

# DNA-Methoden zur Kontrolle von Holzart und Holzherkunft

Genetische Merkmale über die gesamte Handelskette rückverfolgbar

Von Dr. Bernd Degen<sup>1</sup> und Dr. Aki Höltken<sup>2</sup>, Großhansdorf

Im Kampf gegen den illegalen Holzeinschlag sind Kontrollen auf verschiedenen Ebenen sinnvoll: die Baumart, des Herkunftslandes, der Region innerhalb eines Landes (z. B. Forstkonzession) und der eingeschlagenen Bäume. Überprüfungen mit herkömmlichen Methoden stoßen bei vielen tropischen Baumarten an ihre Grenzen. Die Machbarkeit der Kontrolle von Holzart und Holzherkunft mit Hilfe genetischer Methoden konnte jetzt in mehreren Projekten erfolgreich nachgewiesen werden. Für den breiten Einsatz der Methoden ist der Ausbau bestehender genetischer Referenzdaten und die Erweiterung der genetischen Identifizierung für die wichtigsten Handelsholzarten geplant.

Der illegale Holzeinschlag und der Handel mit illegal eingeschlagenem Holz und Holzprodukten tragen wesentlich zur weltweiten Entwaldung mit allen daraus resultierenden sozialen, ökonomischen und ökologischen Folgen bei. Im Brennpunkt stehen hierbei Tropenwälder. Illegaler Holzeinschlag wird dabei definiert als Einschlag von Bäumen unter Verstoß gegen gesetzliche Vorschriften im Ermland. Ein Verstoß gegen Vorschriften kann hierbei unter anderem:

- die Ernte geschützter oder nicht zum Einschlag freigegebener Baumarten betreffen,
- die Ernte an nicht genehmigten Orten (z. B. Schutzgebiete, fremde Forstkonzessionen) bedeuten, oder
- die Ernte zu kleiner Bäume (Unterschreitung des Mindestdurchmessers) oder zu hoher Mengen (Überschreitung des Hiebsatzes) zum Gegenstand haben.

hat kürzlich dem Gesetzentwurf zugestimmt. Der Entwurf liegt demnach dem Bundesrat zur Abstimmung vor.

Auch die USA haben mit dem Lacey Act rechtliche Vorschriften zur Verhinderung der Einfuhr von illegal eingeschlagenem Holz eingeführt. Hinzu kommt, dass es Importverbote für Tropenholz aus bestimmten Ländern gibt. So gilt in der EU und in den USA als Sanktionsmaßnahme gegen die dortige Militärdiktatur ein Verbot von Holzimporten aus Burma. Das ist insbesondere für Teakholz aus Naturwäldern in Burma relevant. Schließlich unterliegen einige wichtige Baumarten dem Washingtoner Artenschutzabkommen (CITES).



Abbildung 1 Entnahme von Kambiumproben mit einem Lochseisen (a, b) und anschließende Konservierung der Pflanzenproben (Blatt- bzw. Kambiummaterial) in Silikagel (c), um Faunabildung im feucht-warmen tropischen Klima zu vermeiden

Es sind jedoch effektive Methoden zur Kontrolle der genannten rechtlichen Rahmenbedingungen erforderlich, um den illegalen Holzeinschlag merklich zu reduzieren. Konkret sind Kontrollinstrumente auf verschiedenen Ebenen sinnvoll:

- der Baumart,
- des Herkunftslandes,
- der Region innerhalb eines Landes (z. B. Forstkonzession) und
- der eingeschlagenen Bäume.

Derzeitige Überprüfungen stoßen bei vielen tropischen Baumarten an ihre Grenzen. Eine schriftliche oder elektronische Dokumentation der Handelswege oder die künstliche Markierung des Holzes mit elektronischen Labels haben sich als anfällig für Manipulationen erwiesen.

Gesucht wird eine möglichst fälschungssichere Methode. Hier stellt die Erbinformation einen interessanten Ansatzpunkt dar, denn die DNA bleibt über die gesamte Lebensdauer eines Organismus unverändert, in unserem Fall vom Samen bis zum wachsenden und später gefällten Baum. Auch in Holz und verarbeiteten Holzprodukten ist die individuelle genetische Information des einzelnen Baumes (wenn auch in geringeren Mengen) nachweisbar und kann im Labor analysiert werden. Genetische Merkmale des Holzes können somit über die gesamte Handelskette rückverfolgt werden, vom lebenden Baum bis zum fertigen Holzprodukt.

In vielen Bereichen der Forensik werden DNA-Methoden bereits seit Jahren als gerichtsichere Beweisverfahren eingesetzt (z. B. Vaterschaftstests, DNA-Fingerabdrücke von Straftätern, Strafverfolgung beim Elitenbesmuggel usw.).

Seit einigen Jahren arbeitet am Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut (VTI)

das Institut für Forstgenetik in Kooperation mit dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie sowie dem Institut für Weltforstwirtschaft daran, diese Methoden auch für die Kontrolle der Holzart und Holzherkunft einzu setzen.

Inzwischen konnten verschiedene Pilotstudien abgeschlossen werden, die die Machbarkeit des genetischen Ansatzes demonstrieren haben.

## Kontrolle der Holzherkunft

In Naturwäldern unterscheiden sich die Bäume in der Regel genetisch umso mehr je größer der räumliche Abstand zwischen ihnen ist. Dieses räumlich-genetische Muster ist zum einen das Ergebnis begrenzter Samen- und Pollenverbreitung. Hierdurch entstehen im Laufe der Zeit in den Wäldern auf kleinerer räumlicher Ebene Familienstrukturen. Zum anderen führten aber auch Naturkatastrophen in der Geschichte der Wälder zu genetischen Unterschieden auf großer räumlicher Skala. Nach

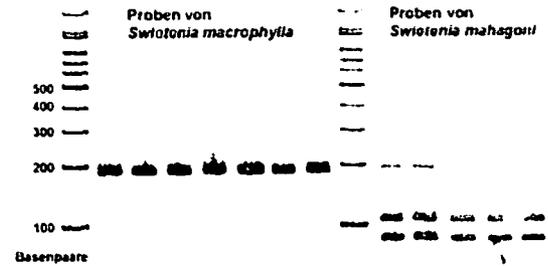


Abbildung 2 Schnelltestverfahren zur genetischen Unterscheidung zwischen der beiden Mahagoni-Arten *Swietenia macrophylla* und *S. mahagoni* (CITES II). Mit Hilfe eines Restriktionsenzym wird ein spezifisches Chloroplasten-DNA-Fragment bei *S. mahagoni* in zwei DNA-Fragmente zerschnitten, während das gesamte Fragment bei *S. macrophylla* erhalten bleibt.

mehr als 170 verschiedene genetische Varianten (Allele), die sich in ihren Häufigkeiten zwischen den verschiedenen Vorkommen sehr deutlich unterscheiden.

In einem Präxistest wurden die genetischen Fingerabdrücke von Mahagoni-Holzproben eines deutschen Holzimporteurs bestimmt und mit den Referenzdaten verglichen. Hierbei konnte in Übereinstimmung mit den Angaben der Firma Guatemala als Herkunftsland bestätigt werden. Genauso erfolgreich war ein zweiter Test mit Holzproben aus Bolivien. Damit steht für diese Baumart erstmalig ein fälschungssicheres Instru-

ment vor. Schmitzholz verglichen, dass laut schriftlicher Dokumentation aus diesen Bäumen gewonnen wurde.

## Kontrolle der Holzart

Zur Unterstützung des Cites Vollzugs bei der Kontrolle des Handels mit tropischen Baumarten stoßen makroskopisch-mikroskopische Artbestimmungsmethoden in vielen Fällen auf ihre Grenzen, insbesondere wenn angewandte Differenzierungen von nah verwandten Holzarten gefordert sind (z. B. innerhalb von Gattungen oder Familien). Dazu zählen unter anderem artreiche Familien wie z. B. die Mahagonihölzer (*Meliaceae*) mit ihren Gattungen *Saeteina* (Cites II), *Khaya*, *Carapa*, *Entandrophragma*, *Cedrela* (Cites III), *Toona* usw., aber auch die in den Tropen zahlreich vorhandenen Schmetterlingsblütler (*Fabaceae*), wie z. B. verschiedene Arten der Gattung *Dalbergia* (Rosenholzer), *Intsia* (Merbau) oder auch *Azadirachta* (Unterfamilie der Johannisbrotgewächse).

Ziel unserer Arbeit ist es, über eine DNA-Analyse zuverlässige Methoden der Holzart-Identifizierung zu entwickeln. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf einer möglichst schnellen und kostengünstigen Methode zur zweifelsfreien Bestimmung der traglichen Baumarten.

Das ringförmige Chloroplastengenom stellt für diese Zwecke eine besonders interessante Informationsquelle dar, da hier zumeist innerhalb der Arten nur sehr geringfügige Unterschiede feststellbar sind, zwischen Arten hingegen eine wesentlich höhere genetische Variation erwartet werden kann.

Zur Differenzierung sehr nah verwandter Arten suchen wir dann nach Unterschieden in der Abfolge einzelner Basen des genetischen Codes (SNPs = single nucleotide polymorphisms). Solche Unterschiede haben wir z. B. bei den Arten der Echten Mahagoni-Hölzer (*Swietenia macrophylla* und *S. mahagoni*) gefunden. Hier werden so genannte Restriktionsenzyme eingesetzt, welche diese Unterschiede erkennen und den DNA-Faden an diesen Stellen zerlegen (schneiden) oder nicht (vgl. Abbildung 2 am Beispiel zweier *Saeteina*-Arten).

## Schlussfolgerungen – Ausblick

Die Machbarkeit der Kontrolle von Holzart und Holzherkunft mit Hilfe genetischer Methoden konnte in mehreren Projekten erfolgreich nachgewiesen werden. Für den breiten Einsatz der Methoden ist der Ausbau bestehender genetischer Referenzdaten und die Erweiterung der genetischen Identifizierung für die wichtigsten Handelsholzarten geplant.

Ferner läuft eine Initiative des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz mit dem Ziel eine zentrale Koordinationsstelle bei Bioversity International in Kuala Lumpur (Malaysia) einzurichten. Diese Stelle soll die Standardisierung der Methoden sicherstellen und eine öffentlich zugängliche, zentrale Datenbank der Referenzdaten aufbauen.

Für die praktische Umsetzung setzen wir uns für eine Integration der genetischen Kontrollen als ergänzendes Audit-System in bestehende Verfahren des Legalsitätsnachweises für Holzart und Holzherkunft (z. B. für COC-Nachweis in FSC/SGS) ein.

ment zur Herkunftskontrolle auf Landerebene bereit.

## Forstkonzession

Ende 2010 konnte ein von der EU finanziertes Pilotprojekt zur Holzherkunftskontrolle auf der Ebene einer Forstkonzession in Kamerun abgeschlossen werden. Das Institut für Forstgenetik bestimmte hierbei die genetischen Fingerabdrücke von über 350 Sapelli-Bäumen (*Antandrophragma cylindricum*) aus einer Forstkonzession mit einer Größe von etwa 45 km × 45 km im Südosten von Kamerun. Ferner wurden etwa 100 Sapelli-Bäume benachbarter Forstkonzessionen genetisch untersucht.

Im Rahmen eines Blindtests wurden von Mitarbeitern des Forest Trusts (FTF) sieben Stichproben von jeweils 5 bis 20 Holzstücken europäischer Holzhändler zur genetischen Untersuchung zum VTI geschickt. Das genetische Profil dieser Proben wurde mit den Referenzdaten der Zielkonzession verglichen. Es galt zu überprüfen, ob das Sapelliholz in der Zielkonzession eingeschlagen wurde oder nicht.

In sechs von sieben Fällen war das Ergebnis der genetischen Kontrolle richtig. Die Treffsicherheit lässt sich jedoch noch deutlich steigern, wenn noch weitere Bereiche im Genium der Bäume untersucht werden.

## Herkunftsland

Für das sehr wertvolle Echte Mahagoni (*Swietenia macrophylla*) konnten inzwischen die Arbeiten zum Aufbau der Referenzdaten abgeschlossen werden. Das Echte Mahagoni kommt in Naturwäldern in einem Gebiet von Mexiko bis Bolivien vor. Auf dem Holzmarkt werden häufig Preise vor über 1000 USD/m<sup>3</sup> Holz erzielt. Die Baumart unterliegt dem Washingtoner Artenschutzabkommen (CITES).

In den einzelnen lateinamerikanischen Ländern gibt es sehr unterschiedlich strenge Regeln zum Holzeinschlag und Handel mit Mahagoni. So ist z. B. in Brasilien der Holzeinschlag fast vollständig verboten, während in verschiedenen mittelamerikanischen Ländern (Guatemala, Belize) ohne große Einschränkung Holzeinschlag erlaubt ist.

Zum Aufbau der genetischen Referenzdaten wurden in Zusammenarbeit mit Kollegen aus Costa Rica, Puerto Rico, Brasilien und Großbritannien mehr als 2000 Bäume aus 34 Vorkommen in Lateinamerika beprobt und deren genetische Fingerabdrücke am Institut für Forstgenetik in Großhansdorf und am brasilianischen Forschungsinstitut Inpa in Manaus bestimmt. Dabei fanden sich

## Rückverfolgung eingeschlagener Bäume

Kollegen der Firma Double Helix Tracking Technologies aus Singapur haben für Merbau (*Intsia bingyi*, *Intsia palembana*) in mehreren Forstkonzessionen in Indonesien ein Kontrollsystem aufgebaut, das mit Hilfe von DNA-Fingerabdrücken die Lieferkette vom eingeschlagenen Holz bis zum Schmitzholz bei der Verschiffung rückverfolgen kann. In dem Verfahren werden als Referenz von jedem eingeschlagenem Baum Kambium- oder Holzproben genommen. Stichprobenartig werden dann für einzelne Bäume die DNA-Fingerabdrücke bestimmt und mit de-

<sup>1</sup> Dr. Bernd Degen ist Leiter des Instituts für Forstgenetik des Johann-Heinrich-von-Thünen-Instituts (VTI).  
<sup>2</sup> Dr. Aki Höltken ist Inhaber der Firma Plant Genetic Diagnostics GmbH.