THÜNEN

Forstpflanzenzüchtung für die Praxis

6. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung vom 16. bis 18. September 2019 in Dresden

Tagungsband

Mirko Liesebach (ed.)

Thünen Report 76

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) (2020) Forstpflanzenzüchtung für die Praxis : 6. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung vom 16. bis 18. September 2019 in Dresden : Tagungsband. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 296p,
Thünen Rep 76, DOI:10.3220/REP1584625360000

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 76

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 978-3-86576-209-2
DOI:10.3220/REP1584625360000
urn:nbn:de:gbv:253-202003-dn062169-3

Versuchsanlagen mit *in vitro* vermehrten Riegelahornpflanzen für die Zulassung von Wertholz-Klonen nach FoVG

CORNELIA BÄUCKER, VOLKER SCHNECK und HEIKE LIESEBACH

Zusammenfassung

Geriegelter Berg-Ahorn ist selten und zählt zu den kostspieligsten Laubhölzern in Mitteleuropa. Neben seiner traditionellen Verwendung im Musikinstrumentenbau wird Riegelahorn-Holz heutzutage auch häufig als Furnier verwendet. Um die Möglichkeiten biotechnologischer Methoden für die Vermehrung von wertvollem Riegelahorn-Material sowie die kommerzielle Produktion von geriegelten Berg-Ahorn Klonen zu erforschen, wurde das Verbundprojekt „Riegelahorn“ gefördert. Im Rahmen dieses Projekts entstanden insgesamt vier Versuchsflächen zur Klonprüfungen, auf denen 16 *in vitro* vermehrte Riegelahorn-Klone getestet werden. Des Weiteren wurde eine Fingerprint-Methode basierend auf Mikrosatelliten-Markern entwickelt, die eine sichere Identifizierung der Riegelahorn-Klone erlaubt. Die angelegten Versuchsflächen dienen der zeitnahen Prüfung von Riegelahorn-Klonen nach FoVG. Im Artikel wird auf die vom Thünen-Institut errichteten Klonprüfungen näher eingegangen.

Schlüsselworte: *Acer pseudoplatanus*, Berg-Ahorn, Klonprüfung, kommerzielle Verwendung, genetischer Fingerabdruck

Abstract

Clonal trails with *in vitro* produced plants of wavy grain maple for the official approval of high-quality timber clones according to the regulations on FRM

Sycamore Maple with wavy grain structure is rare and belongs to the most expensive hardwoods in Central Europe. Beside its traditional use in the musical-instrument making, the timber of wavy grain maple is also often used as veneer nowadays. The joint project “Wavy Grain Maple” was funded to explore the possibilities of biotechnological methods for the propagation of valuable wavy grain maple material as well as the commercial production of wavy grain maple clones. In the framework of this project, four clonal field tests with 16 *in vitro* propagated wavy grain maple clones were established. Moreover, a fingerprint method using microsatellite markers was developed, which allows a reliable identification of the wavy grain maple clones. With the clonal tests an official approval of high-quality timber clones according to the regulations on FRM will be achieved on a timely basis. This article reports on the clonal field tests established by the Thünen Institute in detail.

Keywords: *Acer pseudoplatanus*, Sycamore Maple, clonal test, commercial use, genetic fingerprint

Einleitung

Geriegelter Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) erzielt auf Holzsubmissionen regelmäßig Höchstpreise, da die Stämme mit dem in sich gewelltem Holzfaserverlauf begehrt und selten sind (BÄUCKER & LIESEBACH 2018). Der Anteil geriegelter Exemplare in natürlichen Berg-Ahorn Populationen ist unterschiedlich und liegt zwischen 1 – 5 % (CONRAD 1988). Die Faktoren, die zur Ausprägung der Riegelstruktur bei *A. pseudoplatanus* führen, sind bis dato noch ungeklärt, aber es steht ein genetischer Zusammenhang zu vermuten. Für verschiedene Formen der Maserung, wie beispielsweise bei Braunmaserbirke (KÄRKKÄINEN

et al. 2017) oder gemaserter Pappel (FAN et al. 2013), konnte eine Vererbung des Holzmerkmals inzwischen belegt werden.

Verwendung findet der Riegelahorn traditionell im Musikinstrumentenbau, wo das helle, gestreifte Holz für die Fertigung von Böden und Zargen vieler Streichinstrumente, aber auch zum Bau von Saiteninstrumenten genutzt wird. Im Englischen führte der häufige Einsatz von Riegelahorn zur Herstellung von Geigenböden sogar zu einem eigenen Terminus, dem sog. „Fiddleback Maple“ (BEALS & DAVIS 1977). Heutzutage konkurriert die Musikinstrumentenbranche mit der Furnierindustrie um geriegelte Exemplare des Berg-Ahorns, da eine große Nachfrage nach Riegelahorn-Furnier besteht. So ersteigerte das deutsche Furnierwerk Fritz Kohl im Jahr 2012 den bis dato wahrscheinlich teuersten Riegelahorn für einen Gesamtpreis von 61.537,- € (dds online 2012). Daneben ist der exklusive Möbelbau ebenfalls an Riegelahorn-Holz interessiert, da hochpreisige Liebhaberstücke aus Riegelahorn kontinuierlich Absatz finden.

Trotz seiner großen Popularität war das Forschungsinteresse am Riegelahorn wie auch generell am Berg-Ahorn im 20. Jahrhundert eher zurückhaltend (KRABEL und WOLF 2013). Diese Art spielte als Nebenbaumart nur eine untergeordnete Rolle in der Forstwirtschaft. Außerdem hatte der Berg-Ahorn einen teils negativen Ruf erlangt, da er sich in anderen Länder mitunter invasiv ausbreitet (KRABEL et al. 2012). Dennoch gab es in Deutschland vereinzelt Forschungsaktivitäten zur züchterischen Verbesserung von Berg-Ahorn, wobei das Merkmal der Riegelung ebenfalls zur Plusbaumauslese herangezogen wurde. So errichtete die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) um 1960 eine Berg-Ahorn Samenplantage mit Klonen, die aufgrund von Masse und Form aber auch infolge seltener Holzstrukturen, u. a. Riegelung, selektiert waren. Ungefähr 30 Jahre später wurden mit freien Absaaten aus dieser Samenplantage, die im Forstamt Reinhardshagen liegt und Jungviehweide heißt, zwei Nachkommenschaftsprüfungen (NKPs) in Romrod und Schotten (beide in Hessen) angelegt. Zu nennen sei hier auch eine weitere Nachkommenschaftsprüfung mit windbestäubten Sämlingen von potentiellen Riegelahornbäumen, die im Jahr 1972 bei Radebrück (Brandenburg) entstand, aber heute nur noch rudimentär existiert.

Ende der 1990er Jahre begannen dann intensivere Forschungen zum Riegelahorn, die sowohl an der NW-FVA (GEBHARDT & BOHNENS 2006) als auch in Waldsieversdorf (EWALD et al. 2006), einem Standort der ehemaligen Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, jetzt Thünen-Institut für Forstgenetik stattfanden. Am Thünen-Institut wurde Material von hochpreisig verkauften Riegelahornen über das Verfahren der Pfropfung gesichert. Überdies erfolgten Forschungen auf dem Gebiet der Gewebekultivierung von Berg-Ahorn, wobei es gelang, Pflanzen von *in vitro* vermehrten Riegelahorn-Klonen zu erzeugen (EWALD & NAUJOKS 2015). Mit diesen Arbeiten zur Erhaltung und In-vitro-Kultivierung von wertvollem Riegelahorn waren die Grundlagen für die Durchführung eines Projekts, das die Möglichkeiten einer kommerziellen Produktion von geriegelten Berg-Ahorn Klonen untersucht, geschaffen.

Das Vorhaben *Riegelahorn* wurde als Verbundprojekt mit drei institutionellen Einrichtungen und zwei kommerziellen Firmen initiiert, um die verschiedenen Stärken von Forschungseinrichtungen und Praxispartner zu bündeln. Die Kooperationspartner waren das Thünen-Institut für Forstgenetik, die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), RLP AgroScience GmbH (AgroScience), das Institut für Pflanzenkultur e. K. (IFP) und die Reinhold Hummel GmbH + Co. KG (Hummel). Das Projekt wurde von der Landwirtschaftlichen Rentenbank von 2016 bis Juni 2019 gefördert.

Das Thünen-Institut verfolgte im Riegelahorn-Projekt zwei übergeordnete Zielsetzungen. So stand einerseits die züchterische Nutzung für eine spätere Vermarktung von Riegelahorn im Fokus und andererseits sollte ein Beitrag für die Erforschung der Ursachen der Riegelung bei *A. pseudoplatanus* geleistet werden. Das Gesamtziel auf züchterischem Gebiet umfasste hierbei ein System, welches erlaubt, adulte Riegelahorn-Klone über die Methode der Pfropfung zu erhalten, *in vitro* zu vermehren, genetisch zu charakterisieren und für eine spätere Nutzung den Praxispartnern zur Verfügung zu stellen. Das Thünen-

Institut hatte in diesem Zusammenhang auch eine Methode zur sicheren Klon-Identifizierung für die tetraploide Baumart Berg-Ahorn (TAYLOR 1920, FOSTER 1933) zu entwickeln. Dieses Arbeitspaket wurde unter Verwendung molekularer Mikrosatelliten-Marker im zweiten Projektjahr abgeschlossen (BÄUCKER & LIESEBACH 2018).

Da die Baumart Berg-Ahorn dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) unterliegt, ist eine kommerzielle Vermehrung von Riegelahorn-Klonen für den Anbau in der Praxis erst nach Zulassung der Wertholz-Klone als geprüftes Vermehrungsgut möglich. Um die Voraussetzungen für eine zeitnahe Prüfung und Zulassung von Riegelahorn-Klonen zu schaffen, wurden Versuchsflächen zur Riegelahorn-Klonprüfung im Riegelahorn-Projekt angestrebt. Dieser Artikel geht vornehmlich auf die vom Thünen-Institut im Projekt errichteten Versuchsflächen ein, die das Ergebnis der züchterischen Arbeiten der NW-FVA und des Thünen-Instituts darstellen.

Material und Methoden

Für die Suche nach wertvollem Riegelahorn-Material wurden Losverzeichnisse von Holzsubmissionen recherchiert und bei Ausrichtern von Submissionen direkt nach Riegelahorn nachgefragt. Falls geriegelter Berg-Ahorn zur Versteigerung im Angebot war, wurde versucht, seinen ursprünglichen Standort im Wald zu ermitteln. Gelang dies, wurde überprüft, ob die in der Nähe des Hieborts verbliebene Krone eindeutig zuzuordnen ist. Konnten Stubben und Kronenrest zweifelsfrei ermittelt werden, wurden Kronenreiser geschnitten und dem Thünen-Institut per Post zugeschickt. Wenn möglich, erfolgte auch ein Einzäunen der Riegelahorn-Stubben, damit Stockausschläge vor Wildverbiss geschützt sind. Der Grund: Stockausschläge sind teilweise verjüngt, sodass deren Knospen als Startmaterial für die Gewebekultivierung besser geeignet sind im Vergleich zu Knospen aus der Baumkrone (BÄUCKER & LIESEBACH 2018).

Ausgehend von präparierten vegetativen Knospen, die zumeist aus dem Kronenbereich gefällter oder gepfropfter Riegelahorn-Exemplare stammten, fand die In-vitro-Etablierung von Riegelahorn-Material statt. Für den Etablierungsstart eignet sich dabei das am Thünen-Institut im Vorfeld des Projekts entwickelte Nährmedium WTD4. Im späteren Verlauf der In-vitro-Kultivierung erfolgte dann ein kontinuierlicher Nährmedien-Wechsel zwischen WTD4 und WZ-Glukose in einem Abstand von vier Wochen (für Nährmedien-Rezepte vgl. EWALD & NAUJOKS 2015). Im späteren Projektverlauf wurde auch das an der NW-FVA im Projekt entwickelte Nährmedium 817/11 getestet und erfolgreich eingesetzt, wobei sich dieses Nährmedium besonders für die fortlaufende In-vitro-Vermehrung stabiler Berg-Ahorn Klone eignet. Wie bei der anderen Nährmedien-Variante ist auch bei 817/11 ein monatliches Umsetzten der In-vitro-Explantate auf frischen Nährboden zu empfehlen. Dabei hat 817/11 den großen Vorteil, dass durchgängig nur auf einem Medium kultiviert werden kann.

Die Erzeugung von *in vitro* vermehrten Riegelahorn-Pflanzen gelang nach Bewurzelung von In-vitro-Sprossen auf einem Nährmedium zusammengesetzt aus ½ konzentriertem „Woody Plant Medium“(Duchefa Biochemie) mit Hormonzusatz von IBA (0,1 mg/l) und NAA (0,05 mg/l) innerhalb von drei bis vier Wochen. Die Anzucht der In-vitro-Pflanzen erfolgte von Anfang an direkt in 12er Pflanzcontainern unter Sprühnebel im Gewächshaus des Thünen-Instituts. Die Akklimatisierung fand zunächst im Gewächshaus und anschließend in der Baumschule statt (Abbildung 1). Neben In-vitro-Pflanzen wurden auch Sämlinge für die Versuchsflächen angezogen. Bei diesen Pflanzen handelte es sich um die Standards Wehretal und Schlüchtern. Die Anzucht erfolgte an der NW-FVA und die Pflanzen wurden per Post an das Thünen-Institut geliefert.

Für die genetische Charakterisierung von Berg-Ahorn respektive eine spätere sichere Identifizierung der Riegelahorn-Klone wurde eine Methode zur Erstellung eines genetischen Fingerabdrucks im Riegelahorn-Projekt erarbeitet (BÄUCKER & LIESEBACH 2018). Die am Thünen-Institut etablierte Methode verwendet aus der Literatur bekannte Mikrosatelliten-Marker des Kerngenoms. Dabei handelt es sich um die Marker

MAP2, MAP9, MAP12, MAP33 und MAP40, die speziell für Berg-Ahorn entwickelt wurden (PANDEY et al. 2004). Des Weiteren wurden auch Marker anderer Arten der Gattung *Acer* verwendet: Aop116, Aop122, Aop943 (SEGARRA-MORAGUES et al. 2008), AM118 (KIKUCHI & SHIBATA 2008) sowie SM21A, SM29, SM60 (GRAIGNIC et al. 2013). Als Basis für die DNA-Extraktion diente das Protokoll von DUMOLIN et al. (1995), das etwas angepasst wurde.

Die elektrophoretische Auftrennung der PCR-Produkte, die in einem Multiplex-System (PCR Kit der Firma Qiagen, Hilden, Germany) hergestellt wurden, erfolgte auf dem Kapillarsequenzer CEQ-8000 der Firma Beckman Coulter. Die Fragment-Analyse-Software CEQ 8000 diente zur Bestimmung der Fragmentlängen, wobei die Option, das Binning manuell zu korrigieren, genutzt wurde.

Abb. 1: Produktion von Riegelahorn-Versuchspflanzen im Jahr 2017. Links und Mitte: Pikieren und Pflanzenanzucht unter Sprühnebel im Gewächshaus. Rechts: Akklimatisierung in der Baumschule des Thünen-Instituts in Waldsieversdorf. (Fotos: C. BÄUCKER)

Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurde wertvolles Riegelahorn-Material gesammelt und mittels Pfropfung und/oder In-vitro-Kultivierung gesichert. Insgesamt konnte Material von sieben neuen Riegelahorn-Exemplaren, die auf Holzsubmissionen hochpreisig verkauft worden waren, akquiriert werden (Bäucker und Liesebach 2018). Bei fünf dieser wertvollen Exemplare gelang es, sie über Pfropfung und/oder In-vitro-Kultivierung zu erhalten. Darüber hinaus fand ein Austausch von In-vitro-Klonen mit der NW-FVA statt, sodass sich die Riegelahorn-Sammlung am Thünen-Institut beträchtlich vergrößerte. Von denen am Ende der Projektlaufzeit vorhandenen 23 In-vitro-Klonen waren ca. 13 Klone als stabil und wüchsig zu bewerten. Daneben existieren am Thünen-Institut Pfropfungen von 16 Riegelahorn-Klonen.

Generell ist die In-vitro-Vermehrbarkeit von Riegelahorn-Klonen unterschiedlich, wobei einige Gewebekulturen von Riegelahorn als äußerst schwierig einzuschätzen sind. Andere Klone wiederum zeigten sich gut *in vitro* vermehrbar, da das Ausgangsmaterial (Stockausschlag anstatt Kronenreiser) bessere Voraussetzungen für eine In-vitro-Etablierung mitbrachte. Daneben gab es am Thünen-Institut wie auch an der NW-FVA bereits ein paar stabile In-vitro-Kulturen von geriegeltem Berg-Ahorn zu Projektbeginn, da Riegelahorn-Material im Rahmen der Vorarbeiten zum Projekt etabliert wurde. Von diesen stabilen Klonen wurde bei Projektstart In-vitro-Material als vermehrbare Sprosskultur an die Praxispartner IfP und Hummel abgegeben, damit diese die In-vitro-Vermehrung unter kommerziellen Bedingungen testen konnten. Diese im kommerziellen Labor getesteten Klone sind auch auf den Riegelahorn-Versuchsflächen mit den Prüfgliednummern 1 – 8 vertreten (Tabelle 1).

Tabelle 1: Überblick zu den Prüfgliednummern (PG-Nr.) auf den Versuchsflächen zur Riegelahorn-Klonprüfung. Die PG-Nr. 1 bis 10 wurden in 2018 gepflanzt, die PG-Nr. 11 bis 20 im Jahr 2019.

PG-Nr.	Name des Prüfglieds	Charakterisierung Prüfglied, Ort der ersten In-vitro-Etablierung
1	Bov2	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
2	Gö10	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
3	Das7-1	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
4	Gött47-38	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
5	BMÜ76-1	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
6	SFGö1	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
7	Arni	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, Thünen-Institut
8	E87	schlichter In-vitro-Vergleichsklon als Kontrolle, Thünen-Institut
9	Standard Wehretal	Sämlingsstandard mit unbekannter Holzstruktur, Kontrolle, NW-FVA
10	Standard Schlüchtern	Sämlingsstandard mit unbekannter Holzstruktur, Kontrolle, NW-FVA
11	Lieb3-1	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
12	Pauli	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, Thünen-Institut
13	Schussi	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, Thünen-Institut
14	Lieb1-1	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
15	MühlWK 1	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
16	CHRhein8-1	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
17	SFHb1	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
18	Ras30-1	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
19	Ras30-2	In-vitro-Klon von einem Riegelahorn, NW-FVA
20	E87-Petiole	schlichter In-vitro-Vergleichsklon als Kontrolle, Thünen-Institut

Die Projektpartner verständigten sich zu Projektbeginn darauf, dass die an den Forschungsinstituten autovegetativ erzeugten In-vitro-Pflanzen von Riegelahorn-Klonen in einem Versuchsdesign zur Klonprüfung ausgepflanzt werden sollen. Um ausreichend Versuchsflächen für eine Riegelahorn-Klonprüfung nach FoVG zu schaffen, wurde abgesprochen, dass das Thünen-Institut wie auch die NW-FVA je zwei Versuchsflächen anlegt. Die Versuchspflanzen-Produktion sowie die Anlage der Versuchsflächen wurden dabei in zwei Etappen über einen Zeitraum von zwei Jahren geplant.

Die Anlage der Versuchsflächen zur Riegelahorn-Klonprüfung startete am Thünen-Institut im Frühjahr 2018 an den Standorten **Schlemmin** (Landesforst Mecklenburg-Vorpommern, Revier Schlemmin) und **Arnsdorf** (Staatsbetrieb Sachsenforst, Revier Großröhrsdorf). Im Frühjahr 2019 erfolgte dann eine Erweiterung der Versuchsflächen in unmittelbarer Nähe zu den bereits angelegten Flächen. Die Riegelahorn-Versuchsflächen der NW-FVA wurden parallel angelegt und befinden sich im Forstamt Münden (Revier Goseplack bei Harste, Gemeinde Bovenden) sowie im Forstamt Reinhardshagen auf der ehemaligen Eschensamenplantage Jungviehweide.

Bei den zwei Versuchsflächen zur Riegelahorn-Klonprüfung des Thünen-Instituts handelt es sich um Erstaufforstungsflächen, die deutliche Unterschiede hinsichtlich des Nährstoffgehalts aufweisen. So liegt die Versuchsfläche Schlemmin auf einem nährstoffreichen K-Standort, der für Berg-Ahorn die besten Voraussetzungen bietet und zuvor als Acker genutzt wurde (Abbildung 2).

Abbildung 2: Riegelahorn-Klonprüfung Schlemmin. Bepflanzung der Versuchsfläche am 5. April 2018. Die Erstaufforstungsfläche mit vorhergehender Ackernutzung liegt im Revier Schlemmin, Landesforst Mecklenburg-Vorpommern. (Fotos: C. BÄUCKER)

Im Gegensatz zu Schlemmin ist die sächsische Versuchsfläche bei Arnsdorf für Berg-Ahorn weniger optimal, da sie sich auf einem M-Standort befindet. Dieser nährstoffärmere Standort, der im Untergrund zudem gelegentlich wechselfeucht und durch den Bodentyp Pseudogley charakterisiert ist, hatte eine vorhergehende Grünlandnutzung (Abbildung 3). Es ist davon auszugehen, dass es für die Pflanzen des Berg-Ahorns schwierig sein wird, den Boden des Arnsdorfer Standorts mit den Wurzeln zu erschließen.

Abb. 3: Riegelahorn-Klonprüfung Arnsdorf. Die Erstaufforstungsfläche, die zuvor Grünland war, liegt im Revier Großröhrsdorf, Staatsbetrieb Sachsenforst. Links und Mitte: Bepflanzung des Versuchs am 19. April 2018. Rechts: Versuchspflanze des Klons Bov2 mit starken Anzeichen von Trockenstress nach einem Jahr des Wachstums. (Fotos: C. BÄUCKER)

Hinsichtlich des Versuchsflächendesigns einigten sich das Thünen-Institut und die NW-FVA auf ein identisches experimentelles Design, damit die Ergebnisse der Riegelahorn-Klonprüfungen vergleichbar sind. Das Versuchsflächendesign beinhaltete einen Pflanzverband von 2 x 2,5 m mit 4 (2 x 2) Pflanzen pro Parzelle und 6 Wiederholungen, die in Blöcken angelegt wurden. Innerhalb der Blöcke wurden die Parzellen vollständig randomisiert.

Insgesamt werden auf den angelegten Versuchsflächen 16 Riegelahorn-Klone getestet. Die Gesamtanzahl an Prüfgliedern ist jedoch höher, da Pflanzen der Berg-Ahorn Sämlingsstandards Wehretal und

Schlüchtern als Kontrollen mit auf die Flächen ausgebracht wurden (Tabelle 1). Überdies wurde der nicht geriegelte Klon E87, der am Thünen-Institut aus einem Experiment zur somatischen Embryogenese hervorging, als schlichter In-vitro-Vergleichsklon mit in die Klonprüfung aufgenommen. Bei der Flächenerweiterung in 2019 wurde dieser Klon wiederholt, jedoch in der Variante E87-Petiole. Dieser besonders schnellwüchsige Klon, der aus Zellen an der Blattstielbasis austreibender Blätter von *in vitro* vermehrten E87-Pflanzen regeneriert wurde, dient ebenfalls als In-vitro-Vergleich. Ferner fand im Rahmen der zweiten Etappe der Versuchsflächenbepflanzung eine Wiederholung einiger Klone aus dem Jahr 2018 statt, um die vorbereiteten Versuchsflächen vollständig zu bepflanzen (Klone: Arni, Gö10, E87).

Im Rahmen der ersten Etappe der Versuchsflächenbepflanzung im Frühjahr 2018 wurden die Prüfglieder 1 – 10 ausgebracht (Tabelle 1). Die Flächenaufnahme einige Monate später zeigte, dass die meisten Pflanzen angewachsen waren. So wurden auf der Versuchsfläche in Schlemmin im November 2018 lediglich ein Ausfall bei den Prüfgliedern E87 und Bov2 sowie zwei ausgefallene Versuchspflanzen beim Sämlingsstandard Schlüchtern (Prüfglied 10) dokumentiert.

Auf der in 2018 angelegten Fläche in Arnsdorf gab es ebenfalls wenige Ausfälle an Versuchspflanzen, wobei die Ausfallrate beim Sämlingsstandard Schlüchtern erneut leicht höher ausfiel als bei den übrigen Prüfgliedern. Hinsichtlich der Anzahl abgestorbener Pflanzen konnte jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Prüfgliedern festgestellt werden. Alle toten Versuchspflanzen auf der Arnsdorfer Fläche wurden im Frühjahr 2019 mit Nachpflanzungen ersetzt. Dabei zeigten die Klone Bov2, Gö10 und der Sämlingsstandard Schlüchtern häufig Anzeichen von Trockenstress, d. h. bei mehreren Pflanzen dieser Prüfglieder war die Sprossspitze abgestorben, was einen Rückschnitt erforderlich machte (Abbildung 3, Foto rechts). Überdies fiel auf, dass der Sämlingsstandard Wehretal (Prüfglied 9) frühaustreibend ist. Ferner zeigte sich auf beiden Versuchsflächen, dass die Pflanzen im heißen und trockenen Sommer 2018 oberirdisch nicht gewachsen waren.

Die Versuchsflächenerweiterungen erfolgten mit den Prüfgliednummern 11 – 20 im Jahr 2019 (Tabelle 1). Die Bepflanzung fand im identischen Versuchsflächendesign wie 2018 statt, wobei von jedem Prüfglied insgesamt 24 Pflanzen pro Versuchsfläche gepflanzt wurden (Ausnahme hier Klon Lieb3-1 aufgrund von Verlusten bei der Produktion von Versuchspflanzen am Thünen-Institut). Alle Versuchsanlagen zur Riegelahorn-Klonprüfung des Thünen-Instituts wie auch die parallel errichteten Versuchsflächen an der NW-FVA wurden in 2019 fertiggestellt.

Für alle auf den Versuchsflächen ausgepflanzten Klone existiert ein genetischer Fingerabdruck. Dieser Fingerprint wurde anhand der vom Thünen-Institut während der Projektlaufzeit erarbeiteten Methode unter Verwendung von zwölf nuklearen Mikrosatelliten-Markern erstellt (BÄUCKER und LIESEBACH 2018). Die Methode ermöglichte zudem ein Erkennen von durchgewachsenen Unterlagen sowie von Verwechslungen im Klon-Material. So stellte sich bei der Auswertung der Mikrosatelliten-Daten heraus, dass die zwei In-vitro-Klone Eppi und Kemp keine Riegelahorn-Klone sind, sondern Duplikate des schlichten Klons E87. Hier kam es vor Projektbeginn zu Vertauschungen im In-vitro-Labor des Thünen-Instituts. Entsprechend der genetischen Ergebnisse wurden die *in vitro* vermehrten Versuchspflanzen der Klone Eppi und Kemp in E87 umbenannt. Bei der anschließenden Suche nach dem richtigen Material dieser zwei Klone konnten einige Pflanzen des ursprünglichen Klons Eppi auf einer im Jahr 2013 angelegten Demonstrationsfläche im Forstamt Heldburg (Thüringen Forst) sicher nachgewiesen werden. Material des ursprünglichen Klons Kemp konnte ebenfalls eindeutig identifiziert werden und existiert in Form mehrerer Pfropfungen auf dem Gelände der Baumschule F.-O. Lürssen GmbH & Co. KG (Lürssen) am Standort Tempelberg (Brandenburg).

Insgesamt wurden am Thünen-Institut 1231 Berg-Ahorn Proben im Projektzeitraum genotypisiert und die Mikrosatelliten-Daten wie auch alle Informationen zu den Proben in einer Datenbank gespeichert. Die Auswertung der Elektropherogramme zeigte dabei deutlich die Tetraploidie von Berg-Ahorn durch ein Vorhandensein von maximal vier Allelen pro Locus (Abbildung 4).

MAP9Am118SM21ASM60SM29

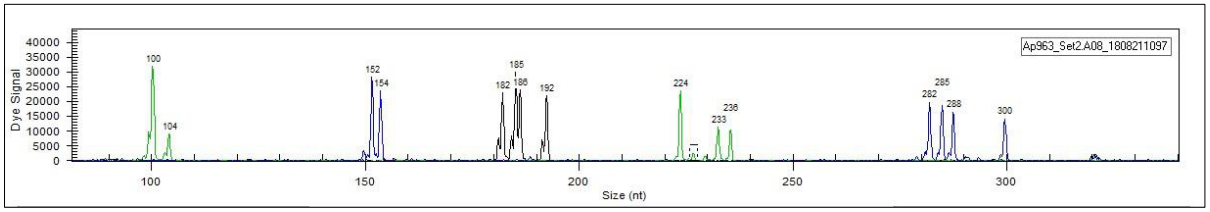

Abbildung 4: Beispiel eines Elektropherogramms von Berg-Ahorn. Die Tetraploidie dieser Baumart ist deutlich in Form von vier eigenständigen Peaks (= Allele) pro Locus zu erkennen, wie hier bei den Markern SM21A und SM29. Für den Marker Am118 wurde hingegen eine maximale Anzahl von nur zwei Allelen im gesamten Probenmaterial gefunden.

Im Rahmen der Genotypisierung fand auch eine genetische Analyse der Klone auf der Berg-Ahorn Samenplantage Jungviehweide, die der NW-FVA gehört, statt. Des Weiteren wurden die Nachkommen dieser Samenplantage, die auf den NKPs der NW-FVA in Romrod und Schotten wachsen (insgesamt 599 Individuen), genotypisiert. Außerdem erfolgte eine genetische Überprüfung der Pfropflinge in der Baumschule Lürssen. Diese Baumschule verfügt über ein Mutterquartier mit Pfropfungen von drei Riegelahorn-Klonen, die vor Projektstart vom Thünen-Institut in Kooperation mit der Baumschule dort gesichert wurden (Klone: Grimma, Kemp und Mühl). Bei der genetischen Überprüfung stellten sich von den insgesamt 248 existierenden Pfropflingen 65 als durchgewachsene Unterlagen heraus. Zusätzlich wurde auch die Identität der Riegelahorn-Pfropfungen auf dem Baumschulgelände wie im Arboretum des Thünen-Instituts in Waldsieversdorf kontrolliert. Hier konnten acht der insgesamt 32 Pfropfungen als durchgewachsene Unterlage identifiziert werden. Ferner wurde im Jahr 2018 Probenmaterial von einem riesigen Berg-Ahorn aus dem Hamburger Hirschpark analysiert, bei dem die Frage geklärt werden sollte, ob es sich um ein Individuum oder eine Bündelpflanzung handelt. Anhand des genetischen Fingerabdrucks konnte eindeutig der Nachweis für ein Individuum erbracht werden (BÄUCKER und LIESEBACH 2019).

Diskussion

Das angestrebte züchterische Gesamtziel im Verbundprojekt „Riegelahorn“ wurde komplett erreicht, wobei einige Projektaufgaben vom Thünen-Institut und der NW-FVA gemeinsam zu erfüllen waren. So wurde von beiden Forschungsinstituten wertvolles Material von hochpreisig verkauften Riegelahorn-Stämmen über Holzsubmissionen akquiriert und durch die Methode der Pfropfung gesichert. Zudem gelang an beiden Instituten sowohl die In-vitro-Etablierung von Riegelahorn-Material als auch die erfolgreiche Vermehrung zu stabilen In-vitro-Klonen. Infolge der neu etablierten In-vitro-Kulturen von Riegelahorn wie auch durch den Austausch von Klon-Material zwischen den Projektpartnern Thünen-Institut und NW-FVA, vergrößerte sich die Riegelahorn-Sammlung an beiden Instituten. Dabei umfasste die Riegelahorn-Sammlung am Thünen-Institut am Ende der Projektzeit insgesamt 23 Riegelahorn-Klone, wovon 13 Klone als stabil und wüchsig einzuschätzen waren. Die Praxispartner IfP und Hummel erhielten ebenfalls In-vitro-Material von verschiedenen Riegelahorn-Klonen und konnten damit die kommerzielle Produktion von In-vitro-Pflanzen ausgehend von Riegelahorn-Sprosskulturen im Projektzeitraum erfolgreich testen.

Für eine zeitnahe Prüfung und Zulassung von Riegelahorn-Klonen nach FoVG wurden am Thünen-Institut wie an der NW-FVA je zwei Versuchsflächen zur Riegelahorn-Klonprüfung errichtet. Diese Flächen, die in zwei Etappen (2018 und 2019) bepflanzt wurden, dienen neben der Klonprüfung auch dem Erhalt und der Sicherung des genetischen Materials der mikrovermehrten Riegelahorn-Klone. Im Vorfeld der Versuchsflächenanlage einigten sich das Thünen-Institut und die NW-FVA auf ein identisches Versuchsflächendesign, sodass die Ergebnisse der vier Versuchsflächen vergleichbar sind. Auf den

angelegten Klonprüfungen wachsen derzeit Versuchspflanzen von insgesamt 20 Prüfgliedern, wovon 16 Prüfglieder auf *in vitro* etabliertes Riegelahorn-Material zurückgehen. Die restlichen vier Prüfglieder stellen Kontrollen in Form von zwei Berg-Ahorn Sämlingsstandards sowie zwei Klon-Varianten des nicht geriegelten In-vitro-Vergleichsklons E87 dar.

Die zwei Versuchsflächen des Thünen-Instituts wurden bei Schlemmin (Revier Schlemmin, Landesforst Mecklenburg-Vorpommern) und Arnsdorf (Revier Großröhrsdorf, Staatsbetrieb Sachsenforst) angelegt. Da die Versuchsstandorte starke Unterschiede im Nährstoffgehalt des Bodens aufweisen, wird es anhand der Klonprüfungen möglich sein, die Entwicklung der Riegelahorn-Klone auf für Berg-Ahorn optimalen und weniger guten Standorten einzuschätzen. Bei der ersten Flächenaufnahme in Schlemmin und Arnsdorf waren nur wenige Ausfälle an Versuchspflanzen zu verzeichnen und es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Prüfgliedern hinsichtlich der Anzahl abgestorbener Pflanzen, die ersetzt wurden.

Für alle auf den Versuchsflächen wachsenden Klone wurde ein genetischer Fingerabdruck mittels der im Projekt entwickelten Mikrosatelliten-Methode (BÄUCKER & LIESEBACH 2018) erstellt, sodass eine spätere Klonidentifizierung im Rahmen der Klonzulassung respektive kommerziellen Produktion jederzeit möglich ist. Eine genetische Überprüfung im Vorfeld des Klonzulassungsverfahrens und der kommerziellen Erzeugung wäre aufgrund der Erfahrungen im Riegelahorn-Projekt dringend zu empfehlen, da Verwechslungen im Klon-Material nicht auszuschließen sind. Überdies sollten auch Riegelahorn-Pfropfungen überprüft werden, da es bei Pfropflingen doch häufiger zum Absterben des Edelreises kommt. So konnten im Rahmen der Genotypisierung von Pfropfungen einige durchgewachsene Unterlagen im Riegelahorn-Mutterquartier der Baumschule Lürssen sowie im Thünen-Arboretum in Waldsieversdorf festgestellt werden. Durch die genetischen Analysen gelang zudem eine Rückverfolgung von Klon-Material, das heute nicht mehr am Thünen-Institut existiert, wie z. B. der Riegelahorn-Klon Eppi. Dieser Klon konnte in Thüringen auf einer Demonstrationsfläche im Forstamt Heldburg sicher identifiziert werden, sodass hier Material für eine erneute In-vitro-Etablierung des Klons Eppi vorhanden ist. Ebenso wäre auch Material des ursprünglichen Klons Kemp verfügbar, der in Form mehrerer Pfropfungen auf dem Gelände der Baumschule Lürssen wächst.

Die im Rahmen des Riegelahorn-Projekts vom Thünen-Institut entwickelte Mikrosatelliten-Methode zur genetischen Charakterisierung und Identifizierung von Berg-Ahorn mittels zwölf Mikrosatelliten-Markern des Kerngenoms hat sich im Projekt durchaus bewährt und kann als leistungsstark angesehen werden. Im Zuge der Genotypisierung von insgesamt 1.231 Berg-Ahorn Proben wurde eine Datenbank am Thünen-Institut aufgebaut, in der die Mikrosatelliten-Daten der gesicherten Riegelahorn-Klone sowie Daten von weiterem Proben- und Referenzmaterial von Berg-Ahorn gespeichert sind. Diese Datenbank stellt ein wertvoller Datensatz für zukünftige Forschungen dar.

Trotz der guten Möglichkeiten der genetischen Identifizierung der Riegelahorn-Klone sowie der erfolgversprechenden kommerziellen Testproduktion von In-vitro-Pflanzen durch die Praxispartner wird es noch mehrere Jahre dauern, bis eine Zulassung von Riegelahorn-Klonen nach FoVG erfolgen kann. Denn die Anzeichen einer Riegelung beim Berg-Ahorn prägen sich erst in einem Baumalter von ca. 12 Jahren aus (EWALD & NAUJOKS 2014), sodass diese Wachstumszeit abgewartet werden muss, um das Merkmal der Riegelung zu untersuchen. Es ist also von einem Zeitraum von ca. 12 – 15 Jahren auszugehen, bevor Exemplare von Riegelahorn-Klonen auf den Klonprüfungen entnommen und ihr Holz begutachtet werden kann. Für die Begutachtung und Einschätzung der Riegelintensität wurde bereits im Rahmen des Projekts eine destruktive Methode durch den Kooperationspartner Thünen-Institut für Holzforschung entwickelt. Diese Methode beurteilt die Riegelung anhand der makroskopischen Analyse eines ca. 1 m langen Stammstücks. Nach Abschluss der Holzanalysen würden diejenigen Klone, die sich durch eine deutliche Riegelung sowie eine akzeptable Geradschaftigkeit auszeichnen, eine Zulassung nach FoVG erhalten. Im Anschluss daran könnte die kommerzielle Produktion von Riegelahorn-Pflanzen durch die Praxispartner starten, sodass dann nach FoVG zugelassene Riegelahorn-Klone von Waldbesitzern käuflich zu erwerben wären.

Perspektivisch würde sich nach dem kommerziellen Verkauf von Riegelahorn-Pflanzen ein längerer Zeitraum des Wachstums im Wald anschließen, da die Umtriebszeit bei Berg-Ahorn zwischen 120 bis 140 Jahren liegt. Daher muss mit einem Zeitraum von vielen Jahrzehnten gerechnet werden, bis das *in vitro* erzeugte Riegelahorn-Holz tatsächlich auf den Markt kommt, selbst wenn ein Fällen der Bäume bereits nach ca. 80 Jahren erfolgen würde. Da die Riegelung sich mit zunehmendem Baumalter stärker ausprägt, ist mit einem frühzeitigen Fällen aber eher weniger zu rechnen.

Das Pflanzen von Riegelahorn-Klonen ist also ein Projekt für die Zukunft, das die Waldbesitzer nach den Erfahrungen im Projekt sehr gerne eingehen wollen. Bereits während der Projektlaufzeit wurde Riegelahorn als Vermehrungsgut überaus stark nachgefragt. Dieser Nachfrage konnte jedoch nicht nachgekommen werden, da das Verfahren der Klonprüfung noch nicht abgeschlossenen ist. Darüber hinaus hätte Vermehrungsgut gar nicht in dem Umfang zum Verkauf zur Verfügung gestanden, wie Interesse daran besteht. Es ist aber davon auszugehen, dass dem Bedarf an Riegelahorn-Pflanzen schnell entsprochen werden kann, sobald die Riegelahorn-Klone als geprüftes Vermehrungsgut entsprechend dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) zugelassen sind.

Die Aussichten für eine Verwendung und Nutzung des geriegelten Holzes von zugelassenen Riegelahorn-Klonen sind national wie international als hervorragend einzuschätzen, da das wertbestimmende Merkmal, die Riegelung, für den Möbel- und Musikinstrumentenbau von besonderem Interesse ist (CONRAD 1988, PREROW 2009). Es ist sogar anzunehmen, dass sich der Bedarf an Riegelahorn-Holz in der Musikinstrumentenbranche noch ausweiten wird, da alle Palisander-Arten (*Dalbergia* spp.) und andere Tropenhölzer seit Herbst 2016 Bestandteil des Washingtoner Artenschutzübereinkommens (CITES) sind und nicht mehr für den Bau von Musikinstrumenten verwendet werden dürfen. Somit wird die Nachfrage nach einheimischen Holz-Alternativen, wie z. B. dem Berg-Ahorn steigen, wobei natürlich geriegelte Unikate aufgrund ihrer Einzigartigkeit stets sehr begehrt sein dürften und Absatz finden werden.

Die Forschungen im Riegelahorn-Projekt sind auch international auf Interesse gestoßen. So besuchte die US-amerikanische Sägewerksfirma „Pacific Rim Tonewoods“ (PRT) aus Concrete (Washington) das Thünen-Institut in Waldsieversdorf. Diese Firma arbeitet eng mit dem Gitarrenhersteller „Taylor Guitars“ zusammen, wobei PRT auf die Herstellung von Gitarrenhölzern spezialisiert ist und jährlich Holz für ca. 300.000 Gitarren an „Taylor Guitars“ liefert. Die Firma PRT testet daher seit einigen Jahren die Möglichkeiten des kommerziellen Anbaus von geriegeltem Oregon-Ahorn (*Acer macrophyllum*) sowie geriegelter Koa-Akazie (*Acacia koa*). Inzwischen verfügt PRT über eine umfangreiche Klon-Sammlung an stecklingsvermehrten Exemplaren von Oregon-Ahorn mit Riegelung. Daneben gelang es PRT, eine eigene In-vitro-Sammlung geriegelter Klone von Oregon-Ahorn aufzubauen. Die „Simon Fraser University“ wirkte bei der Erforschung der Nährmedien-Rezeptur entscheidend mit (ZHOU 2018), wobei die Forschungen des Thünen-Instituts (EWALD & NAUJOKS 2015) eine wichtige Basis bildeten.

Bis dato sind die Fortschritte auf dem Gebiet der In-vitro-Pflanzenproduktion von geriegelten Ahorn-Klonen in Deutschland am weitesten vorangeschritten. Die im Riegelahorn-Projekt erzielten Erkenntnisse sollten genutzt werden, um das Produkt „Riegelahorn-Klon“ weiterzuentwickeln und hinsichtlich einer schnelleren Wüchsigkeit oder einer Toleranz gegenüber der Rußrindenkrankheit noch zu verbessern. Die sich seit 2005 in Deutschland ausbreitende Rußrindenkrankheit an Ahorn, die von dem Pilz *Cryptostroma corticale* verursacht wird (METZLER 2006), könnte eventuell die Erfolgsaussichten des Anbaus von geriegelten Berg-Ahorn Klonen negativ beeinflussen. Momentan kommt die Krankheit vornehmlich im urbanen Bereich, also im Kontext von großem Salz- wie Hitzestress und Wassermangel vor. Daneben wird ein Auftreten der Krankheit in kleineren Waldbeständen beobachtet, wobei Ahornreinbestände bzw. Mischbestände mit sehr hohen Ahornanteilen betroffen sind (BURGDORF & STRAßER 2019).

Vor dem Hintergrund der Klimaveränderungen wie dem Auftreten neuer Baumkrankheiten sollte die Produktpalette an Klonen mit Riegelstruktur auf andere einheimische Baumarten, wie z. B. Erle, Elsbeere oder Birnbaum ausgeweitet werden. So forscht z. B. die Arbeitsgruppe von Prof. Dr. PFRIEM an der Universität Eberswalde zur Verwendung einheimischer Hölzern im Gitarren-, Geigen und

Blasinstrumentenbau. Diese für die Musikinstrumentenbranche absolut zukunftsweisenden Forschungsaktivitäten beinhalten auch eine Verbesserung des Holzes durch thermische Behandlung (Thermoholz), sodass sich hier auch neue Forschungsfelder zum Riegelahorn-Holz ergeben könnten.

Schlussfolgerung

Im Rahmen des Riegelahorn-Projekts wurden alle Voraussetzungen für eine zeitnahe Prüfung und Zulassung von Riegelahorn-Klonen nach FoVG sowie den anschließenden kommerziellen Verkauf geschaffen. So wurden vom Thünen-Institut und der NW-FVA insgesamt vier Klonprüfungen (je zwei Versuchsflächen pro Institut) mit 16 *in vitro* vermehrten Riegelahorn-Klonen im identischen Versuchsdesign angelegt. Da erste, sichere Anzeichen einer Riegelstruktur bei Berg-Ahorn in einem Baumalter von zwölf Jahren auftreten, ist mit einem Zeithorizont von ca. 15 Jahren zu rechnen bis geradschaftige und deutlich geriegelte Riegelahorn-Klone eine Zulassung nach FoVG erhalten. Erst danach könnten In-vitro-Pflanzen von Riegelahorn-Klone durch die kommerziellen Praxispartner produziert werden. Hierbei ist eine sichere Identifizierung der Klone gewährleistet, da eine leistungsstarke Mikrosatelliten-Methode, die einen genetischen Fingerabdruck erlaubt, im Riegelahorn-Projekt erarbeitet wurde. Im Zuge der Genotypisierungsarbeiten im Projekt entstand zudem ein wertvoller Datensatz, der 1.231 Berg-Ahorn Proben umfasst.

Zukünftige Forschungen zum Riegelahorn sollten eine Verbesserung des Produkts „Riegelahorn-Klon“, z. B. hinsichtlich einer Toleranz gegenüber der Rußrindenkrankheit, zum Ziel haben. Daneben wäre anzustreben, die Produktpalette an geriegelten Klonen auf andere einheimische Baumarten, wie z. B. Erle, Elsbeere, Birnbaum auszuweiten. Der Bedarf an geriegeltem Berg-Ahorn und anderen einheimischen Hölzern in geriegelter Ausprägung wird sich im Musikinstrumentenbau zukünftig steigern angesichts der neuen Bestimmungen des Washingtoner Artenschutzübereinkommens.

Darüber hinaus wäre es wünschenswert, die im Riegelahorn-Projekt gewonnen Erkenntnisse zu nutzen und weiter an den Ursachen, die das Merkmal Riegelung hervorbringen, zu forschen. Die Ursachenforschung sollte hierbei vergleichend mit anderen Baumarten erfolgen, um das Phänomen der Riegelung in seiner Komplexität zu erfassen. Ferner ist die Entwicklung eines kostengünstigen Nachweistests für die Riegelung am lebenden Baum als ein durchaus wichtiges Forschungsdesiderat anzusehen.

Danksagung

Für die finanzielle Förderung des Verbundprojekts „Riegelahorn“ danken wir der Landwirtschaftlichen Rentenbank (LR-Förderkennzeichen 776393). Bei P. KNAUER vom Thünen-Institut (Waldsieversdorf) bedanken wir uns sehr für die sorgfältige Durchführung der Laborarbeiten zur genetischen Analyse sowie für die Arbeiten in der In-vitro-Vermehrung. Für den Austausch mit wertvollem Riegelahorn-Material sowie die Unterstützung bei der Produktion von Riegelahorn-Pflanzen danken wir herzlich M. QUAMBUSCH, T. WETZEL und A. MEIER-DINKEL von der NW-FVA, einem Kooperationspartner im Projekt „Riegelahorn“. Großer Dank geht zudem an den Staatsbetrieb Sachsenforst, Revier Großröhrsdorf und die Landesforst Mecklenburg-Vorpommern, Forstamt Schlemmin für die Bereitstellung der Versuchsflächen zur Riegelahorn-Klonprüfung. Ferner danken wir M. PÖGE von der Baumschule Lürssen für die Möglichkeit, die Riegelahorn-Pfropfungen zu überprüfen und folgenden Personen für die Zusendung von Riegelahorn-Reisern: C. ZAISER, L. KLÖFFER, R. WARMUTH, D. FRITZLAR und R. HABERLAND.

Literatur

BÄUCKER C, LIESEBACH H (2018) From in vitro clones to high-quality timber production: the project "Wavy Grain Maple". In: DEGEN B, KRUTOVSKY KV, LIESEBACH M (Eds) German Russian Conference on Forest Genetics - Proceedings - Ahrensburg, 2017 November 21-23, Thünen Rep 62, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, DE, pp 49–54

BÄUCKER C, LIESEBACH H (2019) Weiterer DNA-Nachweis für einen monumentalen Solitär: Der Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) im Hamburger Hirschpark. Mitt Deutsch Dendrol Ges 104:122–126. (ISBN 3-978-494-01794-5)

BEALS HO, DAVIS TC (1977) Figure in wood: an illustrated review. Alabama Agricultural Experiment Station, Bulletin 486, Auburn University, Auburn, United States of America, 79 pp (ASIN B0006WK30Y)

BURGDORF N, STRAßER L (2019) Rußrindenkrankheit an Ahorn in Bayern. AFZ-DerWald 20:36–39.

CONRAD J (1988) Seltene, abnorme Holzstrukturen und -farben bei Laubhölzern. Die Holzzucht 42:1–9.

DUMOLIN S, DEMESURE B, PETIT RJ (1995) Inheritance of chloroplast and mitochondrial genomes in pedunculate oak investigated with an efficient PCR method. Theor Appl Genet 91:1253–1256. https://doi.org/10.1007/BF00220937

dds online (2012) unter: https://www.dds-online.de/gestaltung/werkstoffe/unterm-moos-viel-los/ (abgerufen am 10.11.2019)

EWALD D, SCHNECK V, LIESEBACH H (2006) Wavy grain sycamore – propagation and field trail. In: Bohnens J (Ed) Forstliche Genressourcen als Produktionsfaktor. Hessen-Forst Forsteinrichtung, Information, Versuchswesen, Hann.-Münden, DE, p 131

EWALD D, NAUJOKS G (2015) Vegetative propagation of wavy grain *Acer pseudoplatanus* and confirmation of wavy grain in wood of vegetatively propagated trees: A first evaluation. Dendrobiology 74:135–142. https://doi.org/10.12657/denbio.074.013

EWALD D, NAUJOKS G (2014) Bildung und Erkennung der Riegelung bei vegetativ vermehrtem Riegelahorn. AFZ-Der Wald 5:17–19.

FAN Y, RUPERT K, WIEDENHOEFT AC, WOESTE K, LEXER C, MEILAN R (2013): Figured grain in aspen is heritable and not affected by graft-transmissible signals. Trees 27:973–983. https://doi.org/10.1007/s00468-013-0849-1

FOSTER RC (1933) Chromosome number in *Acer* and *Staphylea*. Journal of the Arnold Arboretum 14 (4):386-393

GEBHARDT K, BOHNENS J (2006) Mikrovermehrung und Klonprüfung bei Berg-/Riegelahorn. (Micropropagation and clonal tests of wavy grain sycamore maple). In: Bohnens J (Ed) Forstliche Genressourcen als Produktionsfaktor. Hessen-Forst Forsteinrichtung, Information, Versuchswesen, Hann.-Münden, DE, pp 146–153

GRAIGNIC N, TREMBLAY F, BERGERON Y (2013) Development of polymorphic nuclear microsatellite markers in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) using cross-species transfer and SSR-enriched shotgun pyrosequencing. Conservation Genet Resour 5:845–848. https://doi.org/10.1007/s12686–013–9923–7

KÄRKKÄINEN K, VIHERÄ-AARNIO A, VAKKARI P, HAGQVIST R, NIEMINEN K (2017) Simple inheritance of a complex trait: figured wood in curly birch is caused by one semi-dominant and lethal Mendelian factor? Can J Forest Res 47:991–995. https://doi.org/10.1139/cjfr–2017–0007

KIKUCHI S, SHIBATA M (2008) Development of polymorphic microsatellite markers in *Acer mono* Maxim. Mol Ecol Resour 8:339–341. https://doi.org/10.1111/j.1471–8286.2007.01948.x

KRABEL D, WOLF H, KONNERT M, LIESEBACH M, SCHNECK V (2012) Bergahorn. Eine Baumart mit Züchtungspotential. AFZ-Der Wald 5:10–12.

KRABEL D, WOLF H (2013) Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.). In: Pâques LE (Ed.), Forest Tree Breeding in Europe: Managing Forest Ecosystems, Chap. 8, Springer, Dordrecht, DE, pp 373–402 (ISBN 978-94-007-6145-2)

METZLER B (2006) *Cryptostroma corticale* an Bergahorn nach dem Trockenjahr 2003. Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 400:161–162.

PACIFIC RIM TONEWOODS (2019) unter: http://pacificrimtonewoods.com/research/ (abgerufen am 10.11.2019)

PANDEY M, GAILING O, FISCHER D, HATTEMER HH, FINKELDEY R (2004) Characterization of microsatellite markers in sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.). Mol Ecol Notes 4:253–255. https://doi.org/10.1111/j.1471–8286.2004.00633.x

PREROW H (2009) Der Berg-Ahorn: *Acer pseudoplatanus*. Charakteristika – Ökologie – Krankheiten und Schädlinge – Nutzung. Studienarbeit, 1. Auflage, GRIN Verlag, 24 pp (ISBN 978-3640554812)

SEGARRA-MORAGUES JG, GLEISER G, GONZÁLEZ-CANDELAS F (2008) Isolation and characterization of microsatellite loci in *Acer opalus* (Aceraceae), a sexually-polymorphic tree, through an enriched genomic library. Conserv Genet 9:1059–1062. https://doi.org/10.1007/s10592–007–9451–7

TAYLOR WR 1920. A morphological and cytological study of reproduction in the genus *Acer*. Contrib Bot Lab Univ Pennsylvania 5:111–138.

ZHOU C (2018) Development of micro-propagation in bigleaf maple (*Acer macrophyllum*) and screening for early markers preceding figured wood formation. Thesis for the Degree of Master of Science, Department of Biological Sciences, Faculty of Science, Simon Fraser University, Canada, 102 pp

Autoren

Dr. CORNELIA BÄUCKER, VOLKER SCHNECK
Thünen-Institut für Forstgenetik, Eberswalder Chaussee 3a, 15377 Waldsieversdorf
cornelia.baeucker@thuenen.de

Dr. HEIKE LIESEBACH
Thünen-Institut für Forstgenetik, Sieker Landstraße 2, 22927 Großhansdorf

THÜNEN

Thünen Report 76
Herausgeber/Redaktionsanschrift

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

www.thuenen.de

ISBN 978-3-86576-209-2
9 783865 762092