

forstarchiv 83, 60-65
(2012)

DOI 10.4432/0300-
4112-83-60

© DLV GmbH

ISSN 0300-4112

Korrespondenzadresse:
karl.gebhardt@nw-fva.
de

Eingegangen:
29.07.2011

Angenommen:
15.10.2011

Unterscheidung von Saatgutpartien der Großen Küstentanne (*Abies grandis* Lindl.) mithilfe stabiler Isotopen

Differentiation of seedlots of grand fir (*Abies grandis* Lindl.) by the analysis of stable isotopes

KARL GEBHARDT

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abteilung Waldgenressourcen, Prof.-Oelkers-Str. 6,
34346 Hann. Münden, Deutschland

Kurzfassung

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 Methode vorgestellt, die es ermöglicht, Saatgutpartien anhand ihrer weitgehend fälschungssicheren Stabilisotopensignaturen und der Gehalte der Elemente C, N, H und O zu vergleichen. Der Vergleich erlaubt eine Prüfung von Einzelfällen mithilfe einer multivariaten Diskriminanzanalyse. Bei 79 von 110 Vergleichen (72 %) war durch Kreuzvalidierung eine vollständige Unterscheidung der Proben von 9 einzelbaumweise beernteten deutschen Beständen und zwei importierten Saatgutpartien aus Nordamerika möglich. Für einen Testdatensatz mit je einer weiteren deutschen und nordamerikanischen Herkunft konnte deren Nichtzugehörigkeit bestätigt werden. Zwischen den Saatgutpartien konnten signifikante Unterschiede der Deltawerte unterschiedlicher Stabilisotope nachgewiesen werden.

Schlüsselwörter: *Abies grandis*, Stabilisotopen, Diskriminanzanalyse, Zertifizierung

Abstract

The proof of the authenticity of seed lots is basic 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 method is presented that allows to compare seed-lots according to their largely tamper-proof signatures of stable isotopes and content of the elements C, N, H, O. This comparison allows an examination of individual cases with the help of a multivariate discriminant analysis. By crossvalidation in 79 out of 110 (72%) comparisons made it was possible to completely differentiate the samples from nine German seed stands and two imported seed lots from North America. In addition, for a test data set comprising of stable isotope signatures from another German and a North American seed lot, their non-affiliation could be confirmed. Significant differences between seed lots of different stable isotope delta-values became obvious.

Key words: *Abies grandis*, stable isotopes, dicriminant analysis, certification

Einleitung

Ernte und Vertrieb von Vermehrungsgut der Großen Küstentanne *Abies grandis* (Lindl.) unterliegen in Deutschland dem seit 1.1.2003 gültigen Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) nebst Zulassungs-, Herkunftsgebiet- und Durchführungsverordnungen. Unsicherheiten beim innerdeutschen und internationalen Saatguthandel erfordern oftmals eine Überprüfung der Authentizität von Saatgutpartien. Privatrechtliche Zertifizierungssysteme basieren ebenfalls auf der Unterscheidbarkeit des Vermehrungsgutes.

Nach Rau und Schönfelder (2008) zeigen nordamerikanische Herkünfte, die auf 18 Flächen in Norddeutschland geprüft wurden, erhebliche Unterschiede in der Vitalität, Qualität und Schadanfälligkeit sowie ein standortabhängig unterschiedliches Leistungsniveau.

Die verschiedenen Merkmale und die mit Douglasie vergleichbare, hohe Massenleistung bilden die Grundlage für eine Zulassung einzelner Bestände nach dem FoVG und für die Herkunftsempfehlungen der Länder. Bei Beachtung dieser Empfehlungen kann möglichen Ertragsverlusten sowie biotischen und abiotischen Schäden vorgebeugt werden.

Das zuletzt sehr hohe Ernteaufkommen aus den beiden deutschen Herkunftsgebieten (Norddeutsches Tiefland und übriges Bundesgebiet, Tabelle 1), belegt die aktuelle und zunehmende Bedeutung der

Baumart für die Forstwirtschaft, den Saatguthandel und die pflanzenproduzierenden Betriebe.

Für eine Zertifizierung von Saatgut aus deutschen Beständen und für den Nachweis von Saatgutimporten sollte die Authentizität mithilfe eines Verfahrens überprüft werden, das weitestgehend fälschungssicher ist. Bewährte genetische Verfahren nutzen populationspezifische Merkmale, mit denen jedoch eine Unterscheidung von importierten und deutschen Herkünften dadurch erschwert ist, dass alle deutschen Herkünfte aus dem nordamerikanischen Verbreitungsgebiet stammen. Zudem muss die jährliche Neuordnung der Gene bei freier Abblüte beachtet werden. Für die Unterscheidung

Tabelle 1. Ernteaufkommen (kg) von ausgewähltem Vermehrungsgut des Erfassungszeitraumes 1.7.2007 bis 30.6.2010 nach Angaben der BLE (2011).
Seed production (kg) of category "selected" during the course of 1.7.2007 till 30.6.2010, according to statistic data from BLE (2011).

Herkunftsgebiet	2007- 2008	2008- 2009	2009- 2010
830 01 (Norddeutsches Tiefland)	-	9,1	591,8
830 02 (übriges Bundesgebiet)	15,2	74	1.494,3

von Herkunftten muss ein nachzuweisender, hinreichend großer genetischer Abstand oder ein anderer gesicherter Unterschied zwischen den gehandelten Saatgutpartien aus unterschiedlichen Beständen gegeben sein.

Bei zahlreichen Lebensmitteln und landwirtschaftlichen Produkten (Milch, Eier, Butter, Spargel, Wein) dient die Analytik stabiler Isotope dem Nachweis der geografischen Herkunft und ist bereits ein bewährtes Verfahren (Förstel 2002, Klimmek 2003, Boner und Förstel 2004, Boner 2005).

Mit der Sicherstellung von Referenzproben aus dem Ernteprozess, wie es von den Zertifizierungssystemen ZüF (Konnert und Hüssendörfer 2002) und FfV (Haase et al. 2007) operationalisiert ist oder im Einzelfall durch die amtliche Kontrolle veranlasst wird, ist es möglich, Saatgutpartien, die sich im Handel befinden oder eingelagert wurden, auf ihre Identität hin zu überprüfen.

Bei den untersuchten Saatgutpartien der Küstentanne galt es zu klären, wie stark Stabilisotope das Saatgut prägen, mit welchen Stichproben Unterschiede zwischen Herkunftten nachzuweisen sind und inwieweit sich die Methodik zur Rückverfolgung von Proben eignet.

Material und Methoden

Material

Im Spätsommer des Erntejahres 2009 wurden in den in Tabelle 2 aufgeführten deutschen Beständen je 10 bzw. 11 Einzelbäume beerntet. Die Werbung durch Zapfenpflücker, die Reinigung und Trocknung der Zapfen, das Entflügeln und die Lagerung des Saatgutes erfolgten nach praxisüblichen Methoden (s. Rau et al. 2010). Der kanadische Bestand im Gebiet „Lake Cowichan“ (48° 49' N, 124° 04' W) wurde bereits 2001 einzelbaumweise beerntet. Die Saatgutpartie aus den USA wurde im Erntejahr 2009 mithilfe eines Hubschraubers aus dem Gebiet „Bear Mountain“ (47° 59' N, 123° 07' W) geworben. Alle nordamerikanischen Saatgutpartien stellen eine Mischung von

Einzelbaumernten dar, aus der die analysierten Stichproben zufällig gezogen wurden. Jede Probe umfasste mindestens 30 Samenkörner. Diese wurden zweifach wiederholt bei 65 °C getrocknet und mit einer Kugelmühle staubfein gemahlen. Zu Testzwecken wurden eine weitere deutsche Herkunft (Mischprobe aus der Samenplantage Gramzow, X2-G) und eine Mischprobe der kanadischen Herkunft „Nanaimo Lake“ (X1-N) verwendet (Tabelle 2).

Analytik

Für die IRMS-Analysen (Isotope Ratio Mass Spectrometry) wurden ca. 2,0 mg des Probenmaterials in Zinnhülsen eingewogen und für die Bestimmung von ¹³C/¹²C und ¹⁵N/¹⁴N bei 1.000 °C verbrannt. Als Feststoffstandard für ¹³C und ¹⁵N wurde Acetanilid verwandt. Die Bestimmung der Isotopenverhältnisse von ¹⁸O/¹⁶O erfolgte in einer gekoppelten Messung nachfolgend der Bestimmung des D/H-Verhältnisses. Dazu wurde das Probenmaterial in Silberkapseln eingewogen, und die Proben wurden 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). Die Delta-Notation (δ) der Isotopenverhältnisse (R) folgt der international üblichen Definition (Fry 2006):

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

mit R_S = Isotopenverhältnis der Probe

R_R = Isotopenverhältnis des Standards

Die Werte werden für C auf PDB (PeeDee Belemnite), für H und O auf SMOW (Standard Mean Ocean Water) sowie für N auf Luft-N₂ bezogen angegeben und sind gegen Standards der Internationalen Atomenergieagentur (IAEA) in Wien kalibriert worden (Boner 2005). In der statistischen Auswertung werden die Isotopenverhältnisse mit ihren Massen wie folgt bezeichnet D/H als DE_2_1, ¹³C/¹²C als DE_13_12, ¹⁸O/¹⁶O als DE_18_16 sowie ¹⁵N/¹⁴N als DE_Luft.

Tabelle 2. Saatgutherkünfte.
Harvested seed samples.

Herkunft	Kennung	Probenzahl	Saatgutmenge (g)
Deutschland			
NFA Ahlhorn, Abt. 2176 a1	D-Ah	11	3088
LFB BT Altmark, Rev. Bischofswald Abt. 4111g	D-Al	10	3374
AfF Kyritz, Rev. Gadow, Abt. 2028a 5 3	D-Ky	10	903
FoA Nedlitz, Sachsen-Anhalt	D-Ne	10	2296
FoA Radelübbe, Rev. Friedrichstal Abt. 70 C1	D-Ra	10	6555
NFA Rotenburg, Wisselshorst, Abt. 1132 b ³	D-Ro	10	5110
FA Rüdeshheim	D-Ru	10	1781
LWK Schleswig Holstein	D-Sc	10	2366
FA Wolfhagen, Interessentenwald Großenritte	D-Wo	10	3716
Nordamerika			
Bear Mountain, Washington, USA	NA-B	4	1541
Lake Cowichan area, BC, Canada	NA-C	3	1129
Test			
Nanaimo Lake area, BC, Canada	X1-N	1	94
LFB Brandenburg, Templin, Plantage Gramzow	X2-G	1	212

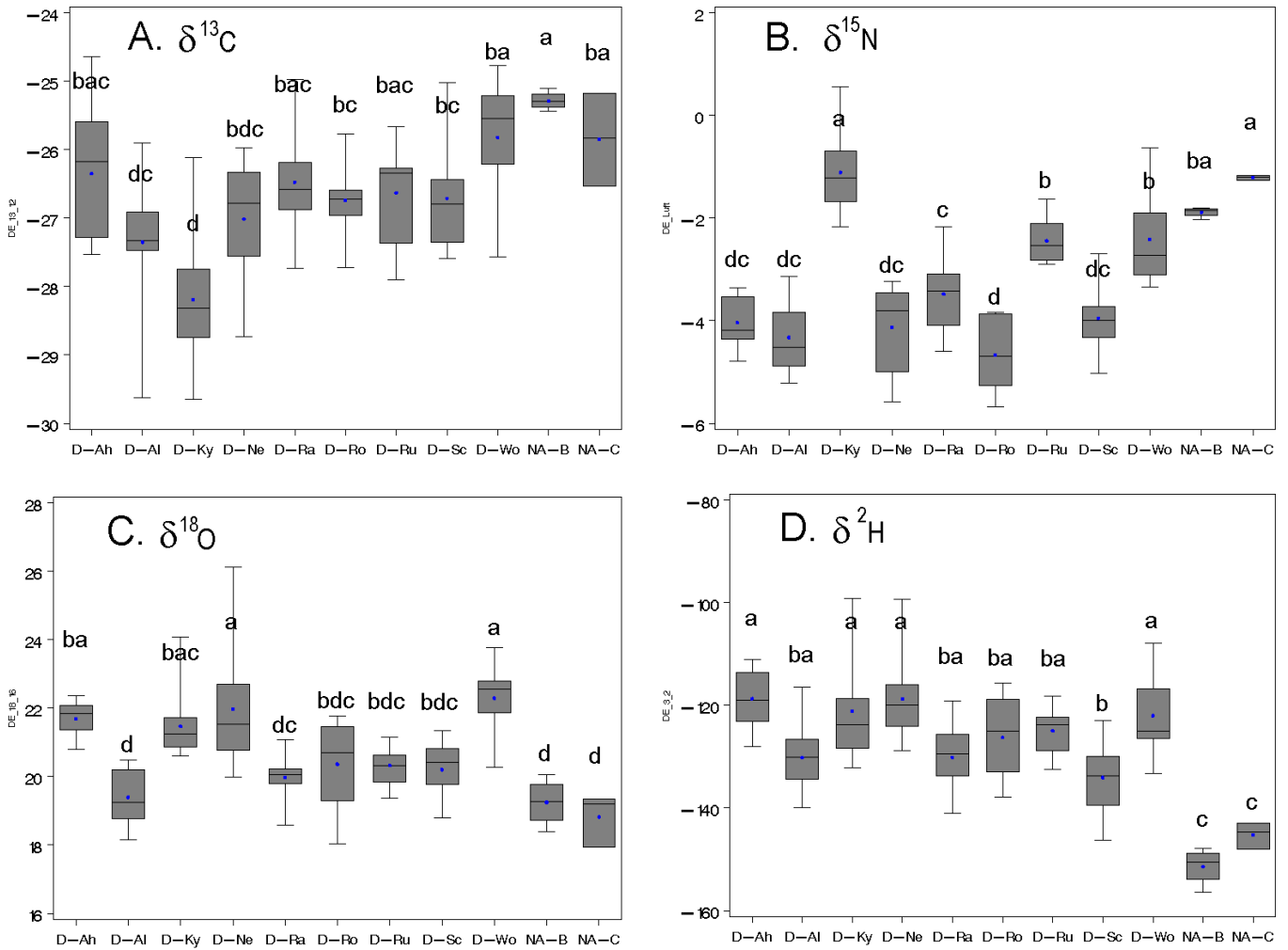


Abbildung 1. Boxplots mit signifikanten Unterschieden der Mittelwerte von DE_{13_12} (A.), DE_{15_14} (B.), DE_{18_16} (C.) und DE_{2_1} (D.), Herkunftsbezeichnungen (x-Achse) siehe Tabelle 2.
 Boxplots showing significant differences of DE_{13_12} (A.), DE_{15_14} (B.), DE_{18_16} (C.) and DE_{2_1} (D.) between means. Abbreviations of provenances (x-axis) are explained in table 2.

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 sind 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).

Ergebnisse

Stabilisotopenverhältnisse

Zwischen den Mittelwerten der Stabilisotopen von C, N, O und H ergaben sich nach Varianzanalyse mit einem REGWQ-Test auf dem 5 %-Niveau signifikante Unterschiede (Abb. 1). Bei DE_{2_1} (Abbildung 1D) unterschieden sich die nordamerikanischen Herkünfte durch signifikant niedrigere Werte von allen deutschen Herkünften.

Auch die Deltawerte für ¹⁸O der amerikanischen Herkünfte (Abbildung 1C) waren vergleichsweise niedrig, jedoch erreichte die deutsche Herkunft „Ahlhorn“ einen ähnlich niedrigen Wert. Im Ergebnis einer Korrelationsanalyse (Proc Corr) bestehen keine engen Korrelationen zwischen den Deltawerten der verschiedenen Elemente.

Prozentuale Gehalte der Elemente

Von den prozentualen Gehalten der untersuchten Elemente ergaben einzig N- (Abbildung 2A) und H-Gehalte (Abbildung 2B) im REGWQ-Test signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten. Die deutschen und die nordamerikanischen Proben unterschieden sich nur im N-Gehalt (Abbildung 2).

Nach einer Step-Disc-Analyse zeigten neben den Deltawerten von N, H, C und O sowie dem Deltawert der Massen 45 und 44 auch die prozentualen Gehalte der Elemente N (Nprz_G), H (Hprz_G) und O (Oprz_G) ein höheres partielles R-Quadrat und entsprechende F-Werte (Tabelle 3). Somit können acht Variablen wesentlich zur Unterscheidung der Herkünfte bzw. Einzelbaumernten beitragen.

Mithilfe einer Diskriminanzanalyse, die einen multivariaten Vergleich mit den o. g. Variablen ermöglicht, wurde die Zugehörigkeit der Einzelbaumernten mittels Kreuzvalidierung geprüft, sodass für

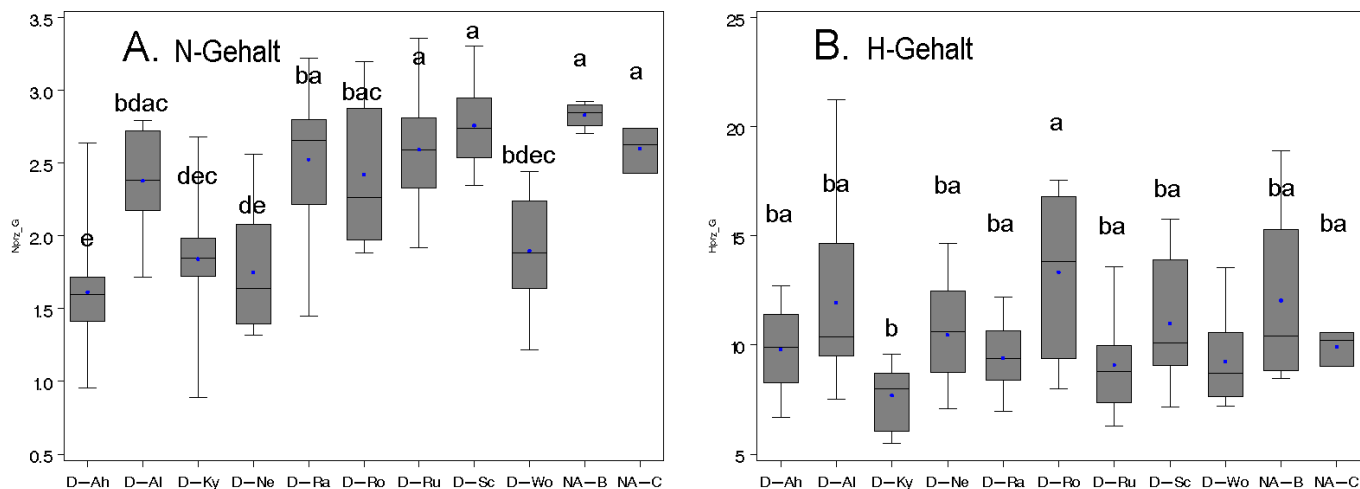


Abbildung 2. Signifikante Unterschiede der mittleren prozentualen N- (A) und H-Gehalte (B) im Boxplot. Mittelwerte, die entsprechend einem REGWQ-Test mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet sind, unterscheiden sich auf dem 5 %-Niveau, Herkunftsbezeichnungen (x-Achse) siehe Tabelle 2.

Boxplots showing significant differences of means (%) of the N content (A) and H content (B). Means marked with different letters proved to be different at the 5%-level in a REGWQ-Test. Abbreviations of provenances (x-axis) are explained in table 2.

Tabelle 3. Zusammenfassung der schrittweisen Auswahl von Variablen in einer Step-Disc-Analyse der IRMS-Analysenwerte.
Summary of a stepwise selection of variables from a Step-disc-Analysis of the samples analysed by IRMS.

Schritt	Eingegeben	Partielles R ²	F-Wert	Pr > F	Wilksches Lambda
1	DE_Luft	0,7540	26,66	< 0,0001	0,24604940
2	DE_2_1	0,5775	11,75	< 0,0001	0,10395753
3	DE_13_12	0,4256	6,30	< 0,0001	0,05971602
4	Nprz_G	0,3587	4,70	< 0,0001	0,03829503
5	DE_18_16	0,2804	3,23	0,0015	0,02755759
6	DE_45_44	0,1934	1,97	0,0477	0,02222703
7	Oprz_G	0,1919	1,92	0,0536	0,01796276
8	Hprz_G	0,4202	5,80	< 0,0001	0,01041547

jede Einzelbaumernte eine Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zu einer der neun Herkünfte ausgewiesen wird. Die in Tabelle 4 beschriebene Klassifizierungsübersicht der Kreuzvalidierungsergebnisse zeigt für jeden Vergleich die Zuordnung der Beobachtungen und den entsprechenden Prozentwert. So wird erkennbar, dass bei 79 von 110 (121-11 = 110) Vergleichen (Tabelle 4) der Herkünfte, die die Anzahl 0 bzw. 0,00 Prozent ausweisen, alle Proben vollständig unterscheidbar sind. Die aus Nordamerika importierten Saatgutpartien waren anhand der Analysenwerte vollständig unterscheidbar von den deutschen Herkünften. Die Ausnahme bildete eine der vier Proben aus der USA (NA-B) die fälschlicherweise der Herkunft aus Kanada (NA-C) zugeordnet wurde. Über alle Vergleiche ergab sich ein Fehlerzählungsschätzwert von 0,4112 (Tabelle 5).

Überprüfung der Zugehörigkeit unbekannter Proben

Mithilfe der ermittelten Diskriminanzfunktion wurde die Zu- bzw. Nichtzugehörigkeit zusätzlicher Proben zum Probenkollektiv überprüft. Dabei wurden alle gemessenen Elementgehalte und die Delta-werte berücksichtigt (Tabelle 6). Es wurde eine zusätzliche Bestandesabsaat aus dem kanadischen Nanaimo-Lake-Gebiet (X1-N) sowie eine Samenplantagen-Absaat (Gramzow) des LFB Brandenburg

(X2-G) getestet. Im Ergebnis unterschieden sich sowohl die deutsche Samenplantagen-Absaat als auch die kanadische Probe aus Nanaimo Lake von allen anderen Proben. Sie wurden als falsch klassifiziert ausgewiesen.

Diskussion

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 bzw. zu 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.

Für die Zertifizierung und Kontrolle des Saatguthandels ist es erforderlich, die Herkunft von Saatgut aus einem Bestand oder seine

Tabelle 4. Kreuzvalidierungsergebnisse mit quadratischer Distanzfunktion. Die Anzahl der zugeordneten Beobachtungen und der Prozentwert sind für jeden Vergleich der 11 Herkünfte ausgewiesen.

Results of a crossvalidation using a squared distance function. The number of assigned observations and the percentage for each comparison of the 11 provenances are reported.

Herkunft	D-Ah	D-AI	D-Ky	D-Ne	D-Ra	D-Ro	D-Ru	D-Sc	D-Wo	NA-B	NA-C	Summe
D-Ah	8	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	11
%	73	0	0	18	9	0	0	0	0	0	0	100
D-AI	1	4	0	2	2	1	0	0	0	0	0	10
%	10	40	0	20	20	10	0	0	0	0	0	100
D-Ky	0	0	8	0	0	0	0	0	1	0	1	10
%	0	0	80	0	0	0	0	0	10	0	10	100
D-Ne	3	1	0	4	0	1	0	1	0	0	0	10
%	30	10	0	40	0	10	0	10	0	0	0	100
D-Ra	0	1	1	0	3	2	1	1	0	1	0	10
%	0	10	10	0	30	20	10	10	0	10	0	100
D-Ro	1	0	0	2	2	3	0	2	0	0	0	10
%	10	0	0	20	20	30	0	20	0	0	0	100
D-Ru	0	0	0	0	2	0	7	0	1	0	0	10
%	0	0	0	0	20	0	70	0	10	0	0	100
D-Sc	0	0	0	0	2	1	1	6	0	0	0	10
%	0	0	0	0	20	10	10	60	0	0	0	100
D-Wo	0	0	2	0	1	0	2	0	5	0	0	10
%	0	0	20	0	10	0	20	0	50	0	0	100
NA-B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	4
%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	25	100
NA-C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3
%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
Summe	13	6	11	10	13	8	11	10	7	4	5	98
%	13,27	6,12	11,22	10,2	13,27	8,16	11,22	10,2	7,14	4,08	5,1	100

Tabelle 5. Fehlerzählungsschätzwerte für die einzelnen Herkünfte (s. Tabelle 2).

Error count estimates of provenance (see table 2).

	D-Ah	D-AI	D-Ky	D-Ne	D-Ra	D-Ro	D-Ru	D-Sc	D-Wo	NA-B	NA-C	Summe
Rate	0,2727	0,6	0,2	0,6	0,7	0,7	0,3	0,4	0,5	0,25	0	0,4112
Priori	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	0,0909	

Tabelle 6. Analysenwerte zusätzlicher Proben (Tabelle 2: Test) zur Prüfung der Nichtzugehörigkeit zum getesteten Kollektiv.

Analysis values of additional samples (Table 2: Test) to verify the non-belonging to the tested collective.

Probe	DE_13_12	Cprz_G	DE_Luft	Nprz_G	DE_18_16	Oprz_G	DE_3_2	Hprz_G
X1-N	-26,765	57,18	-0,894	2,709	18,805	38,786	-142,576	9,776
X2-G	-27,151	58,76	0,243	2,684	19,875	41,869	-136,524	13,447

Zugehörigkeit zu einer Saatguterteilpartie 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.

Mit der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass eine Zuordnung von Einzelbaumernten (R2-Proben) zu Bestandesernten desselben Reifejahres mithilfe der Stabilisotopen-Signaturen und Gehalte der Elemente C, N, O und H möglich ist. Diese Zuordnung

geschieht mithilfe einer Diskriminanzanalyse, die für jeden Einzelfall eine Posteriori-Wahrscheinlichkeit ausweist. Wie von Gebhardt (2008) bei Buche gezeigt wurde, kann mit der Diskriminanzfunktion im Ausschlussverfahren mit einem Saatgut/Saatgut-Vergleich auch die Zugehörigkeit beliebiger unbekannter Proben zu den bezeichneten Bestandsernten geprüft werden. In das bezeichnete Prüfverfahren gehen i. d. R. alle im Labor erhobenen Deltawerte und Elementgehalte ein. Da die Stabilisotopen-Signaturen und die Elementgehalte jahresabhängig variieren, bietet die Diskriminanz-

analyse allerdings nur dann eine sichere Entscheidungshilfe, wenn Referenzproben desselben Reifejahres zur Verfügung stehen. Die Identität von Einzelbaumproben kann mit genetischen Methoden anhand der mütterlich vererbten Allele (Wypukol et al. 2008) abgesichert werden.

Nach Angaben der BLE (2011) gibt es in Deutschland bei der Großen Küstentanne derzeit 52 Erntebestände der Kategorie „ausgewählt“, zwei Samenplantagen (Kategorie „qualifiziert“), jedoch noch keine Bestände der Kategorie „geprüft“.

Nur wenn Ernteeinheiten vollständig unterscheidbar sind, wären die Voraussetzungen für einen Herkunftsnachweis in Prüf- und Zertifizierungsfällen gegeben. Dann würde es genügen, repräsentative Teilmengen einer Mischung der Einzelbaumernten (R3) voneinander zu unterscheiden, die in den Handel gelangen. Die Variation dieser Teilmengen ist in jedem Fall kleiner als die Variation der Einzelbaumernten (R2), die in der vorliegenden Arbeit berücksichtigt wurde.

Für einen Nachweis von Importen aus Nordamerika ist zu beachten, dass das von Förstel (2008) beschriebene kontinentale Verteilungsmuster der Stabilisotope des Niederschlags ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ und $^2\text{H}/^1\text{H}$) jährlich bestätigt wird und vermutlich stärker ausgeprägt ist als die Unterschiede zwischen Reifejahren. Da sich der Niederschlag in seiner stabilisotopen Zusammensetzung unverändert im Boden und danach im Grundwasser findet, bilden sich großräumige Muster. Demzufolge sind im Westen des nordamerikanischen Kontinents deutlich niedrigere Deltawerte des Niederschlags zu erwarten als im Südosten der USA und in Europa. Weitere Verbesserungen der Analytik (Sieper et al. 2006) ermöglichen den Einsatz größerer Probenmengen und die simultane Bestimmung der Elemente C, H, O und N.

Danksagung

Dem Kompetenzzentrum für Stabile Isotope (KOSI) der Universität Göttingen danke ich für die Durchführung der IRMS-Analysen sowie Hans-Martin Rau (NW-FVA) und seinen Mitarbeitern für die Beschaffung der Saatgutproben aus deutschen Beständen und aus Nordamerika. Dr. Wilfried Steiner danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Literatur

- BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung) 2011. http://www.ble.de/DE/02_Kontrolle_Zulassung/06_Saat-undPflanzgut/ForstlichesVermehrungsgut/ForstlichesVermehrungsgut_node.html#doc2307394bodyText6 (12.12.2011)
- Boner M. 2005. Überprüfung der Authentizität von Rindfleisch (Bio) mit Hilfe der stabilen Isotope der Bioelemente. Dissertation Univ. Bonn
- Boner M., Förstel H. 2004. Stable isotope variation as a tool to trace the authenticity of beef. *Anal. Bioanal. Chem* 378, 301-310
- Förstel H. 2008. Die natürliche Variation und die Messung der stabilen Isotope als Kontrollmethode. In: Gebhardt K. (Hrsg.) *Herkunftskontrolle mit Stabilisotopen und genetischen Methoden*, 16-37. http://www.nw-fva.de/Herkunftskontrolle/Symposium_Tagungsband.pdf (24.6.2011)
- Fry B. 2006. *Stable isotope ecology*. Springer, New York
- Gebhardt K. 2008. Unterscheidung von Saatgutpartien der Buche und Rotterle anhand der Stabilisotopen-Signaturen ($^{13}\text{C}/^{15}\text{N}$) und Elementgehalte von Kohlenstoff und Stickstoff. In: Gebhardt K. (Hrsg.) *Herkunftskontrolle mit Stabilisotopen und genetischen Methoden*, 51-66. http://www.nw-fva.de/Herkunftskontrolle/Symposium_Tagungsband.pdf (24.6.2011)
- Gebhardt K., Schönfelder E. 2008. Differentiation of seedlots of wild cherry by the analysis of stable isotopes (^{13}C , ^{15}N). *Austrian Journal of Forest Science* 125, 121-134
- Haase B., Hosius B., Leinemann L. 2007. Das FfV-Verfahren stellt sich vor. *AFZ/DerWald* 62, 852-853
- Klimmek A. 2003. Bestimmung des geografischen Ursprungs von Weinen mittels Multikomponentenanalyse und multivariater Statistik. Dissertation TU Berlin
- Konnert M., Hussendörfer E. 2002. Herkunftssicherung bei forstlichem Vermehrungsgut durch Referenzproben. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 173, 97-104
- Rau H.-M., Schönfelder E. 2008. Anbauerfahrungen mit Herkünften der Großen Küstentanne (*Abies grandis* Lindl.) in Westdeutschland – Ergebnisse der Aufnahme von 18 Flächen im Alter 27. *Austrian Journal of Forest Science* 125, 201-216
- Rau H.-M., Leisten D., Stockhecke H., Grotehusmann H., Kupfer H., Schröder C. 2010. Hoch hinaus mit der Großen Küstentanne. *Waldinformation (Mitarbeiterzeitung der Niedersächsischen Landesforsten)* 10-06, 18-20
- Sieper H.-P., Lange L., Kupka H.-J. 2006. Neue Perspektiven für die Lebensmittelkontrolle. *GIT-Labor-Fachzeitschrift* 9,750-752
- Wypukol H., Liepelt S., Ziegenhagen B., Gebhardt K. 2008. Genetische Methoden zur Abstammungsanalyse und Prüfung von Sortenechtheit und -reinheit. In: Gebhardt K. (Hrsg.) *Herkunftskontrolle mit Stabilisotopen und genetischen Methoden*, 67-84. http://www.nw-fva.de/Herkunftskontrolle/Symposium_Tagungsband.pdf (24.6.2011)