

Nachweis der Herkunft von Saatgutpartien des Bergahorns, der Fichte und der Weißtanne mit Hilfe stabiler Isotopen

Karl Gebhardt, Monika Konnert, Hilmar Förstel

Zusammenfassung

Der Nachweis der Authentizität von Saatgutpartien bildet die Grundlage für die privatrechtliche Zertifizierung und dient im Kontrollfall der Aufdeckung von Verstößen gegen das Forstvermehrungsgutgesetz. Es wird eine weitgehend fälschungssichere Methode vorgestellt, die es ermöglicht Saatgutpartien anhand ihrer Stabilisotopensignaturen ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) zu vergleichen. Der Vergleich erlaubt eine Prüfung von Einzelfällen mit Hilfe einer multivariaten Diskriminanzanalyse. Dabei wird für jeden Einzelfall eine statistische Wahrscheinlichkeit für die Richtigkeit der Zuordnung ausgewiesen. Am Beispiel von Beständen des Bergahorns, der Fichte und der Weißtanne wird gezeigt, dass zwischen den Ernten aus diesen Beständen signifikante Unterschiede der Deltawerte verschiedener stabiler Isotopen bestehen und die Zuordnung von Einzelbaumernten aus einem Bestand mit geringen mittleren Fehlerraten (0 bis 12 %) pro Bestand durch Kreuzvalidierung mit Hilfe von Diskriminanzfunktionen möglich ist.

Schlagwörter: Bergahorn, Fichte, Weißtanne, Stabilisotopen, Diskriminanzanalyse, Zertifizierung

Proof of the origin of seed lots of sycamore, Norway spruce and white fir trees by analysis of stable isotopes

Abstract

The proof of the authenticity of seed lots is the basis for the privately organized certification and is used in the control case, the discovery of violations of the Act on forest reproductive material (Forstvermehrungsgutgesetz, FoVG) in Germany. A largely forgery-proof method is described, which allows to compare seed lots based on their stable isotopic signatures ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$). This comparison allows an examination of individual cases with the help of a multivariate discriminant analysis. With this method for each individual case, a statistical probability for the accuracy of the assignment is proven. For different stands of sycamore, Norway spruce and white fir it is shown that between the harvest of the stands significant differences in the delta values of different stable isotopes exist. The assignment of individual tree seed crops to the harvest was possible by the use of discriminant functions with cross validation and resulted in low mean error rates (0 to 12%) per stand.

Key words: sycamore, Norway spruce, white fir, stable isotopes, discriminant analysis, certification

Einleitung

Herkunftsversuche und genetische Analysen haben vielfältige Unterschiede zwischen den untersuchten Herkünften ergeben, die sich teils mit der standörtlichen, ökologischen und geographischen Differenzierung sowie mit der Verbreitungs- und Bestandesgeschichte erklären lassen.

Den in Herkunftsversuchen deutlich gewordenen Unterschieden in Stamm- und Kronenform sowie in der Anpassung an klimatische Verhältnisse muss durch die Herkunftswahl entsprechend den gültigen

Herkunftsempfehlungen der Länder bei allen Baumarten Rechnung getragen werden um insbesondere Schäden durch Trockenheit, Frost und Schneebruch vorzubeugen.

Das hohe Ernteaufkommen aus süddeutschen Beständen (Bayern und Baden-Württemberg) der drei untersuchten Baumarten (Tab. 1), belegt die Bedeutung dieser Arten für die Forstwirtschaft, den Saatguthandel und für die Pflanzenanzucht im weiteren Produktionsprozess.

Tabelle 1: Süddeutsches Ernteaufkommen des Erfassungszeitraumes 1.7.2006 bis 30.6.2007 nach Angaben der BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung)

Table 1: Seed production in Southern Germany during the course of 1.7.2006 till 30.6.2007, according to statistic data from BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung)

Baumart	Samenmenge [kg]	Anteil am Ernteaufkommen der BRD	Beerntete Herkunftsgebiete
<i>Abies alba</i> Mill. - Weißtanne	5513,6	60 %	827.. 06, 07, 08, 10, 11, 12
<i>Acer pseudoplatanus</i> L. - Bergahorn	5308,0	46,5 %	801.. 04, 06, 08, 09, 10, 11
<i>Picea abies</i> Karst. - Fichte	402,7	44,5 %	840.. 17, 18, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29

Mit der Sicherstellung von Referenzproben aus dem Ernteprozess, wie es von den Zertifizierungssystemen ZüF (KONNERT & HUSSENDÖRFER 2002) und FfV (HAASE et al. 2007) operationalisiert ist oder im Einzelfall durch die amtliche Kontrolle veranlaßt wird, ist es nun möglich auch Saatgutpartien, die sich im Handel befinden oder eingelagert wurden auf ihre Identität hin zu überprüfen. Solche Saatgutpartien der dem FoVG unterliegenden Baumarten müssen durch ein Stammzertifikat bzw. einen Lieferschein mit Stammzertifikatsnummer gekennzeichnet sein. Das Formular enthält neben den Angaben zur Saatgutquelle (Anzahl der Einzelbäume)

bzw. dem Erntebestand auch Angaben zur Erntemenge, zum Reifejahr, Ernteverfahren, Empfänger und Lieferanten.

Wenn Saatgutmischungen hergestellt werden, müssen die Mischungsanteile mit ihren Stammzertifikatsnummern benannt und es muss ein eigenes Stammzertifikat für die Mischung beantragt werden.

Wie von KONNERT et al. (siehe S. 85) ausgeführt, sind Prüfungen der Identität von Saatgutpartien und Referenzproben mit genetischen Methoden oder mit der Stabilisotopenmethode (BONER & FÖRSTEL 2001) möglich. Voraussetzung bleibt

allerdings ein nachzuweisender genetischer Abstand oder gesicherter Unterschied zwischen den gehandelten Saatgutpartien aus unterschiedlichen Beständen (Abb. 1).

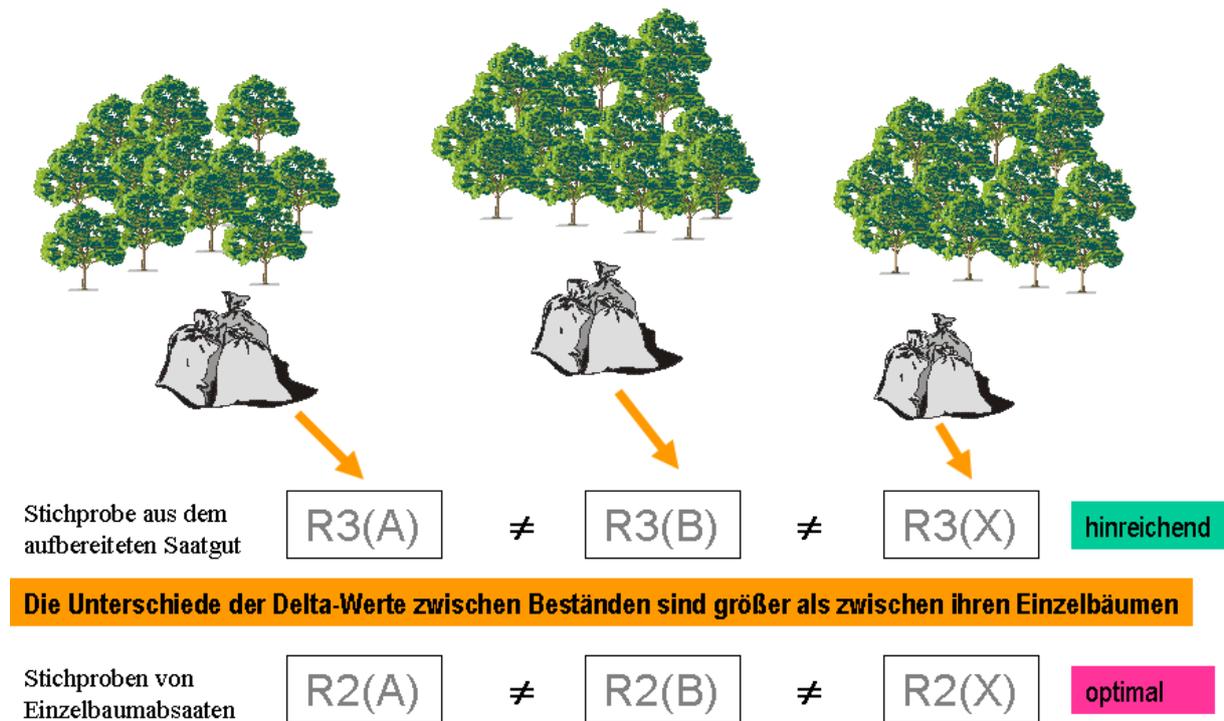


Abb. 1: Unterscheidung von Herkunft mit Bestandesmischungen und Einzelbaumabsaaten (R2)
 Fig. 1: Discrimination of provenances using seed mixtures of stands or single trees harvest (R2)

Die Zugehörigkeit fraglicher Saatgutpartien zu Referenzproben mit gleicher Stammzertifikatsnummer muss im Einzelfall so geprüft werden, dass für die Richtigkeit der Aussage eine Wahrscheinlichkeit in Prozent benannt werden kann. Mit dieser Arbeit soll gezeigt werden, dass es möglich

ist anhand der Stabilisotopensignaturen (Delta-Werte) die Einzelbaumernten von je drei Bergahorn- und Fichten- sowie zwei Weißtannenbeständen der jeweiligen Erntepartie (bescheinigt durch ein Stammzertifikat) zuzuordnen.

Material und Methoden

Es wurden die in Tabelle 2 bezeichneten Bestände einzelbaumweise beerntet und so genannte R2-Proben (s. KONNERT et al. S. 85) für die Analysen der Stabilisotopen an die Firma Agroislab vorgetrocknet übersandt.

Analytik

Nach Angaben von KEHR (2007) wurden die Samen mit Samenschalen vor der Analyse homogenisiert und mit dem apolaren Lösungsmittel Dichlormethan in einer Soxhlett-Apparatur fettextrahiert. Für die IRMS-Analysen (Isotope Ratio Mass Spectrometry) wurden je 2-2,5 mg des extrahierten Probenmaterials in Zinnhülsen eingewogen und für die Bestimmung von

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ und $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ bei 1000°C verbrannt. Als Feststoffstandard für ^{13}C und ^{15}N wurde Leucin, zur Schwefelbestimmung ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) Cystein verwandt. Die Bestimmung der Isotopenverhältnisse von $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ erfolgte in einer gekoppelten Messung nachfolgend der Bestimmung des D/H-Verhältnisses. Dazu wurden 1,7 -2,0 mg Probenmaterial in Silberkapseln eingewogen und die Proben unter Verwendung einer Hochtemperatur-Pyrolyse verascht. Sauerstoff wird dabei mit Kohlenstoffüberschuss in Kohlenmonoxid überführt. Eine nähere Beschreibung der Analytik und der verwendeten Abkürzungen findet sich bei BONER und FÖRSTEL (2004) und BONER (2005). Die Delta-Notation (δ) der Isotopenverhältnisse R folgt der international üblichen Definition:

$$\delta_{S/R} = [(R_S / R_R) - 1] * 10^3 [\text{‰}]$$

R_S = Isotopenverhältnis der Probe

R_R = Isotopenverhältnis des Standards

Die Werte werden auf SMOW, PDB, Luft- N_2 und CDT bezogen angegeben und sind gegen Standardmaterialien der Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) / Wien kalibriert worden. In der statistischen Auswertung werden die Isotopenverhältnisse mit ihren Massen wie folgt bezeichnet D/H als DE_2_1, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ als DE_13_12, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ als DE_18_16 und $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ als DE_34_32 sowie $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$ als DE_Luft.

Statistik

Alle Messwerte wurden varianzanalytisch mittels der GLM-Prozedur des Statistikprogramms SAS geprüft. Unterschiede der Mittelwerte wurden nach einem REGWQ-Test klassifiziert. Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich im REGWQ-Test auf dem 5 %-Niveau nicht-signifikant. Im Box-Plot ist das arithmetische Mittel als Punkt, das obere und untere Quartil, der Median sowie die Spannweite dargestellt. Die weitere Auswertung erfolgte mittels der SAS-Prozeduren Corr (Korrelationsanalyse), Stepdisc (schrittweise Diskriminanzanalyse) und Discrim (Diskriminanzanalyse).

Tabelle 2: Beschreibung der Erntebestände von drei Baumarten

Table 2: Description of the harvested stands of three species

A. Bergahorn / sycamore

Herkunft	Königshofen	Weißenhorn	Hohenschwangau
Registernummer	09 1 801 04 014 2	09 1 801 08 080 2	09 1 801 11 008 2
reduz. Fläche [ha]	3,0	8,5	12,7
Gründungsjahr(e)	1792	1884	1783-1811
Höhe [m ü. NN]	600-700	460	970-1620
geogr. Länge	10° 18' O	10° 10' O	10° 42' O
geogr. Breite	50° 26' N	48° 19' N	47° 34' N
Autochthonie	autochthon	autochthon	autochthon

B. Fichte / Norway spruce

Herkunft	Altötting	Weißenhorn	Ravensburg
Registernummer	09 1 840 27 251 2	09 1 840 27 388 2	08 4 840 27 516
reduz. Fläche [ha]	6,7	35,4	103,3
Gründungsjahre	1884-1894	1873-1926	1810
Höhe [m ü. NN]	389	550-580	570-580
geogr. Länge	12°50' O	10° 6' O	9° 43' O
geogr. Breite	48° 14' N	48° 13' N	47° 57' N
Autochthonie	unbekannt	nicht autochthon	unbekannt

C. Weißtanne / silver fir

Herkunft	Lixenried	Titisee-Neustadt
Registernummer	09 1 827 07 040 2	08 3 827 08 0472212
reduz. Fläche [ha]	0,9	10,3
Gründungsjahre	1890-1920	1800
Höhe [m ü. NN]	500-530	900-1000
geograph Länge	12° 44' O	8° 10' O
geograph Breite	49° 21' N	47° 47' N
Autochthonie	unbekannt	autochthon

Ergebnisse**Bergahorn**

Zwischen den drei Bestandesmittelwerten von DE_2_1 und DE_34:32 ergaben sich nach Varianzanalyse mit einem REGWQ-Test auf dem 5%-Niveau signifikante Unterschiede (Abb. 2). Bei DE_18_16 unterschied sich jeweils Königshofen und Weissenhorn signifikant von Hohenschwangau. Es bestehen keine engen Korrelationen zwischen den verschiedenen Deltawerten.

Nach einer Step-Disc-Analyse zeigten die Deltawerte von Wasserstoff, Schwefel und org. Sauerstoff ein hohes partielles R-Quadrat ($>0,5$) und hohe F-Werte (64 - 45). Sie können somit wesentlich zur Unterscheidung der Herkünfte bzw. Einzelbaumernten beitragen.

Mit Hilfe einer Diskriminanzanalyse, die einen multivariaten Vergleich mit den Variablen DE_2_1, DE_34:32, DE_18_16 und DE_Luft ermöglicht, wurde die Zugehörigkeit der Einzelbaumernten mittels Kreuzvalidierung geprüft, so dass für jede Einzelbaumernte eine Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zu einem der drei Bestände ausgewiesen wird. Ein Auszug der Ergebnistabelle mit linearer Diskriminanzfunktion ist in Tab. 3 dargestellt.

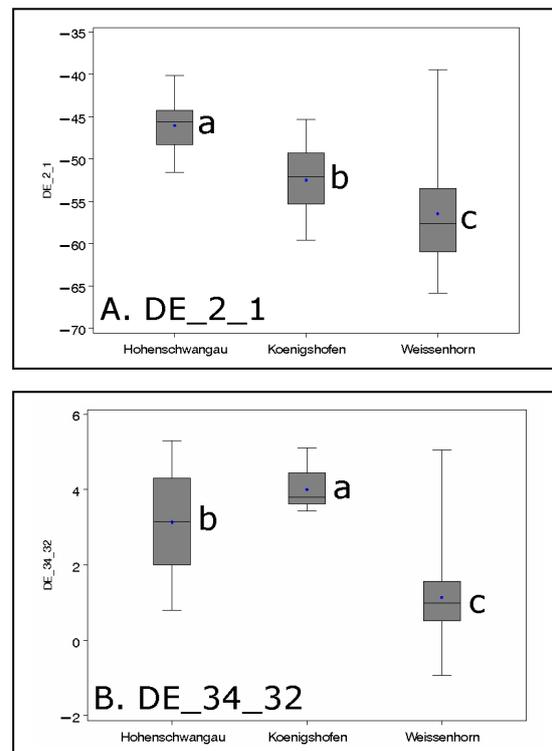


Abb. 2: Boxplots mit signifikanten Unterschieden der Bestandesmittelwerte von DE_2_1 (A.) und DE_34_32 (B.).

Fig. 2: Boxplots showing significant differences of DE_2_1 (A.) and DE_34_32 (B.) between means of stands.

Tabelle 3: Auszug der Posteriori-Wahrscheinlichkeiten für die Zugehörigkeit von 92 Einzelbaumernten zum bezeichneten Bestand als Ergebnis einer Kreuzvalidierung mit linearer Diskriminantenfunktion

Table 3: Excerpt of the posteriori probabilities of an association of 92 single trees to three harvested stands as a result of a crossvalidation using a linear discriminant function

Beob.	Klassifiziert in Herkunft	Hohenschwangau	Königshofen	Weißenhorn
1	Königshofen	0,0004	0,9133	0,0863
2	Königshofen	0,0000	0,9997	0,0003
3	Königshofen	0,0002	0,9891	0,0107
4	Königshofen	0,0012	0,9976	0,0011
5	Königshofen	0,0008	0,9980	0,0012
6	Königshofen	0,0000	0,8412	0,1588
7	Königshofen	0,0005	0,9968	0,0027
8	Königshofen	0,0010	0,9906	0,0084
9	Königshofen	0,0000	0,9536	0,0464
10	Königshofen	0,0000	0,9996	0,0004
31	Weißenhorn	0,0006	0,0719	0,9275
32	Weißenhorn	0,0000	0,0022	0,9978
33	Weißenhorn	0,0001	0,0307	0,9693
34	Weißenhorn	0,0004	0,0733	0,9263
35	Weißenhorn	0,0000	0,0310	0,9690
36	Weißenhorn	0,0000	0,0251	0,9749
37	Weißenhorn	0,0008	0,2230	0,7762
38	Weißenhorn	0,0000	0,0747	0,9253
39	Weißenhorn	0,0000	0,0153	0,9847
40	Weißenhorn	0,0000	0,0555	0,9445
73	Hohenschwangau	1,0000	0,0000	0,0000
74	Hohenschwangau	0,9996	0,0004	0,0000
75	Hohenschwangau	0,9999	0,0001	0,0000
76	Hohenschwangau	1,0000	0,0000	0,0000
77	Königshofen *	0,0000	0,9969	0,0031
78	Königshofen *	0,0000	0,9154	0,0846
79	Hohenschwangau	0,9986	0,0014	0,0000
80	Hohenschwangau	1,0000	0,0000	0,0000
81	Hohenschwangau	1,0000	0,0000	0,0000
82	Hohenschwangau	1,0000	0,0000	0,0000

* falsch klassifizierte Beobachtung

Falsch klassifizierte Beobachtungen werden in der Liste (Tab. 3) mit Stern ausgewiesen. Insgesamt ergaben sich mit der linearen Diskriminantenfunktion nach Kreuzvalidierung Fehlerzählungsschätzwerte von null für die Herkunft Königshofen, 0,1 für Hohenschwangau und 0,0377 für Weißenhorn. Insgesamt wurden jedoch nur vier von 92 Einzelbaumernten falsch zugeordnet.

Fichte

Nach Varianzanalyse der Einzelbaumernten in drei Beständen zeigten sich signifikante Unterschiede der Bestandesmittelwerte bei den Stabilisotopensignaturen des Wasserstoffs (Abb. 3A) und des Stickstoffs (Abb. 3B). Bei den Deltawerten Kohlenstoffs (Abb. 3C), des org. Sauerstoffs (Abb. 3D) und des Schwefels unterschieden sich jeweils die Herkünfte Weißenhorn und Altötting signifikant von Ravensburg.

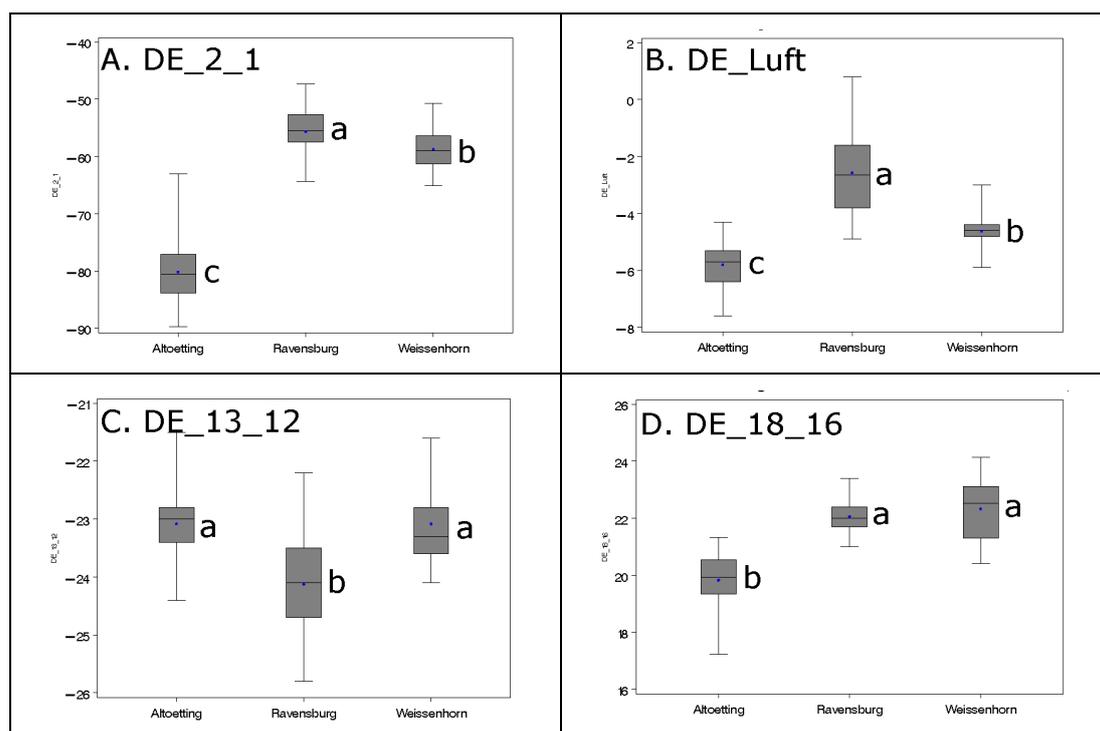


Abb. 3: Boxplots mit signifikanten Unterschieden der Bestandesmittelwerte von DE_{2_1} (A.), DE_{Luft} (B.), DE_{13_12} (C.) und DE_{18_16} (D.) bei Fichte.

Fig. 3: Boxplots with significant differences of DE_{2_1} (A.), DE_{Air} (B.), DE_{Air} (C.), and DE_{18_16} (D.) between means of three stands of Norway spruce.

Tabelle 4: Kreuzvalidierungsergebnisse der Einzelbaumernten aus 3 Fichtenbeständen mit einer quadratischen Funktion (3 nächste Nachbarn) in der Diskriminanzanalyse

Table 4: Results of a crossvalidation using a discriminant procedure and a square distance function (3 nearest neighbours) of single tree harvests from 3 stands of Norway spruce

A. Anzahl der Beobachtungen und Prozentwerte klassifiziert nach Herkunft

Number of observations and percent classified into provenance:

von Herkunft	Einheit	Altötting	Ravensburg	Weissenhorn	Summe
Altoetting	n	35	0	1	36
	%	97,2	0	2,8	100
Ravensburg	n	0	23	3	26
	%	0	88,5	11,5	100
Weissenhorn	n	0	1	26	27
	%	0	3,7	96,3	100
Summe	n	35	24	30	89
	%	39,3	27	33,7	100

B. Fehlerzählungsschätzwerte für Herkunft / Error count estimates for provenance

Herkunft:	Altötting	Ravensburg	Weissenhorn	Summe
Rate	0,0278	0,1154	0,0370	0,0601
Priori	0,3333	0,3333	0,3333	

Nachdem keine signifikanten Korrelationen zwischen den verschiedenen Variablen bestanden wurde eine Step-Disc-Analyse gerechnet. Hier zeigte sich, dass alle Deltawerte außer denen des Schwefels ein hohes partielles R-Quadrat lieferten und somit die Herkunft gut erklärten.

Nach einer Diskriminanzanalyse der Deltawerte des Wasserstoffs, org. Sauerstoffs, des Kohlenstoffs und Stickstoffs mit linearer Diskriminanzfunktion ergab sich nach Kreuzvalidierung ein Gesamt-Fehlerzählungsschätzwert von 0,0857.

Durch die Wahl eines nichtparametrischen Ansatzes nach der Methode der drei nächsten Nachbarn ergab sich mit einer quadratischen Diskriminanzfunktion eine Reduktion des gesamten Fehlerzählungsschätzwertes auf 0,0601. Wie Tabelle 4 zeigt wurde jeweils eine Einzelbaumernte der Herkünfte Altötting und Weißenhorn, jedoch drei Einzelbaumernten der Herkunft Ravensburg falsch zugeordnet.

Weißtanne

In den Weißtannen-Beständen Lixenried und Titisee-Neustadt wurde das Saatgut von Einzelbäumen (R2) beerntet und wie oben beschrieben, analysiert.

Bei den Variablen DE_13_12, DE_Luft und DE_34_32 zeigten sich nach der Varianzanalyse signifikante Unterschiede der Bestandesmittelwerte, siehe Abb. 4A-C. Die Bestandesmittelwerte der Variablen DE_2_1 und DE_18_16 unterschieden sich nicht signifikant.

In der Step-Disc-Analyse lieferten die vorgenannten Variablen des Kohlenstoffs, Stickstoffs und des Schwefels auch ein hohes partielles R-Quadrat und wurden deshalb im Verfahren der Kreuzvalidierung mit der Prozedur Discrim für die Zuordnung der Einzelbaumernten zu den Beständen ausgewählt. Wie Tabelle 5 zeigt, gelingt

diese Zuordnung mit der geringen Fehlerrate von 2,17 Prozent bei 42 Einzelbaumernten.

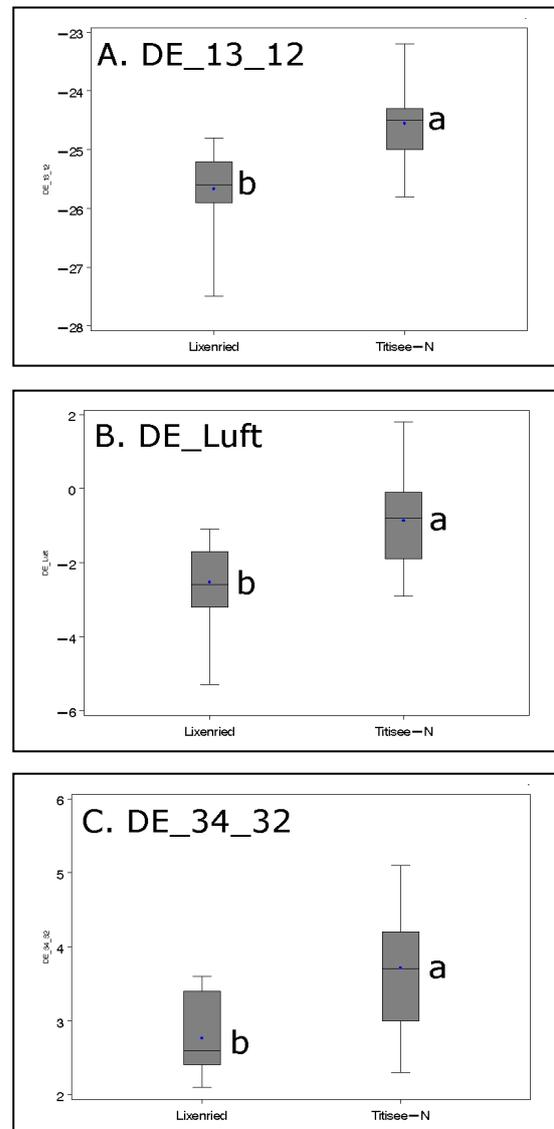


Abb. 4: Boxplots mit signifikanten Unterschieden der Bestandesmittelwerte von DE_13_12 (A.), DE_Luft (B.) und DE_34_32 (C.) bei Weißtanne

Fig. 4: Boxplots exhibiting significant differences of means of DE_13_12 (A.), DE_Luft (B.), and DE_34_32 (C.) of white fir stands

Tabelle 5: Kreuzvalidierungsergebnisse der Einzelbaumernten aus 2 Tannenbeständen nach Diskriminanzanalyse mit einer linearen Distanzfunktion

Table 5: Results of a crossvalidation using a discriminant procedure and a linear distance function of single tree harvests from 2 stands of silver fir

A. Anzahl der Beobachtungen und Prozentwerte klassifiziert nach Herkunft
Number of observations and percent classified into provenance

Herkunft	Einheit	Lixenried	Titisee-Neustadt	Summe
Lixenried	n	22	1	23
	%	95,7	4,3	100
Titisee-Neustadt	n	0	19	19
	%	0	100	100
Summe	n	22	20	42
	%	52,4	47,6	100

B. Fehlerzählungsschätzwerte für Herkunft / Error count estimates for provenance

Herkunft:	Lixenried	Titisee-Neustadt	Summe
Rate	0,0435	0	0.0217
Priori	0,5	0,5	

Diskussion

Für die Zwecke der Zertifizierung und Kontrolle des Saatguthandels ist es erforderlich die Herkunft von Saatgut aus einem Bestand oder seine Zugehörigkeit zu einer Saatguterntepartie mit einer Stammzertifikatsnummer zu überprüfen. Voraussetzung für eine solche Einzelfallentscheidung ist die Unterschiedlichkeit von Bestandesmittelwerten, die größer sein muss als die Unterschiede innerhalb einer Bestandesabsaat. Da sich Bestandesabsaaten aus Einzelbaumernten zusammensetzen ist anzunehmen, dass die Unterschiede beliebiger Teilmengen einer Bestandesmischung nicht größer sein werden als die Unterschiede zwischen den Einzelbaumernten eines Bestandes.

Mit der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass eine Zuordnung von Einzelbaumernten (R2-Proben) zu Bestandesernten desselben Reifejahres mithilfe der Stabilisotopen-Signaturen der Elemente C, N, O, S und H bei den

Baumarten Bergahorn, Fichte und Weißtanne mit geringen Fehlerraten möglich ist. Diese Zuordnung geschieht mithilfe einer Diskriminanzanalyse, die für jeden Einzelfall eine Posteriori-Wahrscheinlichkeit ausweist. Wie von GEBHARDT (siehe S. 51) gezeigt, kann mit der Diskriminanzfunktion im Ausschlussverfahren mit einem Saatgut/Saatgut-Vergleich auch die Zugehörigkeit beliebiger, unbekannter Proben zu den bezeichneten Bestandesernten geprüft werden. In das bezeichnete Prüfverfahren gehen die im Labor erhobenen Deltawerte und ggf. die Elementgehalte von Stickstoff und Kohlenstoff ein. Die Berechnung gleitender oder rotierender Mittelwerte, wie von KEHR (2007) beschrieben, erübrigt sich. Im Gegensatz zur Hauptkomponentenanalyse, die einen beschreibenden Charakter hat, bietet die Diskriminanzanalyse eine Entscheidungshilfe wenn entsprechende Referenzproben zur Verfügung stehen.

Sollte sich die Abstammung von einzelnen R2-Proben aus den bezeichneten Beständen als fraglich erweisen, kann zusätzlich eine Abstammungsanalyse mit genetischen Methoden (s. KONNERT et al. S.85) erfolgen.

Wenn bei R2-Proben das am Samen anhaftende (Flügelgewebe bei Bergahorn) oder im Samen enthaltene mütterliche Gewebe (weiblicher Gametophyt bei Koniferen) analysiert wird kann auf den Spenderbaum zurück geschlossen werden und bei Nichtübereinstimmung der genetischen Muster die Abstammung vom bezeichneten Baum ausgeschlossen werden. Solche Prüfungen setzen allerdings voraus, dass der Einzelbaum wieder aufgefunden werden kann also entweder markiert wurde oder mit geographischen Koordinaten beschrieben ist.

Ist die Authentizität der R2 in dieser Form überprüft und gesichert kann mit der Stabilisotopen-Methode relativ kostengünstig die Identität der R1- oder R3-Proben sowie die Identität aller gehandelten Teilmengen des Saatgutes bewiesen werden da sowohl R1 und R3 als auch die im Handel befindlichen Teilmengen die Gruppenmerkmale der R2 aufweisen müssen.

Genetische Analysen sind wiederum für den Nachweis der Abstammung von Pflanzen aus einer Saatgutpartie erforderlich, da die Pflanzen schon während ihrer Jugendentwicklung die Nährstoffe des Anzuchtortes aufnehmen und so in ihrem Stabilisotopengehalt geprägt werden.

Literatur

- BONER, M. (2005): Überprüfung der Authentizität von Rindfleisch (Bio) mit Hilfe der stabilen Isotope der Bioelemente. Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn. 130 S.
- BONER, M.; FÖRSTEL, H. (2004): Stable isotope variation as a tool to trace the authenticity of beef. *Anal. Bioanal. Chem* 378: 301-310.
- HAASE, B.; HOSIUS, B.; LEINEMANN, L. (2007): Das FfV-Verfahren stellt sich vor. *AFZ-Der Wald* (16): 852-853.
- KEHR, M. (2007): Herkunftsnachweis von zertifiziertem Forstsaatgut mit Hilfe der Stabil-Isotopen-Methode. Diplomarbeit der FH Aachen, Abteilung Jülich: 129 S.
- KONNERT, M., HUSSENDÖRFER, E. (2002): Herkunftssicherung bei forstlichem Vermehrungsgut durch Referenzproben. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 173: 97-104.

Anschriften der Autoren:

Dr. KARL GEBHARDT
Nordwestdeutsche Forstlich Versuchsanstalt, Abt. Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6, 34346 Hann. Münden, Deutschland

Dr. MONIKA KONNERT
Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht
Forstamtsplatz 1, 83317 Teisendorf, Deutschland

Prof. Dr. HILMAR FÖRSTEL
Agroisolab GmbH
Karl-Heinz-Beckurts-Str. 13, 52428 Jülich, Deutschland