

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Strategien zur Erzeugung von Wertholz

Zuwendungsempfänger:

**Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NWFVA),
Abteilung Waldgenressourcen**

Professor-Oelkers-Straße 6, 34346 Hann. Münden

Förderkennzeichen:

2221NR009B

Laufzeit:

01.06.2021 bis 31.03.2025

Monat der Erstellung:

06/2025

Veröffentlichung:

15.04.2026

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Berichtsblatt - Kurzfassung des Vorhabens ¹

Zuwendungsempfänger: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)	Förderkennzeichen: 2221NR009B
Thema: Strategien zur Erzeugung von Wertholz Teilvorhaben 2: Sammlung, Erhaltung und In-vitro-Vermehrung von Wertholzbäumen mit besonderen Holzmerkmalen	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2021 bis 31.03.2025	

Projektbeschreibung:

Im Rahmen des Verbundprojekts war die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) maßgeblich an der Identifikation, Erhaltung und In-vitro-Vermehrung von Individuen mit besonderen Holzeigenschaften beteiligt. Ausgangspunkt bildete die gezielte Suche nach herausragenden Ausgangsbäumen mit wertsteigernden Anomalien wie Riegelung oder anderen außergewöhnlichen Maserungen, die bei Wertholzsubmissionen besonders hohe Erlöse erzielten. Zur langfristigen Sicherung dieser Phänotypen wurden von der NW-FVA Reiser gesammelt und in-vitro etabliert. Parallel wurde ein Kryokonservierungsprotokoll für Bergahorn entwickelt, das die dauerhafte Lagerung ausgewählter Genotypen in flüssigem Stickstoff erlaubt. Das In-vitro-Kulturprotokoll sollte zudem optimiert werden, um eine zuverlässige vegetative Vermehrung auch anspruchsvoller Klone zu ermöglichen.

Ziel war es, selektierte Klone vegetativ zu erhalten, zu vermehren und für weiterführende Prüfungen vorzubereiten. Die vermehrten Klone wurden gemeinsam mit Projektpartnern in bundesweit verteilten Klonprüfungen ausgepflanzt. In den kommenden Jahren soll systematisch erfasst werden, ob sich die besonderen Holzeigenschaften – insbesondere die Riegelung – auch nach In-vitro-Kultur stabil ausprägen. Parallel wird das forstliche Leistungspotenzial dokumentiert, etwa durch Höhenzuwachs, Brusthöhendurchmesser (BHD) und Wuchsform. Geeignete Klone sollen perspektivisch gemäß dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) zugelassen werden.

Ein zentrales Ziel des Projekts war die Entwicklung und Überprüfung der Hypothese, dass bestimmte Holzeigenschaften genetisch bedingt sind. Grundlage bildeten zwei rund 40 Jahre alte Nachkommenschaftsprüfungen mit Bergahorn, in denen geriegelte Nachkommen nachgewiesen wurden. Durch gezielte Fällungen konnte systematisch Probenmaterial für Holzanalysen gewonnen werden. Die Erkenntnisse bilden eine Grundlage für künftige Züchtungsstrategien.

Projektergebnisse:

Im Teilvorhaben der NW-FVA wurden zahlreiche Bäume mit besonderen Holzeigenschaften wie Riegelung erfasst und vegetativ gesichert. Für ihre Erhaltung wurde ein In-vitro-Protokoll für Bergahorn weiter optimiert und bei 52 % der getesteten Genotypen erfolgreich angewendet. Besonders geeignet erwies sich Stockauschlagmaterial, insbesondere in Kombination mit NaDCC zur Oberflächendesinfektion. Ein ergänzendes Kryokonservierungsprotokoll zur Langzeitlagerung in flüssigem Stickstoff wurde etabliert. Die Kombination aus vierwöchiger Abhärtung und viertägiger Vorkultur zeigte bei mehreren Klonen die höchsten Regenerationsraten nach dem Auftauen.

Für die forstliche Prüfung wurden zwei neue Klonprüfungsflächen angelegt und zwei bestehende weiter betreut. Die Beobachtung der Merkmalsstabilität der Riegelung und des Wuchspotenzials steht noch aus. Das Projekt leistete wichtige Beiträge zur vegetativen Erhaltung seltener Holzeigenschaften und zur Etablierung biotechnologischer Verfahren im forstlichen Bereich. Eine wissenschaftliche Veröffentlichung zu den entwickelten Protokollen ist geplant.

Ein zentrales Ziel war die gemeinsame Entwicklung und Überprüfung der Hypothese, dass Riegelung genetisch bedingt ist. Grundlage bildeten zwei rund 40 Jahre alte Nachkommenschaftsprüfungen mit bekannter Elternstruktur. Bei 113 gezielt gefällten Bäumen wurde die Holzstruktur makroskopisch bewertet. Die Ergebnisse zeigten erstmals ein dominantes Vererbungsmuster: 71 % der Nachkommen mit mindestens einem geriegelten Elternteil zeigten ebenfalls Riegelung. Die Ergebnisse bilden die Grundlage eines derzeit zur Veröffentlichung eingereichten Manuskripts.

Short Project Description ¹

Beneficiary: Northwest German Forest Research Institute	Project number: 2221NR009B
Project title: Strategies for the Production of High-Value Timber Subproject 2: Collection, Conservation and In Vitro Propagation of High-Value Timber Trees with Special Wood Characteristics	
Project : 01.06.2021 bis 31.03.2025	

Project objective:

As part of the collaborative project, the Northwest German Forest Research Institute (NW-FVA) played a key role in the identification, conservation and in vitro propagation of individuals with exceptional wood characteristics. The starting point was the targeted selection of outstanding trees exhibiting value-enhancing anomalies such as wavy grain or other unusual wood figures, which have achieved particularly high prices at premium timber auctions. To ensure the long-term preservation of these phenotypes, scions were collected by the NW-FVA and established in vitro. In parallel, a cryopreservation protocol for sycamore maple (*Acer pseudoplatanus*) was developed that enables the long-term storage of selected genotypes in liquid nitrogen. The in vitro culture protocol was also to be optimised to allow reliable vegetative propagation of even challenging clones.

The objective was to preserve and propagate selected clones vegetatively and prepare them for further evaluation. The propagated clones were planted in clonal trials across Germany in collaboration with project partners. In the coming years, it will be systematically assessed whether the distinctive wood characteristics, particularly wavy grain, remain stable after in vitro culture. At the same time, silvicultural performance will be monitored, including height growth, diameter at breast height (DBH) and growth form. Suitable clones are intended to be approved in accordance with the German Forest Reproductive Material Act (FoVG).

A central aim of the project was to develop and validate the hypothesis that specific wood characteristics are genetically determined. The basis for this was two approximately 40-year-old sycamore maple progeny trials in which wavy-grained offspring were identified. Through targeted felling, wood samples could be systematically collected for analysis. The findings provide a foundation for future breeding strategies.

Project results:

In the subproject coordinated by the NW-FVA, numerous trees with special wood characteristics such as wavy grain were identified and vegetatively preserved. To support their conservation, an in vitro protocol for sycamore maple (*Acer pseudoplatanus*) was further optimised and successfully applied to 52% of the tested individuals. Coppice shoots proved particularly suitable, especially in combination with NaDCC for surface disinfection. An additional cryopreservation protocol for long-term storage in liquid nitrogen was established. The combination of a four-week cold acclimation and a four-day preculture phase resulted in the highest regeneration rates after thawing in several clones.

For silvicultural evaluation, two new clonal trial sites were established and two existing trials were maintained. The assessment of trait stability for wavy grain and growth potential is still pending. The project made significant contributions to the vegetative conservation of rare wood characteristics and to the implementation of biotechnological methods in forestry. A scientific publication on the developed protocols is in preparation.

A key objective was the joint development and validation of the hypothesis that wavy grain is genetically determined. The basis for this was two approximately 40-year-old progeny trials with known parentage. In 113 selectively felled trees, wood structure was assessed macroscopically. The results show, for the first time, a dominant inheritance pattern: 71% of the offspring with at least one wavy-grained parent also developed wavy grain. The findings form the basis of a manuscript currently under submission for scientific publication.

Erfolgskontrollbericht¹

Zuwendungsempfänger: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Abteilung Waldgenressourcen, Professor-Oelkers-Straße 6, 34346 Hann. Münden	Förderkennzeichen: 2221NR009B
Vorhabenbezeichnung: Strategien zur Erzeugung von Wertholz	
Laufzeit des Vorhabens: 01.06.2024 bis 31.03.2025	

1. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen

Das Vorhaben unterstützt die Ziele des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ des BMEL und leistet einen Beitrag zur nachhaltigen Nutzung forstlicher Ressourcen. Es ist insbesondere den Handlungsfeldern D (Nachhaltige Erzeugung und Bereitstellung nachwachsender Ressourcen) und E (Wachstumsmärkte, innovative Technologien und Produkte) der Politikstrategie Bioökonomie zuzuordnen.

Mit der Entwicklung biotechnologischer Verfahren zur vegetativen Erhaltung und kontrollierten Vermehrung von Bergahornen mit besonderer Holzqualität zielt das Vorhaben auf einen Nutzungspfad mit erhöhtem Wertschöpfungspotenzial. Gleichzeitig wird durch die Anwendung und Weiterentwicklung moderner Schlüsseltechnologien, etwa der In-vitro-Kultur, ein Beitrag zum technologischen Fortschritt in der Forstpflanzenvermehrung geleistet.

Die Umsetzung des Vorhabens stärkt zudem die fachliche Qualifikation und das methodische Know-how im Bereich angewandter Pflanzenbiotechnologie und trägt damit zur langfristigen Wettbewerbsfähigkeit der Bioökonomie bei.

2. Erzielte Ergebnisse

- Im Teilvorhaben 2 konnten zentrale wissenschaftlich-technische Ergebnisse erzielt werden (vgl. Abschnitt I und II):
- Die In-vitro-Etablierung von *Acer pseudoplatanus* gelang bei über 50 % der getesteten Genotypen. Die höchsten Etablierungsraten wurden mit Winterknospen aus Stockausschlägen unter Verwendung von NaDCC erreicht.
- Es wurde ein Kryokonservierungsprotokoll zur Langzeitlagerung wertvoller Genotypen entwickelt und erfolgreich getestet. Besonders die Variante mit vierwöchiger Abhärtung und anschließender viertägiger Vorkultur zeigte zuverlässige Regenerationsraten.
- Rejuvenilisierungsversuche durch Reihenveredelung lieferten erste Hinweise auf eine verbesserte Regenerationsfähigkeit adulten Pflanzenmaterials.
- Klonprüfungsflächen wurden eingerichtet, um die Stabilität der Riegelung unter Praxisbedingungen zu prüfen.
- Entwicklung einer Hypothese zur genetischen Vererbung der Riegelung.
- Optimierung von Kulturparametern (Lichtqualität, Lichtintensität, Silbernitrat) mit genotypspezifischen Erkenntnissen zur In-vitro-Erhaltung.
- Erweiterung der Wertholzsammlung mit über 20 neuen Genotypen unterschiedlicher Baumarten.

3. Fortschreibung des Verwertungsplans

3.1. Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

Im Rahmen des Vorhabens wurden keine Erfindungen gemacht und keine Schutzrechte angemeldet.

3.2. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont)

Die vegetative Etablierung ausgewählter Bergahorn-Klone mit Riegelwuchs ermöglicht perspektivisch die Bereitstellung eines forstlich und wirtschaftlich attraktiven Pflanzguts. Insbesondere bei erfolgreicher Übertragung in die Praxis, etwa durch Kooperation mit Baumschulen oder forstlichen Vermehrungseinrichtungen, sind mittelfristig positive Effekte für die Wertschöpfung in der Laubholzproduktion zu erwarten. Aufgrund der langen Umtriebszeiten im Forst ist eine wirtschaftliche Verwertung voraussichtlich erst in 10 bis 20 Jahren zu erwarten.

3.3. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont)

Die im Projekt etablierten In-vitro-Kulturen von Bergahorn, sowie weiterer erfolgreich eingeführter Baumarten, wie Feldahorn und Erle, bieten eine belastbare Grundlage für weiterführende wissenschaftliche und technologische Arbeiten. Auf Basis der entwickelten Verfahren können zukünftige Optimierungen der Kulturbedingungen sowie weiterführende Anwendungen, etwa in der vegetativen Vermehrung oder im Bereich der Langzeitlagerung, erfolgen.

Zudem eröffnet die Verfügbarkeit von definiertem Ausgangsmaterial neue Möglichkeiten für physiologische Studien und biotechnologische Entwicklungen, beispielsweise durch den Einsatz von Temporary Immersion Systems (TIS). Die gesammelten Erfahrungen ermöglichen es, weitere forstlich relevante Baumarten gezielt in vitro zu etablieren. Der Austausch mit wissenschaftlichen Einrichtungen und forstlichen Praxispartnern kann diese Entwicklungen wirkungsvoll unterstützen.

3.4. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Das Vorhaben hat zentrale Grundlagen für die biotechnologische Erhaltung und Vermehrung hochwertiger Bergahorne geschaffen. Darauf aufbauend bieten sich mehrere Entwicklungspfade an, etwa zur Produktion größerer Pflanzenmengen, zur Standardisierung von In-vitro-Protokollen oder zur Entwicklung von Diagnostikansätzen zur Früherkennung des Riegelwuchses. Eine fachliche Anschlussfähigkeit an bestehende Netzwerke, z. B. im Bereich Forstpflanzenzüchtung, ist gegeben.

4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Die Anbauempfehlung für Riegelahorn konnte aus Zeitgründen nicht erstellt werden, da der Schwerpunkt auf der Anlage der Klonprüfungsflächen lag. Sie bleibt ein Ziel für künftige Projekte.

Die molekulare Analyse zur Validierung der Rejuvenilisierung konnte bislang nicht abgeschlossen werden. Aufgrund des Hochwassers im Frühjahr 2024 kam es zu Verzögerungen im Arbeitsablauf; das Ausmaß möglicher Materialverluste ist derzeit noch nicht abschließend beurteilbar. Die Analyse soll im Rahmen nachfolgender Arbeiten fortgeführt werden.

5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Erfolgte Präsentationen und Veröffentlichungen:

Karfik V., Olsson S. (2022): Alternative zum Kaminholz. Gibt es vielleicht auch in Hessen Maserbirken? ImDialog 4/2022: 24-25.

Haag V, Bäucker C, **Meier-Dinkel A**, Eisold A-M, Fuchs A, Hutter I, **Karfik V**, Lewandrowski TL, Liesebach H, Quambusch M, Schatz L, Schneck V, Wallbraun M (2023). Die Riegelung des Holzes (Teil I): Wissenschaftler der Fachbereiche Holz Anatomie, Genetik und Pflanzenzüchtung entdecken Anhaltspunkte für Wachstumsmerkmal. Holz Zentralblatt 149(49), 817-819.

Eisold, A.-M. E., **Karfik, V.**, Bäucker, C., Liesebach, H., Schneck, V. (2023): Das Projekt WERTHOLZ – eine (Erfolgs-)Geschichte in der Forstpflanzenzüchtung. Posterbeitrag auf der Forstwissenschaftlichen Tagung, 11.–13.09.2023, Dresden.

Karfik, V., Mohlfeld, M. (2025): Influence of light quality on the in vitro propagation of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.). Posterbeitrag, Third Conference of COST ACTION CA21157: Trees for the Future – Cloning and Beyond, University of Coimbra, Centre for Functional Ecology, Department of Life Sciences, Coimbra, Portugal, 12.–14. Mai 2025.

Karfik V., Lewandrowski T., Bäucker C., Haag V., Eisold A.-M.E., Liesebach H. (2025). Inheritance of wavy grain in sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.): Evidence for a locus with dominant effect. In Bearbeitung.

Karfik, V., Mohlfeld M., Bethge H. L., **Meier-Dinkel A.**, Höltken A. K., Winkelmann T. (2025). In-vitro propagation of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.): From establishment to acclimatisation under controlled light conditions.* Manuskript in Vorbereitung.

Karfik, V., **Meier-Dinkel A.**, Winkelmann T. (2025). Establishment of a reliable cryopreservation method for in vitro-cultured shoot tips of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.).* Manuskript in Vorbereitung.

*Der endgültige Titel noch nicht festgelegt.

6. Ausgaben- und Zeitplanung

Der Bewilligungszeitraum wurde im Projektverlauf zweimal verlängert: Die erste Verlängerung bis zum 31.03.2025 diente dem Aufholen von Verzögerungen bei der In-vitro-Vermehrung, der Etablierung einer neuen, markerbasierten Methode zur Bestimmung des physiologischen Alters sowie der Anlage zusätzlicher Feldversuche zur langfristigen Sicherung des Materials. Die zweite Verlängerung war erforderlich, um eine Projektverzögerung infolge eines Überflutungsschadens im Frühjahr 2024 (vgl. Pressemitteilung NW-FVA, 24.04.2024) aufzufangen, bei dem unter anderem In-vitro-Kulturen und Probenmaterial beschädigt wurden.

Die Ausgaben lagen im Rahmen des bewilligten Finanzierungsplans. Der nicht verbrauchte Restbetrag beläuft sich auf 269,98 € (vgl. Tabelle).

	Position	Entstandene, Ausgaben insgesamt bis, einschl. 2025	Gesamtfinanzierungsplan
E12-E15	812	208.426,50	197.500,57
E1-E11	817	178.384,49	178.992,00
Sachkosten	843	19.180,55	29.500,00
Dienstleistungen	846	6.230,99	6.500,00
Summe		412.222,59	412.492,57
		Kassenbestand	269,98

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
1. Aufgabenstellung.....	2
Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens:.....	2
Wesentliche Voraussetzungen für die Projektdurchführung:.....	2
Planung und Ablauf des Vorhabens.....	2
Nebenergebnisse und wesentliche gesammelte Erfahrungen:.....	3
2. Stand der Technik.....	4
Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	4
Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste.....	5
3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	6
II. Ergebnisse.....	6
1. Erzielte Ergebnisse.....	6
AP1: Sammlung, Erhaltung und In-vitro-Vermehrung von Wertholzbäumen mit besonderen Holzmerkmalen.....	6
AP2: Entwicklung von Methoden zur Langzeiterhaltung des wertvollen Klonmaterials.....	12
AP7: Konzeptentwicklung für die (vorläufige) Zulassung ausgewählter Klone nach FoVG 15	
2. Verwertung.....	17
Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	17
Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten.....	17
Wirtschaftliche Erfolgsaussichten.....	18
3. Erkenntnisse von Dritten.....	18
4. Veröffentlichungen.....	19

I. Ziele

1. Aufgabenstellung

Im Teilvorhaben 2 des Verbundprojekts „Strategien zur Erzeugung von Wertholz“ beschäftigte sich die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) mit der Sammlung, Erhaltung und In-vitro-Vermehrung von Wertholzbäumen mit besonderen Holzeigenschaften, insbesondere der sogenannten Riegelung. Diese Wuchsanomalie beeinflusst die Faserstruktur des Holzes und verleiht ihm eine einzigartige, dekorative Maserung (Richter 2019), die aufgrund ihrer Seltenheit auf Holzauktionen hohe Preise erzielt (Naujoks 2013). Bei der Oberländer Wertholzsubmission im Februar 2022 (Holz-Zentralblatt 2022) und der Hessischen Submission im Februar 2023 wurden für geriegelte Bergahornstämme Preise von bis zu 12.689 € pro Festmeter erzielt (Holz-Zentralblatt 2023), was den wirtschaftlichen Wert dieser Holzanomalie verdeutlicht.

Die Ursachen für das Auftreten der Riegelung sind bisher nicht geklärt. Ursprünglich wurde vermutet, dass Standort- und Umweltbedingungen die Bildung beeinflussen. Neuere Untersuchungen, wie die von Krajnc et al. (2015), zeigen jedoch keinen Zusammenhang zwischen geografischer Herkunft und Auftretenshäufigkeit. Zudem legen Erfahrungen von Forstpraktikern nahe, dass bestimmte Holzeigenschaften genetisch bedingt sein könnten (Conrad 1977), auch wenn dies wissenschaftlich noch nicht abschließend bewiesen ist. Bei Baumarten wie Espe und Nussbaum gibt es Hinweise darauf, dass die Riegelung durch genetische Faktoren kontrolliert wird, wie die Arbeiten von Fan et al. (2013) zeigen.

Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens:

Das Ziel des Teilvorhabens war die Entwicklung von Verfahren zur Produktion und Erhaltung von Pflanzenmaterial von Wertholzbäumen mit speziellen Holzeigenschaften, das als hochwertiges Vermehrungsgut zur Verfügung stehen kann.

Wesentliche Voraussetzungen für die Projektdurchführung:

Das Vorhaben erforderte spezialisierte Laborbedingungen für die In-vitro-Vermehrung und Kryokonservierung, enge Kooperationen mit Forstbetrieben zur Sammlung des Pflanzenmaterials und die Einhaltung des Forstvermehrungsgutgesetzes (FoVG). Eine umfassende technische Infrastruktur zur Durchführung von Kryokonservierungsexperimenten und Veredelungstechniken war erforderlich, um die besonderen Anforderungen an die genetische Erhaltung und langfristige Lagerung des Pflanzenmaterials zu erfüllen.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt war in mehrere Arbeitspakete (AP) unterteilt, die jeweils verschiedene Aspekte der Sammlung, Erhaltung und Vermehrung von Wertholzbäumen mit besonderen Holzeigenschaften abdecken (Abbildung 1). Die NW-FVA war als wichtiger Partner in den folgenden Arbeitspaketen involviert:

AP1: Sammlung, Erhaltung und In-vitro-Vermehrung von Wertholzbäumen mit besonderen Holzmerkmalen

In diesem Arbeitspaket führten TI-FG und die NW-FVA die Sammlung von Kronenreisern und Stockausschlägen von Bergahorn und anderen Wertholzbäumen mit besonderen Holzstruktu-

ren aus verschiedenen Regionen Deutschlands durch, um eine umfassende Wertholzsammlung aufzubauen. Zusätzlich wurde das adulte Pflanzenmaterial durch Rejuvenilisierung für die In-vitro-Vermehrung vorbereitet. Im Rahmen der In-vitro-Etablierung wurde das Pflanzenmaterial im Labor kultiviert und auf eine Vermehrung unter kontrollierten Bedingungen vorbereitet.

AP2: Entwicklung von Methoden zur Langzeiterhaltung des wertvollen Klonmaterials

Die NW-FVA entwickelte ein Protokoll zur Kryokonservierung von Bergahorn, um das genetische Material langfristig zu sichern. Diese Methode der Langzeitarchivierung bei extrem niedrigen Temperaturen stellt die Verfügbarkeit wertvollen Pflanzenmaterials für künftige Forschungen sicher. Parallel dazu bearbeitete Reinhold Hummel GmbH + Co. KG die Anwendung von 'Slow Growth'-Techniken, um das Pflanzenmaterial bei reduzierten Wachstumsbedingungen zu konservieren und die Lagerungsdauer zu verlängern.

AP4: Holzanalyse

Die NW-FVA stellte die benötigten Flächen bereit, während TI-HF die Riegelung als Holzeigenschaft untersuchte. Dafür wurden ausgewählte Bäume gefällt und zur Sicherung des genetischen Materials veredelt. Die Analyseergebnisse führten zur Entwicklung einer Hypothese zur genetischen Vererbung der Riegelung.

Da die NW-FVA nicht direkt an der Durchführung oder Auswertung der Holzanalyse beteiligt war, wird im vorliegenden Bericht nicht näher auf die Ergebnisse dieses Arbeitspakets eingegangen.

AP7: Konzeptentwicklung für die (vorläufige) Zulassung ausgewählter Klone nach FoVG

Im Rahmen dieses Arbeitspakets war die NW-FVA gemeinsam mit TI-FG für das Anlegen der Klonprüfungsflächen zuständig. Es wurden seitens der NW-FVA zwei neue Flächen angelegt und zwei ältere Flächen regelmäßig bonitiert. Bei der Entwicklung des Konzepts für den Anbau von Riegelahorn war die NW-FVA zudem mit der Erstellung einer Anbauempfehlung betraut. Diese konnte im Projektzeitraum jedoch nicht umgesetzt werden, da der Fokus auf der Einrichtung und Etablierung der Klonflächen lag.

Nebenergebnisse und wesentliche gesammelte Erfahrungen:

Ein zentrales Nebenergebnis des Projekts war die Entwicklung einer Hypothese zur genetischen Vererbung der Riegelung, gestützt auf Untersuchungen von Zwei-Generationen-Material. Zudem wurden zahlreiche In-vitro-Versuche unter verschiedenen Lichtbedingungen durchgeführt, die zur Verfeinerung der Kulturbedingungen beitrugen und wertvolle Erkenntnisse für die zukünftige In-vitro-Produktion von Bergahorn liefern.

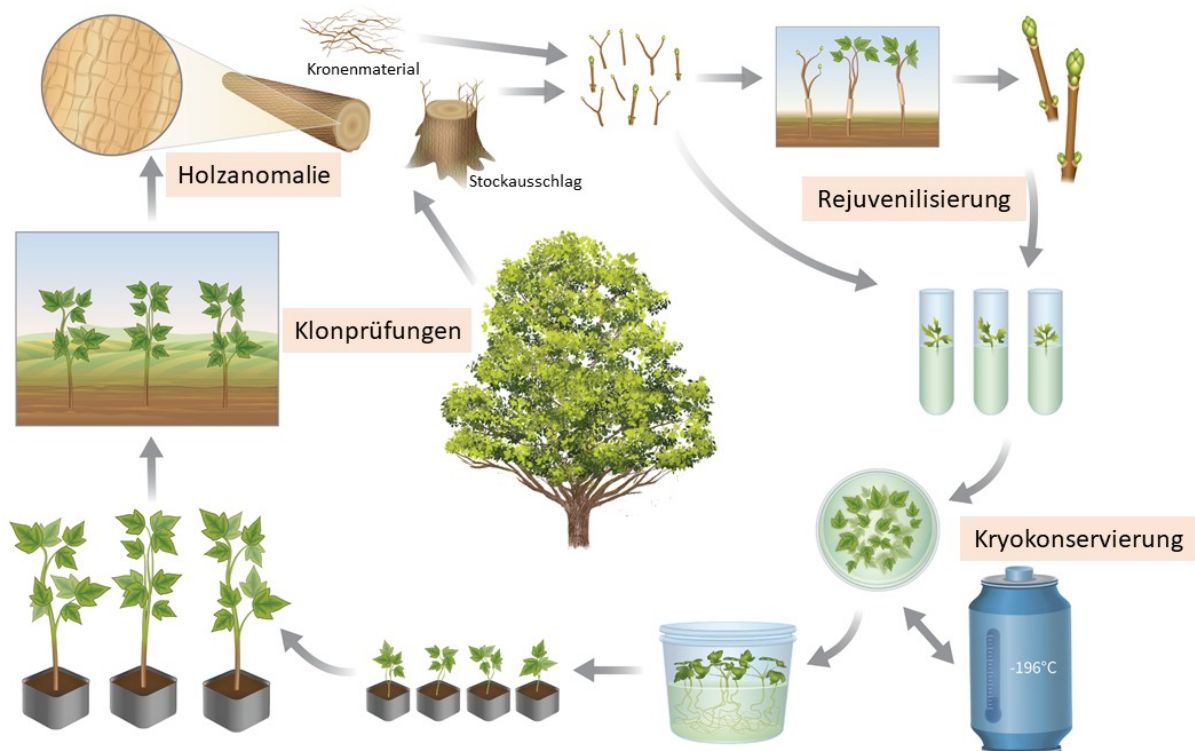


Illustration von Kara Perilli

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Prozesses zur Erhaltung und Vermehrung von Wertholzbäumen mit besonderen Holzeigenschaften, am Beispiel des geriegelten Bergahorns, wie es im vorliegenden Projekt an der NW-FVA durchgeführt wurde. Der Ablauf umfasst die Sammlung von Ausgangsmaterial, Rejuvenilisierung, In-vitro-Kultur, Kryokonservierung und Klonprüfungen, um genetisch wertvolles Material langfristig zu sichern und gezielt zu vermehren.

2. Stand der Technik

Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Im Rahmen des Teilvorhabens der NW-FVA wurden verschiedene wissenschaftlich-technische Entwicklungen und etablierte Verfahren genutzt, um die Projektziele zu erreichen:

Pflanzenmaterial: Es stand eine Sammlung an Riegelhorn-Genotypen aus den Jahren 1960 bis 2018 zur Verfügung, die teilweise als Veredelungen auf Samenplantagen, in Klonprüfungen, auf Erhaltungsflächen und in In-vitro-Kultur vorhanden war. Dank des bereits vorhandenen Pflanzenmaterials konnten die Laborversuche zur In-vitro-Kultur und Vermehrung des Riegelhorns rasch nach Projektbeginn angegangen werden.

Labor und Kryobank: Ein vollständig ausgestattetes In-vitro-Labor, einschließlich einer Kryobank für die Langzeitlagerung genetischen Materials, stand zur Verfügung. Moderne Kulturräume mit allen notwendigen Geräten und Ausstattungen ermöglichten die Durchführung der experimentellen Arbeiten zur Kryokonservierung und In-vitro-Kultur.

Gewebekulturtechniken: Zu Beginn des Projekts lag ein Protokoll für die Gewebekultur von Bergahorn sowie bewährte Kulturmedienrezepte vor, die als Grundlage für Optimierungen genutzt wurden. Diese Anpassungen zielten darauf ab, die Effizienz und Stabilität der In-vitro-Vermehrung weiter zu steigern.

Kryokonservierungstechniken: Erprobte Protokolle zur Kryokonservierung verschiedener Baumarten standen zur Verfügung und wurden speziell für die Anforderungen des Bergahorns angepasst und erweitert, um die Langzeitsicherung des genetischen Materials zu gewährleisten.

Veredelungstechniken: Zur Sicherung des Pflanzenmaterials kamen bewährte Veredelungstechniken wie Okulation und Kopulation zum Einsatz, die auf der langjährigen Erfahrung der Mitarbeiter in der Versuchsgärtnerei basieren.

Sprühnebelanlage: Zur Akklimatisierung der Jungpflanzen und zur Vorbereitung der Versuchspflanzen für die Klonprüfungen kam eine Sprühnebelanlage zum Einsatz. Diese Anlage gewährleistet konstante Feuchtigkeitsbedingungen und erleichtert die Eingewöhnung der Pflanzen nach der In-vitro-Kultur.

Gewächshäuser: Versuchsgewächshäuser dienten der Aufzucht der Veredelungen und der Überwinterung der produzierten Versuchspflanzen für die Klonprüfungen und boten kontrollierte Bedingungen für das Wachstum und die Pflege der Pflanzen.

Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

In diesem Abschlussbericht wird exemplarisch die Fachliteratur aufgeführt, die im Bericht selbst zitiert wird. Weitere relevante Literaturquellen, die im Rahmen des Projekts ebenfalls berücksichtigt wurden, werden in den derzeit in Vorbereitung befindlichen wissenschaftlichen Fachpublikationen ausführlich zitiert (siehe Anhang zur eingereichten Publikation).

Conrad J (1977a) Ein Indiz für die Vererbbarkeit gewisser Holzstrukturen. *Der Forst- und Holzwirt* 32(12):217–218

Fan Y, Rupert K, Wiedenhoft AC, Woeste K, Lexer C, Meilan R (2013) Figured grain in aspen is heritable and not affected by graft-transmissible signals. *Trees* 27(4):973–983. <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0849-1>

Holz-Zentralblatt (2023): Deutlich größeres Angebot – Vorjahrespreise kaum gehalten. *Holz-Zentralblatt*, Nr. 8, 24. Februar 2023, S. 114.

Holz-Zentralblatt (2022): Eiche notiert 25 % höher. *Holz-Zentralblatt*, Nr. 6, 11. Februar 2022, S. 91

Krajnc L, Čufar K, Brus R (2015) Characteristics and Geographical Distribution of Fiddleback Figure in Wood of *Acer pseudoplatanus* L. in Slovenia. *Drvna industrija* 66(3):213–220. <https://doi.org/10.5552/drind.2015.1447>

Naujoks G, Ewald D, Meier-Dinke A, Wallbraun M (2013) Endlich hinter Schloss und Riegel: Stand und Perspektiven der Forschung beim Riegelahorn. *AFZ-DerWald* 68(5):10–12

Richter C (2019) Holzmerkmale der Bäume: Beschreibung der Merkmale, Ursachen, Vermeidung, Auswirkungen auf die Verwendung des Holzes, technologische Anpassung, 1st edn. DRW, Leinfelden-Echterdingen

Informations- und Dokumentationsdienste: Für die Recherche wurden Google Scholar, ResearchGate, die Technische Informationsbibliothek (TIB) in Hannover sowie die interne NW-FVA-Bibliothek (Koha) genutzt. ORKG Ask unterstützte die Literatursuche, und Citavi 6 diente der Literaturverwaltung

3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Neben den Projektpartnern arbeitete die NWF-VA mit der Leibniz Universität Hannover zusammen, vertreten durch das Institut für Gartenbauliche Produktionssysteme der Naturwissenschaftlichen Fakultät unter der Leitung von Prof. Dr. Traud Winkelmann. In Kooperation wurde eine Masterarbeit zum Einfluss von Lichtqualität auf die In-vitro-Vermehrung von Bergahorn vergeben, um spezifische Fragen zur In-vitro-Kultur des Bergahorns wissenschaftlich zu untersuchen.

Das Projekt wurde durch verschiedene Forstämter unterstützt, die maßgeblich zur Erweiterung der Wertholzsammlung beitrugen. Sie meldeten besonders wertvolle Stämme, stellten Pflanzenmaterial in Form von Reisern bereit und stellten Flächen für Klonprüfungen zur Verfügung. Außerdem ermöglichten sie auf Nachkommenschaftsflächen gezielte Fällungen zur Untersuchung der Holzeigenschaften.

II. Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

AP1: Sammlung, Erhaltung und In-vitro-Vermehrung von Wertholzbäumen mit besonderen Holzmerkmalen

Sammeln

Wissenschaftlich-technisches Ergebnis:

Im Rahmen des Projekts konnte die Wertholzsammlung der NW-FVA um zahlreiche Riegelhorn-Genotypen und andere Baumarten mit besonderen Holzeigenschaften erweitert werden (Tabelle 1). Die Sammlung umfasst genetisch wertvolles Material aus verschiedenen Regionen, das gezielt gesammelt wurde, um die wertvolle Ressource langfristig zu sichern. Dieses Material stellt eine wichtige Basis für die zukünftige Erforschung und Nutzung von Wertholzbaumarten dar.

Nebenergebnisse:

Im Zuge der Sammlungstätigkeit wurden neue Kontakte zu Forstämtern, Waldbesitzern und Holzverarbeitenden Betrieben aufgebaut. Diese Vernetzung erleichtert den zukünftigen Zugang zu besonders wertvollem Ausgangsmaterial und stärkt die Zusammenarbeit im Bereich Wertholz.

Wesentliche Erfahrungen:

- Hinweise aus der forstlichen Praxis sind hilfreich für die Identifikation geeigneter Bäume.
- Viele Forstleute sind mit dem Merkmal Riegelwuchs wenig vertraut.
- Eine gezielte Kommunikation zu Ziel und Nutzen des Projekts fördert die Kooperationsbereitschaft.

Tabelle 1: Neu aufgenommene Genotypen der NW-FVA mit besonderen Holzstrukturen in der Wertholzsammlung (Stand: bis 31.12.2024)

Nr.	Baumart	Genotyp- Bezeichnung	Holzeigenschaft	Herkunft	Status
1	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Alb0-1	Riegelkandidat	Forstrevier Albstadt-West, Baden-Württemberg	abgestorben
2	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Brett0-1	Riegelkandidat	Forstamt Schwäbisch Hall, Baden-Württemberg	als Veredelung vor- handen
3	<i>Acer pseudoplatanus</i>	CHRhein0-1	Riegelkandidat	Rheinfelden bei Basel in der Schweiz	als In-vitro-Kultur vor- handen
4	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Eni9-1	Riegelkandidat	Kreisforstamt Reutlingen, Baden-Württemberg	als In-vitro-Kultur vor- handen
5	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Grü 5- 1	Riegelkandidat	Forstamt Grünenplan, Nie- dersachsen	als In-vitro-Kultur vor- handen
6	<i>Acer pseudoplatanus</i>	HLi2508-1	Riegelkandidat	Forstamt Hessisch Lich- tenau, Hessen	als In-vitro-Kultur vor- handen
7	<i>Acer pseudoplatanus</i>	HLi2508-2	Riegelkandidat	Forstamt Hessisch Lich- tenau, Hessen	als In-vitro-Kultur vor- handen
8	<i>Acer pseudoplatanus</i>	HLi2527-1	Riegelkandidat	Forstamt Hessisch Lich- tenau, Hessen	als In-vitro-Kultur vor- handen
9	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Krai0-1	Riegelkandidat	Forstrevier Kraichtal, Ba- den-Württemberg	als In-vitro-Kultur vor- handen
10	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Krai2-1	Riegelkandidat	Forstrevier Kraichtal, Ba- den-Württemberg	als In-vitro-Kultur vor- handen
11	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Lands0-1	Riegelkandidat	Forstbetrieb Landsberg am Lech, Bayern	als Veredelung vor- handen
12	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Nid410-1	Riegelkandidat	Forstamt Nidda, Hessen	als In-vitro-Kultur vor- handen
13	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Noerd0-1	Riegelkandidat	Stiftungswald Nördlingen, Bayern	abgestorben
14	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Schot4053-1	Riegelkandidat	Forstamt Schotten, Hessen	als In-vitro-Kultur vor- handen
15	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Schott4063-1	Riegelkandidat	Forstamt Schotten, Hessen	als In-vitro-Kultur vor- handen
16	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Zuer0-1	Riegelkandidat	Kanton Zürich, Schweiz	abgestorben
17	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Zuer0-2	Riegelkandidat	Kanton Zürich, Schweiz	abgestorben
18	<i>Acer campestre</i>	HLi2537-1	Riegelkandidat	Forstamt Hessisch Lich- tenau, Hessen	als Veredelung vor- handen
19	<i>Alnus glutinosa</i>	Jes369-1	Maser	Forstamt Jesberg, Hessen	als In-vitro-Kultur vor- handen
20	<i>Faxinus excelsior</i>	HLi2527-1	Riegelkandidat	Forstamt Hessisch Lich- tenau, Hessen	abgestorben
21	<i>Faxinus excelsior</i>	HLi2527-2	Riegelkandidat	Forstamt Hessisch Lich- tenau, Hessen	abgestorben
22	<i>Betula spp.</i>	Rom102-1	Riegelkandidat	Forstamt Romrod, Hessen	als In-vitro-Kultur vor- handen
23	<i>Salix caprea</i>	Sasel	Riegelkandidat	Thünen-Institut für Holzfor- schung	als In-vitro-Kultur vor- handen

24	<i>Salix caprea</i>	Versuchsfläche	Riegelkandidat	Thünen-Institut für für Holzforschung	als In-vitro-Kultur vorhanden
25	<i>Salix caprea</i>	Wasserturm	Riegelkandidat	Thünen-Institut für für Holzforschung	als In-vitro-Kultur vorhanden

Etablieren

Wissenschaftlich-technisches Ergebnis:

Im Rahmen des Projekts wurden 77 Genotypen von sechs Baumarten für die In-vitro-Kultur getestet. Insgesamt konnten 40 Genotypen (52 %) erfolgreich etabliert werden (siehe Tabelle 2). Besonders erfolgreich war die Etablierung bei *Acer pseudoplatanus* mit einer Erfolgsquote von 57 % (32 von 56 Genotypen). Dagegen gelang bei *Fraxinus excelsior* keine erfolgreiche Etablierung. Insgesamt wurden 2.289 Explantate in 229 Etablierungsansätzen eingesetzt.

Bei *A. pseudoplatanus* wurde die Etablierungsrate maßgeblich durch die Herkunft des Ausgangsmaterials beeinflusst. Stockausschlagmaterial erwies sich im Vergleich zu Kronenmaterial als deutlich geeigneter. Unter beiden getesteten Desinfektionsmitteln (NaDCC und NaOCl) erzielte Stockausschlag höhere Etablierungsraten und gleichzeitig geringere Kontaminationsraten. Die mittlere Kontaminationsrate von Stockausschlag war im Vergleich zu Kronenmaterial um 9,6 Prozentpunkte geringer, dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant ($p = 0,214$). Dagegen war der Einfluss des Desinfektionsmittels signifikant: NaOCl führte zu einer 25,8 Prozentpunkte höheren Kontaminationsrate als NaDCC ($p = 0,0019$), unabhängig vom Materialtyp.

Interaktionseffekte zeigten, dass insbesondere die Kombination aus NaOCl und Kronenmaterial sowie NaOCl und Stockausschlag zu signifikant höheren Kontaminationsraten führte als Kronenmaterial unter NaDCC ($p = 0,020$ bzw. $p = 0,011$). Somit war Kronenmaterial in Kombination mit NaDCC am effektivsten zur Vermeidung von Kontaminationen, während Stockausschläge in der Gesamtbetrachtung das beste Verhältnis von Etablierungserfolg und Kontaminationsrisiko aufwiesen. Ergebnisse zum Entwicklungszustand des Materials (z. B. Winterknospen vs. Grünaustrieb) deuten auf zusätzliche Unterschiede hin, wurden im Rahmen dieser Analyse jedoch nicht vorrangig betrachtet.

Nebenergebnisse:

Die Auswertung zeigte, dass sich durch Kombination aus Stockausschlägen und angepasster Oberflächensterilisation eine effektive Etablierung bei Bergahorn erzielen lässt. Erste Beobachtungen deuten zudem darauf hin, dass Knospenmaterial aus dem Winter stabilere Ergebnisse liefert als junges Sommermaterial. Darüber hinaus wurden praxisnahe Kriterien zur Auswahl geeigneter Explantate entwickelt, die in zukünftigen Arbeiten als Grundlage für eine Standardisierung dienen können.

Wesentliche Erfahrungen:

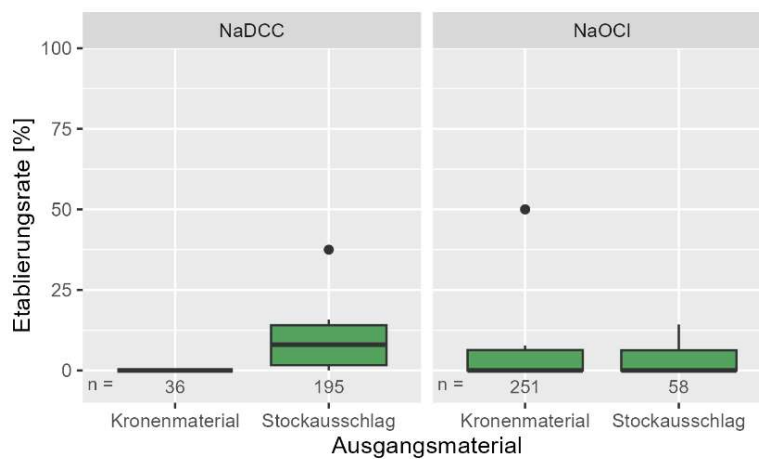
- Winterknospen aus Stockausschlag mit NaDCC erwies sich insgesamt als die robusteste Variante.
- Winterknospen zeigten das größte Potenzial für eine erfolgreiche Etablierung.
- Oberflächendesinfektionen mit NaDCC führten zu geringeren Kontaminationsraten.

- Der Erfolg ist stark genotypabhängig, was eine breite Probenerfassung erforderlich macht.

Tabelle 2: Übersicht der getesteten Baumarten mit Anzahl der Genotypen, durchgeführten Etablierungsansätzen, eingesetzten Explantate sowie erfolgreich etablierten Genotypen im Projektzeitraum.

Baumart	Anzahl Genotypen	Anzahl Etablierungen	Anzahl Explantate	Anzahl etablierte Genotypen
<i>Acer campestre</i>	10	49	443	3
<i>Acer pseudoplatanus</i>	56	138	1365	32
<i>Alnus glutinosa</i>	1	3	26	1
<i>Betula spp.</i>	1	1	8	1
<i>Faxinus excelsior</i>	5	26	306	0
<i>Salix caprea</i>	3	12	141	3

A



B

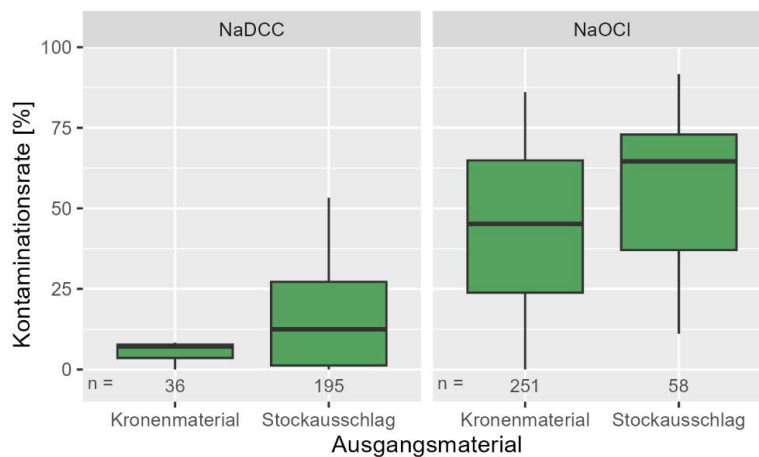


Abbildung 2: Etablierung (A) und Kontamination (B) bei *A. pseudoplatanus* in Abhängigkeit von Ausgangsmaterial (Kronenmaterial vs. Stockausschlag) und Desinfektionsmittel (NaDCC, NaOCl). Signifikante Unterschiede wurden mittels ANOVA und Tukey-HSD-Test ermittelt. n = Anzahl eingesetzter Explantate.

Erhaltung

Wissenschaftlich-technisches Ergebnis:

Im Rahmen der In-vitro-Erhaltung von *A. pseudoplatanus* wurden zahlreiche Optimierungsversuche durchgeführt, um die Kulturbedingungen für verschiedene Genotypen zu verbessern. Im Folgenden werden exemplarisch drei ausgewählte Versuchsansätze vorgestellt, die unterschiedliche physikalische Parameter untersuchten:

Einfluss der Lichtqualität: Drei Genotypen (E87, Schussi, SFHb1) wurden unter fünf verschiedenen Lichtqualitäten kultiviert: Leuchtstoffröhre (FL), blaues Licht (B), rotes Licht (R) sowie Rot-Blau-Kombinationen im Verhältnis 1:1 (RB 1:1) und 3:1 (RB 3:1). Die Auswertung von Vermehrungsrate (Abbildung 3), Sprosslänge, Trockengewicht und SPAD-Wert zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen sowie tendenzielle Effekte der Lichtqualität. Insgesamt reagierten die Genotypen unterschiedlich stark auf die Lichtvarianten. Kombinationen aus rotem und blauem Licht förderten in mehreren Fällen die Multiplikation und Biomassebildung, während reines blaues Licht mit reduzierten SPAD-Werten assoziiert war. Rotes Licht führte bei einzelnen Genotypen zu einer gesteigerten Sprosslänge. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung der Lichtqualität für die Entwicklung unter in-vitro-Bedingungen und weisen auf genotypspezifische Reaktionen hin.

Einfluss der Lichtintensität: Vier Genotypen (E87, Schussi, SFHb1, Gött47-38) wurden unter fünf Lichtstärken ($20\text{--}60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) kultiviert. Höhere Intensitäten führten bei den meisten Genotypen zu einer verbesserten Sprosslänge und Biomassebildung. Gleichzeitig nahm bei steigender Lichtintensität tendenziell auch der SPAD-Wert, ein Indikator für den relativen Chlorophyllgehalt, ab. Dies deutet auf eine mögliche Lichtstressreaktion hin, da ein Absinken der SPAD-Werte unter hoher Lichtintensität auf eine reduzierte Chlorophyllkonzentration oder Photoinhibition hindeuten kann. Genotypspezifischen Unterschiede traten vor allem bei höheren Lichtintensitäten ($40\text{--}60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) zutage und betrafen sowohl Wachstum als auch mögliche Stressreaktionen.

Einfluss von Silbernitrat (AgNO_3): Die Zugabe von $1 \text{ mg L}^{-1} \text{ AgNO}_3$ zum Medium führte insbesondere bei E87 zu einer Verdopplung der mittleren Sprosslänge. Auch bei SFHb1 konnte ein positiver Effekt nachgewiesen werden, während Schussi kaum reagierte. Die ANOVA zeigte signifikante Haupteffekte und Interaktionen zwischen Genotyp und Behandlung ($p < 0,001$).

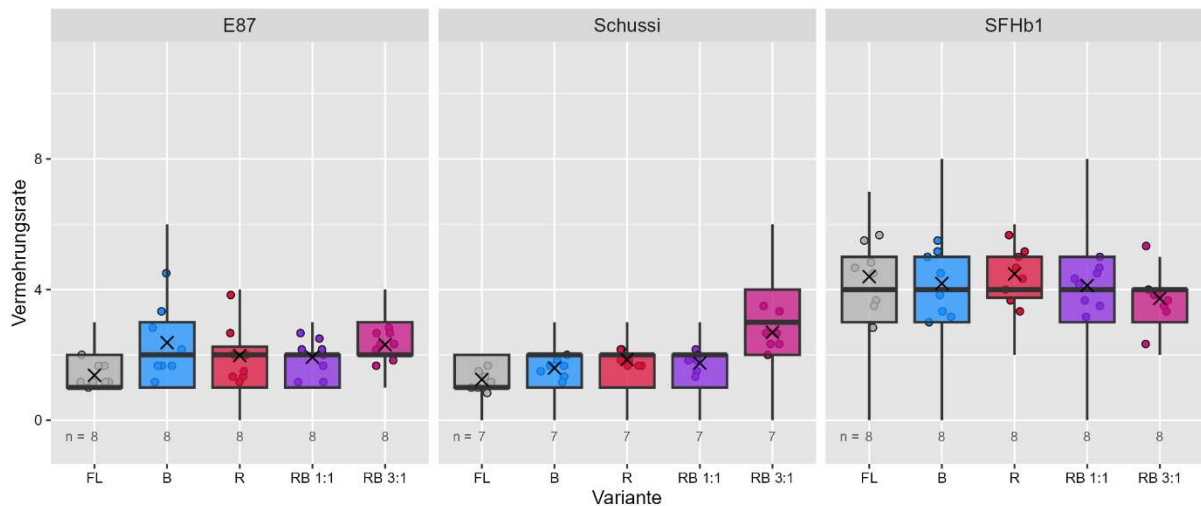


Abbildung 3: Einfluss der Lichtqualität auf die Vermehrungsrate (Multiplikationsfaktor) dreier Genotypen von *A. pseudoplatanus*. Farblich dargestellt sind die Lichtvarianten: FL = Leuchtstoffröhre, B = Blau, R = Rot, RB 1:1 = Rot:Blau 1:1, RB 3:1 = Rot:Blau 3:1. n = Anzahl an Gefäßen mit jeweils 7 Sprossen (bei 'Schussi' 6 Sprosse je Gefäß). „x“ markiert den Mittelwert.

Nebenergebnisse:

Die Ergebnisse verdeutlichen eine ausgeprägte Genotypabhängigkeit der In-vitro-Reaktion, was die Notwendigkeit individueller Modifikationen bei dem Vorgehen während der Etablierung und Erhaltung von *A. pseudoplatanus* unterstreicht. Eine wissenschaftliche Publikation unter Einbezug der Ergebnisse dieses Arbeitspakets ist in Vorbereitung.

Rejuvenilisieren

Um die In-vitro-Etablierung von adultem Pflanzenmaterial zu verbessern, wurde im Rahmen dieses Arbeitspakets eine Rejuvenilisierung durch Reihenveredelung angestrebt. Ziel war es, das physiologisch alte Pflanzenmaterial in einen juvenilen Zustand zurückzuführen, um dessen Regenerationsfähigkeit unter in-vitro-Bedingungen zu erhöhen

Wissenschaftlich-technisches Ergebnis:

Die durchgeführten Reihenveredelungen zeigten erste Hinweise auf eine erfolgreiche Rejuvenilisierung des Pflanzenmaterials. Insbesondere Explantate aus der dritten bzw. vierten Generation von Reihenveredelungen machten in den ersten Subkulturen einen vitaleren Eindruck und etablierten sich schneller als Material aus den ersten beiden Generationen. Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass sich durch wiederholte Veredelungsvorgänge die Regenerationsfähigkeit des ursprünglich adulten Ausgangsmaterials verbessern lässt.

Zur weiterführenden Validierung wurden Blattproben aus den unterschiedlichen Veredelungsgenerationen entnommen, um molekulare Marker zur Bewertung des Rejuvenilisierungsgrads zu entwickeln. Aufgrund der Überschwemmung im Frühjahr 2024 gingen jedoch Teile des Probenmaterials verloren. Derzeit wird geprüft, inwieweit die verbliebenen Proben für die geplante Analyse nutzbar sind. Die methodische Entwicklung geeigneter Marker befindet sich weiterhin in Bearbeitung.

Die Thematik der Rejuvenilisierung bleibt auch nach Projektende relevant und wird im Rahmen laufender Forschungsarbeiten weiterverfolgt.

Fazit zu AP1

Die im Arbeitspaket 1 durchgeführten Maßnahmen haben zur erfolgreichen Sammlung, Etablierung und In-vitro-Erhaltung zahlreicher Genotypen von Wertholzbäumen mit besonderen Holzmerkmalen beigetragen. Besonders hervorzuheben ist die hohe Etablierungsrate bei *A. pseudoplatanus*, die durch gezielte Auswahl des Ausgangsmaterials und eine optimierte Desinfektionsstrategie erreicht wurde. Erste Ansätze zur Rejuvenilisierung deuten auf ein hohes Potenzial zur Verbesserung der Regenerationsfähigkeit adulten Pflanzenmaterials hin. Die Ergebnisse bilden eine wertvolle Grundlage für die Weiterentwicklung effizienter In-vitro-Verfahrensverfahren von Wertholzbäumen.

AP2: Entwicklung von Methoden zur Langzeiterhaltung des wertvollen Klonmaterials

Die NW-FVA entwickelte ein Kryokonservierungsprotokoll nach der Vitrifikationsmethode für In-vitro-Sprossspitzen von *A. pseudoplatanus*. Ziel war die sichere und dauerhafte Erhaltung wertvoller Genotypen durch Einlagerung in flüssigem Stickstoff. Hierfür wurden im Projektverlauf mehrere Versuche mit jeweils zwei Wiederholungen an vier Genotypen durchgeführt, in denen verschiedene Kombinationen aus Abhärtungsdauer, Temperaturregime und Vorkulturbedingungen systematisch getestet wurden. In dieser Zusammenfassung werden die beiden wichtigsten Versuche erläutert.

In den Versuchen wurde die Dauer der Abhärtung (0 Wochen, 2 Wochen und 4 Wochen) in Kombination mit der Dauer der Vorkultur der Explantate (0 Tage oder 4 Tage) untersucht. Im zweiten Ansatz lag der Fokus auf der Abhärtung bei unterschiedlichen Tagestemperaturen (3 °C, 7 °C, 15 °C, 20 °C), wobei jeweils eine konstante Nachttemperatur von 3 °C gehalten wurde.

Wissenschaftlich-technisches Ergebnis:

Die statistische Auswertung der beiden Hauptversuche ergab signifikante Unterschiede in der Regeneration vollständiger Sprosse in Abhängigkeit von Genotyp, Behandlung und zeitlicher Wiederholung. Während die Vorkultur- und Abhärtungskombinationen im ersten Versuch (Abbildung 4) in der Gesamtauswertung keinen signifikanten Haupteffekt zeigten ($p = 0,22$), beeinflusste die Wiederholung (1 und 2) das Ergebnis hochsignifikant ($p < 0,001$), was auf experimentell bedingte Schwankungen oder eine ausgeprägte Sensitivität des Pflanzenmaterials hinweist.

Einzelne Kombinationen erwiesen sich dennoch als besonders vielversprechend: So zeigten sich, insbesondere E87, unter vierwöchiger Abhärtung mit anschließender viertägiger Vorkultur (4wH / 4dP) die höchsten Vitalitätsraten. Tukey-Tests belegen bei Wiederholung 1 signifikante Unterschiede zwischen dieser Variante und schwächer abschneidenden Kombinationen (z. B. 0wH / 4dP).

Im Temperaturversuch (Abbildung 5) ergaben sich signifikante Haupteffekte für Genotyp ($p = 0,023$) sowie signifikante Interaktionen zwischen Genotyp \times Temperatur und Genotyp \times Temperatur \times Wiederholung. Während die Temperaturen allein keine signifikanten Unterschiede

verursachten ($p = 0.31$), traten innerhalb einzelner Genotypen deutliche Unterschiede zwischen den Temperaturvarianten auf. Besonders E87 zeigte eine starke Temperaturabhängigkeit: Bei 3 °C lag die Regenerationsrate bei 90 % (Wiederholung 2) und war damit signifikant höher als bei 15 °C (56 %) oder 20 °C (74 %). Auch bei Gött47-38 wurde bei 3 °C eine signifikant höhere Rate (52 %) im Vergleich zu 20 °C (16 %) beobachtet (Wiederholung 1).

Die übrigen Genotypen reagierten stabiler gegenüber den Temperaturbehandlungen, jedoch wurden auch hier in Kombination mit bestimmten Abhärtungsvarianten höhere Werte erreicht. SFHb1 zeigte in mehreren Varianten moderate, aber konstante Regenerationsraten (~40–52 %) über beide Versuche hinweg.

Insgesamt deuten die Ergebnisse auf eine interaktionsabhängige Regenerationsfähigkeit hin. Die erzielten Sprossbildungsrate nach Auftauen belegen die grundsätzliche Eignung des entwickelten Protokolls zur sicheren Langzeitlagerung von *A. pseudoplatanus*. Die Reaktionsmuster einzelner Genotypen lassen sich gezielt für die Optimierung genotypenspezifischer Kryokonservierungsstrategien nutzen.

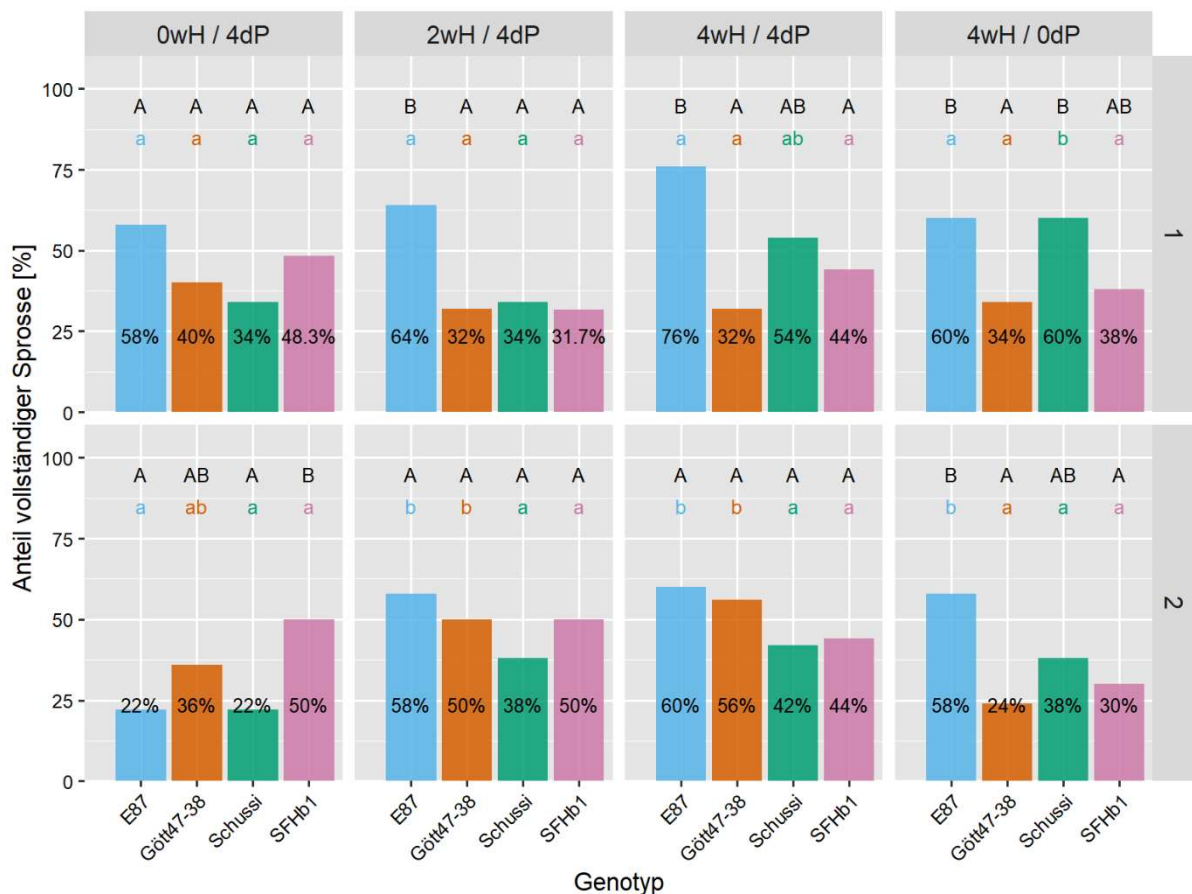


Abbildung 4: Einfluss verschiedener Kombinationen aus Abhärtungsdauer (0, 2 oder 4 Wochen, wH) und Vorkulturzeit (0 oder 4 Tage, dP) auf die Bildung vollständiger Sprosse nach der Kryokonservierung bei vier Genotypen von *Acer pseudoplatanus*. Dargestellt ist der mittlere Anteil vollständiger Sprosse [%] in zwei zeitlichen Wiederholungen (Wiederholung 1 = obere Reihe, Wiederholung 2 = untere Reihe). Pro Genotyp, Behandlungsvariante und Wiederholung wurden jeweils $n = 50$ Explantate ausgewertet. Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen innerhalb einer Variante, Kleinbuchstaben markieren Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb eines Genotyps (Tukey-HSD, $\alpha = 0,05$).

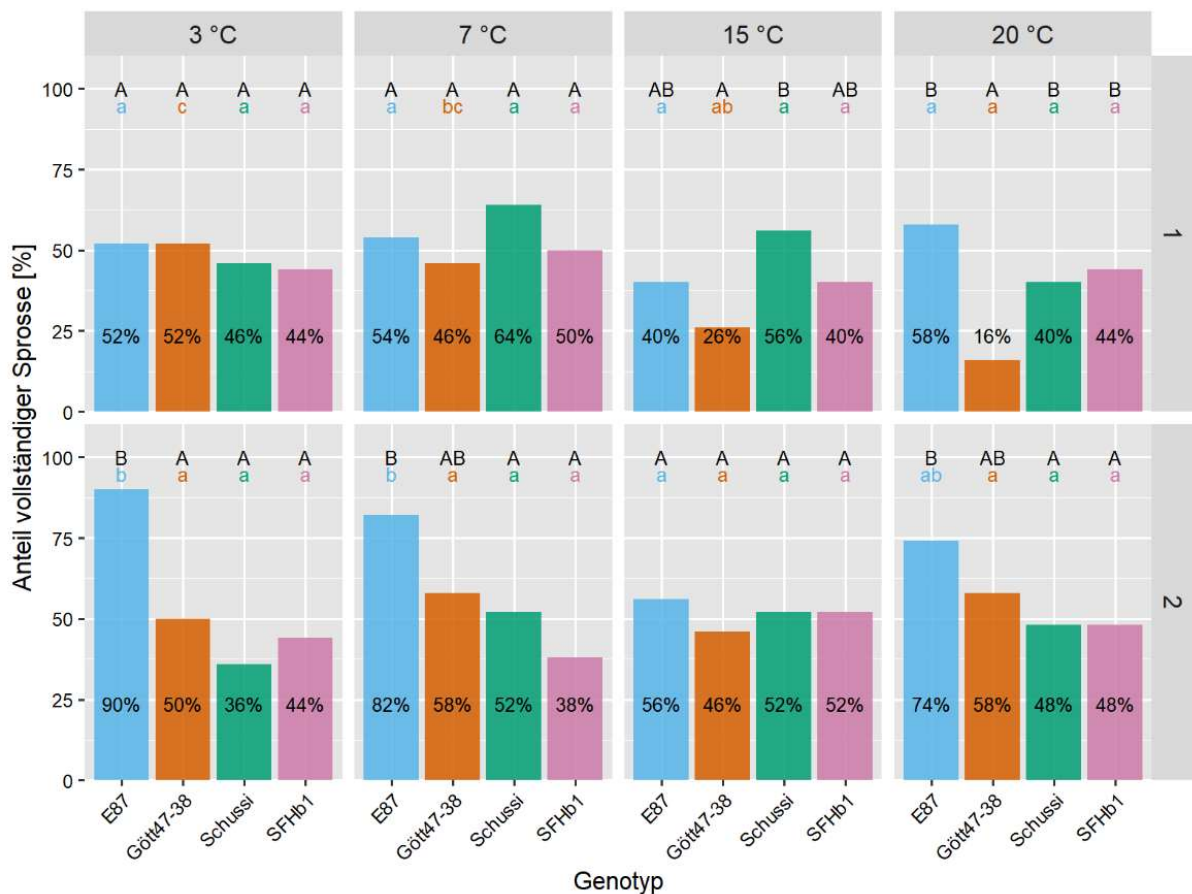


Abbildung 5: Einfluss verschiedener Tagestemperaturen (3 °C, 7 °C, 15 °C, 20 °C; jeweils bei konstanter Nachttemperatur von 3 °C) während der Abhärtungsphase auf die Regeneration vollständiger Sprosse nach der Kryokonservierung bei vier Genotypen von *Acer pseudoplatanus*. Dargestellt ist der mittlere Anteil vollständiger Sprosse [%] in zwei zeitlichen Wiederholungen (Wiederholung 1 = obere Reihe, Wiederholung 2 = untere Reihe). Pro Genotyp, Temperaturvariante und Wiederholung wurden jeweils n = 50 Explantate ausgewertet. Unterschiedliche Großbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen innerhalb eines Temperaturregimes, Kleinbuchstaben markieren Unterschiede zwischen den Temperaturvarianten innerhalb eines Genotyps (Tukey-HSD, $\alpha = 0,05$).

Nebenergebnisse:

Neben den zentralen Ergebnissen zur Regenerationsrate zeigten sich weitere relevante Beobachtungen:

- Die Kombination aus vierwöchiger Abhärtung mit vier-tägiger Vorkultur (4wH / 4dP) erzielte über mehrere Genotypen hinweg die zuverlässigsten Regenerationsraten und wird daher als bevorzugte Standardvariante für die Kryokonservierung von *A. pseudoplatanus* empfohlen. Diese Variante erwies sich insbesondere bei temperaturempfindlichen Genotypen (z. B. E87) als vorteilhaft.
- Bei der Abhärtung unter variierenden Tagestemperaturen zeigte sich, dass niedrige Temperaturen (3 °C oder 7 °C) tendenziell bessere Ergebnisse lieferten als höhere. Dies gilt besonders für empfindlichere Genotypen und sollte bei zukünftigen Protokollanpassungen berücksichtigt werden.
- Das entwickelte Protokoll kann mit Anpassungen voraussichtlich auch auf weitere *Acer*-Arten übertragen werden.

Wesentliche Erfahrungen:

- Die Ergebnisse zeigen, dass Genotyp, Behandlung und zeitliche Wiederholung die Regeneration nach Kryokonservierung deutlich beeinflussen. Insbesondere die starke Interaktion zwischen Genotyp und Behandlung deutet darauf hin, dass eine genotypspezifische Optimierung des Protokolls theoretisch zu weiteren Verbesserungen führen könnte.
- Für den kommerziellen oder routinemäßigen Einsatz (z. B. in Genbanken oder Forstbauschulen) wäre ein solches Vorgehen jedoch nicht praktikabel. In diesem Fall ist es zielführender, eine robuste und breit anwendbare Standardvariante zu verwenden, die sich bei mehreren Genotypen als zuverlässig erwiesen hat.
- Auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse wird daher empfohlen, künftig bevorzugt die Variante mit vierwöchiger Abhärtung und anschließender vier-tägiger Vorkultur (4wH / 4dP) einzusetzen. Diese Kombination zeigte in beiden Wiederholungen gute bis sehr gute Ergebnisse bei mehreren Genotypen und kann als praxisnahes Standardprotokoll für *A. pseudoplatanus* empfohlen werden.
- Eine wissenschaftliche Publikation des Protokolls ist für das laufende Jahr geplant, um die Ergebnisse zugänglich zu machen und die Übertragbarkeit auf verwandte Arten zu unterstützen.

AP7: Konzeptentwicklung für die (vorläufige) Zulassung ausgewählter Klone nach FoVG

Um die Leistungsfähigkeit der Klone unter forstlichen Praxisbedingungen langfristig zu überprüfen, wurden im Arbeitspaket 7 Klonprüfungsflächen angelegt. Dies ist aufgrund der Erbllichkeit des Merkmals zu erwarten und soll hier experimentell validiert werden. Ziel ist es insbesondere, zu beobachten, ob die Klone unter natürlichen Bedingungen erneut die charakteristische Holzstruktur der Riegelung ausbilden, wie sie bei den Ausgangsbäumen festgestellt wurde.

6 m			
1	2	3	Parzellen-Nr.
10	8	7	Prüfglied-Nr
4	5	6	1.Wdh
7	8	9	
10	11	12	
13	14	15	2.Wdh
16	17	18	
19	20	21	
22	23	24	3.Wdh
25	26	27	
28	29	30	
31	32	33	
34	35	36	4.Wdh
37	38	39	
40	41	42	
43	44	45	5.Wdh
46	47	48	
49	50	51	
52	53	54	
55	56	57	6.Wdh
58	59	60	

Pflanzplätze

1	2	3
4	5	6

Um die Leistungsfähigkeit der Klone unter natürlichen Bedingungen erneut die charakteristische Holzstruktur der Riegelung ausbilden, wie sie bei den Ausgangsbäumen festgestellt wurde. Darüber hinaus sollen das Wuchsverhalten, die Vitalität und die Stabilität dieser Holzeigenschaft über mehrere Jahre hinweg analysiert werden. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sollen perspektivisch in die Zulassung ausgewählter Klone nach dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG), sowie in praxisorientierte Anbauempfehlungen einfließen.

Wissenschaftlich-technisches Ergebnis:

Seitens der NW-FVA wurden zwei neue Klonprüfungsflächen angelegt (Tabelle 3): eine im Forstbetrieb Süd in Sachsen-Anhalt (Revier Lodersleben; Pflanzjahr 2024; Parzellengröße 6 m × 4 m; Pflanzverband 2 m × 2 m) und eine im Forstamt Grünenplan in Niedersachsen (Revier Hohenbüchen; 39 Parzellen à 8 m × 4 m; 4 × 2 Pflanzen; Pflanzverband 2 m × 2 m). Zwei bereits bestehende Prüfflächen wurden weiterhin regelmäßig bonitiert. Obwohl erste Daten erhoben wurden, werden an dieser Stelle noch keine Ergebnisse vorgestellt, da eine fundierte Auswertung des

Wuchsverhaltens und insbesondere der Ausbildung der Riegelstruktur im Holz erst nach längerer Beobachtungsdauer möglich ist.

Nebenergebnisse:

- Im Rahmen des Projekts wurden Pflanzenmaterialien aus ausgewählten Genotypen erfolgreich über In-vitro-Kultur vermehrt, um das Pflanzgut für die Klonprüfungsflächen bereitzustellen. Die Produktion gestaltete sich jedoch bei einigen Genotypen als herausfordernd, da diese nur geringe Vermehrungsraten zeigten. Insbesondere die begrenzte Projektlaufzeit erschwerte es, bei allen Genotypen die erforderliche Pflanzenanzahl rechtzeitig zu erreichen.
- Zudem zeigte sich, dass zwischen der Akklimatisierung im Gewächshaus und der Entwicklung zu pflanzfähigen Individuen im Freiland mit einem Zeitraum von etwa 1,5 Jahren gerechnet werden muss. Diese Erkenntnis ist für die zukünftige Planung vergleichbarer Maßnahmen im Rahmen von Zulassungsprüfungen oder Anbauvorhaben essenziell.

Wesentliche Erfahrungen:

Die Anlage der Klonprüfungsflächen erforderte eine enge Abstimmung mit den Forstbetrieben und war durch zeitliche und biologische Einschränkungen geprägt. Die langfristige Beobachtung ist entscheidend, um die Stabilität der Riegelung im Klonnachbau zu bewerten. Das Fehlen einer Anbauempfehlung zeigt, dass praxisnahe Ableitungen aus Forschungsprojekten mehr Zeit und Ressourcen benötigen.

Tabelle 3: Übersicht der geprüften Genotypen auf Klonprüfungsflächen zur Bewertung der Holzeigenschaft ‚Riegelung‘.

Genotyp	PG-Nummer	Holzeigenschaft	Klonprüfungsfläche
Goe3	1	Riegelkandidat	Lodersleben
Nid415-1	2	Riegelkandidat	Lodersleben
Ras30-1	3	Riegelkandidat	Lodersleben
Gött20-3	4	Riegelkandidat	Lodersleben
Rhön	5	Riegelkandidat	Lodersleben
Arni	6	Riegelkandidat	Lodersleben
Eni9-1	7	Riegelkandidat	Lodersleben
SFHb1	8	Riegelkandidat	Lodersleben
E87	9	schlicht	Lodersleben
Standard	10	Sämling, schlicht	Lodersleben
Standard	1	Sämling, schlicht	Hohenbüchen
SFHb1	2	Riegelkandidat	Hohenbüchen
Eni9-1	3	Riegelkandidat	Hohenbüchen
Arni	4	Riegelkandidat	Hohenbüchen
E87	5	schlicht	Hohenbüchen
Rhön	6	Riegelkandidat	Hohenbüchen
Gött20-3	7	Riegelkandidat	Hohenbüchen
Ras30-1	8	Riegelkandidat	Hohenbüchen

2. Verwertung

Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Im Rahmen des Teilvorhabens der NW-FVA wurden zentrale biotechnologische Verfahren zur Sammlung, Erhaltung, In-vitro-Vermehrung und Langzeitkonservierung genetisch wertvoller Wertholzbaumarten mit besonderen Holzeigenschaften entwickelt, getestet und optimiert. Neben *A. pseudoplatanus*, dem Schwerpunkt der Arbeiten, wurden auch erste vielversprechende Erfahrungen mit anderen Baumarten wie *Acer campestre*, *Alnus glutinosa* und *Salix caprea* gesammelt. Diese Breite unterstreicht die Übertragbarkeit der entwickelten Methoden.

Der voraussichtliche Nutzen liegt insbesondere in folgenden Punkten:

- Langfristige genetische Erhaltung seltener Wertholzmerkmale: Die Sammlung, In-vitro-Etablierung und die Sicherung durch Kryokonservierung ermöglicht es, genetisch interessante Individuen über viele Jahre verfügbar zu halten.
- Vegetative Vermehrbarkeit wirtschaftlich bedeutsamer Eigenschaften: Insbesondere die Riegelung ist ein visuell und wirtschaftlich attraktives Merkmal. Durch gezielte vegetative Vermehrung kann dieses Merkmal erhalten und ggf. in größerem Umfang reproduziert werden.
- Anlage von Klonprüfungen und Grundlage für Sortenzulassung: Die im Projekt generierten Pflanzen dienen der langfristigen Leistungsprüfung. Mittelfristig können ausgewählte Klone für den Einsatz im forstlichen Anbau zugelassen werden.
- Nutzung durch Dritte: Die bereitgestellten Protokolle können von Forschungsinstitutionen, forstlichen Genbanken, Hochschulen oder spezialisierten Baumschulen übernommen werden, sowohl für die in diesem Projekt untersuchten Arten als auch für verwandte Baumarten mit vergleichbaren Anforderungen.
- Transferfähigkeit auf andere Baumarten: Die dokumentierte Etablierbarkeit weiterer Laubholzarten eröffnet zukünftige Anwendungsmöglichkeiten, etwa zur Erhaltung gefährdeter Genotypen oder für andere wertgebende Holzeigenschaften.

Damit bildet das Projekt eine methodisch und praktisch belastbare Grundlage für zukünftige Erhaltungs-, Forschungs- und Züchtungsaktivitäten mit Wertholzbäumen in Deutschland.

Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten

Die im Projekt entwickelten Protokolle und Ergebnisse bieten eine Vielzahl an Ansatzpunkten für weiterführende wissenschaftliche und technische Entwicklungen. Besonders hervorzuheben sind:

- Systematisch entwickelte Etablierungsstrategien für *A. pseudoplatanus* mit Erfassungsraten über 50 % sowie differenzierter Auswertung von Einflussfaktoren wie Explantattyp und Desinfektionsmethode. Diese Erkenntnisse sind auch für andere Baumarten relevant und tragen zur Standardisierung biotechnologischer Methoden im forstlichen Kontext bei.
- Optimierung der Kulturbedingungen, etwa durch detaillierte Analysen der Lichtqualität und Lichtintensität in der In-vitro-Kultur. Solche Parameter wurden bislang in der forstlichen Biotechnologie kaum systematisch untersucht.
- Kryokonservierung als Langzeitstrategie im Forstbereich: Mit der erfolgreichen Etablierung eines auf *A. pseudoplatanus* angepassten Protokolls steht nun eine praxisnahe Methode zur Verfügung, die mit weiteren Anpassungen auch auf andere *Acer*-Arten angewendet werden kann.

- Artenübergreifende Erfahrungswerte: Die Versuche mit *A. campestre* und *Alnus glutinosa* zeigen, dass auch weitere heimische Baumarten für die biotechnologische Vermehrung zugänglich sind.

Die breite methodische Basis und die wissenschaftliche Tiefe der erhobenen Daten bieten vielfältige Anknüpfungspunkte für weiterführende Arbeiten in der molekularen Genetik, Züchtung, Reproduktionsbiologie und forstlichen Biodiversitätssicherung.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die im Projekt entwickelten Verfahren zur vegetativen Vermehrung und Langzeitkonservierung geriegelter Bergahorne ermöglichen langfristig eine gezielte Bereitstellung hochwertiger Wertholz-Genotypen. Besonders die Kombination aus In-vitro-Etablierung, Rejuvenilisierung und Kryokonservierung schafft die Voraussetzung, seltene Holzeigenschaften wie die Riegelung systematisch zu sichern und bei Bedarf für die Anzucht bereitzustellen.

Die Nutzungspotenziale reichen von der langfristigen Erhaltung wertvoller Genotypen bis zur mittelfristigen Bereitstellung von Pflanzgut für Klonprüfungen oder, nach erfolgter Zulassung, für den Anbau in forstlichen Praxisbeständen. Durch die Vorarbeiten im Projekt können zukünftige Produktionsprozesse erheblich beschleunigt werden. Perspektivisch ist auch denkbar, dass die gezielte Integration geriegelter Individuen in bestehende Bestände oder Anpflanzungen mit forstlichem Saatgut den Wertholzanteil erhöhen und zur Aufwertung ganzer Bestände beitragen kann.

Darüber hinaus erschließen sich neue wirtschaftliche Perspektiven für spezialisierte Baumschulen und forstliche Betriebe, etwa durch die Produktion vegetativ vermehrter Jungpflanzen mit dokumentierten Holzeigenschaften. Die bereits etablierte Sammlung und die gesicherten Protokolle bilden dafür eine wertvolle Grundlage.

3. Erkenntnisse von Dritten

Im Verlauf des Vorhabens wurden keine externen Forschungsaktivitäten oder Veröffentlichungen bekannt, die unmittelbar mit der vegetativen Erhaltung geriegelter Bergahorne oder der Entwicklung entsprechender In-vitro- und Kryoverfahren vergleichbar wären.

Vielmehr zeigte sich im Austausch mit forstlichen Partnern und durch die praktische Umsetzung des Projekts ein klarer Bedarf an praxistauglichen Methoden zur frühzeitigen und zuverlässigen Identifikation der Riegelung. Bislang existieren keine etablierten Schnellverfahren zur sicheren Erkennung riegelnder Individuen im Jugendstadium oder an vegetativ vermehrtem Material. Auch molekulare oder anatomisch gestützte Diagnosesysteme befinden sich noch nicht in der Anwendung. Vor diesem Hintergrund gewinnen vegetative Verfahren an Bedeutung, da nur so bereits bekannte geriegelte Genotypen gezielt gesichert und weitervermehrt werden können. Das Vorhaben unterstreicht damit nicht nur die Relevanz der vegetativen Erhaltung, sondern macht auch den bestehenden Forschungsbedarf im Bereich diagnostischer Methoden deutlich, um das Merkmal der Riegelung im forstlichen Kontext besser erfassen und nutzen zu können.

Darüber hinaus wurden im Projektverlauf mehrere externe Forschungsansätze bekannt, die potenziell zur Weiterentwicklung der In-vitro-Vermehrung beitragen können. Dazu zählt die

Oxidase/Dehydrogenase (CKX), um die Sprossbildung bei forstlichen Genotypen zu verbessern. Studien belegen, dass CKX-Inhibitoren die Verfügbarkeit von Cytokinen steigern und somit das Regenerationspotenzial erhöhen.

Auch der Einsatz von Temporary Immersion Systems (TIS) zur Massenvermehrung wird als vielversprechend eingeschätzt. TIS verbessern die Nährstoffaufnahme und reduzieren gleichzeitig Hyperhydratation. Ihr erfolgreicher Einsatz wurde bei verschiedenen Gehölzarten dokumentiert. Für Bergahorn wurde das System im Projektverlauf als potenziell vorteilhaft erkannt, insbesondere zur effizienteren Produktion größerer Pflanzenmengen, eine praktische Erprobung steht jedoch noch aus.

4. Veröffentlichungen

Karfik V., Olsson S. (2022): Alternative zum Kaminholz. Gibt es vielleicht auch in Hessen Maserbirken? ImDialog 4/2022: 24-25.

Haag V, Bäucker C, Meier-Dinkel A, Eisold A-M, Fuchs A, Hutter I, Karfik V, Lewandrowski TL, Liesebach H, Quambusch M, Schatz L, Schneck V, Wallbraun M (2023). Die Riegelung des Holzes (Teil I): Wissenschaftler der Fachbereiche Holzanatomie, Genetik und Pflanzenzucht entdecken Anhaltspunkte für Wachstumsmerkmal. Holz Zentralbl 149(49), 817-819.

Eisold, A.-M. E., Karfik, V., Bäucker, C., Liesebach, H., Schneck, V. (2023): Das Projekt WERT-HOLZ – eine (Erfolgs-)Geschichte in der Forstpflanzenzüchtung. Posterbeitrag auf der Forstwissenschaftlichen Tagung, 11.–13.09.2023, Dresden.

Karfik, V., Mohlfeld, M. (2025): Influence of light quality on the in vitro propagation of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.). Posterbeitrag, Third Conference of COST ACTION CA21157: Trees for the Future – Cloning and Beyond, University of Coimbra, Centre for Functional Ecology, Department of Life Sciences, Coimbra, Portugal, 12.–14. Mai 2025.

Karfik V., Lewandrowski T., Bäucker C., Haag V., Eisold A.-M.E., Liesebach H. (2026). Genetic basis of wavy grain in sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.): Indications for a locus with dominant effect. Trees 40, 49 (2026). <https://doi.org/10.1007/s00468-026-02753-y>

Karfik, V., Mohlfeld M., Bethge H. L., Meier-Dinkel A., Höltken A. K., Winkelmann T. (2026). Developing an improved protocol for micropropagation of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.). Plant Cell Tiss Organ Cult 164, 7. <https://doi.org/10.1007/s11240-025-03322-w>

Karfik, V., Meier-Dinkel A., Winkelmann T. (2026). First successful vitrification-based cryopreservation of in vitro shoot tips of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.): influence of explant size, hardening and pre-culture. Akzeptiert am 13.01.2026 in In Vitro Cell.Dev.Biol.-Plant