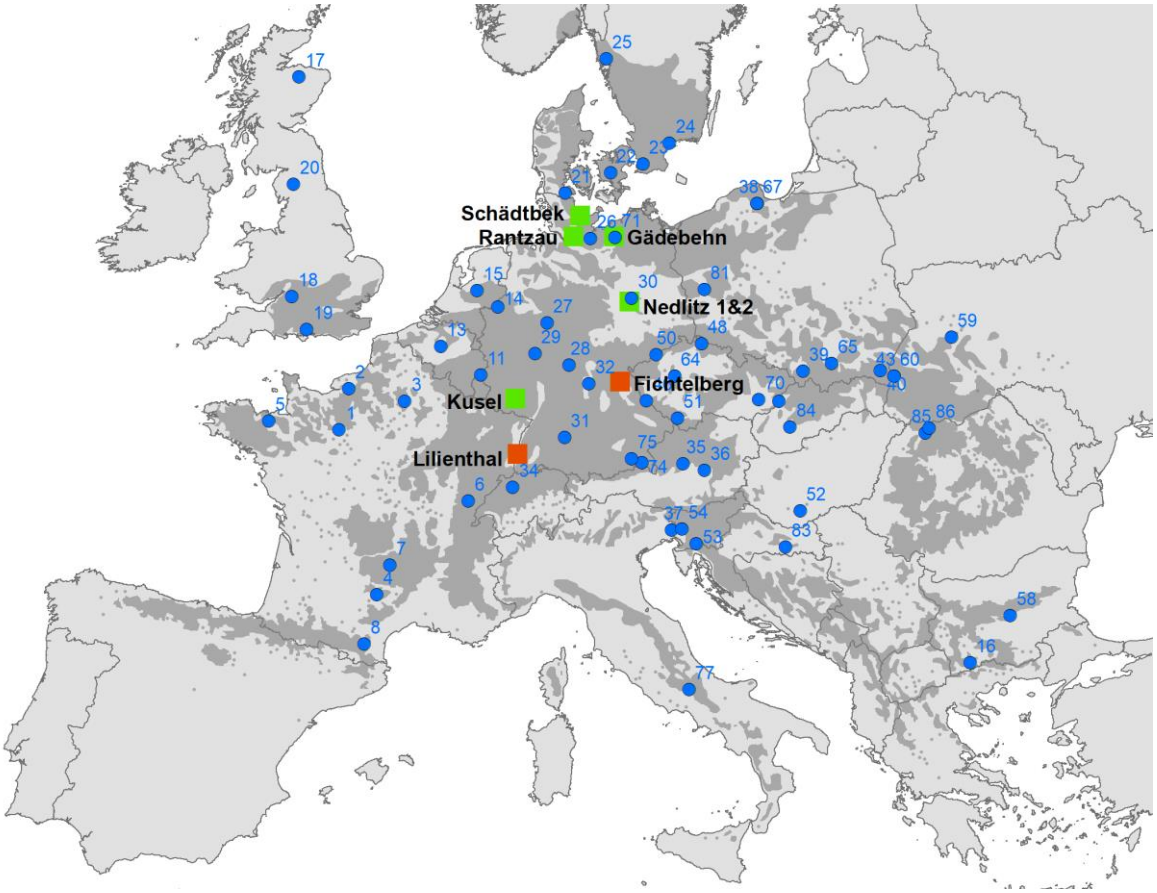


Abb. 1: Geographische Lage der deutschen Flächen (Quadrate) und darauf gepflanzter Herkünfte (Punkte) der Serie 1996/98 vor dem Hintergrund des natürlichen Verbreitungsgebiets der Rotbuche (EUFORGEN 2009). In grün gekennzeichnete Flächen werden in Kapitel 3 ausgewertet, in rot gekennzeichnete Flächen in Kapitel 4. Die physiologischen Untersuchungen in Kapitel 5 wurden auf der Fläche Nedlitz 1 durchgeführt.

Drei der Flächen (20-01, 20-02 und 20-11) sind, wie das Gros der Flächen der Serie, mit 2-jährigen Pflanzen angelegt worden (Tabelle 4). Zwei Flächen (20-07 und 20-25) waren erst ein Jahr später für die Anlage vorbereitet, so dass die Pflanzen ein Jahr länger in der Baumschule des Instituts aufgeschult waren. Die Pflanzen für die Fläche in Baden-Württemberg (20-22) wurden 2-jährig übergeben und von der FVA in Weichwand-Container verschult, bis sie 3-jährig auf die Fläche kamen. Für die Fläche in Bayern (20-23) wurden die Pflanzen 2-jährig abgegeben und in der Baumschule Bindlach der Bayerischen Staatsforsten aufgeschult. Nach zwei weiteren Jahren wurde die Fläche mit 4-jährigen Pflanzen angelegt.

Auf drei Flächen (20-02, 20-11, 20-25) wurde ein lockerer Schirm der Vorbestandsbaumart belassen. Der zum Zeitpunkt der letzten Aufnahmen im Alter von 25 Jahren noch vollständig vorhanden war. Für die Fläche 20-28 wurde eine Lärchen-Nachkommenschaftsprüfung als Schirm genutzt. Für die Pflanzung der mittlerweile 6-jährigen Buchen wurden mit dem Pflanzfuchs Löcher gebohrt. Aufgrund der Lage der Fläche und der Größe der Pflanzen wurde die Fläche nicht gezäunt.

Auf den Flächen Kusel (20-07) und Fichtenberg (20-23) sind 4 bzw. 8 zusätzliche Herkünfte integriert. In Tabelle 5 ist die Verteilung der Herkünfte der Versuchseinsammlung auf die Flächen zusammengestellt.

Tabelle 4: Zusammenstellung und Beschreibung der Flächen in Deutschland der Serie 1996/98.

Name	**Schädbek**	**Gädebehn**	**Kusel**	**Nedlitz 1**	**Nedlitz 2**	**Rantzau**	**Liliental**	**Fichtelberg**
Nr.	**20-01**	**20-02**	**20-07**	**20-11**	**20-25**	**20-28**	**20-22**	**20-23**
Land	SH	MV	RP	ST	ST	SH	BW	BY
Geo. Br.	54°18'N	53°40'N	49°32'N	52°03'N	52°03N	53°46'N	48°04'N	49°56'N
Geo. Lg.	10°18'E	11°42'E	7°32'E	12°20'E	12°21'E	9°59'E	7°40'E	11°48'E
Höhe ü.NN	40	40	410	135	130	40	380	785
Schirm	-	Strobe	-	Kiefer	Kiefer	Lärche	-	-
Alter	2-j.	2-j.	3-j.	2-j.	3-j.	6-j.	3-j.	4-j.
Pflanzung	3/98	4/98	2/99	4/98	3/99	4/02	2/99	11/99
Verband	2 x 1 m	2 x 1 m	2 x 1 m	2 x 1 m	2 x 1 m	2 x 2 m	1,5 x 1,5	2 x 1 m
Nährst.	1	2	1	2	2	2	3	2
Wasser	1	2	1	3	3	1	3	1
Pflanzen	3x50	3x50	3x50	3x50	3x50	3x25	3x25	3x50
Herkünfte	33 + (12)	17	21	33	13	11 + (7)	20	21 + (1)
Zusätzl. Herkünfte			4					8

In den folgenden Abschnitten werden Ergebnisse von drei Untersuchungen vorgestellt, die auf den deutschen Flächen der Serie 1996/98 erfolgt sind:

- Wachstumsanalysen auf 6 Flächen in Nord-, West und Ostdeutschland (Flächen-Nr. 20-01, 20-02, 20-07, 20-11, 20-25, 20-28) (Bearbeitung: Thünen-Institut)
- Wachstumsanalysen in Süddeutschland (Flächen-Nr. 20-22, 20-23) (Bearbeitung: AWG)
- Physiologische Untersuchungen auf einer Fläche im Fläming an 9 Herkünften, die in Tabelle 4 mit * gekennzeichnet sind (Fläche-Nr. 20-11) (Bearbeitung: LFE)

Tabelle 5: Verteilung der Herkünfte auf die Flächen in Deutschland der Serie 1996/98 (eingeklammerte Herkünfte nicht in allen Wiederholungen ausgepflanzt; *= Herkünfte für physiologische Untersuchungen verwendet). Detailinformationen zu den Herkünften sind in ROBSON et al. (2018) publiziert.

Hk-Nr.	SbNr.	Land	Herkunft	01 SH	02 MV	07 RP	11 ST	25 ST2	28 SH	22 BW	23 BY
1	9235	FR	Perche	X		X	X				X
2	9236	FR	Bordure Man.	X		X	X			X	
3	9237	FR	Picardie	(X)		X	X				
4	9239	FR	Sud Massif	(X)		X				X	
5	9240	FR	Bretagne			X		X	X		
6	9241	FR	Plateaux du Jura	X	X	X	X*	X		X	X
7	9242	FR	15-Ouest Massif						(X)		
8	9243	FR	Pyrenees Or.	X	X		X*				
13	9191	BE	Soignes	X	X		X	X	X	X	X
11	9194	LU	Heinerscheid	X			X				
14	9170	NL	Aarnink	X	X		X		(X)	X	X
15	9171	NL	Elspeet	(X)					X		
17	9172	GB	Westfield (2002)	X	X		X	X		X	X
18	9192	GB	BE 95 (4003)	X							
19	9193	GB	BE 95 (4010)			X		X			
20	9207	GB	BE 95 (3001)	(X)		X					
21	9184	DK	Grasten, F.413	X	X		X			X	
22	9185	DK	Alsted, F.603	X							X
23	9183	SE	Torup	X	X	X	X	X	X	X	X
24	9186	SE	Trolle Ljungby	(X)							
25	9187	SE	Gullmarsberg	X		X		X			
26	9181	DE	Farchau (SH)	X	X	X	X*			X	
27	9209	DE	Graf v. Westf. (NW)	(X)			X		(X)		
28	9233	DE	Schluechtern (HE)	X					(X)		
29	9234	DE	Dillenburg (HE)				X				
30	9208	DE	Belzig (ST)	(X)		X	X*	X			
31	9182	DE	Urach (BW)	X	X	X	X	X	X	X	X
32	9245	DE	Ebrach (BY)	(X)							X
74	9247	DE	Marquarts. (BY)						(X)		
75	9246	DE	Rosenheim (BY)						X		
71	9313	DE	Sternberg (MV)	X	X						
67	9215	PL	Bilowo 115,116	X	X		X			X	X
39	9217	PL	Jaworze	X			X				
40	9221	PL	Tarnawa	(X)			X				X
43	9226	PL	Jawornik, 92b			X	X*				
60	9222	PL	Sekowiec, 160b	X	X					X	
38	9214	PL	Bilowo, 124a,123c	X		X		X	X		
65	9219	PL	Koino, 105f			X		X			X
81	9216	PL	Swiebodzin 30AB						(X)		
46	9180	CZ	Domazlice-Vyhl.	X			X				X
48	9200	CZ	Jablonec N.N.	X	X		X*			X	
64	9201	CZ	Nizbor	X	X		X			X	X
49	9202	CZ	Brumov-Sidonie	X		X	X	X			
50	9204	CZ	Janov-Nacetin	(X)							
51	9212	CZ	Horni Plana-Ce.	X	X	X	X	X		X	X
70	9197	CZ	Buchlovice	(X)			X				X
34	9112	CH	Oberwil	X			X			X	
35	9205	AT	Hinterstoder	X	X		X			X	X
36	9206	AT	Eisenerz	X		X	X*				X
53	9190	SL	Postojna Masun.	X	X		X			X	X
54	9188	SL	Idrija-II/2, 14				X				X
83	9071	CR	Pozega						X		
37	9114	IT	Val di Sella	X		X					
77	9120	IT	Val Fondillo						X		
84	9153	SK	Topolcianky						X		
52	9083	HU	Magyaregregy	X						X	
59	9077	UA	Pidkamin	X			X*				
85	9229	RO	Maramures-Baia						(X)		
86	9230	RO	Stanga Iziei						X		
16	9092	BG	Gotze Delchev	(X)			X*			X	(X)
57	9196	BG	Gramaticovo								X
58	9101	BG	Maglij			X					

4 Wachstumsanalysen auf 6 Flächen in Nord-, West und Ostdeutschland

Das Versuchsdesign sah vor, dass auf alle Flächen der Serie 1996/1998 in regelmäßigen Zeit-abständen Wuchsmerkmale erhoben werden. Nach Pflanzung, Grundmessung und Anwuchskontrolle ein Jahr nach Pflanzung der jeweiligen Fläche sollte im Pflanzenalter von 7 (2002) und 10 Jahren (2005) die Höhe, anschließend im Alter 15 (2010) und 20 (2015) der Durchmesser (BHD) gemessen werden. Im Alter 20 wurden darüber hinaus Stammform, Wipfelschäftigkeit und Zwiesel bonitiert. Wie in Abbildung 2 ersichtlich, musste auf den sechs Flächen des Thünen Instituts in Ausnahmefällen um ein Jahr von den gesetzten Intervallen abgewichen werden.

Die folgenden, auf Einzelflächen bezogenen Ergebnisse illustrieren Überleben und Höhe im Alter 10 sowie den Durchmesser im Alter 20 (mit Ausnahme von Nedlitz). Die als randomisierte Blockanlage angelegten Versuche wurden varianzanalytisch ausgewertet, wobei die auf Individualebene erfassten Werte zunächst auf Parzellenebene gemittelt wurden. Für die Höhe wurden dabei alle verbleibenden Individuen berücksichtigt, beim Durchmesser flossen nur die 10 stärksten Bäume je Parzelle in den Mittelwert ein. Der Versuch ist für eine Beobachtungszeit von 60 Jahren angelegt. Nach der Ertragstafel von SCHOBER 1971, würden in diesem Alter noch etwa 360 Bäume/ha (I. Ekl., mäßige Durchforstung) bis 2.000 Bäume/ha (III. Ekl., mäßige Dfg.) stehen, das entspricht 10 bzw. 20 Bäumen/Parzelle. Vor diesem Hintergrund wurden nur die stärksten Individuen in das Parzellenmittel einbezogen (vgl. LIESEBACH et al. 2011), unterständige Individuen fallen noch durch natürliche Selektion aus. Aufgrund der hohen Schattentoleranz der Buche sind diese bisher am Leben geblieben, verzeichneten aber teilweise keinen Zuwachs zwischen den Messungen von 2010 und 2015.

Wiederholungseffekte waren in der Regel signifikant, entsprechend wurden die adjustierten Mittelwerte der Herkünfte aus dem Model extrahiert. Grafisch dargestellt werden im Folgenden das Überleben (%) und die Wuchsleistung (als %-Abweichung vom Flächenmittel, wobei das Flächenmittel jeweils auf 100% gesetzt ist) einzelner Herkünfte mit Bezug auf ihren geographischen Einsammlungsort. Die großräumige Struktur genetischer Anpassung wird hierbei durch Interpolation verdeutlicht.

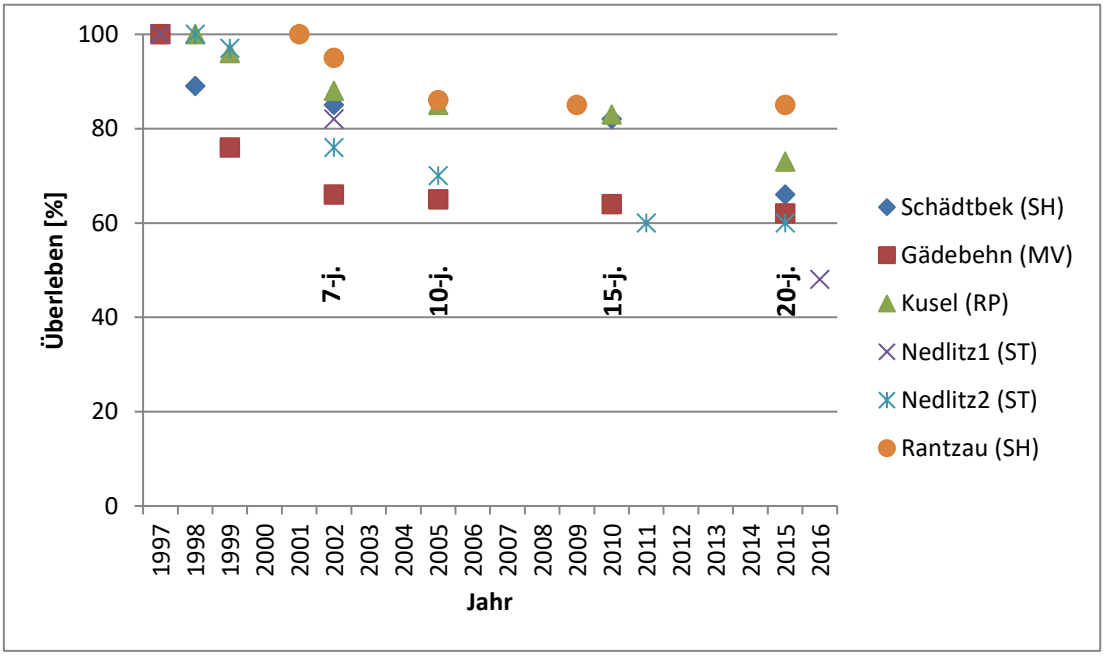


Abb. 2: Überleben [%] auf den 6 Flächen des Thünen Instituts nach Erhebungsjahr.

4.1 Allgemeine Betrachtungen auf Flächenebene

Der Anwuchs ist flächenübergreifend positiv zu beurteilen. Nach anfänglicher Differenzierung bis zum Alter 10 sind die Stammzahlen relativ konstant (Abb. 2). Zu diesem Zeitpunkt lag das **Überleben** in Schädtbek, Rantzau und Kusel bei noch bei ca. 85 %, in Gädebehn bei 65 % und auf der Fläche Nedlitz 2 bei 70 %. Erst im Alter von 20 wird die weitere Differenzierung deutlich, Rantzau steht weiterhin mit 85 % sehr gut da, Kusel sinkt auf 72 %, Nedlitz 2, Gädebehn und Schädtbek liegen bei 60 bzw. 66 %. Die Fläche Nedlitz 1 konnte erst 2016 wieder erfolgreich rekonstruiert werden, weshalb die Stammzahlentwicklung auf dieser Fläche hier nicht kontinuierlich abgebildet werden kann. Mit 48 % hat sie die geringste Überlebensrate.

Die relative Häufigkeit der Boniturstufen für **Stammform** (Abb. 3) und **Zwiesel** (Abb. 4) zeigt deutliche Unterschiede zwischen den sechs Versuchsflächen. Aufgrund der großen Variation in der Prüfgliedausstattung, den unterschiedlichen waldbaulichen Voraussetzungen (mit bzw. ohne Schirm), und unterschiedlicher Personen bei der Bonitierung können hier jedoch nur Tendenzen abgeleitet werden. Zur Vereinfachung der Betrachtung wurden die Stammformnoten 1 und 2 als waldbaulich akzeptable Stammform zusammengefasst.

Die Fläche Schädtbek wies den geringsten Anteil guter Stammformen auf, gefolgt von Nedlitz 2, Rantzau und Kusel. Den höchsten Anteil akzeptabler Stammformen wies mit ca. 50 % die Fläche Nedlitz 1 auf. In Gädebehn wurden ebenfalls über 40 % positive Stammformnoten vergeben. Diese Fläche besticht durch einen sehr geringen Zwieselanteil. Auch die Fläche in Rantzau weißt nur sehr wenige Zwiesel auf. Die beiden als Freiflächen begründeten Flächen Schädtbek und Kusel weisen den größten Anteil an Tiefzwieseln auf. Mögliche Ursache dafür können Spätfrostschäden sein.

Auffällig sind die Unterschiede zwischen den direkt benachbart liegenden Flächen Nedlitz 1 und Nedlitz 2, wobei auf Nedlitz 1 bessere Stammformqualitäten und weniger Zwiesel bonitiert wurden. Erklären lässt sich dies mit der Lage der Flächen im Gelände, wobei Nedlitz 1 auf einer Kuppe sowie einem leichten Hang liegt, wohingegen die benachbarte Nedlitz 2 teilweise in einer Senke liegt. In diese fließt die auftretende Kaltluft ab, welche explizit in der Senke vermehrt zu Frostschäden und damit zur Zwieselbildung geführt hat.

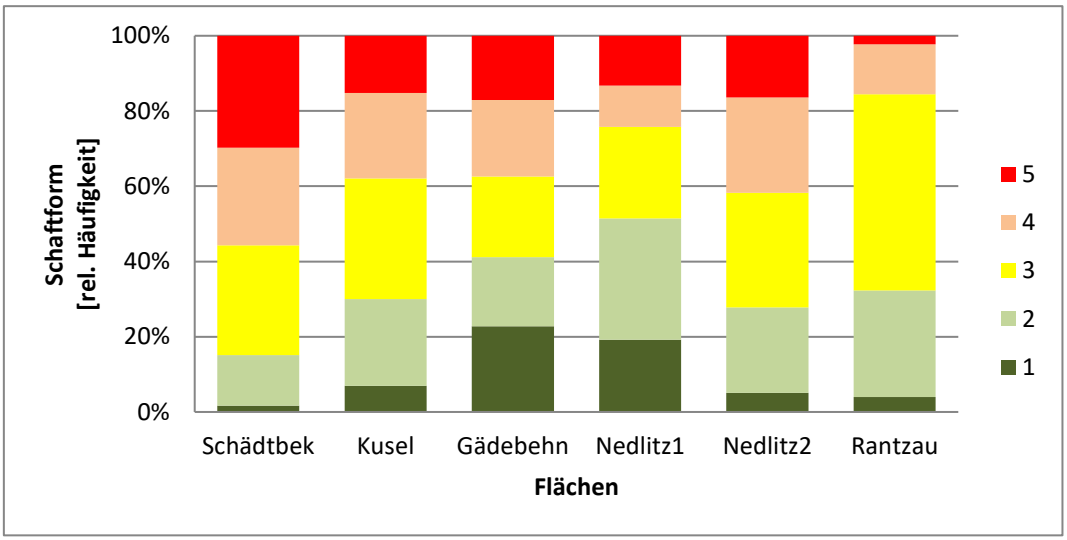


Abb. 3: Relative Häufigkeiten der Boniturstufen zum Merkmal Schaftform: 1= gerade, 2= leichte Krümmung, 3= mittlere Krümmung, 4= krumm, 5=s ehr krumm.

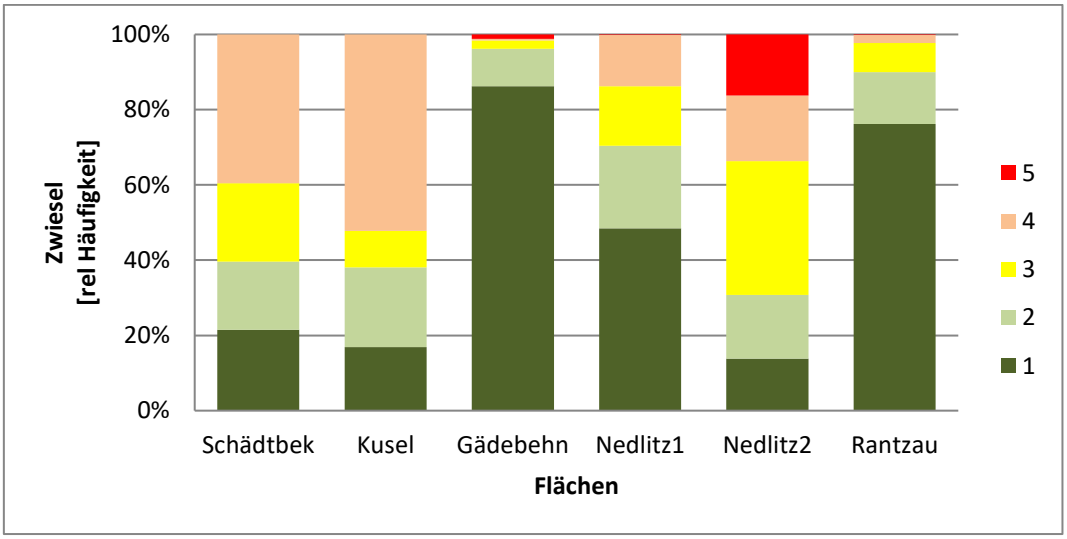


Abb. 4: Relative Häufigkeiten der Boniturstufen zum Merkmal Zwiesel: 1= ohne Zwiesel, 2= Zwiesel im oberen Teil, 3= Hochzwiesel über Baummitte, 4= Tiefzwiesel unter Baummitte, 5= sowohl als auch.

4.2 Differenzierung auf Herkunftsebene

Mit 45 Herkünften weist **Schädbek** die breiteste Abdeckung des natürlichen Verbreitungsgebietes aller Flächen auf. Abbildung 5 zeigt die Überlebensrate der Herkünfte mit 10 Jahren, sowie die Höhe im Alter 10 und den Durchmesser im Alter 20.

Das Gros der Herkünfte steht noch ohne nennenswerte Ausfälle da. Lediglich sechs Herkünfte fallen durch ein geringeres Überleben auf, dazu zählen die französischen Herkünfte *Borduere Man*. (Herkunft Nr. 2: 65 %), *Sud Massif* (4: 60 %) und *Plateaux du Jura* (6: 58 %), die belgische *Soignes* (13: 69 %), die niederländische *Aarnink* sowie die polnischen Herkünfte *Tarnawa* (40: 62 %) und *Bilowo 115, 116* (67: 56 %). Bei letzterer ist allerdings zu berücksichtigen, dass die in direkter Nachbarschaft geerntete Herkunft *Bilowo 124a,123c* (38) eine Überlebensrate von 91 % aufweist.

Höhe und Durchmesser sind in Relation zum Versuchsflächenmittel dargestellt, wobei Herkünfte mit besserem Wachstum eine grüne Färbung und Herkünfte mit schlechterem Wachstum eine rote Färbung erhalten. Die lokale Herkunft *Farchau* (26) und die Herkunft *Bad Urach* (31) sind als deutsche Herkünfte in der Höhe signifikant besser als das Versuchsmittel. Darüber hinaus sind auch *Val die Sella* (37, IT) und *Pidkamin* (59, UA) signifikant besser. Im Durchmesser zeigen diese teilweise weiterhin bessere Werte als das Versuchsmittel, aber hier lassen sich nur die signifikant schlechter abschneidenden Herkünfte statistisch nachweisen (25, SE; 38, PL; 51, CZ). Generell lässt sich feststellen, dass Herkünfte, die in jungem Alter vorwüchsig sind, diesen Vorteil nutzen und auch zu späterem Zeitpunkt stärkere Durchmesser aufweisen.

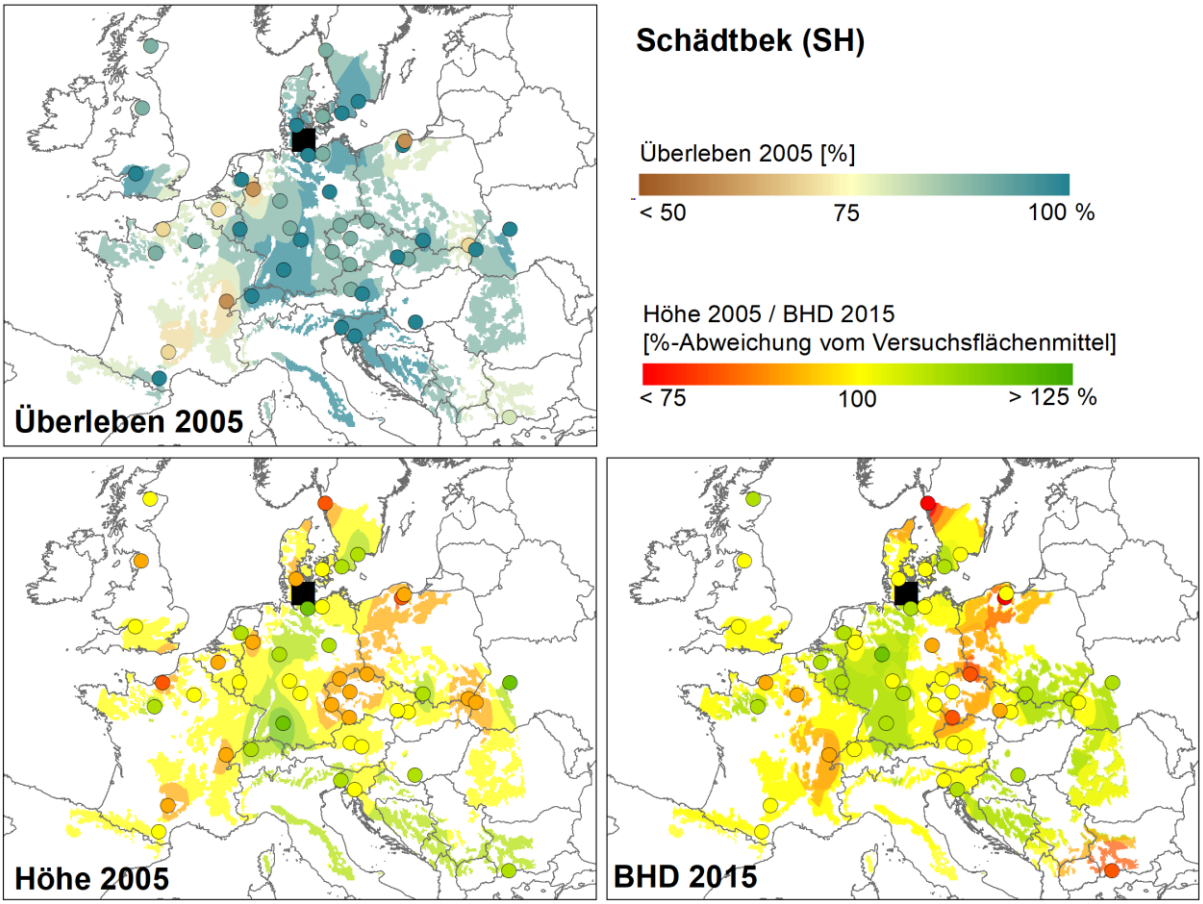


Abb. 5: Differenzierung zwischen Herkünften auf der Fläche Schädtbek. Die Herkünfte (Punkte) sind ihrem Einsammlungsortes entsprechend geographisch verortet, die Farbgebung spiegelt die Merkmalsausprägung wider. Die Lage der Fläche ist durch ein Quadrat gekennzeichnet. Das im Hintergrund liegende natürliche Verbreitungsgebiet der Rotbuche wurde mithilfe einer Interpolation eingefärbt, um räumliche Tendenzen in der Merkmalsausprägung zu verdeutlichen.

Auf der mecklenburgischen Fläche in **Gädebehn** (Abb. 6) waren die Ausfälle zu Beginn etwas stärker als auf den anderen Flächen. Die höchste Überlebensrate wies die Herkunft *Bad Urach* (31: 91 %) auf, gefolgt von der slowenischen *Postojna Masun* (53: 88 %). Die geringste Überlebensrate hatte mit nur 34 % die polnische *Bilowo 115, 116* (67).

Im Wachstum lassen sich auf dieser Fläche keine Unterschiede zum Versuchsflächenmittel statistisch absichern. Die Herkünfte aus Deutschland liegen in beiden Merkmalen, Höhe und BHD, über dem Versuchsflächenmittel, wohingegen die ausländischen Herkünfte überwiegend schlechter abschnitten. Hervorzuheben ist die positive Performance der lokalen Herkunft *Sternberg* (71).

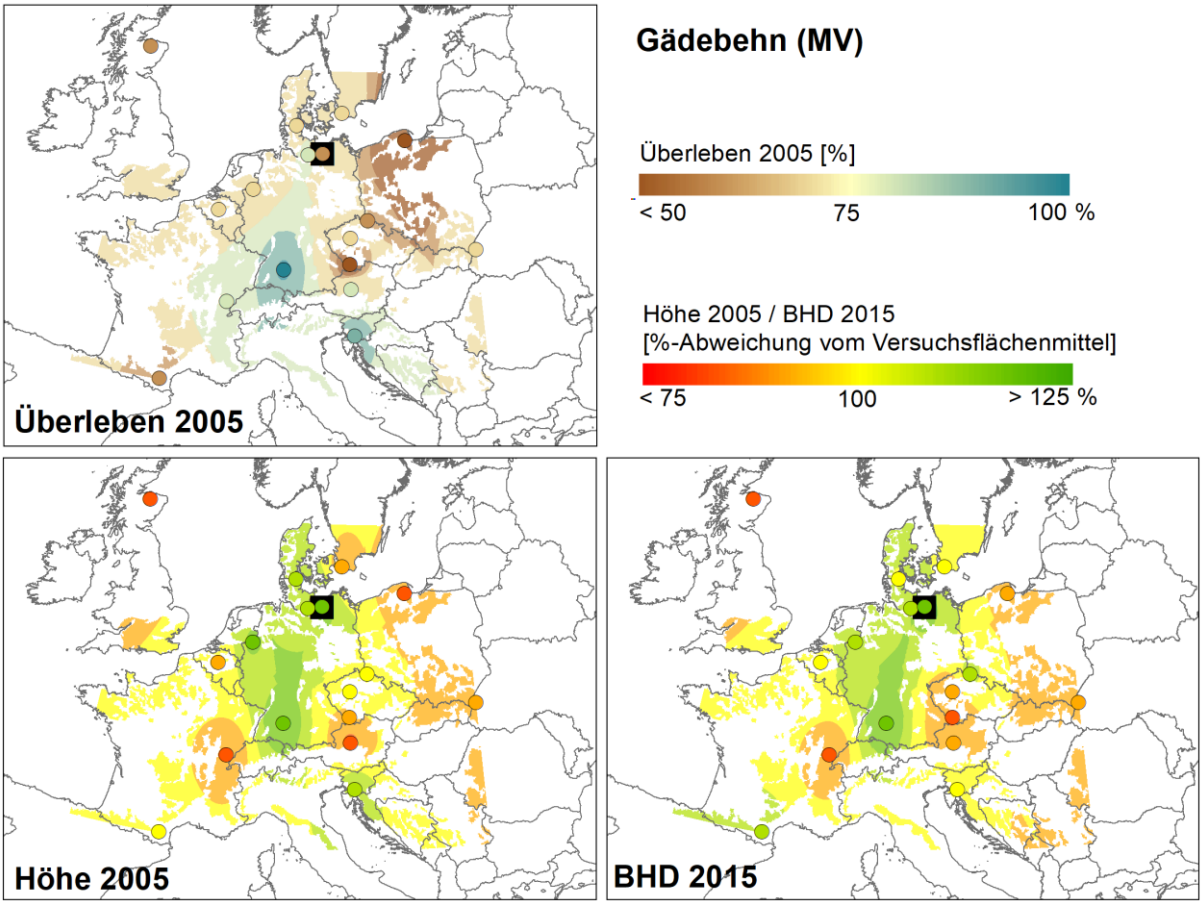


Abb. 6: Differenzierung zwischen Herkünften auf der Fläche Gädebehn. (Details in Abb. 5).

In **Kusel**, im Südwesten Deutschlands, ist das Überleben generell hoch (Abb. 7). Lediglich die Herkünfte *Bad Urach* (31: 65 %), drei französische (1, 4, 6) und eine britische (20) weisen Überlebensraten unter 80 % auf. Im Höhenwachstum fällt die in Süd-Frankreich eingesammelte Herkunft *Sud Massif* (4) negativ auf. Sie ist als einzige Herkunft auf dieser Fläche signifikant schlechter als das Versuchsflächenmittel. Tendenziell weisen Herkünfte aus Osteuropa an diesem Standort ein besseres Höhenwachstum auf. Die Variation des Durchmessers zwischen den Herkünften, und damit die Abweichung vom Versuchsflächenmittel, ist auf dieser Fläche geringer als auf den anderen.

Auf dieser Fläche wurden vier zusätzliche örtliche Herkünfte gepflanzt. Diese wiesen allerdings ein sehr heterogenes Wuchsverhalten auf und konnten mangels konkreter Angaben zum Einsammlungsort nicht berücksichtigt werden.

In **Nedlitz** wurden in direkter Nachbarschaft zwei Flächen angelegt, wobei Nedlitz 2 mit 13 Herkünften einen vergleichsweise geringen Prüfgliedsatz aufweist. Die Daten der beiden Flächen wurden deshalb gemeinsam ausgewertet. Da auf der Fläche Nedlitz 1 zeitweise keine Daten erhoben wurden, sind in Abbildung 8 Überleben und Höhe von 2002 (Alter 7) und der Durchmesser von 2016 dargestellt. Im jungen Alter signifikant wüchsiger als das Flächenmittel sind die Herkünfte *Bretagne* (5, FR) und *Pyrenees Oriental* (8, FR) sowie *Oberwill* (34, CH) und *Jaowrze* (39, PL), signifikant schlechter ist die Herkunft *Torup* (23, SE). Beim Durchmesser lässt sich allein das schlechte Abschneiden der Herkunft *Torup* erneut nachweisen. Dennoch auffällig ist das negative Abschneiden der Herkünfte aus den im Westen anschließenden Nachbarländern: *Heinerscheid* (11, LU), *Soignes* (13, BE) *Aarnink* (14, NL) und *Elspeet* (15, NL) weisen geringe Überlebensraten und ein unterdurchschnittliches Wachstum auf.

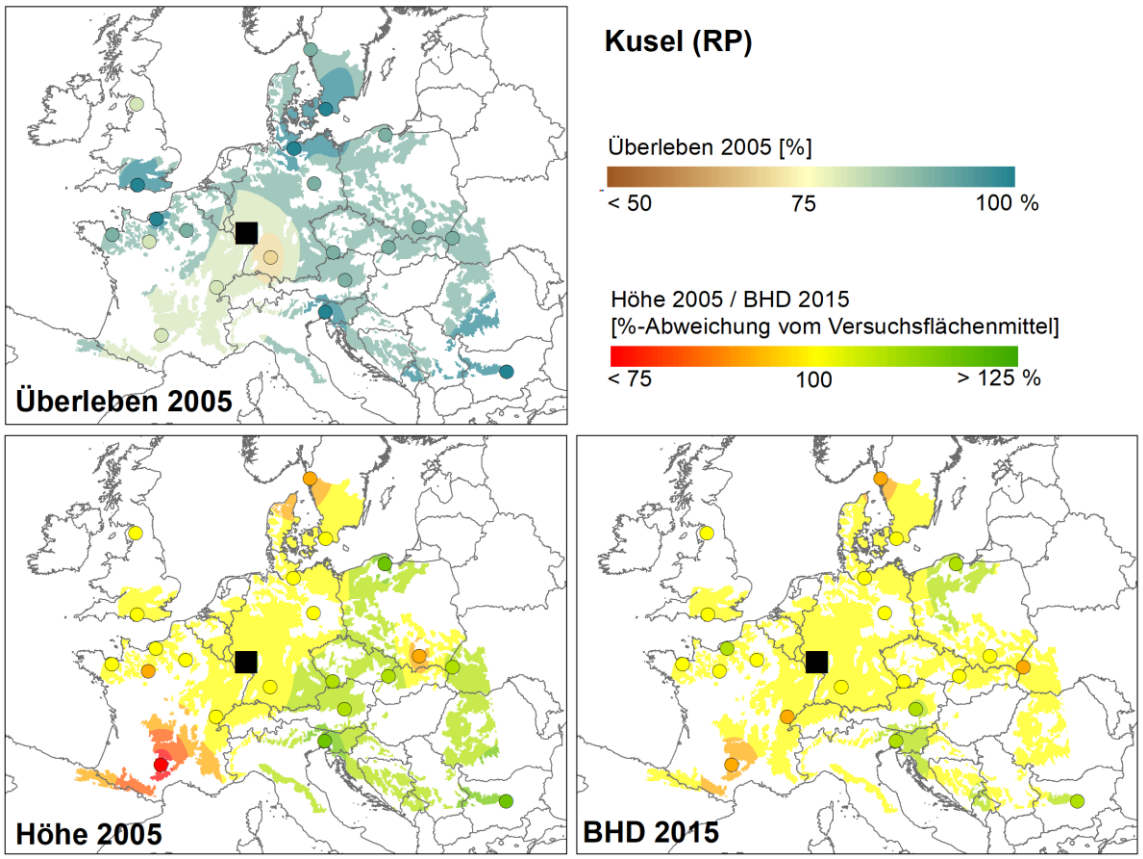


Abb. 7: Differenzierung zwischen Herkünften auf der Fläche Kusel. (Details in Abb. 5).

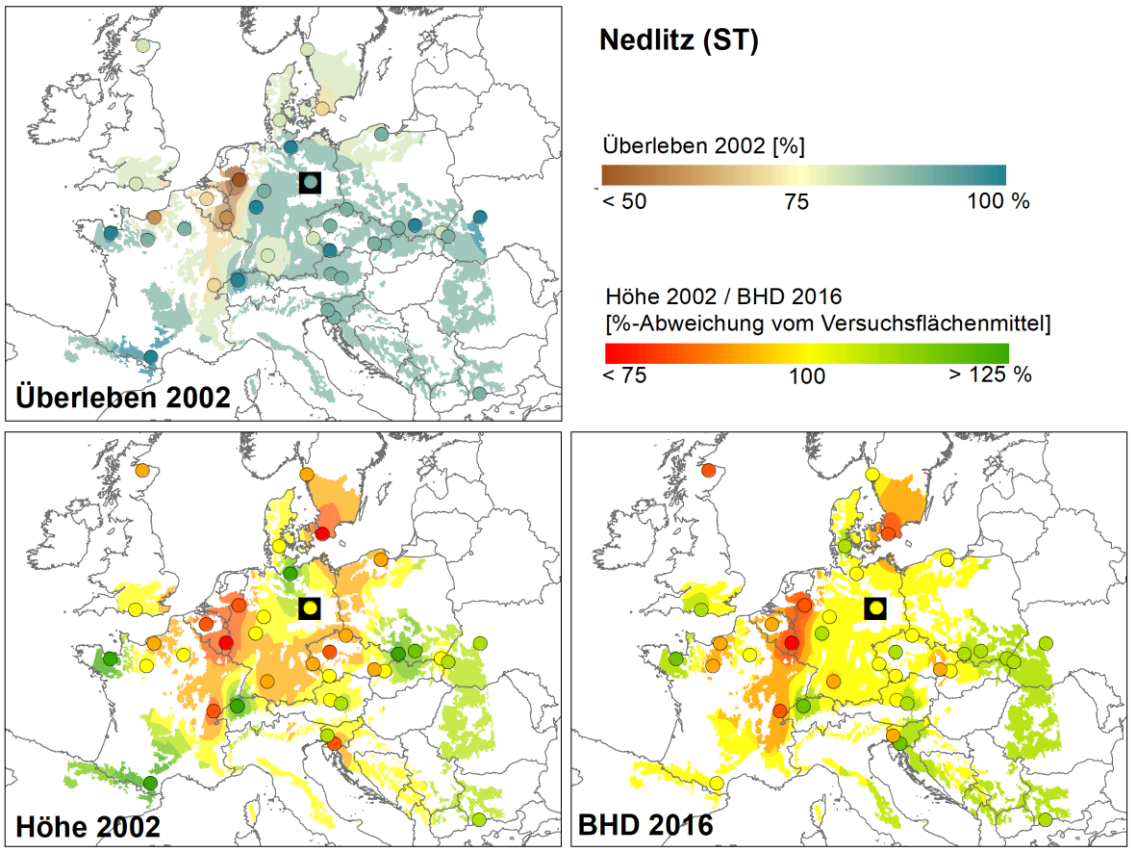


Abb. 8: Differenzierung zwischen Herkünften auf der Fläche Nedlitz. (Details in Abb. 5).

Die Fläche **Rantzau** wurde erst 2002 und damit als letzte Fläche der Serie mit 6-jährigen Pflanzen angelegt. Dennoch war der Anwuchs sehr erfolgreich, drei Jahre später wies die Fläche noch 86 % der ursprünglichen Stammzahl auf. In Überleben und Wachstum ist hier ein West-Ost-Gradient zu beobachten, mit der Tendenz geringerer Werte im Westen und höherer im Osten (Abb. 9). Signifikant ist allein das positive Abschneiden der polnischen Herkunft *Swiebodzin* (81) bei der Höhe sowie das negative Durchmesserwachstum der französischen *Ouest Massif* (7) und der belgischen *Soignes* (13).

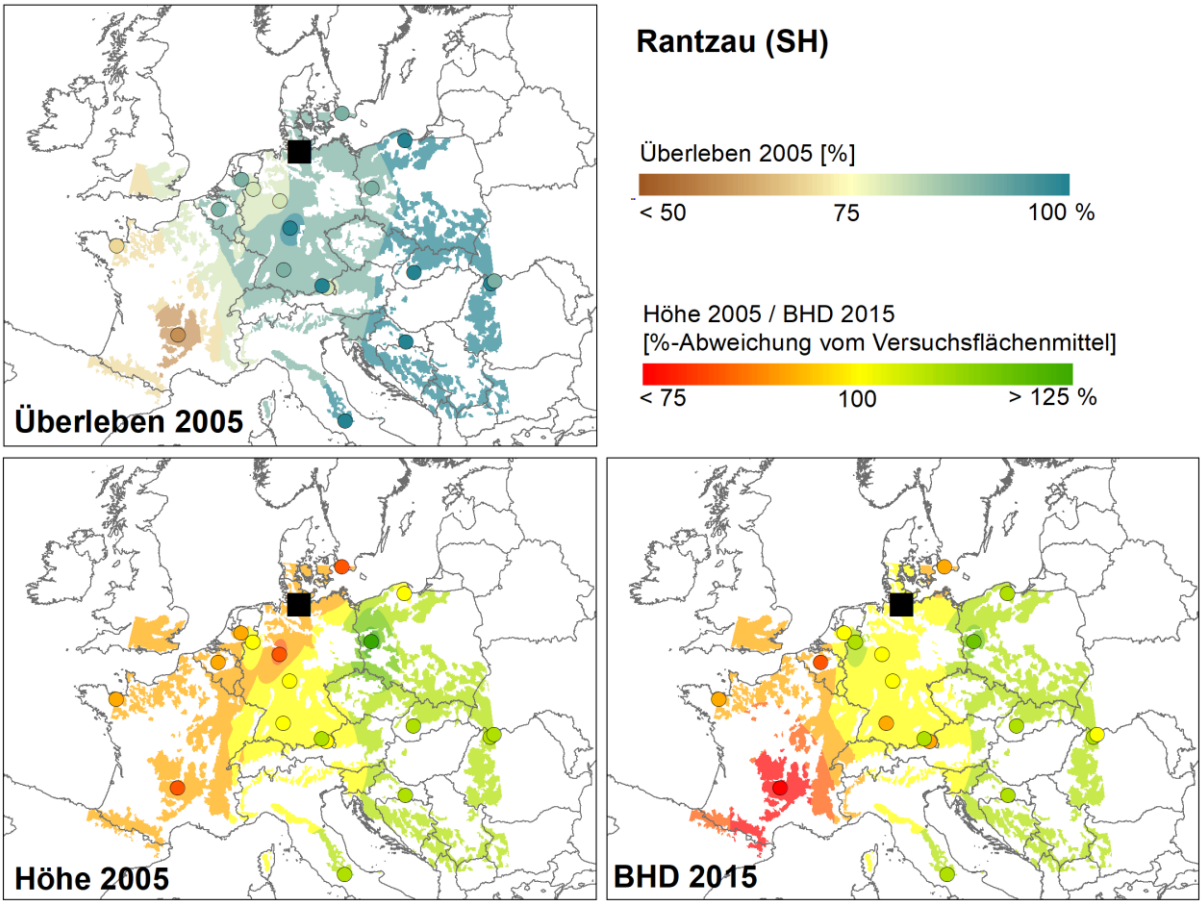


Abb. 9: Differenzierung zwischen Herkünften auf der Fläche Rantzau. (Details in Abb. 5).

4.3 Fazit

Von den sechs vom Thünen Institut betreuten Versuchsflächen des Internationalen Buchenherkunftsversuchs 1996/98 wurden vier unter Schirm und zwei auf der Freifläche begründet. Mit Ausnahme der Fläche Nedlitz 2 scheint der Schirm eine positive Wirkung auf das Auftreten von Zwieseln zu haben. Gädebehn, Nedlitz 1 und Rantzau weisen vergleichsweise wenige Zwiesel auf. Wohingegen auf den beiden auf Freiflächen begründeten Versuchen Schädtbek und Kusel deutlich mehr Zwiesel zu beobachten sind. Betrachtet man das vermehrte Auftreten von Zwieseln als Resultat von Frostschäden, kann dies auch die höhere Zahl an Zwieseln auf Nedlitz 2 erklären. Diese Fläche liegt in einer Senke, in welche auftretende Kaltluft abfließt und verstärkt zu Frostschäden geführt hat. Das Wachstum ist durch den Schirm generell schwächer, so liegen Schädtbek und Kusel im Flächendurchschnitt bei beiden Merkmalen über den anderen Flächen.

Die Konzentration auf die wüchsigsten Bäume je Parzelle anstelle aller lebenden Individuen (LIESEBACH et al. 2011), zur Berechnung der Parzellenmittel als Eingangsgröße der Varianzanalyse hat sich als gut geeignete

Methode zur Auswertung der Buchenversuche herausgestellt. Zum einen zeigen die Merkmale Höhe und Durchmesser eine positive Korrelation (Korrelationskoeffizienten > 0.7 für alle Flächen), und zum anderen besteht eine relativ konsistente Entwicklung der Differenzierung zwischen den Herkünften auf den einzelnen Flächen.

Die sechs Flächen weisen eine stark variierende Zahl und Zusammenstellung an Herkünften auf, weshalb eine vergleichende Analyse aller Flächen nicht zielführend ist. Entsprechend wurde die Differenzierung hier einzelflächenweise aufgezeigt. Die beschriebenen geographischen Tendenzen in der Merkmalsausprägung sind standortsbezogen zu betrachten. Auf der Fläche Schädtbek (SH) mit 45 Herkünften zeigt sich eine Tendenz besseren Wachstums westdeutscher Herkünfte, wohingegen Herkünfte aus dem Westen der angrenzenden Nachbarländer Polen und Tschechien ein in Nord-Süd Richtung ausgerichtetes Band schlechteren Wachstum bilden. Einzelne Herkünfte aus dem Osten bzw. Südosten des Verbreitungsgebiets schneiden ebenfalls positiv ab. Gädebehn (MV) weist mit 17 Herkünften die geringste Anzahl auf. Herkünfte aus dem Zentrum der Verbreitung wachsen tendenziell besser. Hier bestätigt sich die Eignung der lokalen Herkunft. Auf der Fläche Kusel (RP) sind Herkünfte aus dem Südwesten in ihrem Überleben und Wachstum schlechter, das Zentrum der Verbreitung, einschließlich der deutschen Herkünfte bildet das Mittelfeld, wohingegen Herkünfte aus dem Osten tendenziell besser abschneiden. Obwohl Rantzau in räumlicher Nähe zu Schädtbek liegt, zeigt sich dort eher eine ähnliche Tendenz der Herkunftsdifferenzierung wie in Kusel, westeuropäische Herkünfte schneiden in Überleben und Wachstum schlechter ab, osteuropäische hingegen besser. Im kontinental geprägten Nedlitz (ST) zeigt sich ein anderes Bild. Im Höhenwachstum stechen punktuell einzelne Herkünfte in Süd- und Westfrankreich, der Schweiz und Polen positiv hervor, während sich von den Niederlanden bis in den mittleren Osten Frankreichs ein Band aus Herkünften mit schlechtem Wachstum zieht. Herkünfte aus den Westkarpaten schneiden wiederum tendenziell besser ab.

5 Wachstumsanalysen in Baden-Württemberg und Bayern

Auf der Versuchsfläche „Fichtelberg“ (20-23) wurden im Frühjahr 1999 insgesamt 28 Herkünfte ausgepflanzt worden. 21 davon sind Bestandteil der Serie 1996/98 (Tab. 5). Ergänzt wurde der Versuch mit sieben Prüfgliedern aus Bayern, wobei es sich bei zweien um Mischungen aus 2 bzw. 3 Beständen eines Herkunftsgebietes handelt (By_1 bis By_7) (Tab. 6). Jede Herkunft wurde dreimal wiederholt. Die Parzellen wurden mit 5 Reihen à 10 Pflanzen im 2,0 m x 1,0 m Verband angelegt. Am Standort „Liliental“ (20-22) wurden im Frühjahr 1999 20 Herkünfte aus derselben Serie mit 5 Reihen à 5 Pflanzen je Parzelle im Verband 1,5 m x 1,5 m ausgepflanzt (Tab. 5). Die Flächen in Bayern und Baden-Württemberg verfügen über 12 gemeinsame Prüfglieder. Dadurch lässt sich das Wuchsverhalten der Herkünfte auf zwei Standorten vergleichen, die sich insbesondere in klimatischer Hinsicht stark unterscheiden: eher kontinental geprägte, kühlere Lagen mit Spätfrosteinfluss (Fichtelberg) im Vergleich zu atlantisch getöntem Klima mit Neigung zu sommerlichen Trockenperioden (Liliental). Um quantitative Aussagen hinsichtlich der Standorts- und Anbaueignung einzelner Herkünfte treffen zu können, wurden Messungen von Höhe und Durchmesser sowie der Qualitätsentwicklung herangezogen. In den folgenden Ergebnisdarstellungen wurde eine Sortierung der Herkünfte nach der geografischen Länge vorgenommen (von West nach Ost), um einen möglichen Einfluss sichtbar zu machen (Abb. 10-12). Die detaillierte Beschreibung der Flächenanlage sowie der einzelnen Bewertungsschemas können bei ŠEHO et al. 2021 nachgelesen werden. Für die statistische Auswertung wurden die Mittelwerte der Stichprobe (x) und die Standardabweichung (s) Überprüfung der Grundgesamtheit verwendet. Das genaue Vorgehen bei Mittelwertvergleichen sowie paarweisen Vergleichstests zwischen den Herkünften können unter ŠEHO et al. 2021 nachgelesen werden.

Tabelle 6: Angaben zu den zusätzlichen Herkünften auf der Fläche Fichtelberg (Bayern).

Abk.	Herkunft	Geo Br.	Geo Lg.	Höhe ü. NN
By-1	Füssen	47°43'N	10°42'E	984
By-2	Betzenstein	49°69'N	11°25'E	452
By-3	Fichtelberg	50°06'N	11°15'E	873
By-4	Selb	50°15'N	12°08'E	590
By-5	Mischung aus 2 Beständen, HkG 810 26	-	-	950-1300
By-6	Bad Kissingen	50°20'N	10°46'E	646
By-7	Mischung aus 3 Beständen, HkG 810 24	-	-	530-820

5.1 Wuchsrelevante Merkmale

Ein wichtiger Parameter, der in Herkunftsversuchen bewertet wird, ist der **Ausfall**. Er ist der erste Weiser dafür, ob sich die Herkunft an den neuen Standort etablieren kann. Dieser kann von verschieden Faktoren (z.B. Pflanzenqualität, Pflanzung, Witterung bei der Versuchsflächenanlage, Extreme Trockenheit und Frost) abhängen. Die Unterschiede beim Ausfall zwischen den beiden hier vorgestellten Versuchsflächen waren signifikant. Auf der Versuchsfläche Fichtelberg (20-23) in Bayern war tendenziell ein höherer Ausfall der Herkünfte aus dem westlichen Teil des Verbreitungsgebiets zu beobachten. Hohe Ausfälle (ca. 60%) waren bei der Herkunft *Gotze Delchev* (16) zu beobachten. Diese Herkunft stammt aus dem südlichsten Bereich des Untersuchungsgebietes und zeichnet sich durch einen frühen Austrieb aus. Auf der Versuchsfläche Liliental (20-22) in Baden-Württemberg zeigten die Herkünfte *Westfield* (17) und *Plateau du la Faye* (6) einen deutlich höheren Ausfall.

Auf der Versuchsfläche Fichtelberg wurde in den Jahren 2007, 2008, 2009 und 2015 verschiedene Beobachtungen zur **Phänologie** durchgeführt, um festzustellen, ob es Unterschiede zwischen den angebauten Herkünften gibt und ob diese relevant für das Wachstum und evtl. Spätfrostschäden sind. 2008 wurden drei Austriebsbonituren (24.04., 05.05, 14.05.2008) durchgeführt. Entsprechend einem sechsstufigem Boniturschlüssel begannen sich am 24.04. die Knospen zu strecken. Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Herkünften. Als Frühaustreiber können danach die Herkünfte *Domazlice-Vyhl* (46), *Horni Plana-Ce* (51), *Postojna Masun* (53) und *Gotze Delchev* (16) gelten. Alle Herkünfte stammen aus Höhenlagen über 760 m ü. NN. Etwas später setzt der Austrieb der Knospen bei den Herkünften, die tendenziell aus tieferen Lagen stammen, *Perche* (1), *Plateau du Jura* (6), *Aarnik* (14), *By-7* (eine Mischung aus 3 Beständen) und *Betzenstein* (By-2) ein. Ein sehr ähnliches Bild zeigt sich auch bei den Aufnahmen in den anderen Jahren.

Für die Länge der Vegetationsperiode ist neben dem Austrieb auch von Bedeutung, wann der Blattfall bzw. die -verfärbung einsetzt. Dafür erfolgte eine Blattfallbonitur mit einem fünfstufigem Boniturschlüssel. Es fanden insgesamt drei Aufnahmen statt. Die Ergebnisse haben derzeit nur einen orientierenden Charakter: Der Laubfall und die –verfärbung bei den deutschen Herkünften *Betzenstein* (BY-2), *Selb* (By-4) und der österreichischen Herkunft *Eisenerz* (36) setzten früher ein. Später erfolgten diese bei den Herkünften *Soignes* (13), *Plateau du la Faye* (6), *Bad Urach* (31), *Füssen* (By-1) und *Alsted* (22).

Neben dem Ausfall ist das **Höhenwachstum** ein wichtiger Parameter, um die Entwicklung der Herkünfte an dem neuen Standort zu bewerten. In den nach Abschluss der Vegetationsperiode 2015 (Pflanzenalter 20 Jahre) erhobenen Höhenmesswerten, zeigten sich die Buchenherkünfte auf der Versuchsfläche Liliental deutlich raschwüchsiger (mittlere Höhe aller Versuchsglieder: 554 cm) als auf der Fläche Fichtelberg (379 cm). Es wird deutlich, dass die Versuchsfläche Liliental bewertet anhand der Beziehung Höhe/Alter eine höhere Standortsleistungskraft als Fichtelberg aufweist. Von den 12 auf beiden Flächen vertretenen Prüfgliedern entwickelte sich die Herkunft *Hinterstoder* (35) in der Höhe an beiden Standorten (Fichtelberg +22 %; Liliental +25 %) besser und unterscheidet sich signifikant von den weiteren Prüfgliedern, die auf beiden Flächen angebaut

wurden. Die Herkünfte *Westerfield* (17) und *Aarnik* (14), die sowohl in Fichtelberg als auch in Liliental signifikant am schlechtesten abschnitten, liegen im Durchschnitt mindestens 13 % unter dem Versuchsflächenmittel. Das Höhenwachstum der Herkünfte *Selb* (By-4), *Horni Plana-Ce.* (51), *Hinterstoder* (35), *Füssen/Siegsdorf* (By-5) und *Idrija-II/2, 14* (54) lag auf der Versuchsfläche Fichtelberg deutlich über dem Versuchsflächenmittel (Abb. 10). Der allgemeine Entwicklungstrend blieb bei diesen Herkünften an diesem Versuchsort jedoch annähernd konstant. Die absoluten Unterschiede in der Höhenentwicklung zwischen den Herkünften waren recht beträchtlich. So hatte bei der letzten Aufnahme die Herkunft *Tarnawa* (40) aus Polen eine mittlere Höhe von 240 cm erreicht. Im Gegensatz dazu hatte die Herkunft *Horni Plana-Ce.* (51) aus Tschechien als wüchsigste Herkunft eine Höhe von fast fünf Metern (474 cm) erreicht und war damit knapp doppelt so hoch wie die polnische Herkunft. Die Herkünfte *Tarnawa* (40), *Perche* (1), *Plateaux du la Faye* (6) und *Alsted* (22) zeigten mit geringen Abweichungen durchgängig signifikant unterdurchschnittliche Höhenentwicklungen.

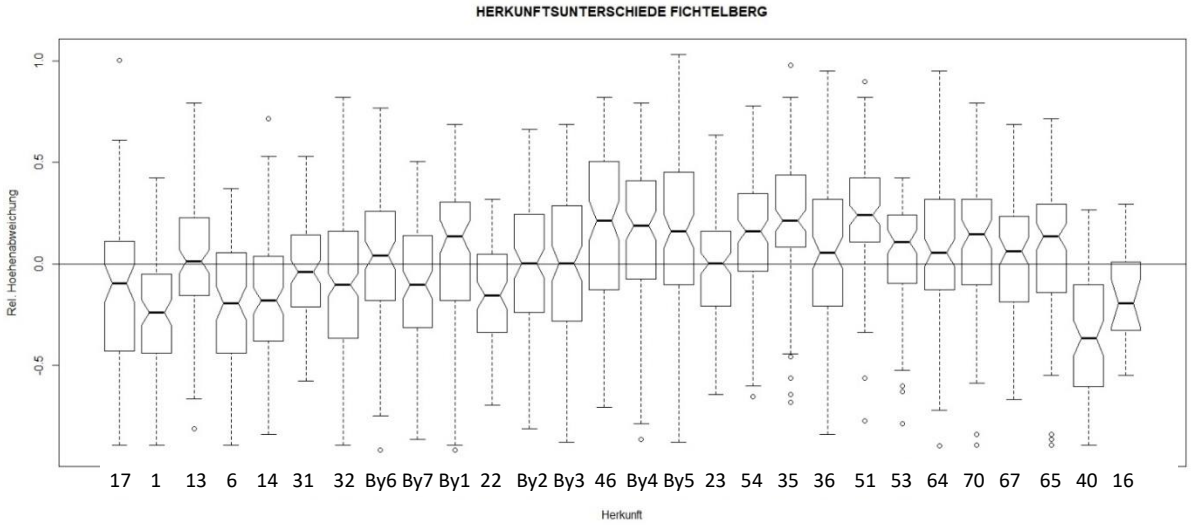


Abb. 10: Relative Höhenabweichung der Buchenherkünfte vom Versuchsflächenmittel im Alter 20 auf der Versuchsfläche Fichtelberg gereiht von West nach Ost der Einsammlungsorte.

Bei der Versuchsfläche Liliental traten ebenfalls beträchtliche absolute Unterschiede hinsichtlich der Höhe nach 20 Jahren auf. Allerdings ergibt sich hier eine nahezu vollständig andere Reihenfolge der Herkünfte nach der erreichten Höhe: Hier liegt die österreichische Herkunft *Hinterstoder* (35) mit durchschnittlich 693 cm im Höhenwachstum an der Spitze (Abb. 11). Ebenfalls signifikant besser als das Versuchsflächenmittel wuchsen die Herkünfte *Bad Urach* (31), *Oberwill* (34) und *Magyaregregy* (52). Die Herkunft *Gotze Delchev* (16) liegt über dem Versuchsflächenmittel. Umgekehrt zeigten im Liliental die Herkünfte *Westfield* (17), *Torup* (23), *Horni Plana-Ce.* (51), *Bordure Man* (2) und *Postojna Masun* (53) ein signifikant unterdurchschnittliches Höhenwachstum. Letztere bildete im Liliental das Schlusslicht mit lediglich 475 cm Höhe.

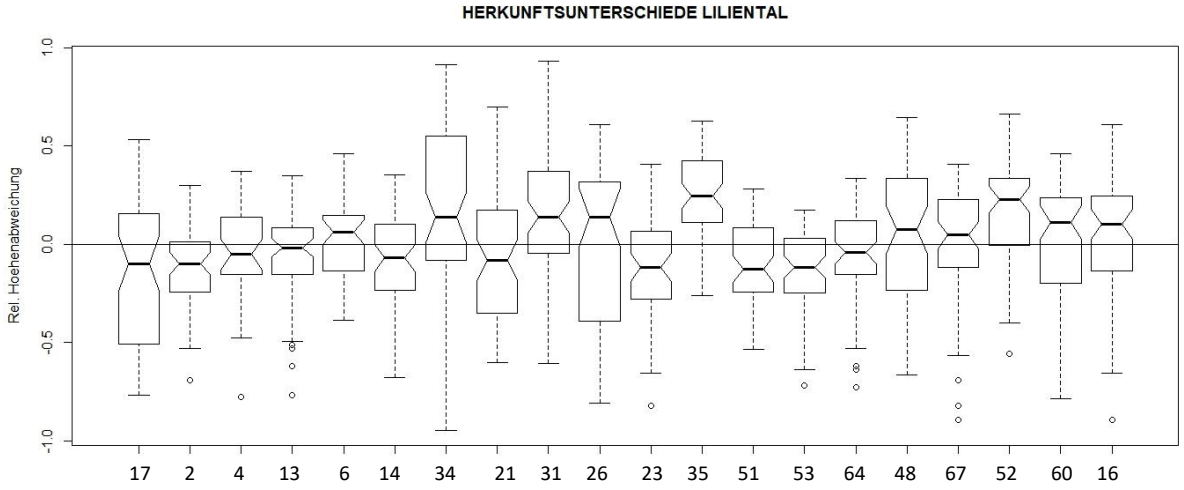


Abb. 11: Relative Höhenabweichung der Buchenherkünfte vom Versuchsflächenmittel im Alter 20 auf der Versuchsfläche Liliental gereiht von West nach Ost der Einsammlungsorte.

Die Vergleiche der standardisierten Mittelwerte des **Durchmessers** zeigen analog zu den Höhenentwicklungen deutliche unterschiedliche Rangfolgen der Herkünfte an den beiden Anbauorten. Dabei korrespondieren die BHD-Reihungen grob mit denen der Höhe. Auffällig ist, dass die Herkunft *Hinterstoder* (35) an beiden Anbauorten signifikant über dem jeweiligen Versuchsflächenmittel des BHD liegt.

Für die Versuchsfläche Liliental entwickeln sich die Durchmesserwerte von *Oberwill* (34), *Bad Urach* (31), *Hinterstoder* (35), *Magyaregregy* (52) signifikant über allen anderen Herkünften. Die Herkunft *Gotze Delchev* (16) liegt im Flächendurchschnitt und unterscheidet sich von einzelnen Herkünften signifikant.

5.2 Qualitätsrelevante Merkmale

Die Ergebnisse der **Stammformbonitur** zeigen, dass sich am Versuchsort Liliental deutlich bessere Stammformen ausgebildet haben (Abb. 12). Der mittlere Anteil der Herkünfte in den Stufen 1 bis 3 - also der durchschnittlichen bis besseren Individuen - liegt hier bei 45 %. In Fichtelberg hingegen beträgt dieser Wert lediglich 4 %, wobei hier die Herkünfte *Hinterstoder* (35) bzw. *Füssen* (By-1) mit 16 % bzw. 10 % in den Formstufen 1 bis 3 noch die besten Stammformen aufweisen. Interessanterweise weist die Herkunft *Hinterstoder* (35) auch auf der Versuchsfläche Liliental mit einem Anteil der Pflanzen von rund 70 % in den Stufe 1 bis 3 die besten Formen auf. Erheblich schlechtere Stammformen zeigen die Herkunft *Bad Urach* (31) und die englische Herkunft *Westfield* (17), deren Anteil an geraden bis durchschnittlichen Buchen im Liliental nur bei 23 % liegt. Auch nach den Ergebnissen der **Zwieselbonitur** fällt in Liliental der Anteil von Buchen mit verwendungstechnisch guten Schaftformen (kein Zwiesel bis maximal 1 Zwiesel) mit 18 % der Bäume in diesen beiden Kategorien deutlich höher aus als in Fichtelberg. Dabei gibt es zwischen den Herkünften aber eine breite Spanne von 7 % (Herkunft *Magyaregregy* (52) bis hin zu 40 % (Herkunft *Plateau du la Faye* (6) aus Frankreich). Auf der Versuchsfläche Fichtelberg fiel der Anteil verwendungstechnisch günstig einzustufender Schaftformen (im Mittel 3 % in Zwieselstufen 1-2). insgesamt deutlich geringer aus.

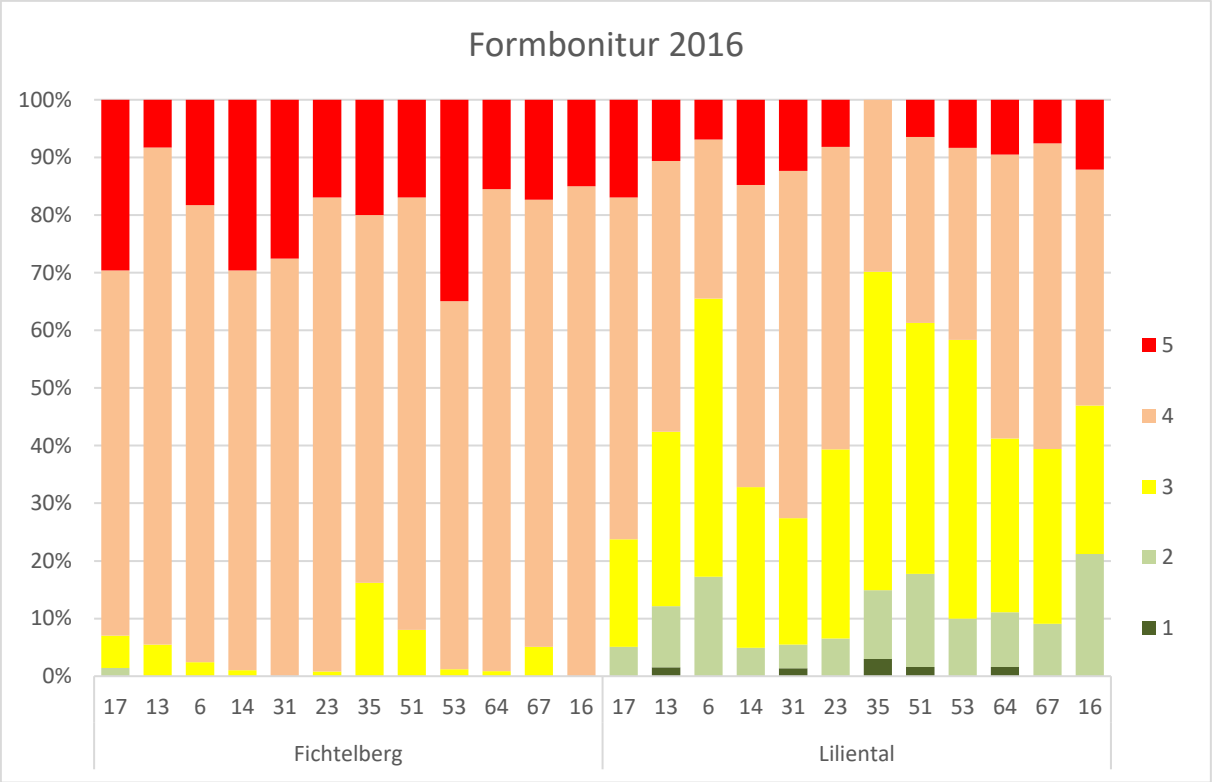


Abb. 12: Prozentuale Verteilung der 5-stufigen Formbonitur nach Herkünften auf den Versuchsflächen Fichtelberg und Liliental (zwölf gemeinsame Prüfglieder; Boniturstufen: 1= gerade, 2= besser als Durchschnitt, 3= durchschnittlich, 4= schlechter als Durchschnitt, 5= sehr schlecht).

5.3 Fazit

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden 36 Buchenherkünfte an zwei Standorten in Süddeutschland verglichen, die im Rahmen des internationalen Buchenherkunftsversuchs 1996/98 angebaut wurden. Ziel der vorliegenden Arbeit ist der Vergleich verschiedener Herkünfte unter kalt-trockenen klimatischen Bedingungen (Fichtelberg/Fichtelgebirge) und warm-trockenen Klimabedingungen (Liliental/Kaiserstuhl bei Freiburg) . Die Studie vergleicht Wachstum, phänologische und qualitätsrelevante Eigenschaften der verschiedenen Herkünfte im Alter von 20 Jahren.

Herkünfte aus Österreich, Tschechien, Deutschland, Ungarn, Slowenien und Bulgarien zeigen gute Wachstumseigenschaften (Höhe und Durchmesser). Es zeigt sich, dass bei der Entwicklung der Herkünfte je nach Standort der Gradient (Ost-West oder Nord-Süd) in Verbindung mit der Höhenlage des Herkunftsortes berücksichtigt werden sollten. Auf der Versuchsfläche Fichtelberg war tendenziell ein höherer Ausfall der Herkünfte aus dem westlichen Teil des Verbreitungsgebiets zu beobachten. Ein besonders hoher Ausfall wurde bei der südlichsten Herkunft *Gotze Delchev* (16) beobachtet. Diese Herkunft könnte ein mögliches Beispiel für eine Transfergrenze südlicher Herkünfte ins raue Fichtelgebirge darstellen.

Auf der Versuchsfläche Fichtelberg schneiden im Höhen und Durchmesserwachstum die östlichen Herkünfte aus höheren Lagen tendenziell besser ab. Im Liliental schneiden die Herkünfte aus dem Westen oder Südosten und einer tieferen Lage besser ab. Durchmesser und Höhenwachstum der Herkunft *Hinterstoder* (35, Österreich) waren auf beiden Versuchsflächen im Vergleich zu allen anderen Herkünften signifikant besser. Diese Herkunft kann daher als „Generalist“ eingestuft werden. Trotz der deutlich unterschiedlichen Umweltbedingungen der beiden Versuchsstandorte zeigt diese Herkunft ein überdurchschnittliches Höhenwachstum. Bei den Unterschieden im Austrieb konnte ein Einfluss der Höhenlage beobachtet werden.

Die Ergebnisse der Bewertung von qualitätsrelevanten Merkmalen sollte als ein erster Hinweis dienen. Es wird deutlich, dass die Differenzierung im Alter von 20 Jahren auf den beiden in Süddeutschland gelegenen Versuchsflächen sehr unterschiedlich ist und zum späteren Zeitpunkt erneut bewertet werden sollte. Als positives Beispiel kann die Herkunft *Hinterstoder* (35) gewertet werden. Die Herkunft wies auf der Versuchsfläche Liliental mit einem Anteil der Pflanzen von rund 70 % in den Stufe 1 bis 3 die besten Formen auf. Basierend auf den Ergebnissen dieser Herkunftsversuche sollte die Anlage weiterer Versuche diskutiert werden.

6 Physiologischen Differenzierung am Beispiel einer Fläche im Fläming des internationalen Herkunftsversuches von 1996/98

Neben den phänologischen und waldwachstumskundlichen Merkmalen der einzelnen Buchenherkünfte stellte sich die Frage, inwieweit auch Unterschiede in physiologischen Merkmalen bestehen. Von besonderem Interesse waren dabei unterschiedliche anpassungsrelevante Merkmale des Sekundärstoffwechsels (insbesondere Phenolstoffwechsel) und der Trockenstresstoleranz.

Diesen Fragen wurden am Beispiel des 20-jährigen Herkunftsversuches auf der Herkunftsversuchsfläche Nedlitz im Fläming, Revier Golmenglin (heute Forstbetrieb Anhalt, Revier Hoher Fläming) an der Grenze zwischen Sachsen-Anhalt und Brandenburg nachgegangen.

In den Jahren 2016 und 2018 wurde untersucht, inwieweit sich Buchen aus dem europäischen Verbreitungsgebiet auch unter optimalen Wuchsbedingungen phänotypisch hinsichtlich der Ausstattung mit stoffwechselphysiologisch relevanten Blattinhaltsstoffen auf dem mitteldeutschen Standort unterscheiden.

6.1 Probengewinnung und Untersuchungsparameter

Für die Analysen wurden in beiden Versuchsjahren neun der 33 Herkünfte aus dem gesamten Verbreitungsgebiet der Rot-Buche von klimatisch sehr unterschiedlichen Standorten (Details s. Tabellen 4 bis 6) ausgewählt. Im niederschlagsreichen Sommer 2016 und im Trockenjahr 2018 wurden jeweils 15 vorherrschende Buchen je Herkunft (je 5 Bäume aus 3 Parzellen) beprobt. Für die physiologischen/ biochemischen Untersuchungen wurde das Blattmaterial hinsichtlich seiner Gehalte an Chlorophyllen a+b, Carotinoiden, Kohlenhydraten, Stärke, phenolischen Inhaltsstoffen, Aminosäuren, Ascorbinsäure und Proteinen analysiert und die Osmolalität des Blattpresssaftes bestimmt (Methodenübersicht siehe KÄTZEL et al. 2021).

6.2 Herkunftsbedingte Unterschiede im Phenolstoffwechsel

Phenole sind im Pflanzenreich weit verbreitet und die am häufigsten vorkommenden Sekundärmetaboliten von Pflanzen. Polyphenole haben z.B. aufgrund ihrer starken antioxidativen Eigenschaften wichtige Funktionen in der Stressanpassung (HARBORNE 1980).

Untersucht wurden die Gehalte an *Folin-positiven Verbindungen* (als gesamtphenolische Inhaltsstoffe), *Vanillin-positiven Verbindungen* und *Procyanidinen* (als kondensierte Phenole/Tannine und deren Vorstufen) sowie *ortho-Diydroxyphenole* als niedermolekulare Verbindungen. Die Synthese dieser Substanzen unterliegt i. d. R. einer starken genetischen Kontrolle. Es ist daher nicht überraschend, dass sich das Gesamtkollektiv der Buchen in herkunftsspezifisch distinkt verschiedene Gruppen differenziert.

Insgesamt lassen sich für alle phenolische Verbindungen grob drei „Phenolgruppen“ unterscheiden:

- Gruppe 1: geringe Phenolgehalten: *Gotze Delchev* (BG), *Eisenerz* (AT), *Belzig* (DE)
- Gruppe 2: mittlere Phenolgehalte: *Pyrénées* (FR), *Pidkamin* (UA), *Plateaux* (FR)
- Gruppe 3: hohe Phenolgehalte: *Jablonec* (CZ), *Jawornik* (PL), *Farchau* (DE)

Für die Blattgehalte an Folin-positiven Verbindungen sind die differenzierten Phenolgruppen in den Abbildung 13 und der Tabelle 7 dargestellt.

Unter den Trockenbedingungen des Jahres 2018 nahmen die Phenolgehalte bei allen Herkünften ab. Dabei ist der Abfall insbesondere bei der Gruppe 3 mit den ursprünglich höchsten Gehalten am größten. Die Gruppenzugehörigkeiten blieben jedoch mit Ausnahme der französischen Herkunft aus *Pyrénées* erhalten. Hier nahmen die Gehalte an Folin-positiven Verbindungen nur geringfügig ab, so dass die Rangposition innerhalb des Gesamtkollektivs relativ steigt (Abb. 13).

Tabelle 7: Mittelwerte der Blattgehalte an Folin-positiven Verbindungen differenziert nach Herkünften und Rangfolgen und statistisch signifikante Gruppenzugehörigkeit.

Jahr	**2016**			**2018**		
Herkunft	**Mittelwert µmol/mg TM**	**Rang**	**Signifikanz-gruppe**	**Mittelwert µmol/mg TM**	**Rang**	**Signifikanz-gruppe**
Belzig	335,7	7	a, b	276,9	8	a, b
Farchau	408,8	1	e	338,9	2	d
Pyrénées	351,9	6	b, c, d	325,7	3	d
Plateaux	380,3	4	c,d,e	319,8	5	c, d
Gotze Delchev	286,8	9	a	255,5	9	a
Pidkamin	369,9	5	c,d,e	312,2	6	b, c, d
Jablonec	385,0	3	c, d,e	320,5	4	c, d
Eisenerz	314,3	8	a, b	284,1	7	a, b, c
Jawornik	392,9	2	d, e	339,0	1	d

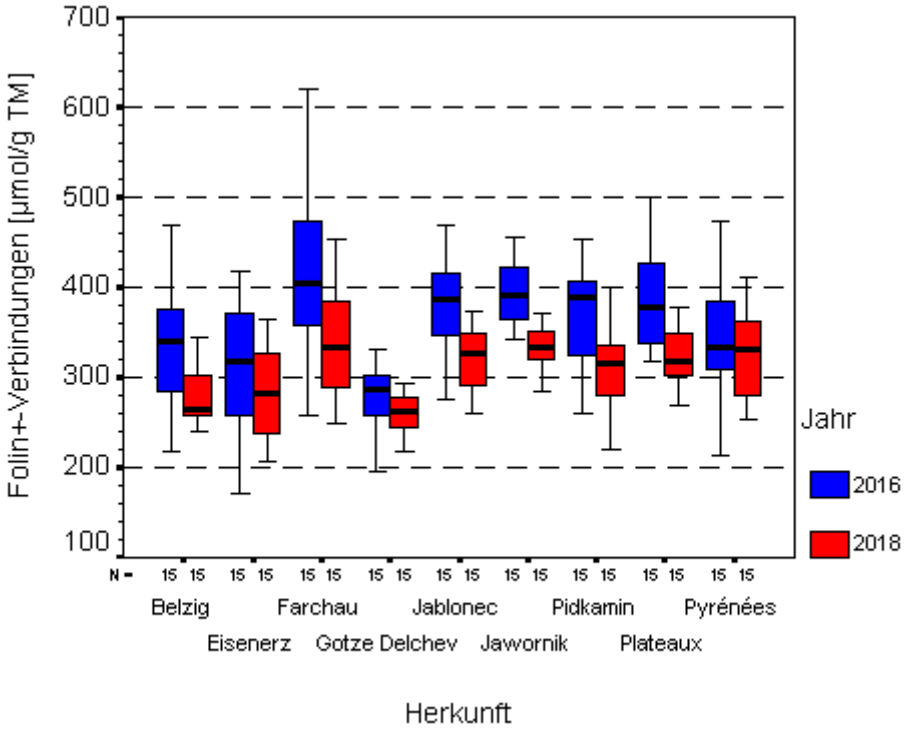


Abb. 13: Gehalte an Folin-positiven Verbindungen in den Buchenblättern in den Untersuchungsjahren 2016 und 2018 differenziert nach Herkünften.

6.3 Reaktionen auf Trockenstress

Durch die extreme Trockenheit des Jahres 2018 bot sich die Möglichkeit, die Buchen zum zweiten Mal zu beproben und hinsichtlich ihrer Trockenstressreaktionen unter Freilandbedingungen im Vergleich zum niederschlagsreichen Jahr 2016 zu bewerten.

Entsprechend der bekannten Stresskaskade unter Wassermangelbedingungen (KÄTZEL und LÖFFLER 2014) waren insbesondere Veränderungen in Blattgehalten an Kohlenhydraten, Aminosäuren und photosynthetisch aktiven Pigmenten zu erwarten.

Unter den Trockenbedingungen des Jahres 2018 nahmen die **Chlorophyllgehalte** generell ab, mit den geringsten Werten bei den Buchenblättern der ukrainischen Herkunft *Pidkamin* (MW=6,66 mg/g TM). Die signifikant höchsten Chlorophyllgehalte enthielten die Blätter der Buchen der Herkünfte aus *Belzig* (DE: MW=7,45 mg/g TM), *Eisenerz* (AT: MW=7,36 mg/g TM) und *Pyrénées* (FR: MW=7,17 mg/g TM) (Abb. 14). Dabei ist zu berücksichtigen, das auch unter den optimalen Wuchsbedingungen des Jahres 2016 die geringen Werte der ukrainischen Herkunft *Pidkamin* (6,66 mg/g TM) und den höchsten Gehalten in den beiden französischen Herkünften *Plateaux* (MW=7,99 mg/g TM) und *Pyrénées* (MW=8,16 mg/g TM) sowie der österreichischen Herkunft *Eisenerz* (MW=8,34 mg/g TM) bei einer generell hohen Streuung der Werte, auffiel (Abb. 14).

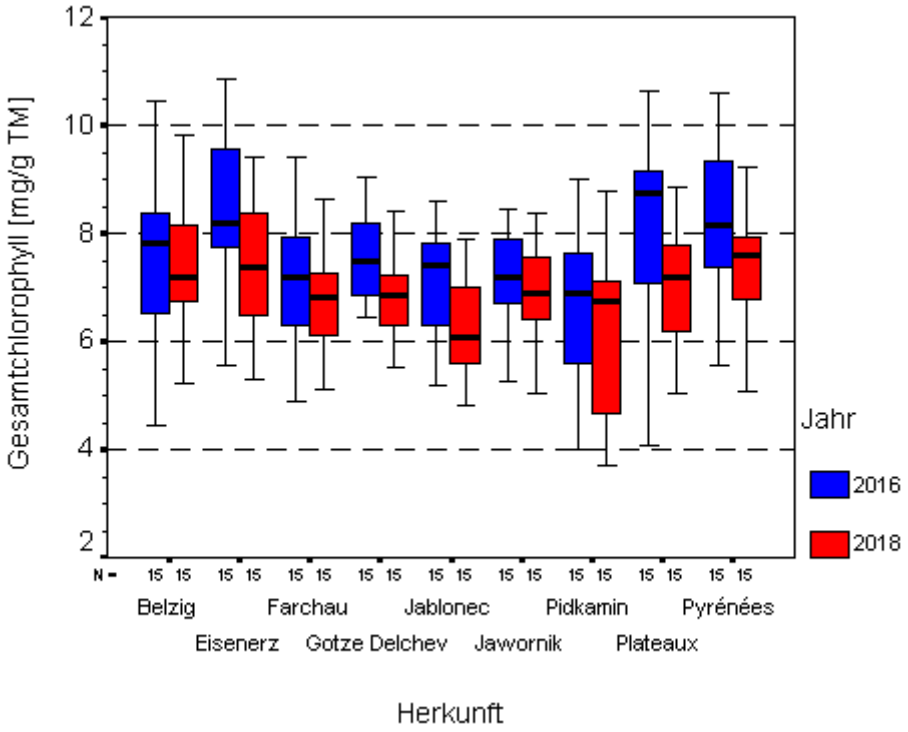


Abb. 14: Gehalte an Gesamtchlorophyll in den Buchenblättern in den Untersuchungsjahren 2016 und 2018 differenziert nach Herkünften.

Innerhalb der osmotisch wirksamen Substanzen nimmt die freie, ungebundene **Aminosäure Prolin** eine Sonderstellung ein, da sie bei einer Vielzahl von Organismen unter Stressbedingungen akkumuliert wird (z. B. ASPINALL und PALEG 1981; STEWART 1981; TESCHE 1987). Hier dargestellt werden die prozentuale Prolinanteile (gemessen an dem Gesamtgehalt löslicher Aminosäuren). Erwartungsgemäß waren die Prolingehalte unter den günstigen Wuchsbedingungen des Jahres 2016 gering. Unter den Trockenstressbedingungen des Jahres stiegen die Prolingehalte teilweise um ein Mehrfaches an. Aufgrund der hohen baumindividuellen Streuungen erreichten

die Unterschiede zwischen den Herkünften jedoch nicht das geforderte Signifikanzniveau. Die höchsten Mittelwerte der Prolingehalte wurde in den Herkünften aus *Belzig* (DE: MW=14,51 %) und *Jablonec* (CZ: MW=14,39 %) gemessen. Aber auch die beiden französischen Herkünfte akkumulierten hohe Prolinanteile (*Plateaux*: MW=13,70 %; *Pyrénées*: MW=13,48 %). Die höchste Streuung bestand zwischen den Buchen innerhalb der ukrainischen Herkunft aus *Pidkamin* (Abb. 15).

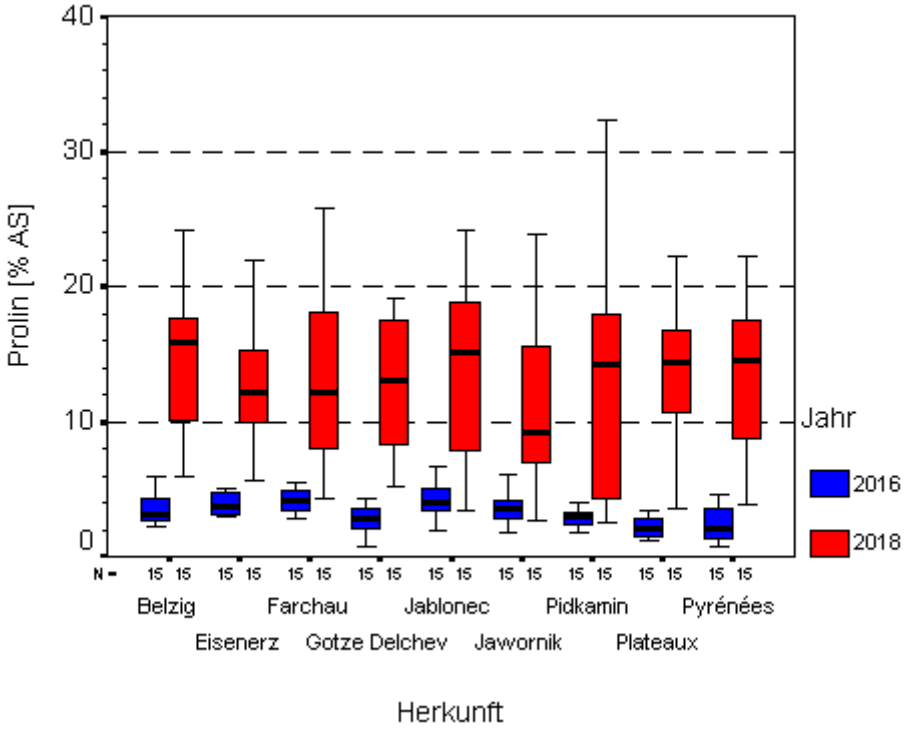


Abb. 15: Prozentuale Anteile der Aminosäure Prolin an den Gesamtgehalten an freien Aminosäuren in den Buchenblättern in den Untersuchungsjahren 2016 und 2018 differenziert nach Herkünften.

Ob die Anpassungsreaktionen während der Alarmphase der Stressreaktion erfolgreich waren, zeigt sich u. a. am **Wassergehalt der Blätter**. Bei guter Wasserversorgung im Jahr 2016 enthielten die Buchenblätter einen relativen Wassergehalt von 51,9 % (*Jawornik*, PL) und 54,7 % (*Pyrénées*, FR). Die geringeren Mittelwerte der Herkünfte aus *Jawornik* (PL) und *Farchau* (DE) unterschieden sich signifikant von den höheren Blattwassergehalten aller anderen Herkünfte.

Im Trockenjahr 2018 sanken die Mittelwerte der Wassergehalte mit Ausnahme der polnischen Herkunft bei allen anderen Buchen leicht ab, mit Mittelwerten zwischen 52,7 % (*Farchau*, DE) und 54,7 % (*Pyrénées*, FR). Die geringen Unterschiede waren weder zwischen den Herkünften noch zwischen den Untersuchungsjahren signifikant (Abb. 16).

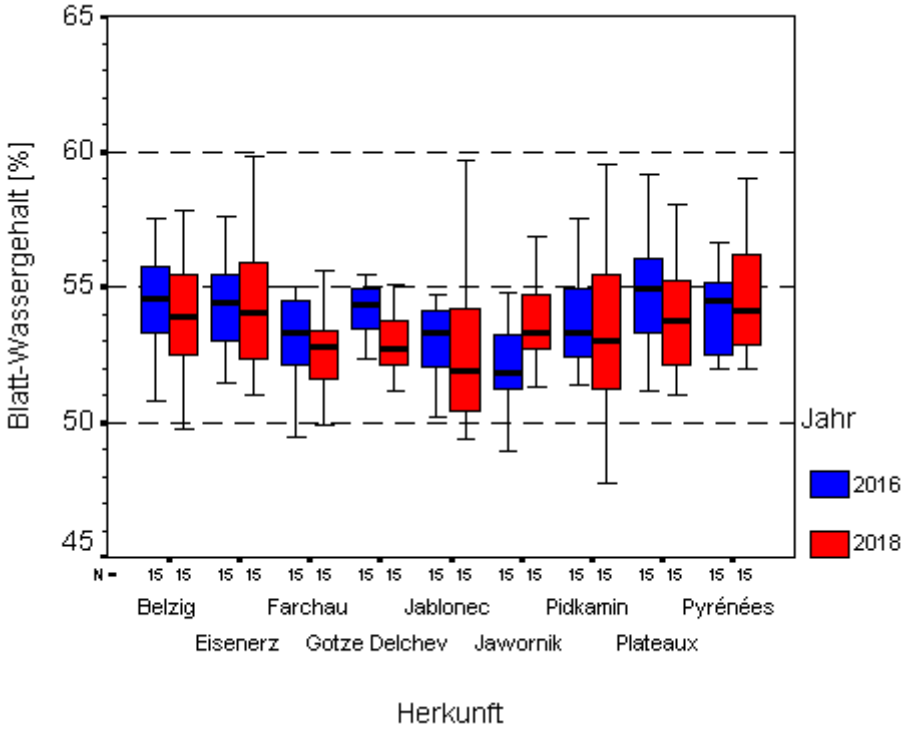


Abb. 16: Prozentualer Wassergehalt im Bezug zum Frischgewicht in den Buchenblättern in den Untersuchungsjahren 2016 und 2018 differenziert nach Herkünften.

Insgesamt belegen die untersuchten Biomarker erfolgreiche Anpassungsprozesse an den osmotischen Stress des Jahres 2018 mit großen baumindividuellen Unterschieden innerhalb der untersuchten Herkünfte. Es ließen sich auf der Grundlage der Einzelparameter jedoch kaum eindeutige Unterschiede auf der Ebene der Herkünfte finden. Unterschiede bestanden jedoch in der Intensität der Reaktionen.

Daher wurden die Einzelbäume unabhängig von ihrer Herkunft sogenannten *biochemischen Mustern* zugeordnet werden, die eine spezifische physiologischen Vitalitätsgruppe repräsentieren. Da die untersuchten biochemischen Inhaltsstoffe auch einige interkorrelative Beziehungen zeigten, wurden mit Hilfe einer Faktorenanalyse die wechselseitig korrelierten Variablen auf wenige, voneinander unabhängige Variablengruppen (Faktoren) reduziert. Trotz der Parameterreduktion sollte der Informationsverlust möglichst geringgehalten werden. Durch die Hauptkomponentenanalyse wurde das Spektrum auf jene Biomarker eingegrenzt, die den größten Beitrag zur Beschreibung des physiologischen Zustandes leisten. Unter Berücksichtigung des Kaiserkriteriums (Eigenwerte > 1) und Unterdrückung der Absolutwerte < 0,4 wurden aus den 13 Biomarkern der beiden Untersuchungsjahre drei Faktoren extrahiert, die 72 % der Gesamtvarianz erklären (Tabelle 8).
Die Bezeichnung der einzelnen Faktoren entspricht in der Regel dem biochemischen Parameter, der mit höchster Faktorladung in den entsprechenden Faktor eingeht bzw. einem äußeren Einflussfaktor, der diese Parameterkonstellation ausgelöst hat (z. B. Trockenstress, oxidativer Stress) (Tabelle 8).

Tabelle 8: Bezeichnung der drei extrahierten Faktoren auf Grundlage der physiologischen Interpretation (in Klammern: erklärte Varianz der Einzelfaktoren) zusammen mit den in den Faktoren enthaltenen Biomarkern mit den größten Korrelationskoeffizienten.

Faktor 1 (34,5 %) **Oxidativer Stress-Faktor**	**Faktor 2** (28,7 %) **Phenol-Faktor**	**Faktor 3** (8,8 %) **Wasser(-stress)-Faktor**
Chlorophyll-Carotinoid-Verhältnis (-0,81)	Folin-pos. Verb. (0,93)	Stärke (-0,85)
Ges. Chlorophyll (-0,80)	o-Diydroxyphenole (0,91)	∑ löslicher AS (0,75)
Ges. Ascorbat (0,73)	Procyanidine (0,81)	Prolin % (0,75)
Kohlenhydrate (0,73)	Proteine (-0,59)	Freie Aminosäuren (0,75)
Blatt-Wassergehalt (-0,65)		Osmolalität (0,55)

Unter Einbeziehung der drei Faktoren aus der Faktoranalyse wurde eine Clusteranalyse durchgeführt und sechs verschiedene Cluster identifiziert, denen sich alle Buchen der beiden Untersuchungsjahre einzeln zuordnen lassen (Tabelle 8).

In 67 Fällen wurden die Buchen dem Cluster 1 zugeordnet. Die Werte für den Faktor 1 als Indikator für oxidativen Stress sind in dieser Gruppe leicht erhöht. Diese Bäume zeichnen sich durch den signifikant geringsten Gehalt an phenolischen Inhaltssoffen aus (Faktor 2). Bei diesen Bäumen traten keine Trockenstressreaktionen (Faktor 3) auf (Tabelle 8 gelb-grüne Einfärbung in den Abb. 17 und 18).

Dem **Cluster 2** wurden 34 Fälle zugeordnet, die nur im Jahr 2016 auftraten und durch eine signifikant hohe Ausprägung des Faktors 2 (phenolische Inhaltstoffe) charakterisiert sind. Die stressphysiologisch relevanten Faktoren 1 und 3 sind mit geringen Werten unauffällig (Tabelle 8; blaue Einfärbung in den Abb. 17 und 18).

Dem **Cluster 3** wurden 49 Fälle zugeordnet, bei denen der Wert für den oxidativen Stress (Faktor 1) am höchsten und für die Faktor 2 am zweithöchsten ist. Der Wert für den Faktor 3 ist ähnlich gering wie bei den Bäumen des Clusters 1 (Tabelle 8; gelbe Einfärbung in den Abb. 17 und 18).

Nur 17 Fälle wurden dem Cluster 4 zugeordnet. Es repräsentiert die Buchen mit den besten Vitalitätszuständen, die nur im Untersuchungsjahr 2016 vorgefunden wurden. Sie sind durch einen hohen Chlorophyllgehalt (geringer Wert für Faktor 1), einen mittleren Phenolgehalt (Faktor 2) und einen unauffälligen Wert für den trockenstressrelevanten Faktor 3, der auch dem des Clusters 2 entspricht, ausgestattet (Tabelle 8; dunkelgrüne Einfärbung in den Abb. 17 und 18).

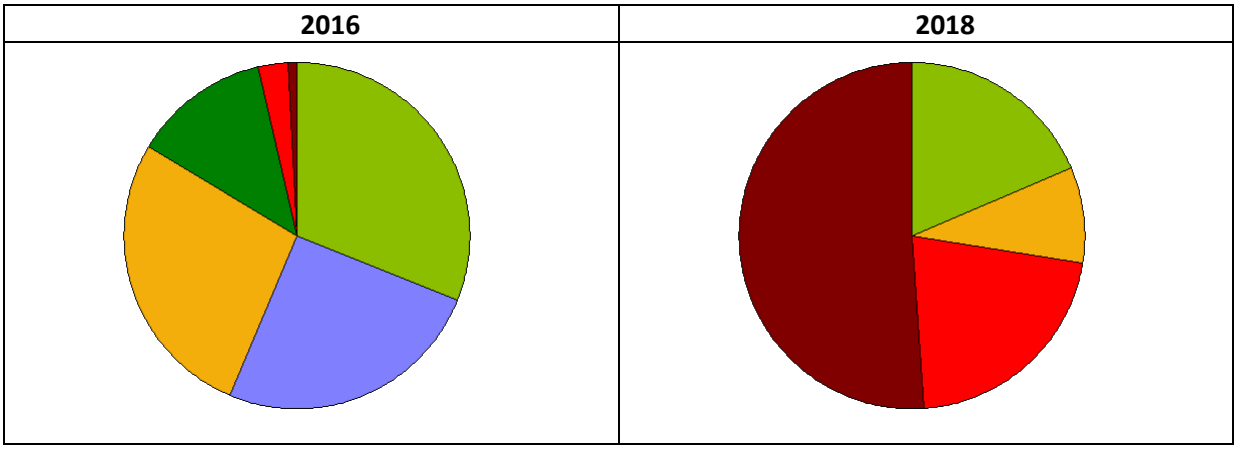
Dem **Cluster 5** wurden 33 Fälle mit der stärksten Trockenstressreaktion (Faktor 3) zugeordnet. Die Faktoren für den oxidativen Stress und die Ausstattung mit phenolischen Inhaltstoffen nehmen mittlere bzw. geringere Werte ein (Tabelle 8; rote Einfärbung in den Abb. 17 und 18).

Die 70 Fälle, die dem Cluster 6 zugeordnet wurden, repräsentieren Buchen mit den stärksten Anzeichen für oxidativen Stress (z.B. überdurchschnittlich hohe Gehalte an Carotinoiden und Ascorbat, Faktor 1) und gleichzeitig den zweithöchsten Wert für den trockenstressanzeigenden Faktor 3. Der verminderte Phenolgehalt entspricht dem des Clusters 5 (Tabelle 8; dunkelrote Einfärbung in den Abb. 17 und 18).

Vergleicht man die beiden Untersuchungsjahre unabhängig von der Herkunft der Buchen, so zeigt sich, dass unter den optimalen Wuchsbedingungen des Jahres *2016* die Buchen den sechs Clustern resp. biochemischen Mustern mit unterschiedlichen Anteilen zugeordnet wurden. Der überwiegende Teil der Buchen differenziert sich in den Clustern 1, 2, 3 und 4. Nur sehr wenige Bäume wurden den stressanzeigenden Clustern 5 und 6 zugeordnet.

Im Trockenjahr *2018* überwiegt dagegen der Anteil der Buchen, der ein stressphysiologisches Muster der Inhaltsstoffe aufweist (Cluster 5 und 6). Die Cluster 2 und 4, die sich u.a. durch hohe Chlorophyll-und Phenolgehalte auszeichnen, kommen nicht mehr vor. Nur wenige Buchen werden den Clustern 1 und 3 zugeordnet, die sich durch geringe und mittlere stressphysiologische Zustände auszeichnen (Abb. 17).

Abb. 17: Zuordnung aller untersuchten Buchen in die sechs ermittelten Cluster in Abhängigkeit der Untersuchungsjahre; Darstellung der Anzahl der Bäume pro Cluster als Häufigkeitskreisdiagramm (hellgrün - Cluster 1, blau – Cluster 2, orange - Cluster 3, dunkelgrün – Cluster 4, rot – Cluster 5, dunkelrot- Cluster 6).



Differenziert man die Clusterzuordnungen der Einzelbäume nach ihrer Herkunft so wurden auf der Versuchsfläche im Fläming im Jahr *2016* die meisten Buchen der beiden französischen Herkünfte *Plateaux* und *Pyrénées*, gefolgt von den Bäumen der österreichischen Herkunft *Eisenerz* dem Cluster 4 (dunkelgrün) mit dem optimalen Biomarkermuster zugeordnet. Buchen mit einer ebenfalls günstigen Konstellation von Blattinhaltsstoffen und sehr geringen Phenolgehalten (Cluster 1, gelb-grün) gehören überwiegend zu den Herkünften *Gotze Delchev* (BG)*, Belzig* (DE) und *Eisenerz* (AT) (Abb. 18).

Wie bei keiner anderen Herkunft zeigten sich im Untersuchungskollektiv der österreichischen Herkunft *Eisenerz* die größten Gegensätze in den biochemischen Mustern. Zum einen wurden die meisten Buchen den physiologisch günstigen Clustern 1 und 4 zugeordnet, zum anderen war hier auch der Anteil der Buchen mit den stressanzeigenden Clustern 5 und 6 am höchsten. Mit Zuordnungen zu sechs unterschiedlichen Clustern zeigte diese Herkunft die höchsten biochemischen Varianzen innerhalb des Untersuchungskollektivs (Abb. 18).

Im Gegensatz dazu wurden die Buchen der polnische Herkunft *Jawornik* nur zwei Clustern (2 und 3) zugeordnet, die sich nur durch die unterschiedliche hohen Phenolgehalte unterschieden. Eine ähnliche günstige Konstellation wies die deutsche Herkunft aus *Farchau* auf, wo zusätzlich Buchen des Clusters 1 mit geringsten Phenolgehalten hinzukamen.

Aufgrund der hohen Anzahl von Buchen mit hohen Phenolgehalten wurden dem Cluster 2 besonders viele Bäume der Herkünfte *Jablonec* (CZ), *Jawornik* (PL) und *Farchau* (DE) zugeordnet (Abb. 18).

Unter den Trockenstressbedingungen des Jahres 2018 nahm die Vielfalt der biochemischen Muster deutlich ab und die Herkünfte zeigten ähnliche Anteile in den Verteilungen der stressanzeigenden Cluster 5 und 6. Der höchste Anteil mit Buchen des günstigen Clusters 1 wurde in der bulgarischen Herkunft *Gotze Delchev* nachgewiesen*,* während im Baumkollektiv der französischen Herkunft aus *Plateaux* keine einzige Buche stressarme biochemische Muster aufwies. Interessanterweise wurden aus der deutschen Herkunft *Farchau* mehr Bäume diesem relativ stressarmen Cluster geordnet wie der heimischen Herkunft aus *Belzig* (Abb. 18).

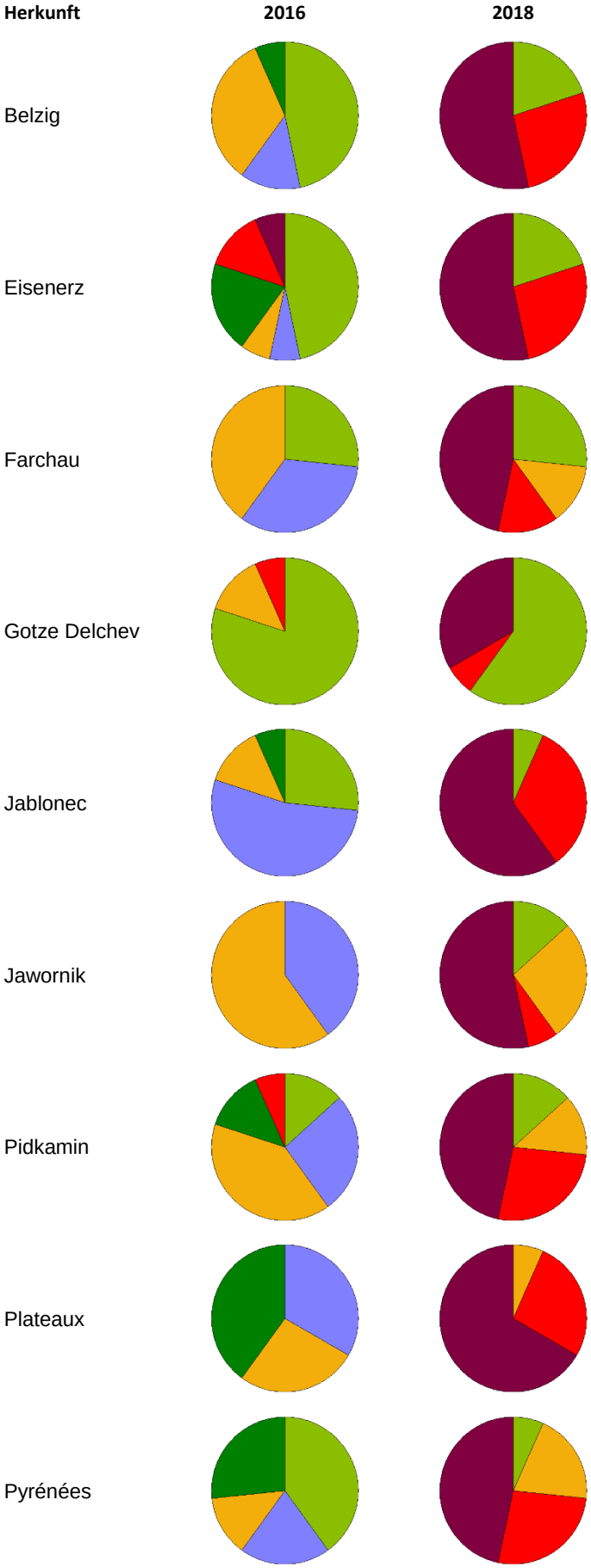


Abb. 18: Zuordnung aller untersuchten Buchen in die sechs ermittelten Cluster in Abhängigkeit der Untersuchungsjahre und Herkünfte; Darstellung der Anzahl der Bäume pro Cluster als Häufigkeits-kreisdiagramm
(gelbgrün - Cluster 1, lila – Cluster 2, orange - Cluster 3, dunkelgrün – Cluster 4, rot – Cluster 5, dunkelrot- Cluster 6).

6.4 Fazit

Innerhalb des Verbreitungsgebiets der Buche haben sich unterschiedliche physiologische Ökotypen entwickelt, die sich insbesondere in der Ausstattung mit phenolischen Inhaltstoffen widerspiegelt. Hier wurden drei unterschiedliche Gruppierungen gefunden, die sich jedoch nicht in geografische Zonen abgrenzen lassen. Übereinstimmungen bestehen bei den beiden französischen Herkünfte, die der Gruppe „mittlerer Phenolgehalte“ und bei der polnischen und tschechischen Herkunft, die der Gruppe „hoher Phenolgehalte“ zugeordnet wurden. Die Ursachen für die signifikant unterschiedlichen Phenolgruppen der beiden deutschen Herkünfte *Belzig* (Gruppe 1) und *Farchau* (Gruppe 3) sind derzeit nicht zu klären.

Die Trockenheit im Jahre 2018 löste unabhängig von der Herkunft Trockenstressreaktionen aus, die zu einer Vereinheitlichung der biochemischen Muster führte. Alle untersuchten Buchen folgen bei Wassermangel einer klassischen Stresskaskade, die durch charakteristische Konzentrationsänderungen einer Reihe von Inhaltstoffen gekennzeichnet ist, und bereits bei anderen Baumarten beschrieben wurde (KÄTZEL und LÖFFLER 2014).

Die insgesamt erfolgreiche Osmoregulation der Blätter im Sommer 2018 wird letztlich an den Blattwassergehalten deutlich, die trotz der Trockenheit auch kaum abfielen. Diese überlebenswichtigen Anpassungs- und Stressreaktionen überlagerten die biochemische Vielfalt der biochemischen Muster des Jahres 2016.

Im Rahmen des europäischen Forschungsnetzwerkes STREeSS (*Studying Tree Response to Extreme Events*) zeigte sich, dass junge Buchen aus trockeneren Herkunftsgebieten bei extremer Trockenheit eine höhere Toleranz aufwiesen (*http://streess-cost.eu*). Dabei bestand eine deutliche Altersabhängigkeit. Bei älteren Buchen traten Cavitationen (Lufteintritt in die Leitungsbahnen) deutlich häufiger auf als bei Jungpflanzen. SCHRAML und RENNENBERG (2002) berichten ebenfalls, dass sich europäische Buchenprovenienzen aus trockneren Regionen besser an Wassermangel anpassen können als Herkünften auf feuchten Habitaten. Dass sich diese Aussage auf der Herkunftsebene nicht verallgemeinern lässt, zeigt sowohl die hohe Sensitivität als auch der reduzierte Wachstumserfolg der französischen Herkunft *Plateaux*.

Die heimischen Buchen aus *Belzig* nahmen hinsichtlich ihrer Wuchsleistung vordere (BHD) und mittlere Ränge (Baumhöhe) ein. Die Trockenstressreaktion 2018 leiteten sie mit einem starken Anstieg der Osmolalität ein, wobei sowohl die Stärke-, Blattwasser- als auch die Chlorophyllgehalte noch immer auf einem vergleichsweise hohen Niveau verblieben. Angesichts dieser positiv zu bewertenden Anpassungsreaktionen überraschten die überdurchschnittlich hohen Gehalte an freien Aminosäuren und Prolin, die eine starke Stressreaktion belegen. In der Gesamtschau der Biomarkermuster rangiert die heimische Herkunft mit einem relativ hohen Anteil an Buchen, die den Clustergruppen 5 und 6 zugeordnet wurden, auf dem Niveau der österreichischen Herkunft *Eisenerz* und hinter den Herkünften aus *Farchau* und *Gotze Delchev*.

Die Betrachtung der einzelbaumbasierten physiologischen Muster jeder Herkunft zeigt, dass die Selektion von trockenstresstoleranten Individuen bzw. Beständen erfolgversprechender ist als die Empfehlung von Herkunftsgebieten. Bei der Darstellung der Ergebnisse wurde bewusst die Namen der Erntepopulationen in den einzelnen Ländern genannt, da aus den Ergebnissen der jeweils 15 untersuchten Bäume einer Population nicht auf Herkunftsgebiete (oder Herkunftsländer) geschlossen werden kann. Die Unterschiede zwischen den beiden französischen Herkünften belegen dies eindrucksvoll. Die größten baumindividuellen biochemischen Unterschiede bestehen innerhalb der Herkunft *Eisenerz* und die größten Übereinstimmungen innerhalb der Herkunft *Jawornik*. Die Untersuchungsergebnisse zeigen enge Parallelen zu Ergebnissen aus einem Eichenherkunftsversuch in Brandenburg (KÄTZEL et al. 2019, 2020), nach denen innerhalb einzelner Herkünfte sowohl Bäume mit einer erhöhten als auch mit einer verminderten Trocken- (und Spätfrost-) Toleranz vorkamen.

Die Buchen zeigen insbesondere unter günstigen Wuchsbedingungen eine hohe physiologische Plastizität mit teilweise unterschiedlichen, individuellen biochemischen Mustern. Hier ergeben sich Selektionsmöglichkeiten von Einzelbäumen mit einer erhöhten Stresstoleranz zur Anlage von Samenplantagen, die derzeit

erfolgversprechender (leider auch zeitaufwendiger) zu sein scheint, als die Empfehlung von Herkünften auf der Grundlage von Herkunftsgebieten.

Dank

Die Anzucht und Anlage der Buchenversuche der 1990er Serien wurden von der Konzertierten Aktion der Kommission der Europäischen Gemeinschaften (AAAIR3-Programm, Zuschuss-Nr. CT94-2091) finanziert.

Referenzen

ASPINALL D, PALEG LG (1981): Prolin accumulation: physiological aspects. S. 205–241. In: PALEG LG, ASPINALL D (eds.): The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. Academic Press, New York.

BOLTE A, CZAJKOWSK, T, KOMPA T (2007): The north-eastern distribution range of European beech - A review. Forestry: An International Journal of Forest Research, Volume 80, Issue 4, October 2007: 413–429. doi.org/10.1093/forestry/cpm028.

BORGHETTI M, GIANNINI R (1981): Indagini preliminari sulla variazione di alcuni caratteri in piantine di faggio di provenienza diversa. Estratto dagli Annali del Academia Italiana die Scienze Forestali 31: 119-134.

BURGER H (1926): Untersuchungen über das Höhenwachstum verschiedener Holzarten. Mitt. d. Schweiz. Centralanst. F.d.forstl. Versuchswes. Bd. XIV: 29-158.

BURGER H (1933): Dänische und schweizerische Buchen. Schweiz. Zeitschr. F. Forstwes: 372-375.

HANDA S, HANDA AK, HASEGAWA PM, BRESSAN RA (1986): Prolin accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress. Plant Physiol. 80: 935–945.

HAUCH LA (1915): Om Proveniensens Indflycelse paa Sommerskud hos Eg og Bog [Zum Einfluss der Herkunft auf den Sommertrieb von Eiche und Buche]. Bot. Tidsskr. Bd. 32: 285-307.

HOFFMANN J (1961): Ergebnisse eines Anbauversuchs mit Buchen verschiedener Herkunft im Tharandter Wald. Forstw. Cbl 80 (7-8): 240-252.

HOFFMANN J (1962): Die bisherigen Ergebnisse von Buchenprovenienzversuchen. AFZ 17 (8): 121-123.

JONES MM, OSMOND CB, TURNER NC (1977): Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sunflower in response to water deficites. Aust. J. Plant Physiol. 7: 193–205.

KÄTZEL R, LÖFFLER S (2014): Physiologische Indikatoren zur Bewertung von Trockenstress bei Bäumen. S. 152-157. In: Generaldirektion der Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg (Hrsg.): Wasserhaushalt und Pflanzen - Historische Gärten im Klimawandel – Empfehlungen zur Bewahrung.

KÄTZEL R, LÖFFLER S (2016): 20 Jahre Biomarker als Vitalitätsindikatoren im Forstlichen Umweltmonitoring - Ergebnisse und Erfahrungen. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 63: 174-189.

KÄTZEL R, BECKER F, KANTER G, HLAWATI N, LÖFFLER S (2019): Herkunftsversuche als Bewährungsprobe bei Witterungsextremen: Südosteuropäische Herkünfte der Trauben-Eiche (*Quercus petraea*) in Brandenburg - Eine erste Auswertung. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 67: 81-98.

KÄTZEL R, LIESEBACH M, BECKER F, LÖFFLER S (2011): Zur physiologischen Differenzierung der Rot-Buche am Beispiel einer Fläche des „Internationalen Herkunftsversuches 1996/98 im Fläming. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 71: 68-85.

KÄTZEL R, LÖFFLER S, BECKER F (2020): Untersuchungen zur Klimaanpassung südosteuropäischer Herkünfte der Trauben-Eiche (*Q. petraea*) in Brandenburg - Eine erste Auswertung. Thünen-Report 76: 23-36.

KÄTZEL R, ZANDER M, LÖFFLER S (2015): Wenn der Durst kommt – Eiche, Buche, Kiefer, Douglasie im Trockenstresstest. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 55: 40-54.

KIENITZ M (1879): Über Formen und Abarten heimischer Waldbäume. Forstl. Zeitschr.: 241-260, 297-327

KLEINSCHMIT J, SVOLBA J (1996): Ergebnisse der Buchenherkunftsversuche von Krahl-Urbach. AFZ/DerWald (14): 780-782.

KÖNIG AO (2005): Provenance research: evaluating the spatial pattern of genetic variation. S. 275-333. In GEBUREK T, TUROK J (eds): Conservation and management of forest genetic resources in Europe. Zvolen. Arbora Publishers.

KRAHL-URBAN J (1953): Rassenfragen bei Eichen und Buchen. AFZ Wald (13): 478-480.

KRAHL-URBAN J (1958): Vorläufige Ergebnisse der Buchenprovenienzversuche. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 129: 242-251.

LARSEN BJ (1985): Beech provenances in Denmark. Mitt. d. BFH 150: 85-91.

LICHTENTHALER HK, BUSCHMANN C (1984): Photooxidative changes in pigment composition and photosynthetic activity of air-polluted spruce needles (*Picea abies* L.). Advances in Photosynthetic Research, Vol IV (3): 245–250.

LIESEBACH M (2012): Der Internationale Herkunftsversuch mit Rot-Buche von 1993/95 – Beschreibung der ausgewählten sechs Herkünfte und zwei Versuchsflächen. Landbauforsch 62 (4): 159-168.

LIESEBACH M (2015): The international network of European beech trials – the base to study intra-specific variation. S. 169-187. In LUKACIK I, SARVASOVA I (eds) Dendroflora strednej Europy - vyuzizie poznatkov vo vyskume, vzdelavani a praxi: Zbornik bol vydany pri prilezitosti 50, vyrocia zalozenia Arboreta Borova hora; Zvolen, 10.-11 jun 2015. Zvolen: Technicka Univerzita vo Zvolene.

LIESEBACH M, SCHÜLER S, WOLF H (2011): Klima-Wachstums-Beziehungen von Rotbuchen-Herkünften (*Fagus sylvatica* L.) im Vergleich. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz 69/11: 79-91.

LIESEBACH M, ARENHÖVEL W, JANßEN A, KAROPKA M, RAU H-M, SCHIRMER R, SCHNECK D, SCHNECK V, STEINER W, SCHÜLER S, WOLF H (2017): Planung, Anlage und Betreuung von Versuchsflächen der Forstpflanzenzüchtung. Handbuch für die Versuchsanstellung. Thünen Report 49, 80 S.

MADSEN SF (1985): Progeny trials with approved Danish beech seed stands. Mitt. d. BFH 150: 92-98.

MÜNCH E (1948): Vergleichender Anbauversuch mit Buchen verschiedener Herkunft. Beiträge zur Forstpflanzenzüchtung. Bayer. Landwirtschaftsverlag.

MUHS H-J, VON WÜHLISCH G (1992): Research on the Improvement of Beech in the Last Decade. In: ELENA ROSSELLO R (ed.) Proceedings. Congreso International del Haya. Pamplona 1992: 63-89

OREN R, WERK KS, BUCHMANN N, ZIMMERMANN R (1993): Chlorophyll-nutrient relationships identify nutrionally caused decline in *Picea abies* stands. Can. J. For. Res. 23: 1187–1195.

ROBSON TM, BENITO GARZON M, ALIA MIRANDA R et al. (2018): Phenotypic trait variation measured on European genetic trials of *Fagus sylvatica* L. Sci. Data 5: 180149 doi: 10.1038/sdata.2018.149

RZEZNIK Z (1988): Ergebnisse der 20-jährigen Rotbuchenprovenienzuntersuchungen in Polen. 3. IUFRPO-Buchensymposium (Proc.). Zvolen 3.-6.6.1988: 65-76

SANGÜESA-BARREDA G, DI FILIPPO A, PIOVESAN G, ROZAS V, FIORE L, GARCÍA-HIDALGO M, GARCÍA-CERVIGÓN A, MUÑOZ G D, BALIVA M, OLANO J (2021): Warmer springs have increased the frequency and extension of late-frost defoliations in southern European beech forests. Science of the Total Environment 775. DOI:10.1016/j.scitotenv.2021.145860.

SCHMEINK B, WILD A (1990): Studies on the Content of Free Amino Acids in Needles of Undamaged and damaged Spruce Trees at a Natural Habitat. J. Plant Physiol. 136: 66–71.

SCHOBER R (1971): Die Rotbuche. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M.

SCHRAML C, RENNENBERG H (2002): Ökotypen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) zeigen unterschiedliche Reaktionen auf Trockenstreß. Forstwiss. Centralblatt 121: 59-72.

ŠEHO M, SOMMER C, KOHNLE U (2021): Der internationale Buchenherkunftsversuch von 1996/1998: Wachstums- und qualitätsrelevante Merkmale unter unterschiedlichen Standorts- und Klimabedingungen in Süddeutschland. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 191 (11/12): 243-281.

SINDELAR J, STRNADY VJ (1988): Ergebnisse einiger phänologischer Untersuchungen in den Provenienzflächen der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). 3. IUFRPO-Buchensymposium (Proc.). Zvolen 3.-6.6.1988: 47-56.

SITTLER B (1981): Experimentell ökologische Untersuchungen an 15 slovenischen Buchenprovenienzen zur Beurteilung ihrer Anbaufähigkeit in der Bndesrepublik Deutschland. Diss. Forstw. Fak. Albert-Ludwigs-Universität zu Freiburg/Br.

STEWART CR (1981): Prolin Accumulation: Biochemical Aspects. In PALEG LG, ASPINALL D (eds): The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. Academic Press, New York: 243-259.

VON SUMRE CF (1989): Phenols and Phenolic Acids. In HARBORNE JB (ed): Methods in Plant Biochemistry: Plant Phenolics. Academic Press London, San Diego: 20–32.

TEISSIER DU CROS E (1993): Study of beech variability in France. S. 131-143. In: MUHS H-J, VON WÜHLISCH G (eds) The scientific basis for the evaluation of the genetic resources of beech (Proc.).

TESCHE M (1987): Prolin in Bäumen. I. Prolin in gesunden Bäumen. Flora 179: 335–343.

THOMASIUS H, GÄRTNER H (1991): Auswertung eines Buchenprovenienzversuches von Münch hinsichtlich Wachstum, Qualität und Phänologie. 3. IUFRPO-Buchensymposium (Proc.). Zvolen 3.-6.6.1988: 31-45

TYREE MT, JARVIS PG (1982): Water in tissues and cells. S. 36–77. In: LANGE OL, NOBEL PS, OSMOND CB, ZIEGLER H (eds.): Encyclopedia of plant physiology. New series. Vol. 12B. Physiological plant ecology II. Water relations and carbon assimillation. Springer-Verlag, Berlin.

VON WÜHLISCH G, LIESEBACH M, MUHS H-J, STEPHAN BR (1998): A network of international beech provenance trials. S. 164-172. In: TUROK J, KREMER A, DE VRIES SGM (eds.): First EUFOERGEN Meeting on Social Broadleaves, 23.-15. October 1997, Bordeaux. IPPGRI, France.

Autorinnen und Autoren

MIRKO LIESEBACH, KATHARINA J. LIEPE
Thünen-Institut für Forstgenetik, Sieker Landstraße 2, 22927 Großhansdorf
Kontakt: mirko.liesebach@thuenen.de

MUHIDIN ŠEHO
Bayerisches Amt für Waldgenetik, Forstamtsplatz 1, 83317 Teisendorf

RALF KÄTZEL, FRANK BECKER, SONJA LÖFFLER
Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde, Alfred-Möller-Str. 1, 16225 Eberswalde