

Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Entwicklung genetischer Methoden zur Bestimmung der Herkunft und des adaptiven Potentials von Küstentanne (*Abies grandis*) in Deutschland als Basis für Auswahl und Aufbau hochwertiger Saatgutquellen.

Teilvorhaben 2: Schaffung der Grundlagen für die Auswahl und den Aufbau hochwertiger Saatgutquellen

Zuwendungsempfänger:

Nordwestdeutsche forstliche Versuchsanstalt

Abteilung C Waldgenressourcen

Förderkennzeichen:

2220NR313B

Laufzeit:

01.10.2021 bis 30.09.2023

Monat der Erstellung:

04/2025

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 bei der Autorenschaft.

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzbericht	Seite
	1. Aufgabenstellung	1
	2. Planung und Ablauf des Vorhabens	1
	3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse	1
	a) Arbeitspakete und Meilensteine	1
	b) Zusammenfassung	3
II.	Ausführliche Darstellung der Ergebnisse	
	1. Erzielte Ergebnisse	
	Die Große Küstentanne (<i>Abies grandis</i> (Douglas Ex D. Don) Lindl)	5
	Der internationale IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuch aus den Jahren 1978 und 1979	6
	Arbeitspaket 1: Proben-sammlung von 30 Provenienzen (à 50) Bäume auf mindestens 2 Versuch-sflächen des internationalen IUFRO-Provenienzversuchs verteilt über das natürliche Verbreitungsgebiet der Küstentanne	14
	Arbeitspaket 2: Beprobung von 20 Beständen (à 50 Bäume) der Küstentanne in Deutschland	15
	Arbeitspaket 7: Auswertung der Daten für Praxisempfehlungen und Publikationen	20
	Arbeitspaket 8: Auswahl der besten Herkünfte und Einzelbäume	30
	Arbeitspaket 9: Aufnahme von Vitalität, Qualität und Wuchsverhalten bei den Plusbäumen	32
	Arbeitspaket 10: Gewinnung von Pfropfreisern und Durchführung der Pfropfung an 100 Plusbäumen	35
	Arbeitspaket 11: Pflege der Pfropflinge in Gewächshaus und Baumschule mit dem Ziel der langfristigen Sicherung in Klonarchiven und des Aufbaus von Samenplantagen	38
	2. Verwertung	
	a) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen	48
	b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende	48
	c) Wirtschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende	48
	d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	48
	3. Erkenntnisse von Dritten	49
	4. Veröffentlichungen	49
	5. Anhang	51

I. Kurzbericht

1. Aufgabenstellung

Die Küstentanne ist eine der wichtigsten Alternativbaumarten für Deutschland, mit einem großen Potential zur nachhaltigen Sicherung aller Waldfunktionen. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund prognostizierter Klimaänderungen.

Im Zuge des Projektes sollen die genetischen Grundlagen geschaffen werden, um die Küstentanne auf größerer Fläche als ertragsstarke und ökologisch verträgliche Baumart zu etablieren. Dazu sind genetische Methoden und Verfahren notwendig, welche die geografisch/genetische Variation im nordamerikanischen Ursprungsgebiet charakterisieren und diese Referenz mit in Deutschland bereits vorhandenen Beständen vergleichen. Ziel dieses Vergleichs ist die Bestimmung der Provenienz deutscher Bestände und die Einschätzung des adaptiven Potentials dieser Bestände im Vergleich zu Ursprungsregionen. Dies geschieht im Hinblick auf die Erzeugung von Vermehrungsgut, das auf der Grundlage eines ausreichend variablen Genpools und unter Ausschluss ungeeigneter Provenienzen die bestmöglichen Grundlagen für den Anbau dieser Baumart in Deutschland legt.

Gleichzeitig soll eine Auswahl von Plusbäumen von Versuchsfeldern, deren langfristige Sicherung, sowie die Anlage von Samenplantagen erfolgen. Die IUFRO Küstentannenversuchsserie bietet hierfür optimale Voraussetzungen, da es sich um eine Herkunftsversuchsserie mit lokalisierten Originalherkünften aus dem natürlichen Verbreitungsgebiet handelt. Neben den klassischen phänotypischen Plusbaum-Kriterien (insbesondere Wuchsleistung, Qualität, Vitalität und Gesundheit) sollen auch genetische Aspekte (v.a. adaptives Potenzial und genetische Variabilität) berücksichtigt werden. Mittelfristig werden die Plantagen genetisch diverser Saatgut mit einer hohen Anpassungsfähigkeit im Klimawandel bereitstellen.

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Arbeiten im Projektverbund gliedern sich in zwei Aufgabenschwerpunkte. Der erste Aufgabenschwerpunkt umfasst die Identifizierung von geeigneten heimischen Küstentannenbeständen und die Rekonstruktion von Versuchsfeldern für die Gewinnung von genetischen Proben durch den Projektpartner. Der zweite Aufgabenschwerpunkt umfasst Berechnungen zur Auswahl geeigneter Küstentannenherkünfte auf der IUFRO-Küstentannenversuchsserie sowie die Auswahl von Plusbäumen, die vegetative Vermehrung und die anschließende Sicherung der Plusbaumgenotypen auf Samenplantagen. Insgesamt wurden 7 Arbeitspakete von der NW-FVA bearbeitet (siehe Punkt 3) und fristgerecht abgeschlossen. Hervorzuheben ist die äußerst konstruktive Zusammenarbeit mit dem Projektpartner.

3. Resümee der wesentlichen Ergebnisse

a) Arbeitspakete und Meilensteine

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungszeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
AP 1 Probesammlung von 30 Provenienzen (à 50 Bäume) auf mindestens 2 Versuchsfeldern des internationalen IUFRO-Provenienzversuchs verteilt über das natürliche Verbreitungsgebiet der Küstentanne.	04/2021 bis 09/2021	Nach Besichtigung einiger Versuchsfeldern wurden aufgrund des Flächenzustands die Flächen Hochstift und Lauterberg vollständig rekonstruiert und alle lebenden Bäume markiert und beprobt. Aufgrund zu geringer Baumzahlen bei einigen Herkünften wurden die Flächen Frankenberg und Langen partiell rekonstruiert und ebenfalls beprobt. Somit konnten für die ausgewählten Herkünfte genügend Bäume für genetische Analysen gewonnen werden. Für die Probenahme wurde die Firma Isogen beauftragt. Die genetischen Analysen wurden vom Projektpartner durchgeführt.

Arbeitspakete (AP) (lt. Planung im Antrag)	Bearbeitungszeitraum (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
<p>AP 2</p> <p>Beprobung von 20 Beständen (à 50 Bäume) der Küstentanne in Deutschland</p>	<p>07/2021 bis 12/2021</p>	<p>Zur Identifizierung heimischer Küstentannenbestände wurden die Forsteinrichtungsdaten der vier Trägerländer (Hessen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Sachsen-Anhalt) der NW-FVA beschafft und hinsichtlich geeigneter Bestände analysiert. Anhand der Daten wurden 55 Bestände ausgewählt und besichtigt. Schlussendlich wurden 22 Bestände für die genetische Beprobung ausgewählt. Zwei weitere Bestände aus Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern wurden vom Projektpartner vorgeschlagen. Für die Probenahme wurde die Firma Isogen beauftragt. Die genetischen Analysen wurden vom Projektpartner durchgeführt.</p>
<p>AP 7</p> <p>Auswertung der Daten für Praxisempfehlungen und Publikationen</p>	<p>10/2021 bis 12/2023</p>	<p>Die Forstpraxis ist an leistungsfähigen und umweltstabilen Herkünften interessiert. Zur Klärung dieser Frage wurden Methoden verwendet, die Genotyp-Umwelt-Interaktionen im Fokus haben. Die vorhandene Datenstruktur ist jedoch wenig für solche Analysen geeignet. In mehreren Schritten wurde daher ein vollständig orthogonaler Datensatz erzeugt und Berechnungen mit zwei Methoden zur Umweltstabilität durchgeführt. Dadurch konnten geeignete Regionen für den Saatgutimport identifiziert und Richtlinien für den Anbau von Küstentanne in Deutschland abgeleitet werden.</p>
<p>AP 8</p> <p>Auswahl der besten Herkünfte und Einzelbäume</p>	<p>07/2021 bis 12/2021</p>	<p>Für die Berechnungen wurden die Flächen herangezogen, auf denen 2004 und 2013 noch Höhenmessungen und Formbonituren statt gefunden haben. Mit den Ausfalldaten aus den Jahren 1993 und 1994 wurde ein Selektionsindex mit der Gewichtung 60% (Höhenwuchsleistung), 20% (Ausfall) und 20% (Form) gebildet. Insgesamt wurden 13 Herkünfte identifiziert, in denen Plusbäume gesucht werden sollen. Die Plusbaumauswahl fand ebenfalls auf den rekonstruierten Versuchflächen in den Forstämtern Hochstift und Lauterberg statt.</p>
<p>AP 9</p> <p>Aufnahme von Vitalität, Qualität und Wuchsverhalten bei den Plusbäumen</p>	<p>07/2021 bis 12/2021</p>	<p>Mit Hilfe einer für die Küstentanne konzipierten Bonituranweisung wurden Qualität und Wuchsverhalten der Plusbäume aufgenommen. Die Vitalität wurde als Auswahlkriterium voran gestellt. Insgesamt konnten auf den zwei rekonstruierten Versuchflächen in den Forstämtern Hochstift und Lauterberg in den 13 Herkünften 127 Plusbäume identifiziert werden.</p>
<p>AP 10</p> <p>Gewinnung von Propfreisern und Durchführung der Propfung an 100 Plusbäumen</p>	<p>01/2022 bis 03/2022</p>	<p>Auf den Versuchflächen in den Forstämtern Hochstift und Lauterberg wurden von 101 Plusbäumen mit Hilfe von Baumkletterern Edelreiser geschnitten. Die Edelreiser wurden umgehend auf die im Vorfeld beschafften Unterlagen gepfropft. Anschließend wurden die Pflöpflinge im Gewächshaus ausgepflanzt.</p>
<p>AP 11</p> <p>Pflege der Pflöpflinge in Gewächshaus und Baumschule mit dem Ziel der langfristigen Sicherung in Klonarchiven und Aufbaus von Samenplantagen</p>	<p>01/2022 bis 09/2023</p>	<p>An den Pflöpflingen wurden regelmäßig Pflegemaßnahmen durchgeführt. Dazu zählen Arbeiten wie Wässern, Düngen, Begleitwuchsregulierung, Abwildern der Unterlage, Zurückschneiden der Unterlage und Stäben. Im Herbst 2023 wurden zwei Samenplantagen angelegt, auf denen die Plusbaumklone langfristig gesichert werden. Die Kosten für die Flächenanlage wurden von den Landesforstbetrieben übernommen. Im Herbst 2024 wurden die Ausfälle auf den Flächen mit Reservepflanzen ausgebessert.</p>

Meilensteine (M) (lt. Planung im Antrag)	Fälligkeit (lt. Balkenplan im Antrag)	Zielerreichung
M 1 Auswertung der Versuchsserie	06/2021	abgeschlossen
M 2 Auswahl von Plusbäumen	12/2021	abgeschlossen
M 3 Auswahl von Küsten-Tannen-Beständen	09/2022	abgeschlossen
M 4 Reisergewinnung / Pflopf-arbeiten	03/2022	abgeschlossen
M 5 Pflege der Pflopflinge	12/2023	abgeschlossen
M 6 Sammlung von Knospen-oder Nadelproben von 30 Provenienzen	09/2022	abgeschlossen
M 7 Über Deutschland verteilt werden 20 Bestände der Küstentanne beprobt	12/2022	abgeschlossen

b) Zusammenfassung

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Küstentanne reicht von Nordkalifornien bis in den Südwesten British Columbias und zur Ostseite von Vancouver Island. Die Inlandsvorkommen befinden sich hauptsächlich in British Columbia, Washington und Idaho. Innerhalb des Verbreitungsgebietes besiedelt die Küstentanne Höhenlagen bis 1800 m mit Niederschlägen bis 2500 mm. Besondere Standortansprüche stellt sie dabei nicht. Darüber hinaus ist die Küstentanne bodenpfleglich und kann auf einer breiten Standortpalette angebaut werden. Aufgrund der Tatsache, dass sie im natürlichen Verbreitungsgebiet Sommertrockenheiten recht gut überstehen kann, wird sie als Alternative im Klimawandel diskutiert. Durch die großen Kalamitäten der letzten Jahre rückt sie als alternative Baumart für die Fichte in den Fokus. Mittlerweile wird sie in vielen Landesforsten als beizumischende Nadelbaumart empfohlen. Die Große Küstentanne unterliegt dem Forstvermerungsgutgesetz. Allerdings existieren nur wenige Informationen über das Ausgangsmaterial der Saatguterntebestände.

Die Küstentanne wurde vor ca. 100 Jahren als wuchskräftige Baumart eingeführt und konnte ihre Anbauwürdigkeit in Anbauversuchen bestätigen. Der anschließende weiträumigere Anbau führte zu einer gesteigerten Saatgutnachfrage und damit zu der Frage, welche Herkünfte für den Import geeignet sind. Aufgrund des großen Interesses in mehreren europäischen Ländern wurde die Große Küstentanne in das IUFRO-Herkunftsforschungsprogramm aufgenommen. Ab 1974 wurden verschiedene Beerntungen mit dem Ziel durchgeführt, Herkunftsversuche anzulegen. Schlussendlich konnten in mehreren Wellen an 20 Standorten in Deutschland Versuche mit in Summe 65 Herkünften aus dem natürlichen Verbreitungsgebiet angelegt werden. Ein Großteil der Flächen wurde bis 2013 an 8 Zeitpunkten bonitiert. Zu den Aufnahmeparametern zählen Ausfall, Höhen- und Dickenwuchs, Formmerkmale und Schäden. Aktuell wird nur noch ein geringer Teil der Flächen aktiv betreut, die meisten sind aufgegeben bzw. abgeschlossen worden.

Mit Hilfe von genetischen Analysen sollen die einzelnen Herkünfte charakterisiert werden. Seitens des Projektpartners wurden 58 Herkünfte ausgewählt, die den größten Erkenntnisgewinn versprechen lassen. Für die Probenahme wurden auf Basis des Flächenzustandes zwei Versuchsflächen ausgewählt und vollständig rekonstruiert. Auf zwei weiteren Flächen wurden aufgrund zu geringer Probenanzahlen einzelne Herkünfte selektiv beprobt. Vielfach wurde die vom Projektpartner geforderte Zahl von mindestens 30 Bäumen erreicht. Bei nur wenigen Herkünften liegt die Probenanzahl darunter.

Darüber hinaus sollen 20 weitere deutsche Bestände anhand von 50 Bäumen genetisch charakterisiert werden. Nach Möglichkeit sollten Flächenpaare mit guten und schlechten Wuchsleistungen auf gleichen Standorten identifiziert werden. Zu diesem Zweck wurden von den vier Trägerländern der NW-FVA Forsteinrichtungsdaten abgefragt, um geeignete Bestände zu identifizieren. Das Vorgehen konnte leider nicht stringent durchgeführt werden. Daher wurden abweichend von den Projektvorgaben neben gut und schlecht veranlagten Beständen auch vornehmlich Saatguterntebestände, Sonderherkünfte und möglichst alte Bestände in die Auswahl miteinbezogen. Nach Besichtigung der in Frage kommenden Bestände wurden schlussendlich 22 Bestände ausgewählt.

Für den Waldumbau benötigt die Forstpraxis leistungsstarke und umweltstabile Herkünfte. Hierfür stehen eine Reihe von Verfahren aus der landwirtschaftlichen Züchtung zur Verfügung, wovon zwei (WAASB-Stabilitätsindex und Finlay-Wilkinson-Regression) auf den Datensatz der Küstentanne angewendet wurden. Viele der Verfahren, mit der die Genotyp-Umwelt-Interaktion untersucht werden können, benötigen eine hohe Versuchsflächenzahl und einen orthogonal verteilten Herkunftssatz. Da die Versuchsflächen der IUFRO-Herkunftsversuchsserie nicht im einheitlichen Alter angelegt wurden und auch nicht alle Herkünfte auf allen Flächen vertreten sind, mussten die Daten über mehrere Schritte bearbeitet werden, um einen Datensatz mit den gewünschten Eigenschaften erhalten zu können.

Mit Hilfe des Stabilitätsindex konnten Herkunftsgebiete identifiziert werden, aus denen gehäuft die für den Anbau in Deutschland leistungsfähigsten und umweltstabilsten Herkünfte hervorgegangen sind. Zu nennen wären die Herkunftsgebiete Vancouver Island (British Columbia), Olympische Halbinsel (Washington) Westkaskaden (Washington), Küstengebirge (Oregon) und Westkaskaden (Oregon). Darüber hinaus konnten innerhalb der Gebiete Standorte und Klimaparameter festgelegt werden, die genauere Regionen für die Saatguternte umreißen. Demnach stammen die leistungsfähigsten Herkünfte aus niedrig gelegenen Gegenden mit höheren Jahresmitteltemperaturen und Jahresmittelniederschlägen. Durch die Finlay-Wilkinson-Regressionen konnte darüber hinaus festgestellt werden, dass die Küstentanne ein generalistisches Wuchsverhalten zeigt und Genotyp-Umwelt-Interaktionen nur marginal ausgeprägt sind. Es konnte ebenfalls bestätigt werden, dass die Küstentanne auf stark grundwasserbeeinflussten und sehr armen Standorten nicht geeignet ist. Schlussendlich können der Forstpraxis detaillierte Empfehlungen für den Saatgutimport sowie den Anbau in Deutschland gegeben werden.

Herkunftsversuche mit einer großen Anzahl an Originalherkünften eignen sich im besonderen Maße für die Auswahl von geeigneten Herkünften für die Plusbaumauswahl. Als Selektionskriterium wurde auf Basis von Höhenwuchs (60 %), Ausfall (20 %) und Stammform (20 %) ein Selektionsindex für jede Versuchsfläche gebildet und gemeinsam gegenüber gestellt. Insgesamt schneiden die einzelnen Herkünfte sehr heterogen ab. Einige Herkünfte zeigen aber ein durchweg überdurchschnittliches Wachstum. Mit Hilfe dieser Methode konnten 13 Herkünfte identifiziert werden, in denen Plusbäume gesucht werden sollen. Auf den Versuchsflächenstandorten Hochstift und Lauterberg wurden nach einem einheitlichen Verfahren anhand von Vitalität, Leistungs- und Formmerkmalen 127 Plusbäume ausgewählt, von denen 101 Bäume für die vegetative Vermehrung (Pfropfung) genutzt wurden. Bei der Auswahl der Bäume für die Pfropfung wurde darauf geachtet, dass die Herkünfte annähernd gleich vertreten sind.

Die Pfropflinge der ausgewählten Plusbäume wurden nach der Pfropfung 2 Jahre lang im Gewächshaus und der Baumschule intensiv gepflegt. Zu den Maßnahmen zählten das Zurückschneiden der Unterlage, Beikrautregulierung, Topfen, Wässern, Düngen und Stäben der Pflanzen. Im Herbst 2023 waren die Pflanzen groß genug, um sie auspflanzen zu können. Die Sicherung der Genotypen erfolgte nicht wie üblicherweise in Klonarchiven, sondern direkt auf Samenplantagen. Dadurch kann der Zwischenschritt Klonarchiv eingespart und die Zeit bis zur kommerziellen Saatguternte verkürzt werden. Die Flächen für die Samenplantagen befinden sich in Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein. Sämtliche Kosten für die Flächenanlage wurden von den jeweiligen Landesforstbetrieben übernommen. Die Flächen umfassen 100 und 101 Genotypen mit 598 (Sachsen-Anhalt) und 504 (Schleswig-Holstein) Rameten. Aufgrund der hohen Pflanzenanzahl je Genotyp und der sich in unterschiedlichen Regionen befindlichen Flächen sind die Genotypen langfristig gesichert. In einigen Jahren kann die Forstpraxis mit genetisch hoch diversem und anpassungsfähigem Saatgut von den beiden Plantagenflächen versorgt werden.

II. Ausführliche Darstellung der Ergebnisse

1. Erzielte Ergebnisse

Die Große Küstentanne (*ABIES GRANDIS* (DOUGLAS EX D. DON) LINDL.)

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Küstentanne reicht von einem schmalen Streifen in Nordkalifornien, über die westlichen Hälften von Washington und Oregon, den Südwesten British Columbias bis an die Ostseite von Vancouver Island. Die Hauptverbreitung der Inlandsvorkommen erstreckt sich über British Columbia und Idaho. Weitere isolierte Vorkommen liegen im Nordwesten von Montana und Oregon (FOILES 1959, HERMANN 1978). In küstennahen Gebieten ist sie in Höhenlagen bis 350 m zu finden. In den Kaskaden steigt sie auf bis zu 1000 m, in den Rocky Mountains und den Blue Mountains ist sie in Höhen bis 1800 m zu finden (FRANKLIN & DYRNESS 1973, BURNS & HONKALA 1990). Im natürlichen Verbreitungsgebiet reichen die Niederschläge von 600 mm bis 2500 mm, Regionen mit extrem hohen Niederschlägen meidet sie (RUETZ 2011). Die Küstentanne ist auf Böden unterschiedlichen Ausgangsmaterials zu finden und stellt keine besonderen Ansprüche (ROHMEDER 1953, FOILES 1959).

In Deutschland gedeiht die Küstentanne auf einer breiten Standortpalette (RÖHRIG 1978, DONG et al. 1993, SCHÖBER & SPELLMANN 2001, TRAUBOTH 2005, SPELLMANN et al. 2010, SPELLMANN et al. 2015) und wird in Bezug auf Wasser- und Nährstoffansprüche als bodenvag eingestuft (WELLER 2018). Dicht gelagerte Böden mit Sauerstoffarmut und Staunässe behagen ihr nicht (ROERING 1988). Auf diesen und ärmeren und trockeneren Standorten ist sie dennoch der Douglasie vorzuziehen. Standorte mit strengen Tönen sind für den Anbau der Küstentanne gänzlich ungeeignet (STRATMANN 1988). Insgesamt wird die Küstentanne als bodenpfleglich und nicht invasiv eingestuft (SPELLMANN et al. 2015, FVA-BW 2021, NAGEL 2022).

Der Grund für die Einführung der Küstentanne vor mehr als 100 Jahren in Deutschland liegt an ihrem hohen Leistungspotential, welches durch viele Anbauversuche bestätigt werden konnte. Auf mäßig durchforsteten Versuchsflächen in Brandenburg erreicht die Küstentanne im Alter von 40-45 Jahren eine Derbholzgesamtwuchsleistung von bis zu 851 m³/ha und zeigt damit im Vergleich zu Douglasie, Sitkafichte, Japanlärche und Kiefer den höchsten Zuwachs (LOCKOW & LOCKOW 2007). Im Vergleich zur Fichte kann sie in den ersten 40 Jahren eine fast doppelt so hohe Volumenproduktion erzielen (HEIN et al. 2014). Anbauten in Baden-Württemberg bescheinigen der Küstentanne eine Gesamtwuchsleistung von bis zu 1.300 m³/ha und einen jährlichen Zuwachs von 14–26 m³/ha im Jahr (KLÄDTKE 2016). Begründet wird dies mit den schmalen Kronen und der damit verbundenen hohen Standraumnutzungseffizienz (SPELLMANN et al. 2011, WELLER 2018).

Im natürlichen Verbreitungsgebiet fallen die Niederschläge hauptsächlich als Schnee in den Wintermonaten, die Sommermonate können dagegen recht trocken ausfallen (FOILES 1959, BURNS & HONKALA 1990). Die Küstentanne ist daher in der Lage, periodische Sommertrockenzeiten gut zu überstehen (ROHMEDER 1953). Von Beobachtungen, dass die Küstentanne in unseren Breiten Trockenzeiten ohne massive Schäden übersteht, wurde ebenfalls berichtet (BURCHARD 1960, ROERING 1988, WOLF & Ruetz1988).

Mit dem großflächigen Ausfall der Fichtenbestände in den letzten Jahren und den sich weiter abzeichnenden Auswirkungen des Klimawandels werden Baumarten wie die Küstentanne vermehrt als mögliche Alternativen diskutiert. Danach kann die Küstentanne im kontinental getönten Tiefland die Baumartenpalette erweitern und im Bergland zum Teil die Fichte ersetzen (HEIN 2014, NAGEL 2022). In vielen Landesforsten wird die Küstentanne als Alternative und beizumischende Baumart empfohlen (MULE SACHSEN-ANHALT 2010, LWF 2020, BÖCKMANN et al. 2019, DÖBBELER et al. 2020, FVA-BW 2021, WALD UND HOLZ NRW 2022).

Die Große Küstentanne fällt unter das FoVG (Forstvermehrungsgutgesetz). Basierend auf der FoVHgV (Forstvermehrungsgut-Herkunftsgebietsverordnung) sind in Deutschland die Herkunftsgebiete „Norddeutsches Tiefland“ und „übriges Bundesgebiet“ ausgewiesen. Saatguterntebestände müssen nach der FoVzV (Forstvermehrungsgutzulassungsverordnung) mindestens 40 Jahre alt sein und mindestens 40 fruktifikationsfähige Individuen umfassen, von denen mindestens 20 beerntet werden müssen. In den Trägerländern der NW-FVA (Hessen, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein) sind 83 Saatguterntebestände zugelassen. Ein Großteil der heutigen Saatguterntebestände ist mit hoher Wahrscheinlichkeit mit Material aus den USA und Kanada begründet worden. Exakte Informationen über die verwendeten Herkünfte gibt es vielfach nicht.

Der internationale IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuch aus den Jahren 1978 und 1979.

Neben der Douglasie wurde vor über 100 Jahren die Küstentanne als wuchskräftige Nadelbaumart in Deutschland eingeführt. In Versuchsanbauten, die bereits Anfang des 20. Jahrhunderts angelegt wurden, konnte die Anbauwürdigkeit unter hiesigen Bedingungen bestätigt werden (SCHWAPPACH 1901, SCHWAPPACH 1911, PENSCHUK 1935, PENSCHUK 1937, WIEDEMANN 1951). Der anschließende weiträumigere Anbau führte zu einer gesteigerten Saatgutnachfrage in Deutschland. Allerdings konnte der Bedarf aufgrund nur weniger alte Bestände, die für die Saatguternte geeignet waren, nicht mit heimischem Material gedeckt werden. Saatgutimporte aus den Ursprungsgebieten waren daher zu dieser Zeit unerlässlich (RAU et al. 1998). Saatgutimporte werfen jedoch immer die Frage auf, welche Provenienzen für den Anbau am geeignetsten sind (RAU et al. 1991). Herkunftsversuche sind daher zur sinnvollen Steuerung der Saatguteinfuhr zwingend notwendig (RAU et al. 1998).

Aufgrund des zunehmenden Interesses in mehreren europäischen Ländern wurde die Große Küstentanne im Jahr 1972 von der IUFRO (International Union of Forest Research Organizations) in das Herkunftsforschungsprogramm aufgenommen (KONNERT et al. 2018). In den Jahren 1974 bis 1976 wurden seitens der IUFRO 41 Herkünfte im natürlichen Verbreitungsgebiet der Küstentanne beerntet und das Saatgut an Versuchsanstalten verteilt. Von diesen wurden Pflanzen angezogen und Versuchsflächen in Deutschland, England, Frankreich, Niederlande, Österreich, Polen, Schottland und Tschechien angelegt (ALIZOTI et al. 2022). Auf den Versuchsflächen in Deutschland wurde darüber hinaus weiteres Material ausgepflanzt. 21 Herkünfte, ausschließlich aus Oregon, wurden von der Bayerischen Landesanstalt bereitgestellt. Weitere 5 wurden von der Firma Reid Collins als Handelssaatgut geliefert (RAU et al. 1991).

Abbildung 1 zeigt die Verteilung der Herkünfte aus dem Ursprungsgebiet. Insgesamt decken die Herkünfte den Hauptteil des natürlichen Verbreitungsgebietes gut ab. Lediglich der Südteil der Küstenverbreitung (Kalifornien) und das Inlandsvorkommen (Idaho, Montana und British Columbia) sind schwach oder gar nicht flächig abgedeckt. In Tabelle 1 sind alle verwendeten Herkünfte der Versuchsserie mit Informationen zur Herkunftsgruppe, Höhenlage und Klimadaten aufgelistet. Die Herkünfte der Versuchsserie decken bei den aufgelisteten Eigenschaften einen breiten Gradienten ab. So sind sehr niedrig (Oyster Bay 44m [NN]) sowie hoch (Crescent Bay 1375 m [NN]) liegende Herkünfte vertreten. Auch bei den Klimaparametern mittlerer Jahresniederschlag (Eagle Creek 265 mm und Sproat Lake 4111 mm) und mittlere Jahrestemperatur (Santiam Summit 5,7°C und Otter Point 14,0°C) besteht eine große Spreite.

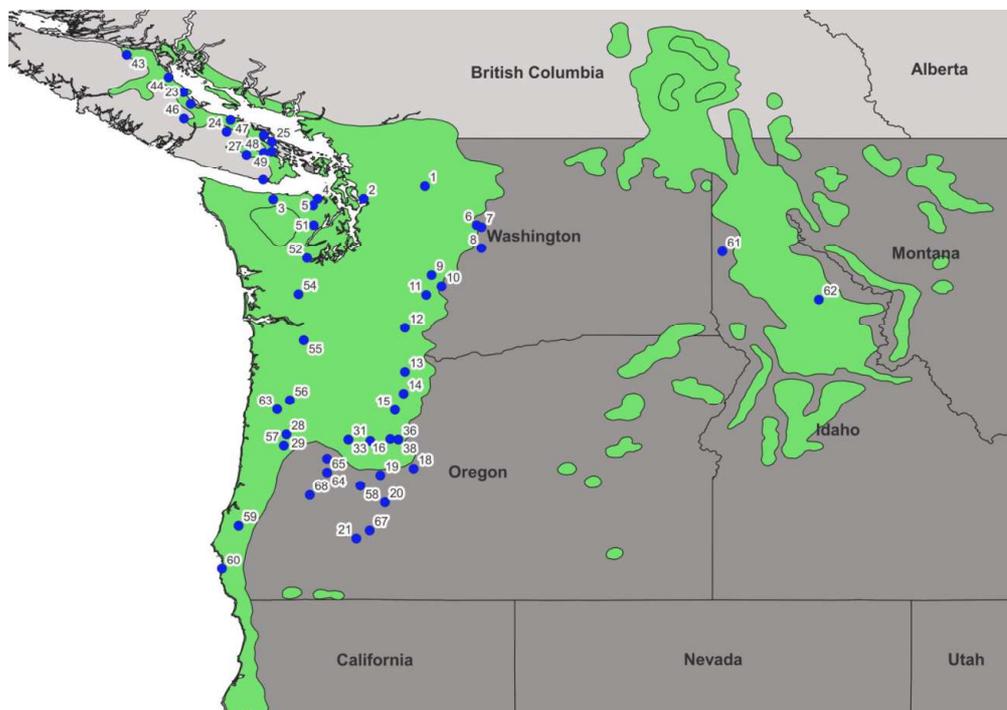


Abbildung 1: Natürliche Verbreitung der Küstentanne in Nordamerika (grüne Fläche), Lage der in der IUFRO-Versuchsserie vertretenen Herkünfte (blauer Kreis), Verbreitung nach LITTLE (1971).

Tabelle 1: Übersicht über die im Herkunftsversuch verwendeten Herkünfte. Einteilung der Herkunftgruppen nach RAU et al. (2008). Niederschlags- und Temperatur-daten stammen aus ClimateNA Datenbank (WANG et al. 2016).

Nr.	Provenienz	Herkunftsgruppe	Höhe NN [m]	Niederschlag (mm)	Temperatur (°C)
1	Buck Creek	Puget Sound, Westkaskaden, Washington	400	3348	8,7
2	Tulalip Indian Res.	Puget Sound, Westkaskaden, Washington	30	1087	9,9
3	Indian Creek	Olympische Halbinsel, Washington	140	835	9,4
4	Gardiner	Olympische Halbinsel, Washington	30	800	10,2
5	Bear Mountain	Olympische Halbinsel, Washington	825	2311	6,1
6	Eagle Creek	Ostkaskaden, Washington	760	265	8,2
7	Eagle Creek	Ostkaskaden, Washington	1200	295	6,8
8	Jack Creek	Ostkaskaden, Washington	825	769	5,7
9	Cougar Flats	Ostkaskaden, Washington	945	968	6,5
10	Rattlesnake Creek	Ostkaskaden, Washington	1300	1972	6,6
11	Clear Lake	Ostkaskaden, Washington	945	835	7,0
12	Cascade Creek	Ostkaskaden, Washington	945	1859	6,5
13	Cooper Spur	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	1040	544	7,8
14	Beaver Creek	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	1040	744	6,8
15	Sisi Butte	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	975	415	8,1
16	Santiam Summit	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	1400	350	5,7
17	Tombstone Prairie	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	1340	2138	7,1
18	Big Spring	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	1500	544	6,1
19	Roaring River Ridge	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	1310	1856	6,4
20	Crescent Creek	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	1375	890	7,0
21	Whisky Creek	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	1160	1416	8,4
23	Courtenay	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	75	1262	9,2
24	Nanaimo Lakes	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	315	1091	9,4
25	Kuper Island	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	75	877	9,7
26	Duncan	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	75	882	9,8
27	Lake Cowichan	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	225	2741	8,7
28	Philomath	Küstengebirge, Oregon	228	1130	10,8
29	Philomath	Küstengebirge, Oregon	380	1130	10,2
30	Santiam R. Sweet Home	Westkaskaden, Oregon	228	2218	11,7
31	Santiam R. Sweet Home	Westkaskaden, Oregon	380	2218	11,0
32	Santiam R. Sweet Home	Westkaskaden, Oregon	532	2218	10,4
33	Santiam R. Sweet Home	Westkaskaden, Oregon	684	2218	9,7
34	Santiam R. Sweet Home	Westkaskaden, Oregon	836	2218	9,0
35	Santiam Pass Sisters	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	684	319	9,0
36	Santiam Pass Sisters	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	836	319	8,3
37	Santiam Pass Sisters	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	988	319	7,6
38	Santiam Pass Sisters	Hoch- und Ostkaskaden, Oregon	1140	319	7,0
43	Salmon River	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	25	1537	8,8
44	Oyster Bay	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	5	2903	10,2
45	Buckley Bay	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	45	1305	8,9
46	Sproat Lake	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	25	4111	9,3
47	Kay Road	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	50	1532	9,1
48	Yellow Point	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	30	1374	10,0
49	Mt. Prevost	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	75	969	9,8
50	Sooke	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	20	716	9,8
51	Duckabush River	Olympische Halbinsel, Washington	90	1775	10,7
52	Shelton	Puget Sound, Westkaskaden, Washington	40	2396	10,3
54	Rainbow Falls Park	Puget Sound, Westkaskaden, Washington	125	2242	10,3
55	Pittsburg/Oregon	Küstengebirge, Oregon	275	1095	10,3
56	Armstrong Road, Bluell	Küstengebirge, Oregon	260	1121	10,4
57	Alsea Falls	Küstengebirge, Oregon	275	1179	10,9
58	Salt Creek	Westkaskaden, Oregon	685	1572	9,7
59	Norway	Küste Süd-Oregon	60	2866	14,0
60	Otter Point	Küste Süd-Oregon	45	2866	14,0
61	St. Joe Area, Plummer Hill	Binnenland Idaho/Montana/Ost- Washington	850	845	7,6
62	Clear Water	Binnenland Idaho/Montana/Ost- Washington	760	1143	7,8
63	Falls City	Küstengebirge, Oregon	380	1110	9,7
64	Dexter/Bear Mt.	Westkaskaden, Oregon	532	1559	11,5
65	Dexter/Bear Mt.	Westkaskaden, Oregon	836	1559	10,2
66	Upper Mohawk Rivers	Westkaskaden, Oregon	532	1944	9,6
67	Myrtle Point	Küste Süd-Oregon	76	1784	12,1
68	Coast Fork Willamette R.	Westkaskaden, Oregon	228	946	12,0
69	Upper Mohawk Rivers	Westkaskaden, Oregon	380	1944	10,3

In Tabelle 2 sind zusätzliche Informationen über die Saatguternte der einzelnen Herkünfte aufgelistet. Pro Herkunft wurden zwischen 7 und etwas mehr als 30 Bäume beerntet. Als Erntemethode wurde die Zapfenernte durch Klettern oder das Ausräumen von Eichhörnchenlagerstätten gewählt. In wenigen Fällen wurden die Erntebäume gefällt. Hinsichtlich der Bestandesalter und damit auch der Baumhöhen und Baumdurchmesser unterscheiden sich die beernteten Bestände deutlich. Nähere Informationen für die 26 Herkünfte, die nicht von der IUFRO eingesammelt wurden, liegen leider nicht vor.

Tabelle 2a: Eckdaten über die Saatguternte der einzelnen Herkünfte, die in der Versuchsserie angebaut wurden.

PG-Nr.	IUFRO Nr.	Herkunft	Anzahl beerntete Bäume	Höhe der beernteten Bäume [m]	Durchmesser der beernteten Bäume [cm]	Alter der beernteten Bäume	Erntemethode
1	12001	Buck Creek	25-30	60-70	90-120	150	Eichhörnchen
2	12002	Tulalip Indian Res.	20	13-20	20-35	30-50	Eichhörnchen/ Klettern
3	12003	Indian Creek	18	35-40	50-70	50-60	Klettern
4	12004	Gardiner	20	25-35	25-45	50	Klettern
5	12005	Bear Mountain	25+	27-40	40-60	65-75	Eichhörnchen
6	12006	Eagle Creek	20	18-30	40-70	40-50	Klettern
7	12007	Eagle Creek	20	15-24	30-40	35-45	Klettern
8	12008	Jack Creek	20	18-24	25-37	40	Klettern
9	12009	Cougar Flats	21	20-25	30-40	40	Klettern
10	12010	Rattlesnake Creek	15	10-15	20-30	30-40	Klettern
11	12011	Clear Lake	19	15-25	30-40	40-50	Klettern
12	12012	Cascade Creek	16	12-20	30-45	40	Klettern
13	12013	Cooper Spur	20+	10-40	20-65	30-100	Klettern/ Eichhörnchen
14	12014	Beaver Creek	20+	15-24	24-40	50-60	Klettern/ Eichhörnchen
15	12015	Sisi Butte	33	20-30	35-45	60-80	Klettern/ Eichhörnchen
16	12016	Santiam Summit	19	16-22	30-40	60	Klettern
17	12017	Tombstone Prairie	25	12-34	24-80	30-150	Eichhörnchen
18	12018	Big Spring	20+	24-36	30-48	40-50	Klettern/ Eichhörnchen
19	12019	Roaring River Ridge	30+	28-42	50-75	80-100	Eichhörnchen
20	12020	Crescent Creek	30+	10-35	20-65	25-100	Eichhörnchen
21	12021	Whisky Creek	30+	27-40	48-77	80-90	Eichhörnchen
23		Courtenay	9				
24		Nanaimo Lakes	16				
25		Kuper Island	11				
26		Duncan	28				
27		Lake Cowichan	8				
28		Philomath	11				
29		Philomath	27				
30		Santiam R. Sweet Home	14				
31		Santiam R. Sweet Home	10				
32		Santiam R. Sweet Home	11				
33		Santiam R. Sweet Home	7				
34		Santiam R. Sweet Home	7				
35		Santiam Pass Sisters	8				
36		Santiam Pass Sisters					
37		Santiam Pass Sisters					
38		Santiam Pass Sisters	19	25-30	30-40	40-50	Fällung
43	12040	Salmon River	22	18-30	35-60	50-80	Klettern/ Fällung
44	12041	Oyster Bay	20	10-28	10-40	25-65	Klettern/ Fällung
45	12042	Buckley Bay	20	17-25	25-45	40-60	Klettern/ Schießen
46	12043	Sproat Lake	20	18-25	30-60	50-70	Klettern
47	12044	Kay Road	20	20-28	40-55	50-60	Klettern
48	12045	Yellow Point	15+	35-40	60-80	80-100	Eichhörnchen
49	12046	Mt. Prevost	25	10-60	15-100	25-100	Klettern/ Eichhörnchen
50	12047	Sooke	26	10-25	20-55	20-60	Klettern
51	12048	Duckabush River	20+	35-40	60-70	60-100	Eichhörnchen
52	12049	Shelton	20	15-20	30-50	40-50	Klettern
54	12051	Rainbow Falls Park	22	15-25	25-35	40-60	Klettern
55	12052	Pittsburg/Oregon	20	20-30	30-55	30-50	Klettern
56	12053	Armstrong Road, Bluell	20	20-30	30-40	40	Klettern

Tabelle 2b: Eckdaten über die Saatguternte der einzelnen Herkünfte, die in der Versuchsserie angebaut wurden.

PG-Nr.	IUFRO Nr.	Herkunft	Anzahl be-erntete Bäume	Höhe der be-ernteten Bäume [m]	Durch-mes-ser der be-ernteten Bäume [cm]	Alter der be-ernteten Bäume	Ernte-methode
57	12054	Alsea Falls	21	15-25	23-48	35-50	Klettern
58	12055	Salt Creek	20	15-25	25-40	40-60	Klettern
59	12056	Norway					
60	12057	Otter Point					
61	12026	St. Joe Area, Plummer Hill					
62	12038	Clear Water					
63		Falls City					
64		Dexter/Bear Mt.					
65		Dexter/Bear Mt.					
66		Upper Mohawk Rivers					
67		Myrtle Point					
68		Coast Fork Willamette R.					
69		Upper Mohawk Rivers					

Für die Projektbearbeitung, insbesondere die Identifikation geeigneter Herkünfte, wurden lediglich die (nordwestdeutschen) Versuchsfelder der Internationalen IUFRO-Versuchsserie verwendet. Diese erstrecken sich hauptsächlich über einen Streifen von Schleswig-Holstein über Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Hessen bis Bayern. Im Westen, Südwesten und Osten Deutschlands wurden keine Versuchsfelder angelegt (siehe Abbildung 2a und 2b). Die Versuchsfelder liegen auf Höhen zwischen 15 und 800 m über NN und decken damit die Höhenstufen vom Flachland bis zum montanen Bereich gut ab. Als Hauptbodentypen können Braunerden, Pseudogleye und Podsole angeführt werden. Der Wasserhaushalt reicht von frisch bis wechselfeucht bei mittlerer und z.T. schlechter Nährstoffversorgung. Gut nährstoffversorgte und oder trockene Standorte sind nicht in der Versuchsserie vertreten. Die Jahresmitteltemperaturen schwanken zwischen 5,7 und 9,0 °C. Die mittleren Jahresniederschläge liegen zwischen 640 und 1500 mm (siehe Tabelle 3)



Abbildung 2: Übersicht über die Lage der deutschen Küstentannen-Versuchsfelder der Internationalen IUFRO-Versuchsserie.

Tabelle 3: Beschreibung der deutschen Versuchsstandorte.

Versuchsfläche (Aktenzeichen)	Temperatur [°C]		Niederschlag [mm]		Höhe ü. NN	Bodentyp	Wasserhaushalt	Tropie
	Jahr	Veg.-Zeit	Jahr	Veg.-Zeit				
Lauterberg (22.108.001 & 22.108.011)	5,7	12,1	1.179	346	580	basenarme Braunerde	mäßig frisch	mesotroph
Hochstift (22.108.002 & 22.108.012)	6,5	12,8	1.040	500	355	basenarme Braunerde	frisch	oligotroph
Arnsberg (22.108.003 & 22.108.013)	8,6	14,6	1.000	420	380	basenarme Braunerde	frisch bis mäßig frisch	oligotroph
Meppen_1 (22.108.004 & 22.108.014)	8,5	12,4	836	376	160	podsolierte Pa- rabraunerde	frisch	oligotroph
Meppen_2 (22.108.008 & 22.108.016)	8,6	14,5	760	360	15	basenarme Po- dsol Braunerde	frisch / stark Grundwasser- beeinflusst	oligotroph
SHLF_1 (22.108.009 & 22.108.017)	8,4	14,6	750	364	30	Eisenhumus Podsol	wechselfeucht / Grundwasser- beeinflusst	mesotroph
SHLF_2 (22.108.010 & 22.108.018)	8,0	14,4	760	360	20	Podsol	wechselfeucht / Grundwasser- beeinflusst	mesotroph
Ahlhorn (22.108.005)	8,4	14,5	741	346	50	podsolige Pa- rabraunerde	wechselfeucht	mesotroph
Münden (22.108.006)	7,1	13,7	825	410	420	Pseudogley	frisch	oligotroph
Münden (22.108.006)	7,5	14,2	756	384	345	Pseudogley Braunerde	wechselfeucht	mesotroph
Ahlhorn (22.108.015)	8,5	14,6	699	326	45	schwach pseu- dovergl. Para- braunerde	frisch	mesotroph
Reinhardshagen (Q11-12.07.02)	8,0	14,3	725	352	290	Pseudogley	wechselfeucht	mesotroph
Langen (Q11-12.07.03)	9,0	15,7	674	317	135	Braunerde	frisch	mesotroph
Frankenberg (Q11-12.07.04)	7,5	14,2	673	299	280	Braunerde	mäßig frisch	mesotroph
Burghaun (Q11-12.07.05)	7,3	14,1	640	340	330	Braunerde	frisch	mesotroph
Fulda (Q11-12.07.06)	8,0	14,7	699	322	315	Braunerde	frisch bis mäßig frisch	oligotroph
Königstein (Q11-12.07.07)	8,0	14,6	775	340	440	Braunerde	frisch	mesotroph
Kronach	5,8	13,3	980	430	480	Braunerde	frisch bis mäßig frisch	mesotroph
Selb	6,0	13	700	315	560	Braunerde	mäßig frisch	oligotroph
Zwiesel	6,5	13	1.500	750	800	Braunerde	frisch	mesotroph

In Tabelle 4 sind die einzelnen Versuchsflächen und die darauf angebauten Herkünfte aufgelistet. Ein Großteil der im Projekt betrachteten Versuchsflächen wurde im Zeitraum von 1979 und 1981 angelegt. Mit Restsaatgut wurde im Jahr 1987 eine weitere Serie mit drei Versuchsflächen in Hessen begründet. Die Herkunftszahlen schwanken stark zwischen den einzelnen Versuchsflächen. So umfasst die Versuchsfläche in Langen 46 Herkünfte, während die Versuchsfläche in Zwiesel nur 9 Herkünfte umfasst. Zum Teil liegen die einzelnen Versuchsflächen in direkter Nachbarschaft (Tabelle 4a und 4b, farblich hinterlegte Versuchsflächen) und werden bei späteren Berechnungen als einheitliche Fläche behandelt.

Die IUFRO-Versuchsserie wurde bis zu 8-mal bonitiert. In der Periode 2013/2014 wurden die älteren Flächen der Versuchsserie letztmalig aufgenommen. Die jüngeren Flächen wurden zuletzt in der Periode 2020/2021 bonitiert. In den ersten Jahren wurden vornehmlich Leistungsparameter wie Wuchshöhe und Brusthöhen-durchmesser aufgenommen. Nach der Etablierungsphase wurde ebenfalls der Ausfall erfasst. Später kamen noch der Parameter Stammform hinzu. Ab dem Jahr 1998 wurden auf allen Flächen nur bei einem Teil der Bäume die Wuchshöhen erfasst (siehe Tabelle 5).

Tabelle 4a: Übersicht über die Verteilung der Prüfglieder auf die deutschen Versuchsflächen des IUFRO Küstentannen-Provenienzversuchs.

Prüfglied [PG]	Versuchsflächen																											
	Lauterberg (22.108.001)	Lauterberg (22.108.011)	Hochstift (22.108.002)	Hochstift (22.108.012)	Arnsberg (22.108.003)	Arnsberg (22.108.013)	Meppen 1 (22.108.004)	Meppen 1 (22.108.014)	Meppen 2 (22.108.008)	Meppen 2 (22.108.016)	SHLF 1 (22.108.009)	SHLF 1 (22.108.017)	SHLF 2(22.108.010)	SHLF 2 (22.108.018)	Ahlhorn (22.108.005)	Münden (22.108.006)	Münden (22.108.007)	Ahlhorn (22.108.015)	Reinhardshagen (Q 11-12.07)	Langen (Q 11-12.07.03)	Frankenberg (Q11-12.07)	Burghaun (Q11-12.07.05)	Fulda (Q11-12.07.06)	Königstein (Q11-12.07.07)	Kronach	Selb	Zwiesel	
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
18	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
23	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
24	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
26	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
28	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
29	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
30	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
31	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
32	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
33	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
34	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
35	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabelle 4b: Übersicht über die Verteilung der Prüfglieder auf die deutschen Versuchsflächen des IUFRO Küstentannen-Provenienzversuchs.

Prüfglied [PG]	Versuchsflächen																											
	Lauterberg (22.108.001)	Lauterberg (22.108.011)	Hochstift (22.108.002)	Hochstift (22.108.012)	Arnsberg (22.108.003)	Arnsberg (22.108.013)	Meppen 1 (22.108.004)	Meppen 1 (22.108.014)	Meppen 2 (22.108.008)	Meppen 2 (22.108.016)	SHLF 1 (22.108.009)	SHLF 1 (22.108.017)	SHLF 2(22.108.010)	SHLF 2 (22.108.018)	Ahlhorn (22.108.005)	Münden (22.108.006)	Münden (22.108.007)	Ahlhorn (22.108.015)	Reinhardshagen (Q 11-12.07)	Langen (Q 11-12.07.03)	Frankenberg (Q11-12.07)	Burghaun (Q11-12.07.05)	Fulda (Q11-12.07.06)	Königstein (Q11-12.07.07)	Kronach	Selb	Zwiesel	
36	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
37			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
38	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
43	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
44	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
45	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
46	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
47	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
48	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
49	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
50	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
51	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
52	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
54	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
55	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
56	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
57	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
58	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
59	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
60	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
61																		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
62																		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
63																		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
64																		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
65																		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
66																		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
67																		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
68																		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
69																										X	X	X

Tabelle 5: Vorhandene Daten der IUFRO-Versuchsserie getrennt nach Versuchsfläche (Aktenzeichen): A = Ausfall, H_v = Höhe Vollaufnahme, H_T = Höhe Teilaufnahme, D = Durchmesser (BHD), S = Stammform, Z = Zwieselwuchs.

Versuchsfläche	Aufnahmen							
22.108.001	1978 H _v	1980 H _v	1983 H _v	1988 A, H _v	1994 A, H _v	1998 A, H _T , D	2004 H _T , D, F	
22.108.002	1978 H _v	1980 H _v	1983 H _v	1988 A, H _v	1994 A, H _v , D	1998 A, H _T , D	2004 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
22.108.003	1978 H _v	1980 H _v	1983 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D		
22.108.004	1978 H _v	1980 H _v	1983 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D		2013 H _T , D, F
22.108.005	1978 H _v	1980 H _v	1983 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D	2004 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
22.108.006	1978 H _v	1980 H _v	1983 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D	2004 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
22.108.007	1978 H _v	1980 H _v	1983 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D	2004 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
22.108.008	1978 H _v	1980 H _v	1983 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D	2004 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
22.108.009	1978 H _v	1980 H _v	1983 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D	2004 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
22.108.010	1978 H _v	1980 H _v	1983 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D		
22.108.011	1979 H _v	1981 H _v	1984 H _v	1988 A, H _v	1994 A, H _v , D	1998 A, H _T , D		
22.108.012	1979 H _v	1981 H _v	1984 H _v	1988 A, H _v	1994 A, H _v , D	1998 A, H _T , D		2013 H _T , D, F
22.108.013	1979 H _v	1981 H _v	1984 H _v	1988 A, H _v	1994 A, H _v , D	1998 A, H _T , D		
22.108.014	1979 H _v	1981 H _v	1984 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D		2013 H _T , D, F
22.108.015	1979 H _v	1981 H _v	1984 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D	2004 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
22.108.016	1979 H _v	1981 H _v	1984 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D	2004 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
22.108.017	1979 H _v	1981 H _v	1984 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D	2004 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
22.108.018	1979 H _v	1981 H _v	1984 H _v	1988 A, H _v	1993 A, H _v , D	1998 A, H _T , D		
Q11-12.07.02							2003 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
Q11-12.07.03							2003 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
Q11-12.07.04								
Q11-12.07.05							2010 H _T , D, F	2020 H _T , D, F
Q11-12.07.06							2010 H _T , D, F	2020 H _T , D, F
Q11-12.07.07							2010 H _T , D, F	2020 H _T , D, F
Kronach			1984 H _v		1993 A, H _v , D		2003 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
Selb			1984 H _v		1993 A, H _v , D		2003 H _T , D, F	2013 H _T , D, F
Zwiesel			1984 H _v		1993 A, H _v , D		2003 H _T , D, F	2013 H _T , D, F

Arbeitspaket 1:

Probensammlung von 30 Provenienzen (à 50) Bäume auf mindestens 2 Versuchsflächen des internationalen IUFRO-Provenienzversuchs verteilt über das natürliche Verbreitungsgebiet der Küstentanne.

In der IUFRO Küstentannenversuchsserie wurden insgesamt 69 Provenienzen angebaut, von denen in den folgenden Betrachtungen 63 berücksichtigt werden konnten. Insgesamt decken die betrachteten Provenienzen das natürliche Verbreitungsgebiet der Küstentanne gut ab. Lediglich die Gebiete des Inlandsvorkommens sind unterrepräsentiert. Tabelle 1 und Abbildung 1 geben genaue Informationen zu den Provenienzen und zeigen ihren Ursprungsort an. Einige der verwendeten Provenienzen unterscheiden sich nur gering bezüglich ihrer mittleren Seehöhe (siehe Tabelle 1, z.B. Nr. 30 und Nr. 31). Die Beprobung dürfte daher keinen weiteren Erkenntnisgewinn bewirken. In Rücksprache mit dem Projektpartner wurden deshalb 58 Provenienzen ausgewählt, die beprobt werden sollen.

Bei den Flächen der IUFRO Versuchsserie handelt es sich um ältere, zum Teil bereits abgeschlossene Versuchsflächen. Nur einige der Flächen waren im Jahr 2021 noch aktiv. In einem ersten Schritt wurden daher Flächen der Versuchsserie in der näheren Umgebung der NW-FVA aufgesucht, um ihre Eignung für die Beprobung einzuschätzen. Die Flächen Reinhardshagen und Münden sind in der Vergangenheit von Stürmen stark geschädigt worden und sind für eine Probennahme ungeeignet. Die Versuchsflächen in den Forstämtern Hochstift und Lauterberg hingegen befinden sich in einem guten Zustand und sind für eine Probennahme geeignet. Bei einigen der ausgewählten Provenienzen konnte der erforderliche Stichprobenumfang nicht erreicht werden, oder die Provenienzen waren nicht auf den beiden Flächen vertreten (Nr.: 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68). Deshalb wurden die Flächen in Frankenberg und Langen für die Beprobung mit einbezogen (vgl. Abbildung 2).

Ausgehend vom Parzellenplan (siehe Abbildung 3), den jeweiligen Pflanzabständen und den noch vorhandenen Markierungen wurden 2 Versuchsflächen ganz (Hochstift und Lauterberg) und 2 weitere in Teilen (Frankenberg und Langen) rekonstruiert und die Parzellenecken temporär neu markiert. Alle noch lebenden Bäume der Parzellen mit den gewünschten Herkunftten (Prüfglieder) wurden deutlich mit Sprühfarbe und den Probennummern markiert. Insgesamt wurden so 2022 Bäume für die genetische Besprobung ausgewählt. Vielfach wurde die vom Projektpartner geforderte Zahl von mindestens 30 Bäumen erreicht. Bei nur wenigen Provenienzen ist sie geringer (siehe Abbildung 4). Die Beprobung der einzelnen Bäume erfolgte durch die Firma Isogen. Die genetischen Analysen werden gänzlich vom Projektpartner durchgeführt.

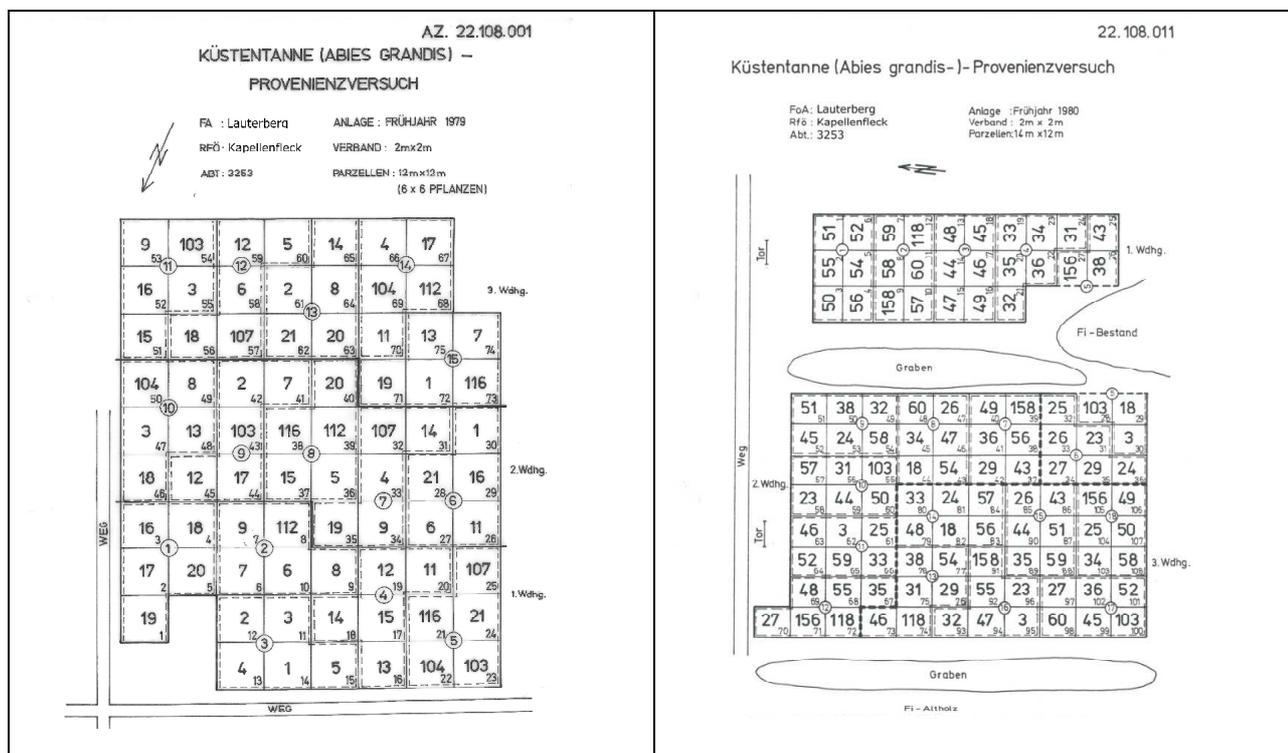


Abbildung 3: Flächenpläne der IUFRO-Versuchsflächen in Lauterberg (AktENZEICHEN 22.18.001 und 22.108.011).

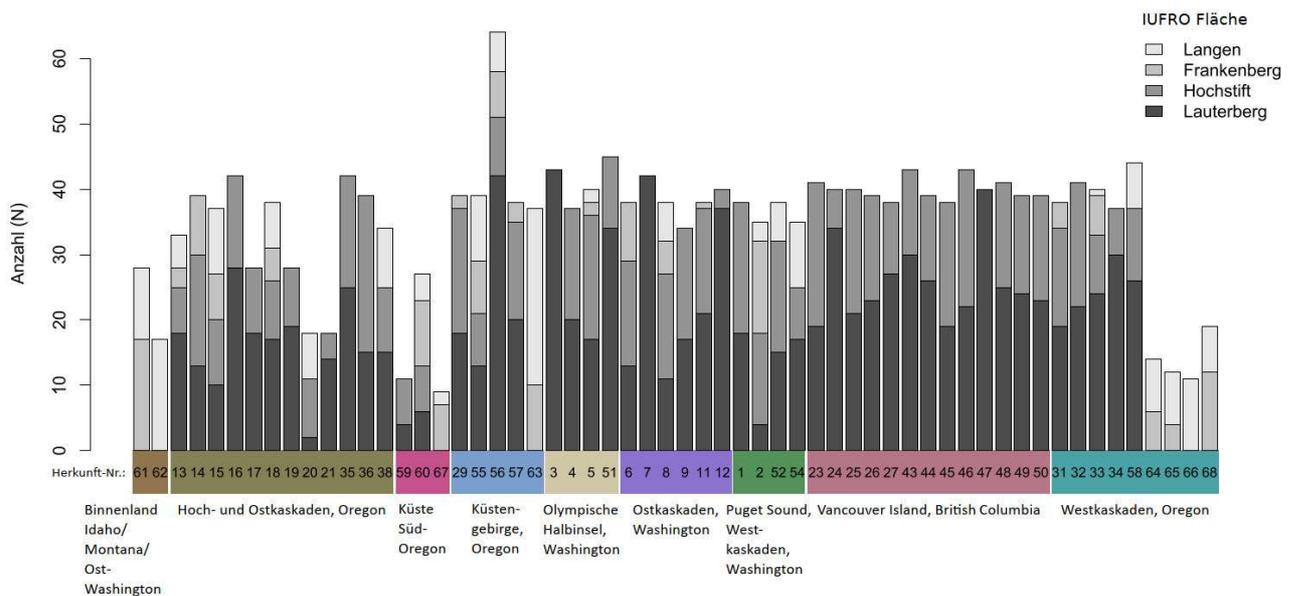


Abbildung 4: Anzahl der beprobten Individuen für die genetischen Untersuchungen. Unterteilung der Balken in Graustufen nach dem Ort der Probenahme in vier IUFRO-Flächen. Farbliche Zuordnung zu Herkunftsgruppen in Nordamerika auf der x-Achse, nach RAU et al. (2008).

Arbeitspaket 2:

Beprobung von 20 Beständen (à 50 Bäume) der Küstentanne in Deutschland.

Im zweiten Arbeitspaket sollten für genetische Analysen 20 Bestände über Deutschland verteilt ausgewählt werden. Bei etwa der Hälfte der Bestände sollte es sich um phänotypisch besser veranlagte Saatguterntebestände handeln. Die andere Hälfte soll aus Beständen mit unterdurchschnittlichen Wuchs- und Formeigenschaften bestehen. Pro Bestand / Vorkommen sollten ca. 50 Bäume beprobt werden. Bei kleineren Vorkommen erfolgte eine Vollbeprobung. Die Beprobung und die anschließenden genetischen Analysen wurden von der Firma Isogen und vom Projektpartner übernommen. Für die Bestandesauswahl wurden von den 4 Trägerländern der NW-FVA (Hessen, Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Sachsen-Anhalt) Forsteinrichtungsdaten der Küstentanne abgefragt. Insgesamt konnten 1734 Abteilungen/Unterabteilungen mit Küstentanne identifiziert werden. Mit knapp 1000 Einheiten sind die Altersklassen bis 40 Jahre am häufigsten vertreten. Die Bestände konzentrieren sich ebenfalls auf die mittleren Leistungs- und Qualitätsklassen (siehe Tabellen 6 bis 9). Allerdings handelt es sich vielfach um sehr kleine Flächen oder große Flächen mit sehr geringen Anteilen (nicht dargestellt).

Nach Projektvorgabe sollten mit Hilfe der Daten Bestandespaare identifiziert werden, die bei gleichem Bodentyp und Klima unterschiedliche Wuchsleistungen zeigten. Leider war das Vorgehen nicht stringent durchzuführen. Vielfach waren die Leistungsunterschiede zu gering, oder die Vorkommen zu klein. Daher wurden abweichend von den Projektvorgaben neben gut und schlecht veranlagten Beständen auch vornehmlich zugelassene Saatgutbestände, Sonderherkünfte und Bestände mit möglichst hohem Alter in die Auswahl mit einbezogen. Schlussendlich wurden 22 Bestände zur Beprobung ausgewählt. Somit konnte für die genetischen Analysen heterogenes und interessantes Material zusammengestellt werden.

Tabelle 6: Küstentannenvorkommen in Hessen. Die Qualität stellt den Zusammenhang zwischen Alter und Wuchshöhe dar. Je niedriger die Bonitätsstufe, desto wuchskräftiger ist der Bestand.

Alter	Anzahl	Qualität			
		1	2	3	4
0-20	137	0	1	136	0
21-40	53	0	11	41	1
41-60	80	0	27	53	0
61-80	17	0	3	14	0
81-100	4	0	0	4	0
>100	2	0	2	0	0

Tabelle 7: Küstentannenvorkommen in Niedersachsen. Die Leistungsklasse stellt den Zusammenhang zwischen Alter und der Wuchshöhe dar. Je Höher die Leistungsklasse, desto wuchskräftiger ist der Bestand.

Alter	Anzahl	Leistungsklasse (LKI)										
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0-20	130	34	29	9	16	14	15	8	3	2	0	0
21-40	342	40	39	21	37	33	75	35	24	17	13	8
41-60	527	60	43	39	51	68	71	51	38	40	37	29
61-80	44	5	1	4	1	8	6	4	4	3	6	2
81-100	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 8: Küstentannenvorkommen in Sachsen-Anhalt. Die Bonität stellt den Zusammenhang zwischen Alter und Wuchshöhe des bestandes dar. Je niedriger die Bonitätsstufe, desto wuchskräftiger ist der Bestand.

Alter	Anzahl	Bonität				
		1	1,5	2	2,5	3
0-20	75	17	10	39	5	1
21-40	29	4	4	10	6	5
41-60	4	0	0	0	0	4

Tabelle 9: Küstentannenvorkommen in Schleswig-Holstein. Die Leistungsklasse stellt den Zusammenhang zwischen Alter und der Wuchshöhe dar. Je Höher die Leistungsklasse, desto wuchskräftiger ist der Bestand.

Alter	Anzahl	Leistungsklasse (LKI)										
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0-20	28	1	3	4	10	2	2	2	3	0	0	1
21-40	195	14	11	10	64	8	34	14	18	11	7	4
41-60	65	7	1	0	14	5	6	7	6	13	3	3
61-80	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

In Tabelle 10 sind die für die genetischen Beprobungen ausgewählten Bestände aufgelistet. Die 2 Bestände aus dem Forstamt Münden machen beide einen phänotypisch guten Eindruck (siehe Abbildung 5), unterscheiden sich aber deutlich hinsichtlich ihrer durch die Forsteinrichtung angeführten Leistungsklassen

(siehe Tabelle 10). Die Bestände im Forstamt Fuhrberg unterschieden sich nur wenig hinsichtlich ihrer Leistungsklasse. Der Bestand in Abteilung 1393 zeichnet sich aber durch deutlich bessere Baumformen und eine höhere Vitalität aus. Im Forstamt Nienburg konnten wieder zwei Bestände mit deutlich unterschiedlichen Leistungsklassen identifiziert werden. Der Bestand in der Abteilung 3084 schneidet hinsichtlich seiner Formen und Vitalität jedoch deutlich besser ab. Beim Bestand 1354b im Forstamt Ahlhorn handelt es sich um einen zugelassenen Saatguterntebestand mit einer relativ hohen Leistungsklasse. Das Erscheinungsbild ist allerdings durch eine recht hohe Anzahl an Zwieseln geprägt. Der Bestand in Abteilung 1365b ist mittlerweile ebenfalls zugelassener Saatguterntebestand. Vom zuständigen Revierförster ist diese Unterabteilung intensiv auf die besten Phänotypen durchforstet worden. Daher ist der Bestand für genetische Analysen von besonderer Bedeutung. In Abteilung 2332 befindet sich ein Vorkommen welches deutlich älter ist und vermutlich aus gänzlich anderem Vermehrungsgut hervorgegangen ist. Bei dem Bestand 2166c im Revier Syke handelt es sich um einen bereits recht alten und sehr gut aussehenden Mischbestand mit Douglasie. Die weiteren zwei ausgesuchten Bestandesteile aus dem Revier Syke sind mit ca. 82 Jahren sehr alt und stellen auch das Älteste dar, was im norddeutschen Raum zu finden ist. Auch hier dürfte es sich um Ausgangsmaterial aus anderen Herkunftsregionen handeln. Die hessischen Bestände in den Forstämtern Fulda und Wehretal zeigen beide bei einer mittleren Volumenleistung ein gutes Erscheinungsbild, weisen aber unterschiedliche Bestandesalter auf. Bei dem Bestand aus Mecklenburg-Vorpommern handelt es sich um eine Sonderherkunft. Der Bestand in Brandenburg ist ein regulärer Saatgutbestand. Beide Bestände wurden auf Vorschlag des Projektpartners mit auf die Beprobungsliste genommen. Für die ausgewählten Sonderherkünfte aus Niedersachsen liegen keine Angaben zur Leistungsklasse vor, jedoch unterscheiden sie sich deutlich hinsichtlich ihrer Vitalität (vgl. Abbildung 6 und 7). Die Sonderherkünfte aus Schleswig-Holstein unterscheiden sich ebenfalls deutlich hinsichtlich ihrer Qualität. Lediglich die Sonderherkunft Plön (Mühleberg) weist gute Phänotypen auf. Die Bestände in Kasseedorf und Pretz zeigen deutlichen Zwieselwuchs (siehe Abbildung 8) oder eine überdurchschnittliche Starkastigkeit. Die hessischen Sonderherkünfte sind beide wüchsig und gut geformt, unterscheiden sich aber deutlich hinsichtlich des Standorts.



Abbildung 5: Gut aussehender ca. 64 Jahre alter Küstentannenbestand im niedersächsischen Forstamt Münden, Revier Ellershausen, Abteilung 104c, Leistungsklasse 14.



Abbildung 6: Sehr unvital wirkende Sonderherkunft im niedersächsischen Forstamt Rotenburg, Revier Fallingbostel, Abteilung 1132.



Abbildung 7: Gut aussehende Sonderherkunft Gührde (Niedersachsen) im Privatwald Dragan, Abteilung 153.



Abbildung 8: Sonderherkunft Lensahn (Schleswig-Holstein) mit zwieseligem Baum im Hintergrund.

Tabelle 10: Übersicht der für die genetischen Beprobungen vorgesehenen deutschen Bestände und Saatgutquellen.

Bundesland	Forstamt	Revier	Abteilung	Unterabt.	LKI	Alter	
Niedersachsen	Münden	Ellershausen	91	B	19	85	
			104	A	14	64	
	Fuhrberg	Resse	1393	C	14	44	
			1397	A	13	43	
	Nienburg	Bruchhausen-Vil-sen	3084	B	18	48	
			3102	B	14	57	
		Ahlhorn	Harpstedt	1354	B	16	49
				1365	J	17	42
	Syke		2332	A	16	70	
			2166	C	16	68	
2176			A & J	16/13	82		
Hessen	Fulda	Oberrode	411	A	mittel	56	
	Wehretal	Wanfried	2577	C	mittel	45	
Mecklenburg-Vorpommern	Radelübbe	Friedrichsthal	70	C1		55	
Brandenburg		Eberswalde	Oderberg	209	A4	56	
Niedersachsen	SHK Göhrde	Südostheide-Lüchow	Dannenberg	153	B		
	SHK Hohe Heide	Rotenburg	Fallingbostel	1132	J		
Schleswig-Holstein	SHK Lensahn		Kasseedorf				
	SHK Plön		Mühlenberg	20	B	58	
	SHK Plön		Preetz	8	A	58	
Hessen	SHK Rüdesheim	Rüdesheim	Oestrich-Winkel	308	A		
	SHK Wolfhagen	Wolfhagen	Großenritte	12	A		

Arbeitspaket 7:

Auswertung der Daten für Praxisempfehlungen und Publikationen

Grundsätzlich ist die Forstpraxis an leistungsfähigen aber auch umweltstabilen Herkünften interessiert. Besonders die Umweltstabilität ist ein wichtiger Faktor für die Züchtung und Grundlage für Anbauempfehlungen (BAKER 1969, SIXTO et al. 2014). Zur Überprüfung der gewünschten Eigenschaften werden dieselben Herkünfte auf einer Vielzahl von Flächen beobachtet. Dafür werden im Optimalfall Versuchsserien mit vielen Versuchsflächen über einen breiten Standort- und Klimagradienten angelegt. Darüber hinaus müssen für zielführende Auswertungen die angebauten Herkünfte auf allen Versuchsflächen vertreten sein. Ein solcher Versuchsaufbau wird dann als orthogonal bezeichnet.

Herkünfte können auf Grund verschiedener Umweltfaktoren auf einigen Flächen gut, auf anderen schlecht abschneiden. Wenn diese Variationen im Wuchsverhalten der Herkünfte beobachtet werden können, handelt es sich häufig um Genotyp-Umwelt-Interaktionen (OLIVOTO & LÚCIO 2020). Zur Analyse von Genotyp-Umwelt-Interaktionen wurden eine Reihe von Verfahren entwickelt. Diese stammen ursprünglich aus der landwirtschaftlichen Züchtung und werden dort vielfach eingesetzt (YAN & HUNT 2001, FARSHADFAR et al. 2013, XU et al. 2014, WHALEY & ESKANDARI 2019, AL-ASHKAR et al. 2023). Neuerdings finden Analysen zu Genotyp-Umwelt-Interaktionen auch zunehmend Anwendung im forstlichen Bereich (YAMADA & MIYAURA 2004, DING et al. 2008, CORREIA et al. 2010, GAPARE et al. 2015, GEZAN et al. 2017, CALLEJA-RODRIGUEZ et al. 2019, KORMANN et al. 2023).

Datenvorbereitung

Zielgerichtete Genotyp-Umwelt-Interaktionsauswertungen bedürfen einer Vielzahl von Versuchsflächen und einen möglichst großen Satz an Herkünften. Darüber hinaus müssen die zugrundeliegenden Daten im gleichen Pflanzenalter erhoben sein. Die Datenbasis der IUFRO Küstentannenversuchsserie scheint auf den ersten Blick wenig geeignet für diese Art von Auswertungen. Unterschiedliche Pflanzenalter und die Verteilung der Herkünfte sorgen dafür, dass lediglich 20 Herkünfte auf 9 Versuchsflächen oder 27 Herkünfte auf 8 Versuchsflächen genutzt werden können (vgl. Tabellen 4a und 4b). Selbst wenn die jeweils 2 Versuchsflächen an den Standorten Lauterberg, Hochstift, Arnsberg, Meppen 1, Meppen 2, SHLF 1 und SHLF 2 als Ganzes betrachtet und die unterschiedlichen Pflanzenalter verrechnet werden, entsteht lediglich ein Datensatz mit 46 Herkünften auf 7 Versuchsflächen.

Der volle Umfang von 62 Herkünften auf 19 Standorten kann nicht ohne weiteres ausgeschöpft werden. Für die Auswertungen zur Genotyp-Umwelt-Interaktion wurde daher in der Statistiksoftware R ein Verfahren aus dem „Metan“-Paket (OLIVOTO & LÚCIO 2020) genutzt, welches in der Lage ist die fehlenden Höhenwerte von Herkünften zu modellieren. Dadurch kann die Herkunftsanzahl und auch die Versuchsflächenanzahl deutlich gesteigert werden.

In einem ersten Schritt wurden auf Basis linearer Modelle und der letzten zwei Aufnahmen Höhenwerte im Alter 36 modelliert. Dies geschah für jede Wiederholung getrennt mit den arithmetischen Mitteln der Baumhöhen einer Parzelle, weil die folgenden Verfahren z.T. Wiederholungswerte einer Herkunft am gleichen Standort benötigen. Vielfach mussten die Höhenwerte gar nicht, um wenige Jahre, oder in einigen Fällen um bis zu 14 Jahre in die Zukunft modelliert werden (siehe Tabelle 11). In allen weiteren Berechnungen wurden außerdem die Teilflächen an den Standorten Lauterberg, Hochstift, Arnsberg, Meppen 1, Meppen 2, SHLF 1, SHLF 2 aufgrund ihrer direkten Nachbarschaft als eine Versuchsfläche betrachtet. Alle Berechnungen wurden mit der Statistiksoftware R durchgeführt (R Core Team 2023).

Dem Programm wurden die Dateneinträge in Form einer Excel-Tabelle getrennt nach Wiederholungen einzeln übergeben. Anschließend ersetzt der EM-SVD-Algorithmus (Expectation Maximization – Singular Value Decomposition) alle fehlenden Einträge durch eine Annäherung an die Singulärwertzerlegung mit niedrigem Rang, die durch den Erwartungs-Maximierungs-Algorithmus geschätzt wird. Die Prozedur startet mit der Initialisierung der fehlenden Werte auf die Spaltenmittelwerten und der Berechnung der ersten n-Achsen-Terme der SVD der fertigen Matrix. Anschließend werden die fehlenden Werte durch die Näherung der SVD ersetzt. Liegt der mittlere quadratische Fehler der vorhergesagten Werte oberhalb der Toleranzschwelle wird ein weiterer Iterationsschritt durchgeführt. Liegt der Fehler darunter besteht Konvergenz und der Wert wird beibehalten (TROYANSKYA et al. 2001). Die drei nun vollständigen Datensätze (Wiederholungen) wurden abschließend zusammengeführt und stehen nun für weitere Berechnungen zur Verfügung.

Tabelle 11: Verwendete Datensätze für die lineare Schätzung im Alter 36.

Versuchsfläche	Alter 1	Alter 2	Differenz zum Alter 36
22.108.001	23	29	+7
22.108.002	29	38	-2
22.108.003	18	23	+13
22.108.004	23	38	-2
22.108.005	29	38	-2
22.108.006	28	37	-1
22.108.007	29	38	-2
22.108.008	29	38	-2
22.108.009	29	38	-2
22.108.010	18	23	+13
22.108.011	18	22	+14
22.108.012	22	37	-1
22.108.013	18	22	+14
22.108.014	22	37	-1
22.108.015	28	37	-1
22.108.016	28	37	-1
22.108.017	28	37	-1
22.108.018	17	22	+14
Q11-12.07.02	26	36	0
Q11-12.07.03	26	36	0
Q11-12.07.05	26	36	0
Q11-12.07.06	26	36	0
Q11-12.07.07	26	36	0
Kronach	27	37	-1
Selb	17	27	+9
Zwiesel	27	37	-1

Für die Auswertungen mit der Finlay-Wilkinson-Regression werden darüber hinaus Herkunftsmittelwerte auf Flächenebene benötigt. Dafür wurden die bereits genannten 3 Datentabellen und gemischte Modelle genutzt. Die Herkunft wird hierbei als fester und die Wiederholung als zufälliger Effekt im Modell parametrisiert. Anschließend wurden von den Herkünften die um den Versuchsfehler bereinigten Mittelwerte berechnet. Die Berechnungen wurden mit der R-Software mit Hinzunahme der Zusatzpakete „lme4“ (Bates et al. 2015) und „emmeans“ (Lenth 2023) durchgeführt.

Präzision der Modellierung

Für die Modellierung von nicht vorhandenen Herkünften auf Versuchsflächen liegen noch keine Erfahrungswerte vor. Zur Überprüfung wurde zuerst der Datensatz einer Wiederholung genutzt, um die Genauigkeit zu ermitteln. Dafür wurde jeder vorhandene Höhenwert einzeln entfernt und anschließend mit dem oben beschriebenen Verfahren modelliert. Abschließend wurden die Abweichungen in Meter ermittelt.

In Abbildung 9 sind die Abweichungen der modellierten Werte in Abhängigkeit von der Anzahl der fehlenden Werte der Versuchsserie dargestellt. Über alle Gruppen hinweg zeigt sich, dass ein Großteil der Abweichungen in einem Bereich von plus minus 2 Meter liegt.

Auch bei den Fällen, bei denen nur wenige gemessene Werte vorliegen, scheinen die Modellierungen recht genau zu sein. Wie häufig eine Herkunft vorhanden ist, scheint auf die Präzision der Ergebnisse folglich keinen Einfluss zu haben. Es werden allerdings auch Abweichungen von über 11 m erreicht. Bei den hohen Abweichungen handelt es sich aber durchweg um Parzellen die einem unbekanntem Einfluss unterlagen und dementsprechend extrem über- oder unterdurchschnittliche Wuchshöhen vorweisen. Die Modellierung scheint hier einen stark glättenden Effekt zu haben. Abschließend können die modellierten Höhen als genügend präzise angesehen werden, um damit Berechnungen zur Genotyp-Umwelt-Interaktion durchzuführen zu können.

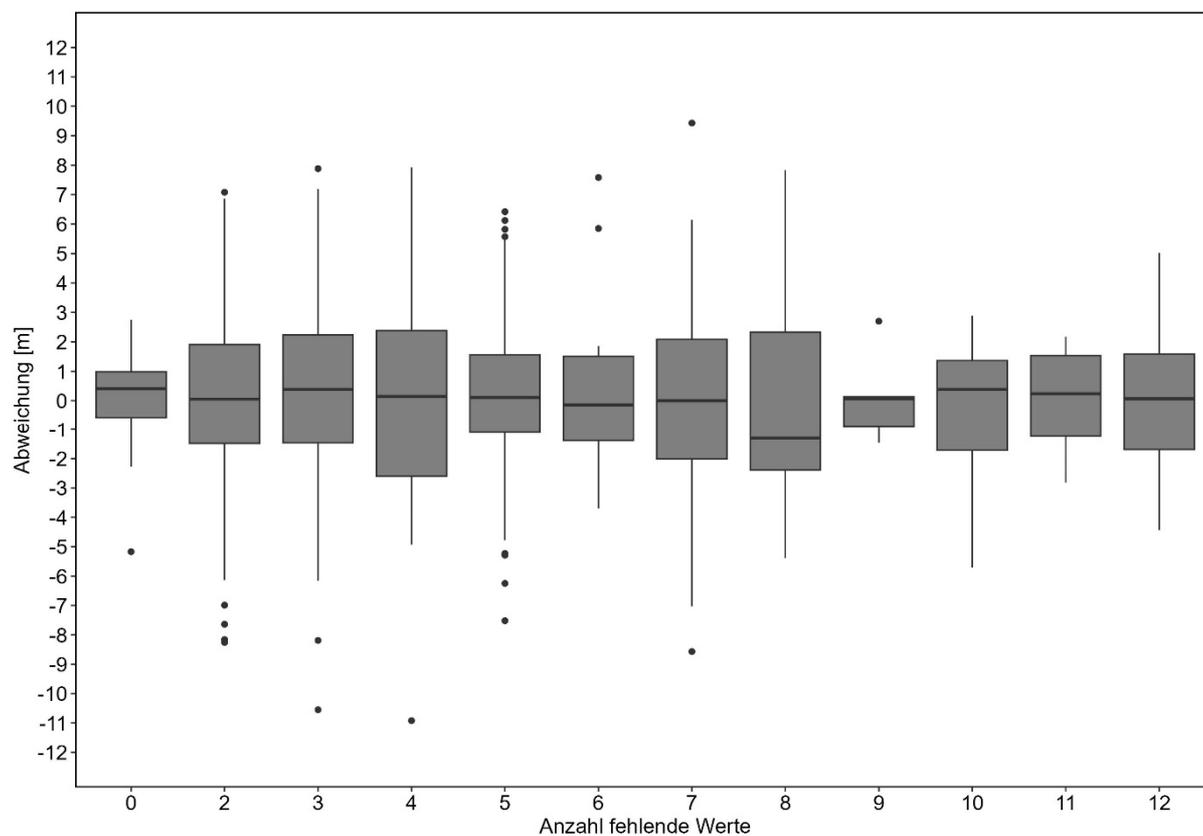


Abbildung 9: Differenzen zwischen modellierten und gemessenen Werten in Abhängigkeit von der Anzahl fehlender Werte im Datensatz.

WAASB Stabilitätsindex

Eine geeignete Methode zur Auswertung von Genotyp-Umwelt-Interaktionen stellt der WAASB Stabilitätsindex dar (weighted average of absolute scores from the single value decomposition of the matrix of best linear unbiased predictions). Dabei handelt es sich um den gewichteten Durchschnitt der absoluten Scores aus der Singulärwertzerlegung der BLUP-Matrix (best linear unbiased prediction) für die Genotyp-Umwelt-Interaktionseffekte, die durch ein lineares gemischtes Modell generiert werden. Zur Visualisierung wird ein Biplot verwendet, bei dem die Ordinate durch die WAASB-Werte und die Abzisse durch die Antwortvariable (Wuchshöhe) dargestellt werden. Die Darstellungsform hat den Vorteil, dass Umweltstabilität zweidimensional dargestellt und hochproduktive, stabile Herkünfte identifiziert werden können. Zur besseren Übersicht werden die Mittelwerte über die Versuchsserie des WAASB-Scores und die Antwortvariable eingezeichnet. Dadurch wird die Abbildung in 4 Quadranten unterteilt. Im ersten Quadranten liegen die Herkünfte und Versuchsfelder, die sich durch eine hohe Instabilität und unterdurchschnittliches Wachstum hervorheben. In Quadrant 2 liegen die instabilen aber überdurchschnittlich abschneidenden Herkünfte und Versuchsfelder. Im 3. Quadranten liegen die umweltstabilen aber unterdurchschnittlich abschneidenden Herkünfte und Versuchsfelder. In Quadrant 4 liegen die umweltstabilen und überdurchschnittlich leistungsfähigen Versuchsfelder und Herkünfte (OLIVOTO et al. 2019). Während die Methode in der Landwirtschaft relativ häufig eingesetzt wird (vgl. SHARIFI et al. 2020, DUDHE et al. 2024, VINEETH et al. 2022), findet sie in der forstlichen Forschung nur selten Anwendung (vgl. KORMANN et al. 2023).

In Abbildung 10 ist das mittlere Höhenwachstum der einzelnen Küstentannen-Herkünfte und Versuchsflächen gegen den Stabilitätsindex (WAASB) abgetragen. In den ersten Quadranten fallen 4 Versuchsflächen und 16 Herkünfte. Hervorzuheben sind hier die Versuchsflächen SHLF_2 und Meppen_2, die weit in den ersten Quadranten reichen. Die Herkünfte 20 und 59 zeigen die höchste Instabilität und 21 die schlechteste Wuchsleistung. Im 2. Quadranten liegen 3 Versuchsflächen und 8 Herkünfte. Erwähnenswert ist die Versuchsfläche Arnsberg, die eine hohe Produktivität, aber auch eine besonders hohe Instabilität verursacht. Auf Seite der Herkünfte erweist sich die Herkunft 54 als überdurchschnittlich produktiv aber auch variabel hinsichtlich des Wachstumsverhaltens. Der 3. Quadrant beinhaltet 5 Versuchsflächen und 10 Herkünfte. Als besonders wuchsschwach kann die Fläche SHLF_1 angesehen werden. Auch die Herkünfte 16, 17 und 37 fallen durch ihr unterdurchschnittliches Wachstumsverhalten auf. In den 4. Quadranten fallen 7 Versuchsflächen und 28 Herkünfte. Besonders wuchskräftig sind die Versuchsflächen Königstein und Ahlhorn_015. Als am wuchsstärksten stellt sich hier die Herkunft 43 (Salmon River) heraus.

Die in der Versuchsserie angebauten Herkünfte zeigen mit einer mittleren Wuchsleistung von 18,4 m bis 25,5 m große Unterschiede hinsichtlich ihrer Wuchsleistung. Damit können die Ergebnisse vorheriger Auswertungen bestätigt werden (KÖNIG 1995, RAU et al. 1998, RAU et al. 2008). Auswertungen der Versuchsflächen der IUFRO-Serie, die nicht in Deutschland liegen, belegen ebenfalls große Wuchsunterschiede zwischen den Herkünften (KRANENBORG 1994, KULEJ & SOCHA 2008, KERR & STOKES 2021). Insgesamt können viele der im Versuch angebauten Herkünfte unabhängig von ihrer Wuchsleistung mit ihren niedrigen WAASB-Werten als Generalisten eingestuft werden. Lediglich einigen Herkünften, die in den oberen Bereich des Plots hereinragen (z.B. Herkunft 20, 59, 18, 60), kann eine sehr schwache Spezialisierung auf unterschiedliche Standorte zugesprochen werden. In den umfangreichen Auswertungen von RAU et al. (2008) wurden für die Herkünfte getrennt nach Flachland- und Berglandstandorten Index-Werte (Waerden-Score) für ihre Standorteignung berechnet, jedoch unterscheiden sich diese vielfach nicht sehr stark. Auch der in dieser Untersuchung dargestellte Biplot zeigt nur geringe Unterschiede bezüglich der Eignung der Herkünfte zwischen Flachland- und Berglandstandorten an. Es ist daher fraglich, ob diese Einteilung zielführend ist.

Die Versuchsflächen zeigen ebenfalls große Unterschiede hinsichtlich der mittleren Wuchsleistung der Herkünfte. Diese schwankt zwischen 13,4 m (SHLF_2) und 27,9 m (Königstein). Ein Vergleich mit den durchschnittlichen Flächenwuchsleistungen und den Standorteigenschaften der Versuchsflächen (Tab. 3) zeigt, dass die 3 wuchsschwächsten Flächen (SHLF_2, SHLF_1 und Meppen_2) als Bodentyp grundwasserbeeinflusste Podsole vorweisen. Das Ergebnis deckt sich mit den Erkenntnissen wonach Böden mit Staunässe und Sauerstoffarmut für die Küstentanne eher ungeeignet sind (ROERING 1988). Auf den englischen Flächen des IUFRO-Versuches werden die schlechtesten Wuchsraten ebenfalls auf den armen Podsol oder nassen Gleystandorten erreicht (KERR und STOKES 2021). Damit das volle Leistungspotential ausgeschöpft werden kann, sollte die Küstentanne daher nicht auf extrem schwachen oder stark unter Staunässe neigenden Standorten angebaut werden

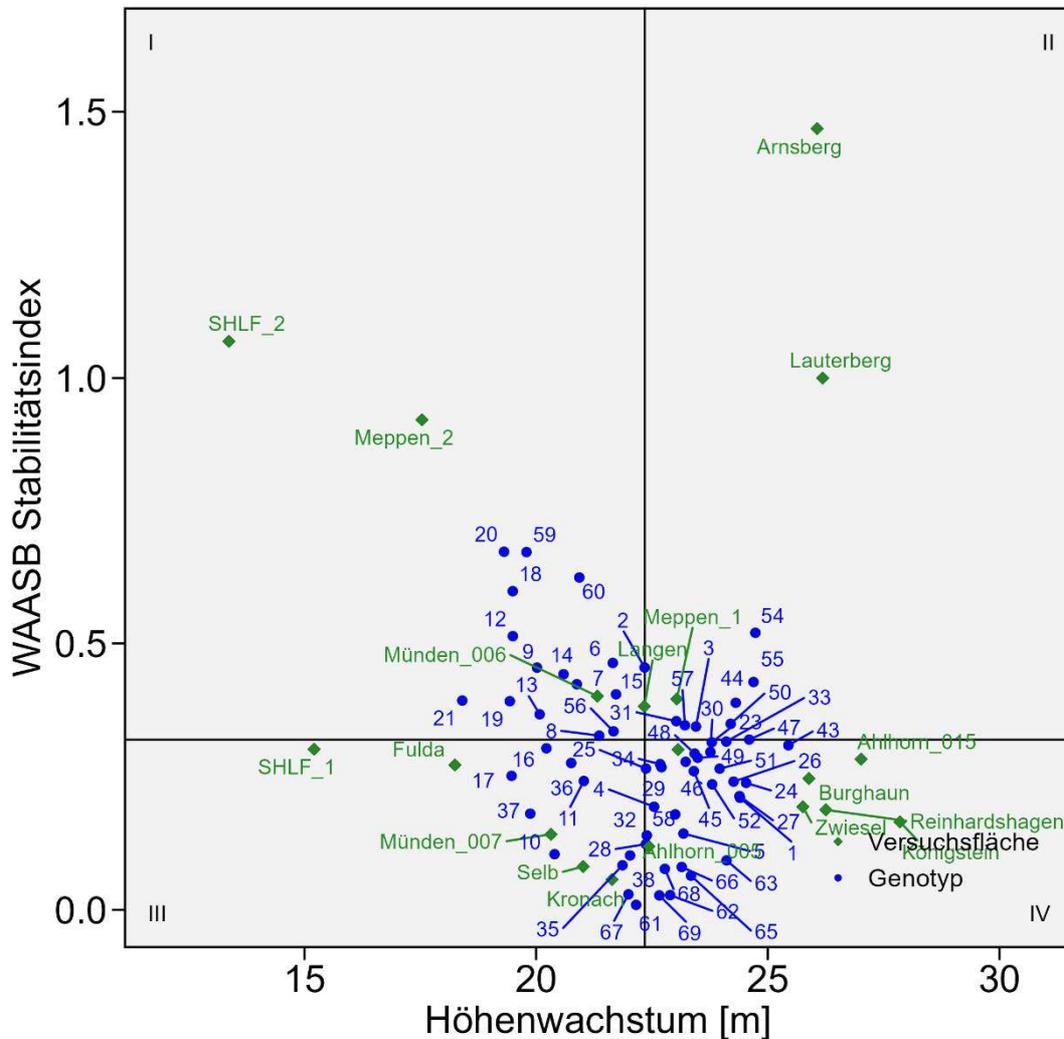


Abbildung 10: Biplot-Analyse der Wuchshöhe im Alter 36 gegenüber dem Stabilitätsindex (WAASB). Blaue Kreise symbolisieren die Herkünfte, grüne Rauten die Lage der Versuchsflächen.

In Abbildung 11 sind die Herkünfte getrennt nach den vier Quadranten der Stabilitätsanalyse dargestellt. Die leistungsfähigsten und umweltstabilsten Herkünfte konzentrieren sich in den Herkunftsgeländen Vancouver Island (British Columbia), Olympische Halbinsel (Washington), Puget Sound, Westkaskaden (Washington), Küstengebirge (Oregon). Damit können die Ergebnisse der vorherigen und anderer Auswertungen bestätigt werden (KRANENBORG 1994, RAU et al. 1998, RAU et al. 2008, KREYZEK et al. 2015, KERR & STOKES 2021). In den Abbildungen 12 bis 14 sind die Höhenlagen, mittlere Jahrestemperaturen und mittleren Jahresniederschläge für die Herkünfte getrennt nach WAASB-Quadranten dargestellt. Die leistungsfähigen, stabil und instabil reagierenden Herkünfte (WAASB-Quadrant 2 und 4) stammen im Mittel von Höhenlagen von 322 und 147 m, während die Herkünfte der WAASB-Quadranten 1 und 3 mit 896 m und 956 m aus deutlich höher gelegenen Lagen stammen. Mit 10,1 und 9,7 °C (WAASB Quadrant 2 und 4) gegenüber 8,0 und 7,8 °C (WAASB-Quadrant 1 und 4) stammen die besseren Herkünfte aus wärmeren Lagen innerhalb einer Herkunftsregion. Dahingegen stammen die leistungsfähigen, stabil und instabil reagierenden Herkünfte (WAASB-Quadrant 2 und 4) mit 240 mm und 288 mm mittlerer Sommerniederschlag aus feuchteren Gebieten. Die unterlegenen Herkünfte (WAASB-Quadranten 1 und 3) liegen mit 165 mm und 158 mm deutlich darunter. Saatgutimporte aus Nordamerika müssen daher aus den bereits genannten Herkunftsgeländen stammen und innerhalb der Herkunftsgelände von niedrigen Höhenlagen mit höheren Jahrestemperaturen und erhöhten Niederschlägen stammen.

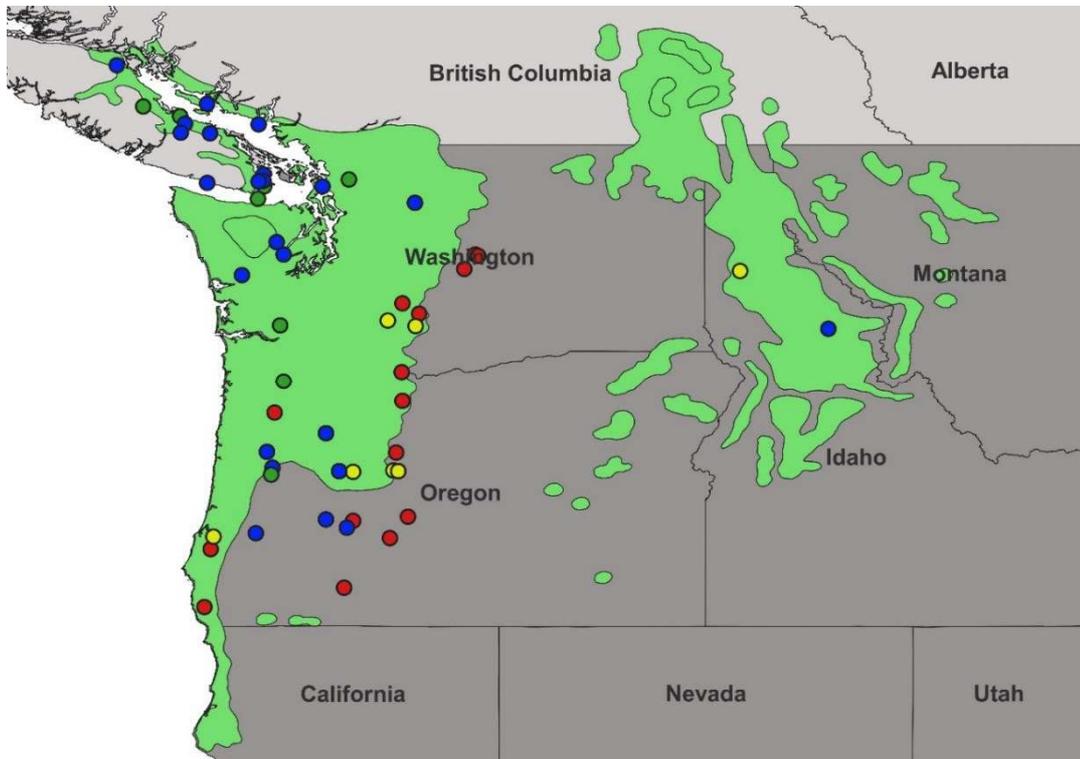


Abbildung 11: Lage der analysierten Herkünfte getrennt nach WAASB-Quadranten im natürlichen Verbreitungsgebiet der Küstentanne. Blau = 4. Quadrant (gut und stabil), gelb = 3. Quadrant (schlecht und stabil), grün = 2. Quadrant (gut und instabil), rot = 1. Quadrant (schlecht und instabil).

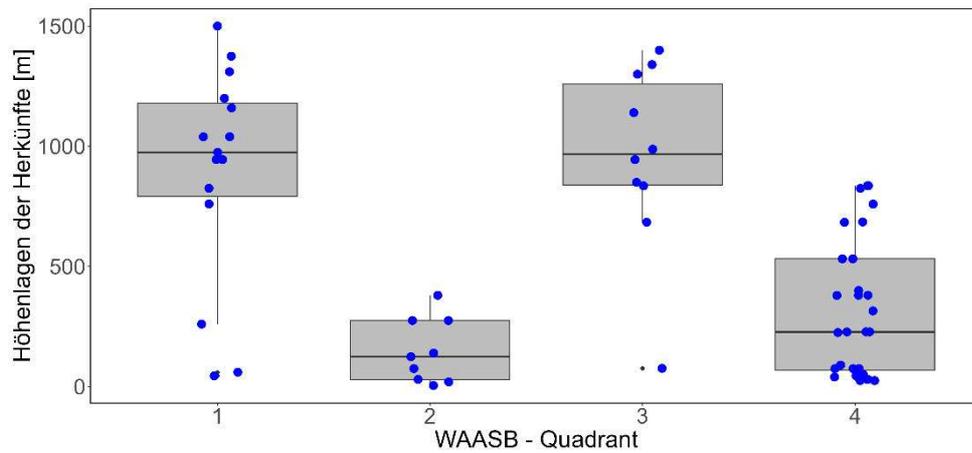


Abbildung 12: Höhenlage der analysierten Herkünfte getrennt nach WAASB-Quadranten.

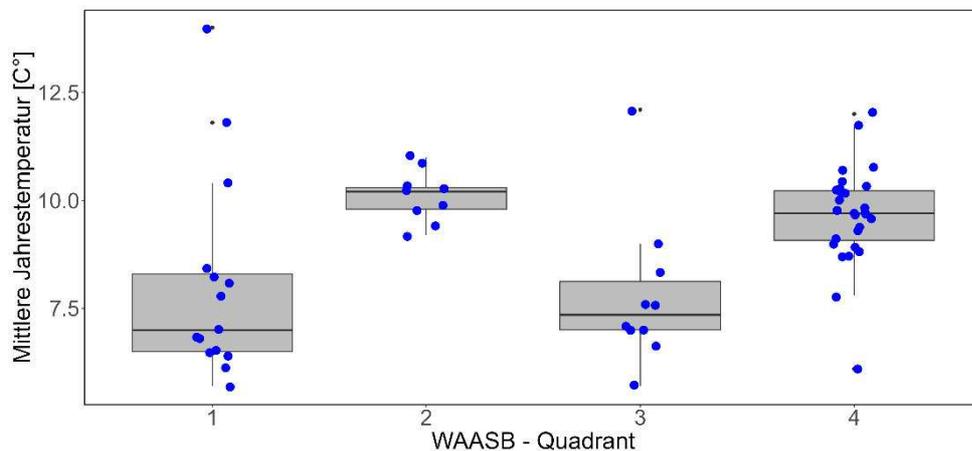


Abbildung 13: Mittlere Jahrestemperaturen der analysierten Herkünfte getrennt nach WAASB-Quadranten.

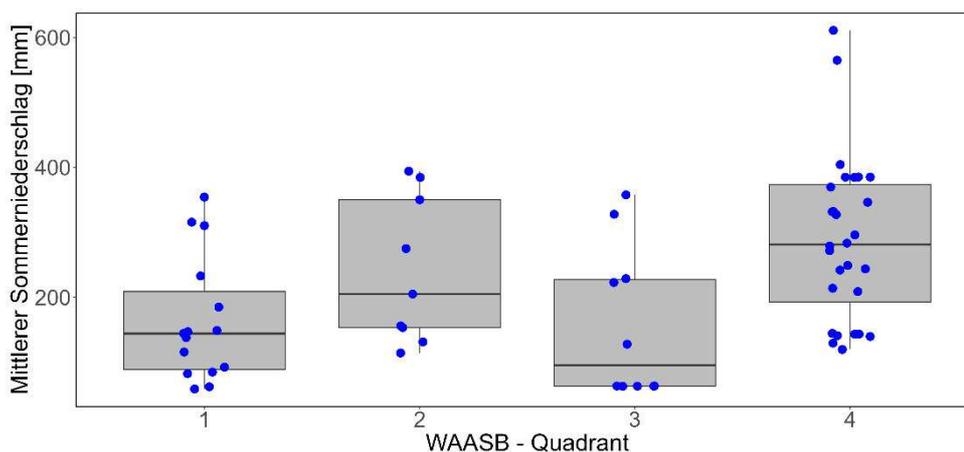


Abbildung 14: Mittlere Sommerniederschläge der analysierten Herkünfte getrennt nach WAASB-Quadranten.

Finlay-Wilkinson Regression

Als weiteres Verfahren zur Beschreibung von Genotyp-Umwelt-Interaktionen können Finlay-Wilkinson-Regressionen angeführt werden. Bei dem Verfahren wird die Wuchsleistung der einzelnen Herkünfte der durchschnittlichen Wuchshöhe aller beteiligten Herkünfte gegenüber gestellt (FINLAY & WILKINSON 1963). Mit Hilfe dieser Abbildung kann die Produktivität einer betrachteten Herkunft mit den Umwelten in Verbindung gebracht werden und die Adaption und Stabilität dieser Herkunft bestimmt werden (FINLAY & WILKINSON 1963, HARDWICK & WOOD 1972, YAMADA & MIYAUURA 2004).

In den Abbildungen 15 und 16 sind die Ergebnisse der Finlay-Wilkinson-Regression beispielhaft für einige Herkünfte dargestellt. Die Ergebnisse der übrigen Herkünfte befinden sich im Anhang. Die durchgehende schwarze Linie symbolisiert die Versuchsserienwuchsleistung aller Herkünfte. Farbige Punkte symbolisieren die Wuchsleistung einer Herkunft auf der jeweiligen Versuchsfläche. Die blaue Linie stellt die Ausgleichsgerade für diese Herkunft über alle Versuchsflächen dar, in grau ist das dazugehörige Konfidenzintervall dargestellt.

Die Versuchsflächen zeichnen sich durch unterschiedliche Gesamtwuchsleistungen aus. Dieser stellt sich in abfallender Reihenfolge wie folgt dar: Königstein (27,9 m), Ahlhorn_015 (27,0 m), Reinhardshagen (26,3 m), Lauterberg (26,2 m), Arnsberg (26,1 m), Burghaun (25,9 m), Zwiesel (25,8 m), Hochstift (23,1 m), Meppen_1 (23,0 m), Ahlhorn_005 (22,4 m), Langen (22,3 m), Kronach (21,6 m), Münden_006 (21,3 m), Selb (21,0 m), Münden_007 (20,3 m), Fulda (18,2 m), Meppen_2 (17,5 m), SHLF_1 (15,2 m), SHLF_2 (13,4 m). Wie im vorherigen Kapitel erwähnt schneiden die Grundwasser beeinflussten Versuchsstandorte am schlechtesten ab (vgl. Abschnitt WAASB Stabilitätsindex und Tabelle 3).

Darüber hinaus können auf Basis der vorliegenden Standortdaten keine Muster abgeleitet werden, die die Wuchskraft der jeweiligen Fläche erklären können. So stocken die fünf wuchskräftigsten Flächen auf den Bodentypen Braunerde, basenarme Braunerde, schwach pseudovergleyte Parabraunerde und Pseudogley auf Höhenlagen zwischen 45 und 580 m. Die Nährstoffversorgung schwankt zwischen oligotroph und mesotroph, mit deutlich unterschiedlichen Klimawerten (siehe Tabelle 3). Im Umkehrschluss kann aber auch daraus abgeleitet werden, dass die Küstentanne abgesehen von den Problemstandorten auf einer sehr breiten Standortpalette angebaut werden kann. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen (ROERING 1988, RUETZ 2011, SPELLMANN et al. 2015, KERR & STOKES 2021). Hingegen konnte WELLER (2018) in einem Küstentannenbauversuch auf 20 Versuchsflächen feststellen, dass der Bodenwasserhaushalt den höchsten Erklärungsbeitrag für den durchschnittlichen Gesamtwuchs liefert. Wahrscheinlich würden genauere Standortinformationen um Bodenwasser- und Nährstoffhaushalt eine exaktere Standortbewertung liefern.

Die Herkünfte können in unterschiedliche Wuchsgruppen unterschieden werden. In der ersten Gruppe befinden sich alle Herkünfte, die über alle Versuchsflächen eine überdurchschnittliche Wuchsleistung zeigen. Zu nennen wären die Herkünfte 1, 3, 5, 23, 24, 26, 27, 30, 33, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 63, 65, 66, 68. Annähernd durchschnittliche Leistungen zeigen die Herkünfte 4, 28, 32, 35, 38, 61, 62, 67, 69. Durchweg unterdurchschnittliche Leistungen zeigen die Herkünfte 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 19, 20, 21, 36, 37, 59, 60. Die Herkünfte die eine leichte Interaktion zeigen können in zwei Gruppen unterteilt werden.

In der ersten Gruppe (25, 29, 31, 34, 45, 56) sind die Herkünfte auf wuchsstärkeren Standorten über durchschnittlich und auf schwächeren Standorten unterdurchschnittlich. Bei der zweiten Gruppe (2, 15, 18) ist es genau anders herum. Auch diese Auswertungsmethode unterstreicht das eher generalistische Wuchsverhalten der Küstentanne. Eine Einteilung in Flachland- und Berglandherkünften und eine damit für ihren Verwendungszweck getrennte Anlage von Samenplantagen scheint abschließend nicht zielführend zu sein.

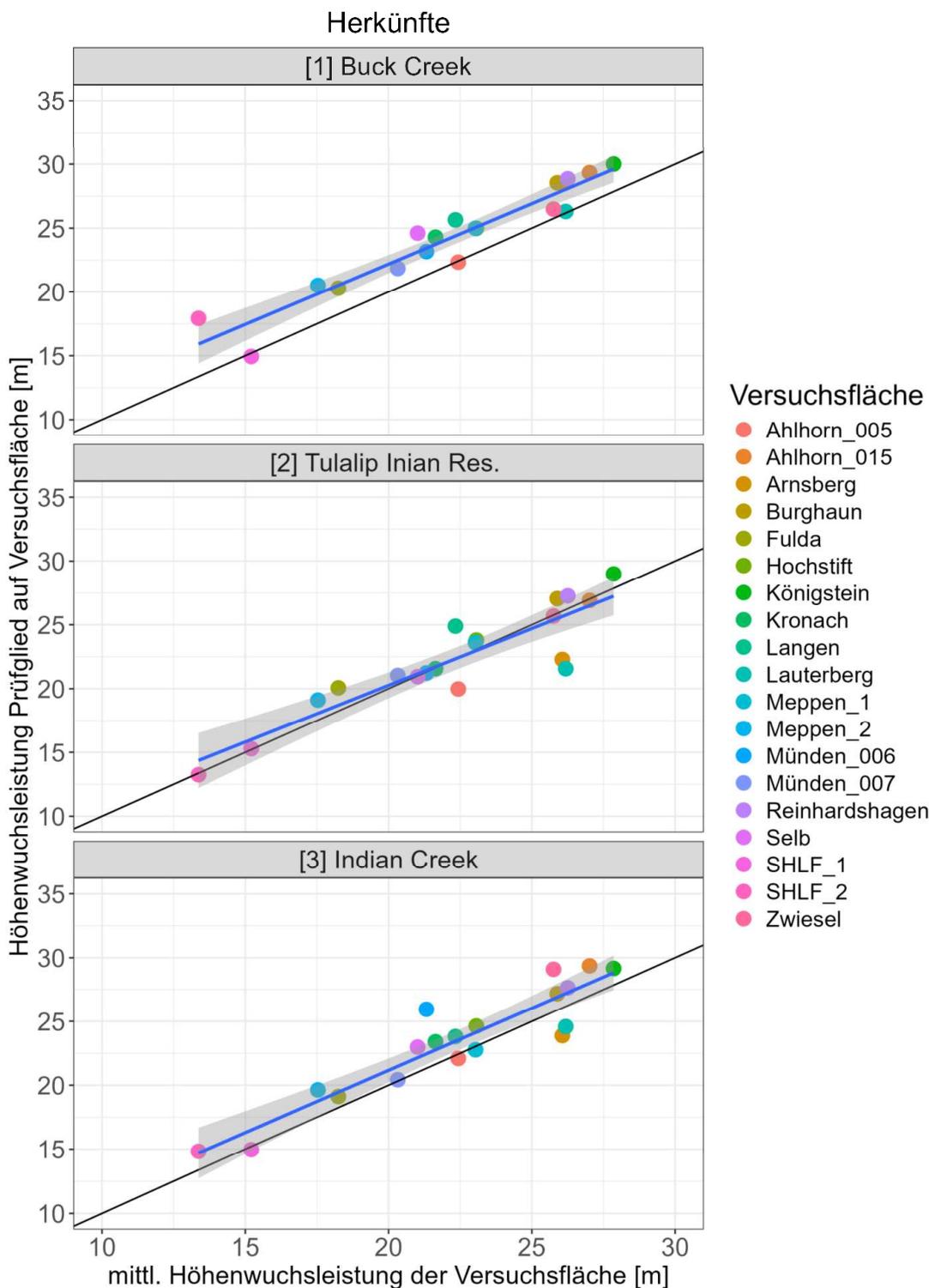


Abbildung 15: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 1,2,3, der IUFRO-Versuchsserie.

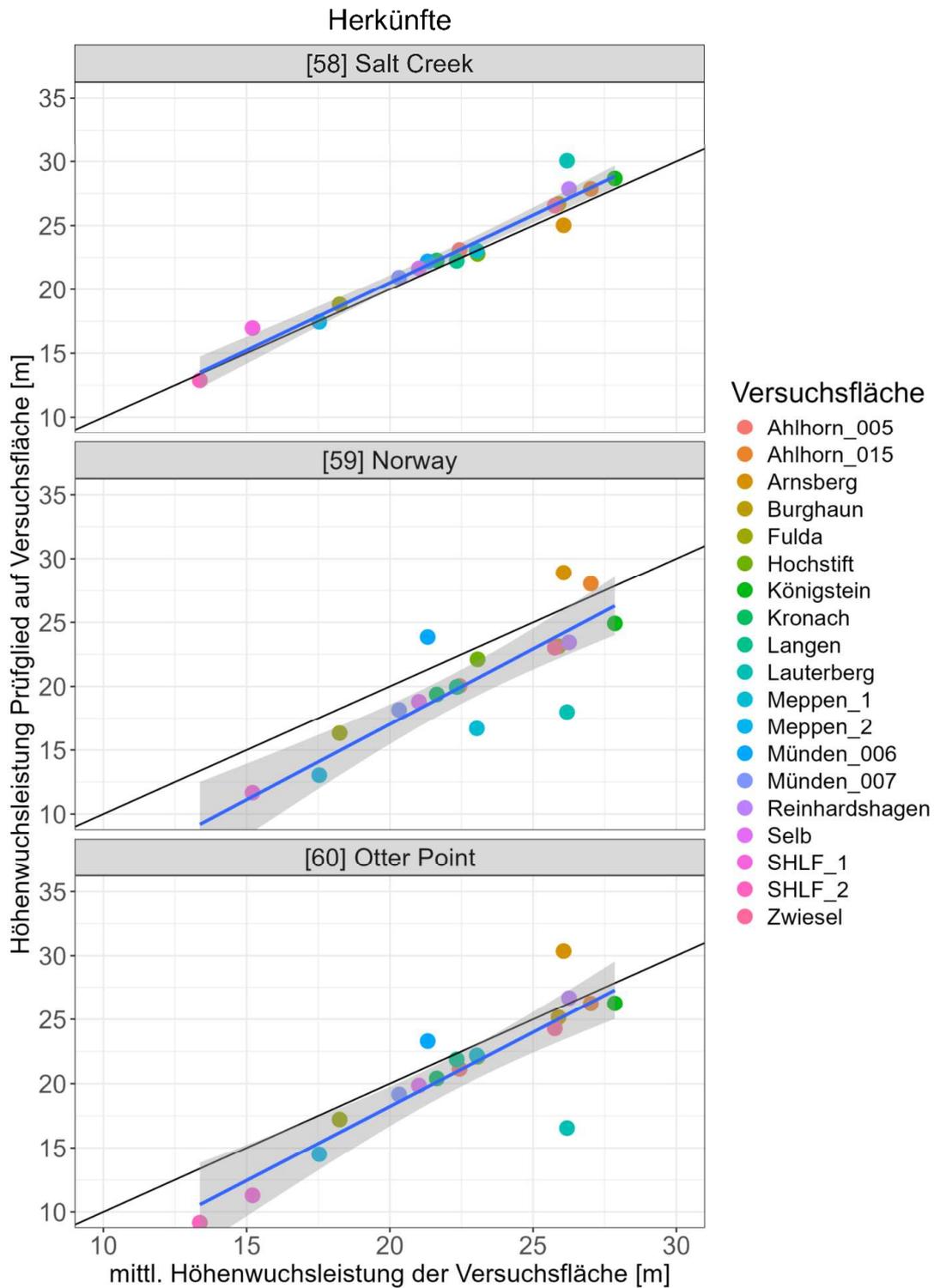


Abbildung 16: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 58,59,60 der IUFRO-Versuchsserie.

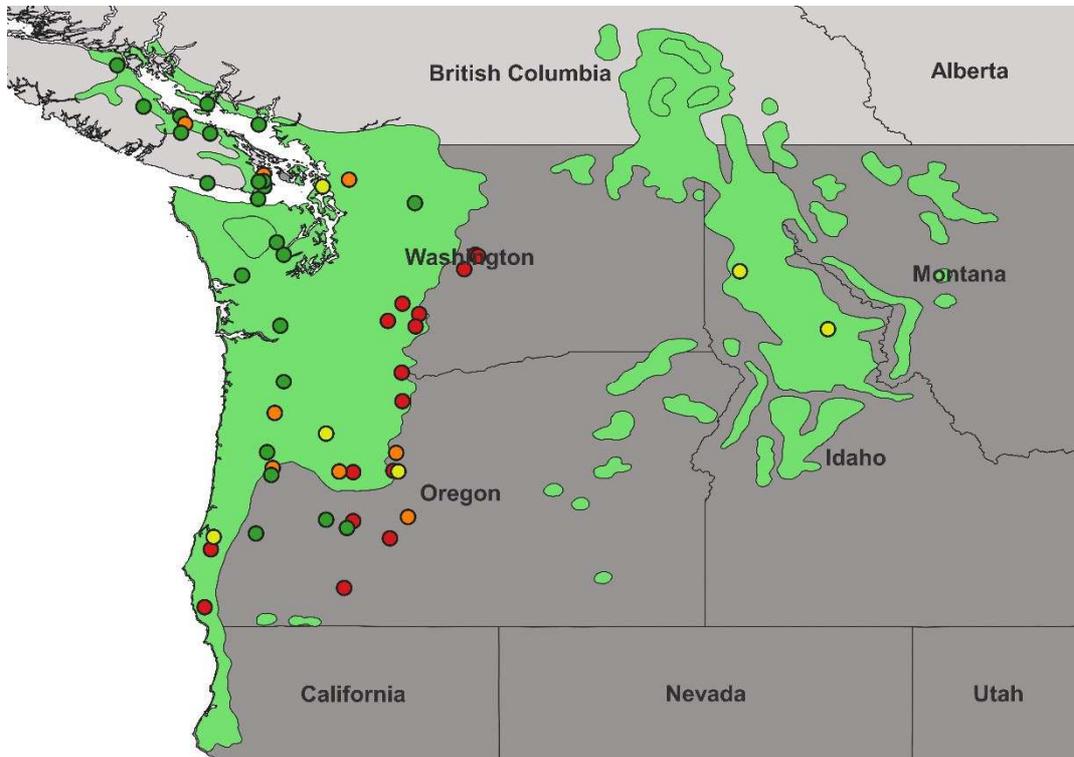


Abbildung 17: Lage der analysierten Herkünfte getrennt nach Wuchsleistung und Umweltstabilität im natürlichen Verbreitungsgebiet der Küstentanne. Grün = Herkünfte mit überdurchschnittlicher Wuchsleistung, gelb = Herkünfte mit durchschnittlicher Wuchsleistung, rot = Herkünfte mit unterdurchschnittlicher Wuchsleistung, orange = Herkünfte mit wechselnden Wuchsleistungen.

In Abbildung 17 sind die Herkünfte getrennt nach Wuchsleistung und Umweltstabilität abgebildet. Die leistungsfähigsten und umweltstabilsten Herkünfte (grün) konzentrieren sich in den Regionen Vancouver Island (British Columbia), Olympische Halbinsel (Washington), Puget Sound, Westkaskaden (Washington), Küstengebirge (Oregon), Westkaskaden (Oregon). Die unterdurchschnittlichen Herkünfte (rot) konzentrieren sich in den Ostkaskaden (Washington) und den Hoch- und Ostkaskaden in Oregon. Die durchschnittlichen (gelb) und instabil (orange) reagierenden Herkünfte verteilen sich mehr oder weniger auf alle Regionen im natürlichen Verbreitungsgebiet. Damit kommt die Auswertung mit der Finlay-Wilkinson Methode zu ähnlichen Ergebnissen wie die WAASB-Auswertung, die die gleichen Herkunftsregionen für Saatgutimporte ausweist.

Arbeitspaket 8:

Auswahl der besten Herkünfte und Einzelbäume.

Nach Projektvorgabe sollen die besten Herkünfte der IUFRO-Versuchsserie für die Plusbaumauswahl identifiziert werden. Als Verfahren wurde die Methode der Selektionsindices verwendet. Die Berechnung von Selektionsindices zur Bestimmung der leistungsfähigen und qualitativ hochwertigsten Herkünfte hat den Vorteil, dass metrische (z.B. Höhenwuchs) als auch ordinalskalierte Merkmale (z.B. Stammform) abhängig vom Zuchtziel individuell berücksichtigt werden können. Für jedes verwendete Merkmal wird eine Z-Transformation der Werte durchgeführt. Die Division des Mittelwertes einer Herkunft durch das Gesamtmittel und das anschließende Dividieren durch die Standardabweichung (siehe Formel) ergibt einen standardisierten positiven oder negativen Wert. Negative Werte zeigen bei dem jeweiligen Merkmal ein unterdurchschnittliches, positive Werte ein überdurchschnittliches Abschneiden an (HARDTKE & STEINER 2020). Das Verfahren der Selektionsindices wurde bereits im größeren Umfang im FitForClim Projekt genutzt (FITFORCLIM 2020).

$$SI = \frac{\text{Mittelwert Herkunft/Gesamtmittelwert}}{\text{Standardabweichung}}$$

Als Datenbasis dienen die Höhenwuchsdaten der letzten Aufnahmen aus den Jahren 2004 und 2013 (vgl. Tabelle 5) und die Stammform als prozentualer Anteil der Bäume einer Herkunft mit zweischnürigem Wuchs. Flächen mit deutlich älteren Aufnahmen wurden nicht berücksichtigt. Zusätzlich wurden die Ausfallzahlen aus den Jahren 1993 bzw. 1994 berücksichtigt. Der Ausfall späterer Jahre stellt nur eine unzureichende Einschätzung dar, da derartige Ausfälle ebenfalls aufgrund waldbaulicher Behandlungen im fortgeschrittenen Alter erklärt werden können und zwischen anthropogenen und natürlichen Ausfällen nicht unterschieden werden kann. Der Ausfall liegt ebenfalls als prozentualer Wert einer Herkunft vor. Für die Berechnung wurde das Komplement, also der Anteil der lebenden Bäume verwendet.

In einem ersten Schritt wurden die Höhendaten der Versuchsfläche um den Versuchsflächenfehler bereinigt. Hierfür wurde ein gemischtes Modell formuliert, welches die Herkunft als feste und die Wiederholungen und Blöcke als zufällige Effekte parametrisiert. Aus dem Modell heraus wurden die um den Versuchsflächenfehler bereinigten Herkunftsmittelhöhen gebildet. Die Berechnungen wurden ebenfalls mit der R-Software mit Hinzunahme der Pakete „lme4“ (Bates et al. 2015) und „emmeans“ (Lenth 2023) durchgeführt. Anschließend wurden auf Basis der Höhen-, Form- und Ausfalldaten die Gesamtmittelwerte und Standardabweichung berechnet. Abschließend wurde ein zusammengesetzter Selektionsindex mit der Gewichtung 60 % Höhe, 20 % Ausfall und 20 % Stammform gebildet.

In Abbildung 27 sind die Ergebnisse der Berechnung auf Grundlage des zusammengesetzten Index getrennt nach Herkünften und Versuchsflächen abgebildet. Zusätzlich sind der Mittelwert und das oberste Quartil eingezeichnet. Ein Großteil der Herkünfte zeigt eine breite Streuung, die hauptsächlich im Bereich von +1,5 bis -1,5 liegt. Einige Herkünfte zeigen auf einzelnen Versuchsflächen aber auch deutlich schlechtere Scores von weniger als -1,5. Die Herkünfte sind ebenfalls unterschiedlich häufig in der Versuchsserie vertreten. So schwanken die Anzahlen zwischen 1 (z.B. Herkunft 42) und 17 (Herkunft 3). Am besten schneiden die Herkünfte 1, 51, 43 und 24 ab. Die Herkünfte 20, 37, 60 und 59 zeigen die schlechteste Leistung. Manche Herkünfte zeigen auf einigen Flächen eine sehr gute und auf anderen Flächen eine sehr unterdurchschnittliche Performance (z.B. Herkunft 2, 52 und 54).

Für die Herkunftsauswahl sind die Herkünfte von Interesse, die nach Möglichkeit Indexwerte oberhalb des ersten Quartils zeigen, oder aber mindestens immer oberhalb des Mittelwertes liegen. Desweiteren sind nur die Herkünfte interessant, die auf mehreren Versuchsflächen vertreten sind/auftreten. Zum Beispiel schneiden die Herkünfte 62 und 63 immer oberhalb des ersten Quartils ab, sind aber nur auf zwei Flächen vertreten und können daher nicht als Zielherkunft ausgewiesen werden. Auf Basis der Auswertungen wurden 13 Herkünfte identifiziert, in denen Plusbäume gesucht werden sollen (Tabelle 12).

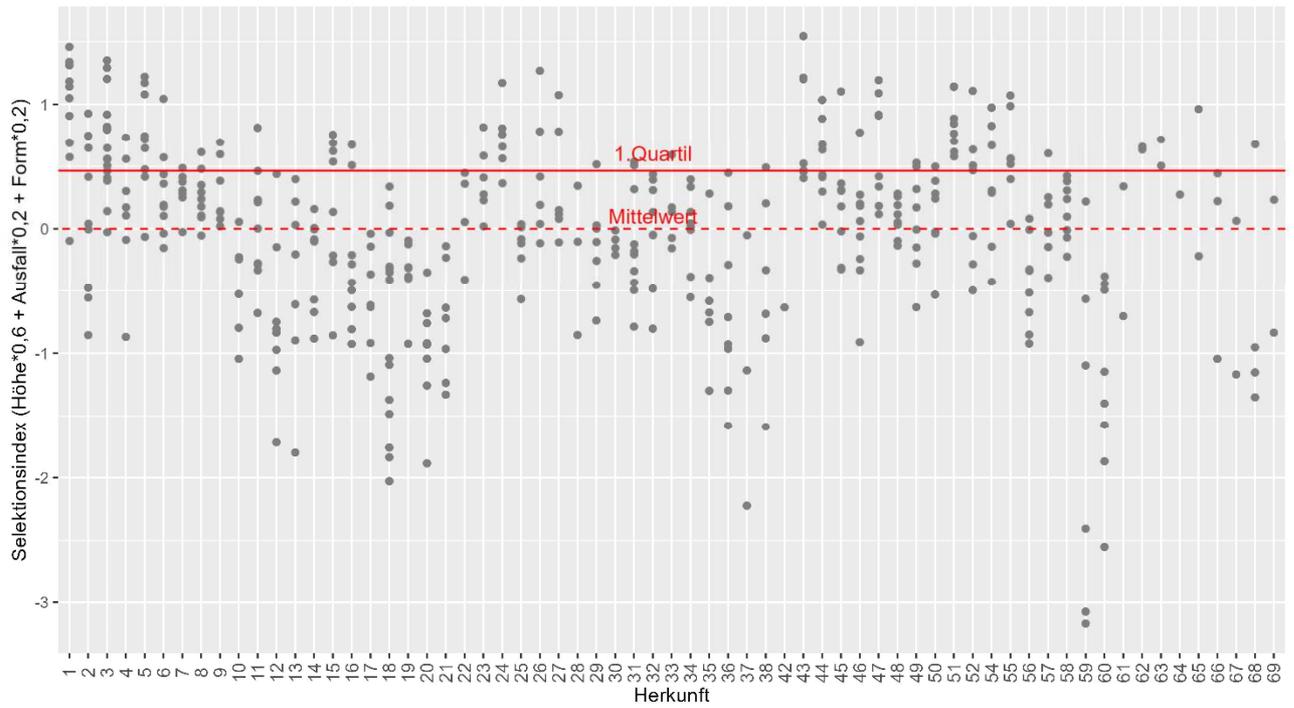


Abbildung 18: Selektionsindex basierend auf Leistungs- und Formparametern getrennt nach Herkünften und Versuchsflächen.

Tabelle 12: Übersicht über die ausgewählten Herkünfte.

Prüfglied	Herkunftsgruppe	Provenienz
1	Puget Sound, Westkaskaden, Washington	Buck Creek
3	Olympische Halbinsel, Washington	Indian Creek
5	Olympische Halbinsel, Washington	Bear Mountain
7	Ostkaskaden, Washington	Eagle Creek
9	Ostkaskaden, Washington	Cougar Flats
24	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	Naniamo Lakes
26	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	Duncan
27	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	Lake Cowichan
43	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	Salmon River
44	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	Oyster Bay
47	Vancouver Island, Brit. Kolumbien	Kay Road
51	Olympische Halbinsel, Washington	Duckabush River
55	Küstengebirge Oregon	Pittsburg

Arbeitspaket 9:

Aufnahme von Vitalität, Qualität und Wuchsverhalten bei den Plusbäumen.

Für die Plusbaumaufnahme wurde ein Aufnahmebogen entworfen, der neben den Leistungsparametern auch die für die Küstentanne relevanten Formparameter enthält. Somit wird von jedem Baum eine Reihe von Merkmalen erfasst, die eine genaue quanti- und qualitative Ansprache ermöglicht (siehe Abbildung 19). Zusätzlich wurden von jedem Plusbaum Fotos gemacht (siehe Abbildung 20). Alle aufgenommenen Daten wurden digitalisiert und dauerhaft gespeichert. Die Vitalität der Bäume wurde durch eine einfache ja/nein-Ansprache erfasst, bei der zu Beginn der Aufnahme eines jeden Baumes lediglich die Vitalität als ausreichend oder nicht ausreichend angesprochen wurde. Die Einschätzung orientierte sich dabei an der Kronenverlichtung des Baumes, speziell am Grad der Benadelung. Zeigt ein Baum eine zu geringe Benadelung, wurde er trotz seiner guten Leistungs- und Formeigenschaften verworfen.

Plusbaumaufnahmebogen

KüTa (aus Versuchen)

NW-FVA

Aufnahmedatum		Plusbaumkartierer	
Versuchsfläche/TV		Baum-Nr.	
Identifikation	PARZ:	WDH:	Block: PNR: Name:
Geogr. Breite	____.____.____	Geogr. Länge	____.____.____
Forstorganisation		Höhe ü. NN (m)	
1. Verwaltungsebene (Forstamt)		2. Verwaltungsebene (Revier)	
Waldort		Bestand	
Abt./UAbt.			
Alter		BHD 1 (cm)	BHD 2 (cm)
Baumhöhe (m)		Kronenansatz (m)	
Baumklasse	(1) vorherrschend	(2) herrschend	(3) mitherrschend
Aststellung	(1) waagrecht mit 90°	(2) aufw./ abw. geneigt bis max. 110°/ 70°	
Aststärke	(1) fein	(2) mittel	(3) grob
Geradschaftigkeit	(1) zweischnürig	(2) einschnürig mit geringen Bögen	
Schäden			
Beulen/ Überwallungen	(1) keine	(2) wenig	
Drehwuchs	(1) nein	(2) schwach = bis 1/4 Stammumfang auf 7 lfd. m	
Kronenausformung	(1) breit	(2) mittel	(3) schmal
Bemerkung 1			
Bemerkung 2			

Foto

Abbildung 19: Plusbaumaufnahmebogen für die Küstentanne.

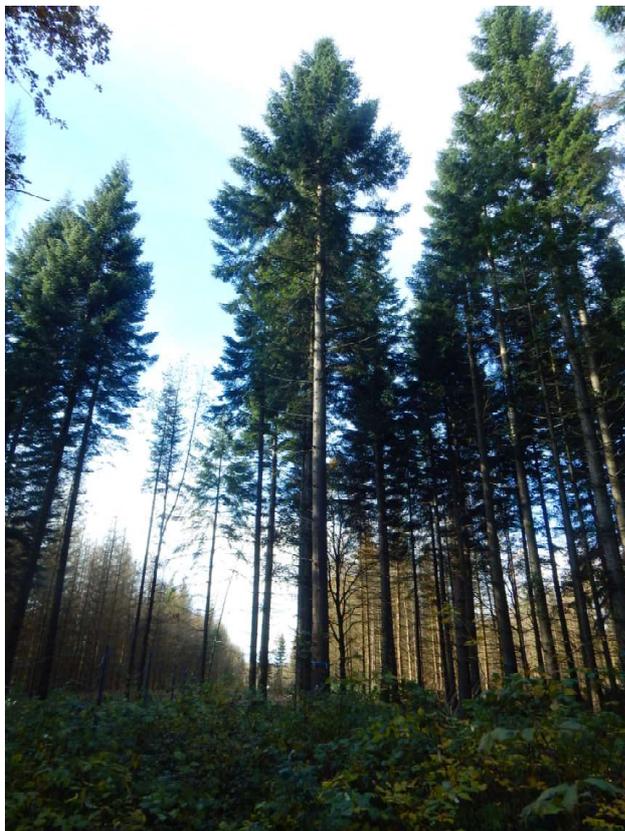


Abbildung 20: Ausgewählter Plusbaum auf der Versuchsfläche Hochstift.

In Tabelle 13 sind die Plusbaumanzahlen getrennt nach Herkunft und Versuchsfläche aufgelistet. In Summe wurden auf den zwei Versuchsflächen (Hochstift und Lauterberg) aus 13 Herkünften 127 Plusbäume ausgewählt, von denen aber lediglich 101 Plusbäume abgepfropft wurden. Bei der Auswahl der Bäume für die Pflropfung wurde darauf geachtet, dass die Herkünfte annähernd gleich vertreten sind.

Tabelle 13: Anzahlen ausgewählter und für die Pflropfung vorgesehener Plusbäume nach Herkunft und Versuchsfläche.

Herkunft Nr.	Anzahl ausgewählter Plusbäume			davon für Pflropfung vorgesehen
	Hochstift	Lauterberg	Summe	
1	9	2	11	8
3	12	2	14	8
5	3	4	7	7
7	6	3	9	8
9	2	5	7	6
24	4	6	10	8
26	3	5	8	6
27	2	7	9	8
43	4	4	8	8
44	3	9	12	8
47	5	6	11	8
51	3	8	11	8
55	3	7	10	8
Summe ges.	59	68	127	101

In Abbildung 21 ist die Leistung der Plusbäume gegen die Ertragstafelhöhen der ersten und zweiten Ertragsklasse für Küstentanne nach LOCKOW & LOCKOW (2007) abgetragen. Ein Großteil der ausgewählten Plusbäume zeigt eine Höhenwuchsleistung die deutlich über der ersten Ertragsklasse angesiedelt ist. Lediglich 26 Plusbäume liegen mit ihrer Höhenwuchsleistung unterhalb der ersten Ertragsklasse. Darüber hinaus zeigen alle Plusbäume eine waagerechte Aststellung und zu ca. 50 % eine feine Beastung. Die verbleibenden 50 % zeigen bis auf wenige Ausnahmen eine mittlere Aststärke, die aber aufgrund der lokalen Verhältnisse vor Ort z.B. Randbaum, Rückegassen oder Ausfall in der Nachbarparzelle erklärt werden kann. Während die Höhenwuchsleistung der Plusbäume von der Versuchsfläche Hochstift mit der Boniturstufe 1 zu erwarten war, ist das Wuchspotential der Bäume von der Versuchsfläche Lauterberg bemerkenswert. Liegt der Bestand mit einer Leistungsklasse von 12 eher im Mittelfeld des Leistungsspektrums.

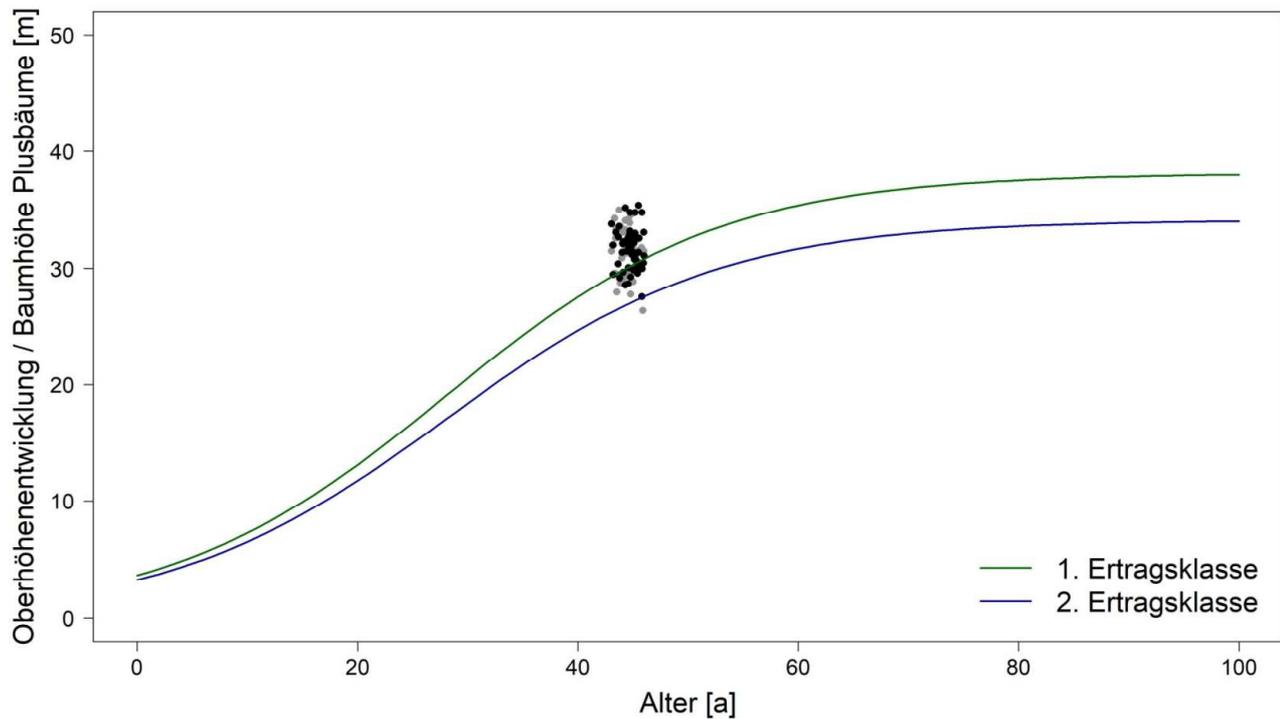


Abbildung 21 Gegenüberstellung der Höhenwuchsleistungen der ausgewählten Plusbäume zu der ersten und zweiten Ertragsklasse für Küstentanne nach LOCKOW & LOCKOW 2007. Schwarz = Plusbäume Fläche Lauterberg, grau = Plusbäume Fläche Hochstift.

Arbeitspaket 10:

Gewinnung von Pfropfreisern und Durchführung der Pfropfung an 100 Plusbäumen.

Für die Pfropfarbeiten im Frühjahr 2022 wurden von Baumschulen Angebote eingeholt und ca. 2000 Küstentannen-Unterlagen bestellt. Diese wurden im Versuchskamp überwintert und standen pünktlich für die Pfropfarbeiten bereit. Des Weiteren wurde nach Ausschreibung ein Auftrag für die Reiserwerbung vergeben. Die Reiserwerbung erfolgte im Frühjahr 2022. Hier wurden pro Plusbaum 35 Reiser geworben. Die Pfropfung erfolgte spätestens 3 Tage nach der Reiserwerbung. Es wurden 20 Klone pro Plusbaum gepfropft.

Für die Pfropfung wurden die Edelreiser auf einheitliche Länge geschnitten und im unteren Bereich entnadelt (siehe Abbildung 22). Die Veredelung erfolgte durch seitliches Anplatten und Fixierung der Veredelung mit Hilfe eines Flexibandes (siehe Abbildung 23). Die frisch veredelten Pflanzen wurden umgehend im Kaltgewächshaus in ein Grundbeet verschult. Zur Minimierung der Transpiration waren die Grundbeete im Gewächshaus für die ersten Wochen mit einer Folie überspannt. Einen Eindruck über die frisch veredelten Küstentannen und die Grundbeete geben die Abbildungen 24 und 25).



Abbildung 22: Vorbereitete Edelreiser der Küstentanne für die Pfropfung.



Abbildung 23: Frisch gepfropfte Reiser (Frühjahr 2022).



Abbildung 24: Pflöpfung im Beetkasten (Frühjahr 2022).



Abbildung 25: Pfropflinge im Beetkasten (Frühjahr 2022).

Arbeitspaket 11:

Pflege der Pfropflinge in Gewächshaus und Baumschule mit dem Ziel der langfristigen Sicherung in Klonarchiven und des Aufbaus von Samenplantagen.

Pflege der Pfropflinge

Als ein Projektziel wurde die langfristige Sicherung der abgepfropften Genotypen auf Klonarchiven oder Samenplantagen formuliert. Bevor die Pfropflinge allerdings ausgepflanzt werden können, müssen die Pflanzen einen auspflanzbaren Zustand erreicht haben. In der Regel ist dies mit 1 bis 2 Jahren Pflegearbeiten im Gewächshaus verbunden, die im Folgenden beschrieben werden.

Circa 8 Wochen nach der Pfropfung erfolgte das Zurückschneiden der Unterlage. Hier wurde der Terminaltrieb der Unterlage bis auf die Höhe des Reises hinuntergeschnitten (siehe Abbildung 26). Daraufhin erfolgte das Aufschneiden des Flexibandes, welches zur Fixierung der Pfropfstelle verwendet wurde. Dies war erforderlich, da das Band nach 3 Monaten anfang, aufgrund des Dickenwachstums der Unterlage den Stamm einzuschnüren. Im Sommer 2022 erfolgt eine Düngung mit einem Langzeitdünger. Im Herbst 2022 wurden die Pfropflinge aus den Beetkästen entnommen und in Pflanztöpfe gepflanzt (siehe Abbildung 36 und 37). Dadurch sollte der beim Auspflanzen auf die Flächen auftretende Pflanzschock abgemildert werden. Darüber hinaus werden so Trockenschäden an den Wurzeln beim Sortieren für die Flächenanlage verhindert. Die Pfropflinge überwinterten von 2022 bis 2023 im Gewächshaus und wurden Ende März 2023 unter ein Schattendach gestellt (siehe Abbildung 38). Dort wurden die Pflanzen drei Mal mit einem Flüssigdünger und Ende Mai mit einem Langzeitdünger gedüngt. Zur Stabilisierung der Pfropflinge wurden Stäbe angebracht, die einen geraden Wuchs der Triebe fördern. Parallel zu den einzelnen Maßnahmen erfolgte das Abwildern der Unterlage. Hierbei werden alle Seitentriebe und Neuaustriebe der Unterlage entfernt, sodass die Wachstumsenergie vollständig für das Reis bzw. die Pfropfstelle genutzt wird. Zusätzlich wurden regelmäßig die aufkommenden Beikräuter entfernt. Eine Auflistung aller Pflegemaßnahmen gibt die Tabelle 14.



Abbildung 26: Pfropfling mit frisch zurück geschnittener Unterlage (Frühjahr 2022).

Tabelle 14: Die Pflege der Pflöpflinge verteilt über das Jahr.

Pflöpfung	Unterlage zurück-schneiden	Abwildern der Unterlage	Aufschneiden des Flexibandes	Düngen	Entfernen von Unkraut	Eintöpfen	Rausstellen unter Schattendach	Stabilisierung mit Stab
08.02.22	29.03.22	08.04.22	11.05.22	22.06.22	11.04.22	29.08.22	20.03.23	22.03.23
14.02.22		11.04.22	12.05.22	22.03.23	21.04.22	30.08.22		23.03.23
15.02.22		20.04.22	17.05.22	24.04.23	18.05.22	31.08.22		13.04.23
16.02.22		21.04.22	18.05.22	02.05.23	01.06.22	27.09.22		
07.03.22		17.08.22		15.05.23	02.06.22	28.09.22		
08.03.22		13.04.23		31.05.23	16.06.22	29.09.22		
09.03.22		17.04.23			26.07.22			
		02.05.23			28.07.22			
		10.05.23			08.08.22			
					17.08.22			
					12.01.23			
					13.04.23			
					17.04.23			
					02.05.23			
					10.05.23			



Abbildung 27: Pflöpflinge mit guter Wurzelentwicklung im Herbst beim Töpfen.



Abbildung 28: Getopfete Pflöpfinge während der Überwinterung im Kaltgewächshaus.



Abbildung 29: Pflöpfinge unter dem Schattendach (Frühjahr 2023).

Sicherung der Pflöpfinge

Nach Projektvorgabe sollen die einzelnen Plusbaumklone langfristig gesichert werden. Dies geschieht in der Regel durch die Anlage von Klonarchiven. Anschließend werden die Genotypen durch Sekundärpflöpfungen mit Material von Klonarchiven weiter vermehrt, um daraus schlussendlich Samenplantagen anlegen zu können. Diese Vorgehensweise hat allerdings die Nachteile, dass der Flächenbedarf größer ist und der kommerzielle Erntebeginn weiter in der Zukunft liegt. Aus diesen Gründen wurde beschlossen, die Pflöpfinge direkt auf Samenplantagen zu sichern, um den Zwischenschritt der Klonarchive einzusparen.

Aufgrund des sehr hohen Anwuchserfolges der Pflöpfinge war es zusätzlich möglich, die Plusbaumgenotypen auf zwei standörtlich verschiedenen, weit auseinander liegenden Flächen zu sichern. Für die Flächensuche wurden daher die Landesforsten Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein mit der Bitte kontaktiert, potentielle Flächen bereit zu stellen. Schlussendlich konnten im Forstbetrieb Osthartz in Sachsen-Anhalt (14.950 m² Pflanzfläche) und im Revier Drelsdorf in Schleswig-Holstein (12.600 m² Pflanzfläche) geeignete Flächen gefunden werden. Die Kosten für die Flächenvorbereitung und den Zaunbau wurden großzügiger Weise von den Landesforstbetrieben übernommen.

Als erstes wurden die Flächen eingemessen und die einzelnen Pflanzplätze (Abstand 5x5 m) mit Robinienpfosten markiert (siehe Abbildung 30). Auf der Fläche in Schleswig-Holstein wurden stets 5 Ramets pro Klon gepflanzt, in Sachsen-Anhalt 6 Ramets pro Klon (mit Ausnahme von 2 Klonen mit nur je 5 Ramets). 99 der 101 Klone sind auf beiden Samenplantagen vertreten, die anderen beiden Klone befinden sich jeweils auf nur einer Samenplantage. Mit 100 Klonen werden die Samenplantagen mit hoher Wahrscheinlichkeit (Daten lagen zum Zeitpunkt des Berichtes der Flächenanlage noch nicht vor) eine hohe genetische Vielfalt und Anpassungsvermögen an sich ändernden Umweltbedingungen vorweisen können.

a)



b)



Abbildung 30: Anlage der Samenplantagen; Fläche in Sachsen-Anhalt (a) und Schleswig-Holstein (b).

Zur optimalen Verteilung der Rameten auf den Flächen wurde die Randomisierung mit dem ONA-Programm „Optimum neighborhood seed orchard design“ (CHALOUPKOVA et. al 2016) durchgeführt. Das Verfahren gewährleistet, dass ein Genotyp nicht immer neben den gleichen Nachbarn, dafür aber neben möglichst vielen anderen Nachbarn steht. Dadurch können Paarungspräferenzen minimiert und die genetische Qualität des Saatgutes verbessert werden. Ausgehend von einem Quadratverband werden für jeden Pflanzplatz die vier nächsten Nachbarn betrachtet und eine möglichst große Anzahl unterschiedlicher Nachbarn für jeden Klon (vertreten durch 5 bzw. 6 Ramets) angestrebt. Das Programm liefert ebenfalls eine Matrix mit den Nachbarschaftsverhältnissen der auf der Fläche verteilten Genotypen. Diese sind für Sachsen-Anhalt in Abbildung 31 und für Schleswig-Holstein in Abbildung 32 dargestellt. Jede Zeile und Spalte symbolisiert jeweils einen Genotypen. Mit grün ist eine einmalige direkte Nachbarschaften, mit gelb eine zweimalige direkte Nachbarschaften und mit blau keine direkte Nachbarschaft von Genotypen symbolisiert. Die Abbildungen belegen die gute Verteilung der Genotypen. In nur sehr wenigen Fällen stehen Rameten einzelner Genotypen mehr als einmal direkt nebeneinander. Die vielen blauen Felder kommen zu Stande, weil nicht alle einzelnen Nachbarschaften realisiert werden können. Dies stellt aber keinen Nachteil dar.

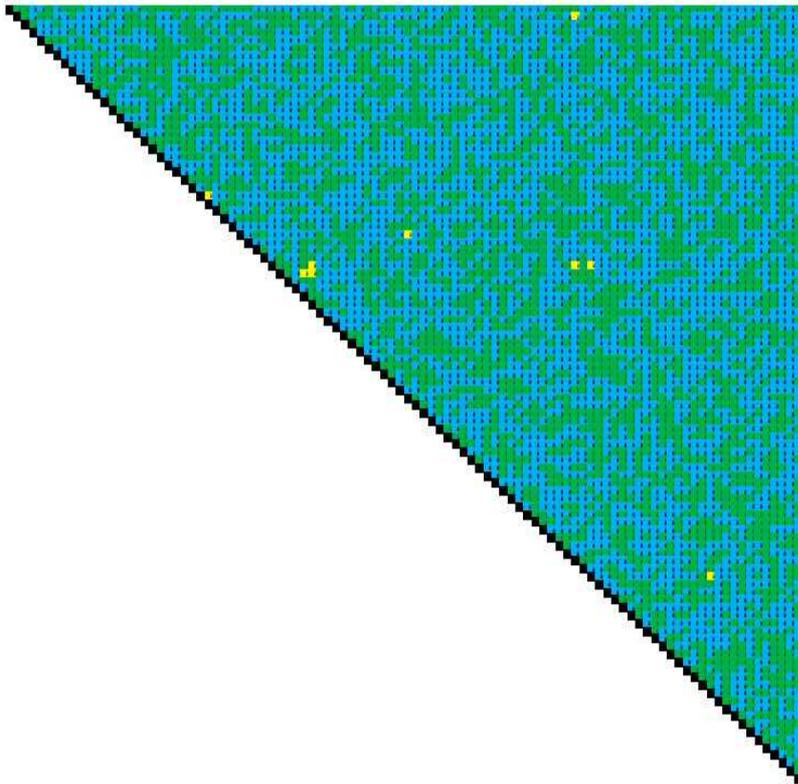


Abbildung 31: Nachbarschaftsmatrix für die Samenplantage in Sachsen-Anhalt; abgebildet ist keine direkte Nachbarschaft (blau), einmalige Nachbarschaft (grün) und zweimalige Nachbarschaft (gelb).

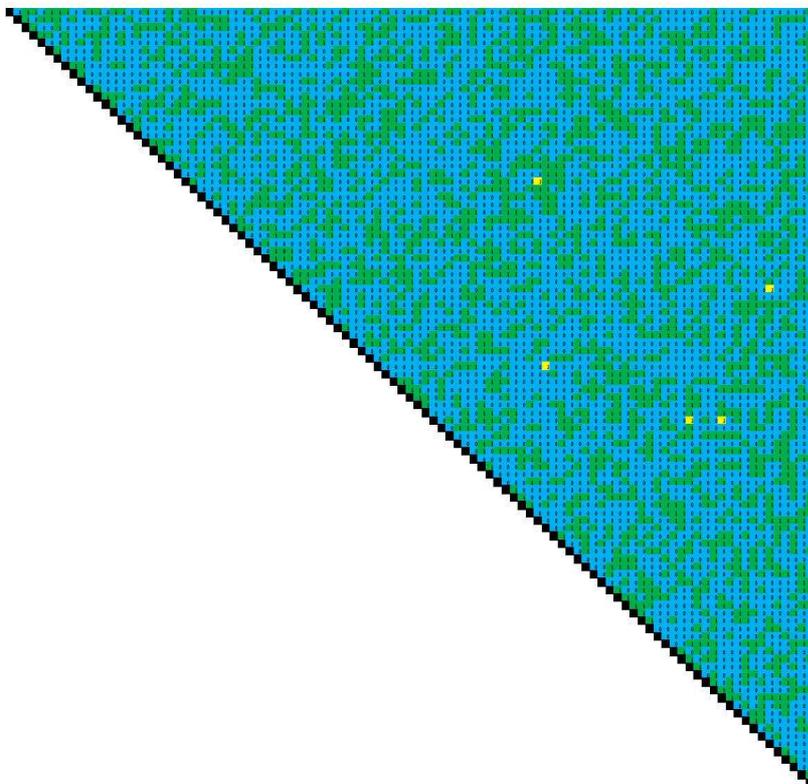


Abbildung 32: Nachbarschaftsmatrix für die Samenplantage in Schleswig-Holstein; abgebildet ist keine direkte Nachbarschaft (blau), einmalige Nachbarschaft (grün) und zweimalige Nachbarschaft (gelb).

Die zwei Samenplantagen wurden im Herbst 2023 vollständig angelegt. Eine Übersicht über die Struktur der jeweiligen Flächen geben die Abbildungen 33 und 34. Mit den noch vorhandenen Reservepflanzen werden im Herbst 2024 ausgefallene Pflanzen ersetzt. Ab Herbst 2024 werden die Samenplantagen dem Sachgebiet „Erhaltung und Nutzung forstlicher Genressourcen“ übergeben, das sich langfristig um das Flächenmanagement kümmert.

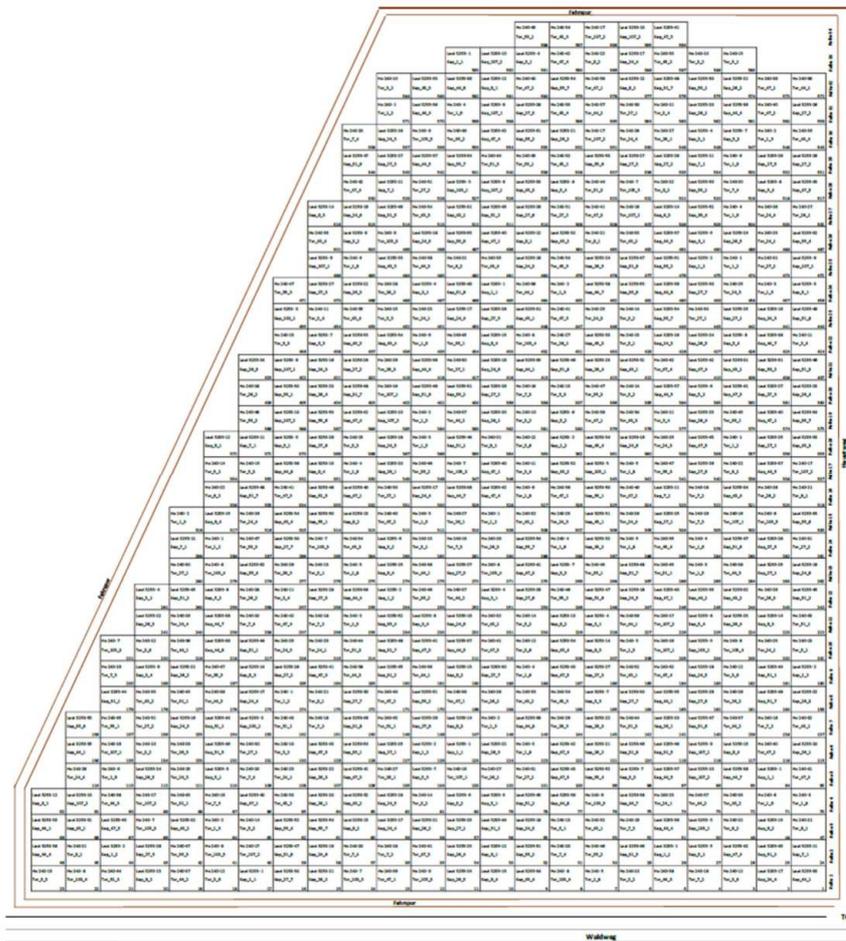


Abbildung 33: Flächenplan der Samenplantage in Sachsen-Anhalt.

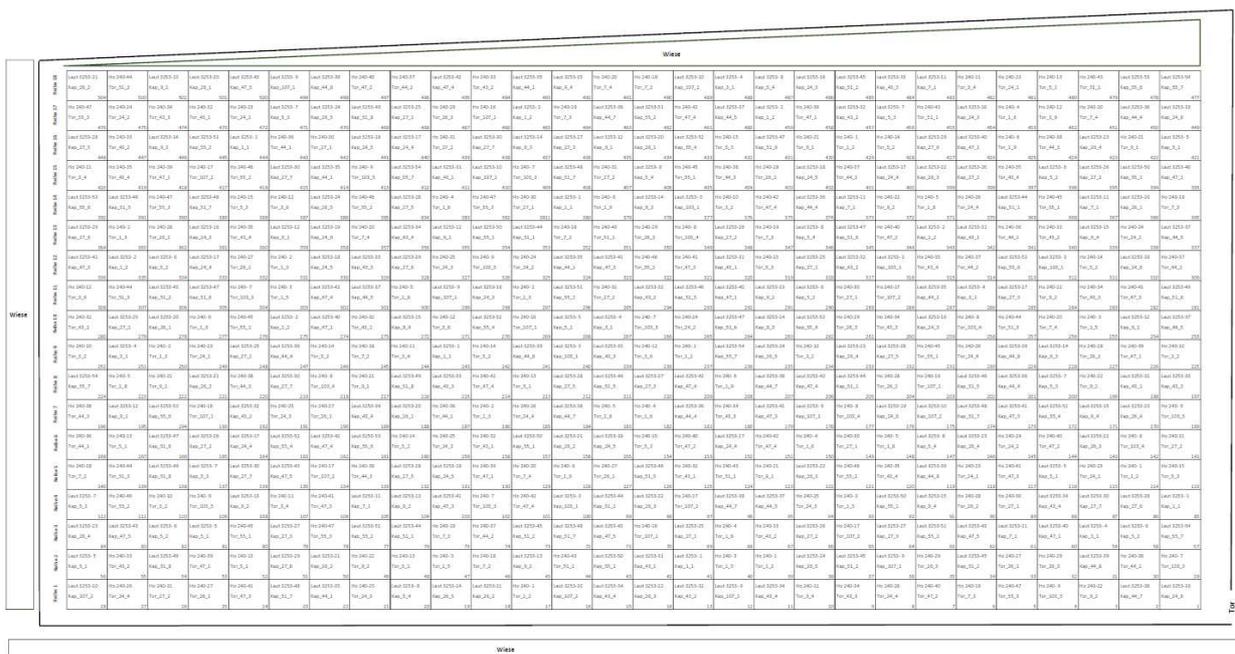


Abbildung 34: Flächenplan der Samenplantage in Schleswig-Holstein.

Literatur

- AL-ASHKAR, I., SALLAM, M., ALMUTAIRI, K. F., SHADY, M., IBRAHIM, A., ALGHAMDI, S. S. (2023): Detection of High-Performance Wheat Genotypes and Genetic Stability to Determine Complex Interplay between Genotypes and Environments. *Agronomy*. 13(2): 1-24.
- ALIZOTI, P.; BASTIEN, J.-C.; CHAKRABORTY, D.; KLISZ, M.M.; KROON, J.; NEOPHYTOU, C.; SCHUELER, S.; LOO, M.V.; WESTERGREN, M.; KONNERT, M., ANDONOVSKI, V., ANDREASSEN, K., BRANG, P., BRUS, R., CVJETKOVIĆ, B., DODAN, M., FERNÁNDEZ, M., FRÝDL, J., KARLSSON, B., KESERÜ, Z., KORMUTAK, A., LAVNYI, V., MAATEN, T., MASON, B., MIHAI, G., MONTEVERDI, C., PERIC, S., PETKOVA, K., POPOV, E. B., ROUSI, M., STOJNIC, S. M., TSVETKOV, I. (2022): Non-Native Forest Tree Species in Europe: The Question of Seed Origin in Afforestation. *Forests* 13(2): 273.
- BAKER, R. J. (1969): Genotype-Environment interactions in yield of wheat. *Canadian Journal of Plant Science*. 49: 743-751.
- BATES, D., MÄCHLER, M., BOLKER, B., WALKER, S. (2015): Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*. 67(1): 1-48.
- BURCHHARDT (1960): Westfälische Erfahrungen mit der großen Küstentanne. *Allgemeine Forstzeitschrift* 15(7): 81-84.
- BURNS, R. W., HONKALA, B. H. (1990): *Silvics of North America: Volume 1. Conifers*. Agriculture Handbook 654. U.S. Department of Agriculture. Forest Service, Washington DC S. 52-59.
- BÖCKMANN, T., HANSEN, J., HAUSKELLER-BULLERJAHN, K., JENSEN, T., NAGEL, J., NAGEL, R.-V., OVERBECK, M., PAMPE, A., PETEREIT-BITTER, A., SCHMIDT, M., SCHRÖDER, M., SCHULZ, C., SPELLMANN, H., STÜBER, V., SUTMÖLLER, J., WOLLBORN, P. (2019): Klimaangepasste Baumartenwahl in den Niedersächsischen Landesforsten. Aus dem Walde – Schriftenreihe Waldentwicklung in Niedersachsen Bd. 61. 170 S.
- CALLEJA-RODRIGUEZ, A., GULL, B. A., WU, H. X., MULLIN, T. J., PERSSON, T. (2019): Genotype-by-environment interactions and the dynamic relationship between tree vitality and height in northern *Pinus sylvestris*. *Tree Genetics & Genomes* 15(36): 1-15.
- CHALOUPOKOVA, K., STEJSKAL, J., EL-KASSABY, Y. A., LISTIBUREK, M. (2016): Optimum neighborhood seed orchard design. *Tree Genetics & Genomes* 12(6): 105.
- CORREIA, I., ALIA, R., YAN, W., DAVIT, T., AGUIAR, A., ALMEIDA, M. H. (2010): Genotype x Environment interactions in *Pinus pinaster* at age 10 in a multi-environment trial in Portugal: a maximum likelihood approach. *Annales of Forest Science* 67(612): 1-9.
- DING, M., TIER, B., YAN, W., WU, H. X., POWELL, M. B., MCRAE, T. A. (2008): Application of GGE Biplot analysis to evaluate Genotypes (G), Environments E, and GxE Interaction on *Pinus radiata*: a case study. *New Zealand Journal of Forestry Science* 38(1): 132-142.
- DONG, P. H., ROEDER, A. ADAM, H. (1993): Zum Wachstum der Großen Küstentanne in Rheinland-Pfalz. *Forst und Holz* 48 (4): 86-90.
- DÖBBELER, H., NAGEL, R.-V., SPELLMANN, H., HAMKENS, H. (2020): Waldentwicklungsziele (WEZ) für den hessischen Kommunal- und Privatwald, Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, 33 S. https://www.nw-fva.de/fileadmin/nwfva/common/unterstuetzen/pdf/software/WEZ-Katalog_KuPW_HE_NW-FVA_2020.pdf
- DUDHE, M. Y., JAGHAV, M. V., SUJATHA, M., MEENA, H. P., RAJGURU, A. B., GAHUKAR, S. J., GHODKE, M. K. (2024): WAASB-based stability analysis and validation of sources resistant to *Plasmopara halstedii* race-100 from the sunflower working germplasm from the semiarid regions of India. *Genetic Resources and Crop Evolution* 71: 1435-1452.
- FARSHADFAR, E., RASHIDI, M., JOWKAR, M. M., ZALI, H. (2013): GGE Biplot analysis of genotype x environment interaction in chickpea genotypes. *European Journal of Experimental Biology* 3(1): 417-423.
- FOILES, M. W. (1959): *Silvics of Grand Fir*. In: Intermountain Forest and Range Experiment Station 21 S. 1-12.
- FINLAY, K. W., WILKINSON, G. N. (1963): The analysis of adaption in plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* 14: 742-745.

- FITFORCLIM (2020): Grundlagen und Strategien zur Bereitstellung von hochwertigem und anpassungsfähigem forstlichen Vermehrungsgut im Klimawandel; Teilvorhaben 1: Schwerpunkt Fichte und Eiche. Abschlussbericht 54 S.
- FRANKLIN, J. F., DYRNESS, C. T. (1973): Natural vegetation of Oregon and Washington. Gen. Tech. Rep. PNW-8. Portland OR: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Pacific NW-Forest and Range Exp. Stat. 417 S.
- FVA-BW (2021): Alternative Baumarten im Klimawandel - eine Stoffsammlung. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg 122 S.
- GAPARE, W. J., IVKOVIC, M., LIEPE, K. J., HAMANN, A., BOW, C. B. (2015): Drivers of genotype by environment interaction in radiata pine as indicated by multivariate regression trees. *Forest Ecology and Management*. 353: 21-29.
- GEZAN, S. A., DE CARVALHO, M. P., SHERRILL, J. (2017): Statistical Methods to explore genotype-by-environment interaction for loblolly pine clonal trials. *Tree Genetics and Genomes* 13(1): 1-11.
- HARDTKE, A., STEINER, W. (2020): Eichenplusbäume und deren Verwendung. In: LIESEBACH, M. (Hrsg.). Forstpflanzenzüchtung für die Praxis: 6. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung vom 16. bis 18. September 2019 in Dresden. Tagungsband: Thünen Report. Band 76. Johann Heinrich von Thünen-Institut. S. 9-22.
- HARDWICK, R. C., WOOD, J. T. (1972): Regression Methods for studying Genotype-Environment Interactions. *Heredity* 28 (2): 209-222.
- HERMANN, K. (1978): *Abies grandis* in ihrem Heimatland. In: RÖHRIG, E. Hrsg., Grundlagen für den Anbau von *Abies grandis*. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 54 J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main 95 S.
- HEIN, S., JAUMANN, T. B., KOHNLE, U. (2014): Höhenwachstum von *Abies Grandis* in Baden-Württemberg. *AFZ-Der Wald* 69(3): 16-17.
- KERR, G., STOKES, V. (2021): Summary of FR Seed Origin Trails on grand fir (*Abies grandis* Lindl.). Forest Research. The Research Agency of the Forestry Commission.
- KLÄDTKE, J. (2016): Zum Wachstum eingeführter Baumarten in Baden-Württemberg. *Allg. Forst- u. J. -Ztg* 187(5/6): 81-93.
- KONNERT, M., ALIZOTI, P., BASTIEN, J.-C., CHAKRABORTY, D., CVJETKOVIC, B., KLISZ, M., KROON, J., MASON, B., NEOPHYTOU, C., SCHUELER, S., LOO, VAN M., WESTERGREN, M., ANDONOVSKI, V., ANDREASSEN, K., BRANG, P., BRUS, R., ĐODAN, M., FERNÁNDEZ, M., FRÝDL, J., KARLSSON, B., KESERŮ, Z., KORMUTAK, A., LAVNYI, V., MAATEN, T., MATTI, R., MIHAI, G., MONTEVERDI, M. C., PERIĆ, S., PETKOVA, K., POPOV, E., STOJNIC, S., IVAYLO TSVETKOV, I. (2018): European provenance recommendations for selected non-native tree species – WG2 Report. University of Natural Resources and Life Sciences. Wien. Österreich. 53 Seiten.
- KORMANN, J. M., LIESEBACH, M., LIEPE, K. J. (2023): Provenances from introduced stands of Northern Red Oak outperform those from the natural distribution. *Forest Ecology and Management* 531: 1-8.
- KÖNIG, A. (1995): Geographic Variation of *Abies grandis*-Provenances Grown in Northwestern Germany. *Silvae Genetica* 44(5-6): 248-255.
- KRANENBORG, K. G. (1994): *Abies grandis* provenance research in The Netherlands. IBN Research Report 94/7. Institute for Forestry and Nature Research. 19 S.
- KREJZEK, R., NOVOTNÝ, P., PODRÁZSKÝ, V., BERAN, F., DOSTÁL, J. (2015): Evaluation of the IUFRO provenance plot with grand fir in the Habr location (Western Bohemia) at the age of 31 years. *Journal of Forest Science* 61(12): 551-561.
- KULEJ, M., SOCHA, J. (2008): Effect of provenance on the volume increment of grand fir (*Abies grandis* Lindl.) under mountain conditions of Poland. *Journal of Forest Science* 54(1): 1-8.
- LENTH, R. V. (2023): emmeans: Estimated marginal Means, aka Last-Squares Means. R package version 1.8.8. <https://CRAN.R-project/package=emmeans>.

- LITTLE, E. L. (1971): Atlas of the United States trees. Volume 1 Conifers and important hardwoods. Miscellaneus Publication 1146. Washington DC: Department of Agriculture. Forest Service. 9 S.
- LOCKOW, K. W., LOCKOW, J. (2007): Anbau der Großen Küstentanne in Brandenburg aus ertragskundlicher Sicht. Forstarchiv 78: 158-165.
- LWF (2020): Paxishilfe Klima-Boden-Baumartenwahl Band II. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Freising. 124 S.
- MULE Sachsen-Anhalt (2010): Entscheidungshilfen zur klimaangepassten Baumartenwahl im Land Sachsen-Anhalt. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie des Landes Sachsen-Anhalt. 72 S.
- NAGEL, R.-V. (2022): Geht da noch mehr? Eingeführte Baumarten in Nordwestdeutschland für Vielfalt und Klimaanpassung. proWALD – Magazin des Deutschen Forstvereins (2):4-8.
- OLIVOTO, T., LÚCIO, A. D., DA SILVA, J. A. G., MARCHIORO, V. S., DE SOUZA, V. Q., JOST, E. (2019): Mean Performance and Stability in Multi-Environment Trials 1: Combining Features of AMMI und BLUP Techniques. Agronomy Journal. 3(6):2949-2960.
- OLIVOTO, T., LÚCIO, A. D. (2020): „metan: An R package for multi-environment trail analysis“ Methods in Ecology and Evolution. 11(6): 783-789.
- PENSCHUK, H. (1935): Die Anbauversuche mit ausländischen Holzarten unter Berücksichtigung ihrer Ertragsleistung. Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. 67(3): 113-137.
- PENSCHUK, H. (1937): Die Anbauversuche mit ausländischen Holzarten unter Berücksichtigung ihrer Ertragsleistung. Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. 69(11): 525-555.
- R CORE TEAM (2023): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for statistical Computing, Wien Österreich.
- RAU, H.-M., WEISGERBER, H., KLEINSCHMIT J., SVOLBA, J., DIMPFELMEIER R., RUETZ, W. (1991): Vorläufige Erfahrungen mit Küstentannenprovenienzen in Westdeutschland. Forst und Holz 46(9): 245-249.
- RAU, H.-M., KLEINSCHMIT, J., RUETZ, W., KÖNIG, A., SVOLBA, J. (1998): Provenienzversuche mit Küstentanne (*Abies grandis* Lindl.) in Westdeutschland. Allgemeine Forst und Jagdzeitung 169(6/7):109-115.
- RAU, H.-M., KÖNIG, A., RUETZ, W., RUMPF, H., SCHÖNFELDER, E: (2008): Ergebnisse des westdeutschen IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuches im Alter 27. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 4. 62 S.
- ROEHING, H.-W. (1988): Waldbauliche Erfahrungen mit der Großen Küstentanne in Schleswig-Holstein. Allgemeine Forst Zeitschrift 43(25): 697-698.
- ROHMEDER, E. (1953): Anbauversuche mit *Abies grandis* in Bayern. Allgemeine Forstzeitschrift 8(52): 577-580.
- RÖHRIG, E. (1978): Anbauversuche mit *Abies grandis* in Deutschland. In: RÖHRIG, E. Hrsg., Grundlagen für den Anbau von *Abies grandis*. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 54 J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main 95 S.
- RUETZ, W. (2011): Enzyklopädie der Holzgewächse – 57. Erg.Lfg. 03/11. *Abies grandis*.
- SCHOBBER, R., SPELLMANN, H. (2001): Von Anbauversuchen mit Tannen und anderen Koniferen aus Japan, Nordamerika und Europa. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 130 J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main 178 S.
- SCHWAPPACH, A. (1901): Die Ergebnisse der in den Preußischen Staatsforsten ausgeführten Anbauversuche mit fremdländischen Holzarten. Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. 33(3/4/5):137-169, 195-225, 261-292.
- SCHWAPPACH, A. (1911): Die weitere Entwicklung der Versuche mit fremdländischen Holzarten on Preußen. Mitt. Dt. Dendrol. Gesellschaft 20: 3-37.
- SHARIFI, P., ERFANI, A., ABBASIAN, A., MOHADDESI, A. (2020): Stability of some of rice genotypes based on WAASB and MTSI indices. Iranian Journal of genetics and Plant Breeding. 9(2): 1-11.

- SIXTO, H., GIL, P., CIRIA, P., CAMPS, F., SANCHEZ, M., CANELLAS, I., VOLTAS, J. (2014): Performance of hybrid poplar clones in short rotation coppice in Mediterranean environments: analysis of genotype stability. *GCB Bioenergy* 6: 661-671.
- SPELLMANN, H., GEB, M., NAGEL, J., SCHMIDT, M. (2010): Verwendungsorientierte Managementstrategien für Buchen-Küstentannen-Mischbestände. *Forst und Holz* 65(1): 12-19.
- SPELLMANN, H., GEB, M., NAGEL, J., SCHMIDT, M. (2011): Verwendungsorientierte Managementstrategien für Buchen-Küstentannen-Mischbestände. In: *Wälder im Klimawandel - Weißtanne und Küstentanne*, LWF Wissen 66, S. 63-73. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- SPELLMANN, H., BRANG, P., HEIN, S., GEB, M. (2015): Baumartenportraits. Große Küstentanne (*Abies grandis* Dougl. Ex D. Don. Lindl). In: Vor, T., Spellmann, H., Bolte, A., Ammer, C. Hrsg., *Potentiale und Risiken eingeführter Baumarten*. Göttinger Forstwissenschaften Band 7. Universitätsverlag Göttingen 296 S.
- STRATMANN, J. (1988): Ausländeranbau in Niedersachsen und den angrenzenden Gebieten. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*. Band 91 J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main 131 S.
- TRAUBOTH, V. (2005): Anbauten der Großen Küstentanne in Thüringen. *AFZ-DerWald* 60(16): 841-843.
- TROYANSKAYA, O., CANTOR, M., HERLOCK, G., BROWN, P., HASTIE, T., TIBSHIRANI, R., BOTSTEIN, D., ALTMAN, R. B. (2001): Missing value estimation methods for DNA microarrays. *Bioinformatics* 17(9): 520-525.
- VINEETH, T. V. PRASAD, I., CHINCHMALATPURE, A. R., LOKESKUMAR, B. M., KUMAR, S., RAVIKIRAN, S. K., SHARMA, P. C. (2022): Weighted average absolute scores of BLUPs (WAASB) based selection of stable Asiatic cotton genotypes for the salt affected Vertisols of India. *Indian Journal of Genetics and plant breeding*. 82(1): 104-108.
- WELLER, A. (2018): Analyse des Wachstums von Großer Küstentanne und Douglasie entlang klimatischer und bodenkundlicher Gradienten in Nordwestdeutschland. *Austrian Journal of Forest Science* 135(1): 53-89.
- WALD UND HOLZ NRW (2022): Eingeführte Baumarten in Nordrhein-Westfalen, Neue Baumarten an neuen Orten – Chancen und Möglichkeiten im Fokus des Klimawandels. *Wald und Holz NRW*. 88 S.
- WHALEY, R., ESKANDARI, M. (2019): Genotypic main effect and genotype-by-environment interaction effect on seed protein concentration and yield in food-grade soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill). *Euphytica*. 215(33): 1-17.
- WIEDEMANN, E. (1951): Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft. J.D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt a. Main. 346 Seiten.
- WOLF, H., RUETZ, W. (1988): Ergebnisse älterer und jüngerer *Abies grandis*-Versuchsanbauten in Bayern. *Allgemeine Forstzeitschrift* 43(25):707-710.
- XU, F.-F., TANG, F.-F., SHAO, Y.-F., TONG, C., BAO, J.-S. (2014): Genotype x Environment Interactions for Agronomic Traits of Rice Revealed by Association Mapping. *Rice Science* 21(3): 133-141.
- YAMADA, H., MIYAURA, T. (2004): An examination on the site-family interaction of tree height of open-pollinated families of hinoki (*Chamaecyparis abtusa*) plus trees in the Kansai Forest tree breeding region. *Journal of Forest Research* 9: 81-84.
- YAN, W., HUNT, L. A. (2001): Interpretation of Genotype x Environment Interaction for Winter Wheat Yield in Ontario. *Crop Science* 41(1): 19-25.

2. Verwertung

a) Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Es wurden im Projektzeitraum keine Erfindungen oder Schutzrechtsanmeldungen getätigt.

b) Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Mit den im Projektzeitraum angezogenen Pflanzlingen wurden zwei Samenplantagen angelegt. Diese werden in einigen Jahren hochwertiges und genetisch diverses Saatgut für die Forstpraxis bereitstellen. Mit der Verwendung des Materials kann der Grundstein für stabile und leistungsfähige Bestände gelegt werden.

c) Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Auf Basis der Auswertungen konnten klar abgegrenzte Regionen identifiziert werden, die für den Saatgutimport geeignet sind. Innerhalb der geeigneten Regionen konnten mit Hilfe der Klimadaten kleinräumig Saatgutquellen identifiziert werden, die ein besonders gutes Wachstum erwarten lassen. Durch die Verwendung von leistungsfähigem und standortangepasstem Saatgut kann die Produktivität zukünftiger Bestände gesteigert werden.

Auf den angelegten Samenplantagen sind die Plusbäume durch mehrere Rameten gesichert. Neben der Saatgutproduktion können diese Flächen in einigen Jahren als Reiserquelle für weitere Veredelungen und den Aufbau zusätzlicher Samenplantagen dienen. Das ist von besonderem Interesse, weil aufgrund des Alters die Originalflächen für die Reisergerinnung mittelfristig nicht mehr zur Verfügung stehen (reguläre Nutzung) und die Reisergerinnung bei niedrigen Bäumen deutlich kostengünstiger ist, als bei den hohen Bäumen auf den Versuchsflächen.

An einer Reihe von Beständen fanden genetische Untersuchungen statt, die z.T. bereits als Saatgutquelle genutzt werden. Die Ergebnisse können zur Evaluierung hinsichtlich ihrer potentiellen genetischen Vielfalt genutzt werden. Dadurch können genetisch verarmte Bestände aus der Saatgutproduktion ausgeschlossen werden und nur noch die Bestände beerntet werden, die eine hinreichende Vielfalt vorweisen können. Die Ergebnisse können ebenfalls dafür genutzt werden, Mindestbaumzahlen für zukünftige Saatguterntebestände festzulegen. Neue Bestände könnten dann nur bei einer gewissen Mindestbaumzahl als Saatguterntebestand anerkannt werden.

Die enge und partnerschaftliche Zusammenarbeit mit der Universität Göttingen, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Abteilung Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung wird fortgesetzt. Weitere gemeinsame Publikationen mit den Ergebnissen des Projektes sind in Planung.

d) Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Mit dem Material, welches auf den Samenplantagen gesichert ist, lassen sich zukünftig weitere wissenschaftliche Fragestellungen bearbeiten. Primär könnte die Phänologie (Austrieb, Abschluss, Blühverhalten) auf den zwei Flächen erfasst werden. Damit können weitere Erkenntnisse bezüglich der Frostresistenz aber auch der Reproduktionsmuster der einzelnen Genotypen und Herkunftsregionen gewonnen werden. Zusätzlich können genetische Analysen an Absaaten genauere Auskünfte über die Vielfalt und die an der Reproduktion beteiligten Elternkollektiven geben.

Das Saatgut der Samenplantagen kann für die Anlage von Einzelbaum-Nachkommenschaftsprüfungen genutzt werden. Dadurch können die wuchsschwächsten Genotypen identifiziert und bei Bedarf nachträglich aus der Plantage entfernt werden. Auf den Samenplantagenflächen können ebenfalls gelenkte Kreuzungen mit dem Ziel durchgeführt werden, besonders leistungsfähige Elternkombinationen zu identifizieren. Auf Basis der Ergebnisse können noch leistungsfähigere Kollektive zusammengestellt und für den Aufbau weiterer Samenplantagen genutzt werden. Wiederholte Kreuzungen (auf Samenplantagen technisch relativ leicht durchzuführen) derselben Elternkombinationen in Jahren mit deutlich unterschiedlichem Witterungsverlauf können mittel- bis langfristig wertvolles Material für epigenetische Untersuchungen liefern.

Der Küstentanne wird eine gewisse Trockenstresstoleranz zugeschrieben. Auf den Plantagenflächen kann Saatgut auf Einzelbaumbene geerntet, Pflanzen angezogen und für ökophysiologische Experimente genutzt werden. Im Gewächshaus können an den jungen Pflanzen Experimente durchgeführt werden, mit denen die Trockenstressresistenz und Resilienz der Großen Küstentanne ermittelt werden kann. Darüberhinaus können auf den noch bestehenden Versuchsflächen Bäume mittels Bohrkernentnahme beprobt werden und ihr Zuwachsverhalten mit Klimadaten in Bezug gesetzt werden. Die Ergebnisse können dann für weitreichende Empfehlungen für den Anbau im Klimawandel genutzt werden.

3. Erkenntnisse von Dritten

Erkenntnisse von Dritten liegen nicht vor.

4. Veröffentlichungen

Vorträge:

Wuchsleistung und genetische Variation unterschiedlicher Küstentannenherkünfte, 7. Sektionstagung Forstgenetik am 13.09.2022 in Ahrensburg.

Grand fir seed orchards with material from the IUFRO provenance trial, Seminar zum Aufbau von Samenplantagen am 21.02.2023 beim Johann Heinrich von Thünen-Institut für Forstgenetik in Waldsiedersdorf.

Die Küstentanne – vom Versuch auf die Plantage, Seminar Vorstellung der Herkunftsempfehlungen Sachsen-Anhalt am 22.03.2023 im Landeszentrum Wald, Haus des Waldes in Hundisburg.

Die Küstentanne – vom Versuch auf die Plantage, Seminar Herkünfte alternativer Baumarten für Schleswig-Holstein am 09.11.2023 bei der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein in Bad Segeberg.

Der IUFRO Provenienzversuch – Basis für Herkunftsempfehlungen und Samenplantagen, Seminar Vorstellung der Herkunftsempfehlungen Hessen am 28.05.2024 an der NW-FVA in Hann. Münden.

Geografisch/genetische Variation der Küstentanne (*Abies grandis*) im amerikanischen Ursprungsgebiet im Vergleich zu deutschen Herkünften, 8. Sektionstagung Forstgenetik am 12.09.2022 in Freiburg. Gemeinsamer Vortrag mit dem Projektpartner.

Vorstellung der Projektergebnisse einer chinesischen Forstdelegation am 23.09.2024 in Hann. Münden.

Poster:

HerKüTaSaat – Entwicklung genetischer Methoden zur Bestimmung der Herkunft und des adaptiven Potentials von Küstentanne (*Abies grandis*) in Deutschland als Basis für Auswahl und Aufbau hochwertiger Saatgutquellen, Tag der offenen Tür am 10.09.2022 in Hann. Münden.

Die große Küstentanne – Vom Versuch auf die Plantage, Poster Reihe anlässlich eines Pressetermins am 27.09.2023 mit dem Staatssekretär Gert Zender auf der Fläche im Forstbetrieb Ostharz

Baumstarke Zukunft - Hier wächst Saatgut für Sachsen-Anhalt, Informationstafel für die Küstentannensamenplantage im Forstbetrieb Ostharz.

Artikel:

Wuchsleistung und genetische Variation unterschiedlicher Küstentannenherkünfte. In: Beiträge von Forstpflanzenzüchtung und Forstgenetik für den Wald von Morgen: 7. Tagung der Sektion Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung vom 12. Bis 14. September 2022 in Ahrensburg. Tagungsband. Thünen Report 105.

Development of a highly polymorphic chloroplast SSR set in *Abies grandis* with transferability to other conifer species – A promising toolkit for gene flow investigations. Ecology and Evolution. S. 1-11. Gemeinsamer Artikel mit dem Projektpartner.

Die Große Küstentanne, Entwicklung genetischer methode und Aufbau hochwertiger Saatgutquellen. Eine Projektvorstellung und erste Ergebnisse. Veröffentlichung in AFZDer Wald (in Druck). Gemeinsame Veröffentlichung mit dem Projektpartner.

Geografisch/genetische Variation der Küstentanne (*Abies grandis*) im amerikanischen Ursprungsgebiet im Vergleich zu deutschen Herkünften. Tagungsband im Thünen Report (geplant).

5. Anhang

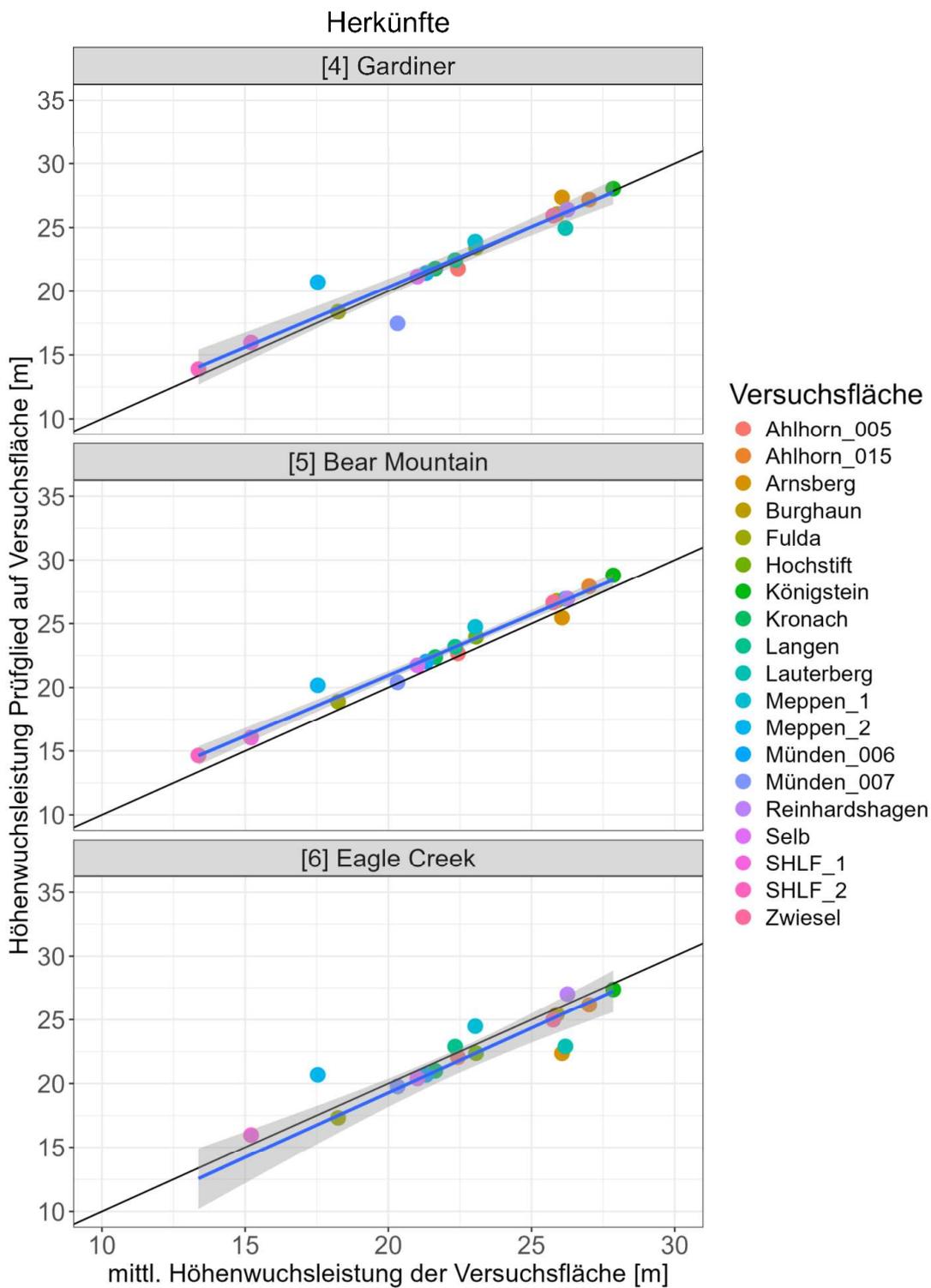


Abbildung 35: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 4,5,6 der IUFRO-Versuchsserie

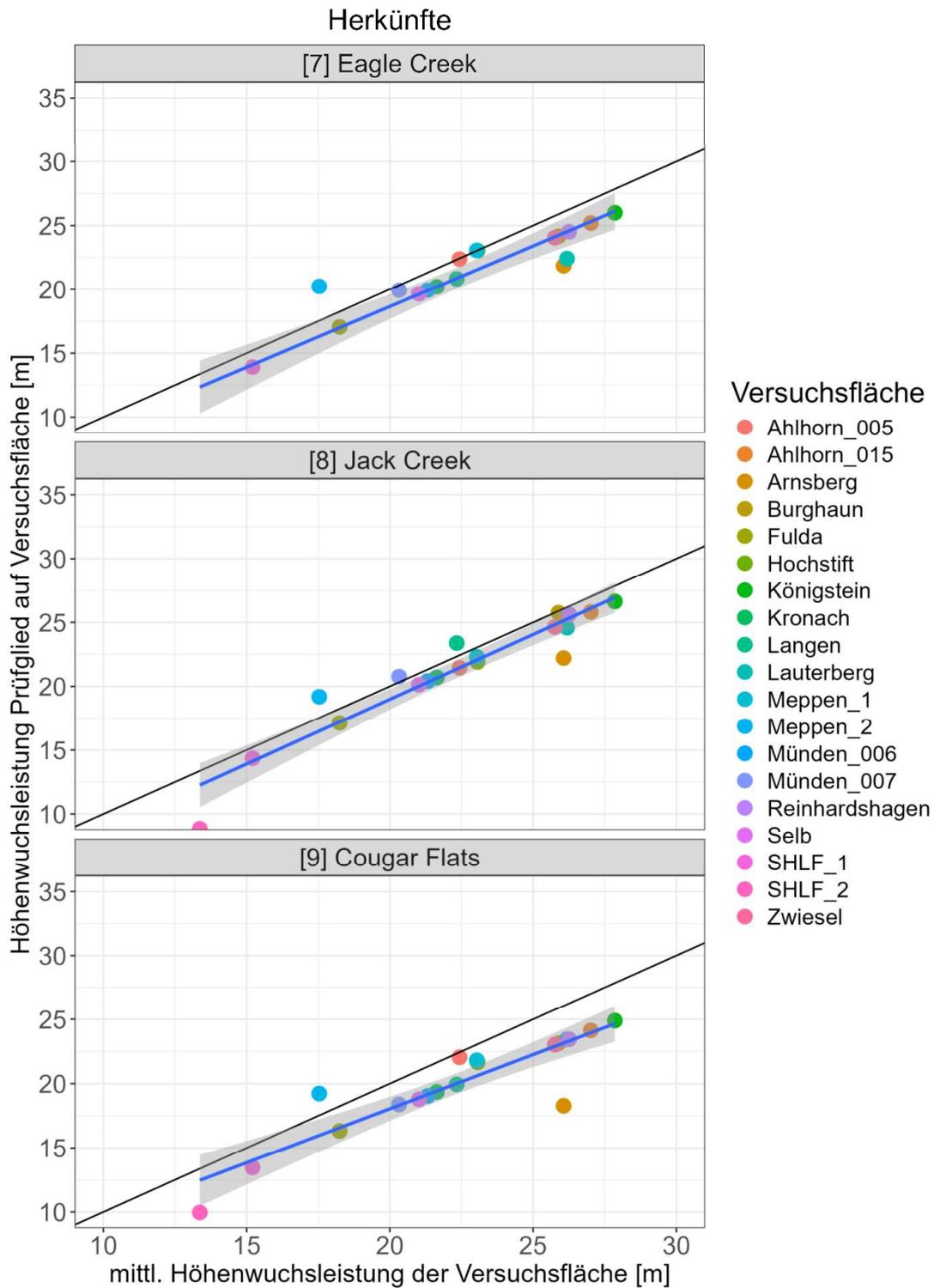


Abbildung 36: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 7,8,9 der IUFRO-Versuchsserie

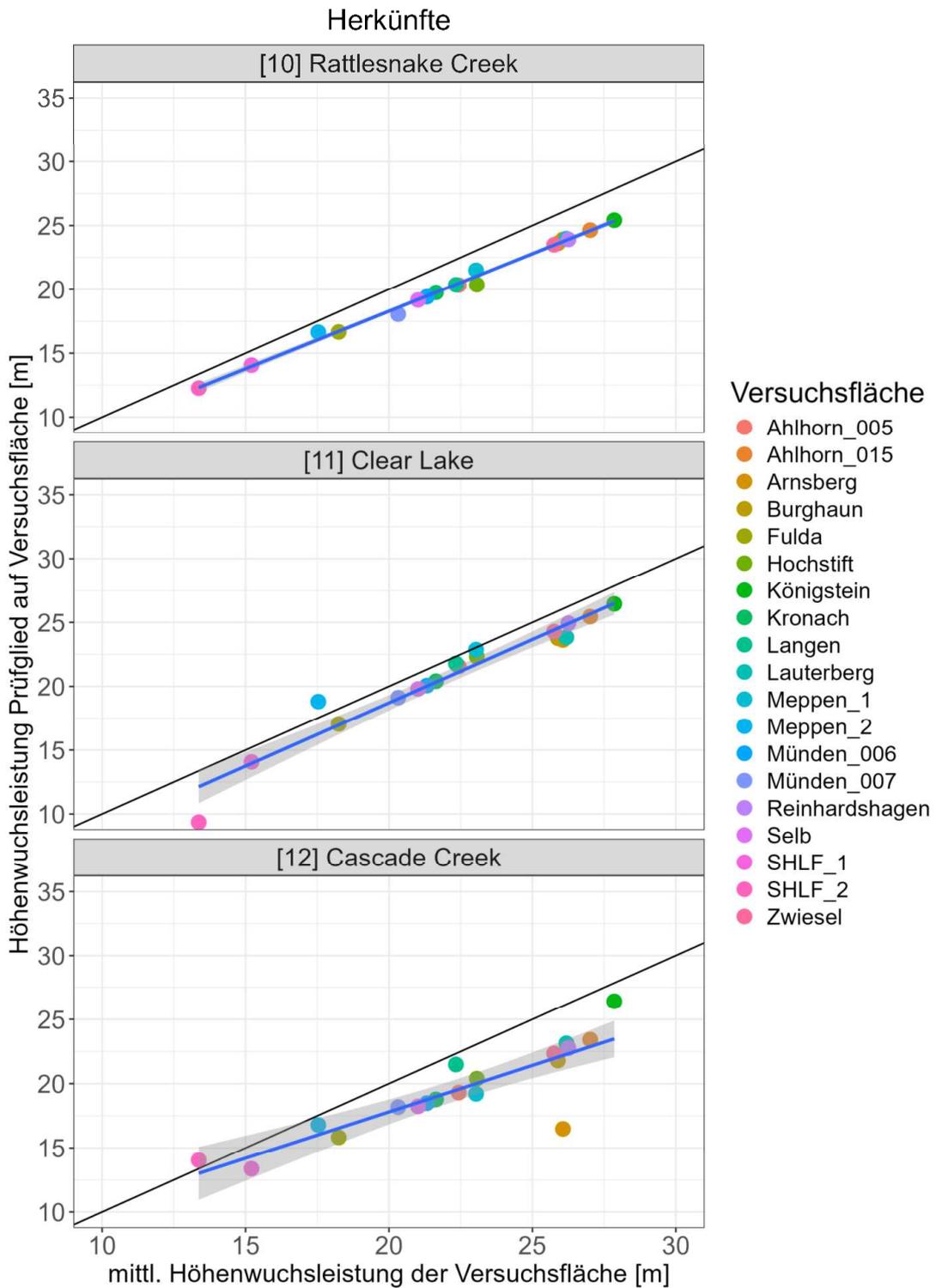


Abbildung 37: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 10,11,12 der IUFRO-Versuchsserie

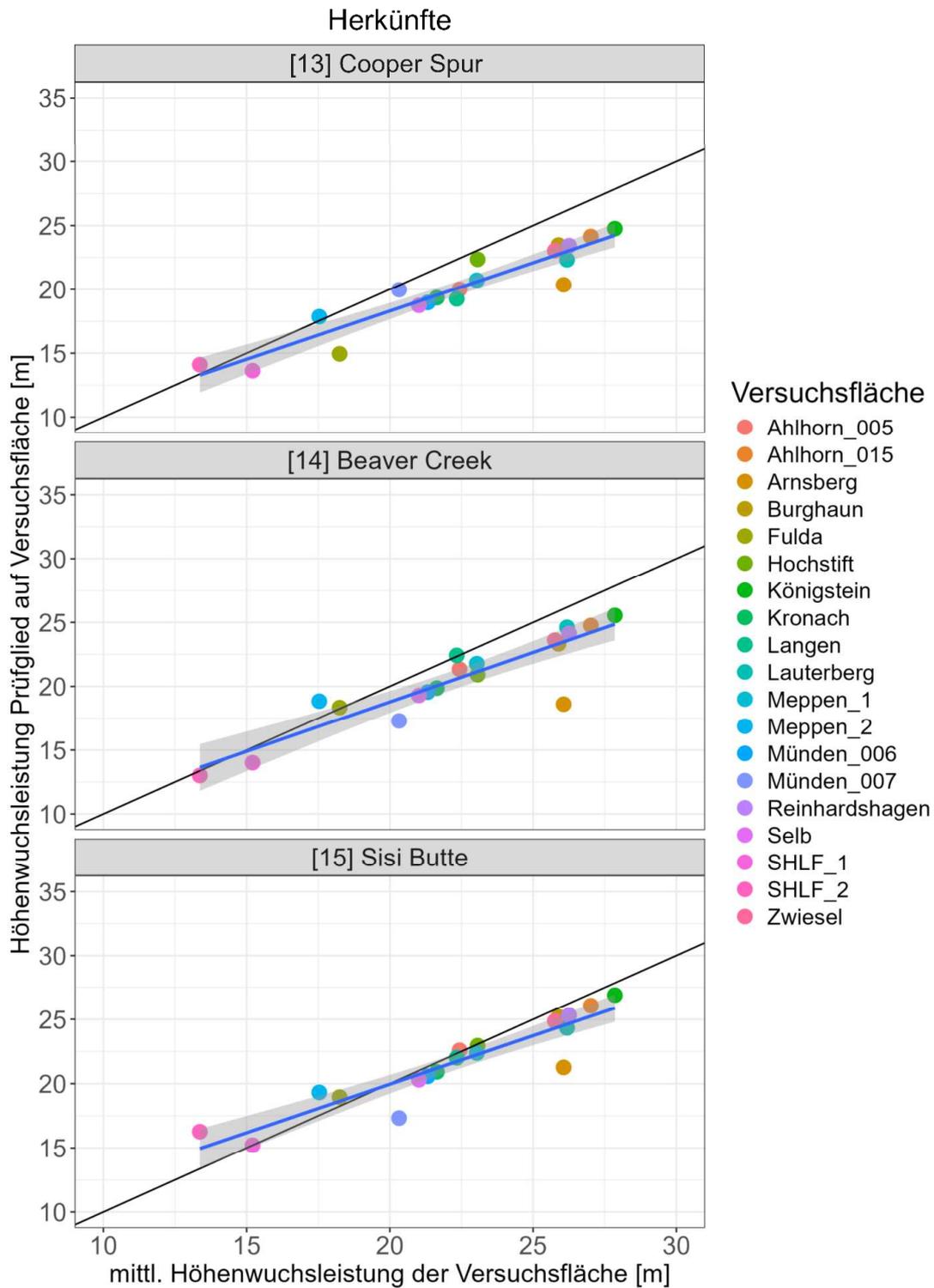


Abbildung 38: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 13,14,15 der IUFRO-Versuchsserie

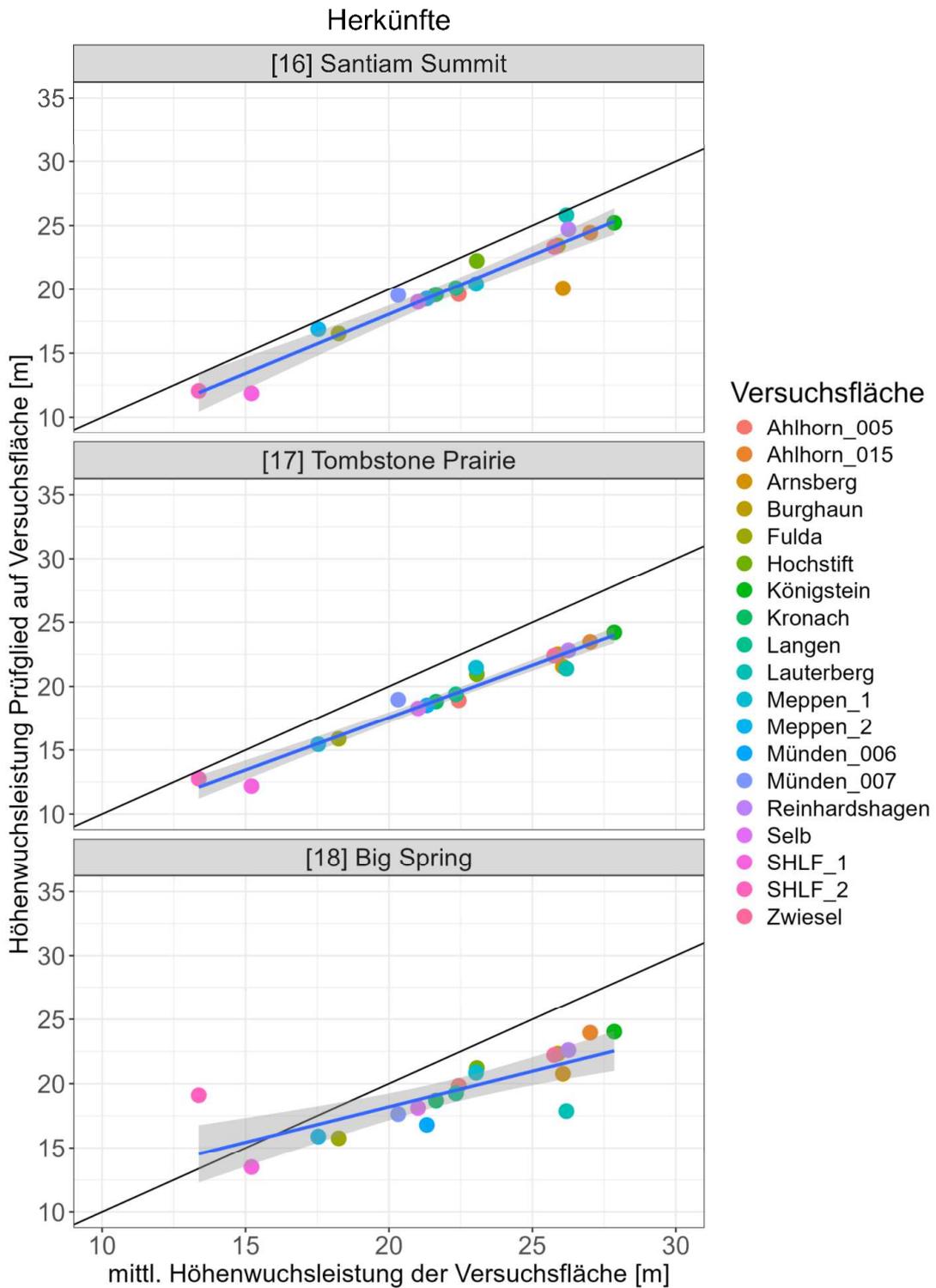


Abbildung 39: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 16,17,18 der IUFRO-Versuchsserie

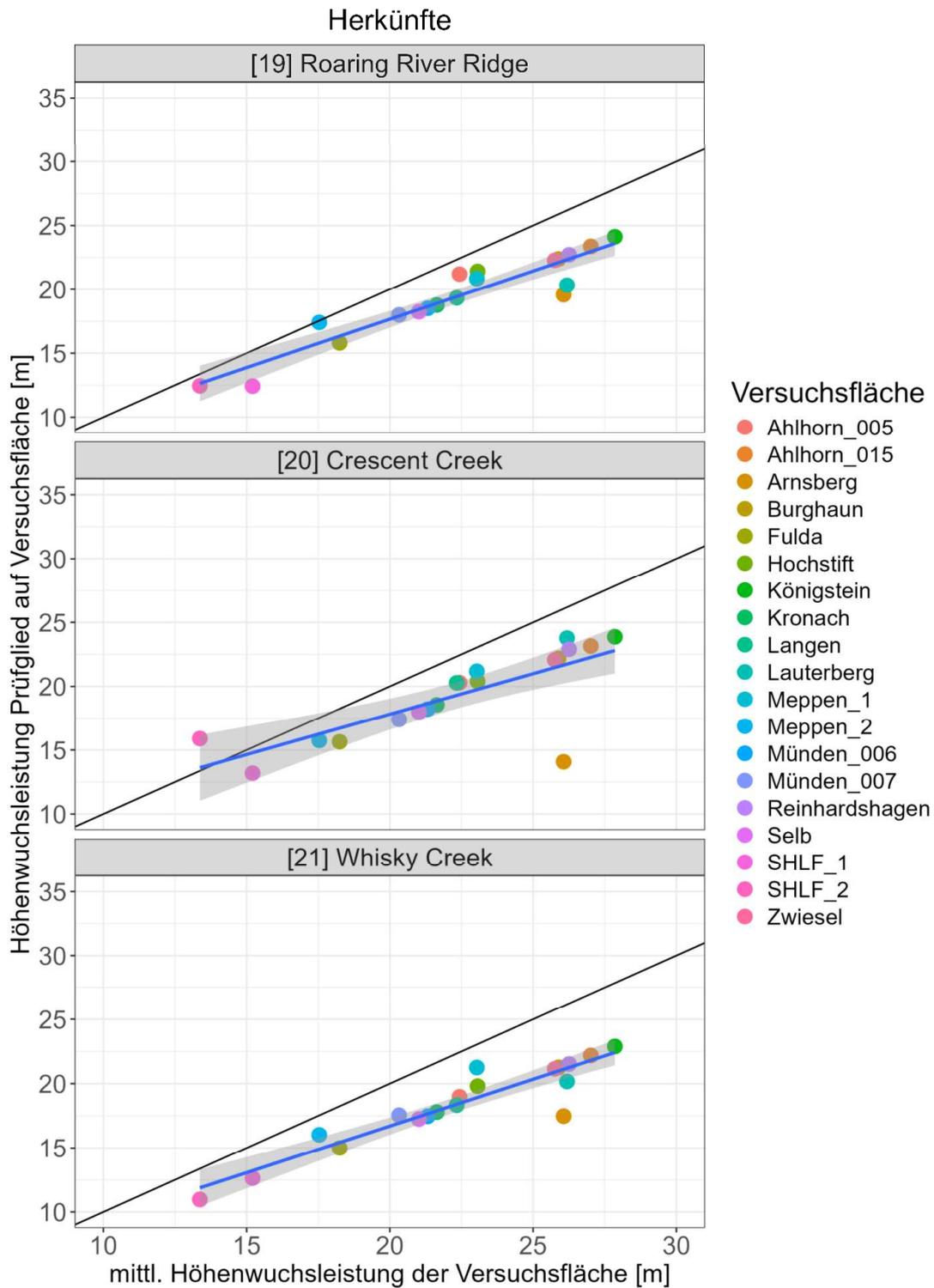


Abbildung 40: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 19,20,21 der IUFRO-Versuchsserie

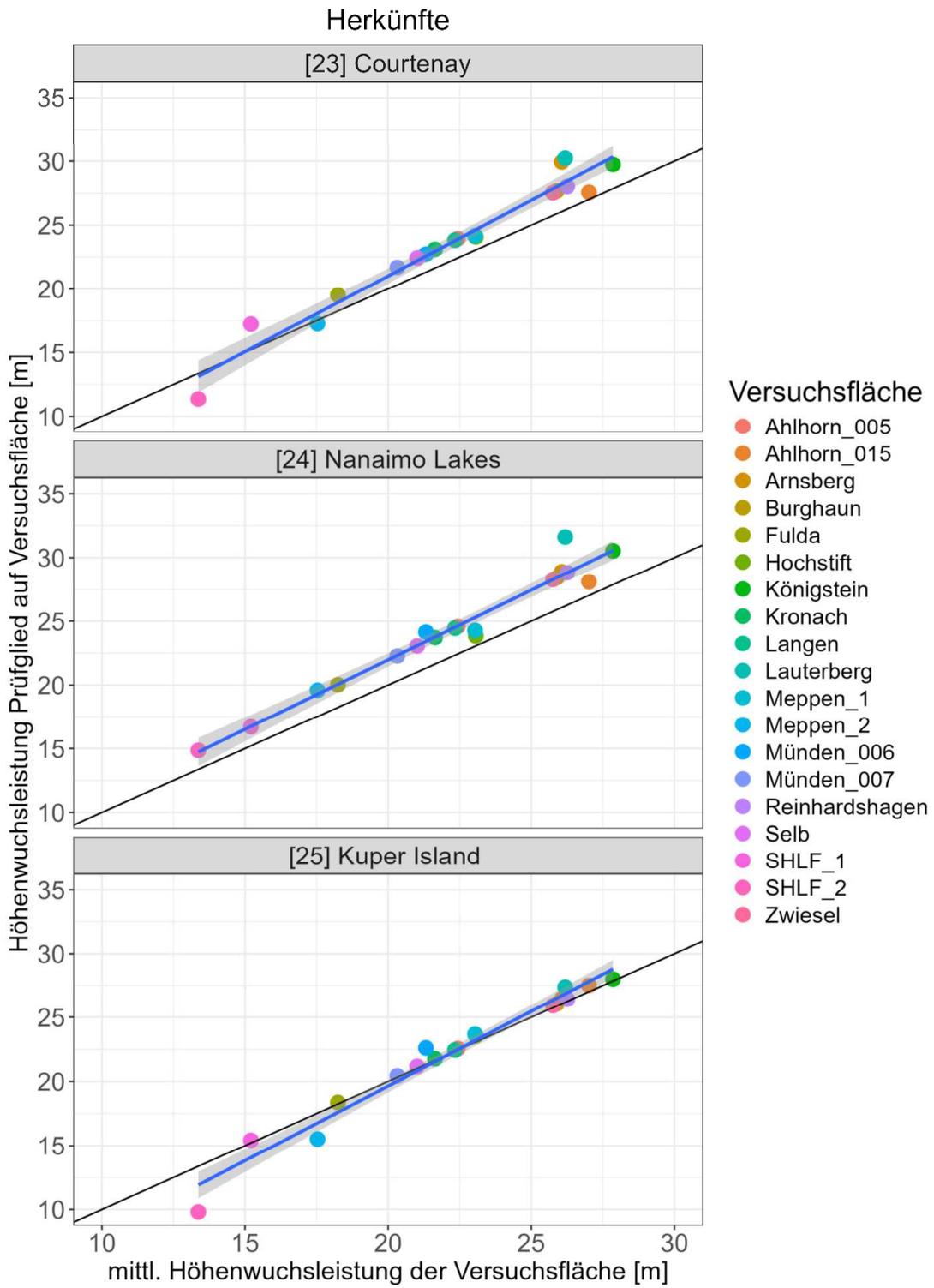


Abbildung 41: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 23,24,25 der IUFRO-Versuchsserie

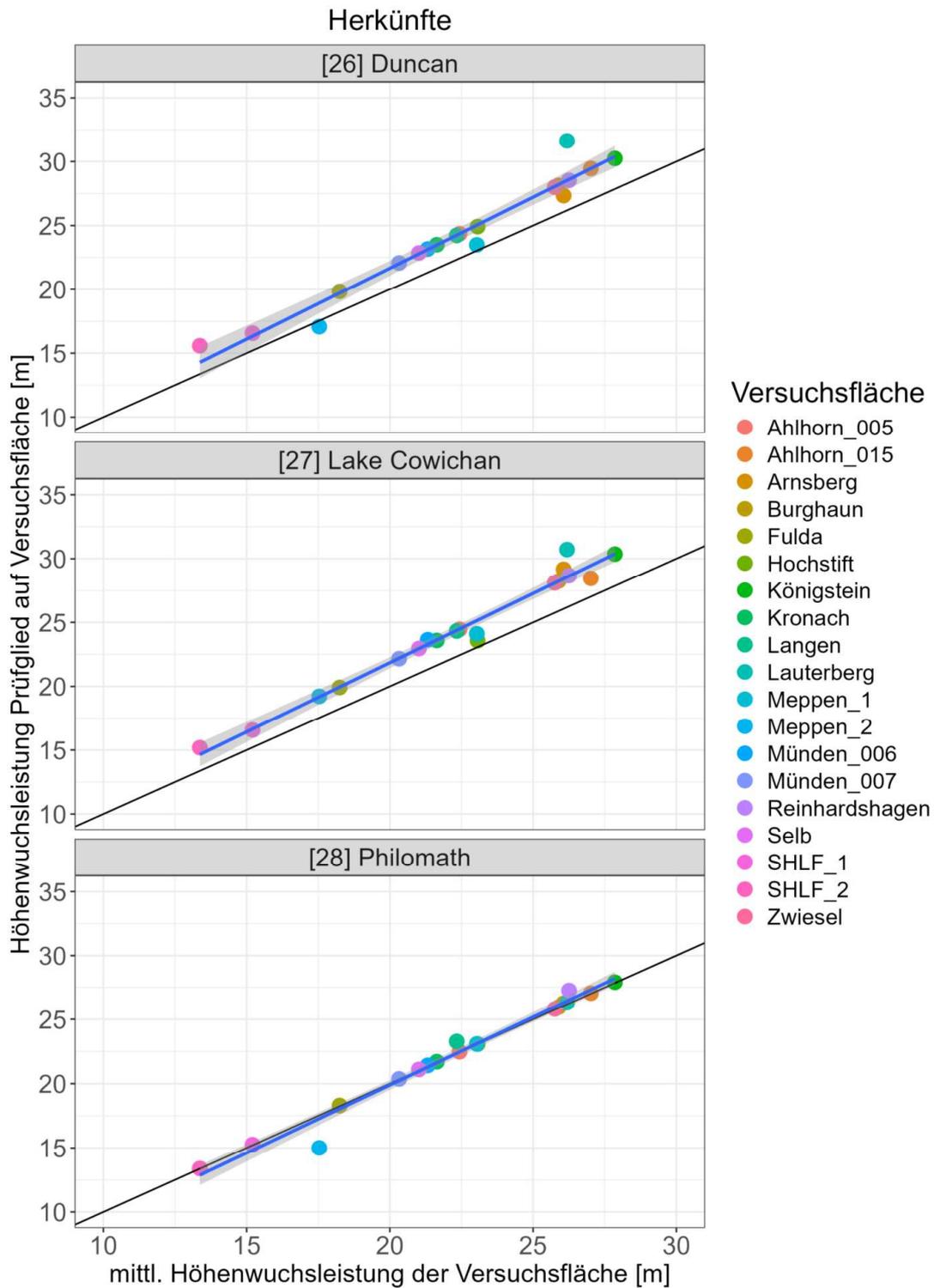


Abbildung 42: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 26,27,28 der IUFRO-Versuchsserie

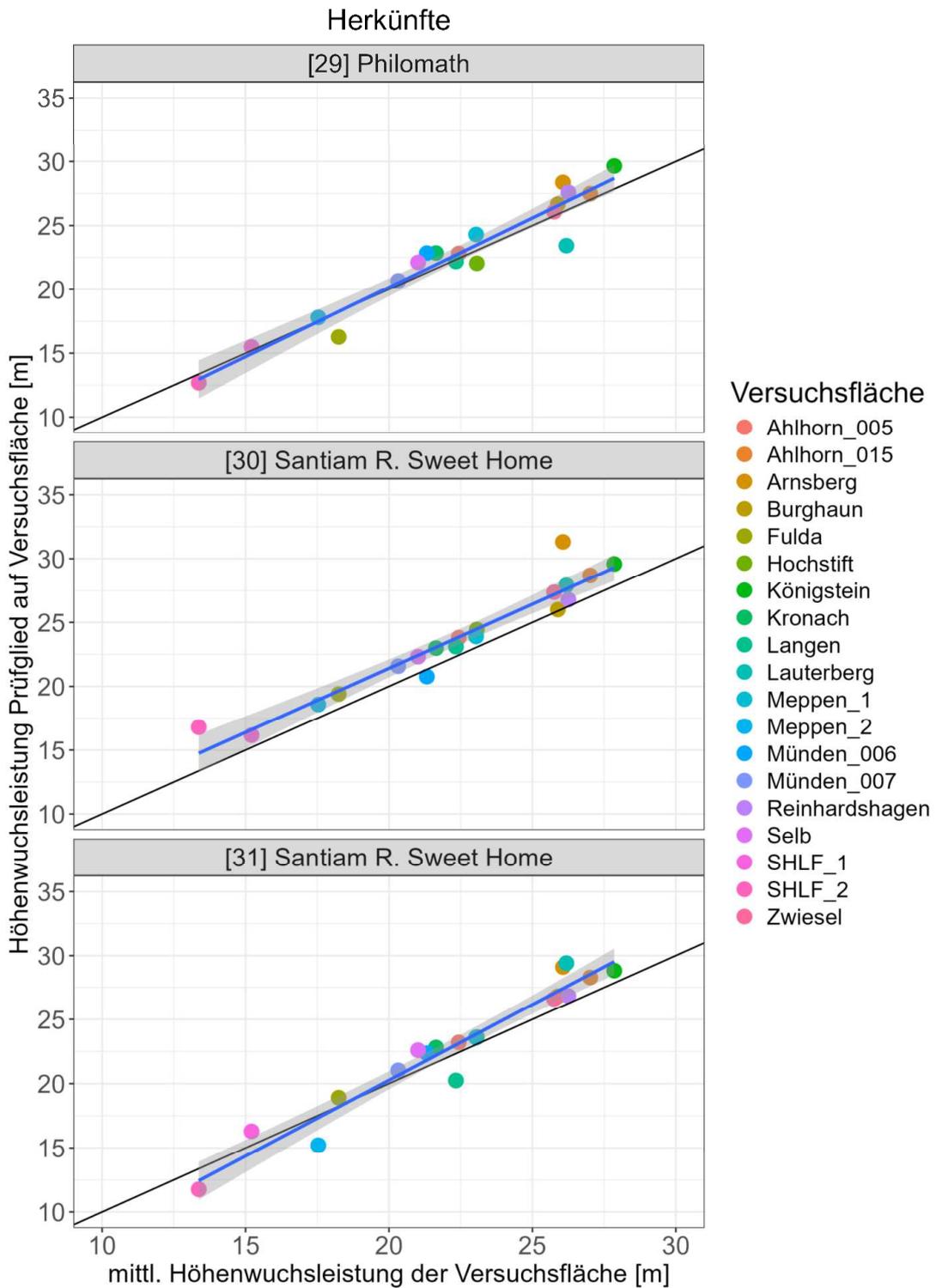


Abbildung 43: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 29,30,31 der IUFRO-Versuchsserie

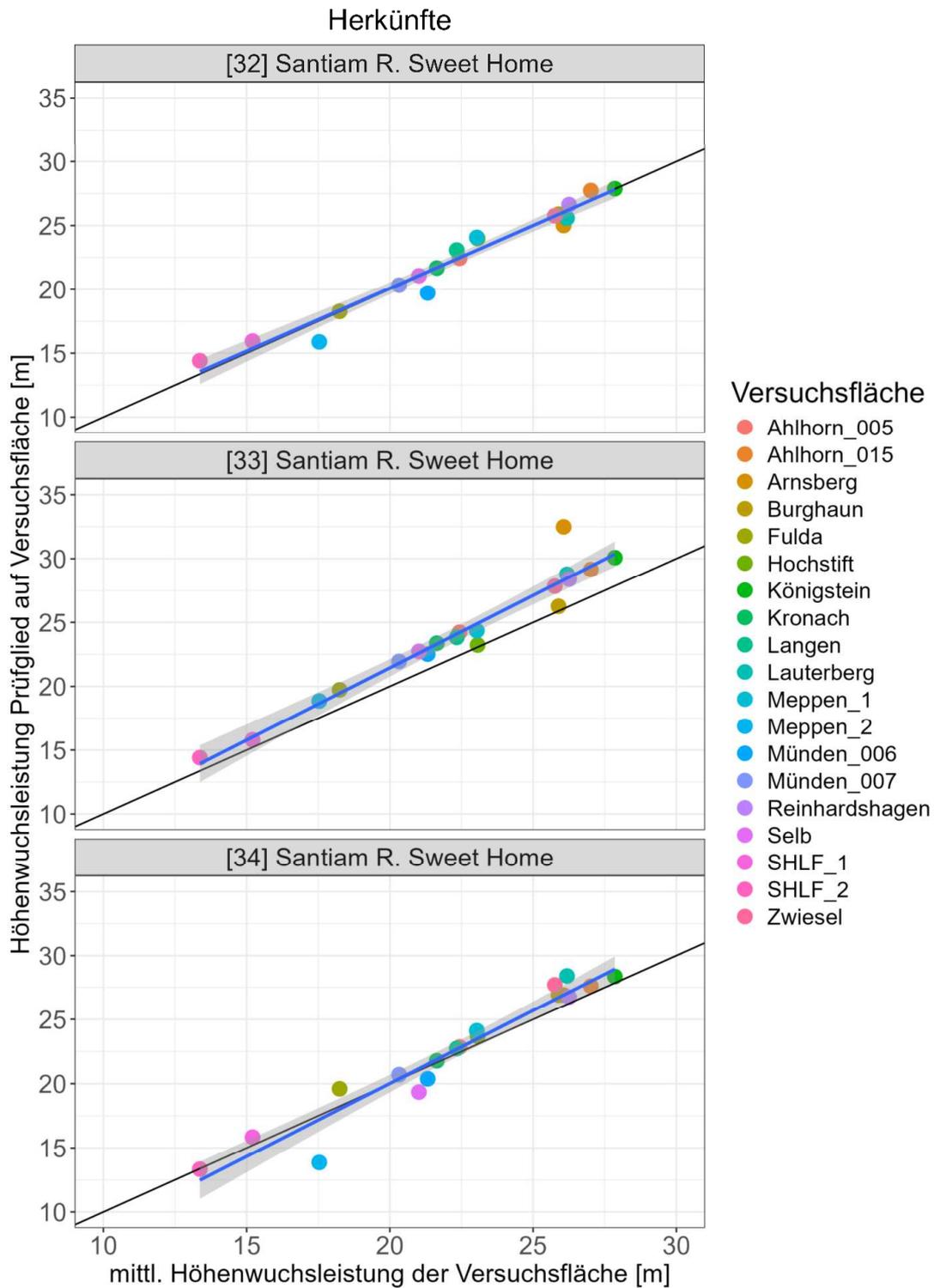


Abbildung 44: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 32,33,34 der IUFRO-Versuchsserie

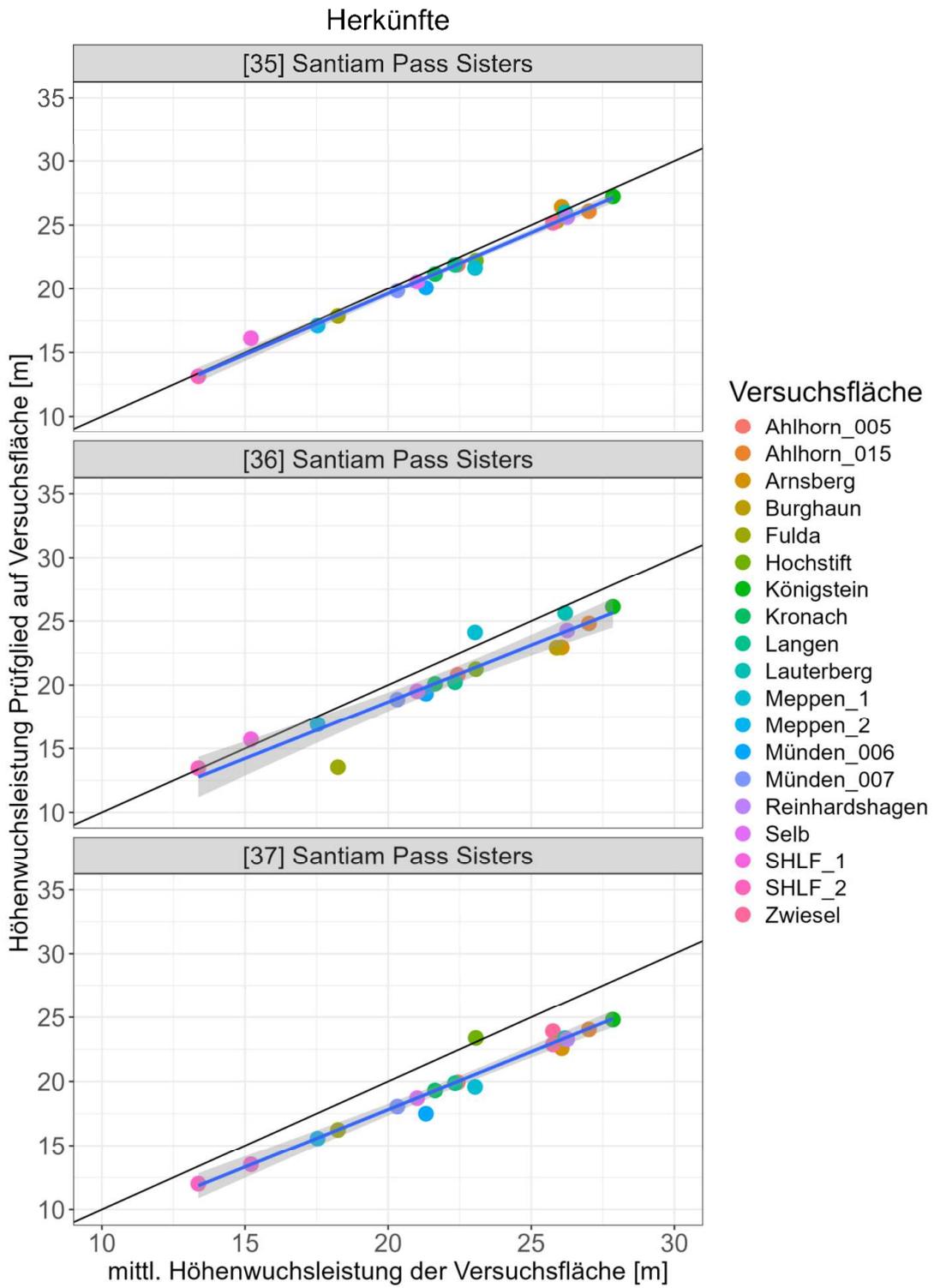


Abbildung 45: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 35,36,37 der IUFRO-Versuchsserie

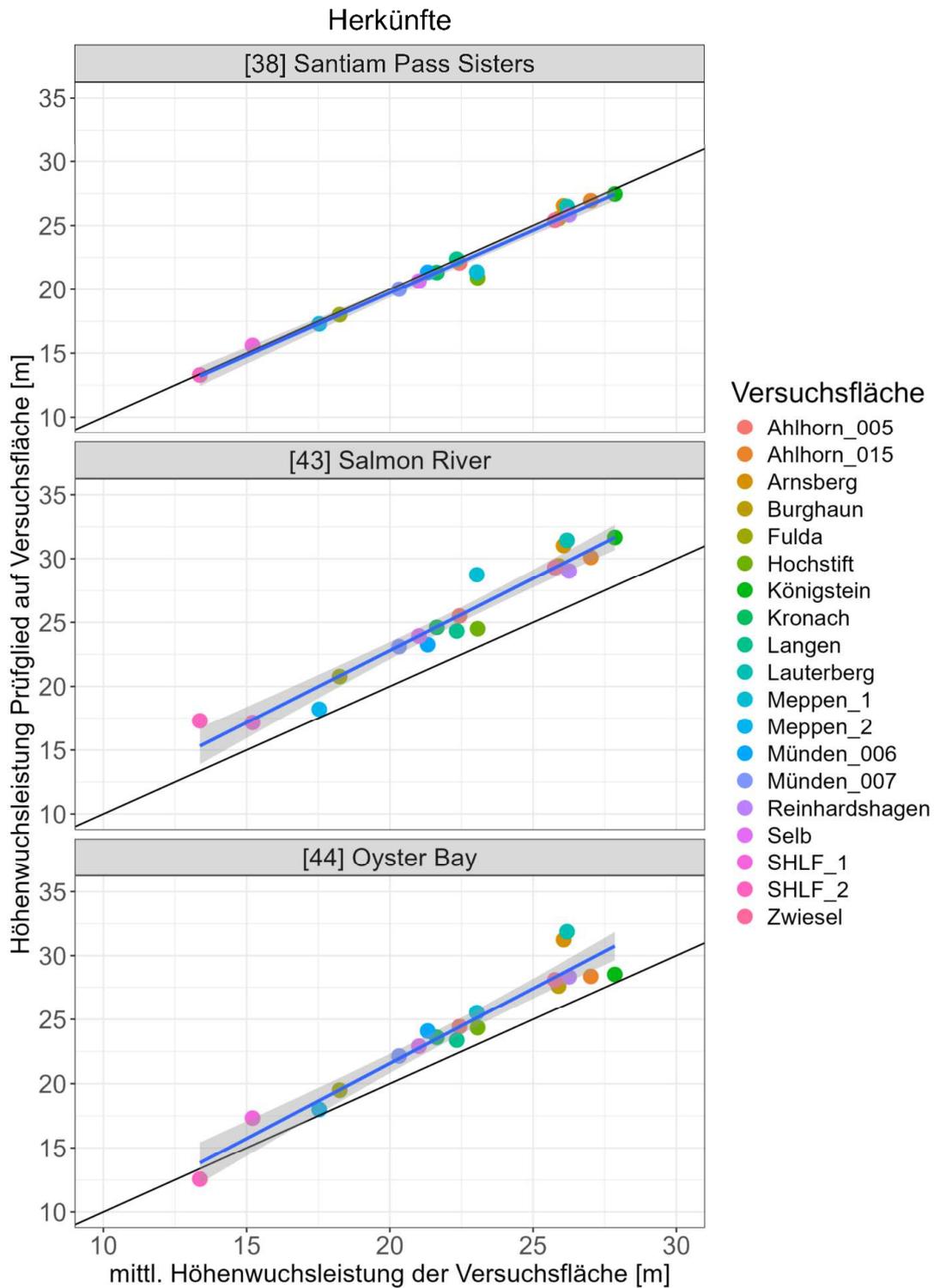


Abbildung 46: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 38,43,44 der IUFRO-Versuchsserie

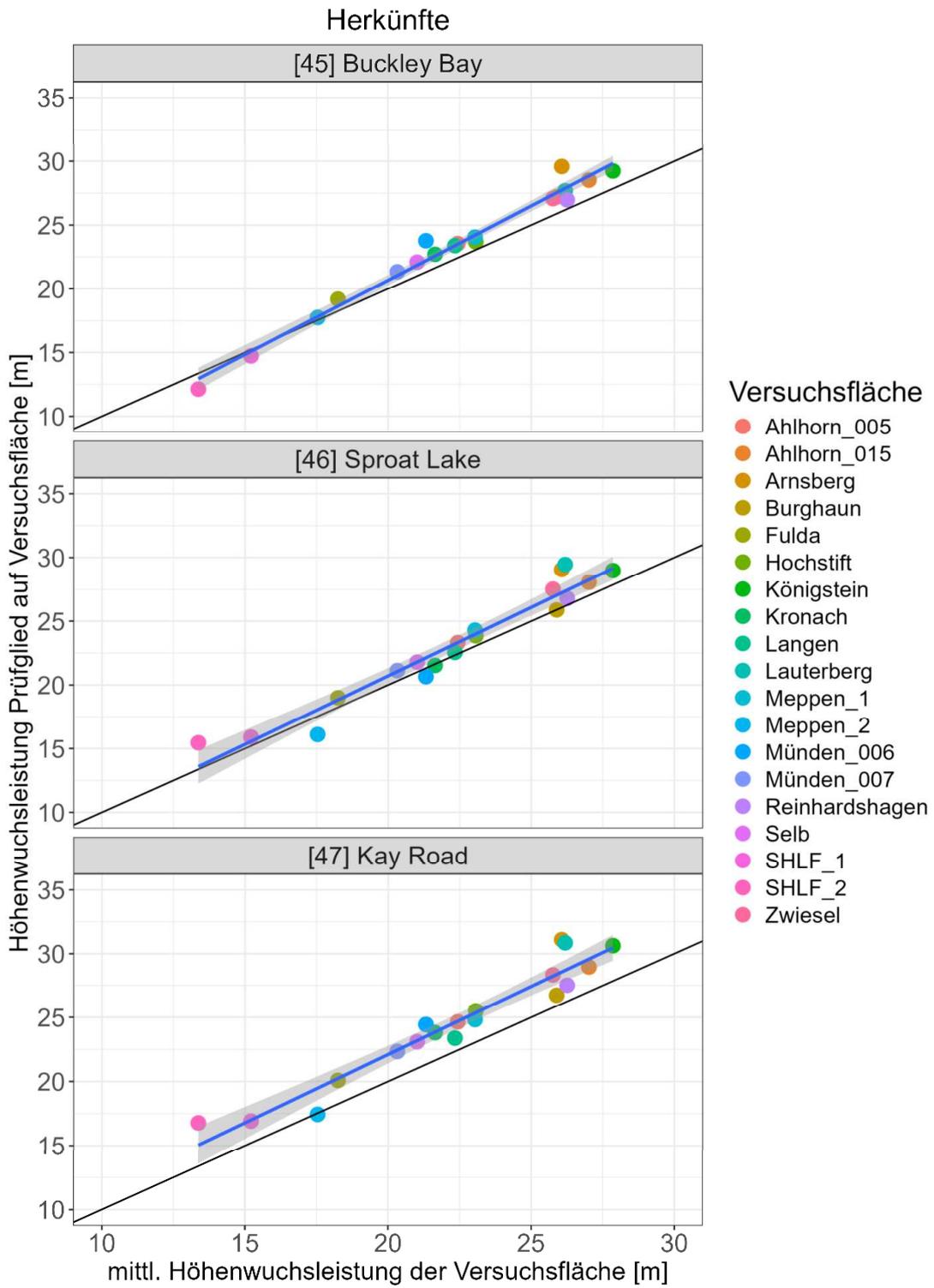


Abbildung 47: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 45,46,47 der IUFRO-Versuchsserie

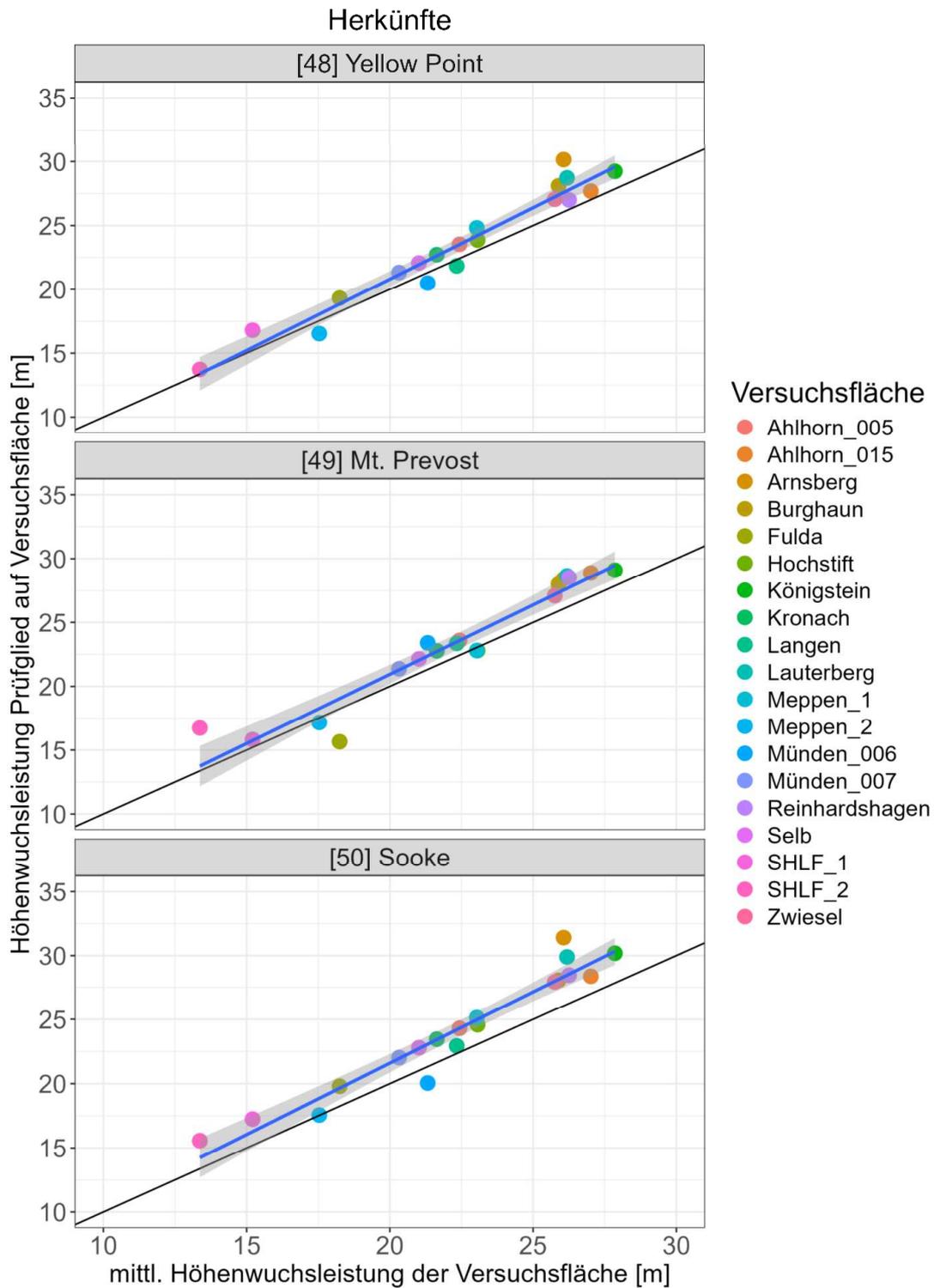


Abbildung 48: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 48,49,50 der IUFRO-Versuchsserie

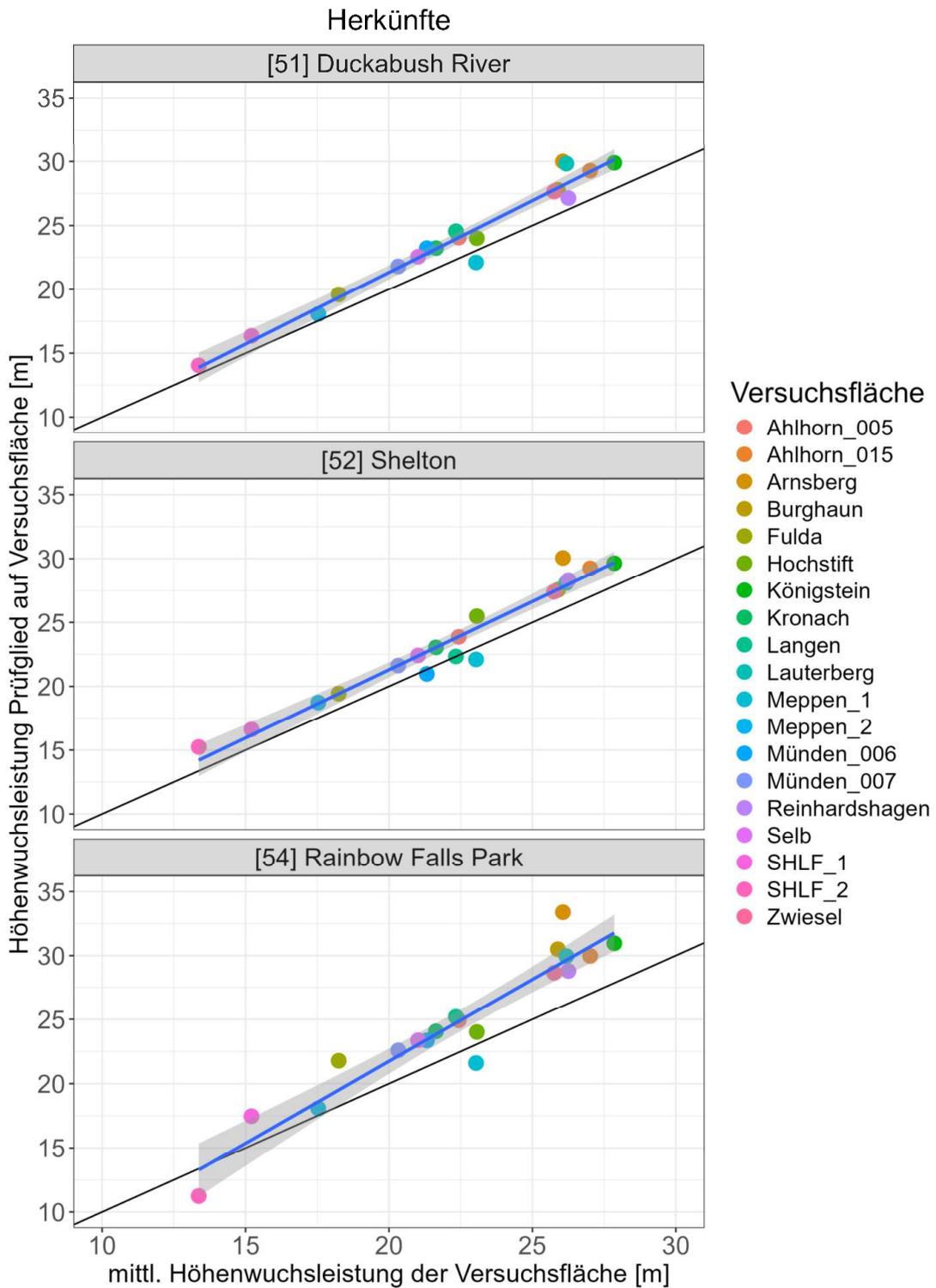


Abbildung 49: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 51,52,54 der IUFRO-Versuchsserie

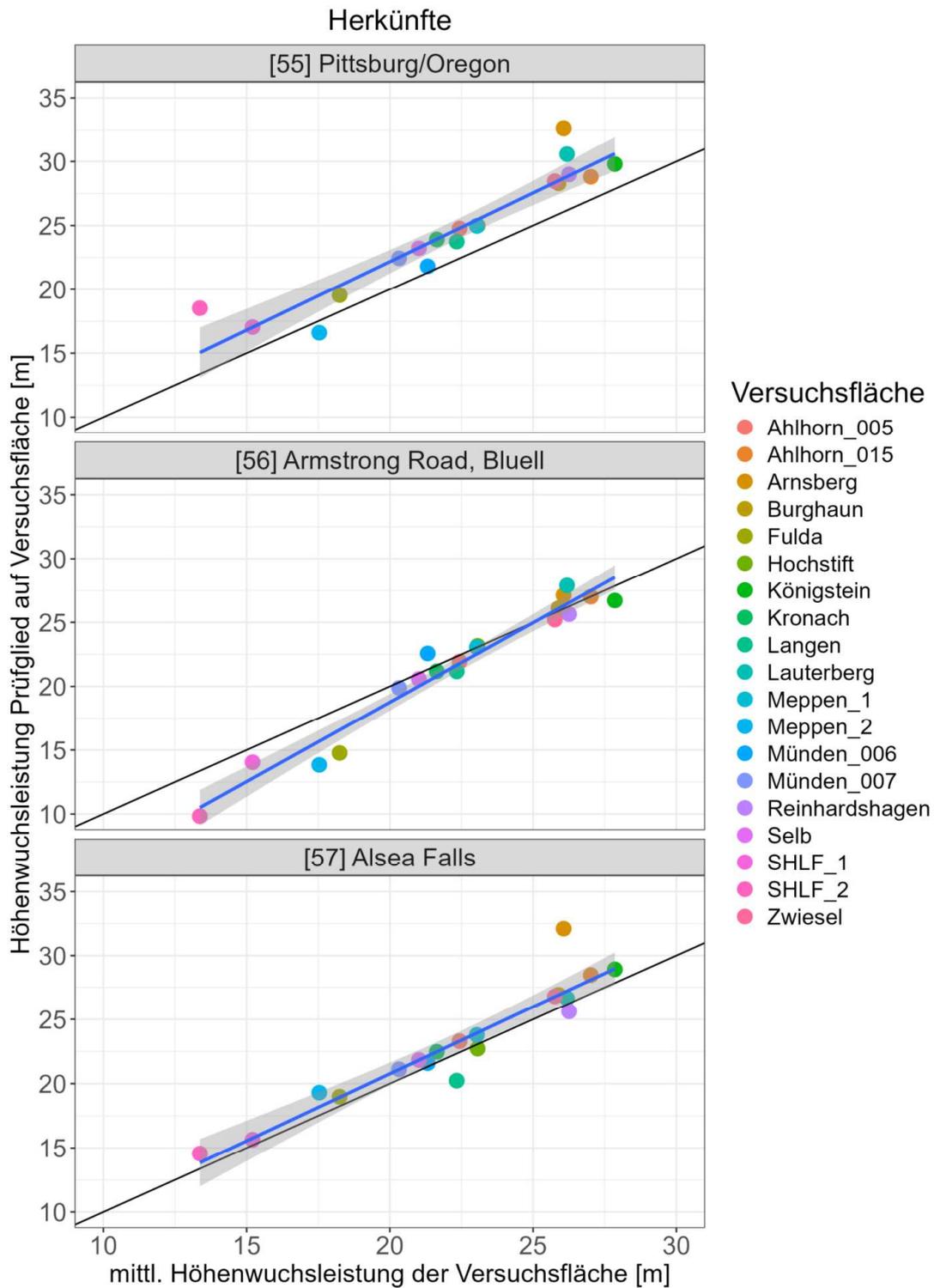


Abbildung 50: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 55,56,57 der IUFRO-Versuchsserie

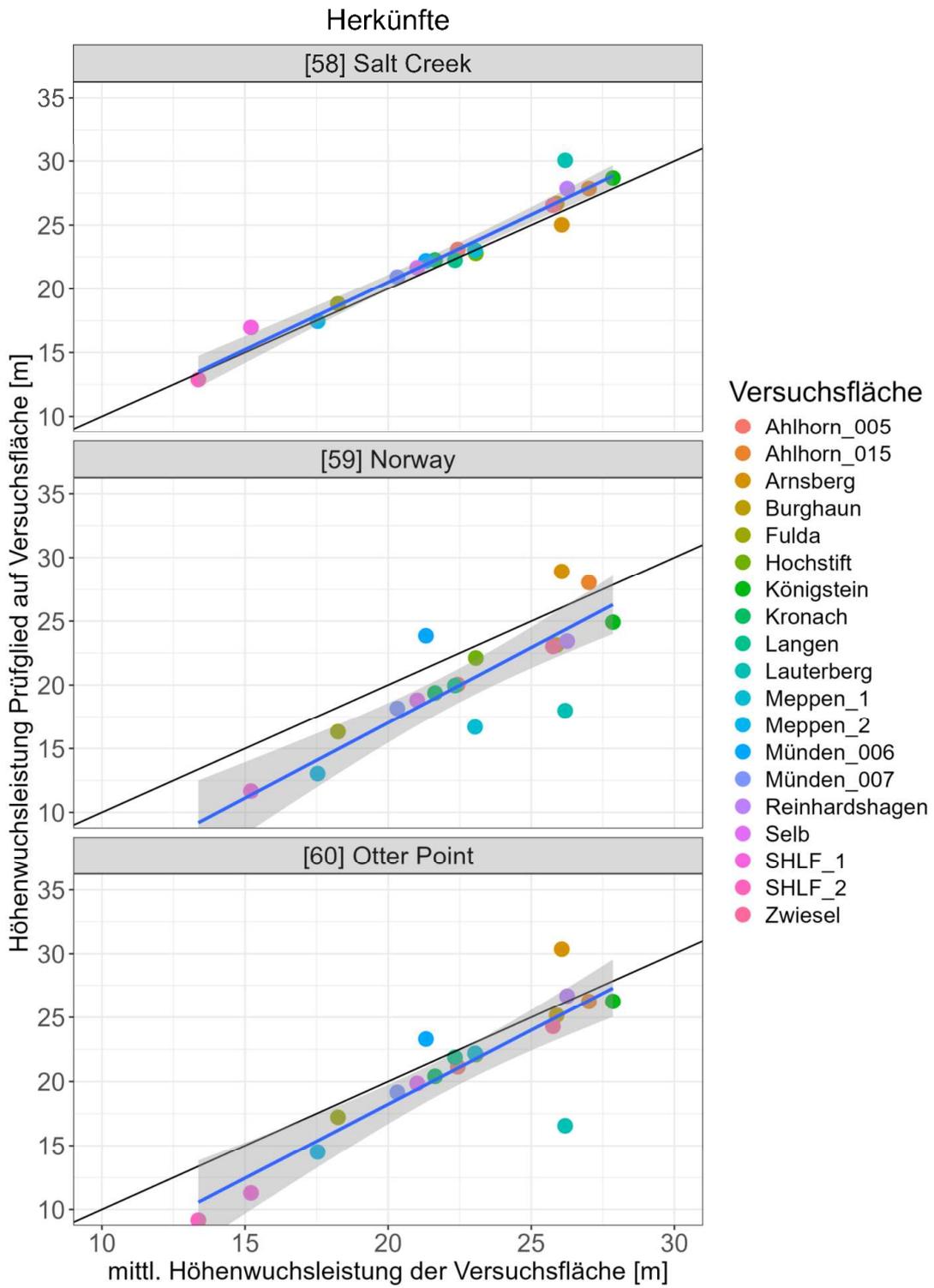


Abbildung 51: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 58,59,60 der IUFRO-Versuchsserie

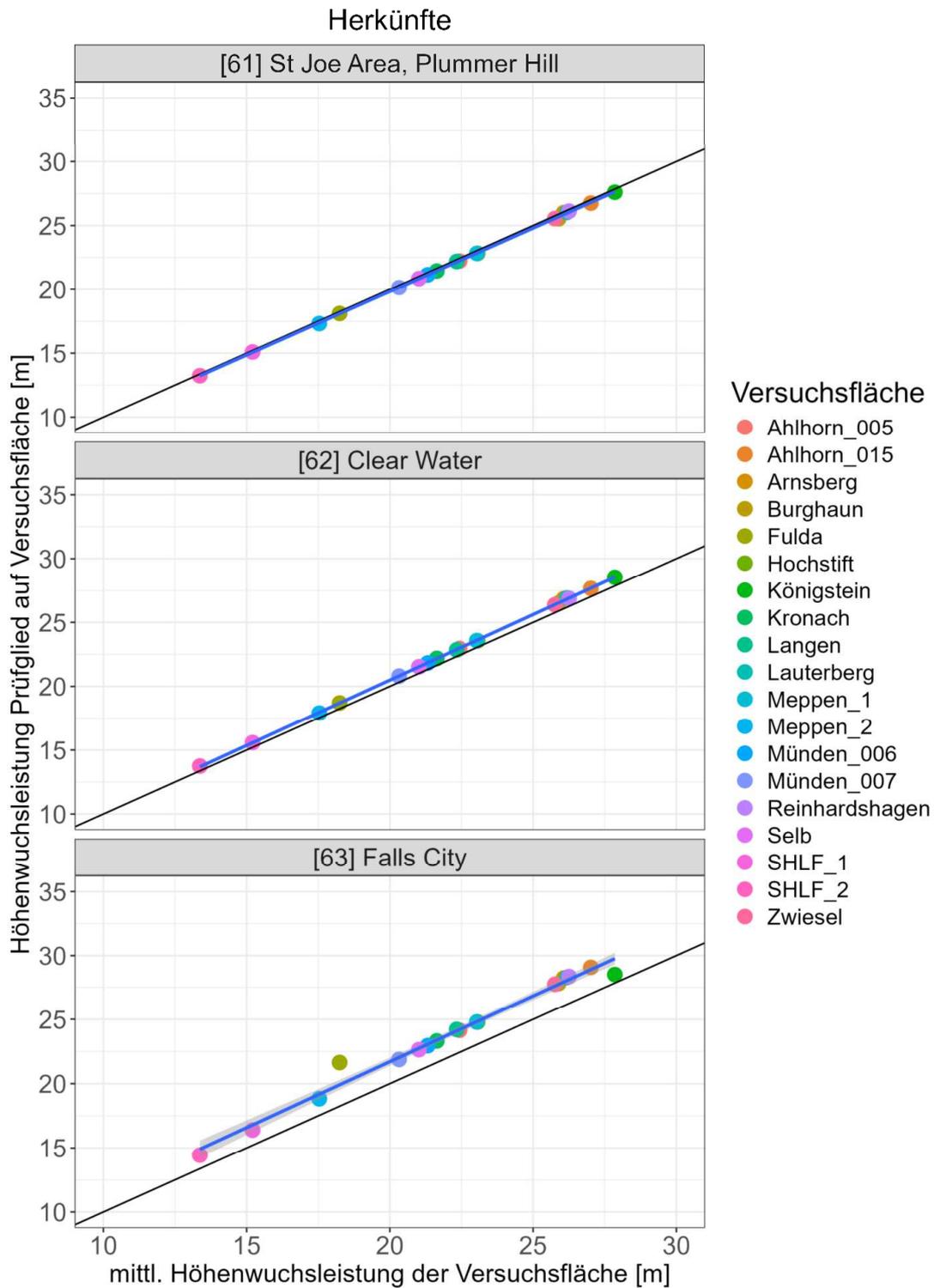


Abbildung 52: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 61,62,63 der IUFRO-Versuchsserie

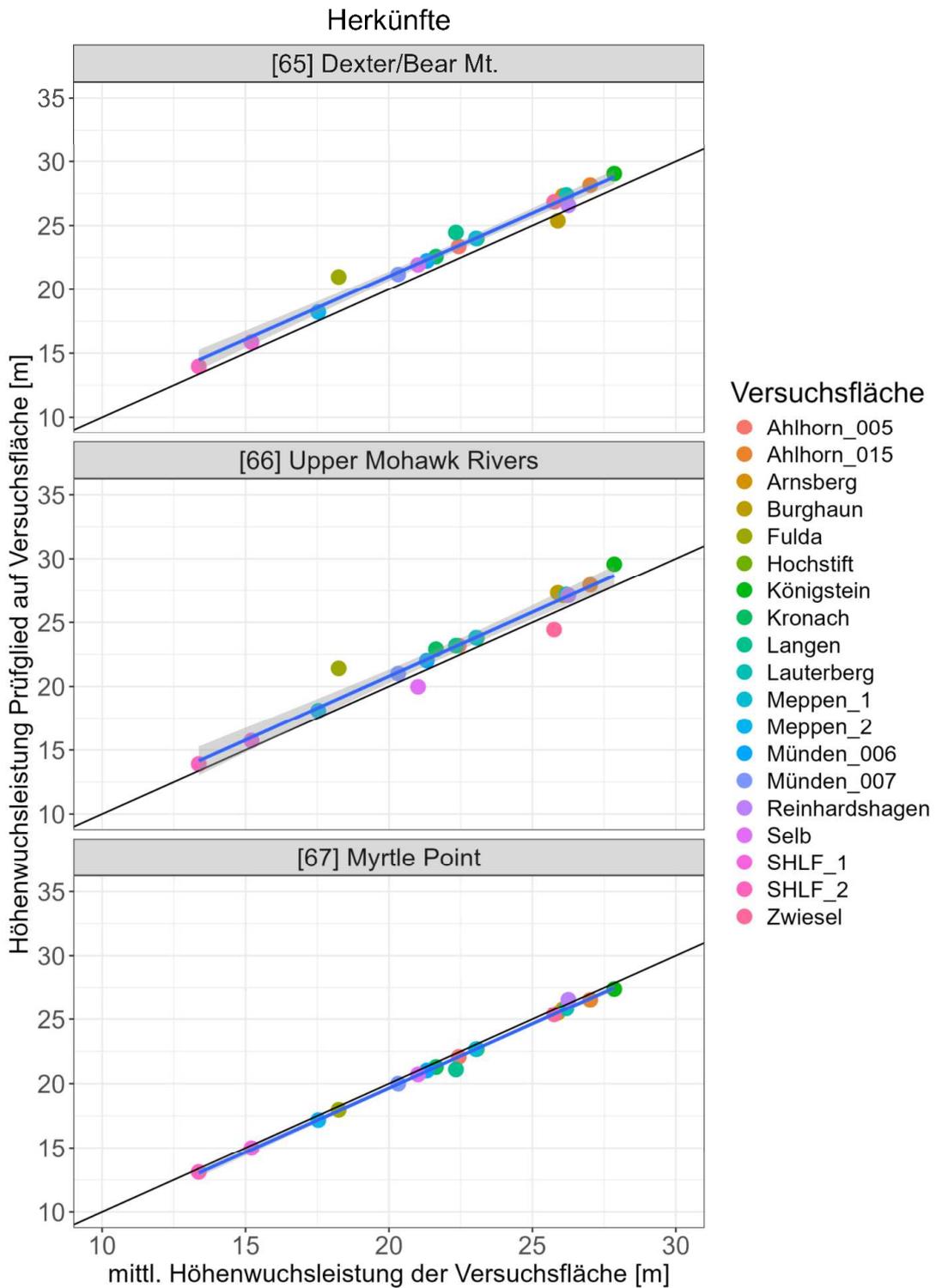


Abbildung 53: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 65,66,67 der IUFRO-Versuchsserie

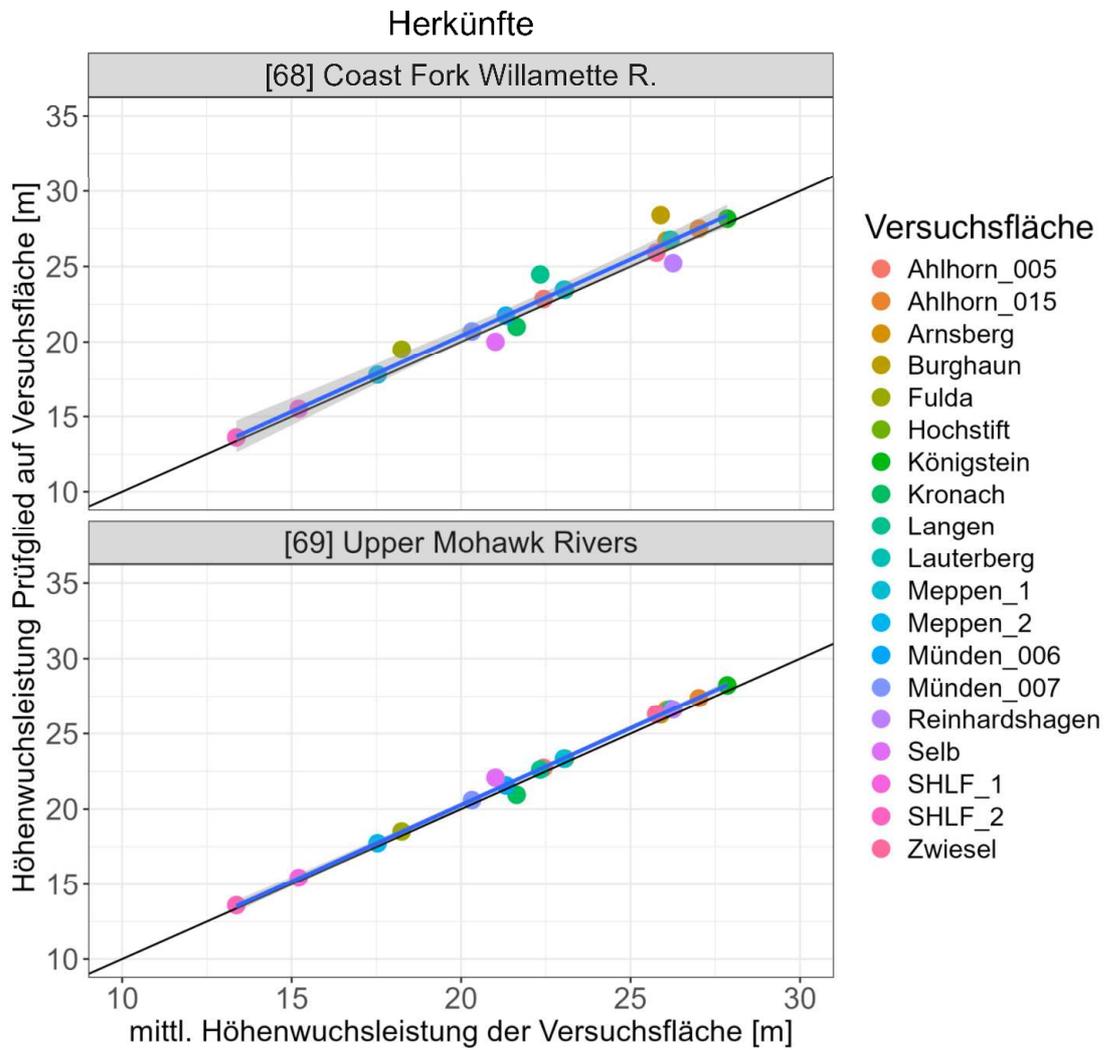


Abbildung 54: Finlay-Wilkinson Regression für die Herkünfte 68,69 der IUFRO-Versuchsserie