Mitt. Deutsch. Dendrol. Ges. (MDDG)	98	111-130	2013	ISBN 978-3-8001-8331-9
-------------------------------------	----	---------	------	------------------------

Genetische Charakterisierung von Süntel-Buche und von schlitzblättriger Rot-Buche (Fagus sylvatica L.) mit nuklearen Mikrosatellitenmarkern

Heike Liesebach und Gerhard Dönig

Zusammenfassung

Süntel-Buche und schlitzblättrige Cultivare der Rot-Buche (Fagus sylvatica L.) spielen eine große Rolle bei der Park- und Gartengestaltung. In großer Vielfalt werden diese Formen im Arboretum Altdorf im Nürnberger Land kultiviert. Mit der Genotypisierung von insgesamt 160 Proben mit 8 nuklearen Mikrosatelliten-Markern wurden zahlreiche Exemplare identifiziert, die genetisch identische Replikate besitzen und aus einem Ursprungsindividuum vegetativ vermehrt wurden. Weiterhin konnten auch einige Fälle der Abstammung von Sämlingen von bestimmten Mutterbäumen gefunden werden. Hochvariable Mikrosatelliten-Marker haben sich als geeignet erwiesen, vegetative und generative Abstammungen nachzuweisen.

Abstract

Genotyping of twisted and cut-leaved trees of beech (Fagus sylvatica L.) by nuclear microsatellite markers

Twisted and cut-leaved beeches are important elements in landscape gardening. Besides they are cultivated in the Arboretum Altdorf near Nuremberg, Bavaria. The genotyping of 160 samples by nuclear microsatellite markers resulted in the identification of numerous specimens with identical genotypes derived from an origin individual. Furthermore, some seedlings could be assigned to certain mother trees. Highly variable microsatellite markers are suitable to detect vegetative propagation and generative parentage.

1 Einleitung

Besonderer Habitus oder außergewöhnliche Blattformen von Bäumen, die von der "normalen" Variationsbreite phänotypischer Merkmale abweichen, werden bei vielen Arten beobachtet. Sie haben teilweise eine dekorative Wirkung, und deshalb werden solche Exemplare an exponierten Stellen z. B. in Parkanlagen gepflanzt. Zu diesen besonderen Formen bei der Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.) gehören auch Süntel-Buche und schlitzblättrige bzw. farnblättrige Formen (Dönig 1994).

Der Süntel, ein Bergzug im Weserbergland, gehört heute zum Naturpark Schaumburg-Hameln. Zahlreiche volkstümliche Namen gibt es im Deutschen für die Süntel-Buche: Krüppelbuche, Schlangenbuche, Krause Buche, Schirmbuche, Hexenbuche, Hexenholz, Zick-Zack-Buchen und Renkbuchen. Eine reich bebilderte und ausführliche Beschreibung von Süntel-Buchen in Deutschland und vielen anderen Ländern Europas ist kürzlich veröffentlicht worden (Dönig 2012).

Die ersten Nennungen mit der Bezeichnung "Süntelbuche" sind bei NÖRDLINGER (1874) zu finden: "Ein in der Literatur (zitiert: TILEMANN 1844) bekanntes Beispiel erster Art sind die Zickzack- oder sogenannten Süntelbuchen (vom Jurazug Süntel) in Hannover ... ". Von einer Exkursion der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft berichtet Beissner (1897): "Ein Ausflug galt dem Süntel und zwar zumal den so interessanten Süntelbuchen, einer eigentümlichen Wuchsform der Rotbuche, welche Willkomm in



Abb. 1: Aus dem DDG-Archiv: Originalabbildung der Nienfelder Süntel-Buche, vor 1900



seiner forstlichen Flora, Seite 439 als Schlangenbuche Fagus silvatica L. var. tortuosa Hort. beschrieben hat. Ein stärkeres, einst nach Herrenhausen bei Hannover verpflanztes Exemplar, ist dort als Fagus silvatica suntalensis bezeichnet." WEHRHAHN schreibt 1910 dazu: " "Krüppelbuchen" nennen sie die Bewohner der Gegend und bezeichnen damit den Wuchs sehr treffend. Der knieförmige, hin- und hergebogene Stamm, so schwerfällig anscheinend, als besitze er nicht die Kraft, sich vom Boden zu erheben, und die zerzausten, verknorrten und verkrüppelten Zweige machen die charakteristischen Formen der Süntelbuchen aus." Der deutsche Botaniker Ernst Schelle beschrieb sie 1903 unter dem Namen Fagus silvatica sünteliensis hort. Fasst man sie als Varietät auf, wird sie aktuell meist mit dem wissenschaftlichen Namen Fagus sylvatica var.

Abb. 2: Stamm der Süntel-Buche, Bad Münder an der Ockerbeeke



Abb. 3: Schlangenäste einer Süntel-Buche in Gestorf

suentelensis Schelle bezeichnet (z.B. Schmidt & Hecker 2009). In Frankreich wird der Name F. sylvatica L. var. tortuosa Pépin 1861 verwendet.

1.1 Eigenschaften der Süntel-Buche

Die Süntel-Buche unterscheidet sich in Stamm-, Kronen-, Ast- und Zweig-Merkmalen von der "normalen" Buche.

- Süntel-Buche erreicht auch im höheren Alter nicht die Gesamthöhe der "Normalform" der Rot-Buche und bildet oftmals ein pilzförmiges, dichtes Kronendach aus (Abb. 1).
- Der Stamm ist kurz mit tief ansetzender Krone, spannrückig und gedrungen und hat oft Drehwuchs. Die Vielfalt der Kronenausbildung ist enorm: Über horizontalem Kriechwuchs bis zu aufsteigend fast symmetrischem Kronendach oder auch ganz sparrig ausladenden Kronen sind alle denkbaren Gestalten möglich (Abb. 2).

- Die Äste und Zweige wachsen häufig abgeknickt, oder sind von schlangenförmigem oder Zickzack-Wuchs (Abb. 3).
- Gelegentlich wachsen aus Wurzelschösslingen neue Stämme (Volkspark Lauenau und Luttringhausen); bei normaler Rot-Buche ist das recht selten (Abb. 4).

Die besondere Wuchsform der Süntel-Buche hat vielerorts Interesse gefunden. Eine besonders umfangreiche Sammlung befindet sich im Arboretum Altdorf, einem privaten Arboretum im Nürnberger Land, das von Gerhard Dönig und seiner Frau Gisela seit 1987 betrieben wird. Sie beschäftigen sich seit 25 Jahren mit der Sammlung von Süntel-Buchen und anderen besonderen Formen der Rot-Buche sowie fremdländischen Buchenarten (Dönig 2009). Die meisten Exemplare wurden von gesammelten Reisern mit der Methode der Grün-Veredlung hergestellt (Dönig 1991).

Süntel-Buchen wurden früher von ihren Naturstandorten in Parks und Gärten gebracht. Das



Abb. 4: Schösslinge mit eigenem Wurzelwerk, dargestellt auf einer Informationstafel im Wald von Verzy (drageon = Wurzelschössling; marcotte = Absenker)

geschah wahrscheinlich sowohl als Pflanzung von Sämlingen als auch mit der Methode der Veredlung. Da die Herkunft der Exemplare meist nicht vermerkt wurde, ist es nun interessant zu erfahren, ob Duplikate in der Sammlung im Arboretum Altdorf vorhanden sind und ob Süntel-Buchen untereinander verwandt sind. Die Sammlung im Arboretum beruht auf entnommenem Material von zahlreichen Standorten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es neben verschiedenen Naturstandorten in Deutschland auch bedeutende Vorkommen in Frankreich, Dänemark und Schweden gibt (Dönig 2012).

1.2 Zur Benennung innerhalb einer Art

Alles hier beschriebene Material gehört zu Fagus sylvatica L. Diese Art wird hauptsächlich forstlich genutzt, umfasst aber auch verschiedene Varietäten und Formen, die gärtnerisch verwendet werden. Die verschiedenen Varietäten und Formen werden aufgrund morphologischer Merkmale wie z.B. Habitus oder besondere Blattformen beschrieben. Dabei können jeweils mehrere Genotypen einer Varietät oder Form existieren. Wenn Hybriden, Varietäten oder Formen, aber auch spontan entstandene Mutanten ohne weitere taxonomische Bezeichnung, gezielt vermehrt und kultiviert werden, können sie zu Cultivaren werden, wenn ein Name von einer entsprechenden International Cultivar Registration Authority (ICRA) akzeptiert und registriert wurde. Die korrekte Benennung kultivierter Pflanzen wird durch den Internationalen Code der Nomenklatur der Kulturpflanzen (International Code of Nomenclature for Cultivated Plants, ICNCP) geregelt. Für die Cultivare der Gattung Fagus L. ist der Brooklyn Botanical Garden als Mitglied der American Association of Botanical Gardens and Arboreta die zuständige International Cultivar Registration Authority.

Zurzeit gibt es bei der Rot-Buche keine geprüften Sorten. Alle mit einem Namen in Hochkommata versehenen Buchen sind Cultivare. Die Schreibweise der in dieser Arbeit verwendeten Namen richtet sich weitgehend nach der "Namenliste Gehölze 2010–2015", eines in 4 Sprachen erscheinenden und regelmäßig aktualisierten Standardwerkes aus Wageningen, das für die Gattung Fagus u. a. die Quelle "Die Park- und Gartenformen der Rotbuche Fagus sylvatica L." (Dönig 1994) nennt. Es steht auch eine Webseite mit einer Datenbank zur Verfügung (http://www.internationalplantnames.com/).

1.3 Genetische Marker

Erste genetische Untersuchungen mit Isoenzymmmarkern wurden in Frankreich durchgeführt, um an drei Standorten, dem Forêt Domaniale de Verzy, dem Süntel und dem Dalby-Söderskogs in Südschweden, jeweils normal gewachsene Buchen ("communs") mit Süntel-Buchen ("tortillards") zu vergleichen. Dabei wurden insgesamt mehr als 500 Buchen an 12 Markern charakterisiert. Im Ergebnis wurden

zwar Unterschiede zwischen diesen drei Standorten gefunden, aber nicht zwischen den nach Habitus gebildeten Gruppen innerhalb der drei Populationen (Démesure et al. 1995). Sehr ähnlich waren die Ergebnisse beim Vergleich von normal gewachsenen Buchen mit Tortuosa-Buchen aus Verzy und dem Süntel mit RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA)-Markern (GALLOIS et al. 1998). Eine kleine Studie mit Süntel-Buchen aus Lauenau und Raden mit Isoenzym-Markern wurde von Gruber unternommen (2002). Mit 10 Isoenzymmarkern, wobei nur 8 variierten, konnten bei 59 untersuchten Proben 32 verschiedene Genotypen gefunden werden. Dabei entsprach die Variation der Süntel-Buchen wiederum im Wesentlichen den bekannten Isoenzym-Variationsmustern der Rot-Buche.

Heute stehen für die Baumart Fagus sylvatica für genetische Charakterisierungen DNA-Marker, sog. nuklearen Mikrosatelliten (oder SSRs, Simple Sequence Repeats), zur Verfügung. Dieser Markertyp weist eine sehr große Variabilität auf und hat sich schon bei zahlreichen Pflanzenund Tierarten zur Identifizierung und Aufklärung von Verwandtschaftsbeziehungen bewährt. Marker dieses Typs werden auch für menschliche DNA-Proben in der Gerichtsmedizin eingesetzt. In einer kleinen Untersuchung an der Universität Hannover wurden 38 Buchen, hauptsächlich Süntel-Buchen, mit 5 Markern untersucht (Bon-HAGEN 2012), wobei wegen methodischer Schwierigkeiten nur etwa die Hälfte der Daten auswertbar war.

Am Thünen-Institut für Forstgenetik in Waldsieversdorf (Brandenburg) konnte Probenmaterial aus dem Arboretum Altdorf mit bereits für andere Untersuchungen an Buche etablierten nuklearen Mikrosatelliten-Markern analysiert werden (Liesebach 2012). Mit Hilfe der Laborergebnisse und der Datenauswertung soll versucht werden, auf folgende Fragen Antworten zu finden:

- 1. Welche Buchen aus dem Arboretum Altdorf sind genetisch identisch?
- 2. Welche Buchen sind genetisch ähnlich und gehören evtl. einer Verwandtschaftsgruppe an?
- 3. Lassen sich evtl. frühere "Vermehrungswege" auffinden?

2 Material und Methoden

2.1 Material

Blattproben von insgesamt 160 Individuen wurden im Sommer und Herbst des Jahres 2011 entnommen und bei – 80°C bis zur Analyse gelagert. Der überwiegende Teil des Materials sind Süntel-Buchen aus dem Arboretum Altdorf, einige Proben stammen aber auch von Ursprungsstandorten aus Fleringen, Blankenheim, Heidelberg, Odershausen, Hartha bei Tharandt, Molsberg und der Abtei Rommersdorf. Die Pflanzen waren fast alle veredelt; lediglich ein Exemplar aus Kelkheim und 8 Sämlinge aus einer Aussaat von Bucheckern aus dem Süntel von 2005 sind wurzelecht.

Unter den beprobten Pflanzen befanden sich auch sechs schlitzblättrige Formen (Tab. 1). Trotz der großen Ähnlichkeit der Blattformen (Nr. 200 bis Nr. 204) lassen sich Unterschiede dann deutlich erkennen, wenn alle Exemplare an einer Stelle wie im Arboretum Altdorf stehen

Tab. 1 Übersicht zu schlitzblättrigen Formen der Rot-Buche, die genetisch charakterisiert wurden

Name	Individuen- Nr.	entstanden	Herkunft
F. sylvatica 'Laciniata'	200	1795	Americká zahrada, CZ
F. sylvatica 'Incisa'	201	1817	Americká zahrada, CZ
F. sylvatica 'Asplenifolia'	202	1811	Kassel Wilhelmshöhe
F. sylvatica 'Laciniata'	203	unbekannt	Baumschule Bruns Bad Zwischenahn
F. sylvatica 'Altdorfer Spitz'	204	1987	Arboretum Altdorf
F. sylvatica 'Ansorgei'	205	1884	Baumschule

(s. auch Abb. 8). 'Laciniata' hat eine offene Krone mit recht waagerecht verlaufenen Zweigen (Nr. 200). 'Incisa' trägt dichte Blattbüschel an den Zweigen (Nr. 201). 'Asplenifolia' wird ein großer mächtiger Baum wie im Schlosspark Pillnitz oder in Kassel-Wilhelmshöhe. Im Gegensatz zu den anderen schlitzblättrigen Formen im Arboretum Altdorf bildet 'Asplenifolia' auch 'Grandidentata'-förmige oder sogar ganzrandige Blätter aus (Nr. 202). Die Blätter der 'Laciniata' der Baumschule Bruns sind etwas ovaler (Nr. 203). Der Sämling 'Altdorfer Spitz' aus dem Arboretum Altdorf wiederum ist ganz regelmäßig gezähnt (Nr. 204). Klar abweichend ist der seit 1904 gehandelte Cultivar 'Ansorgei' (Nr. 205), der aus der Bestäubung einer 'Asplenifolia' mit einer Blut-Buche entstanden sein soll (Ansorge 1911).

2.2 Labormethoden

Die DNA-Extraktion erfolgte mit einer Standardmethode modifiziert nach Dumolin et al. (1995). Alle Proben wurden an 8 nuklearen Mikrosatelliten-Markern für Buche genotypisiert: mfc5 und mfc7 (Tanaka et al. 1999), FS103, FS115, FS125, FS304 und FS446 (PASTORELLI et al. 2003) sowie mfs11 (VORNAM et al. 2004). Dazu wurden 3 verschiedene Multiplex-PCRs (Polymerase Chain Reaction) durchgeführt, um die entsprechenden DNA-Abschnitte zu vervielfältigen. Anschließend wurden die entstandenen DNA-Fragmente mit dem Kapillar-DNA-Sequenzer Beckman-Coulter CEQ 8000 analysiert. Die einzelnen Allele an jedem Markerlocus wurden mit ihrer Fragmentlänge (bp, Basenpaare) bezeichnet. Eine detaillierte Methodenbeschreibung befindet sich bei Liesebach (2012).

2.3 Datenauswertung

Nach der Erfassung aller Daten in einer Genotypen-Tabelle konnten zunächst übereinstimmende Genotypen identifiziert werden. Bei allen folgenden Betrachtungen wurden je Genotyp nur ein Individuum berücksichtigt und multiple Genotypen ausgeschlossen. Die Software CER-VUS (MARSHALL et al. 1998, KALINOWSKI et al. 2007) wurde eingesetzt, um für einzelne Individuen über eine Elternschaftanalyse mögliche Abstammungen zu klären. Dieses Programm berechnet ebenfalls Wahrscheinlichkeiten für die

zufällige Identität von Individuen in Populationen (Combined non-exclusion probability: identity und sib identity) sowie Standardparameter zur Quantifizierung der genetischen Variation wie die mittlere Anzahl der Allele je Locus (A/L) und die beobachtete Heterozygotie H_o.

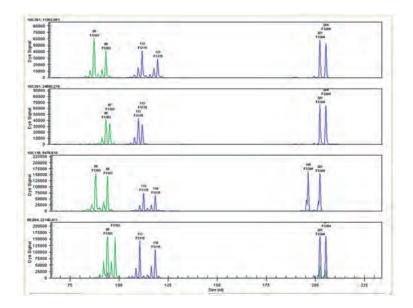
Um Gruppen genetisch ähnlicher Individuen zu finden, wurden verschiedene Verfahren der Clusteranalyse angewendet. Zunächst wird dazu eine Distanzmatrix basierend auf den paarweisen genetischen Abständen zwischen Individuen berechnet (Shared allele distance nach JIN & CHA-KRABORTY 1994). Bei der UPGMA-Methode (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) werden schrittweise die Objekte mit dem jeweils kleinsten genetischen Abstand zu einem Cluster vereinigt und die Abstände zwischen den gebildeten Clustern neu berechnet, bis alle Objekte in einem einzigen Cluster zusammengefasst sind. Die Neighbour-Joining-Methode beginnt mit einer sternförmigen Struktur und gleichen Abständen der Objekte zueinander. Nun werden ebenfalls schrittweise die jeweils ähnlichsten Objekte als Nachbarn miteinander verbunden. Beide Verfahren wurden mit der Software Populations Version 1.2.31 (LANGELLA 2010) ausgeführt. Die anschließende graphische Darstellung der Verwandtschaftsbeziehungen als Dendrogramm erfolgte mit dem Programm TreeView (Page 2001).

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Identifizierung von Duplikaten

Die Wahrscheinlichkeit ist extrem gering, dass zwei Proben, die nicht aufgrund vegetativer Vermehrung zum selben Klon gehören, zufällig einen identischen Genotyp an den untersuchten Markern besitzen. Sie kann für die Baumart Rot-Buche und für die acht hier verwendeten genetischen Marker aus einer anderen Untersuchung von fünf mittel- und osteuropäischen Buchenpopulationen abgeschätzt werden (Liesebach 2012). Im Durchschnitt beträgt sie 4*10-8 oder anders ausgedrückt 1: 25.000.000 für nichtverwandte Individuen. Die Wahrscheinlichkeit, dass Vollgeschwister, also Nachkommen eines Elternpaares, zufällig an allen untersuchten Markern identische Muster zeigen, ist deutlich größer. Sie beträgt im Mittel dieser 5 Populationen aber im-

Abb. 5: Beispiel für einen Fingerprint: 4 verschiedene Genotypen (Individuen-Nr. 115, 45, 62, 75) an 3 Mikrosatelliten-Genorten (FS103, FS115, FS304)



mer noch 0,0012 oder 1:834. Damit haben die in dieser Untersuchung verwendeten Mikrosatelliten-Marker eine so große Variation, dass nicht nur bei nachgewiesenen Unterschieden eine Identität ausgeschlossen werden kann, sondern dass Klone praktisch identifiziert werden können.

Unter den 160 untersuchten Proben befinden sich 146 Proben von Süntel-Buchen, die aber nur 96 verschiedene Genotypen aufweisen. Dabei kommen 65 Genotypen genau einmal vor, und 31 Genotypen gibt es im untersuchten Probenmaterial 2- bis 8 mal. Die 6 schlitzblättrigen Individuen besitzen ebenso wie 8 Sämlinge aus dem Süntel jeweils ihren eigenen Genotyp. Insgesamt wurden 110 verschiedene Genotypen gefunden (Beispiel in Abb. 5), wobei 90 Genotypen an allen 8 Markern charakterisiert wurden und 20 Genotypen an 7 Markern (97,7 % vorhandene Daten).

Die Ergebnisse der genetischen Analysen sind in Tabelle 2 zusammengefasst, wobei einige nicht als Cultivarname gelistete Bezeichnungen ebenfalls in Hochkommata gesetzt wurden. Das betrifft folgende Namen: 'Tabuliformis' (KRÜSSMANN 1939), 'Umbraculifera' (ROSBACH 1875, KRÜSSMANN 1939), 'Pagnyensis' (LAVALLÉE 1877), 'Londal' (OLSEN & LANGE 1951), 'Florence Court' (NELSON & WALSH 1993), 'Rot Süntel' (DÖNIG 1991), 'Retroflexa' (NÖRDLIN-

GER 1874), 'Forster' und 'Reboul' (DÖNIG 2010) und 'St. Basle' (PÉPIN 1861, CARRIÈRE 1864).

Ein Teil der Duplikate hat, wie erwartet, bestätigt, dass mehrere Pfropfreiser von einem Baum entnommen wurden und somit als Kopien im Arboretum Altdorf vorhanden sind. Beispiele dafür sind Nr. 88 = 89 ('Londal'), Nr. 14 = 14a aus Feggendorf, Nr. 12 und 12a aus dem Park Lauenau, Nr. 29 = 29a von der Cecilienhöhe in Bad Nenndorf oder Nr. 78 = 79 ('Reboul').

Weitere genetisch identische Exemplare befinden sich offensichtlich in Anpflanzungen und in der Folge dann auch in der Sammlung im Arboretum Altdorf. Beispiele dafür sind das Exemplar Nr. 8 (Bückeburg im Süntel) in Gruppe B und sieben weitere genetisch identische Proben, die von unterschiedlichen Standorten gesammelt und in das Arboretum aufgenommen worden sind. Dabei gibt es die unterschiedlichen Benennungen 'Arcuata' (Nr. 100 aus Braunlage), 'Horizontalis' (Nr. 113 aus dem Botanischen Garten in München) und 'Tortuosa' (Nr. 132 aus Weihenstephan) bei drei dieser Exemplare. Auch die "Tilly" in Ellerhoop (Nr. 2 in Gruppe B) hat einige Replikate.

Die Süntel-Buche im Schlosspark Dyck (Nr. 127) ist mit den beiden Exemplaren in Park Molsberg (Nr. 131/150 und Nr. 151), ca. 120 km entfernt, identisch. Dabei hat das in Molsberg im unteren Bereich des Parks gelegene Exemplar

Tab. 2 146 Süntel-Buchen gruppiert nach genetischer Ähnlichkeit (identische Genotypen sind mit "=" gekennzeichnet), * nicht aus dem Arboretum Altdorf

Gruppe	Individuen- Nr.	Name	Von Natur- standorten	Aus Anpflanzung (Parks/ Gärten/Sammlungen)	Land/Ort
A	22		Dachtelfeld		DE-NI
	51		Kelkheim		DE-HE
	64		Kelkheim		DE-HE
	88 = 89	'Londal'		Hørsholm	DK
	96 = 97			Schweden A	SE
В	2	"Tilly"		Ellerhoop	DE-SH
	=43			?	
	=116	'Tortuosa'		Baumschule Nasto	
	8			Bückeburg	DE-NI
	=100	'Arcuata'		Braunlage	DE-NI
	=108	'Tortuosa'		Verzy?	FR
	=110			?	
	=113	'Horizon- talis'		Weihenstephan	DE-BY
	=125			Bad Bevensen	DE-NI
	=132			Weihenstephan	DE-BY
	=149*			Ellerhoop	DE-SH
	14 = 14a		Feggendorf		DE-NI
	45			Heidelberg (Botanischer Garten)	DE-BW
	49	'Rot Sün- tel'		Pappmühle bei Hessisch- Oldendorf	DE-NI
	80	'Forster'		Baumschule Boskoop	NL
	=107	'Tortuosa'		?	
	=118	'Bornyen- sis'		Kew Gardens	GB- England
	81			Jaegerspris Park	DK
С	16			Bad Münder (Steinhof)	DE-NI
	=21			Langenfeld	DE-NI
	=46			Ellerhoop	DE-SH
	23 = 24			Westernegge	DE-NI
	HarthaR*			Hartha	DE-SN

Gruppe	Individuen- Nr.	Name	Von Natur- standorten	Aus Anpflanzung (Parks/ Gärten/Sammlungen)	Land/Ort
D	29 = 29a		Bad Nenndorf (Cecilienhöhe)		DE-NI
	33 = 33a		Haltern		DE-NW
	53		Kelkheim		DE-HE
	58 = 65		Kelkheim		DE-HE
	60		Kelkheim		DE-HE
	62		Kelkheim		DE-HE
	83 = 102	'Tabuli- formis'		Jaegerspris	DK
E	18			Beber (Pfarrgarten)	DE-NI
	22a = 32			Hannover (Berggarten)	DE-NI
	39		Großbissendorf		DE-BY
	63		Kelkheim		DE-HE
	112	'Horizon- talis'		Mt. Fagalo	NL
	146*			Bad Wildungen, Vöhl Oders- hausen	DE-HE
F	11		Hülsede (Krie- gerdenkmal)		DE-NI
	38			Bad Homburg (Lindenweg)	DE-HE
	70		Faux de Verzy		FR
	71 = 117		Faux de Verzy		FR
	74			Niederlande	FR
	78 = 79	'Reboul'		Verzy	FR
G	3 = 54	"Tilly Blom- berg"		?	DE-NI
	40 = 41 = 141* = 142*		Fleringen		DE-RP
	57		Kelkheim		DE-HE
	66		Kelkheim		DE-HE
	95 = 98			Schweden	SE
Н	72 = 73			Faux de Verzy (Jardin des Plantes, Paris)	FR
	109	'Tortuosa'		Sychrov	CZ

Gruppe	Individuen- Nr.	Name	Von Natur- standorten	Aus Anpflanzung (Parks/ Gärten/Sammlungen)	Land/Ort
I	61		Kelkheim		DE-HE
	82			Jaegerspris Park	DK
	84 = 85 = 86 = 105			Jaegerspris Park	DK
	122	'Florence Court'		Schlosspark Florence Court	GB-NIR
J	28		Bad Nenndorf (Cecilienhöhe)		DE-NI
	44 = 44a	"Kanzel- Buche"		Sternenfels (Tübingen)	DW-BW
	47	'Tortuosa'		Kassel Wilhelmshöhe	DE-HE
	52 = 55		Kelkheim		DE-HE
K	12 = 12a			Lauenau (Volkspark)	DE-NI
	48a	'Rot Sün- tel'		Lauenau (Volkspark)	DE-NI
	130		Steigerwald		DE-BY
L	75 = 76		Faux de Verzy		FR
	87		Fasangaarden		DK
	90			Jaegerspris	DK
M	42			Wewer (Schlosspark)	DE-NI
	106	'Pagnyen- sis'		Kassel Wilhelmshöhe	DE-HE
	=121	'Umbra- culifera'		Kassel Wilhelmshöhe	DE-HE
N	15a			Aerzen (Schlosspark Schwöbber)	DE-NI
	68	'Tortuosa'		Kassel-Wilhelmshöhe	DE-HE
	128	'Tortuosa'		Kassel-Wilhelmshöhe	DE-HE
O	15		Antendorf-Süd- holz		DE-NI
	20			Luttringhausen	DE-NI
P	91			Oppermann	DK
	129	"Laibu- che"	Schameder		DE-NW
	145			Bad Wildungen, Vöhl	DE-HE

Gruppe	Individuen- Nr.	Name	Von Natur- standorten	Aus Anpflanzung (Parks/ Gärten/Sammlungen)	Land/Ort
Q	7			Bückeburg	DE-NI
	101	'Retro- flexa'		Berlin Dahlem	DE-BE
	=111	'Tortuosa'		Mt. Fagalo	
R	34		Pfungstadt		DE-HE
	144*			Heidelberg (Botanischer Garten)	DE-BW
S	6			Haste	DE-NI
	26			Lenthe, Untergut	DE-NI
T	1		Nienfeld (Süd- holz)		DE-NI
	HHGB2*			Hannover, Berggarten	DE-NI
U	13			Lauenau (Wasserburg)	DE-NI
	48	'Rot Sün- tel'		Baumschule Holland	NL
V	4			Bad Nenndorf (Allee)	DE-NI
	5			Bad Nenndorf (Allee)	DE-NI
	119	'Bornyen- sis'		Bonn	DE-NW
	=120	'Remilly- ensis'		Paris, Eiffelturm	FR
	=126			Nürnberg (Stadtpark)	DE-BY
	=152*			Abtei Rommersdorf	DE-RP
	127			Dyck (Schlosspark)	DE-NW
	=131 = 150*			Molsberg unten	DE-RP
	=151*			Molsberg oben	DE-RP
	103 = 104 = 114	'Tabuli- formis'		Köln Flora	DE-NW
	17 = 27 = 31			Gremsheim	DE-NI
	9 = 30		Hülsede (Bleeksgrund Vieh)		DE-NI
	10		Hülsede (Kra- ckes Ruh)		DE-NI
	19			Klein Süntel	DE-NI
	25			;	

Gruppe	Individuen- Nr.	Name	Von Natur- standorten	Aus Anpflanzung (Parks/ Gärten/Sammlungen)	Land/Ort
	35		Pfungstadt (Muna)		DE-HE
	36			Kronberg (Schlosspark)	DE-HE
	37			Bad Homburg (Forellenhof)	DE-HE
	56		Kelkheim		DE-HE
	59		Kelkheim		DE-HE
	77	'St. Basle'	Faux de Verzy		FR
	115			?	
	140*		Fleringen		DE-RP
	143*		Blankenheim (Seidenbachtal)		DE-NW
	BGHH*			Botanischer Garten Hamburg (Klein Flottbek)	DE-HH
	HarthaL*			Hartha	DE-SN

eine etwas hängende Krone, während das ca. 30 m höher gelegene dagegen ein struppiges Aussehen hat. Ihr Alter wird auf 100-150 Jahre geschätzt und teilweise sind Pfropfstellen zu sehen. Das Exemplar im Schlosspark Dyck existiert inzwischen nicht mehr; eine von G. Dönig auf Hochstamm vom Altbaum veredelte Pflanze wurde jedoch im November 2012 wieder im Schlosspark Dyck gepflanzt. Offensichtlich gehen solche Exemplare auf ein gemeinsames Ursprungsindividuum zurück, das schon früher über Veredlung vermehrt und mehr oder weniger verbreitet angepflanzt worden ist. Ähnliches trifft offensichtlich auch auf Nr. 80, 107 und 118 aus Gruppe B oder zwei der drei Exemplare aus Fleringen zu. Die ca. 160 Jahre alte Süntel-Buche in Bad Münder, Steinhof (Nr. 16), ein ca. 25 Jahre altes Exemplar in Langenfeld (Nr. 21), wo am Parkplatz mehrere Veredlungen stehen, und ein ca. 55 Jahre alter Baum in Ellerhoop (Nr. 46) sind ebenfalls genetisch identisch. Der Baum in Ellerhoop geht auf die Baumschule in Thiensen zurück, die wahrscheinlich am Steinhof Reiser geschnitten hat. Seit mehr als 100 Jahren werden Süntel-Buchen auch von Baumschulen vertrieben, und ein Teil der als genetisch identisch festgestellten Exemplare geht sicher darauf zurück.

Ein solches Beispiel könnten auch die genetisch identischen Proben Nr. 119 'Bornyensis' (Bonn), Nr. 120 'Remillyensis' (Paris), Nr. 126 (Nürnberg) und Nr. 152 (Rommersdorf), die allerdings fast wie 'Pendula' aussieht, sein.

Die teilweise verschiedenen Cultivar-Namen für identische Genotypen (wie auch Nr. 100 'Arcuata' und Nr. 113 'Horizontalis') können eigentlich nur mit Ungenauigkeiten und Verwechslungen in der Vergangenheit erklärt werden. Das ist bei einer so langen Geschichte der Park- und Gartengestaltung und des Baumschulhandels ohne die Möglichkeit einer genetischen Überprüfung nicht überraschend. Auch Verwechslungen im Arboretum Altdorf können in den 25 Jahren des Bestehens nicht ausgeschlossen werden. Verwechslungen im Labor sind zwar im Vergleich dazu wegen der relativ kurzfristigen Tätigkeit nur einer Person eher unwahrscheinlich, aber auch nicht vollkommen unmöglich.

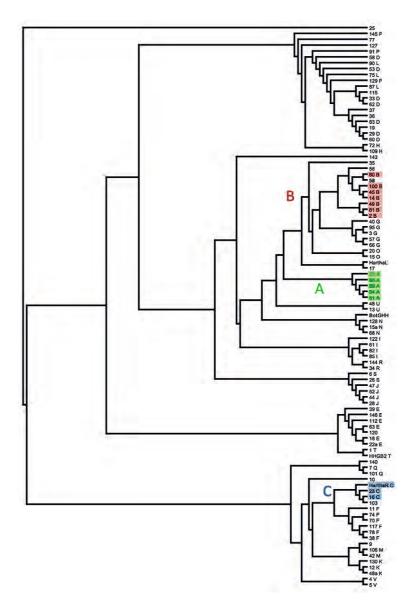
Umgekehrt können gleiche Bezeichnungen von Cultivaren durchaus verschiedene Genotypen haben, da sie nicht ausschließlich vegetativ vermehrt werden müssen. Besonders häufig, insgesamt bei sechs verschiedenen Genotypen, kommt der Name 'Tortuosa' vor, der allerdings auch als taxonomische Bezeichnung, erstmals als

Varietät var. tortuosa 1861 von Pépin, verwendet wird. Außerdem findet man auch die Bezeichnung als Form, fo. tortuosa, die allgemein für Rot-Buchen mit gedrehten Äste und Zweigen steht. Die Bezeichnung als Cultivarname wurde verwendet, als z. B. um 1900 zahlreiche 'Tortuosa'-Pflanzen vor allem von französischen Baumschulen auf den Markt kamen.

3.2 Gruppierung von Süntel-Buchen nach ihrer genetischen Ähnlichkeit

Die graphische Darstellung der Ergebnisse von Clusteranalysen in sog. Dendrogrammen dient der Visualisierung der Ähnlichkeit der Genotypen (UPGMA: Abb. 6, Neighbour Joining: Abb. 7). Wie bei vielen anderen multivariaten Verfahren auch, können nur wesentliche Teile der Information dargestellt werden, aber nie die

Abb. 6: Dendrogramm als Ergebnis der UPGMA-Clusteranalyse von 96 Genotypen von Süntel-Buchen (Gruppierung der Genotypen nach ihrer genetischen Ähnlichkeit, die Gruppen A, B und C aus Tab. 2 sind als Beispiel hervorgehoben)



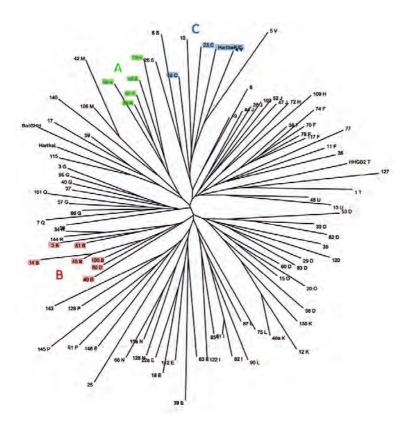


Abb. 7: Dendrogramm als Ergebnis der Neighbour-Joining-Clusteranalyse von 96 Genotypen von Süntel-Buchen (Gruppierung der Genotypen nach ihrer genetischen Ähnlichkeit, die Gruppen A, B und C aus Tab. 2 sind als Beispiel hervorgehoben)

gesamte Datenmenge. Aus den Graphiken ist ersichtlich, dass z.B. die Bäume Nr. 51 und Nr. 64 genetisch ähnlicher sind als Nr. 51 und Nr. 22 (Gruppe A). Zur Verdeutlichung sind die Beispiele der Gruppen A, B und C farblich hervorgehoben. Beide Clusterverfahren zur Gruppierung der 96 Süntel-Genotypen nach genetischer Ähnlichkeit haben ihre Berechtigung, liefern aber keine identischen Resultate. In dieser Studie werden nur solche Individuen als zu einer Gruppe gehörend aufgefasst, die übereinstimmend in beiden Clusterverfahren zusammen eingeordnet wurden. Damit dient die Verwendung von zwei unabhängigen Verfahren der Absicherung der Ergebnisse (Tab. 2). Einige Süntel-Buchen stehen auch für sich allein und gehören keiner Gruppe der hier erfassten Genotypen an.

Verwandtschaftsgruppen sind schwierig nachzuweisen, da die meisten untersuchten Exemplare nicht von Naturstandorten, sondern aus Anpflanzungen mit nicht dokumentiertem Ursprung stammen. Es deuten sich dennoch zwei Verwandtschaftsgruppen an, und zwar die Gruppe D, die überwiegend aus Proben von Kelkheim in Hessen besteht, und die Gruppe F, die sich vorwiegend aus Proben vom Faux de Verzy in Frankreich zusammensetzt. In diese Gruppe F gehören auch das Individuum 'Reboul' (von Reboul aus Paris selektiert, Nr. 78/79) und das Bäumchen am Lindenweg in Bad Homburg (Nr. 38), das auch auf Grund des Habitus ein "Franzose" ist. Die Süntel-Buchen am Kriegerdenkmal (es wird ein Naturstandort angenommen) in Hülsede haben eher einen staksigen Wuchs. Das große, alte Exemplar 'St. Basle' in Verzy (Nr. 77) kann ein entfernter Verwandter der Gruppe H sein, in die das Verzy-Exemplar im Jardin des Plantes (Paris) gehört.

Nicht erklärlich sind solche Fälle, bei denen Exemplare von verschiedenen Naturstandorten in eine Gruppe zu gehören scheinen, wie z.B. Gruppe L aus Dänemark und Frankreich oder Gruppe G mit Exemplaren aus Kelkheim (Hessen) und Fleringen (Rheinland-Pfalz). Teilweise

Tab. 3: Genotypen von Süntel-Buchen-Sämlingen (Nr. 2062 bis 2069) an 8 Mikrosatelliten-Markern und Genotypen der potentiellen Mutterbäume Nr. 8 und Nr. 15 (grau unterlegt: Allele, die nicht vom Mutterbaum Nr. 8 stammen können)

Indivi- duen-Nr.	Potentielle Eltern	mfc7	mfs11	mfc5	FS103	FS115	FS304	FS125	FS446
2062	Nr. 8, 15	111–127	137–137	287–311	93–97	111–111	201–201	99–105	238–274
2063	Nr. 2, 8	111–111	?	287–299	95–97	121–121	201–201	87–87	232–238
2064	Nr. 8	111–111	137–137	287–317	95–97	111–121	201–201	99–107	238–250
2065	_	111–127	137–139	285–325	95–97	119–121	201–201	83–85	274–391
2066	Nr. 8, 15, 45, 80	111–111	137–137	303–311	95–97	111–111	201–201	87–99	220–238
2067	_	117–125	145–145	305–311	95–103	121–123	201–201	95–95	238–238
2068	_	111–127	135–143	285–303	89–95	121–121	201–201	99–99	223–265
2069	Nr. 8, 59	111–127	?	287–303	95–97	121–139	201–201	87–87	238–238
Nr. 8 Bückeburg		111–111	137–147	287–303	95–97	111–121	201–201	87–99	238–238
Nr. 2 Ellerhoop		111–111	135–137	287–315	89–97	111–121	201–201	87–87	232–232
Nr. 15 Antendorf		111–111	137–143	301–311	95–97	111–119	201–201	99–115	238–238

wird ein Naturstandort vermutet, wenn keine Pfropfstelle sichtbar ist. Es kann aber trotzdem sein, dass diese Süntel-Buche doch irgendwann dorthin gepflanzt wurde. Zumindest für die Exemplare aus Fleringen kann dies angenommen werden. Die drei etwa 100 Jahre alten Süntel-Buchen haben alle eine pilzförmige Krone. Die beiden genetisch identischen Exemplare (Nr. 40/141 und Nr. 41/142) stehen nicht benachbart.

Süntel-Buchen aus Dänemark kommen in mehreren Gruppen vor. Dies ist gut verständlich, da es in Jaegerspris und Umgebung ganz unterschiedliche Exemplare gibt (DÖNIG 2012). Veredlungen wurden aber auch hier durchgeführt, da Individuen mit identischem Genotyp auftreten, z. B. Nr. 84, 85, 86 und 105 aus dem Park Jaegerspris.

3.3 Abstammung von Sämlinge

Für alle Sämlinge wurde geprüft, welche der 102 genotypisierten Buchen (110 verschiedene Genotypen minus 8 Sämlinge) als potentielle Eltern in

Frage kommen. Dabei wurde das Ausschlussverfahren angewendet, d.h. ein Baum kann nur ein Elter sein, wenn an jedem Marker mindestens ein Allel mit dem Nachkommen übereinstimmt. Für drei Sämlinge konnte kein Elternbaum unter den untersuchten Proben gefunden werden. Für 5 Sämlinge wurden ein Elter oder mehrere potentielle Eltern gefunden, darunter auch die Bäume Nr. 8 (Bückeburg), Nr. 2 (Ellerhoop) und Nr. 15 aus Antendorf, von denen auch Saatgut ausgesät wurde. Die potentiellen Eltern Nr. 45 und Nr. 80 werden dagegen ausgeschlossen. Tabelle 3 zeigt die Genotypen der entsprechenden Individuen, wobei als Beispiel die grau hervorgehobenen Allele bei den Sämlingen nicht vom vermuteten Mutterbaum Nr. 8 stammen können.

Weitere Abstammungen, die bisher vermutet wurden, konnten bestätigt werden, z.B. ist der rotblättrige Sämling Nr. 48a ein Nachkomme der Süntelbuche Nr. 12 aus Lauenau und vermutlich einer Blut-Buche, die in der Nähe stand, jedoch nicht beprobt wurde.

3.4. Schlitzblättrige Formen

Zur Diskussionen um die Identität oder Verschiedenheit der einzelnen schlitzblättrigen Formen können die vorliegenden Ergebnisse der genetischen Charakterisierung etwas beitragen. Es handelt sich um 6 verschiedene Genotypen, wobei die Nr. 200 bis 204 genetisch sehr ähnlich und wahrscheinlich eng verwandt sind, während sich Nr. 205 deutlich von den anderen 5 unterscheidet (Abb. 8, Abb. 9). Auch hier wurde, wie bei der Abstammung der Sämlinge, unter 102 verschiedenen Genotypen mit dem Ausschlussverfahren geprüft, welche Genotypen als potentielle Eltern in Frage kommen können (Tab. 4). Die Individuen Nr. 200 und 201 könnten voneinander abstammen oder Geschwister mit unbekannten Eltern sein, wobei sie auf Grund des sehr ähnlichen Alters wahrscheinlich eher Geschwister sind. Ebenso könnten die Individuen Nr. 202, 203 und 204 voneinander abstammen oder Geschwister sein. Der Sämling 'Altdorfer Spitz' (Nr. 204) kann dem Elternbaum 'Asplenifolia' (Nr. 202) zugeordnet werden. Eine Aussaat des Exemplars von Bruns scheidet aus, da der Baum kaum gefruchtet hat und keine Aussaaten vorgenommen wurden. 'Asplenifolia'-Bäume bringen jedoch regelmäßig Sämlinge mit allen möglichen Formen unterschiedlich geschlitzter Blättern hervor. Die Abstammung der 'Ansorgei' (Nr. 205) von 'Asplenifolia' (Nr. 202) muss jedoch ausgeschlossen werden. Da sich die Bezeichnung der Cultivare offensichtlich nicht immer eindeutig auf einen vegetativ vermehrten Klon bezieht wie auch bei 'Laciniata', scheint ein anderer als Nr. 202, aber ebenfalls als 'Asplenifolia' bezeichneter Genotyp an der Kreuzung beteiligt gewesen zu sein. Ansorge schreibt dazu 1911: "Fagus silvatica Ansorgei (asplenifolia × atropurpurea) ... Vor ca. 20 Jahren blühten bei mir die beiden Formen gleichzeitig und ich nahm eine ausgiebige Kreuzbefruchtung vor ... Von Fag. silv. asplenifolia erzielte ich außer einigen grünen geschlitzten Formen eine rotblätterige Form, welche der Fag. silv. comptoniaefolia in der Blattform glich; ...".

Ein sehr großer Baum mit Blättern mit leicht gewelltem Rand und an einem Ast deutlich geschlitzten Blättern steht in Tellow (Mecklenburg-Vorpommern) im ehemaligen Gutspark des Johann Heinrich von Thünen (1783–1850, Namensgeber des Thünen-Instituts), der den Park in der 1. Hälfte des 19. Jahrhunderts angelegt hat. Eine genetische Untersuchung beider Blattformen dieses Baums ergab einen Genotyp, der mit der Nr. 203, der 'Laciniata'-Form aus der Baumschule Bruns, identisch ist. Am Individuum in Tellow wird ebenso wie bei 'Asplenifolia' deutlich, woher der Namen der Varietät, unter der diese Formen manchmal zusammengefasst werden, kommt: "heterophylla". Die Fähigkeit, unterschiedlich geformte Blätter auszubilden, könnte evtl. mit unterschiedlicher Genregulation zusammenhängen, die umweltabhängig und/ oder altersabhängig gesteuert wird, und damit nicht immer und überall sichtbar sein muss.

3.5 Genetische Variation von Süntel-Buchen im Vergleich zu anderen Buchenpopulationen

Vergleichsmöglichkeiten hinsichtlich des Ausmaßes der genetischen Variation bestehen zu Material aus einem Buchen-Herkunftsversuch des Thünen-Instituts für Forstgenetik, zu dem

Tab. 4 Genoty	ypen von 6 schlitzl	blättrigen Forme	n der Rot-Buche
---------------	---------------------	------------------	-----------------

Individuen-Nr.	Potentielle Eltern	mfc7	mfs11	mfc5	FS103	FS115	FS304	FS125	FS446
200	Nr. 201	111–111	137–137	317–317	95–95	119–119	201–204	Null	220–220
201	Nr. 200	111–111	?	293–317	95–95	117–119	201–204	Null	220–265
202	Nr. 203, 204	111–111	137–137	287–303	89–95	113–119	195–204	87–99	238–238
203	Nr. 202, 204	111–111	137–137	287–303	95–95	113–119	204–204	87–99	238–238
204	Nr. 202, 203	111–111	137–137	293–303	95–95	119–119	201–204	87–87	238–265
205	_	127–129	137–137	289–317	95–95	111–113	201–201	83–107	217–217



8.1: 'Laciniata' (Nr. 200), Abbildung aus Vignet (1795) im Hintergrund



8.2: 'Incisa' (Nr. 201)



8.3: 'Asplenifolia' (Nr. 202)



8.4: 'Laciniata' der Baumschule Bruns (Nr. 203)



8.5: 'Altdorfer Spitz' (Nr. 204)



8.6: 'Ansorgei' (Nr. 205)

Abb. 8: Blattformen von fünf schlitzblättrigen Formen der Rot-Buche und einer rotblättrigen weidenblättrigen Form (unten rechts)

kürzlich mit demselben Set an genetischen Markern Untersuchungen durchgeführt worden sind (Liesebach 2012). Tabelle 5 zeigt, dass Süntel-Buchen in den Wertebereich verschiedener populationsgenetischer Parameter passen, der für fünf Buchen-Herkünfte (zwei aus Deutschland, je eine aus Österreich, Tschechien und Rumänien) aus acht Markern ermittelt wurde. Der etwas höhere Wert für die Anzahl der Allele pro Locus bei Süntel-Buchen im Vergleich zu anderen Buchen-Populationen ist durch den höheren

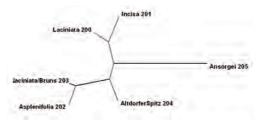


Abb. 9: Verwandtschaftsbeziehung von schlitzblättrigen Cultivaren der Rot-Buche dargestellt als Neighbour-Joinig-Dendrogramm

Tab. 5 Vergleich der genetischen Variation von Süntel-Buche und anderen Populationen der Rot-Buche (Daten aus LIESEBACH 2012)

	Süntel-Buche	Buchen-Populationen aus Europa
Stichprobenumfang	96	50 55
Allele je Locus (A/L)	13,4	9,1 12,5
Mittlere effektive Zahl der Allele (n _e)	3,5	2,9 3,7
Mittlere Heterozygotie (H _o)	0,611	0,605 0,657

Stichprobenumfang bedingt. Bei Süntel-Buchen wurden keinerlei Auffälligkeiten oder Besonderheiten an den analysierten Mikrosatelliten-Markern beobachtet.

Die Chance, geographische Zuordnungen für die Herkunft einzelner Süntel-Buchen zu treffen, muss, zumindest bei der Verwendung von nur acht Markern, generell als gering eingeschätzt werden. Das kann der Vergleich mit Daten aus dem oben genannten Herkunftsversuch ebenfalls zeigen. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung ist bekannt, dass sich die fünf Populationen aus dem südosteuropäischen eiszeitlichen Refugium deutlich von einer spanischen Herkunft aus dem iberischen Refugium abgrenzen. Die Individuen dieser fünf Populationen lassen sich jedoch allein mit ihrem Genotyp nur teilweise der richtigen Herkunft zuordnen. Dagegen gibt es innerhalb jeder der untersuchten Herkünfte zwei oder drei Subpopulationen, die sich mit großer Wahrscheinlichkeit wegen der lokal ausgebildeten Familienstrukturen innerhalb natürlich verjüngter Buchenbeständen ausprägen. Die Familienstrukturen sind das Ergebnis einer räumlich begrenzten Pollen- und Samenausbreitung. Insgesamt scheint es in weiten Teilen Europas eher eine patchworkartige Struktur als einen klaren geographischen Trend zu geben. Mit Isoenzymuntersuchungen bei dieser Baumart in Europa (Comps et al. 1990) und in Deutschland (Konnert et al. 2000) wurde ebenfalls nur eine geringe geographische Differenzierung gefunden.

4 Schlussfolgerungen

Auf die drei eingangs gestellten Fragen nach der genetischen Identität von Süntel-Buchen, nach Verwandtschaftsgruppen und nach früheren Vermehrungswegen konnten mit den Ergebnissen der genetischen Untersuchungen teilweise Antworten gegeben werden. Die hohe Variabilität der Buchen an den untersuchten Markern erlaubt eine Identifizierung von Klonen, d.h. von Individuen, die durch vegetative Vermehrung aus einem Ursprungsbaum gewonnen wurden. Dies konnte dazu beitragen, in einigen Fällen die gemeinsame vegetative Abstammung, auch bei jetzt entfernt stehenden Exemplaren aufzuzeigen. Die generative Abstammung konnte ebenfalls in einigen Fällen gezeigt bzw. ausgeschlossen werden. Eine regionale Zuordnung gelingt jedoch trotz der Zuordnung einiger Individuen zu Verwandtschaftsgruppen nicht. Die beachtliche Differenzierung innerhalb von Buchenbeständen mit ihren Familienstrukturen kann regionale Unterschiede verwischen, und die geringe Anzahl von nur acht Markern erlaubt keine weiteren Aussa-

Die hier vorgestellten genetischen Untersuchungen wurden mit neutralen Markern durchgeführt, die nicht geeignet sind, die evtl. genetischen Ursachen für die phänotypischen Merkmale der besonderen Wuchs- und Blattformen der Buchen zu erforschen. Die Entstehung der Wuchsformen der Süntel-Buche ist noch nicht geklärt. Eine geschwächte oder unregelmäßige Apikaldominanz führt dazu, dass kein hierarchisch aufgebauter Habitus mehr gebildet wird (DRUELLE & BIERNE 1993). Ihr Habitus kann sehr verschieden sein, was auch in den unterschiedlichen Namen für Formen oder Cultivare zum Ausdruck kommt.

Im Wald von Verzy gibt es nicht nur ca. 800 Buchen, die var. tortuosa zugeordnet werden, auch bei Castanea sativa ist dort ein ähnlicher Phänotyp bekannt. Deshalb wurde die frühere Hypothese der spontanen Mutation verworfen, und eine eher induzierte Mutation wie die Inser-

tion eines infektiösen Elements in ein an der Morphogenese beteiligtes Gen wird angenommen. Außerdem wurden zwei Exemplare der Tortuosa-Buchen beobachtet, die jeweils einen völlig normal wachsenden Ast (Wildtyp) hervorbrachten. Diese beiden Reversionen sprechen dafür, dass nur ein Gen betroffen war, das pleiotrop ist, also auf mehrere Merkmale wirkt (DRU-ELLE & BIERNE 1993). Von sogar zwei weiteren betroffenen Buchengewächsen, Castanea sativa und Quercus petraea, im Wald von Verzy sowie drei Exemplaren bei Tortuosa-Buchen mit "normalen" Ästen berichten Gallois et al. (1998). Hier werden diese drei Fälle als Chimären bezeichnet und die Tortuosa-Formen als Folge einer stabilen Infektion mit Bakterien oder Viren diskutiert. Beide Erklärungen widersprechen sich nicht, da z.B. bei Virusinfektionen auch Plasmide übertragen und in die Wirts-DNA eingebaut werden können.

Wahrscheinlich sind Süntel-Buchen bzw. Tortuosa-Formen mehrfach an verschiedenen Orten und unabhängig voneinander entstanden und konnten bis zur generativen Phase überleben, wenn der Konkurrenzdruck oder die forstliche Bewirtschaftung das nicht verhindert haben. Wenn solche Bäume später Bucheckern bringen, erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass sich im Laufe von Jahrzehnten oder Jahrhunderten größere Areale bilden. Bei Baumschul-Aussaaten von Bucheckern der Tortuosa-Form von Verzy wurde keine verminderte Vitalität im Vergleich zu Aussaaten "normaler" Buche festgestellt. In den Nachkommenschaften wurden bis zum Alter von 4 Jahren ca. 25 % Tortuosa-Formen gefunden (THIÉBAUT et al. 1998).

Die Methodenentwicklung in der biologischen Forschung schreitet schnell voran und wird sicher dazu führen, dass das Thema der Entstehung besonderer phänotypischer Formen bei Pflanzen immer wieder aufgegriffen wird. Dazu gehört nicht nur die Genetik mit ihren neuen Sequenziertechniken, sondern auch die Mikrobiologie, die mit der Untersuchung von Endophyten weitere Ansatzpunkte bieten kann.

Dank

Wir danken herzlich Aileen Schulz, die im Rahmen ihrer Ausbildung zur Biologielaborantin unter der Anleitung von Frau Elke Ewald die genetischen Analysen im Thünen-Institut für Forstgenetik in Waldsieversdorf durchgeführt

hat, sowie einem anonymen Gutachter für konstruktive Hinweise zum Manuskript.

Literatur

- Ansorge, C. (1911): Fagus silvatica Ansorgei. Mitt. Deutsch. Dendrol. Ges. 20: 412.
- Beissner (1897): Reiseerinnerungen. Mitt. Deutsch. Dendrol. Ges. 6: 84.
- BONHAGEN, L. (2012): Untersuchungen zur In-vitro-Vermehrung und genetischen Diversität von Süntelbuchen (*Fagus sylvatica* var. *tortuosa*). Bachelorarbeit, Leibniz-Univ. Hannover.
- Carrière, M. (1864): Les Hêtres monstrueux de la Forêt de Verzy. Revue Horticole: 127–131.
- Comps, B.; Thiebaut, B.; Paule, L.; Merzeau, D.; Letouzey, J. (1990): Allozymic variability in beechwoods (*Fagus sylvatica* L.) over central Europe: spatial differentiation among and within populations. Heredity 65: 407–417.
- Démesure, B.; Comps, B.; Thiébaut, B.; Barrière, G.; Letouzey, J. (1995): Les hêtres tortillards en Europe occidentale. Aspects génétiques. Ann. Sci. Forest. 52: 103–115.
- DÖNIG, G. (1991): Eine neue und sichere Veredlungsmethode auch für Liebhaber und Sammler dendrologischer Spezialitäten: Die Grün-Veredlung. Mitt. Deutsch. Dendrol. Ges. 80: 247–249.
- DÖNIG, G. (1994): Die Park- und Gartenformen der Rotbuche - Fagus sylvatica L. Hansmann Verlag, Rinteln.
- Dönig, G. (2009): Das Arboretum Altdorf. Beiträge zur Gehölzkunde: 133–149.
- Dönig, G. (2010): Rotbuchen *Fagus*. Hansmann Verlag, Hemmingen.
- Dönig, G. (2012): Süntel-Buchen. Wanderer-Druck, Bad Münder.
- Druelle, J.-L.; Bierne, J. (1993): Genetic signifification of wild-type branch development on beech mutants twisted. Int. J. Dev. Biol. 37: 5S-6S.
- DUMOLIN, S.; DEMESURE, B.; PETIT, R.J. (1995): Inheritance of chloroplast and mitochondrial genomes in pedunculate oak investigated with an efficient PCR method. Theor. Appl. Genet. 91: 1253–1256.
- Gallois, A.; Audran, J.-C.; Burrus, M. (1998): Assessment of genetic relationships and population discrimination among *Fagus sylvatica* L. by RAPD. Theor. Appl. Genet. 97: 211–219.
- GRUBER, F. (2002): Über Wachstum und Alter der drei bedeutsamsten Süntelbuchen (*Fagus sylvatica* L. var. *suentelensis* SCHELLE) Deutschlands - Teil 2: Die Süntelbuchen von Lauenau und Raden. AFJZ 174: 8–14.
- JIN, L.; CHAKRABORTY, R. (1994): Estimation of genetic distance and coefficient of gene diversity from single-probe multilocus DNA fingerprinting data. Mol. Biol. Evol. 11: 120–127.

- KALINOWSKI, S.T.; TAPER, M.L.; MARSHALL, T.C. (2007): Revising how the computer program CER-VUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. Mol. Ecol. 16: 1099– 1106.
- Konnert, M.; Ziehe, M.; Tröber, U.; Maurer, W.D.; Janssen, A.; Sander, T.; Hussendörfer, E.; Hertel, H. (2000): Genetische Variation der Buche (Fagus sylvatica L.) in Deutschland: Gemeinsame Auswertung genetischer Inventuren über verschiedene Bundesländer. Forst und Holz 55: 403–408.
- Krüssmann, G. (1939): Die Spielarten der Rotbuche Fagus silvatica L. Mitt. Deutsch. Dendrol. Ges. 52: 111–122.
- LANGELLA, O. (2010): Populations Population genetic software (individuals or populations distances, phylogenetic trees). Version 1.2.31.
- LAVALLÉE, A. (1877): Arboretum Segrezianum: Enumeration Des Arbres Et Arbrisseaux Cultives a Segrez, Seine-Et-Oise.
- LIESEBACH, H. (2012): Genotypisierung mit nuklearen Mikrosatellitenmarkern - Möglichkeiten der Datenauswertung am Beispiel von Buchenpopulationen (Fagus sylvatica L.) aus einem Herkunftsversuch. Landbauforschung - Applied Agricultural and Forestry Research 62: 221–235.
- MARSHALL, T.C.; SLATE, J.; KRUUK, L.E.B.; PEMBERTON, J.M. (1998): Statistical confidence for likelihood-based paternity inference in natural populations. Mol. Ecol. 7: 639–655.
- Nelson, E.C.; Walsh, W.F. (1993): Trees of Ireland, native and naturalized. The Lilliput Press, Dublin.
- NÖRDLINGER, H.v. (1874): Deutsche Forstbotanik oder forstlichbotanische Beschreibung aller deutscher Waldhölzer. Verlag der J. G. Cotta 'schen Buchhandlung.
- Olsen, A.; Lange, J. (1951): *Fagus sylvatica* "Londal Krybebøg". Den geografiske Have "Syndalen": 164. Page, R.D.M. (2001): TreeView Tree drawing soft-
- PAGE, R.D.M. (2001): TreeView Tree drawing software for Apple Macintosh and Microsoft Windows. Version 1.6.6.
- Pastorelli, R.; Smulders, M.J.M.; Van't Westende, W.P.C.; Vosman, B.; Giannini, R.; Vettori, C.; Vendramin, G.G. (2003): Characterization of microsatellite markers in *Fagus sylvatica L.* and *Fagus orientalis* Lipsky. Mol. Ecol. Notes 3: 76–78.
- PÉPIN, P.D. (1861): Le hêtre tortueux. Revue Horticole: 84.

- Rosbach, H. (1875): Fagus sylvatica L. forma umbraculifera. Correspondenzblatt des Naturhistorischen Vereins der Preußischen Rheinlande und Westfalens 32: 62–64.
- SCHMIDT, P.A.; HECKER, U. (2009): Taschenlexikon der Gehölze. Quelle & Meyer, Wiebelsheim.
- Tanaka, K.; Tsumura, Y.; Nakamura, T. (1999): Development and polymorphism of microsatellite markers for *Fagus crenata* and the closely related species, *F. japonica*. Theor. Appl. Genet. 99: 11–15.
- THIÉBAUT, B.; GARNIAUX, O.; COMPS, B.; MULLER, C. (1998): Descendances maternelles de hêtre tortillard (Fagus sylvatica L. var. tortuosa Pépin); développement au cours des quatre premières années: I. fertilité, vigueur et apparition du phénotype tortillard. Can. J. Bot. 76: 12–22.
- TILEMANN, E. (1844): Ueber den abnormen Wuchs der Buchen in den Hülseder Gemeinde-Forsten, Amt Lauenau im Königreiche Hannover. Pfeils Kritische Blätter für Forst- und Jagdwissenschaft (Leipzig) XIX: 223–227.
- VIGNET, A.A. (1795): Anzeige einer neuentdeckten Buchenabart. In: Sammlung physikalisch-ökonomischer Aufsätze zur Aufnahme der Naturkunde. Franz Willibald Schmidt, Prag, S. Tab. I, S. 184.
- VORNAM, B.; DECARLI, N.; GAILING, O. (2004): Spatial Distribution of Genetic Variation in a Natural Beech Stand (*Fagus sylvatica* L.) Based on Microsatellite Markers. Conserv. Genet. 5: 561–570.
- WEHRHAHN, W. (1910): Die Süntelbuchen. Heimatzeitschrift Hannoverland 4: 26–28.

Autoren:

DR. HEIKE LIESEBACH
Thünen-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstraße 2
22927 Großhansdorf
E-Mail: heike.liesebach@ti.bund.de

GERHARD DÖNIG Sachsenstraße 6 91052 Erlangen E-Mail: fagus.doenig@t-online.de