

**Anatomisch-strukturelle und topochemische
Untersuchungen zur Charakterisierung der Holzeigenschaften
neu eingeführter Handelshölzer (lesser known species)**

DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
an der Fakultät für Mathematik, Informatik
und Naturwissenschaften
des Fachbereichs Biologie
der Universität Hamburg

vorgelegt von

Volker Haag

Eingereicht: 24.10.2019

Disputationstermin: 06.02.2020

Erstgutachter:

PD Dr. habil. Gerald Koch

Thünen-Institut für Holzforschung

Fachbereich Holzbiologie

Leuschnerstraße 91

D - 21031 Hamburg

Zweitgutachterin:

Prof. Dr. Elisabeth Magel

Universität Hamburg

Fachbereich Holzbiologie

Leuschnerstraße 91

D - 21031 Hamburg

Wir müssen Wälder pflanzen.

Danksagungen

Ich möchte mich ganz herzlich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Thünen-Institutes und der Universität Hamburg bedanken, die mich bei meiner Promotion unterstützt haben.

Mein Dank richtet sich ferner an alle diejenigen, die mir geholfen haben, im Rahmen des Studiums so unglaublich viel zu lernen.

Im Besonderen gebührt mein Dank:

Gerald Koch, Uwe Schmitt, Jorgo Richter, Anne Wettich, Thorsten Haag, Valentina Zemke, Gerd Haag, Ursula Haag, Tanja Potsch, Anna Knöpfle, Dörte Bielenberg, Eckhard Melcher, Marie Therese Lenz, Johannes Welling, Rob Evans, Elisabeth Magel, Astrid Stilke, Sandra Jacobi, Ulrike Reupke, Daniela Paul, Jörg Ressel, Jürgen Odermatt, Katharina Erdt, Sarah Beyer, Oliver Mertens, Arne Kuck, Sergej Kaschuro, Susan Ortloff, Bettina Steffen, Doris Helm, Stefanie Warsow, Jan-Henning Blohm, Juline Cibis, Juliane Lemcke, José Antonio Silva Guzman, Andrea Olbrich, Caroline Röger, Martin Kureck, Johanna Lieven, Florian Rautenbach und vor allem meiner Mutter Renate Haag.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	I
Inhaltsverzeichnis	II
Abstract	IV
Zusammenfassung	V
Kapitel 1. Liste der Publikationen	
1.1 Liste der Publikationen in Zeitschriften mit Reviewsystem	6
1.2 Publikationen in nationalen Zeitschriften	6
Kapitel 2. Einleitung	7
2.1 Der internationale Holzhandel in Zeiten des Klimawandels	7
2.2 Die Historie und Bedeutung von „lesser known species“	9
2.3 Eigenschaften von Tropenhölzern im Vergleich zu Hölzern der gemäßigten Breiten	11
2.4 Eigenschaften von Plantagenholz vs. Holz aus Naturwäldern	11
2.5 Grundlagen zur Holzbildung und Darstellung der relevanten Untersuchungsmethoden	13
2.6 Ziele und Motivation sowie Integration der Publikationen	16
Kapitel 3. Publikationen I – VI	21
3.1 Wood anatomical and topochemical analyses to characterize juvenile and adult wood of lesser-known species from Central America (Mexico)	20
3.2 <i>Cedrelinga cateniformis</i> (Tornillo, Cedrorana) as substitute for relevant timbers used for window manufacturing and outdoor application	45
3.3 Die Europäische Holzhandelsverordnung (EUTR) - Anforderungen an die Holzartenbestimmung in der Praxis	68
3.4 Fasern im Fokus: Holzartenbestimmung von Faserplatten - Erfahrungen aus den Prüfungen im Kontext der EUTR	84

3.5 Womit grillen wir da eigentlich? Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass viele Chargen zumindest fehlerhaft deklariert sind	92
3.6 Viele Anfragen zu Bubinga und Palisander: Auswirkungen der neuen CITES-Listungen wichtiger Wirtschaftsbaumarten für die Holzverwendung und den Holzhandel	98
Kapitel 4. Diskussion	106
4.1 Differenzierung der Struktur und Eigenschaften von juvenilem und adultem Holz am Beispiel von sieben lesser known species aus Mexico	106
4.1.1 Untersuchung der Gefäße	107
4.1.2 Untersuchung des Fasergrundgewebes	107
4.1.3 Untersuchung des Holzstrahlenparenchyms	109
4.1.4 Zelluläre UV-mikrospektralphotometrische Untersuchungen (UMSP)	111
4.1.5 Untersuchung der Mikrofibrillenwinkel	112
4.2 Das Potential der lesser known species am Beispiel der peruanischen Forstwirtschaft	115
4.3 Anatomische Holzartenbestimmung im Kontext der Kontrolle und Umsetzung der Europäischen Holzhandelsverordnung (EUTR) und dem Washingtoner Artenschutzabkommen (CITES)	117
4.3.1 Die Arbeit des Thünen-Kompetenzzentrums Holzherkünfte im Rahmen der Europäischen Holzhandelsverordnung (EUTR)	117
4.3.2 Untersuchung von international gehandelter Holzkohle und Briketts	118
4.3.3 Die Auswirkungen von CITES auf den Holzhandel	120
Kapitel 5. Literaturverzeichnis	123
Eidesstattliche Erklärung	138
Einverständniserklärung	139

Abstract

As a consequence of globalized timber markets, overexploitation of primarily tropical tree species and relocation of industrial production facilities, new or unknown wood species, so-called "lesser known species", have been increasingly imported into the European market. Regular evaluations at the Thünen Institute of Wood Research reveal that 20 to 30 "new" timbers (mainly tropical species) are added every year, whereas in many cases their wood and utility properties are largely unknown. As these timbers are often recommended for outdoor use, the determination of the natural durability is of great importance. In this thesis, basic wood anatomical and topochemical analyses (cellular UV-spectroscopy) of lesser known species from Central and South America with special focus on timbers from Mexico and Peru were carried out to study their properties. Natural durability with a quantitative assessment was determined according to the European standard (EN 350-2016); traces of fungal decay were also examined by light and electron microscopy. The anatomical and subcellular characteristics, including a histometric evaluation, of juvenile and adult wood of seven lesser known species (*Manilkara zapota*, *Platymiscium yucatanum*, *Lonchocarpus castilloi*, *Roseodendron donnell-smithii*, *Terminalia buceras*, *Tabebuia rosea*, *Lysiloma latisiliquum*) from Mexico were studied by light microscopy and X-ray diffraction using the SilviScan®-technique. The purpose was to provide basic data for a detailed differentiation between these two wood tissues.

In conclusion, the anatomical examinations allow a clear identification of these timbers to fulfill the due diligence requirements of the European Timber Trade Regulation (EUTR) and are a useful contribution to the assessment of the wood properties of these lesser known species.

Zusammenfassung

Infolge globalisierter Märkte, der Übernutzung von v.a. tropischen Wirtschaftsbaumarten und der Verlagerung von industriellen Produktionsstätten werden zunehmend neue bzw. noch unbekannte Holzarten, sog. „lesser known species“, in den europäischen Markt eingeführt. Regelmäßige Evaluierungen am Thünen-Institut für Holzforschung zeigen, dass jährlich 20 bis 30 „neue“ Hölzer (v.a. tropische Baumarten) gehandelt werden, über deren Holz- und Gebrauchseigenschaften zumeist keine ausreichenden bzw. verlässlichen Informationen vorliegen. Da diese Hölzer insbesondere für Verwendungen im Außenbereich mit hohen Anforderungen an Langlebigkeit eingesetzt werden, ist die Beurteilung ihrer natürlichen Dauerhaftigkeit von großer Bedeutung. Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurden anatomisch-strukturelle und topochemische Untersuchungen (zelluläre UV-Spektroskopie) an lesser known species mit hohem wirtschaftlichem Potential aus Mittel- und Südamerika (Schwerpunkt Mexiko und Peru) durchgeführt, um deren Holzeigenschaften grundlegend zu charakterisieren. Für die Bestimmung der natürlichen Dauerhaftigkeit wurden normgerechte Dauerhaftigkeitsprüfungen (EN 350-2016) durchgeführt und der mikrobielle Holzabbau der individuellen Arten licht- und elektronenmikroskopisch untersucht. Zusätzlich wurden qualitative und quantitative holzanatomische Untersuchungen zur Unterscheidung von juvenilem und adultem Holz von sieben lesser known species (*Manilkara zapota*, *Platymiscium yucatanum*, *Lonchocarpus castilloi*, *Roseodendron donnell-smithii*, *Terminalia buceras*, *Tabebuia rosea*, *Lysiloma latisiliquum*) aus Mexiko durchgeführt. Neben den umfangreichen histometrischen Untersuchungen wurden die Hölzer mit Hilfe von Röntgenbeugung (SilviScan®-Technik) analysiert. Ziel dieser Untersuchungen ist es, die Struktur-Eigenschafts-Beziehungen des Holzgewebes handelsrelevanter Wirtschaftsbaumarten aus Zentralamerika auf zellulärer und subzellulärer Ebene zu bestimmen.

Die anatomischen Untersuchungen dienen gleichzeitig einer eindeutigen Bestimmung dieser Hölzer, damit die Anforderungen / Sorgfaltspflichten gemäß der Europäischen Holzhandelsverordnung (EUTR) erfüllt werden. Insgesamt liefern die Untersuchungen einen wichtigen Beitrag für die Beurteilung der Holzeigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten dieser lesser known species“.

Kapitel 1. Liste der Publikationen

1.1 Liste der Publikationen in Zeitschriften mit Reviewsystem

- I **Haag V, Koch G, Richter HG, Evans R, Silva Guzmán JA, Schmitt U. 2019.** Wood anatomical and topochemical analyses to characterize juvenile and adult wood of lesser-known species from Central America (Mexico). IAWA J. 40(4): (im Druck)
- II **Haag V, Koch G, Melcher E, Welling J. 2019.** Characterization of the wood properties of *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo, Cedrorana) as substitute for relevant timbers used for window manufacturing and outdoor application. Maderas-Ciencia y Tecnologia 22 (1) (im Druck)

1.2 Publikationen in nationalen Zeitschriften

- III **Koch G, Haag V, Heinz I, Richter H-G (2016)** Die Europäische Holzhandelsverordnung (EUTR): Anforderungen an die Holzartenbestimmung in der Praxis. Holztechnologie 57(1): 5-11
- IV **Koch G, Haag V, Helmling S, Heinz I, Olbrich A (2017)** Fasern im Fokus: Holzartenbestimmung von Faserplatten - Erfahrungen aus den Prüfungen im Kontext der EUTR. MDF Magazin & Co: 86-88
- V **Haag V, Koch G, Kaschuro S (2017)** Womit grillen wir da eigentlich? Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass viele Chargen zumindest fehlerhaft deklariert sind. Holz-Zentralblatt 143(38): 876
- VI **Koch G, Haag V (2017)** Viele Anfragen zu Bubinga und Palisander: Auswirkungen der neuen CITES-Listungen wichtiger Wirtschaftsbaumarten für die Holzverwendung und den Holzhandel. Holz-Zentralblatt 143(13): 313

Kapitel 2. Einleitung

2.1 Der internationale Holzhandel in Zeiten des Klimawandels

Der internationale Holzhandel und die sich daraus ergebenden Handelsströme sind Teil eines vielfältigen, weltweit vernetzten und komplexen Systems, das einem ständigen Prozess von Veränderungen unterliegt.

Grund für diesen dauernden Entwicklungsprozess sind Veränderungen der teils gesellschaftlichen, teils politischen Rahmenbedingungen, die gleichermaßen Einfluss auf die nachgefragten Holzmengen und Handelssortimente haben und wechselnde Mengen an verfügbaren Ressourcen ergeben (Weingarten *et al.* 2017; Morland *et al.* 2018; Schier *et al.* 2018).

In Zeiten des Klimawandels und der zunehmenden Konkurrenz zwischen der forstwirtschaftlichen Landnutzung und der Landnutzung zur Nahrungsmittelproduktion ist es Aufgabe der internationalen Forst- und Holzwirtschaft sowie der beteiligten Wissenschaften, sich aktiv für die Stärkung und den Ausbau einer nachhaltigen Forstwirtschaft und den Schutz von wichtigen Ressourcen und Ökosystemen einzusetzen.

Am 12. Dezember 2015 unterzeichneten 197 Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) das sog. Übereinkommen von Paris (*Paris Agreement*) mit dem Ziel des Klimaschutzes in Nachfolge des Kyoto-Protokolls (Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, 11.12.1997). Konkret wurde im Rahmen der Konvention vereinbart, die globale Erderwärmung auf ein Niveau von deutlich unter 2 °C gegenüber vorindustriellen Werten zu halten. In einer Studie von Steffen *et al.* (2018) warnten die Autoren bereits davor, dass dieses Ziel nicht ausreichen wird, einen dramatischen Verlauf des Klimawandels zu verhindern. Die anvisierten 2 °C könnten irreversible Rückkopplungen durch sog. Kippelemente im Erdsystem nicht sicher verhindern. Die Folgen wären unvorhersehbare Klimaphänomene wie Hitzeextreme und Dürren sowie Starkniederschläge, Überschwemmungen und eine Erhöhung des Meeresspiegels mit unabsehbaren Folgen auch für die Forst- und Holzwirtschaft. Als Folge dieser Studie wurde die Zielsetzung auf eine Erhöhung von nicht mehr als 1,5 °C reduziert. Die Maßnahmen zur Umsetzung der Klimaziele sind divers und reichen vom Verzicht auf die Nutzung fossiler Energiequellen (u.a. Erdöl, fossile Kohle) über die Reduzierung von Abgasen und Feinstäuben in der Auto- und Flugzeugindustrie bis hin zum Umdenken in den Ernährungsgewohnheiten (Reduzierung des Konsums von Fleisch- und Milchprodukten). Das Kernziel aller Maßnahmen ist in den meisten Fällen,

Einleitung

den Ausstoß des klimawirksamen Gases CO₂ zu reduzieren und den Erhalt von CO₂-speichernden Landflächen zu sichern. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2018) berichtete in diesem Zusammenhang, dass bis zum Ende dieses Jahrhunderts 730 Billionen Tonnen CO₂ aus der Atmosphäre extrahiert werden müssen, um unvorhersehbare Klimakatastrophen zu verhindern. Dies entspricht dem Äquivalent des emittierten CO₂ der USA, Großbritanniens, Deutschlands und Chinas seit der industriellen Revolution im 18. Jahrhundert. Die wichtigsten terrestrischen Flächen weltweit mit hohem CO₂-Speicherungspotential sind neben wichtigen Biotopen wie Moor- und Auenlandschaften mit deutlich größeren Flächenanteilen Naturwälder und forstwirtschaftliche Flächen (Bastin *et al.* 2019; Lewis *et al.* 2019; Hirschberger und Winter *et al.* 2018).

Am 02.09.2011 wurde die Initiative „Bonn Challenge“ gestartet. Bei der „Bonn Challenge“ handelt es sich um ein internationales Projekt der International Union for Conservation of Nature (IUCN) in Zusammenarbeit mit der Global Partnership on Forest and Landscape Restoration (GPFLR) zur Wiederherstellung entwaldeter und erodierter Flächen. Ziel der Initiative ist es, 150 Millionen Hektar Land bis zum Jahr 2020 und 350 Millionen Hektar bis zum Jahr 2030 zu renaturieren. Bis zum Jahr 2013 waren bereits über 20 Millionen Hektar Land für Renaturierungsmaßnahmen bereitgestellt worden. Länder wie Brasilien, El Salvador, Costa Rica, die USA, Ruanda, Nigeria, Vietnam, Südkorea und China hatten frühzeitig ihre Unterstützung zugesagt. Vor diesem Hintergrund wirkt es irritierend, dass die Medien nahezu täglich von großflächigen Waldverlusten, vor allem in tropischen Regionen der Erde berichten. Zu Beginn des Jahres 2019 gab die Organisation Global Forest Watch (GFW) bekannt, dass im Jahr 2018 etwa zwölf Millionen Hektar Land an Tropenwald verloren gegangen sind. Besonders besorgniserregend sei vor allem der Verlust von 3,6 Millionen Hektar primären Regenwaldes. Die Ergebnisse hierzu beruhen auf Studien der Universität Maryland (Weisse und Dow Goldman 2019) und basieren auf der Auswertung von Satellitenbildern. Spitzenreiter dieses Negativtrends ist derzeit Brasilien. Hier wurden allein 1,35 Millionen Hektar primärer Regenwald zerstört. Grund für die hohen Verluste sind neben Bränden die Umwandlung von Wald zur Schaffung von Agrarflächen wie zur Rindfleischproduktion oder zum Sojabohnenanbau (Fehlenberg *et al.* 2017). Hierbei wird deutlich, dass hauptsächlich wirtschaftliche Interessen für die hohen Entwaldungsraten verantwortlich sind. **In logischer Konsequenz wäre daher eine Lösung zu Gunsten einer nachhaltigen forstlichen Bewirtschaftung der Wälder möglich, wenn die Wertschöpfung forstlicher Produkte höher wäre als die von Agrarflächen.** In diesem Kontext berichten zahlreiche Studien darüber, dass das wirtschaftliche Potential vieler Waldregionen, vor allem in tropischen Regionen, bei weitem nicht ausgeschöpft wird (Hotz *et al.* 2014). Ein hoher Faktor zum Schutz der Wälder könnte jedoch durch die nachhaltige Nutzung sog. lesser known species mit hochwertigen

Holzeigenschaften generiert werden (Forster *et al.* 2003; Rehbein 2011; Silva Guzmán *et al.* 2012; Haag *et al.* 2019).

2.2 Die Historie und Bedeutung von lesser known species

Laut einer Erhebung von Beech *et. al* (2017) existieren derzeit etwa 60.000 Baumarten weltweit. Die Ergebnisse dieser Erhebung decken sich mit den Ergebnissen von Slik *et al.* (2015) dahingehend, dass mit etwa 40.000 bis 53.000 unterschiedlichen Arten allein in den tropischen Regionen gerechnet werden kann. Als Baum gilt nach einer Definition der Food and Agriculture Organisation (FAO) eine mehrjährige Pflanze mit mindestens 5 m Höhe, deren Kronenüberstand mehr als 10 % der Erdoberfläche (Bodenüberstand) bedeckt. Mehrjährige krautförmige Pflanzen und andere in Wäldern vorkommende verholzende Pflanzenarten werden in den genannten Studien nicht berücksichtigt.

Auf der Grundlage von Evaluierungen durch das Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte in Hamburg umfassen die nach Europa eingeführten Haupthandelssortimente durchschnittlich 600 bis 900 Taxa (Gattungen/Arten). Diese Erhebungen basieren auf den umfangreichen gutachterlichen Holzartenbestimmungen, die seit März 2013 für die Erfüllung der Sorgfaltspflichten „Art- und Herkunftsnachweis“ gemäß der Europäischen Holzhandelsverordnung (EUTR) durchgeführt werden. Jährlich werden hierfür derzeit etwa 25.000 bis 30.000 Holzproben pro Jahr aus unterschiedlichsten Produktgruppen auf die enthaltenen Hölzer untersucht. Die eingesandten Warenmuster und Holzproben stammen aufgrund einer zunehmenden Verlagerung der Produktionsstätten nach Asien zu einem Großteil aus China, Vietnam, Thailand, Indonesien und Korea. Darüber hinaus auch aus den USA, Russland, Süd- und Mittelamerika, Indien sowie von anderen internationalen Herkünften und stellen somit einen repräsentativen Überblick der weltweit gehandelten Hölzer und Holzprodukte dar.

Der aufgeführte Unterschied zwischen dem vorhandenen Artenreichtum und der Zahl an tatsächlich gehandelten Arten zeigt das ungenutzte Potential der Wälder. Jedes Jahr werden im Rahmen der standardmäßigen Untersuchungen am Thünen-Institut etwa 20 bis 30 „neue“ Arten bestimmt, die als sog. „lesser known species“ bezeichnet werden.

Als lesser known species (auch „lesser used species“ oder „lesser known timber species“) werden Holzarten bezeichnet, die ein bestimmtes holzwirtschaftliches Potential besitzen (z.B. aufgrund ihrer technologischen Eigenschaften oder durch schnelles Wachstum mit hoher Volumenproduktion), jedoch meist nur regional bekannt sind. Das marktwirtschaftliche Potential liegt v.a. darin, etablierte und häufig übernutzte Baumarten substituieren zu können.

Einleitung

Forster *et al.* (2003) teilen in ihrer Veröffentlichung über „Wälder in Mesoamerika - regionale Nutzung von lesser known species“ diese in zwei Gruppen ein:

- Holzsortimente, die die sehr stark nachgefragte Holzart Mahagoni (*Swietenia macrophylla*) substituieren können bzw. die für etablierte Einsatzgebiete im dekorativen Möbelbau, Fenster- und Türproduktion u.a. geeignet sind,
- Holzsortimente, die aufgrund ihrer Eigenschaften in anderen Verwendungsfeldern als Mahagoni genutzt werden können, vor allem besonders harte oder schwere Hölzer für den konstruktiven Einsatz oder als Parkett- und Terrassenböden.

Die südamerikanische Holzart Mahagoni (*Swietenia macrophylla*) wurde am 15.11.2003 unter CITES-Schutzstatus II (Fußnote #6, davor Schutzstatus III seit 16.11.1995) des Washingtoner Artenschutzabkommens gestellt. Grund hierfür ist eine jahrzehntelange Übernutzung dieser Art, die zu einer starken Reduzierung der natürlichen Vorkommen geführt hat. In einer direkten Folge der reduzierten Verfügbarkeit wurden zunächst nahe verwandte Holzarten aus der gleichen Familie der MELIACEAE, v.a. Hölzer der Gattung *Entandrophragma* (Hall 2008, 2011; Kasongo *et al.* 2019), insbesondere die Arten *Entandrophragma cylindricum* (Sapeli) und *Entandrophragma utile* (Sipo), als Substitute eingesetzt. Heute werden auch Sapeli und Sipo immer seltener z.B. für den Fensterbau und dekorativen Innenausbau genutzt, da sie aufgrund abnehmender Verfügbarkeit intensiv im Preis gestiegen sind. Zudem wurden beide auf die IUCN „Red List of Timber Species“ gesetzt und gelten seit 1998 ebenfalls als gefährdet (Hawthorne 1998; Yakusu 2019). Seit der Erschließung der Tropenwälder in Südostasien dominiert die Holzartengruppe Meranti (*Shorea* subg. *Rubroshorea*) aus der Familie der DIPTEROCARPACEAE den Fensterbau (Purwaningsih und Kintanmani 2018). Auch diverse Holzarten für das Handelssortiment Meranti befinden sich seit 1998 auf der IUCN Liste der gefährdeten Arten (Ashton 1998; Pooma und Newman 2017; Bodos und Julia 2019).

Die aufgeführten Holzarten beider Familien sind somit repräsentative Beispiele für die Übernutzung bestimmter selektiv genutzter Wirtschaftsbaumarten (Sist 1998; Sist und Nguyen-Thé 2002; Sist *et al.* 2003; Grogan *et al.* 2008; Günter *et al.* 2011; Inada *et al.* 2017) und illegalen Holzeinschlag (Grossheim 2011), wogegen andere gut verfügbare Hölzer mit vergleichbaren Holzeigenschaften wirtschaftlich ungenutzt bleiben.

2.3 Eigenschaften von Tropenhölzern im Vergleich zu Hölzern der gemäßigten Breiten

Zahlreiche Tropenhölzer zeichnen sich im Vergleich zu Hölzern aus den gemäßigten Verbreitungsgebieten durch bessere Holzeigenschaften aus. Hervorzuheben sind vor allem die hohen natürlichen Dauerhaftigkeiten, Festigkeiten und Dimensionsstabilitäten vieler Tropenhölzer. Ursachen hierfür sind die meist homogeneren Wuchsbedingungen durch konstantere Klimabedingungen (das Ausbleiben frostbedingter Vegetationspausen), die durchschnittlich höheren Umgebungstemperaturen und höhere Luftfeuchtigkeit an Naturstandorten vor allem in tropischen Regenwäldern, an die die Bäume evolutionsbedingt angepasst sind. Tropenhölzer werden in Europa daher häufig für Anwendungen im konstruktiven Außenbereich, z.B. Fensterkanteln, Terrassendielen oder Türkonstruktionen verwendet. Insbesondere im boomenden Garten- und Landschaftsbau (Sortiment Terrassendielen) hat die Nachfrage nach Hölzern mit hoher natürlicher Dauerhaftigkeit in Europa in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen (Koch 2006; Weber und Koch 2007). Ein wichtiger Aspekt bei der Vermarktung von Holzprodukten ist die Gewährleistung gleichbleibender Holzqualitäten und somit die Reduktion von Schwankungen bei den Holzeigenschaften, die beispielsweise durch die Holzauswahl von Hölzern bestimmter Standorte oder beim Holzeinschnitt gesteuert werden können.

2.4 Eigenschaften von Plantagenholz vs. Holz aus Naturwäldern

Infolge des weltweit gestiegenen Bedarfs an Holz und Holzprodukten, v.a. für die Holzwerkstoff- und Papierindustrie, aber auch für die Verwendung von Holz im Außenbereich wurden in den vergangenen Jahrzehnten intensiv Plantagen angelegt. Zu den wichtigsten Plantagenhölzern zählen hierbei neben dem Nadelholz der Monterey Kiefer (*Pinus radiata*) die Laubhölzer Eukalyptus (*Eucalyptus* spp.), Akazie (primär *Acacia mangium*, jedoch auch zunehmend Hybride aus dieser Gattung) sowie Teak (*Tectona grandis*) (Haupt *et al.* 2003; Burdon *et al.* 2004; Heriansyah *et al.* 2007; Downes *et al.* 2014; Palermo *et al.* 2015). Problematisch ist jedoch, dass das Holz von Plantagenbäumen mit zumeist kurzen Umtriebszeiten nicht die Qualitäten von Hölzern aus Naturwäldern erreicht. Grund hierfür ist die wesentlich höhere Zuwachsleistung im Verhältnis zu kürzeren Ernteintervallen auf Plantagen. Als Folge produzieren die Bäume schneller ein größeres verfügbares Holzvolumen, jedoch von geringerer Qualität. Das Holz aus schnellwüchsigen Plantagen wird daher (mit wenigen Ausnahmen) durch eine vergleichsweise geringe Rohdichte, reduzierte Festigkeit und Dimensionsstabilität sowie geringere natürliche Dauerhaftigkeit charakterisiert. In den kurzen Wachstumsperioden kann das Kernholz weniger gut „ausreifen“ und die für die Dauerhaftigkeit wichtigen Inhaltsstoffe synthetisieren. In Plantagen mit kurzen Umtriebszeiten wird

daher größtenteils sogenanntes „juveniles Holz“ produziert (Zobel und Sprangue 1998; Moore und Cown 2017; Haag *et al.* 2019).

Als juvenil wird Holz dann bezeichnet, wenn es in der „Jugendphase“ des Baumwachstums nahe der Markröhre (Mark) gebildet wird. Je nach Gattung oder Art beträgt die juvenile Wachstumsphase 10 bis 20 Jahre. An natürlichen Standorten werden im jungen Baum an das juvenile Holz andere Ansprüche, u.a. an die Statik oder Nährstoffversorgung des Baumes, als später an das „adulte“ Holz (gereiftes Holz) gestellt. Junge Bäume an Naturstandorten, wie z.B. in den Tropen, streben ein zügiges Wachstum an, um rasch an Höhe zu gewinnen und eine günstige Exposition zum Licht zu erreichen, während das Holz dynamisch beanspruchbar bleiben muss, um mechanische Einwirkungen (Bewegungen) ausgleichen zu können. Daher ist das juvenile Holz meist leichter, weniger hart und besitzt geringere statische Festigkeiten sowie weniger Inhaltsstoffe. In der adulten Phase hingegen werden höhere Ansprüche an die Statik des Stammes gestellt, da eine Baumkrone gewachsen ist, die neben dem Eigengewicht noch eine hohe Windlast übertragen kann. Das Holz, das nun wesentlich langsamer gebildet wird, ist im Vergleich zum juvenilen Holz deutlich dichter, härter und enthält mehr Inhaltsstoffe.

Als Beispiel für die oben aufgeführten deutlichen Unterschiede in der Holzbildung eignet sich insbesondere die Holzart Teak (*Tectona grandis*) (Darmawan *et al.* 2015; Rizanti *et al.* 2018). Das natürliche Verbreitungsgebiet von Teak sind die Monsunwälder Süd- und Südostasiens, insbesondere Myanmar, Thailand und Laos. In den natürlichen Verbreitungsgebieten herrscht eine hohe Licht- und Nährstoffkonkurrenz. Die Überlebenschancen für Sämlinge ergeben sich i.d.R. nur, wenn im angrenzenden Waldgefüge ein Altbaum stirbt. Ist dies der Fall, nehmen die Bäume mit erheblich schnelleren Zuwächsen an Volumen und Höhe zu, als dies später in der adulten Phase der Fall ist, bis sich die Lücke im Blätterdach geschlossen hat und sich durch die natürliche Platzkonkurrenz wieder ein Gleichgewicht einstellt. Werden Teakbäume an günstigen Plantagenstandorten und ohne Konkurrenzdruck in den immerfeuchten Tropen gepflanzt, wie beispielsweise in Indonesien, setzen Teakbäume ihr „Jugendwachstum“ fort, bis sie in Kurzumtriebsplantagen nach etwa 7 bis 14 Jahren (Rizanti *et al.* 2018) geerntet werden. Teakbäume an Standorten natürlicher Verbreitungsgebiete bilden durchschnittlich Jahresringe von etwa 3 bis 6 mm aus. Das Holz ist von tiefbrauner Farbe und hat einen stark kautschukartigen Geruch. Teakbäume in Kurzumtriebsplantagen wachsen erheblich schneller und können jährliche maximale Zuwachsgrenzen von bis zu 3 cm produzieren. Das gebildete Holz ist wesentlich leichter, deutlich heller und von weniger intensivem Geruch als Naturteak und wird gemeinhin auch als „Baby Teak“ bezeichnet. Die natürliche Dauerhaftigkeit von Teakholz aus natürlichen Verbreitungsgebieten entspricht Klasse 1 „sehr dauerhaft“ (gemäß EN 350:2016), während Teakholz von Plantagen nur die Klasse 3 bis 4 „mäßig dauerhaft bis wenig

dauerhaft“ erreicht und für Anwendungen in den Gebrauchsklassen GK 3.2, GK 4 und GK 5 (DIN 688000) im Außenbereich nicht geeignet ist.

Vor diesem Hintergrund wird deutlich, inwiefern die Holzqualität einen Einfluss auf die Vermarktbarkeit der Holzprodukte hat. Das Beispiel „Teakholz“ zeigt zudem, dass eine Differenzierung zwischen juvenilem (in diesem Fall Plantagenholz) und adultem Holz berücksichtigt werden muss.

Vergleichbare Studien liegen nur für Hölzer der etablierten Handelssortimente vor, nicht jedoch für lesser known species. Die Ursache hierfür ist darin begründet, dass die Differenzierung bestimmter Gewebetypen im Holz aus oftmals wirtschaftlichen Gründen (primär beim Holzeinschnitt) unberücksichtigt bleiben bzw., wie eingangs bereits erwähnt, ein Großteil der in Naturwäldern vorkommenden Baumarten nicht berücksichtigt werden oder als wirtschaftlich unrentabel gelten. Aktuelle wissenschaftliche Publikationen zu diesem Thema beschäftigen sich einerseits meist nur mit individuellen für den Holzmarkt aktuell-relevanten Holzarten wie u.a. Teak, Eukalyptus und Robinie (Haupt *et al.* 2003; Dünisch *et al.* 2010; Kiaei *et al.* 2012; Darmawan *et al.* 2015) oder wichtigen Nadelbaumarten wie Douglasie oder Plantagenkiefern (Burdon *et al.* 2004; Blohm *et al.* 2016). Andererseits wird der Schwerpunkt der Untersuchungen auf bestimmte anatomische Strukturen wie beispielsweise den Mikrofibrillenwinkel (Donaldson 2008), Rohdichte-Variationen (Fukazawa 1984) oder individuelle methodische Ansätze (Evans 2001) fokussiert. Bislang beschreiben sehr wenige Ansätze die Variation der Holzstruktur juveniler und adulter Gewebe individueller Familien/Gattungen (Rendle 1961; Fukazawa 1983; Zobel und Sprague 1998). Die bisher vorliegenden Arbeiten deuten allerdings darauf hin, dass kein phylogenetischer Einfluss auf die Ausprägung der juvenilen Holzbildung festgestellt werden kann.

2.5 Grundlagen zur Holzbildung und Darstellung der relevanten Untersuchungsmethoden

Die Holzbildung sowie die Synthese und Einlagerung von Extraktstoffen sind komplexe zelluläre und biochemische Prozesse, die einen signifikanten Einfluss auf die resultierenden biologischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften von Hölzern haben (Fukazawa 1983; Hillis 1985, 1987; Bauch 1974; Magel *et al.* 1991; Magel 2000; Koch 2004; Serk *et al.* 2015; Xi 2018; Haag *et al.* 2020). Neben genetisch fixierten Prozessen beeinflussen auch exogene Faktoren wie z.B. die Exposition des Baumes im Waldgefüge, Zugang zum Licht sowie Nährstoff- und Wasserversorgung die Holzbildung (Magel *et al.* 1993; Carlquist 2001).

Im komplexen Prozess der Zellwandbildung und sekundären Stoffwechselmechanismen haben vor allem die Lignifizierung der Zellwände (Zellwandschichten) und die Biosynthese der organischen Extraktstoffe einen großen Einfluss v.a. auf die biologischen Eigenschaften des Holzgewebes. Diese werden im Holzbildungsprozess im Wesentlichen über den Shikimatweg (oder auch Shikimisäureweg) synthetisiert.

Die in der Photosynthese produzierten Assimilate (primäre Zucker und Stärke) bilden hierbei zunächst die Grundbausteine für die Zellwandbildung. Über den Phenylpropanoidmetabolismus (Boerjan *et al.* 2003) werden im Folgenden Hydroxycinnamylalkohole (= Monolignole) P-coumaryl-, Coniferyl-, und Synapyl-Alkohol gebildet. Durch die Rekombinierung der Phenoxyradikale der Monolignine werden darauf in mehreren Schritten (radikalische Kettenpolymerisation von Mono-, Di-, Oligo- zu Poly-ligninen) die Makromoleküle des Lignins synthetisiert. Diese sind im Wesentlichen die Guaiacyl- (Hauptbestandteil des Lignins in Nadelhölzern), Syringyl- (Hauptbestandteil in Laubhölzern) und p-Hydroxyphenyl-Propaneinheiten (Hauptbestandteil in Gräsern). Alle drei Hauptkomponenten kommen zu unterschiedlichen Mengenanteilen in Laubholz, Nadelholz und Gräsern (Bambus etc.) vor. Bei der Bildung von pflanzlichem Gewebe wird weiterhin zwischen Primär- (Ligninbiosynthese) und Sekundärstoffwechsel (Aromatenstoffwechsel) unterschieden, beide können jedoch aufgrund gemeinsamer Reaktionsmechanismen nicht immer genau differenziert werden. Die natürliche Dauerhaftigkeit von Hölzern wird in diesem Zusammenhang über die Biosynthese der Extraktstoffe, v.a. phenolischer Inhaltsstoffe und ihre Imprägnierung in die Zellwand gesteuert (Koch und Schmitt 2013).

Für die quantitative Bestimmung der Anteile an Extraktstoffen im Holzgewebe der untersuchten lesser known species sowie ihrer Konzentration und Verteilung im juvenilen und adulten Holz wurden ASE-Extraktionen (Accelerated Solvent Extraction) durchgeführt (Haag *et al.* 2019). Die ASE ermöglicht eine Trennung der methanol- und wasserlöslichen Bestandteile vom pflanzlichen Gewebe und erlaubt eine genaue Bestimmung der Konzentrationen an aromatischen und aliphatischen Bestandteilen. Für den topochemischen Nachweis und einer semiquantitativen Charakterisierung von Lignin und phenolischen Inhaltsstoffen wurden zusätzlich zelluläre UV-spektroskopische Untersuchungen (UMSP) durchgeführt. Die UMSP-Untersuchungen bildeten einen Schwerpunkt für die grundlegenden Untersuchungen der Publikationen I und II. Das Messprinzip der UMSP-Methode beruht darauf, dass Semidünnschnitte von 1 µm Dicke sequentiell mit monochromatischem Licht im Wellenbereich von 240 bis 700 nm (278 nm = Absorptionsmaximum von Laubholzlignin) mit einer Ortsauflösung von 0,25 µm x 0,25 µm durchstrahlt werden und die UV-Absorption der Messpunkte aufgezeichnet wird (Koch 2004). Die zelluläre Mikrospektralanalyse ermöglicht dabei eine genaue Detektion von Lignin und phenolischen Extraktstoffen innerhalb einzelner Zellwandschichten und

Gewebetypen (Koch und Kleist 2001, Koch und Schmitt 2013). Darüber hinaus kann die UMSP-Technik genutzt werden, um eine topochemische Quantifizierung der phenolischen Komponenten im Holzgewebe durchzuführen (Koch *et al.* 2003, 2006).

Für eine Beurteilung der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen des Holzgewebes sind ebenso die übrigen Gerüstsubstanzen der Zellwand (Cellulose und Hemicellulosen) von großer Bedeutung. Nach Studien von Meylan (1967), Cave (1968), Bendtsen (1978), Evans und Ilic (2001), Lima (2004) Donaldson (2008) sowie Hein und Lima (2012) hat beispielsweise die Ausrichtung der Mikrofibrillen (Mikrofibrillenwinkel) einen signifikanten Einfluss auf die elastomechanischen Eigenschaften und Festigkeiten. Zudem weisen Studien von Burdon *et al.* (2004) und Blohm *et al.* (2016) darauf hin, dass der Mikrofibrillenwinkel ein deutlicher Indikator für die Differenzierung von juvenilem und adultem Holz ist. Chow *et al.* (1996) und Adamopoulos *et al.* (2005) diskutierten in diesem Zusammenhang die Möglichkeit, dass die Ausrichtung der Mikrofibrillen (kleinerer Mikrofibrillenwinkel im adultem Holz) in Zusammenhang mit einem geringeren Ligningehalt steht. Für die Untersuchung des Mikrofibrillenwinkels wurden Untersuchungen mit einem SilviScan®-System durchgeführt. Beim SilviScan® handelt es sich um einen Röntgen-Diffraktometer kombiniert mit einem Röntgen-Dichtemesser und einer Bildanalyseeinheit. Das SilviScan®-System ermöglicht neben der Untersuchung des Mikrofibrillenwinkels eine Kombination von unterschiedlichen Analysen. Hierzu zählen unter anderem zelluläre Längenerfassungen (Faserlängen oder Zellwanddicken), Bestimmungen der lokalen Rohdichte oder Messungen des lokalen E-Moduls (Evans 1999).

Darüber hinaus wurden umfangreiche qualitative zelluläre und subzelluläre Untersuchungen sowie quantitative (histometrische) Messungen mittels Lichtmikroskopie und FESEM (Field Emission Scanning Electronic Mikroskop) durchgeführt, wie sie ausführlich in den Material- und Methodenteilen der Publikationen I und II dargestellt und erklärt werden.

2.6 Ziele und Motivation sowie Integration der Publikationen

Im Folgenden werden die Schwerpunkte der relevanten Publikationen für die vorliegende Dissertation aufgeführt. Die Publikationen I und II (Publikationen in Zeitschriften mit Reviewsystem) beschäftigen sich jeweils mit einem individuellen Themenschwerpunkt, während die Publikationen III – VI (Publikationen in nationalen Zeitschriften) als Themenkomplex wissenschaftlicher Arbeiten auf dem Gebiet der anatomischen Holzartenbestimmung im Kontext der Europäischen Holzhandelsverordnung (EUTR) und dem Washingtoner Artenschutzabkommen CITES betrachtet werden können.

Publikation I

Die erste Publikation „Wood anatomical and topochemical analyses to characterize juvenile and adult wood of lesser-known species from Central America“ beschäftigt sich primär mit der Differenzierung von juvenilem und adultem Gewebe von sieben lesser known species aus den mexikanischen Bundesstaaten Chiapas und Yucatán. Die Arbeit basiert auf Holzproben, die im Rahmen des mexikanischen Forschungsprojektes "Proyecto ITTO PD 385/05" Industrialización, Comercialización y Manejo Sostenible de diez Especies Nativas Mexicanas“ gesammelt und untersucht worden sind. Ziel dieses Projektes war es, die Kommerzialisierung, das Marketing und das nachhaltige Management mexikanischer Baumarten durch die Optimierung des Forstmanagements, der Versorgungsevaluation sowie der intensiven Analyse der Holzeigenschaften und einer potentiellen Wertschöpfung zu optimieren. Im Kontext dieses Projektes wurde relevantes Informationsmaterial unterschiedlicher Forschungsrichtungen (u.a. Forst- und Holzwissenschaft, Ökonomie und Ökologie) generiert, um eine höhere und nachhaltigere Wertschöpfung durch die Nutzung lesser known species in den relevanten mexikanischen Wäldern zu ermöglichen (Silva Guzmán *et al.* 2012).

Für die Publikation I wurden systematisch Proben von sieben Bäumen dieses Projektes umfangreich mit holzanatomischen und topochemischen Methoden untersucht. Für die anatomischen und feinstrukturellen Untersuchungen wurden insgesamt über 27.000 einzelne Messungen an mikroskopischen Proben vorgenommen und verglichen. Darüber hinaus wurden die juvenilen und adulten Gewebe mit Hilfe der zellulären UV-Spektroskopie (UMSP) sowie Silvi-Scan2® zur Charakterisierung der Holzeigenschaften grundlegend untersucht. Das Ergebnis dieser Arbeit liefert ein hochauflösendes Bild über die strukturellen und topochemischen Unterschiede der unterschiedlichen Gewebetypen. Unter anderem konnte hierbei erstmalig beobachtet werden, dass

die Hölzer unterschiedlicher Gattungen oder Pflanzenfamilien offenbar individuelle Verhalten bei der Transition von juveniler zu adulter Holzbildung zeigen.

Publikation II

In der Publikation II „*Cedrelinga cateniformis* (Tornillo, Cedrorana) as substitute for relevant timbers used for window manufacturing and outdoor application“ wird die Frage und Zielsetzung behandelt, inwieweit das Holz der Art geeignet ist, etablierte übernutzte tropische Holzarten für den Fensterbau in Europa und Anwendungen im Außenbereich zu substituieren.

Die Arbeit entstand im Rahmen des internationalen Forschungsprojektes „Kompetenzentwicklung im peruanischen Forst- und Holzsektor“ zwischen dem Thünen-Institut für Holzforschung und den peruanischen staatlichen Forschungseinrichtungen CITEmadera und CITEforestal. Auf der Grundlage von Recherchen mit den Projektpartnern der peruanischen Forstbehörde (Servicio Nacional Forestal y de Fauna silvestre) und Vertretern des regionalen Holzhandels wurden geeignete Hölzer (lesser known species) ermittelt, die das Potential für die Etablierung als Holzhandelssortiment für nachgefragte Anwendungen in Europa haben könnten. *Cedrelinga cateniformis* ist eine monotypische Art aus der Familie der Fabaceae (Leguminosae), die regional bekannt ist und für diverse Anwendungsfelder wie den Möbel-, Fenster- und Türenbau, das Kunsthandwerk sowie als Konstruktionsholz für den Hausbau eingesetzt wird. Das natürliche Verbreitungsgebiet der Art reicht von den tropischen Wäldern Perus durch das gesamte Amazonasbecken über Teile von Kolumbien, Ecuador, Französisch-Guayana und Brasilien. Verglichen mit anderen Holzarten kann dieser Verbreitungsraum als sehr groß eingestuft werden. Die bisher verfügbaren technischen Daten sind derzeit nicht ausreichend, um die Art beispielsweise für den Fensterbau entsprechend den Anforderungen nach DIN-Normung zuzulassen. Zudem finden sich sehr unterschiedliche Angaben, die Grund zu der Annahme geben, dass die verschiedenen Qualitäten auf regionale Unterschiede bzw. unterschiedliche Wachstumsbedingungen in diesem großen Verbreitungsraum zurückzuführen sind.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde das Holz „Tornillo“ (Handelsname) von FSC zertifizierten Konzessionen aus Peru untersucht. Hierfür wurden relevante technische Kennwerte wie u.a. das Quell- und Schwindverhalten (DIN 52184) sowie die natürliche Dauerhaftigkeit (gemäß EN 350-1:1994 sowie CEN/TS 15083-1:2005 und DIN 350:2016) ermittelt. Zudem wurden umfangreiche strukturelle und topochemische Untersuchungen (UMSP) zur Charakterisierung der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen durchgeführt. Die Untersuchungen führen eindeutig zu dem Ergebnis, dass

das Holz der Art *Cedrelinga cateniformis* sehr gut für den Fensterbau sowie die meisten Gebrauchsklassen im Außenbereich nach DIN 68800 geeignet ist und somit als Substitut für andere übernutzte (etablierte) Arten eingesetzt werden kann.

Publikationen III – VI (Publikationen in nationalen Zeitschriften)

Die Publikationen **III** und **VI** können, wie eingangs bereits erwähnt, als wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiet der anatomischen Holzartenbestimmung im Kontext der Kontrolle und Umsetzung der Europäischen Holzhandelsverordnung (EUTR) und dem Washingtoner Artenschutzabkommen (CITES = Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) betrachtet werden.

In den Publikationen **III** und **IV** werden primär die Ergebnisse der Untersuchungen des Thünen-Kompetenzzentrums Holzherkünfte dargestellt. Hier werden u.a. Themenbereiche und Erfahrungsberichte an die Anforderungen der Holzartenbestimmung für die EUTR vorgestellt und diskutiert. In den vergangenen sechs Jahren (seit Inkrafttreten der EUTR im März 2013) wurden am Thünen-Institut neue Methoden für die Identifizierung von Hölzern in unterschiedlichen Holzprodukten weiterentwickelt und vorgestellt. Hierzu zählen u. a. die Identifizierung von Hölzern in Produkten, die im Annex der EUTR aufgeführt werden, wie beispielsweise Faserplatten, Sperrhölzer und (teilweise) Möbel.

In der Publikation **V** wird die Frage behandelt, wie es um Produkte steht, die derzeit nicht im Annex der EUTR aufgeführt werden. Im Rahmen einer Untersuchung in Zusammenarbeit zwischen dem Thünen-Institut für Holzforschung und dem WWF (World Wide Fund For Nature) wurden 2017 Holzkohle- und Brikett-Sortimente aus Europa mit einer neuen Methode, der 3D-Auflicht-Mikroskopie untersucht. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse konnte u.a. erstmalig gezeigt bzw. aufgeklärt werden, dass ca. 40 % der in Deutschland gehandelten Sortimente vorwiegend Hölzer aus subtropischen oder tropischen Regionen enthalten und davon ca. 75 % ausschließlich aus subtropischen oder tropischen Hölzern bestehen und es sich bei 25 % um Beimischung von Hölzern aus gemäßigten Breiten handelt. Weiter konnten im Rahmen dieser Untersuchungen zahlreiche Fehldeklarationen aufgedeckt werden (Folgeuntersuchungen fanden 2018 und 2019 statt). Diese und weitere Analysen haben mittlerweile dazu geführt, dass im Rahmen der europäischen Gesetzgebung diskutiert wird, Holzkohle und Briketts in den Annex der EUTR mit aufzunehmen.

In der Publikation **VI** werden die Auswirkungen der CITES-Listungen der Holzartengruppen Palisander (*Dalbergia* spp.) und Bubinga (*Guibourtia* spp.) aufgezeigt und diskutiert. Seit Veröffentlichung der

Einleitung

neuen Cites-Listungen, die am 4. Februar 2017 vollständig in Kraft getreten sind, erhielt das Thünen-Institut für Holzforschung regelmäßige Anfragen von den Kontrollbehörden (Zoll und Umweltbehörden), um die Hölzer der beiden wichtigen Handelssortimente Palisander und Bubinga in verarbeiteten Holzprodukten, vor allem in Musikinstrumenten, Möbeln und Messergriffen zu prüfen und die Handelsunternehmen über die neuen Richtlinien zu informieren. Botanisch zählen zur Gattung *Dalbergia* über 250 individuelle Arten. Dies zeigt die hohen Anforderungen, die in Bezug auf die Nachweis- und Dokumentationspflichten an den Holzhandel gestellt werden. Ziel dieser Publikation war es, die betreffenden Händler v.a. im deutschsprachigen Raum zu informieren und auf die im Januar 2017 in Kraft getretene Gesetzesänderung hinzuweisen.

Kapitel 3.1 Publikation I

Wood anatomical and topochemical analyses to characterize juvenile and adult wood of lesser known species from Central America (Mexico)

Haag V, Koch G, Richter HG, Evans R, Silva Guzmán JA, Schmitt U. 2019. Wood anatomical and topochemical analyses to characterize juvenile and adult wood of lesser-known species from Central America (Mexico). IAWA J. Vol. 40(4):2019

Journal: IAWA Journal

Eingereicht: 25.04.2019

Accepted: 23.06.2019

Online: September 2019

Erläuterungen zu den eigenen Anteilen an der vorgelegten Publikation I:

Konzipierung der Arbeit:	80 %
Versuchsplanung und -durchführung:	90 %
Datenauswertung:	80 %
Beteiligung an der Diskussion der Ergebnisse:	60 %
Beteiligung an der publikationsfähigen Darstellung der Arbeit:	70 %

Bestätigung des Betreuers **PD Dr. habil. Gerald Koch**

Hamburg, 24.Oktober 2019

**Wood anatomical and topochemical analyses to characterize
juvenile and adult wood of lesser-known species from
Central America (Mexico)**

**Volker Haag^{1*}, Gerald Koch¹, Hans-Georg Richter¹, Rob Evans²,
José Antonio Silva Guzmán³, and Uwe Schmitt¹**

¹Thünen Institute of Wood Research, Hamburg, Germany.

²University of Melbourne, Burnley Campus, Victoria, Australia.

³Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara, Zapopan, México.

* Corresponding author; email: volker.haag@thuenen.de

Accepted for publication: 23 July 2019 – Available online: September 2019

Abstract

Anatomical and subcellular characteristics of juvenile and adult wood of seven species (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen, *Platymiscium yucatanum* Standl., *Lonchocarpus castilloi* Standl., *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda, *Terminalia buceras* (L.) Wright, *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth. from Mexico, including a histometric evaluation, were investigated by light microscopy with a digitized image analysis system and by X-ray diffractometry using the SilviScan® system. The topochemical distribution of lignin and phenolic deposits in the tissue was studied by means of cellular UV-microspectrophotometry (UMSP). Extractive contents (acetone/water and water) were determined gravimetrically. The results of the structural and topochemical analyses were compared with the interrelations of certain anatomical and subcellular structures as well as the topochemical composition with regard to the physical and mechanical properties of the timbers investigated. The objective was to provide a detailed cellular and subcellular description of the heartwood of seven lesser-known timbers from Central America. All examined tree species show significant differences between juvenile and adult heartwood. For individual species, however, the differences vary greatly and have to be individually assessed in addition to general trends observed for all studied species. It has been shown

that vessel size, fiber length, size of fibre lumina, and height and width of rays, as well as the content of extractives and topochemical composition of the cell walls, are suitable indicators for the differentiation of the two heartwood types. The results also contribute to a better understanding of the wood properties of the investigated timbers in relation to their utilization and added value increase.

Keywords: Wood anatomy, accelerated solvent extraction, structural analysis, histometric evaluation, cellular UV-microspectrophotometry, topochemistry, wood extractives.

Introduction

As compared to most timbers from temperate origins, several tropical timbers are well known for their highly-valued biological, physical and mechanical properties especially in terms of durability, dimensional stability, and high strength. Therefore, those tropical woods are often used for applications like terrace decking, window scantlings or door construction. Consequently, during the past decades, the demand for timber, especially with high natural durability, has increased significantly. However, over-harvesting of some high-quality tropical timber species, (*Tectona grandis*, *Entandrophragma* spp., *Shorea* spp.), has steadily increased pressure on many tropical forests worldwide. On the other hand, commercially less accepted tropical species mostly remain unused because of insufficient knowledge of their properties. In this context, these so-called “lesser known species” in the future may play an important role by easing the pressure on certain over-exploited species and expanding the variability of forest products available for the international timber trade.

In the frame of the research project "Proyecto ITTO PD 385/05" Industrialización, comercialización y manejo sostenible de diez especies nativas Mexicanas”, several indigenous wood species were selected by the Mexican forest authorities which are considered underutilized yet with good industrial and commercial potential. This selection was the result of several meetings and workshops conducted with local forest owners and wood industry representatives from the region Yucatán peninsula and neighbouring states. The project then evaluated these species for their technological capabilities and commercial value. Special emphasis was given to the variability of wood characteristics and properties with regard to juvenile and adult heartwood. Juvenile wood is the inner heartwood adjacent

to the pith and regularly shows inferior quality when compared with the outer adult heartwood. Haupt *et al.* (2003) and Rodríguez Anda *et al.* (2019) investigated plantation-grown teakwood (*Tectona grandis*) and found a significantly lower concentration of phenolic extractives in juvenile wood than in naturally grown mature wood, which significantly affects its durability. These results closely correspond to those of Dünisch *et al.* (2010) who found a lower resistance of juvenile black locust wood (*Robinia pseudoacacia*) against fungal decay. Similar results were obtained by Blohm *et al.* (2016) for Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*). Other studies revealed distinct anatomical differences between juvenile and adult wood with regard to vessel size (Silva Guzmán *et al.* 2012; Zobel und Sprague 1998), fiber length (Palermo *et al.* 2015; Kiaei *et al.* 2012; Rendle 1961) and microfibril angle (MFA) (Evans 1999; Evans & Ilic 2001; Burdon *et al.* 2004; Donaldson 2008). Furthermore, fiber length was investigated for two species (*Roseodendron donnell-smithii*, *Tabebuia rosea*), primarily considered as potential raw material for pulp and paper. Significant differences in physical and mechanical properties such as shrinkage, bending strength, modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) were also found (Silva Guzmán *et al.* 2012).

Against this background, heartwood samples of seven relevant tree species of four botanical families from tropical regions in Mexico were investigated focusing on the differences between juvenile and adult heartwood. By means of various microscopic techniques, including cellular UV-microspectrophotometry and X-ray diffractometry with the SilviScan® system, detailed information on juvenile-adult heartwood differences in their anatomical and subcellular characteristics were recorded. Those differences represent an important aspect in the marketing of wood products guaranteeing a consistent wood quality and thus an absence of fluctuations in terms of wood properties.

Material and Methods

Material

The wood (Table 1) was collected as part of the "Proyecto ITTO PD 385/05 "Industrialización, comercialización y manejo sostenible de diez especies nativas Mexicanas" (Industrialization, marketing and sustainable management of ten Mexican native species). In a previous study (Silva Guzmán *et al.* 2012), the physical and mechanical properties of these timbers were determined in accordance with German DIN standards and the results summarized in technical leaflets in order to make the information available for the local and international timber markets. Natural durability was determined according to both DIN EN 350 and ASTM D 2107-05 standards.

For the present investigation juvenile and adult heartwood of 14 trees (2 trees per species, Table 1) were investigated using the methods described below.

Table 1. Species investigated*

No	Botanical Name	Botanical Family	Origin	Trade Name
1	<i>Manilkara zapota</i>	SAPOTACEAE	Yucatan	Chico zapote
2	<i>Platymiscium yucatanum</i>	FABACEAE-FABOIDEAE	Yucatan	Granadillo
3	<i>Lonchocarpus castilloi</i>	FABACEAE-FABOIDEAE	Yucatan	Machiche
4	<i>Roseodendron donnel-smithii</i>	BIGNONIACEAE	Chiapas	Primavera
5	<i>Terminalia buceras</i>	COMBRETACEAE	Yucatan	Pukté
6	<i>Tabebuia rosea</i>	BIGNONIACEAE	Chiapas	Rosa morada
7	<i>Lysiloma latisiliqua</i>	FABACEAE-MIMOSOIDEAE	Yucatan	Tzalám

*Only seven of ten collected species were investigated in this study because for three species too little material was available.

Light Microscopy

Transverse, radial and tangential sections (around 20 µm thickness) of air-dried specimens were cut sequentially from juvenile and adult wood tissue with a sliding microtome.

Transverse sections (1 μm thick) were also prepared from epoxy resin embedded samples (processing according to Cellular UV-Microspectrophotometry, see below) with an ultramicrotome equipped with a diamond knife and stained with a 1% aqueous toluidine blue solution for studying microstructural details (pits, cell wall areas). Tissue macerations were prepared for measurement of intervessel pit size, fiber length, and vessel element length. Maceration followed the procedure of Franklin (1945) for which small wood blocks (1 \times 1 \times 1 cm^3) were split into 1 mm thick slivers and placed in test tubes containing a 1:1 mixture of 30% hydrogen peroxide solution and acetic acid. After about 2-4 days (depending on wood density), individual cells were obtained for subsequent measurements. Vessel element and fiber morphology (Fig. 1) were determined according to Helmling *et al.* (2018). Wood anatomical studies focused on heartwood only since sapwood has different properties (natural durability) and is of hardly any economic relevance. Terminology and description of the wood structure are based on the IAWA List of microscopic features for hardwood identification (IAWA Committee 1989). In certain cases, quantitative categories ("fiber wall thickness: thin, thin to thick, very thick") were substituted by numerical values. Furthermore, data not specified in the IAWA List were collected (tangential diameter of fiber lumina). A digitized image analysis system (analySIS[®], Olympus) mounted on an Olympus AX 70 microscope was used for quantitative features based on an average of at least 50 (by default 100) measurements of each parameter studied (Hapla & Saborowski 1987). Overall, 21 anatomical features considered important for the anatomical description (anatomical "fingerprint") were selected as they are supposed to have a considerable influence on the physical and mechanical properties of the wood.

Field emission scanning electron microscopy (FESEM)

For analyzing micro structural details (vessel pit apertures, pit canals), a FEI Quanta 250 FESEM was used. Prior to examination, the samples were brought to a final size of about 1 x 1 x 0.2 cm^3 with subsequent careful smoothing of their surfaces with razor blades, then mounted onto aluminum stubs with carbon paste, and finally sputter-coated with gold. Accelerating voltage during examination varied between 5 and 10KV.

Cellular UV-microspectrophotometry

Juvenile and adult wood specimens from the species listed in Table 1 were trimmed with a chisel and razor blades to a final size of about 3x3x9mm³, which were directly embedded in Spurr's epoxy resin (Spurr 1969). Briefly, the dry wood specimens were infiltrated with Spurr's epoxy resin under mild vacuum with several cycles of evacuation and ventilation according to Kleist and Schmitt (1999) followed by polymerization over night at a temperature of 70°C.

The subcellular distribution of lignin and phenolic extractives was investigated using scanning UV-microspectrophotometry following Koch and Kleist (2001) and Koch and Grünwald (2004). Spurr-embedded specimens from the different tissues (juvenile vs adult heartwood) were selected from which transverse sections of 1 µm thickness were cut using an ultramicrotome equipped with a diamond knife. These sections were transferred to quartz microscope slides, thermally fixed on a heating plate, immersed in a drop of non-UV absorbing glycerol (glycerol/water mixture) and covered with a quartz cover slip. The analyses were carried out using a Zeiss UMSP 80 micro-spectrophotometer equipped with a scanning stage which enables the elaboration of image profiles at defined wavelengths with the scanning software APAMOS® (Zeiss). For detection of lignin and phenolic extractives, a wavelength of 278 nm (absorbance maximum of hardwood lignin) was selected. This scanning program digitizes rectangular fields in the tissue with a local geometrical resolution of 0.25 µm × 0.25 µm and a photometrical resolution of 4096 grey scale levels which are converted into 14 basic colors to visualize the absorbance intensities.

Quantitative determination of the extractive contents

The extractions were carried out using an accelerated solvent extraction module (ASE) 350 (Thermo Fisher Scientific/DIONEX) in two cycles of 10 minutes with a pressure of 100 bar and a temperature of 70°C (acetone/water = 9:1) and 90°C (water). For a quantitative determination the solvents were subsequently eliminated under vacuum with a rotary evaporator; the extractive contents were measured gravimetrically.

Determination of microfibril angles

Microfibril angles of a small selection of unextracted samples were determined by SilviScan® analyses in Melbourne, Australia. Samples were cut to 2mm tangentially and 7mm longitudinally and averaged 10mm in length (radially). Microfibril angles (MFA) were measured by X-ray diffractometry according to Evans (1999).

RESULTS

The results of the comprehensive wood anatomical studies are presented in detail in Tables 2 and 3. Furthermore, Fig. 1 shows representative microscopic images of the most relevant differences between juvenile and adult wood of selected species. In the following, quantitative results with variations below 5% were considered unsuitable for the differentiation between juvenile and adult tissue types. Differences between 5 and 10% were rated as "trend" and results with differences above 10% were considered significant.

Wood anatomy

By default, 21 selected anatomical structural features (Tables 2 and 3) considered to be important for the differentiation of juvenile and adult wood, were studied. For this purpose, the different types of tissue and cells such as vessels, fibers, and axial parenchyma (Fig. 1A) were evaluated separately.

With the exception of individual test trees of specific genera, a total of 11 out of 14 experimental trees showed a clear trend towards an increase of vessel diameter in the transition between juvenile and adult wood. In the specimens investigated, a clear difference between fiber morphology of juvenile and adult tissue was detected. The fibers in juvenile wood mostly show a trend towards larger cell lumina and thinner cell walls (Fig. 1B), whereas the fibers in adult wood normally show a trend towards narrower cell lumina and thicker cell walls (Fig. 1C).

Lumina of juvenile fibers are on average wider than those of adult fibers (2.5 times for *Lonchocarpus castilloi*); this structural change can be categorized as a general feature for all species of the study and is also the clearest indicator of tissue differentiation. The observed trend is inversely proportional to the increase of vessel lumen diameter.

Most species exhibit in the juvenile phase an extremely high variation of the rays in relation to their height and width. In the case of species with very regular storied rays in adult wood, such as *Platymiscium yucatanum* and *Tabebuia rosea*, rays in the juvenile wood were often very irregularly or even non-storied (Fig. 1 D+E). In the species *Platymiscium yucatanum*, *Roseodendron donnell-smithii* and *Lysiloma latisiliquum*, a distinct widening of the rays in the transition zone from juvenile to adult wood was observed. It was also found that the normally multiseriate rays of *Platymiscium yucatanum* were mainly uniseriate in juvenile wood (Fig. 1F+G). The occurrence and the amount of crystals (Fig. 1H), the presence of tyloses (Fig. 1I) and the shape of vestured pits (Fig. 1J) in the individual tissues were compared. The results of the structural investigation of juvenile and adult wood of all seven species are summarized in Tables 2 and 3.

Table 2: Summarize of the results of the structural investigations of juvenile and adult wood of *Manilkara zapota*, *Platymiscium yucatanum*, *Lonchocarpus castilloi* and *Roseodendron donnell-smithii*.

Structural Features	<i>Manilkara zapota</i>		<i>Platymiscium yucatanum</i>		<i>Lonchocarpus castilloi</i>		<i>Roseodendron donnell-smithii</i>	
	juvenile	adult	juvenile	adult	juvenile	adult	juvenile	Adult
Vessels:								
Tangential vessel diameter [µm]	30- 70 -115	27- 81 -146	52- 132 -239	86- 163 -230	57- 171 -287	61- 169 -287	75- 124 -196	86- 135 -241
Number of vessels/mm ²	13- 21 -32	7- 19 -31	5- 8 -13	4- 7 -10	1- 3 -6	1- 3 -7	5- 9 -14	5- 8 -13
Vessel element length [µm]	483- 660 -1062	469- 659 -902	148- 267 -393	154- 261 -350	191-236-295	196- 241 -294	148- 252 -363	132- 266 -407
Diameter of intervessel pits [µm]	3.6- 5.6 -7.8	3.2- 5.2 -7.9	4.8- 6.9 -9.9	4.4- 7.2 -10.4	4.3- 6.3 -8.4	5.0- 6.5 -8.9	3.2- 4.6 -5.9	3.2- 4.8 -6.4
Vessel-ray pittings	VAS*	VAS*	APS*	APS*	APS*	APS*	APS*	APS*
Pits vestured	-	-	+	+	+	+	-	-
Tyloses	+	+	-	-	-	-	+	+
Fibers:								
Tangential diameter [µm]	9.5- 16.4 -25.6	7.3- 16.0 -25.5	6.7-12.9-21.1	6.6-12.3-22.1	5.6- 13.4 -25.4	4.5- 11.6 -21.5	9.1- 15.6 -27.3	5.1- 13.21 -24.5
Radial lumen diameter [µm]	0.0- 1.5 -4.5	0.0- 1.2 -4.3	1.6- 6.3 -11.9	0.0- 4.2 -10.9	0.9- 6.2 -16.7	0.2- 2.7 -8.4	4.5-12.0-23.4	3.0- 7.8 -15.9
Cell wall thickness [µm]	2.4- 8.1 -13.9	3.4- 8.0 -16.5	2.3- 4.1 -6.1	2.8- 4.8 -7.5	3.0- 5.3 -7.6	3.2- 6.0 -9.0	1.3- 2.4 -3.5	1.5- 2.7 -4.1
Fiber length [µm]	788- 1427 -2133	692- 1564 -2454	643- 1001 -1405	589- 940 -1273	1052- 1638 -2307	868- 1564 -2260	572- 888 -1159	668-1006-1370
Vasculär or vasicentric tracheids	+	+	-	-	-	-	-	-
Axial parenchyma								
Banded	+	+	+	+	+	+	+	+
Average number of cells per strand	4-6 (-10)	4-6 (-10)	2 (-3 -4)	2-3(-4)	2-3 (-4)	2-3 (-4)	2-4 (-8)	2-4 (-8)
Rays								
% of uniseriate rays	10%	15%	40%	85%	5%	-	-	-
% of multiseriate rays	90%	85%	60%	15%	95%	100%	100%	100%
Height of rays [µm]	136- 405 -1059	116- 319 -616	82- 195 -320	58- 152 -352	138- 260 -483	135- 180 -229	118- 278 -592	134- 252 -481
Width of rays [µm]	11- 28 -43	10- 27 -45	7- 15 -27	7- 25 -52	10- 30 -73	7- 29 -52	18- 32 -49	24- 40 -52
Crystals								
Crystals in axial parenchyma	+	+	+	+	+	+	-	-
Crystals in rays	+	+	+	+	-	-	-	-
∅ MFA								
	22°	23°	12°	13°	4°	/	15°	27°

VAS1 = Vessel ray pits apparently simple, APS2 = All pits similar (corresponds to the terms as used by Helmling et al. 2018); MFA3 = Microfibril angle; (-) not observed, (+) present; bold values = means

Table 3: Summarize of the results of the structural investigations of juvenile and adult wood of *Terminalia buceras*, *Tabebuia rosea* and *Lysiloma latisiliquum*.

Structural Features	<i>Terminalia buceras</i>		<i>Tabebuia rosea</i>		<i>Lysiloma latisiliquum</i>	
	juvenile	adult	juvenile	adult	juvenile	adult
Vessels:						
Tangential vessel diameter [μm]	73- <u>143</u> -231	66- <u>151</u> -223	71- <u>131</u> -200	102- <u>163</u> -227	55- <u>149</u> -241	59- <u>167</u> -286
Number of vessels/mm ²	4- <u>7</u> -10	7- <u>10</u> -13	4- <u>10</u> -17	4- <u>8</u> -12	2-4-6	2- <u>5</u> -8
Vessel element length [μm]	156- <u>402</u> -646	215- <u>425</u> -594	272- <u>363</u> -455	216- <u>367</u> -467	201-293-396	190- <u>337</u> -522
Diameter of intervessel pits [μm]	4.9- <u>7.7</u> -10.7	4.8- <u>7.2</u> -9.8	2.9- <u>4.3</u> -5.5	2.9- <u>4.3</u> -6.8	2.8- <u>4.4</u> -6.0	3.1- <u>4.4</u> -5.9
Vessel-ray pittings	APS*	APS*	APS*	APS*	APS*	APS*
Pits vestured	+	+	-	-	+	+
Tyloses	-	-	-	-	-	-
Fibers:						
Tangential diameter [μm]	6.1- <u>13.1</u> -22.5	5.7- <u>11.0</u> -20.0	6.4- <u>15.1</u> -26.9	5.2- <u>12.0</u> -20.2	7.7- <u>12.9</u> -19.7	5.2- <u>11.1</u> -19.8
Radial lumen diameter [μm]	1.6- <u>4.5</u> -10.9	0.0- <u>2.4</u> -5.2	2.5- <u>8.2</u> -19.4	0.7- <u>5.1</u> -13.4	2.7- <u>6.2</u> -13.0	1.7- <u>4.9</u> -12.1
Cell wall thickness [μm]	3.4- <u>5.7</u> -7.3	2.5- <u>5.1</u> -8.6	1.6- <u>3.2</u> -5.1	1.9- <u>5.4</u> -20.1	1.8- <u>3.5</u> -6.5	1.9- <u>3.5</u> -6.5
Fiber length [μm]	813- <u>1647</u> -2427	1076- <u>1569</u> -2236	640- <u>1070</u> -1532	860- <u>1189</u> -1639	634- <u>996</u> -1377	673- <u>1145</u> -1479
Vasculär or vasicentric tracheids	-	-	-	-	-	-
Axial parenchyma						
Banded	+	+	+	+	+	+
Average number of cells per strand	2- <u>3</u> (-9)	2-3 (-8)	(2) 3 -5 (-8)	(3) 4 -5 (-8)	3 -4 (-6)	(2) 3 - 5 (-68)
Rays						
% of uniseriate rays	5%	8%	0%	0%	10%	20%
% of multiseriate rays	95%	92%	100%	100%	90%	80%
Height of rays [μm]	126- <u>481</u> -1926	230- <u>645</u> -1760	108- <u>223</u> -348	184- <u>263</u> -396	105- <u>223</u> -460	109- <u>228</u> -521
Width of rays [μm]	9- <u>50</u> -111	16- <u>46</u> -65	19- <u>36</u> -55	20- <u>32</u> -48	9- <u>23</u> -39	12- <u>29</u> -479
Crystals						
Crystals in axial parenchyma	+	+	-	-	-	-
Crystals in rays	+	+	-	-	+	+
Ø MFA						
	10°	10°	8°	9°	6°	6°

* VAS1 = Vessel ray pits apparently simple, APS2 = All pits similar (corresponds to the terms as used by Helmling *et al.* 2018); MFA3 = Microfibril angle; (-) not observed, (+) present; bold values = means

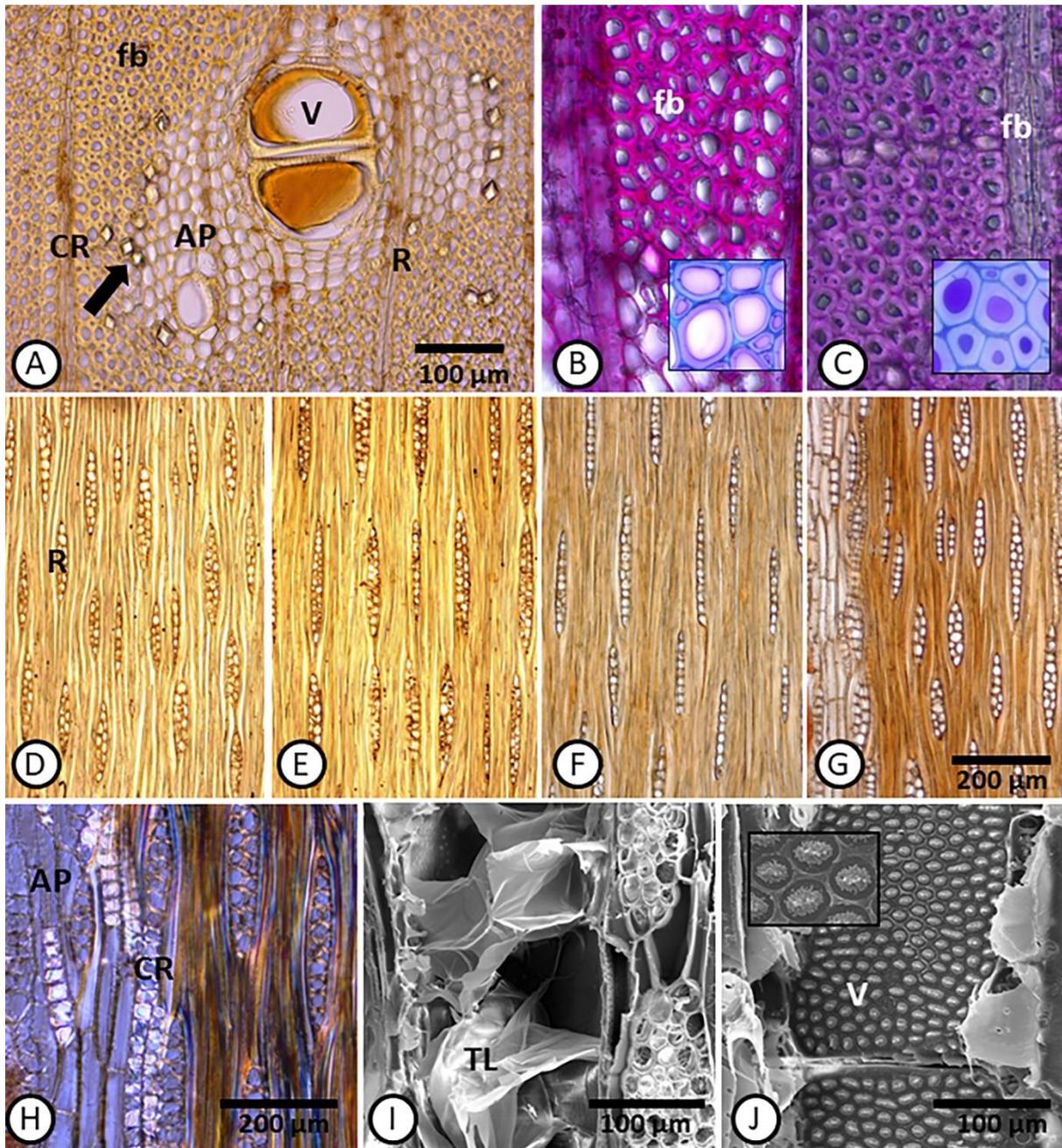


Figure 1. *Lysiloma latisiliquum*: –A. Transverse section with vessels (V), rays (R), fibers (fb) and numerous prismatic crystals (Cr and arrow) in aliform axial parenchyma (AP); –B. Juvenile fibers (fb) with thin walls and large lumina; –C. Adult fibers (fb) with thick walls and narrow lumina. *Tabebuia rosea*: –D. Tangential section of juvenile wood with irregularly storied or non-storied rays; –E. Tangential section of adult wood with regularly storied rays. *Platymiscium yucatanum*: –F. Tangential section of juvenile wood with uniseriate rays; –G. Tangential section of adult wood with multiseriate rays. –H. Tangential section (polarized light) with prismatic crystals (CR) in chambered axial parenchyma cells (AP). *Roseodendron donnell-smithii*: –I. FESEM image of tangential section with thin-walled tyloses (TL) in vessel element. *Lonchocarpus castilloi*: –J. FESEM image of tangential section with vestured pits (box shows area marked by arrow at higher magnification).

Extractive contents

The results of the quantitative determination of the extractive contents of the species investigated are presented in Table 4.

Table 4. Summarize of extractives contents (acetone/water and water extraction).

Species (juvenile/adult)	Extractives content (acetone/water) [%]	Extractives content (water) [%]
<i>Manilkara zapota</i>		
Tree 1 juvenile wood	5.2	1.6
Tree 1 adult wood	7.2	1.1
Tree 2 juvenile wood	7.7	0.7
Tree 2 adult wood	13.1	1.4
<i>Platymiscium yucatanum</i>		
Tree 1 juvenile wood	14.9	0.4
Tree 1 adult wood	18.9	0.3
Tree 2 juvenile wood	16.3	0.4
Tree 2 adult wood	16.0	0.4
<i>Lonchocarpus castilloi</i>		
Tree 1 juvenile wood	9.3	1.3
Tree 1 adult wood	8.7	1.1
Tree 2 juvenile wood	7.0	1.1
Tree 2 adult wood	6.6	1.1
<i>Roseodendron donnell-smithii</i>		
Tree 1 juvenile wood	2.4	1.2
Tree 1 adult wood	2.3	1.1
Tree 2 juvenile wood	1.7	1.4
Tree 2 adult wood	3.2	1.3
<i>Terminalia buceras</i>		
Tree 1 juvenile wood	7.6	2.7
Tree 1 adult wood	9.0	2.4
Tree 2 juvenile wood	4.8	2.6
Tree 2 adult wood	7.2	1.7
<i>Tabebuia rosea</i>		
Tree 1 juvenile wood	8.3	1.9
Tree 1 adult wood	6.5	1.6
Tree 2 juvenile wood	7.9	2.8
Tree 2 adult wood	7.3	2.3
<i>Lysiloma latisiliquum</i>		
Tree 1 juvenile wood	8.9	2.4
Tree 1 adult wood	10.3	1.8
Tree 2 juvenile wood	8.9	2.4
Tree 2 adult wood	9.4	2.1

Manilkara zapota: Extractive contents show significant differences between juvenile and adult wood. The quantities extracted by the water/acetone mixture are distinctly higher (tree 1 = 28% and tree 2 = 41%) in adult wood of both trial trees. With regard to water extraction, no trend can be observed.

Platymiscium yucatanum: The results of the acetone/water extraction similarly show significant differences in extractive contents between juvenile and adult wood of tree 1 with higher values in adult wood (>20%). Tree 2 does not show comparable results. Again, extraction in water revealed no trend in both trees.

Lonchocarpus castilloi: Extractive contents show little difference (less than 6%) between juvenile and adult wood. The quantities extracted by the water/acetone solvent are slightly higher in juvenile wood for both trial trees. This can be considered as unique in this study. With regard to water extraction, no trend can be observed.

Roseodendron donnell-smithii: Samples of this species show significant differences in extractive contents between juvenile and adult wood of tree 2 (>40%). Tree 1 does not show comparable results. Water extraction reveals small differences with a higher content of extractives in juvenile wood.

Terminalia buceras: Significant differences in extractive contents occur between juvenile and adult wood. The quantities extracted by the water/acetone mixture are significantly higher (tree 1 = 16% and tree 2 = 40%) in adult wood of both trial trees. The quantities extracted by water are slightly higher in juvenile wood of both trial trees.

Tabebuia rosea: The quantities extracted by the water/acetone mixture are higher (tree 1 = 22.7% and tree 2 = 7.5%) in juvenile wood of both trial trees (different from all other species investigated). Likewise, the quantities extracted by water are slightly higher in juvenile wood of both trial trees.

Lysiloma latisiliquum: Extractive contents show significant differences between juvenile and adult wood. The percentage extracted by water/acetone is distinctly higher (tree 1 = 13.6% and tree 2 = 5.3%) in adult wood of both trial trees. Extraction in water shows minor differences only with a tendency towards a higher content in juvenile wood.

Scanning UV microspectrophotometry (UMSP)

The topochemical distribution and semi-quantitative determination of lignin, as well as phenolic extractives, were analyzed with cellular UV microspectrophotometry. For the

topochemical analyses of the lignification, comparable areas of fiber tissue from juvenile and adult wood were scanned with a defined wavelength of 278 nm (absorbance maximum of hardwood lignin).

Figure 2 shows selected UV scanning images of individual cell-wall layers of fibers in juvenile and adult wood of *Manilkara zapota*, *Lonchocarpus castilloi* and *Roseodendron donnell-smithii*.

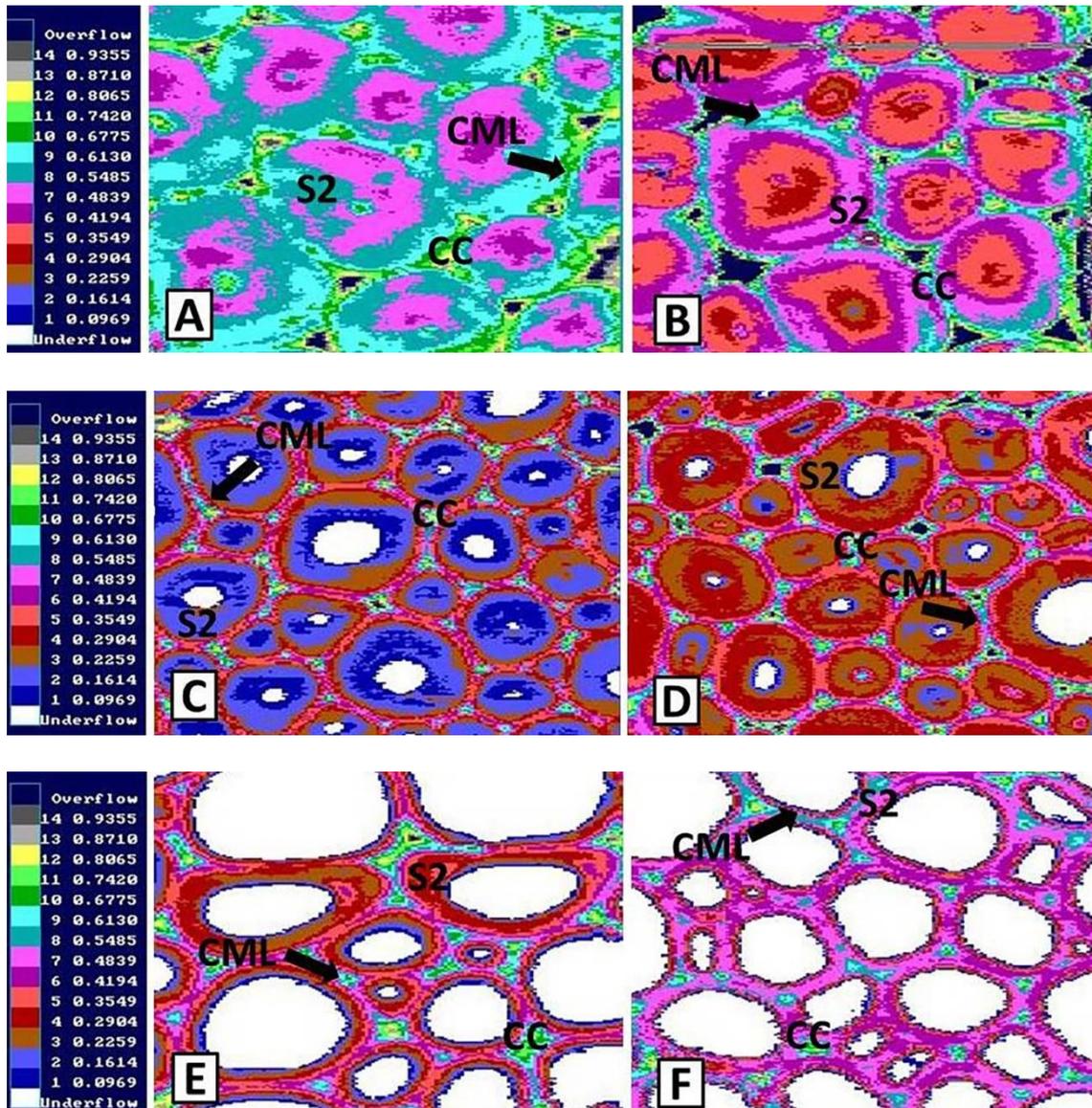


Figure 2. Sections of UV microscopic scanning profiles of individual cell wall layers (S2, Secondary wall; CML, compound middle lamella; CC, cell corners) of fibers in *Manilkara zapota* (A = juvenile and B = adult), *Lonchocarpus castilloi* (C = juvenile and D = adult), *Roseodendron donnell-smithii* (E = juvenile and F = adult). The color pixels represent different UV absorbance values measured at $\lambda 278$ nm (geometric resolution of $0.25 \mu\text{m} = 0.25 \mu\text{m}$).

In general, the thick S2 layers of the fibers are characterized by individually varying absorbance values in the range 0.3-0.6. The highest absorbance intensities of the S2 layers are detectable in the fibers of *Manilkara zapota* (compare Figs. 2 a, b). The compound middle lamella (CML) and cell corners (CC) can be clearly distinguished on account of significantly higher UV absorbance values in the range of 0.5-0.8 (CML) and 0.6-1.0 (> overflow) for the selected species. In comparison, S2, CML, and CC of *Lonchocarpus castilloi* and *Roseodendron donnell-smithii* show significantly lower absorbance values at 278 nm wavelength representing the natural lignin distribution.

The UV scanning images reveal distinct differences in the lignification of juvenile and adult wood. The juvenile wood fibers of *Manilkara zapota* (Fig. 2a) show significantly higher UV absorbance values (range 0.48-0.62) of the S2 as compared to adult wood fibers (range 0.30-0.48, Fig. 2b). The mean absorbance values of the individual UV scans (including approx. 50,000 measuring points) are presented in Table 5 exposing the remarkably higher lignification of the juvenile wood of *Manilkara zapota* (mean absorbance value 0.58).

Table 5. Variation of UV microscopic scanning profiles.

Species	Mean absorbance	Mean absorbance
	Juvenile	adult
<i>Manilkara zapota</i>	0.58	0.48
<i>Platymiscium yucatanum</i>	0.34	0.42
<i>Lonchocarpus castilloi</i>	0.26	0.35
<i>Roseodendron donnell-smithii</i>	0.34	0.40
<i>Terminalia buceras</i>	0.37	0.36
<i>Tabebuia rosea</i>	0.37	0.45
<i>Lysiloma latisiliquum</i>	0.28	0.33

For comparison, the mean absorbance value of adult wood fibers of *Manilkara zapota* shows a considerably lower UV absorbance of 0.48.

These results do not conform to the absorbance values of juvenile and adult wood for *Platymiscium*, *Lonchocarpus*, *Roseodendron*, *Tabebuia*, and *Lysiloma* showing distinctly

higher UV absorbances of the fiber tissue in adult wood (Table 5). *Terminalia buceras* reveals no significant differences in the mean absorbance values between juvenile and adult wood. Both tissues are characterized by nearly identical absorbance values of 0.37 (juvenile wood) and 0.36 (adult) wood.

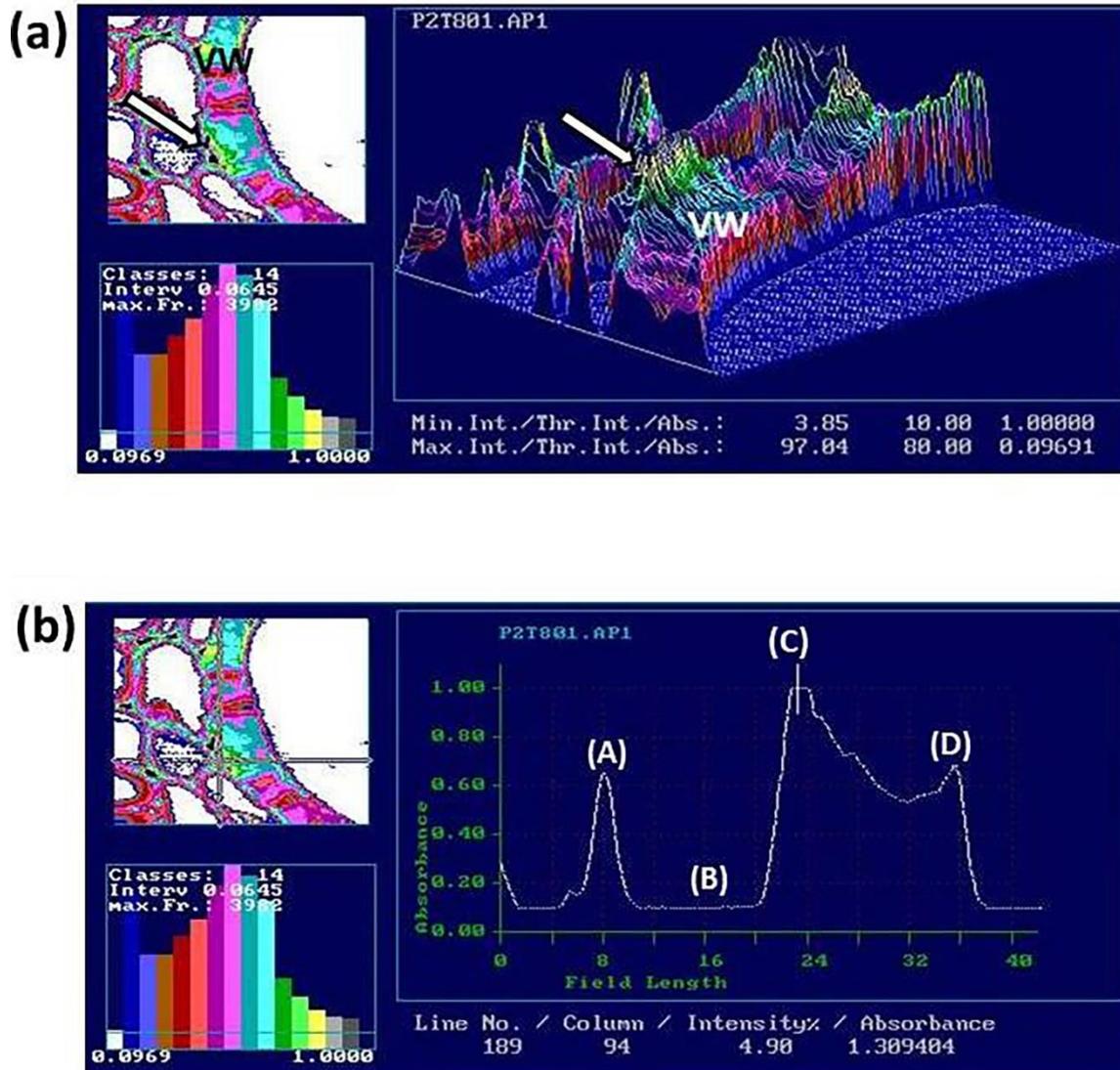


Figure 3: *Lysiloma latisiliquum*: -A: Detailed UV microscopic scanning profiles of axial parenchyma cell associated through pit canal (arrow) with vessel wall (VW); -B: line scan profile across parenchyma cell wall (A), vessel wall (B), impregnated pit membrane (C) and phenolic deposits at inner vessel wall surfaces (D). The color pixels represent different UV absorbance values measured at $\lambda = 278$ nm (geometric resolution of $0.25 \mu\text{m} = 0.25 \mu\text{m}$).

Scanning UV microspectrophotometry can also be applied to detect and quantify phenolic extractives mainly responsible for the natural durability of the investigated species. The

detection of cell wall impregnating extractives is relevant for explaining the different properties of juvenile and adult wood. In Figure 3a representatively selected UV image profiles of a vessel wall (VW) with associated parenchyma cells of *Lysiloma latisiliquum* are shown. The high resolution of the UV scanning technique reveals the impregnation of the vessel wall by phenolic extractives. The extractives are detectable as local spots of high UV absorbance values (range 0.6-0.8 - overflow) deposited especially in cell wall areas directly connected with axial parenchyma cells by pit canals (Fig. 3a). The high UV intensities in the pit region are evidence for impregnation of the membranes and canals with phenolic extractives. For a more detailed verification, a special UV line scanning across the vessel wall with deposited extractives and associated axial parenchyma was performed (Fig. 3b). The line scan includes the S2 layer of the vessel wall, the pit canal, and the S2 of the associated axial parenchyma cell. The evaluation of this line scan reveals the high UV absorbance of impregnated phenolic extractives in the pit canal and the adjacent cell walls, visible as clear peaks with numerical values of 0.65 to 1.0. Besides the (clearly observed) local impregnation of extractives into the vessel cell walls, they are generally characterized by higher absorbance values than those of the fibres (Fig. 3). This behaviour is based on the different chemical constitution of lignin in both cell types. Fergus and Goring (1970) have already proved that the lignin located in vessel cell walls consists predominantly of the strongly absorbing guaiacyl type units, while the fibre cell wall lignin contains more syringyl units showing a lower UV absorbance at increasing OCH₃/C₉ ratio (Musha & Goring 1975). Similar results were described by Koch *et al.* (2006) for the tropical wood species *Intsia* spp. and *Afzelia* spp. and clearly confirmed for the other species in our study.

DISCUSSION

All tree species examined show significant differences between juvenile and adult wood. Sometimes such differences vary greatly and have to be individually assessed in addition to the general trends observed for all species. There are certain characteristics whose variation in different species describes different or even opposing trends. It has been shown that vessel size, fiber length, size of fiber lumina, height and width of rays as well as the content of phenolic extractives and topochemical composition of the cell wall are suitable indicators

for the differentiation of heartwood types but should be evaluated individually. The most significant differences are listed and discussed below.

Vessels

Several studies describe the functions and structural differences of water-conducting vessels (Zimmermann & Milburn 1982; Zobel & van Buijtenen 1989; Fricke 2017). With few exceptions, 11 out of 14 experimental trees showed a clear trend towards enlargement of the vessels during the transition from juvenile to adult wood. These results are in good agreement with those of Khan (1980), Fukazawa (1984), Carlquist (1985) and Silva Guzmán *et al.* (2012) and can, therefore, be cautiously assessed as a general trend for various tree species. As trees age and their crowns expand (Carlquist 2001) leading to greater photosynthetic activity, the increasing water demand is supplied through the increase of vessel diameter. No trends could be observed regarding the mean vessel element length between juvenile and adult wood. This also agrees with the results of Davidson (1976), who observed that vessel element length does not increase proportionately to vessel diameter.

Fibers

Examination of the fibers has shown that certain morphological characters such as the diameter of the fiber lumina and fiber length must be evaluated separately in terms of more or less drastic changes. Similar to vessel size, fiber lumina are suitable indicators for the differentiation of juvenile and adult wood. With the exception of one tree of *Manilkara zapota*, all experimental trees of the remaining six species show a significant trend towards reduction of fiber lumina during the transition to adult growth phases. With juvenile fiber lumina up to a mean of 2.5 times larger than adult fibers (*Lonchocarpus castilloi*), this structural change can be categorized as a general feature for all species and is also the clearest indicator of tissue differentiation in this study. The observed trend is inversely proportional to the increase of vessel lumina.

The differentiation of fiber length of certain species is characterized by a variable trait. The observation of Kiaei *et al.* (2012) showing that fiber length increases along the radial direction from the pith to the bark coincides only with some of the species included in this study. While the fibers of *Manilkara zapota*, *Tabebuia rosea*, *Lysiloma latisiliquum* and *Roseodendron donnell-smithii* are shorter in the juvenile stage, the fibers of *Platymiscium*

yucatanum, *Lonchocarpus castilloi*, and *Terminalia buceras* are longer in the juvenile stage. The differences within the members of the Fabaceae family (*Platymiscium yucatanum*, *Lonchocarpus castilloi*, *Lysiloma latisiliquum*) indicate that general trends within a family cannot be deduced. In this regard, further studies are needed on various members from large and widely distributed families (Combretaceae, Fabaceae, Sapotaceae).

Ray parenchyma

Reiterer *et al.* (2002) describe the rays as radial reinforcement of the wood structure and show their influence on mechanical and fracture mechanical properties. The present study shows that most species in the juvenile phase exhibit an extremely high variation of ray height and width. In species with regularly storied rays in adult wood (storied structure) such as *Platymiscium yucatanum* and *Tabebuia rosea*, the rays are often irregularly or even non-storied in the juvenile wood. For *Platymiscium yucatanum*, *Roseodendron donnell-smithii* and *Lysiloma latisiliquum*, a clear widening of the rays in the transition zone from juvenile to adult wood was observed which, based on Reiterer *et al.* (2002), could be interpreted as an increase in mechanical strength. In addition, it was found that the normally multiseriate rays of *Platymiscium yucatanum* were mainly uniseriate in juvenile wood. In this context, Carlquist (2001) describes that there is a strong tendency for rays to change dimensions during ontogeny. He presumed that this tendency probably characterizes the majority of dicotyledons. This theory is corroborated by the observations of Barghoorn (1941) who detected an increase in ray width within a single stem of *Bursera simarouba*. Similar to the observations of *Platymiscium yucatanum* in this study, the rays in juvenile wood begin as uniseriate and division of ray initials converts rays to multiseriate in adult wood.

Cellular UV-microspectrophotometry

The topochemical analyses revealed that UMSP is ideally suited to study the distribution of lignin and phenolic extractives in the tissues of the juvenile and adult wood. In particular, the application of the scanning technique enables direct imaging of lignin distribution and provides fundamental information on the topochemistry of lignin (Koch & Kleist 2001; Koch & Schmitt 2013). Using this technique, significant differences in the degree of lignification of the selected species can be detected. According to several studies (Adamopoulos *et al.* 2005; Dünisch *et al.* 2010; Rodríguez Anda *et al.* 2019), higher lignin content is found in the adult wood of most of the analyzed species: *Platymiscium*, *Lonchocarpus*, *Roseodendron*,

Tabebuia, and *Lysiloma*. On the other hand, *Manilkara zapota* shows a significantly higher lignification of the juvenile wood which could be explained by the impact of the genotype and/or individual site conditions as described by Dünisch *et al.* (2010). Although considerable variation in the lignification of juvenile and adult wood was noticed in a study by Bao *et al.* (2001), the differences within the investigated timbers from temperate China are not consistent and they cannot be directly compared with the wood formation of the studied timber from tropical areas in Mexico. However, several authors (Chow *et al.* 1996; Adamopoulos *et al.* 2005) consider that the fibrillar orientation in the S2-layer of the juvenile cells (higher MFA) is related to a lower lignin content of the juvenile wood, although the preliminary examination of MFA conducted for the present study shows no significant difference between the juvenile and adult wood samples.

UMSP can also be used to detect and quantify phenolic compounds deposited in the wooden tissue (Koch *et al.* 2003, 2006). The presence of extractives deposited in the cell lumen or impregnated into the cell walls can be visualized as conglomerations of high UV absorbance as compared to the values of the lignified cell wall layers. The impregnation of extractives into the cell walls is initiated by low molecular weight precursors passing through enzymatically active pit membranes of the parenchyma cells (Bauch *et al.* 1974; Hillis 1996) as for example described here for *Lysiloma latisiliquum*. The synthesis is regulated by means of membrane-adsorbed enzyme clusters and multi-enzyme complexes attached to the cytoskeleton (Sano & Fukazawa 1994). The detection of higher absorbance values in the region of the pit canals (impregnated with extractives) confirms this observation. It can be shown that highly condensed phenolic compounds are directly synthesized by parenchyma cells in situ (Hillis 1987), making it impossible for them to penetrate into the interfibrillar spaces of the cell walls. These highly condensed phenolic compounds can regularly be detected in the tissue of the seven studied tropical species from Mexico.

MFA

The results in Tables 2 and 3 indicate little difference between juvenile and adult wood for all of the species studied. Calculation of MFA by X-ray diffractometry includes an offset that accounts for the local variation about the mean value. It is possible to have MFA very close to zero when this variation is removed. The only significant difference between the juvenile and adult wood specimens in Table 2 is for tree 4 (*Roseodendron donnell-smithii*), and this

may be due to a local environmental influence on that tree. A much more extensive range of samples taken from many positions in many trees would be necessary for a definitive assessment of MFA variation.

CONCLUSIONS

The present work combines comprehensively the results of the study of juvenile and adult wood using a variety of state-of-the-art methods with a view on the differentiation of seven tree species from four different botanical families grown in tropical Mexico. The results show that the methods chosen are ideally suited to characterize and to compare juvenile and adult heartwood. They also show that all examined species have significant differences between juvenile and adult wood. For a given species, however, the differences vary greatly and have to be individually assessed in addition to general trends observed for all studied species. As a follow-up, further investigations on comparable tropical species with additional focus on mechanical properties and natural durability should be conducted. These results are a means for understanding the wood properties of the timbers investigated under the aspect of their utilization and to increase the added value of these valuable timbers.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Tanja Potsch for technical assistance with electron microscopy, Daniela Paul with UV-microspectrophotometry and Anna Knöpfle with determination of extractive contents.

REFERENCES

- ASTM (American Society for Testing Materials). 1981. Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. ASTM D-2017-71 (Re-approved 1978), Annual Book of ASTM Standards, Part 22, Philadelphia, pp 639-645.
- Adamopoulos S, Voulgaridis E, Passialis C. 2005. Variation of certain chemical properties within the stemwood of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Holz Roh-Werkst.* 63: 327-333. DOI: 10.1007/s00107-005-0018-3
- Bao F, Jiang Z, Jiang XM, Lu XX, Luo XQ, Zhang SY. 2001. Differences in wood properties between juvenile wood and mature wood in 10 species grown in China. *Wood Sci. Technol.* 35: 363-375. DOI: 10.1007/s002260100099
- Barghoorn ES. 1941. The ontogenetic development and phylogenetic specialisation of rays in the xylem of dicotyledons. II. Modification of the multiseriate and uniseriate rays. *Am. J. Bot.* 28: 273-282.

- Bauch J, Schweers W, Berndt H. 1974. Lignification during heartwood formation: Comparative study of rays and bordered pit membranes in coniferous woods. *Holzforschung* 28: 86-91.
- Blohm JH, Evans R, Koch G, Schmitt U. 2016. Identification and characterisation of Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) juvenile and adult wood grown in Southern Germany. *Drewno* 59: 41-47. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.C01.05
- Burdon RD, Kibblewhite RP, Walker JCF, Megraw RA, Evans R, Cown DJ. 2004. Juvenile versus mature wood: A new concept, orthogonal to corewood versus outerwood, with special reference to *Pinus radiata* and *P. taeda*. *For. Sci.* 50: 399-415. DOI: 10.1093/forests/50.4.399.
- Carlquist S. 1985. Wood anatomy of Begoniaceae, with comments on raylessness, paedomorphosis, relationships, vessel diameter, and ecology. *Bull. Torrey Bot. Club* 112: 59-69.
- Carlquist S. 2001. Comparative wood anatomy. Systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood, 2nd edition. Berlin: Springer-Verlag.
- Chow P, Rolfe GL, Shupe TF. 1996 Some chemical constituents of ten-year-old American sycamore and black locust grown in Illinois. *Wood Fiber Sci.* 28: 186.
- Davidson C. 1976. Anatomy of xylem and phloem of the Datisceae. *Natl. Hist. Mus. Los Angeles County Contrib. Sci.* 280: 1-28.
- DIN EN 350 - European Committee for Standardization 2016. Durability of wood and wood based products - Testing and classification of the natural durability to biological agents of wood and wood-based products. Beuth Verlag, Berlin.
- Donaldson L. 2008. Review - Microfibril angle: measurement, variation and relationships - A Review. *IAWA J.* 29: 345-386. DOI: 10.1163/22941932-90000192
- Dünisch O, Richter HG, Koch G. 2010. Wood properties of juvenile and mature heartwood in *Robinia pseudoacacia* L. *Wood Sci. Technol.* 44: 301-313. DOI: 10.1007/s00226-009-0275-0
- Evans R. 1999. A variance approach to the x ray diffractometric estimation of microfibril angle in wood. *Appita J.* 52: 283-294.
- Evans R, Ilic J. 2001. Rapid prediction of wood stiffness from microfibril angle and density. *For. Prod. J.* 51: 53-57.
- Fergus BJ, Goring DAI. 1970. The location of guaiacyl and syringyl lignins in birch xylem tissue. *Holzforschung* 24: 113-117. DOI: 10.1515/hfsg.1970.24.4.113
- Fukazawa K. 1984. Juvenile wood of hardwoods judged by density variation. *IAWA Bull. n.s.* 5: 65-73. DOI: 10.1163/22941932-90000861
- Franklin GL. 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new maceration method for wood. *Nature* 155: 51.
- Fricke W. 2017. Review: Water transport and energy. *Plant Cell Environ.* 40: 977-994. DOI: 10.1111/pce.12848
- Hapla F, Saborowski J. 1987. Stichprobenplanung für holzanatomische Untersuchungen. *Holz Roh- Werkstoff* 45: 141-144. DOI: 10.1007/BF02627564

- Haupt M, Leithoff H, Meier D, Richter HG, Faix O. 2003. Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teakwood (*Tectona grandis* L.) - a case study. *Holz Roh-Werkst.* 61: 473–474. DOI: 10.1007/s00107-003-0428-z
- Helmling S, Olbrich A, Heinz I, Koch G. 2018. Atlas of vessel elements: Identification of Asian timbers. *IAWA J.* 39: 249–352. DOI: 10.1163/22941932-20180202
- Hillis WE. 1987. Heartwood and tree exudates. Springer-Verlag, New York, pp. 268.
- Hillis WE. 1996. Formation of robinetin crystals in vessels of *Intsia* species. *IAWA J.* 17: 405–419. DOI: 10.1163/22941932-90000637
- IAWA Committee. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull.* n.s. 10: 221–332.
- Khan S. 1980. Studies on the seasonal activity of vascular cambium and secondary phloem in some Myrtaceae. PhD thesis, Aligarh Muslim Univ., Aligarh, India.
- Kiaei M, Bakshi R, Veylaki S. 2012. Determination of fiber length and juvenile and mature wood zones in *Acer velutinum* Boiss. trees grown in Iran. *For. Stud. China* 14: 323–326.
- Kleist G, Schmitt U. 1999. Evidence of accessory compounds in vessel walls of Sapelli heartwood (*Entandrophragma cylindricum*) obtained by transmission electron microscopy. *Holz Roh- Werkst.* 57: 93–95. DOI: 10.1007/PL00002633
- Koch G, Kleist G. 2001. Application of scanning UV microspectrophotometry to localise lignins and phenolic extractives in plant cell walls. *Holzforschung* 55: 563–567. DOI: 10.1515/HF.2001.091
- Koch G, Bauch J, Puls J. 2003. Topochemical characterisation of phenolic extractives in discoloured beechwood (*Fagus sylvatica* L.). *Holzforschung* 57: 339–345. DOI: 10.1515/HF.2003.051
- Koch G, Grünwald C. 2004. Application of UV microspectrophotometry for the topochemical detection of lignin and phenolic extractives in wood fibre cell walls. In: Wood fibre cell walls: method to study their formation, structure and properties. In: U Schmitt (ed.). COST Action E20 book. pp 119–130. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden.
- Koch G, Richter HG, Schmitt U. 2006. Topochemical investigation on phenolic deposits in the vessels of *Azalia* (*Azalia* spp.) and *merbau* (*Intsia* spp.) heartwood. *Holzforschung* 60: 583–588. DOI: 10.1515/HF.2006.099
- Koch G, Schmitt U. 2013. Topochemical and electron microscopic analyses on the lignification of individual cell wall layers during wood formation and secondary changes. In: J. Fromm (ed.): Cellular aspects of wood formation: 41-69. *Plant Cell Monographs* 20, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Musha Y, Goring DAJ. 1975. Distribution of syringyl and guaiacyl moieties in hardwoods as indicated by ultraviolet microscopy. *Wood Sci. Technol.* 9: 45–58. DOI: 10.1007/BF00351914
- Palermo GP de M, de F Latorraca JV, de Carvalho AM, Calonego FW, Severo ETD. 2015. Anatomical properties of *Eucalyptus grandis* wood and transition age between the juvenile and mature wood, *Eur. J. Wood Prod.* 73: 775–780. DOI: 10.1007/s00107-015-0947-4
- Reiterer A, Burgert I, Sinn G, Tschegg S. 2002. The radial reinforcement of the wood structure and its implication on mechanical and fracture mechanical properties - A comparison between two tree species. *J. Mater. Sci.* 37: 935–940. DOI: 10.1023/A:1014339612423
- Rendle BJ. 1961. Changes in anatomical structure with age. *Anatomy and physiology of wood.* Sect 14, Recent Advances in Botany Univ Toronto Press, 1707–1711.

Rodríguez Anda R, Koch G, Richter HG, Fuentes Talavera F J, Silva Guzmán J A, Satyanarayana KG. 2019. Formation of heartwood, chemical composition of extractives and natural durability of plantation grown teak wood from Mexico. *Holzforschung* 73: 547-557. DOI: 10.1515/hf-2018-0109.

Sano Y, Fukazawa K. 1994. Structural variations and secondary changes in pit membranes in *Fraxinus mandshurica* var. *japonica*. *IAWA J.* 15: 283-291. DOI: 10.1163/22941932-90000609

Silva Guzmán JA & al. 2012. Industrialización, comercialización y manejo sostenible de diez especies nativas Mexicanas. Capítulo 3: Caracterización tecnológica de las especies de madera. Informe final Proyecto ITTO PD 385/05. Universidad de Guadalajara, Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.

Spurr AR. 1969. A low-viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *J. Ultrastr. Res.* 26: 31-43. DOI: 10.1016/S0022-5320(69)90033-1.

Zimmermann MH, Milburn JA. 1982. Transport and storage of water. In: OL Lange, PS Nobel, CB Osmond, H Ziegler (eds.), *Physiological plant ecology II*: 135-151. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Zobel BJ, van Buijtenen JP. 1989. *Wood variation—its causes and control*. Springer Series in Wood Science. Springer, Berlin.

Zobel B, Sprague JR. 1998. *Juvenile wood in forest trees*. Springer Verlag, Berlin

Kapitel 3.2 Publikation II

Characterization of the wood properties of *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo, Cedrorana) as substitute for timbers used for window manufacturing and outdoor applications.

Haag V, Koch G, Melcher E, Welling J. 2019. Characterization of the wood properties of *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo, Cedrorana) as substitute for relevant timbers used for window manufacturing and outdoor application. Maderas. Ciencia y Tecnología 22 (1) (im Druck)

Journal: Maderas. Ciencia y Tecnología

Eingereicht: 16.06.2019

Accepted: 16.10.2019

Online: Oktober 2019

Erläuterungen zu den eigenen Anteilen an der vorgelegten Publikation II:

Konzipierung der Arbeit:	80 %
Versuchsplanung und -durchführung:	80 %
Datenauswertung:	70 %
Beteiligung an der Diskussion der Ergebnisse:	60 %
Beteiligung an der publikationsfähigen Darstellung der Arbeit:	80 %

Bestätigung des Betreuers **PD Dr. habil. Gerald Koch**

Hamburg, 24.Oktober 2019

Characterization of the wood properties of *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo, Cedrorana) as substitute for timbers used for window manufacturing and outdoor applications

Volker Haag^{1*}, Gerald Koch¹, Eckhard Melcher¹ and Johannes Welling¹

¹Thünen Institute of Wood Research, Hamburg, Germany

*Corresponding author: volker.haag@thuenen.de

ABSTRACT

Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke (Tornillo) is a timber species of the South American Amazon Basin. In its natural distribution area, the wood has various local uses, such as furniture, art work, door and window frames, and light construction. In order to promote this lesser known species for high valued applications on the international market, wood anatomical, topochemical and physical/mechanical studies were carried out to characterize the wood properties. The topochemical distribution of the lignin and phenolic extractives in the tissue were studied by means of cellular UV microspectrophotometry (UMSP). The results of the structural and topochemical analyses were compared with the interrelation of certain anatomical and subcellular structures as well as the chemical composition with regard to the physical and mechanical properties. The natural durability of the mature heartwood was analyzed according to the European Standards and is resulting in a durability class 1 against basidiomycetes. Based on the findings of the comprehensive investigations concerning physical and biological features, e.g. the dimensional stability and durability, *Cedrelinga cateniformis* is ideally suited as a substitute for overexploited tropical woods currently used in Europe for wooden window frames and other above ground outdoor applications and thus can contribute to increase the value-added production in Peruvian forests.

Key Words: Lesser known species, wood anatomy, dimension stability, biological durability, cellular UV microspectrophotometry, topochemistry, wood extractives.

Introduction

Particular advantages of certain tropical woods compared to woods from temperate origins are suitable properties, especially in terms of natural durability, dimensional stability and high strengths. In Europe, therefore, tropical woods are highly requested for applications like terrace decking, window scantlings or door construction. Consequently, during the past years the demand for timber with a high natural durability has increased significantly while the supply of traditionally traded timbers from natural tropical forests is getting more and more difficult (Brown *et al.* 2003; Verwer *et al.* 2008; Putzel *et al.* 2011). In this context, plantation-grown timbers are favored as a considerable potential for ensuring a sustainable wood production and for reducing the pressure on timber from natural forests. However, the material obtained from these plantations is “different” in its wood quality when compared with wood provided from natural forests (Haupt *et al.* 2003). The differences basically depend on the anatomical structure and chemical composition. For example, narrow and wider annual rings, different proportions of early-wood and late-wood, higher percentage of juvenile wood and different amounts of extractives might affect the properties such as density, swelling, shrinkage, strength and hardness as well as natural durability as the criterion qualifying a species for outdoor use.

The most commonly tropical timber used (or requested) in the European market come from the family of MELIACEAE (mahogany family) as wood of the genera *Entandrophragma* spp. (Hall 2008, Hall 2011) and *Swietenia* spp. (Gullison *et al.* 1992; Gullison *et al.* 1996), and wood from the Dipterocarpaceae family, most notably wood of the genus *Shorea* subg. *Rubroshorea* spp. known under the trade name Meranti (Koch 2016; Purwaningsih and Kintanmani 2018) and subg. *Shorea* representing the assortment of Yellow balau, bangkirai. A recurrent problem in the history of the tropical timber industry is the over exploitation (Sist 1998; Sist and Nguyen-Thé 2002,; Sist *et al.* 2003; Grogan *et al.* 2008; Günter *et al.* 2011; Inada *et al.* 2017) and illegal logging (Grossheim, 2011) of certain trade assortments such as mahogany or meranti, while other tree species, so-called "lesser known species" with comparable technical properties and sufficient forest availability remain underutilized (Forster *et al.* 2003; Silva Guzmán *et al.* 2012).

In context of the project "Developing Competences in the Peruvian Forestry and Woodworking Sector", several so called lesser known species from Peruvian forests were examined with a view to marketing options in Europe. After extensive research in cooperation with the state research institutes CITEmadera and CITEforestal as well as regional timber merchants, it was decided to investigate to what extent the wood species *Cedrelinga Cateniformis* is suitable to substitute established wood species for window construction and outdoor use in Europe.

Its natural distribution extends across the entire Amazon basin from eastern Peru to the lower reaches of the Amazon in the Brazilian state of Para. Due to the positive growth characteristics and wide spread of the wood species there is sufficient stock in the Peruvian Amazon region to ensure a longer-term supply for the markets. Harvesting concessions are mostly certified and sustainably managed. Sawn timber in various dimensions, semi-finished and finished goods with FSC certificate are available. Regarding its positive mechanical and technical characteristics (Barefoot *et al.* 1971) it is very versatile and especially in Peru of great wood economic importance. However, *Cedrelinga cateniformis* is yet an unknown timber assortment in Europe.

The aim of the present study is to provide detailed information on the wood properties of *Cedrelinga cateniformis*. It combines comprehensively the results using a variety of state-of-the-art methods in view of the current requirements of the wood as substitute for established timbers used for window manufacturing and outdoor applications in Europe.

MATERIALS AND METHODS

Materials

The examined timber samples are originated from a FSC certificated concession in a natural forest in the districts of Iberia and Tahuamanu, Province of Tahuamanu, Department of Madre de Dios, Peru. *Cedrelinga cateniformis* is a monotypic species. Due to its very individual wood structure it is possible to exclude any confusion with other timbers on standard wood anatomical investigations. In total, samples from 40 different boards (70 cm x 9 cm x 3.5 cm) from 3 different trees were examined. There is no precise information about the age of the trees tested as they originated from natural forests. Based on the results of the structural analysis regarding the potential growth rate of the species (2 mm to 5 mm per year) of the natural forest trees, all trees investigated were considered older than 50 years. Further, 2 samples of the scientific wood collection of the Thuenen Institute of Wood Research with origin of Brazil were investigated with view on the natural variation of the wood structure.

Methods

Light microscopy

Transverse, radial and tangential sections (around 20 µm thick) of air-dried specimens were cut sequentially from the specimens with a sliding microtome (Sartorius sliding microtome). Transverse, radial and tangential sections (around 20 µm thick) of air-dried specimens were cut sequentially from

the specimens with a sliding microtome (Sartorius sliding microtome) and embedded in Euperal (Roth Art.-Nr. 7356.1). Dry wood specimens were embedded in Spurr's epoxy resin (Spurr 1969) under mild vacuum with several cycles of evacuation and ventilation according to Kleist and Schmitt (1999) followed by polymerization over night at a temperature of 70 °C. Transverse sections (1 µm thick) were prepared from epoxy resin embedded specimens with an ultracut microtome (Ultracut E, Reichert & Jung). The sections were stained with a 1 % aqueous toluidine blue solution for studying microstructural details (pits, cell wall areas, etc.). Tissue macerations were prepared for measurement of vessel-ray pit size, fiber length and vessel element length. Maceration followed the procedure of Franklin (1945) for which small wood blocks (1 cm × 1 cm × 1 cm) are split into 1 mm thick slivers and placed in test tubes containing a 1:1 mixture of a 30 percent hydrogen peroxide solution and acetic acid. After about 2-4 days (depending on wood density), individual cells were obtained for subsequent measurements. Vessel element and fiber morphology were determined according to Helmling *et al.* (2018).

Wood anatomical studies focused on heartwood since sapwood has different properties (e.g., natural durability) and is of hardly any economic relevance. Terminology and description of wood structure are based on the IAWA List of microscopic features for hardwood identification (IAWA Committee 1989). In certain cases, quantitative categories (e.g., "fiber wall thickness: thin, thin to thick, very thick") were substituted by numerical values. Furthermore, data not specified in the IAWA List were collected (e.g., tangential diameter of fiber lumina). A digitized image analysis system (analySIS[®], Olympus) mounted on an Olympus AX 70 microscope was used for quantitative features based on an average of at least 50 (by default 100) measurements of each parameter studied (Hapla and Saborowski 1987).

Overall, 25 anatomical features considered important for the anatomical description (anatomical "fingerprint") were selected as they are supposed to have a considerable influence on the physical and mechanical properties of the wood.

Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM)

For analyzing micro structural details (e.g., vessel pit apertures, pit canals etc.), a FEI Quanta 200 FESEM was used. Prior to examination, the samples were brought to a final size of about 10 mm x 10 mm x 2 mm with subsequent careful smoothing of their surfaces with razor blades, then mounted onto aluminum stubs with carbon paste, and finally sputter-coated with gold. Accelerating voltage during examination varied between 5 kV and 10 kV.

Cellular UV-microspectrophotometry

Specimens from the heartwood of *Cedrelinga cateniformis* were trimmed with chisel and razor blades to a final size of about 3 mm x 3 mm x 9mm, which were directly embedded in Spurr's epoxy resin (Spurr 1969). Briefly, the dry wood specimens became infiltrated with Spurr's epoxy resin under mild vacuum with several cycles of evacuation and ventilation according to Kleist and Schmitt (1999) followed by polymerization over night at a temperature of 70 °C.

The subcellular distribution of lignin and phenolic extractives was investigated using Scanning UV microspectrophotometry following Koch and Kleist (2001) and Koch and Grünwald (2004). Spurr embedded specimens from the different tissues (juvenile and adult heartwood) were selected from which transverse sections of 1 µm thickness were cut using an ultra-microtome equipped with a diamond knife. These sections were transferred to quartz microscope slides, thermally fixed on a heating plate, immersed in a drop of non-absorbing glycerol (glycerol/water mixture) and covered with a quartz cover slip. The analyses were carried out using a Zeiss UMSP 80 microspectrophotometer equipped with a scanning stage which enables the elaboration of image profiles at defined wavelengths with the scan software APAMOS[®] (Zeiss). For detection of lignin and phenolic extractives a wavelength of 278 nm (absorbance maximum of hardwood lignin) was selected. This scan program digitizes rectangular fields in the tissue with a local geometrical resolution of 0.25 µm × 0.25 µm and a photometrical resolution of 4096 grey scale levels which are converted into 14 basic colors to visualize the absorbance intensities.

Durability tests against basidiomycetes

The durability tests were performed according to EN 350-1:1994 and CEN/TS 15083-1:2005 using the following obligatory strains:

- *Coniophora puteana* (Schumacher ex Fries), BAM Ebw. 15 for hardwoods and softwoods
- *Trametes (Coriolus) versicolor* (Linnaeus) Quélet, CTB 863A for hardwoods

Additional test fungi:

- *Gloeophyllum trabeum* (Persoon ex Fries), BAM Ebw. for softwoods
- *Serpula lacrymans* (Schumacher ex Fries), BAM 315 for softwoods

After gamma sterilization test specimens with a dimension of 50 mm x 25 mm x 15 mm were placed onto stainless steel rings in incubation jars, filled with 5 % malt agar nutrient solution to a height of approx. 5 mm. Reference specimens were prepared from *Fagus sylvatica* L. (European beech) and *Pinus sylvestris* L. (Scots pine) sapwood. Oven dry mass (m_0) was determined using separate specimens not subjected to the fungal tests.

After exposure times of 16 weeks in a climate chamber at 20 °C and 75 % relative humidity all specimens were weighed (m_{me}) to the nearest 0,001 g following the removal of the mycelia. The test specimens were oven-dried at 103 °C till constant mass and were weighed again (m_{dme}). Mass loss (ML, equation 1) due to fungal decay as well as wood moisture content after exposure (u_e , equation 2) was calculated based on oven dry masses determined before (m_0) and after (m_{dme}) fungal testing according to equation 1 and 2.

$$ML = \frac{m_0 - m_{dme}}{m_0} * 100 \quad (1)$$

ML: mass loss of specimens after exposure [%]

m_0 : oven dry mass before fungal exposure [g]

m_{dme} : oven dry mass after fungal exposure [g]

$$u_e = \frac{m_{me} - m_0}{m_0} * 100 \quad (2)$$

u_e : moisture content of specimen after exposure [%]

m_{me} : wet mass of specimen after fungal exposure [g]

m_0 : oven dry mass before fungal exposure [g]

The durability class was derived from the median mass loss according to CEN/TS 15083-1:2005 and from the “x-value” (EN 350-1:1994) calculated on the basis of the mean mass loss using equation 3.

$$x = \frac{ML_{tornillo}}{ML_{reference}} \quad (3)$$

$ML_{tornillo}$: mean mass loss of Tornillo after fungal test (%)

$ML_{reference}$: mean mass loss of the reference timber (%)

The classification schemes of both European standards are shown in table 1.

Table 1: Durability class (DC) according to EN 350-1:1994 and CEN/TS 15083-1:2005.

DC	Description	x-value (EN 350-1:1994)	Median mass loss (MML, %) (CEN/TS 15083-1:2005)
1	Very durable	$x \leq 0,15$	$MML \leq 5$
2	Durable	$> 0,15 \ x < 0,30$	$5 < MML \leq 10$
3	Moderate durable	$> 0,30 \ x \leq 0,60$	$10 < MML \leq 15$
4	Less durable	$> 0,60 \ x \leq 0,90$	$15 < MML \leq 30$
5	Non-durable	$x > 0,90$	$30 < MML$

Assessment of Physical Properties

For characterizing a wood species physical properties are crucial elements. Most important features for judging potential applications are density and shrinkage/swelling behaviour.

In case of wood, density ρ (g/cm^3 or kg/m^3) is defined as mass/volume at a given humidity. According to DIN 52182:1979, which is equivalent to ISO 13061-2, the volume of a specimen is determined by means of a caliper, while mass is determined gravimetrically using a high precision balance. Values for density should always be accompanied by an index indicating the humidity of the tested samples, e.g. ρ_0 for oven-dry density, ρ_{12} for density at 12 % (\approx EMC at 20 °C and 65 % rh) or ρ_{sat} (density in saturated condition).

In this investigation density was determined on small clear specimen prepared for various other physical and mechanical properties tests after conditioning at 20 °C and 65 % rh. All specimens were oriented in such a way that growth ring direction was parallel to two opposing sides of the specimen. Such orientation allows determination of physical and mechanical properties which depend on growth ring orientation (longitudinal, radial and tangential) and minimizes deformation of the specimen when the moisture content changes during conditioning.

Shrinkage and swelling properties

DIN 52184 which in most aspects is equivalent to ISO/FDIS 13061-13 defines several features describing the shrinkage and swelling behaviour of small clear specimen. Shrinkage β (%) is defined as shrinkage from fully saturated condition to normal climate condition, differential swelling q (%/%) describes the swelling/shrinkage behaviour starting at an EMC 20 °C/35 % rh (dry climate) and ending at an EMC 20 °C/85 % rh (humid climate) and vice versa, expressed in percent swelling per percent moisture content change, and the swelling coefficient h (%/%) expresses the same dimensional behaviour expressed in percent per percent rh change.

In order to minimize time for the conditioning steps the dimensions of the specimens for tangential and radial were 20 mm x 20 mm x 10 mm, while the specimen dimensions for the dimensional change in longitudinal direction were 20 mm x 20 mm x 100 mm. The three characteristic values were determined for the tangential, radial and longitudinal direction, indicated by the indexes tan, rad and long, when the specimens had reached constant weight after being exposed to a new

climate. Values for differential swelling q and differential swelling q are mean values generated from the shrinkage and the swelling pathway.

The sample collection derived from four different contingents, three known sources (three individual trees) and one unknown source (mixture of various trees or one individual tree), each comprising five boards. From each of the 5 boards 4 probes 20 mm x 20 mm x 10 mm and 2 probes 20 mm x 20 mm x 100 mm were produced.

The experimental plan showing the climate steps is visualized in Figure 1

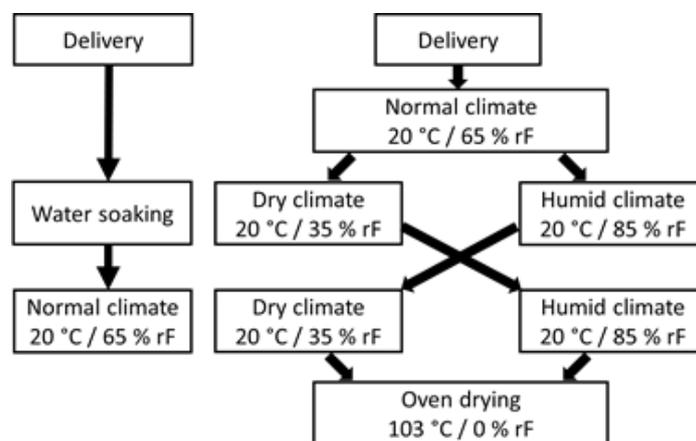


Figure 1: Experimental plan showing the climate steps.

Results and Discussion

Microscopic structures and wood characteristics

The species *Cedrelinga cateniformis* is monotypic species and can safely be differentiated from other species on the basis of certain anatomical features.

The heartwood color varies from light to medium pinkish brown; transition to the somewhat lighter sapwood is gradual. Dry wood has no characteristic odor (though green lumber can have an unpleasant scent). The fiber orientation grain is straight to interlocked, texture uniform and very coarse, with vessel lines featuring prominently on longitudinal surfaces. The wood of *Cedrelinga cateniformis* is diffuse porous and the pores are very large and few. The vessels are arranged in no specific pattern or in isolated groups of 4 or more cells (Fig. 2A). Pits are vested (Fig. 2E). Growth rings boundaries are indistinct and can only be recognized by thin lines of smaller latewood fibers (Fig. 2B). Axial parenchyma is vasicentric or aliform. A very characteristic structural feature of the

species is the chambered axial parenchyma cells/strands without any contents (Fig. 2 C and D). The uniseriated and multiseriated rays are very narrow and closely spaced, in some specimens irregularly storied. Crystals were not observed in any specimens investigated.

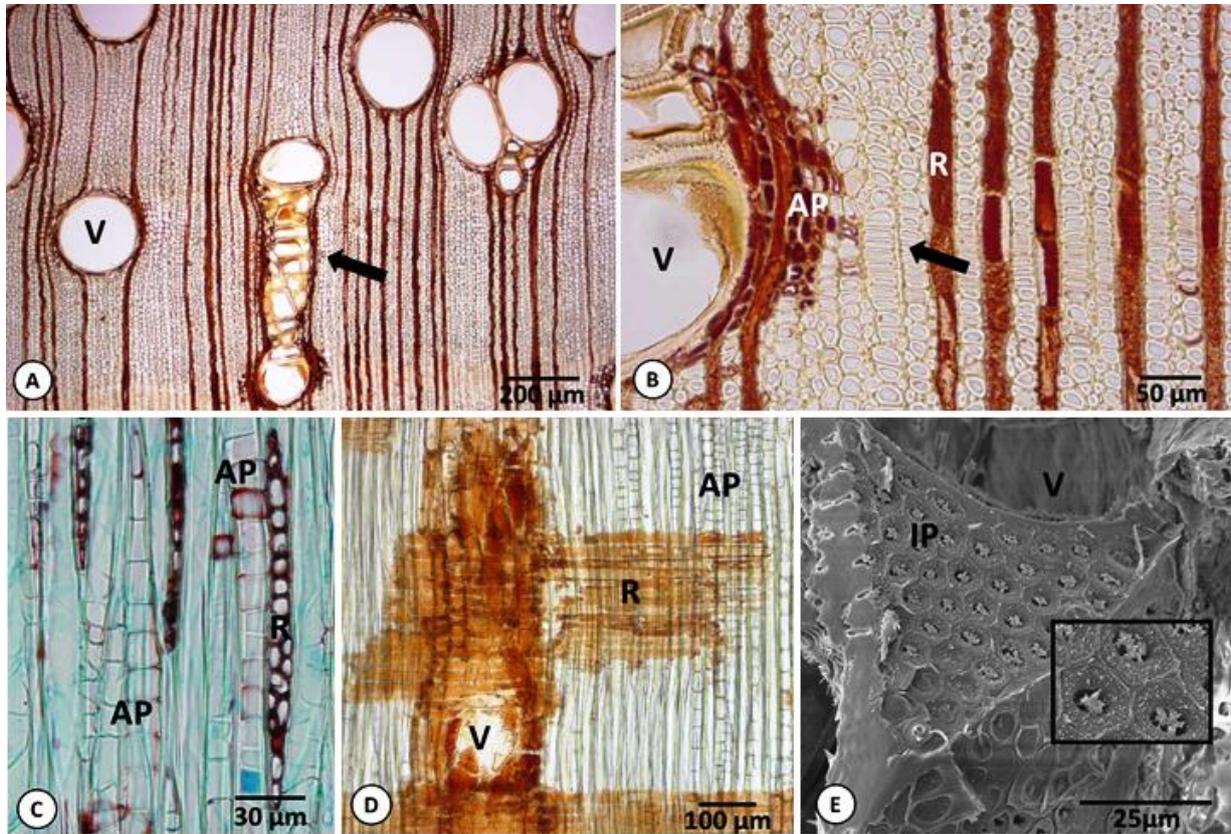


Figure 2: *Cedrelinga cateniformis*: -A. Transverse section with radial chains of 4 or more vessels (arrow). -B. Transverse section with vessels (V), aliform axial parenchyma (AP) and rays (R) filled with dark coloured phenolic deposits. The arrow marks thin lines of narrow latewood fibers in "indistinct" growth ring. -C. Tangential sections (stained with safranin red and astra blue) with uniseriate and multiseriate homocellular rays (R), and diffuse axial parenchyma with chambered cells/strands (AP). -D Radial section with vessel (V), ray parenchyma (R) and diffuse axial parenchyma with chambered cells/strands (AP). -E. FESEM image showing vessel wall with vestured intervessel pits (IP). Black Box showing vestured Pits (area of interest shown by arrow) with higher magnification.

Further results of the anatomical investigation are described in Table 2.

Table 2: Results of the anatomical investigation of 3 trees originated from Peru and 2 trees originated from Brazil.

Structural Features	Tree 1 Peru	Tree 2 Peru	Tree 3 Peru	Tree 1 Brazil	Tree 2 Brazil
Vessels:					
Tangential vessel diameter [μm]	208-376-484	184-325-405	146-351-472	273-361-532	239-362-459
Number of vessels/mm ²	1-3 (5)	1-3 (4)	1-2 (3)	1-2 (3)	1-3 (4)
Vessel element length [μm]	197-497-700	200-383-583	204-386-584	243-509-721	209-463-752
Diameter of vessel pits [μm]	6,3-7,9-9,8	6,6-8,2-9,8	6,1-7,6-9,8	6,6-8,1-10,0	6,1-7,8-9,8
Vessel-ray pittings	APS*	APS*	APS*	APS*	APS*
Pits vestured	+	+	+	+	+
Tyloses	-	-	-	-	-
Fibers:					
Tangential diameter [μm]	7,7-16,5-26,2	8,4-17,5-25,8	7,5-15,5-27,8	7,0-15,8-30,6	9,6-19,1-32,0
Radial lumen diameter [μm]	3,0-10,6-19,6	2,5-9,9-22,4	2,7-8,9-27,1	2,7-9,8-17,7	2,7-9,6-20,0
Cell wall thickness [μm]	1,9-3,1-5,2	1,4-3,2-4,6	0,9-3,2-5,2	1,4-3,2-5,2	1,9-3,1-4,5
Fiber length [μm]	1024-1520-1905	1049-1379-1838	980-1460-1804	947-1408-1945	1081-1451-1797
Axial parenchyma					
Banded	-	-	-	-	-
Average number of cells per strand	2-3 (-9)	3- (5-7)	3-5 (-7)	3-5 (-7)	(2-)3-5 (-7)
Rays					
% of uniseriate rays	70%	50%	40%	70%	70%
% of multiseriate rays	30%	50%	60%	30%	30%
Height of rays [μm]	111-272-466	144-246-414	113-221-300	200-284-400	140-240-330
Width of rays [μm]	9,1-17,0-34,7	7,5-17,0-29,5	8,4-19,4-33,7	11-19,2-33,7	9,1-18,0-31,0

To compare the anatomical structure of wood from other regions, wood of *Cedrelinga cateniformis* from Brazil was examined and the results compared with those of the species from Peru. In summary, no differences can be determined on the anatomical level. The observed variation of the wood structure of five different individuals from different origins shows the natural variation of typical trading assortments from different individual location factors (nutrients, water, position of the tree in the forest, light etc.).

Cellular UV-microspectrophotometry

The topochemical distribution and semi-quantitative determination of lignin and phenolic extractives in the heartwood tissue of *Cedrelinga cateniformis* were analyzed by using scanning UV microspectro-photometry. The applicability of this technique to study the lignification and natural durability of wooden tissues was demonstrated by several authors (e.g. Koch *et al.* 2006; Scholz *et al.* 2007; Dünisch *et al.* 2010; Blohm *et al.* 2014; Rodríguez *et al.* 2019).

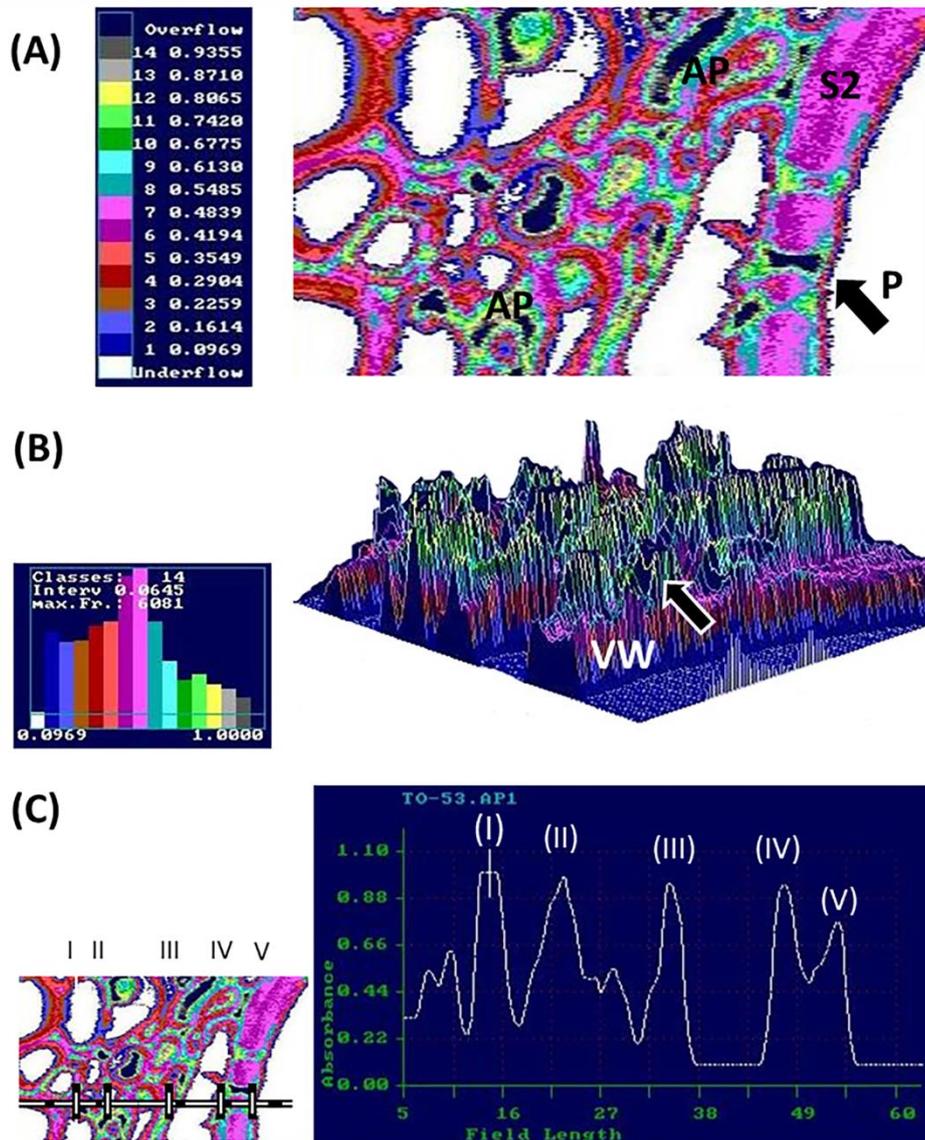


Figure 3: (A) Representative UV microscopic scanning profile of individual cell wall layers of axial parenchyma cells (AP), vessel element (S2), and impregnated pit membrane (arrow) of *Cedrelinga cateniformis*; (B) 3D-UV microscopic scanning profile of the selected tissue with marked pit canal (arrow) and vessel wall (VW); (C) Line scan profile across fiber tissue, axial parenchyma (I, II and III), and vessel wall with impregnated pit membrane (IV, V). The colour pixels represent different UV absorbance values measured at $\lambda 278$ nm (geometric resolution of $0,25 \mu\text{m} \times 0,25 \mu\text{m}$).

Fig. 3 shows representative UV scanning profiles of heartwood tissue of *Cedrelinga cateniformis* at a defined wavelength of 278 nm (absorbance maximum of hardwood lignin). The individual colour pixels indicate different intensities of UV absorbance within the different tissues (fibers, axial parenchyma, vessels) and individual cell wall layers (S2, Compound middle lamella, CML and Cell corner, CC). Secondary walls (S2) of fibers, axial parenchyma and the vessel reveal a non-uniform UV absorbance in the range of 0.20 to 0.65 with highest absorbance intensities in the S2 of the vessel wall (represented by the violet pixels) Compound middle lamella (CML) are characterized by UV absorbance in the range of 0.45 – 0.65 illustrated by the light red and violet colour pixels, whereas in cell corners even absorbance above 0.75 to 0.90 are detectable (represented by the green any yellow pixels). The different absorbance values correlate strongly with various lignin contents and types in the individual cell wall layers e.g., the highly absorbing guaiacyl units in the S2 of the vessel wall (Koch and Kleist 2001; Koch and Grünwald 2004).

The deposition of phenolic extractives which are responsible for the natural durability of the heartwood tissue of *Cedrelinga cateniformis* is also clearly evident by applying the UV scanning technique. The extractives are detectable as local spots of high UV absorbance values (range 0.75 [yellow] – 0.80 [grey] – overflow [black]) mainly deposited in cell lumen of the axial parenchyma and locally impregnated into the cell walls of the associated fibers and vessel (Fig. 3 A, B). The synthesis of the extractives and impregnation into the cell walls is initiated by low molecular phenolic precursors passing through pit membranes with subsequent conversion into highly condensed compounds during heartwood formation of *Cedrelinga cateniformis*.

For a more detailed verification, a special UV line scanning across the fiber cell walls, axial parenchyma and vessel wall was carried out (Fig. 3C with marked line). The evaluation of this line scan reveals the high UV absorbance of impregnated phenolic extractives into the cell lumen, pit canals and adjacent cell walls, visible as clear peaks with numerical values of 0.80 to overflow, illustrated by the yellow, grey and black pixels. Similar findings were achieved earlier by Koch *et al.* (2006) for merbau (*Intsia* spp.) and afzelia (*Afzelia* spp.) and verified as an impregnation of the cell walls by phenolic extractives, synthesized by pit membrane-associated enzymes (Hillis 1996, 1998).

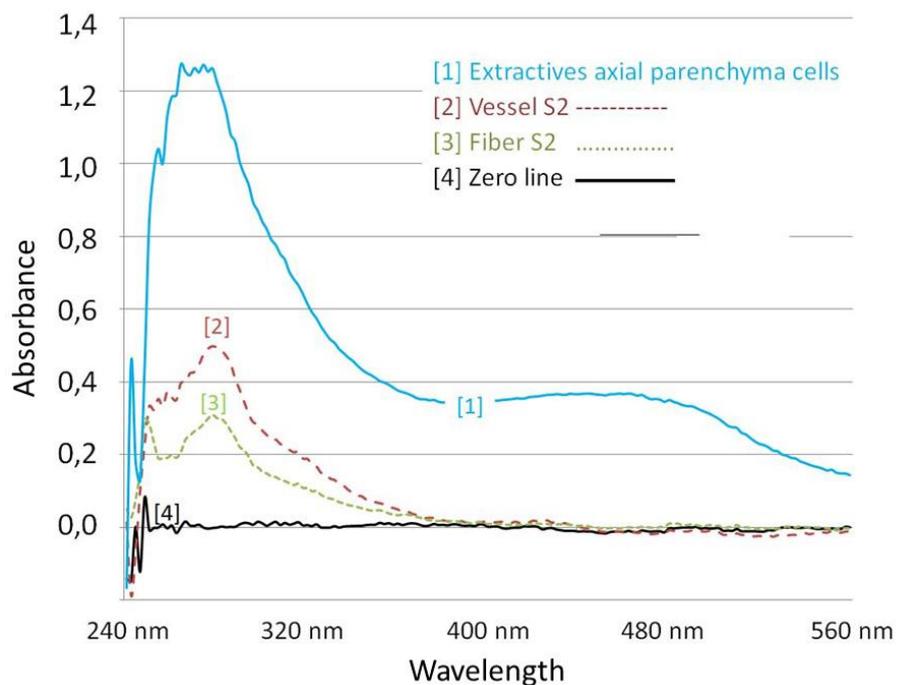


Figure 4: Representative UV absorbance spectra of individual cell walls S2 of fiber [2] and vessel [3] and deposited extractives in axial parenchyma in heartwood tissue of *Cedrelinga cateniformis*.

The lignification of individual cell wall layers and deposition of extractives was further studied by evaluation of the UV absorbance spectra in a wavelength range of 240 to 560 nm. In Figure 4 representative UV absorbance spectra of the S2 of a fiber and vessel as well as deposited extractives in the axial parenchyma cells are presented.

The UV spectra of the S2 show the typical absorbance behaviour of a hardwood lignin with a distinct maximum at 278 nm and a local minimum at about 250 nm. The maximum absorbance at 278 nm usually indicates the presence of the strongly absorbing guaiacyl/syringyl lignins (Fergus and Goring 1970).

The phenolic extractives in the axial parenchyma of *Cedrelinga cateniformis* heartwood reveal much higher absorbance values (0.90 and 1.30) than cell wall associated lignins (0.30 and 0.50).

Furthermore, their absorbance maxima show a bathochromic shift to a wavelength of 286 to 288 nm and distinct shoulder at a wavelength range of 420 to 480 nm (Fig. 4). This spectral behaviour can be explained by the formation of high condensed phenolic extractives with conjugated double bonds. The higher degree of conjugation stabilizes π - π^* transitions, resulting in absorbance bands shifted to higher wavelengths (Goldschmid 1971) which can be detected by UV microspectrophotometry. However, the technique does not allow a precise chemical identification of the condensed phenolic extractives. In general, the topochemical analyses clearly evidence the synthesis and deposition of phenolic extractives during obligatory heartwood formation contributing to the high natural durability of *Cedrelinga cateniformis*.

Properties

Natural durability - Resistance against basidiomycetes

The results of biological tests against basidiomycetes are shown in table 3 and figure 5.

Table 3: Moisture content of the specimens after 16 weeks of exposure.

Fungus	Material	Moisture content at the end of the test (%)			
		min	Mean	max	Standard deviation (%)
<i>C. puteana</i>	<i>P. sylvestris</i>	48	56	60	4.3
	Tornillo	28	34	43	3.2
<i>C. versicolor</i>	<i>F. sylvatica</i>	38	43	48	3.1
	Tornillo	29	36	54	4.7
<i>G. trabeum</i>	<i>P. sylvestris</i>	49	54	57	2.7
	Tornillo	29	31	35	1.4
<i>S. lacrymans</i>	<i>P. sylvestris</i>	45	48	52	2.6
	Tornillo	16	36	47	4.4

The test are considered valid as the criterion regarding the required mass of the reference material was fulfilled according the used standards; mass loss caused by *C. puteana* was nearly 30 % and for the other fungi at least 20 % (figure 5).

Table 3 shows that the mean moisture content of the specimens is near or higher than fiber saturation. Based on this moisture content a fungal attack should be possible. Independent of the fungus the median mass loss is clearly less than 5 % resulting in a durability class 1 against basidiomycetes.

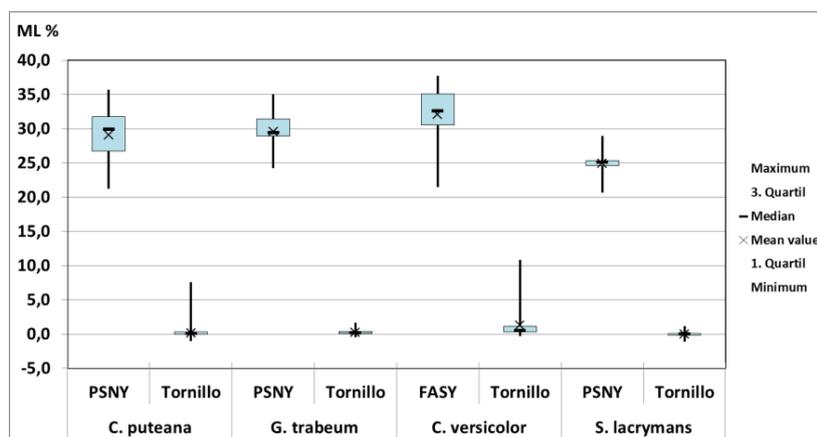


Figure 5: Mass loss of Tornillo, *Pinus sylvestris* (PNSY) and *Fagus sylvatica* (FASY) caused by the various fungi after 16 weeks of exposure

An identical result is obtained assessing the x-value. The x-value is calculated using the highest mass loss caused by a fungus (worst case scenario). In the case of Tornillo the highest mean mass loss was determined for *Coriolus versicolor* with 1,3 %. If this value (1,3 %) is divided by the mean mass loss of beech (32,0 %), the x-value is 0,04. Since 0,04 is less than 0,15, the durability class corresponds to class 1 (table 1).

The derived durability class based on tests with basidiomycetes cannot be transferred 1:1 to in ground contact situations because it is known that biological pressure is often much more severe (presence of soil inhabiting organisms) compared to above ground situations (presence of basidiomycetes) (Meyer *et al.* 2014; Jacobs *et al.* 2019). This difference in natural durability depending on exposure type is also reflected in the actual EN 350:2016 where for a given wood species either the durability class with ground contact or against fungi (basidiomycetes) or both durability classes are mentioned. [In the US for example the AWPA standard (2017) E18-15: *Standard field test for evaluation of wood preservatives to be used above ground (UC3B): Ground proximity decay test* is used for the durability classification against fungi (basidiomycetes)].

The results of the comprehensively tested physical, mechanical and biological properties of *Cedrelinga cateniformis* are presented in Table 4. The results are compared with literature data of wood species currently used for window manufacturing and outdoor applications, such as true

mahogany (*Swietenia macrophylla*) and relevant trade groups of red meranti (*Shorea subg. Rubroshorea*).

The physical, mechanical and biological properties of *Cedrelinga cateniformis* (Table 4) are comparable to species for which a well-established market already exists.

Table 4: Results of the Assessment of physical, mechanical and biological properties.

	Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	Mahogany (<i>Swietenia macrophylla</i>)	Light Red Meranti (<i>Shorea subg. Rubroshorea</i>)	Dark Red Meranti (<i>Shorea subg. Rubroshorea</i>)
Physical Properties*				
Density kiln dried ^{*2*} [12-15% mc - kg/m ³]	420 <u>520</u> 620 ^{*1}	<i>450...600</i>	<i>380...580</i>	<i>580...680</i>
Shrinkage [%] ^{*2} (mc _{max} - 12-15% mc)				
Radial	1,0 <u>1,3</u> 1,6 ^{*1}	<i>2,6</i>	<i>3,6</i>	<i>4,0</i>
tangential	3,7 <u>3,4</u> 4,3 ^{*1}	<i>3,7</i>	<i>7,1</i>	<i>7,6</i>
Differential swelling ^{*3} [%/%]				
Radial	0,13 <u>0,15</u> 0,17 ^{*1}	<i>0,11...0,15</i>	<i>0,11...0,18</i>	<i>0,14...0,18</i>
Tangential	0,25 <u>0,28</u> 0,32 ^{*1}	<i>0,17...0,23</i>	<i>0,25...0,30</i>	<i>0,29...0,34</i>
Mechanical properties (at 12-15% mc)				
Modulus of Elasticity ^{*2} (MOE) [N/mm ²]				
	<i>10900</i>	<i>10790</i>	<i>13620</i>	<i>13020</i>
Crushing strength ^{*2} [N/mm ²]				
	<i>38</i>	<i>54</i>	<i>42</i>	<i>52</i>
Static bending Strength ^{*2} [N/mm ²]				
	<i>70</i>	<i>85</i>	<i>86</i>	<i>92</i>
Biological properties (Basidiomycetes)				
Natural Durability ^{*2}	Very durable ^{*1}	<i>durable</i>	<i>Moderately to poorly durable</i>	<i>Durable to poorly durable</i>

^{*1} Data in **bold** are evaluated in the context of the above cited studies (species investigated originated from Peru) Data in *italics* are documented in the references (see CIRAD-FORÊT 1998-2011^{*2}, Sell 1997^{*3}).

With regard to durability, *Cedrelinga cateniformis* significantly outperforms the other timber species. In summary, the wood of *Cedrelinga cateniformis* can be rated as ideally suited for window, door, and outdoor applications.

CONCLUSIONS

The present work provides basic results for the characterization of the wood properties of *Cedrelinga cateniformis* Ducke (Tornillo, Cedrorana) as a substitute for timbers used for window manufacturing and outdoor applications using a variety of state-of-the-art methods. The results reveal that the methods chosen are ideally suited to characterize the wood features. In summary, the wood *Cedrelinga cateniformis* can be rated as ideal suited for the given area of outdoor applications. As a follow-up, further investigations on comparable tropical “lesser known species” with additional focus on mechanical properties and natural durability should be conducted. These results are a precious means for understanding the wood properties of the timbers investigated under the aspect of their utilisation and to increase the added value of these valuable timbers.

Acknowledgements

The authors thank Tanja Potsch for assistance with the ultracut-microtome and FESEM, Daniela Paul for assistance in UMSP application, Marie T. Lenz for assistance with the durability test performance as well as assistance in evaluating the related results, Dörte Bielenberg and Bettina Steffen for performance in the assessment of Physical Properties as well as assistance in evaluating the related results.

References:

Barefoot, A.C.; Traywick, J.D. 1971. Mechanical and related properties of Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*). *Wood Science* 3(4) : 245-253.

Blohm, J.H.; Melcher, E.; Lenz, M.T.; Koch, G.; Schmitt, U. 2014. Natural durability of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) heartwood grown in southern Germany. *Wood Mater Sci Eng* 9(3): 186-191.

Brown, N.; Jennings, S.; Clements, T. 2003. The ecology, silviculture and biogeography of mahogany (*Swietenia macrophylla*): a critical review of the evidence. *Perspect Plant Ecol Evol Syst*, 6(1): 37–49.

European Committee for Standardization, CEN. 2005. CEN/TS 15083-1: *Durability of wood and wood-based Products - Determination of the natural durability of solid wood against wood-destroying fungi, test methods - Part 1: Basidiomycetes*; German version.

European Committee for Standardization, CEN. 2016 EN 350: *Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials*; German version.

European Committee for Standardization, CEN. 1994 EN 350-1: *Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood*; German version.

CIRAD-FORÊT 1998-2011. Tropix 7, Fiches techniques Version 7.5.1. <https://tropix.cirad.fr/en/technical-sheets-available>. Consulted 06.2019 for Tornillo/Mongo/Light Red Meranti/Dark Red Meranti.

Deutsches Institut für Normung e. V., DIN. 1976-09 DIN 52182: *Prüfung von Holz - Bestimmung der Rohdichte (Testing of wood - determination of density)*. (Beuth Verlag, Berlin).

Deutsches Institut für Normung e. V., DIN. 1979-05 DIN 52184: *Prüfung von Holz - Bestimmung der Quellung und Schwindung (Testing of wood - determination of swelling and shrinkage)*. (Beuth Verlag, Berlin).

Dünisch, O.; Richter, H.G.; Koch, G. 2010. Wood properties of juvenile and mature heartwood in *Robinia pseudoacacia* L.. *Wood Sci Technol* 64 (3): 301-313.

Fergus, B.J.; Goring, D.A.I. 1970. The distribution of lignin in birch wood as determined by ultraviolet microscopy. *Holzforschung* 24 (4): 118-124.

Forster, R.; Albrecht, H.; Belisle, M.; Caballero, A.; Galetti, H.; Lacayo, O. ; Ortiz, S. 2003. *Forest communities and the marketing of lesser-known tropical hardwoods in Mesoamerica*. ISBN 968-7864-47-8 Impreso en México, D.F.

Franklin, GL. 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new maceration method for wood. *Nature* 155 (3924), p. 51.

Goldschmid, O. 1971. Ultraviolet spectra. In *Lignins, Occurrence, Formation, Structure and Reactions*. Wiley Interscience, New York. ISBN: 0471754226.

Gullison, R.E.; Panfil, S.N.; Strouse, J.J.; Hubbell, S.P. 1992. Regeneración natural de la mara (*Swietenia macrophylla*) en el bosque chimanes, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, No. 19, agosto de 1992: 43-56.

Gullison, R.E.; Panfil, S.N.; Strouse, J.J.; Hubbell, S.P. 1996. Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in the Chimanes Forest, Beni, Bolivia. *Bot J Linn Soc* **122(1)**: 9–34.

Grogan, J.; Jennings S. B. et al. 2008. What loggers leave behind: Impacts on big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) commercial populations and potential for post-logging recovery in the Brazilian Amazon. *For Ecol Manage* 255(1):269–281.

Grossheim, C. 2011. Forest Concessions in Peru. In *Silviculture in the Tropics* (pp. 53-60). Springer, Berlin, Germany.

Günter, S.; Weber, M.; Stimm, B.; Mosandl, R. 2011. *Silviculture in the Tropics*, Tropical Forestry 8, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.

Hall, J. 2008. Seed and seedling survival of African mahogany (*Entandrophragma* spp.) in the Central African Republic: implications for forest management. *For Ecol Manage* 255(2): 292–299.

Hall, J. 2011. Natural Forest Silviculture for Central African Meliaceae. In *Silviculture in the Tropics* (pp. 219-225). Springer, Berlin, Germany.

Hapla, F.; Saborowski, J. 1987. Stichprobenplanung für holzanatomische Untersuchungen. *Holz Roh- Werkst* 45 (4): 141–144.

Haupt, M.; Leithoff, H.; Meier, D.; Puls, J.; Richter, H. G.; Faix, O. 2003. Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teakwood (*Tectona grandis* L.) - a case study. *Holz Roh- Werkst* 61(6): 473–474.

Helmling, S.; Olbrich, A.; Heinz, I.; Koch, G. 2018. Atlas of vessel elements: identification of Asian timbers. *IAWA J* 39 (3): 249-352.

Hillis, W. E. 1996. Formation of robinetin crystals in vessels of *Intsia* species. *IAWA J* 17 (4): 405–419.

Hillis, W. E. 1998. Deposits in heartshakes in wood – Part 1.

Different types. *Wood Sci Technol* 32 (2): 129–137.

Wheeler, E.A.; Baas, P.; Gasson, P.E. (Editors). 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bull* 10 (3): 219–332.

Inada, T.; Widiyatno; Hardiwitono, S.; Purnomo, S.; Putra, I. B. W.; Kitajima, K.; Kanzaki, M. 2017. Dynamics of forest regeneration following logging management in a bornean lowland dipterocarp forest. *J Trop For Sci* 29(2): 185–197.

International Organization for Standardization; ISO. 2014 ISO 13061-2: *Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests*. Genf, Swiss.

International Organization for Standardization; ISO. 2014 ISO/FDIS 13061-13 *Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 13: Determination of radial and tangential shrinkage*. Genf, Swiss.

Jacobs, K.; Plaschkies, K.; Scheiding, W.; Weiß, B.; Melcher, E.; Conti, E.; Fojutowski, A.; Le Bayon, I. 2019. Natural durability of important European wood species against wood decay fungi. Part 2: Field tests and fungal community. *Int Biodeterior Biodegradation* 137(2019) : 118-126.

Kleist, G.; Schmitt, U. 1999. Evidence of accessory compounds in vessel walls of Sapelli heartwood (*Entandrophragma cylindricum*) obtained by transmission electron microscopy. *Holz Roh- Werkst* 57(2): 93-95.

Koch, G.; Grünwald, C. 2004. Application of UV microspectrophotometry for the topochemical detection of lignin and phenolic extractives in wood fibre cell walls. In *Wood fibre cell walls: method to study their formation, structure and properties*. Schmitt U (Ed.). COST Action E20 book. pp 119-130. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden

Koch, G.; Richter, H.G. ; Schmitt, U. 2006. Topochemical investigation on phenolic deposits in the vessels of afzelia (*Afzelia* spp.) and merbau (*Intsia* spp.) heartwood. *Holzforschung* 60(6):583-588.

Koch, G.; Kleist, G. 2001. Application of scanning UV microspectrophotometry to localise lignins and phenolic extractives in plant cell walls. *Holzforschung* 55(6): 563-567.

Koch, G. 2016. Rotes Meranti für den konstruktiven Fensterbau. In: Rotes Meranti aus Malaysia für den Einsatz im Fensterbau. Kuala Lumpur: Malaysian Timber Council, pp 10-11.

Meyer, L.; Brischke, C.; Melcher, E.; Brandt, K.; Lenz, M.-T.; Soetbeer, A. 2014. Durability of English oak (*Quercus robur* L.) - Comparison of decay progress and resistance under various laboratory and field conditions. *Int Biodeterior Biodegradation* 86, 79-85.

Putzel, L.; Peters, C. M.; Romo, M. 2011. Post-logging regeneration and recruitment of shihuahuaco (*Dipteryx* spp.) in Peruvian Amazonia: Implications for management. *For Ecol Manage* 261(6): 1099-1105.

Purwaningsih; Kintamani, E. 2018. The Diversity of *Shorea* spp. (Meranti) at Some Habitats in Indonesia IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 197(1): 012034.

Rodriguez Anda, R.; Koch, G.; Richter, H.-G.; Fuentes Talavera, F. ; J. Silva Guzman, J. A. ; Satyanarayana, K. G. 2019. Formation of heartwood, chemical composition of extractives and natural durability of plantation grown teak wood from Mexico. *Holzforschung* 73(6), 547-557.

Scholz, G.; Liebner, F.; Koch, G.; Bues, C.T.; Günther, B.; Bäucker, E. 2007. Chemical, anatomical and technological properties of Snakewood [*Brosimum guianense* (Aubl.) Huber]. *Wood Sci Technol* 41(8): 673-686.

Sell, J. 1997. *Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten*. Baufachverlag Lignum. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für das Holz, Zürich, Swiss.

Silva Guzmán, J.A. and al. 2012. *Industrialización, Comercialización y Manejo Sostenible de Diez Especies Nativas Mexicanas*. Capítulo 3: *Caracterización tecnológica de las especies de madera*. Informe final Proyecto ITTO PD 385/05. Universidad de Guadalajara, Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.

Sist, P.; Nolan, T.; Bertault, J.G.; Dykstra D. 1998. Harvesting intensity versus sustainability in Indonesia. *For Ecol Manage* 108(3): 251–260.

Sist, P.; Nguyen-Thé, N. 2002. Logging damage and the subsequent dynamics of a dipterocarp forest in East Kalimantan (1990–1996). *For Ecol Manag* 165(1-3): 85–103.

Sist, P.; Fimbel, R.; Nasi, R.; Sheil, D.; Chevallier, M.H. 2003. Towards sustainable management of mixed dipterocarp forests of South East Asia: moving beyond minimum diameter cutting limits. *Environ Conserv* 30(4): 364–374.

Spurr, A.R. 1969. A low-viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *J Ultrastruct Res* 26(1): 31–43.

Verwer, C.; Pena-Claros, M.; Van Der Staak, D.; Ohlson-Kiehn, K.; Sterck, F.J. 2008. Silviculture enhances the recovery of overexploited mahogany *Swietenia macrophylla*. *J Appl Ecol* 45(6): 1770–1779.

Kapitel 3.3 Publikation III

Die Europäische Holzhandelsverordnung (EUTR) - Anforderungen an die Holzartenbestimmung in der Praxis

The European Timber Regulation (EUTR) - Requirements on wood identification in practice

PD Dr. Gerald Koch, Volker Haag, Dr. Immo Heinz und Dr. H.G. Richter
Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg

Koch, G.; Haag, V.; Heinz, I.; Richter, H.-G. (2016). Die Europäische Holzhandelsverordnung (EUTR); Anforderungen an die Holzartenbestimmung in der Praxis *The European Timber Regulation (EUTR) Requirements on wood identification in practice*. Holztechnologie 57(1) S. 5 - 11

Journal: Holztechnologie

Ausgabe: 1/2016

Erläuterungen zu den eigenen Anteilen an der vorgelegten Publikation III:

Konzipierung der Arbeit:	40 %
Versuchsplanung und -durchführung:	30 %
Datenauswertung:	30 %
Beteiligung an der Diskussion der Ergebnisse:	50 %
Beteiligung an der publikationsfähigen Darstellung der Arbeit:	40 %

Bestätigung des Betreuers **PD Dr. habil. Gerald Koch**

Hamburg, 24.Oktober 2019

Die Europäische Holzhandelsverordnung (EUTR) - Anforderungen an die Holzartenbestimmung in der Praxis

The European Timber Regulation (EUTR) - Requirements on wood identification in practice

PD Dr. Gerald Koch, Volker Haag, Dr. Immo Heinz und Dr. H.G. Richter
Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg

Zusammenfassung

Als Beitrag zum globalen Schutz der Wälder wurde im März 2013 die Europäische Holzhandelsverordnung (EUTR) erlassen. Sie verbietet den Import und den Handel mit illegal eingeschlagenem Holz und verpflichtet alle Marktteilnehmer, die innerhalb der EU Holz oder Holzprodukte erstmalig in Verkehr bringen, bestimmte Sorgfaltspflichten einzuhalten. Dazu gehören unter anderem Informationspflichten zur Art und Herkunft des Holzes. Die eindeutige Bestimmung der Holzarten ist auch in Bezug auf die Bewertung der Produkteigenschaften (Verbraucherschutz) von großer Bedeutung, da in zunehmendem Maße minderwertige Austauschhölzer verarbeitet und eingeführt werden. Zeitgleich mit dem Inkrafttreten der EUTR wurde das Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte gegründet, das täglich Anfragen auf den Gebieten Holzartenbestimmung und genetischer Art- und Herkunftsnachweis bearbeitet. Im Jahr 2014 wurden insgesamt 470 offizielle Aufträge (ca. 3.500 Prüfmuster/Einzelproben) holzanatomisch untersucht. Die Anfragen kommen im Wesentlichen aus dem Bereich des Holzhandels (ca. 65 %) und der EUTR-Kontrollbehörden (24 %). Die Auswertungen der untersuchten Produktgruppen zeigen, dass in zunehmendem Maße Sperrhölzer und Faserplatten für die Bestimmung der verwendeten Hölzer an das Kompetenzzentrum geschickt werden. Die Bestimmung der Sperrhölzer und Faserplatten erfordert eine besondere Expertise und die Erstellung von belegten Referenzproben. Im Übersichtsartikel werden die Erfahrungen des Thünen-Kompetenzzentrums auf dem Gebiet der anatomischen Holzartenbestimmung seit Einführung der EUTR detailliert beschrieben.

Abstract

As a contribution to global forest protection the EU Timber Regulation (EUTR) came into force on March, 2013. Under the EUTR, placing illegally harvested timber and products derived from such timber on the EU market is prohibited. EU operators -those who place timber products on the EU market for the first time- are required to exercise "due diligence" including the correct declaration of

the wood species. The clear identification of the timber is also important for the assessment of product properties "consumer protection" as lower-grade substitute timbers are imported at a distinctly increasing rate. In the context of these new challenges wood anatomy provides the most valuable support for practical wood identification and is routinely applied in the daily control of wood and wood products at the Thünen Centre of Competence on the Origin of Timber. The Centre of Competence is the central contact facility for government agencies, timber trade and consumers to verify the species of wood and/or wood products and its origin. In the year 2014 the Centre has executed more than 470 official requests (involving approximately 3,500 specimens) for microscopic wood identification. The requests come mainly from the timber trade sectors (65 %) and increasingly from the German EUTR authorities (24 %). The evaluation of the tested product groups shows, that the requests for the identification of plywood and fibreboards are strongly increased. The identification of the individual veneer layers and cell elements requires a special expertise and the preparation of defined references. The present review article provides detail information on the work and experiences of Thünen Centre of Competence since the implementation of the EUTR.

Schlüsselwörter: Europäische Holzhandelsverordnung, Holzanatomie, Holzartenbestimmung, Holzprodukte

Key words: European Timber Regulation, Wood anatomy, Wood identification, Wood products

Autoren:

PD Dr. habil. Gerald Koch (Wissenschaftlicher Direktor): Studium der Holzwirtschaft an der Universität Hamburg. 1998 Promotion (Dr. rer. nat.) im Fachbereich Biologie der Universität Hamburg; 2004 Habilitation und Venia legendi für das Fachgebiet Holzbiologie an der Universität Hamburg; seit 2004 wissenschaftliche Leitung der Holzsammlung und des holzanatomischen Labors am Thünen-Institut für Holzforschung und dem in 2013 gegründeten Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte; Gutachter für Holzartenbestimmung und das Washingtoner Artenschutzabkommen CITES, Mitglied in Normausschüssen und des Fachgremiums Holzarten für den Fensterbau (VFF).
Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstr. 91, 21031 Hamburg

Volker Haag (Wissenschaftler M.Sc. Holzwirtschaft): Ausbildung zum Tischlergesellen und später Tischlermeister im Kölner Raum. Studium (Bachelor und Master) der Holzwirtschaft an der Universität Hamburg. Seit 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Thünen-Institut für Holzforschung mit Schwerpunkt Holzartenbestimmung für das Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte.
Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstr. 91, 21031 Hamburg

Dr. Immo Heinz (Wissenschaftlicher Mitarbeiter): Ausbildung zum Tischlergesellen in Hamburg. Studium der Holzwirtschaft an der Universität Hamburg. 2004 Promotion (Dr. rer. nat.) an der TU-München (Holzforschung / Biologie). Freiberufliche Tätigkeit als Sachverständiger für Holz- und Bauschäden. Seit 2015 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Thünen-Institut für Holzforschung mit Schwerpunkt Holzartenbestimmung für das Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte.
Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstr. 91, 21031 Hamburg

Dr. Hans-Georg Richter (Wissenschaftlicher Direktor a.D.): Schreinerlehre (1955 bis 1957). Studium der Holzwirtschaft an der Universität Hamburg. Von 1965 bis 1976 Lehr- und Forschungstätigkeit im Ausland (USA, Costa Rica, Brasilien). 1980 Promotion (Dr. rer. nat.) im Fachbereich Biologie der Universität Hamburg. Von 1983 bis 2004 wissenschaftliche Leitung der Holzsammlung und des holzanatomischen Labors an der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg. Gutachter für Holzartenbestimmung und das Washingtoner Artenschutzabkommen CITES, ehemaliges Mitglied in Normausschüssen und des Fachgremiums Holzarten für den Fensterbau (VFF). 2004 bis 2012 Lehr- und Forschungstätigkeit im Ausland (Mexiko).
Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstr. 91, 21031 Hamburg

1. Die Europäische Holzhandelsverordnung (EUTR)

Als Beitrag zum globalen Schutz der Wälder wurde im März 2013 die Europäische Holzhandelsverordnung (Verordnung EU Nr. 995/2010, Abkürzung EUTR) erlassen. Sie verbietet die Vermarktung von illegal eingeschlagenem Holz und verpflichtet alle Importeure (sog. Marktteilnehmer), die innerhalb der EU Holz oder Holzprodukte erstmalig in Verkehr bringen, bestimmte Sorgfaltspflichten einzuhalten. Dazu gehören unter anderem Informationspflichten zur Art und Herkunft des Holzes sowie Verfahren zur Einschätzung und Reduzierung des Risikos, dass das Holz aus illegalem Einschlag stammen könnte. Die nationale Umsetzung der EUTR erfolgt in Deutschland durch das Holzhandelssicherungsgesetz (HolzSiG). Als zuständige Behörde mit den erforderlichen Kontroll- und Eingriffsbefugnissen wurde die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) bevollmächtigt. Die Inspektoren der BLE kontrollieren seit Inkrafttreten der EUTR systematisch die Einfuhrdokumente der Holzimporteure und entnehmen bei der Prüfung Holzmuster (Stichproben), die zur Kontrolle der angegebenen Deklarationen (Art und Herkunft) an das Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte (Hamburg) geschickt werden. Das Thünen-Kompetenzzentrum ist im HolzSiG als wissenschaftliche Behörde für die Kontrolle der Muster benannt, die von den Inspektoren der BLE eingeschickt werden.

Die Einteilung der Hölzer und Holzprodukte, die unter die EUTR fallen, richtet sich nach der Kombinierten Nomenklatur, die auch im Zolltarifrecht angewendet wird. Nachfolgend ist eine Liste der wichtigsten Hölzer und Holzprodukte aufgeführt, die aktuell den Kontrollen der EUTR unterliegen. Detaillierte Informationen über spezielle Sortimenten können auf der Homepage der BLE abgerufen werden. Da zahlreiche Warengruppen, wie z.B. Musikinstrumente, Werkzeugstiele oder Kinderspielzeug, aktuell (noch) nicht der EUTR unterliegen (www.ble.de/DE/02_Kontrolle/06_HandelMitHolz/HandelMitHolz_node.html).

Unter die EUTR-Verordnung fallende(s) Holz und Holzzeugnisse nach der Einreihung in die Kombinierte Nomenklatur gemäß Anhang I der Verordnung (EWG) Nr. 2658/87

- 4401 **Brennholz** incl. Pellets, Briketts oder Scheiten
- 4403 **Rohholz**, auch entrindet oder zwei- oder vierseitig grob zugerichtet
- 4406 **Bahnschwellen** aus Holz
- 4407 **Schnittholz**, auch gehobelt und geschliffen mit einer Dicke von mehr als 6 mm
- 4408 **Furnierblätter**, gemessert oder geschält mit einer Dicke von 6 mm oder weniger
- 4409 **Holz** (einschließlich Stäben und Friesen für Parkett), profiliert (gekehlt, genutet, gefedert, gefalzt, abgeschrägt, gefriest, gerundet) oder in ähnlicher Weise bearbeitet
- 4410 **Spanplatten**, "oriented strand board"-Platten und ähnliche Platten

- 4411 **Faserplatten** aus Holz oder anderen holzigen Stoffen
- 4412 **Sperrholz**, furniertes Holz und ähnliches Lagenholz
- 4415 **Kisten**, Kistchen, Verschläge, Trommeln und ähnliche Verpackungsmittel aus Holz
- 4418 **Bautischler- und Zimmermannsarbeiten**, einschließlich Verbundplatten mit Hohlraum-Mittellagen, Parketttafeln, Schindeln ("shingles" und "shakes")
- **Zellstoff und Papier** der Kapitel 47 und 48 der Kombinierten Nomenklatur, ausgenommen Erzeugnisse auf Bambusbasis und Wiedergewinnungsprodukte (Abfälle und Ausschuss)
- 940330, 940340, 94035000, 940360 und 94039030 **Holzmöbel**

Die vorliegende Auflistung dokumentiert den großen Umfang der erforderlichen bzw. zu erwartenden Prüfungen, da neben den „klassischen“ Massivholzsortimenten, wie z.B. Roh- und Schnittholz (Positionen 4403 und 4407), auch die in großen Mengen international gehandelten Sortimente der Holzwerkstoffe (4410 Spanplatten, 4411 Faserplatten) sowie Zellstoff und Papier (Kapitel 47 und 48) der neuen Holzhandelsverordnung unterliegen. Die Überprüfung der in Holzwerkstoffen und Papier verwendeten Hölzer erfordert zudem eine spezifische wissenschaftliche Expertise, die derzeit nur von wenigen Instituten weltweit durchgeführt bzw. angeboten werden kann.

2. Gründung des Thünen-Kompetenzzentrums Holzherkünfte als Prüf- und Beratungseinrichtung

Zeitgleich mit dem Inkrafttreten der EUTR wurde das Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte am Standort Hamburg-Bergedorf gegründet. Das Kompetenzzentrum besteht aus den drei Thünen-Instituten Holzforschung, Forstgenetik, Internationale Waldwirtschaft u. Forstökonomie und bearbeitet täglich Anfragen auf den Gebieten Holzartenbestimmung, genetischer Art- und Herkunftsnachweis sowie der Legalitatsprufung von Herkunfts- und Einfuhrdokumenten (www.thuenen.de/holzherkuenfte).

Als Grundlage für eine zweifelsfreie Holzartenbestimmung unterhält das Thünen-Institut für Holzforschung eine der weltweit größten wissenschaftlichen Holzsammlungen mit ca. 35.000 Mustern und 50.000 mikroskopischen Preparaten. Diese Sammlungen dienen als belegtes Referenzmaterial für die makroskopische und mikroskopische Bestimmung von international gehandelten Hölzern (Abb. 1). Die eindeutige Bestimmung der Holzarten ist aber auch in Bezug auf die Überprüfung der Produkteigenschaften (Holzqualität und Verbraucherschutz) von großer Bedeutung, da zunehmend noch relativ unbekannte Austauschhlzer, sog. Lesser Known Species,

verarbeitet bzw. eingeführt werden, die oftmals nicht die definierten Eigenschaften (z.B. natürliche Dauerhaftigkeit und Festigkeitseigenschaften) erfüllen (Koch & Rehbein 2009, Koch & Stienen 2009).



Abb. 1: Die wissenschaftliche Holzsammlung am Thünen-Institut für Holzforschung mit ca. 35.000 Mustern als Referenzmaterial für die Bestimmung international gehandelter Hölzer

Fig. 1: Scientific wood collection at the Thünen Institute of Wood Research including 35,000 specimens as references for the identification of internationally traded timber

Die zweifelsfreie Bestimmung der Hölzer erfolgt am Kompetenzzentrum auf der Basis lichtmikroskopischer Analysen (Abb. 2). Unter dem Lichtmikroskop können die Hölzer anhand von ca. 100 anatomischen Strukturmerkmalen verglichen und gattungs- bzw. artgenau identifiziert werden. Als wichtige Bestimmungshilfen dienen die am Thünen-Institut entwickelten computergestützten Datenbanken Commercial Timbers/Handelshölzer, macroHOLZdata und CITESwoodID (Richter & Trockenbrodt 1995; Koch et al. 2011), die im letzten Jahr umfassend aktualisiert wurden. Die Datenbank Commercial Timbers/Handelshölzer enthält aktuell die mikroskopischen Beschreibungen und Illustrationen von den wichtigsten 400 Hölzern (Gattungen/Arten), die international gehandelt werden (Richter & Dallwitz 2000, onwards). Die Datenbank macroHOLZdata, die sich als Erkennungshilfe für die makroskopische Bestimmung der Hölzer bewährt hat und zudem Beschreibungen der Holzeigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten enthält (Richter et al. 2008), wurde im letzten Jahr ebenfalls auf 100 wichtige Wirtschaftsbaumarten erweitert. Diese Datenbank wird u.a. auch für die Schulung der staatlichen Inspektoren der BLE verwendet.

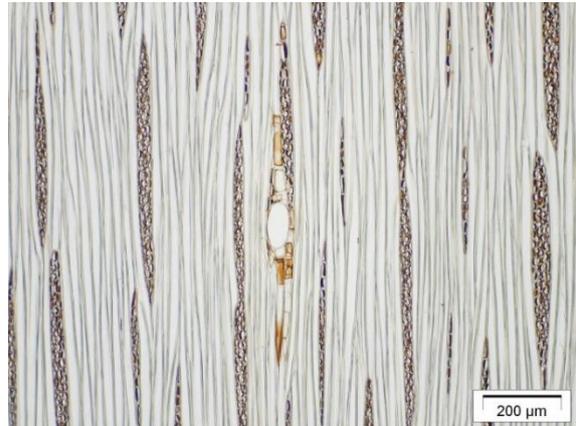
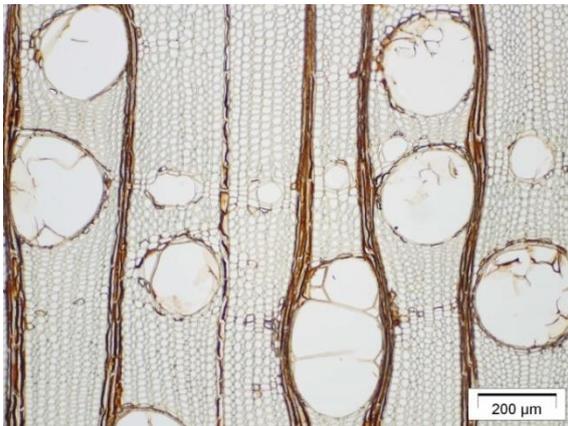
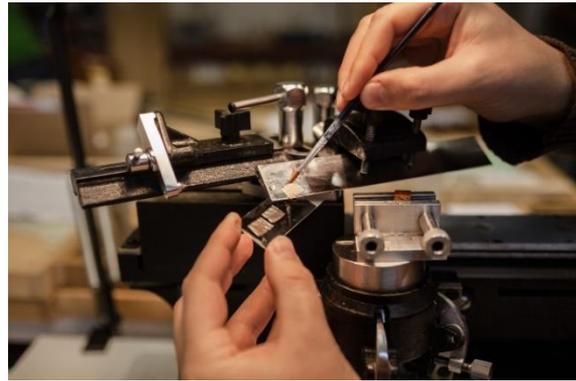


Abb. 2: Herstellung von mikroskopischen Präparaten für die Holzartenbestimmung am Beispiel von eingesandten Fensterprofilen (oben). Mikroskopischer Quer- und Tangentialschnitt der Holzart *Shorea leprosula* = Light Red Meranti, die in den Kanteln bestimmt wurde (unten)

Fig. 2: Preparation of microscopic sections for the identification of submitted window scantlings (above). Microscopic transverse and tangential sections of *Shorea leprosula* = Light Red Meranti identified in the layers of the scantlings (below)

3. Bilanz der Arbeit am Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte seit Einführung der EUTR

Die Anzahl der Anfragen auf dem Gebiet der anatomischen Holzartenbestimmung hat seit Inkrafttreten der EUTR stark zugenommen. Im Jahr 2014 wurden insgesamt 470 offizielle Aufträge gutachterlich bearbeitet. Die Einsendungen umfassen mehr als 3.500 Prüfmuster/Einzelproben und sind gegenüber dem Vorjahr (2013) um 25 % gestiegen.

Dieser starke Anstieg ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Importeure von Holz und Holzprodukten zunehmend Holzmuster zur Überprüfung der Handelsdeklarationen (Eigenkontrolle) einsenden, um ihre Sorgfaltspflichten gemäß den Anforderungen der EUTR zu erfüllen. Zu den wichtigsten Informationspflichten zählt in diesem Zusammenhang die Überprüfung der angegebenen Holzarten.

Den größten Anteil der Auftraggeber (ca. 40 %) bildet der Holzfachhandel, der v.a. die Deklarationen tropischer Hölzer überprüfen lässt. Im großen Umfang werden zudem Holzprodukte, v.a. Kinderspielzeuge und Musikinstrumente aus den Sortimenten marktführender Discounter geprüft (ca. 25 % der Prüfaufträge). Obwohl diese Produkte derzeit (noch) nicht der Handelsverordnung unterliegen, sollen im Rahmen der Prüfungen die Angaben zu den spezifizierten Hölzern aus handelsrechtlichen Gründen und in Bezug auf den Verbraucherschutz überprüft werden.

Von den staatlichen Inspektoren der BLE wurden im Jahr 2014 insgesamt 114 Holzmuster (24 % der Prüfaufträge) zur Überprüfung der angegebenen Deklarationen an das Kompetenzzentrum geschickt. Diese Proben wurden im Rahmen der ersten „offiziellen“ Betriebsprüfungen entnommen. Es ist davon auszugehen, dass der Anteil dieser Prüfaufträge in den kommenden Jahren stark zunehmen wird, da sich nach Angaben der BLE ca. 2.500 Handelsunternehmen in Deutschland registriert haben, die Holz und Holzprodukte in die EU einführen.

Das Kompetenzzentrum erhält darüber hinaus zunehmend Anfragen von Behörden und Handelsbetrieben aus der gesamten EU (v.a. Großbritannien), da europaweit nur sehr wenige Prüfeinrichtungen zur Verfügung stehen. Der Anteil der internationalen Prüfaufträge lag im Jahr 2014 bei ca. 13 %. Von den europäischen Marktteilnehmern wurden v.a. Sperrholzproben und Möbel aus Holzwerkstoffen (Span- und Faserplatten) eingesandt, die aus asiatischer Produktion stammen.

Die Bestimmung der Sperrhölzer und Holzwerkstoffe erfordert insgesamt einen hohen präparativen Aufwand sowie große Erfahrung, da die Anzahl der diagnostizierbaren Strukturmerkmale im Vergleich zur Bestimmung der Massivhölzer erheblich reduziert ist.

Die Deckfurniere der in Asien produzierten Sperrhölzer bestehen zumeist aus Furnierlagen mit Schichtdicken $< 0,2$ mm, was eine Bestimmung der Hölzer erschwert, da wichtige anatomische Merkmale des Querschnittes, wie z.B. die Anordnung der Gefäße bei Laubhölzern, nicht sicher detektiert werden können. Weiterhin enthalten die Sperrhölzer in den Innenlagen häufig eine Mischung unterschiedlicher, z.T. seltener Hölzer, sog. Lesser Known Species (Tab. 1).

Tab. 1: Auflistung von Tropenhölzern (lesser known species), die regelmäßig in Sperrhölzern aus asiatischer Produktion bestimmt werden können

Tab. 1: List of tropical timber (lesser known species) regularly identified in plywood from Asia

Handelsname / trade name	Botanische Gattung / Familie
Pulai	<i>Alstonia</i> spp. / APOCYNACEAE
Medang	<i>Beilschmiedia</i> spp. / LAUARACEAE
Terentang	<i>Camposperma</i> spp. / ANACARDIACEAE
Kedondong	<i>Canarium</i> spp. / BURSERACEAE
Sesendok	<i>Endospermum</i> spp. / ANACARDIACEAE
Petaling	<i>Ochanostachys amentacea</i> / OLACACEAE
Binuang	<i>Octomeles sumatrana</i> / DATISCACEAE
Nyatoh	<i>Palaquium</i> spp. / SAPOTACEAE
Pelaju	<i>Pentaspadon</i> spp. / ANACARDIACEAE
Merpauh	<i>Swintonia</i> spp. / ANACARDIACEAE

Für die Bestimmung der einzelnen Sperrholzlagen können i.d.R. noch Schnittpräparate (Mikrotomschnitte mit Schichtdicken von ca. 20 µm) in den drei anatomischen Richtungen (transversal, radial und tangential) hergestellt bzw. verwendet werden, wogegen für die Analyse von Span- und Faserplatten zunächst einzelne Spanfraktionen oder Faserelemente separiert bzw. mazeriert werden müssen. Von den einzelnen Spanfraktionen werden dann mit hohem präparativen Aufwand mikroskopische Präparate hergestellt (Abb. 3).

In den Mazeraten der Faserplatten können nur noch einzelne Zellelemente für die Bestimmung der Hölzer verwendet werden, da der Gewebeverbund bei der Präparation vollständig aufgelöst wird. Eine Unterscheidung der Laubhölzer ist nur anhand der Gefäßzellen möglich, da die mazerierten Fasern und Speicherzellen (Parenchym) keine signifikanten Differenzierungsmerkmale zeigen. Als wichtige anatomische Bestimmungsmerkmale werden die Form, Größe und Anordnung der Gefäßstüpfel verwendet. Weiterhin haben die Art der Gefäßdurchbrechungen und das Vorkommen von spiraligen Verdickungsleisten eine hohe diagnostische Bedeutung. Bei den Nadelhölzern bietet die spezifische Tüpfelung des Kreuzungsfeldes (Wandfläche zwischen Längstracheide und Holzstrahlzelle) ebenfalls die beste Möglichkeit, um die einzelnen Hölzer anatomisch zu unterscheiden. Die Erkennung und Differenzierung dieser Merkmale erfordert eine große mikroskopische Erfahrung sowie gesichertes Referenzmaterial, das am Kompetenzzentrum aus belegten Proben der wissenschaftlichen Holzsammlung bereitgestellt wird.



Abb. 3: Herstellung von Mazeraten als Referenzmaterial für die Bestimmung von Hölzern in Faserplatten (links). Mikroskopische Aufnahme von mazerierten Zellelementen (Tracheide und Faserbündel) einer Faserplatte (rechts)

Fig. 3: Preparation of macerates as references for the identification of wood taxa in fibreboards (left). Microscopic image of macerated cell elements (tracheids and fibre bundles) of an analysed fibreboard (right)

Die Ergebnisse der bisher untersuchten Faserplatten aus asiatischen Produktionen zeigen, dass in den Platten-Mischungen von bis zu 15 verschiedenen Hölzern detektiert werden können. Neben „Standardhölzern“ aus Plantagenbewirtschaftung, wie z.B. Eukalyptus, Kiefer oder Pappel, enthalten die Faserplatten auch regelmäßig Hölzer der Gattungen *Liquidambar*, *Magnolia*, *Nyssa* oder *Schima*, die im temperierten Asien verbreitet sind (Tab. 2).

Tab. 2: Auflistung der regelmäßig in Span- und Faserplatten bestimmten Hölzer aus asiatischer Produktion

Tab. 2: List of regularly identified wood taxa in particle- and fibreboards produced in Asia

Handelsname / trade name	Botanische Gattung / Familie
Fortunes China-bells	<i>Alniphyllum</i> spp. / STYRACACEAE
Erle / alder	<i>Alnus</i> spp. / BETULACEAE
Birke / birch	<i>Betula</i> spp. / BETULACEAE
Eukalyptus / eucalypt	<i>Eucalyptus</i> spp. / MYRTACEAE
Buche / beech	<i>Fagus sylvatica</i> / FAGACEAE
Amberbaum / Sweet gum	<i>Liquidambar</i> spp. / HAMAMELIDACEAE
Tulpenbaum / Tulip wood	<i>Liriodendron</i> spp. / MAGNOLIACEAE
Magnolie / magnolia	<i>Magnolia</i> spp. / MAGNOLIACEAE
Chinese tupelo	<i>Nyssa</i> spp. / NYSSACEAE
Fichte / spruce	<i>Picea</i> spp. / PINACEAE
Kiefer / pine	<i>Pinus</i> spp. / PINACEAE

Pappel / poplar	<i>Populus</i> spp. / SALICACEAE
Douglasie / Douglas-fir	<i>Pseudotsuga</i> spp. / PINACEAE
Schima / samak	<i>Schima</i> spp. / THEACEAE
Linde / lime	<i>Tilia</i> spp. / MALVACEAE

Vergleichbare Zusammensetzungen der Hölzer können auch in den bisher untersuchten Papierprodukten bestimmt werden, die ebenfalls überwiegend aus asiatischer Produktion stammen. In den Papieren können aber immer wieder Gefäßelemente von Hölzern mikroskopisch detektiert werden, die auf die Verwendung von Tropenholz hinweisen (Abb. 4). Für die Bestimmung/Erkennung der Tropenhölzer werden im Rahmen eines von der DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) finanzierten Forschungsvorhabens erstmalig die erforderlichen Referenzen erstellt und in Form des bekannten Faseratlas aufgearbeitet (*Ilvessalo-Pfäffli 1995*). Das Projekt umfasst die Beschreibung und Illustrierung der diagnostischen Strukturmerkmale (Gefäßelemente) von 25 wichtigen tropischen Wirtschaftsbaumarten aus Südostasien, u.a. Hölzer der Gattungen *Shorea*, *Dipterocarpus* (DIPTEROCARPACEAE), *Palaquium* (SAPOTACEAE) *Calophyllum* (CALOPHYLLACEAE) oder die CITES-geschützte Holzart Ramin (*Gonystylus* spp.). Diese Forschungsarbeiten sind eine wichtige Voraussetzung für die Erkennung von den sog. mixed tropical hardwood (MTH) in Papieren und Faserstoffen.

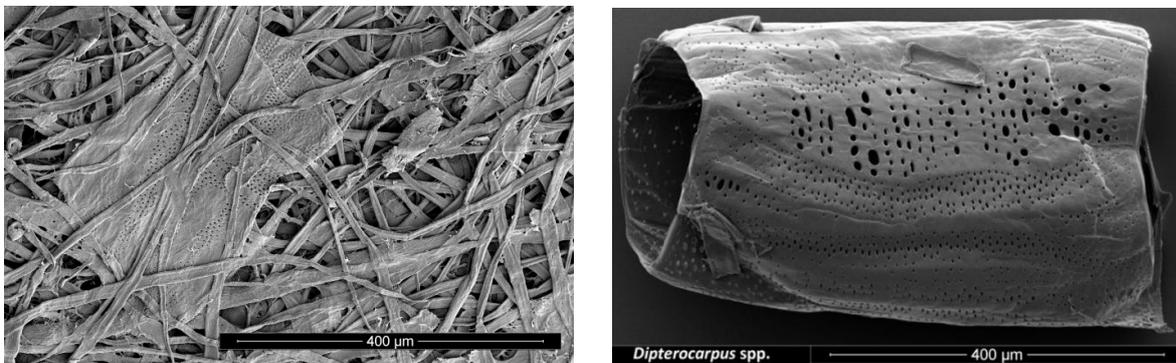


Abb. 4: Elektronenmikroskopische Aufnahmen von einem Gefäßelement und Faserbündeln in Papier (links). Mazeriertes (= vereinzelt) Zellelement der Holzart *Dipterocarpus* = Keruing als Referenz für die Bestimmung von Tropenhölzern in Papier und Faserplatten (rechts)

Fig. 4: Electron microscopic images of a vessel element and fibre bundles in paper (left). Macerated (= separated) cell element of *Dipterocarpus* = Keruing as a reference for the identification of tropical timber in paper and fiberboards (right)

4. Bewertung der bisherigen Prüfergebnisse

Die bisherigen Auswertungen der gutachterlichen Holzartenbestimmungen am Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte zeigen, dass bei den von den BLE-Inspektoren eingesandten Massivholzproben (Sortimente Roh- und Schnittholz) nur sehr wenige Abweichungen von den angegebenen Deklarationen (Falschdeklarationen) festgestellt werden können. Dieses positive Ergebnis muss *-nach den Erfahrungen des Kompetenzzentrums-* darauf zurückgeführt werden, dass die sog. Sorgfaltspflichten von Seiten des etablierten Holzfachhandels gut bzw. gewissenhaft umgesetzt werden, zumal die korrekten Angaben zu den eingeführten Hölzern auch aus handelsrechtlichen Gründen unerlässlich sind.

Im Gegensatz zu den untersuchten Massivholzsortimenten können bei den in Asien produzierten Sperrhölzern regelmäßig Abweichungen von den angegebenen Deklarationen festgestellt werden. Dies gilt insbesondere für die Innenlagen, die häufig aus Mischungen unterschiedlicher Holzarten, teilweise auch seltenen Tropenhölzern, bestehen. Viele der untersuchten Sperrhölzer enthalten zudem keine konkreten Angaben zu den verwendeten Hölzern oder es wird nur auf eine Familienzugehörigkeit (botanische Familie) hingewiesen. Für eine eindeutige Zuordnung der Hölzer müssen aber zumindest die botanischen Gattungen benannt werden, die nach EN 13 556 „Nomenklatur der in Europa verwendeten Handelshölzer“ die Handelsnamen festlegen.

Bei den geprüften Fertigprodukten (v.a. Möbel oder Möbelbauteile) können in einzelnen Fällen Abweichungen von den angegebenen Deklarationen festgestellt werden. Hierbei handelt es sich v.a. um Gartenmöbel (Tische und Stühle), die in Südostasien produziert und i.d.R. als Eukalyptus deklariert werden. Die holzanatomische Überprüfung eines importierten Gartentisches (Klapptisch mit der Deklaration „Eukalyptus“) hat z.B. ergeben, dass die insgesamt 52 Bauteile (Leisten und Rahmen) aus 20 verschiedenen Tropenhölzern bestehen (Tab. 3).

Tab. 3: Auflistung von 20 verschiedenen Tropenhölzern aus Südostasien, die in 52 Bauteilen eines Gartentisches (Deklaration Eukalyptus) anatomisch bestimmt wurden.

Tab. 3: List of 20 different tropical timber distributed in Southeast Asia, which have been identified in 52 individual components of a garden table (specified declaration: eucalyptus)

Handelsname / trade name	Botanische Gattung / Familie
Mangium	<i>Acacia mangium</i> / FABACEAE-MIMOSOIDEAE
Mersawa	<i>Anisoptera</i> spp. / DIPTEROCARPACEAE
Biku-Biku	<i>Bhesa</i> spp. / CELASTRACEAE
Kedondong	<i>Canarium</i> spp., <i>Dacryodes</i> spp. / BURSERACEAE
Tapion kirabas	<i>Casearia</i> spp. / FLACOURTIACEAE
Medang	<i>Cinnamomum</i> spp., <i>Persea</i> spp. / LAURACEAE
Durian	<i>Durio</i> spp. / BOMBACACEAE
Mengkulang	<i>Heritiera</i> spp. / STERCULIACEAE
Penarahan	<i>Horsfieldia</i> spp. / MYRISTICACEAE
Nyatoh	<i>Palaquium</i> spp. / SAPOTACEAE
Urat mata	<i>Parashorea</i> spp. / DIPTEROCARPACEAE
Merbatu	<i>Parinari</i> spp. / CHRYSOBALANACEAE
Melunak	<i>Pentace</i> spp. / TILIACEAE
Kasah	<i>Pterygota</i> spp. / STERCULIACEAE
Kembang-semangkok	<i>Scaphium</i> spp. / STERCULIACEAE
Yellow balau	<i>Shorea</i> spp., subg. <i>Shorea</i> / DIPTEROCARPACEAE
Sepetir	<i>Sindora</i> spp. / FABACEAE-CAESALPINIOIDEAE
Kelumpang	<i>Sterculia</i> spp. / STERCULIACEAE
Merpauh	<i>Swintonia</i> spp. / ANACARDIACEAE
Ketapang	<i>Terminalia</i> spp. / COMBRETACEAE

In Bezug auf die Prüfung von (Garten-)Möbeln muss zudem berücksichtigt bzw. darauf hingewiesen werden, dass die in die EU eingeführten Tische den Kontrollen gemäß der EUTR unterliegen, wogegen die zugehörigen Stühle derzeit nicht geprüft werden müssen. Diese besonderen und für den Verbraucher nicht nachvollziehbaren Ausnahmen sollen im Rahmen der anstehenden Novellierung der EUTR angepasst werden. Weiterhin ist es nach unserer Einschätzung dringend erforderlich, dass die bisher ausgenommenen Sortimente, wie z.B. Musikinstrumente, in die Kontrollen einbezogen werden, da sie häufig Bauteile aus hochwertigen Tropenhölzern enthalten, die einen Legalitätsnachweis erfordern.

Die Erfahrungen aus den Prüfungen der Holzwerkstoffe und Papier zeigen, dass die mikroskopischen Bestimmungen der einzelnen Zellelemente sehr arbeits- und zeitaufwendig sind. Die Handelsunternehmen haben zudem kaum eine Möglichkeit bzw. Expertise, die Angaben der Produzenten selbst zu kontrollieren, da die Holzwerkstoffe häufig Mischungen unterschiedlicher Hölzer enthalten, die makroskopisch nicht bestimmt werden können. Bisher können in den untersuchten Span- und Faserplatten überwiegend Laub- und Nadelhölzer aus temperierten Regionen (v.a. temperiertes Asien) und Plantagenhölzer detektiert werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass mit der Verlagerung von Produktionsstätten nach Südostasien auch zunehmend tropische Hölzer für Span-, Faserplatten und Zellstoff verwendet werden (vergleichbar wie bei den Sperrhölzern). Aus diesem Grunde ist die Weiterentwicklung des Faseratlas am Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte von großer Bedeutung, um Referenzmaterial für die nach der EUTR geforderten Kontrollen bereitstellen zu können.

Insgesamt leistet die EUTR einen wichtigen Beitrag in Bezug auf den Legalitätsnachweis und Verbraucherschutz, damit der natürlich nachwachsende Rohstoff Holz auch zukünftig „mit gutem Gewissen“ genutzt werden kann (Koch 2015). Dies gilt auch für die Einfuhr und Verwendung von Tropenhölzern, die nach den nun gültigen Richtlinien der EUTR die gleichen Legalitätsanforderungen erfüllen müssen, wie unsere einheimischen Hölzer.

5. Literatur

Ilvessalo-Pfäffli, M.S. (1995): Fiber atlas: identification of papermaking fibres. Springer, Berlin-Heidelberg, p. 351.

Koch, G. (2015): Kontrolle importierter Hölzer - Ein Beitrag zum Wald- und Verbraucherschutz. In: C. Feest und C. Kron: (Herausgeber). Regenwald, Theiss, S. 278-279.

Koch, G.; Rehbein, M. (2009): Hölzer für den Fensterbau – Kennwerte und Eigenschaften neu eingeführter Hölzer. Holztechnologie 5 (6), 5-9.

Koch, G.; Richter, H.G.; Schmitt, U. (2011): The database CITESwoodID – Computer-aided identification and description of CITES-protected trade timbers. IAWA Journal 32 (2), 213-220.

Koch, G.; Stienen, T. (2009): Holzarten eingeführter Holzprodukte aus Asien – Vielfalt der verwendeten Holzarten wird immer größer. Holz-Zentralblatt 135 (24) 620-621.

Richter, H.G.; Denstorf, H.-O.; Krämer, G.; Koch, G. (2008): Holzartenerkennung am Computer – Vorstellung der Software macroHOLZdata. Holz-Zentralblatt 134 (23), 667-668.

Richter, H.G.; Dallwitz, M.J. (2000 onwards): Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese, and Spanish.

Richter, H.G.; Trockenbrodt, M. (1995): Computergestützte Holzartenbestimmung unter Einsatz des DELTA/INTKEY-Programmpaketes. Eur. J. Wood and Wood Products 53, 215-219.

Kapitel 3.4 Publikation IV

Fasern im Fokus: Holzartenbestimmung von Faserplatten - Erfahrungen aus den Prüfungen im Kontext der EUTR

*PD Dr. Gerald Koch, Volker Haag, Stephanie Helmling, Dr. Immo Heinz und Dr. Andrea Olbrich
Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg
gerald.koch@thuenen.de*

Koch G, Haag V, Helmling S, Heinz I, Olbrich A (2017) Fasern im Fokus: Holzartenbestimmung von Faserplatten - Erfahrungen aus den Prüfungen im Kontext der EUTR. MDF Mag Co:86-88

Journal: MDF Magazin

Ausgabe: 10.2017

Erläuterungen zu den eigenen Anteilen an der vorgelegten Publikation IV:

Konzipierung der Arbeit:	25 %
Versuchsplanung und -durchführung:	20 %
Datenauswertung:	30 %
Beteiligung an der Diskussion der Ergebnisse:	30 %
Beteiligung an der publikationsfähigen Darstellung der Arbeit:	30 %

Bestätigung des Betreuers **PD Dr. habil. Gerald Koch**

Hamburg, 24.Oktober 2019

Fasern im Fokus: Holzartenbestimmung von Faserplatten - Erfahrungen aus den Prüfungen im Kontext der EUTR

*PD Dr. Gerald Koch, Volker Haag, Stephanie Helmling, Dr. Immo Heinz und Dr. Andrea Olbrich
Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg
gerald.koch@thuenen.de*

Seit Inkrafttreten der Europäischen Holzhandelsverordnung (EUTR) im März 2013 werden am Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte zunehmend Produkte aus Faserplatten (MDF) analysiert, um die darin enthaltenen Hölzer -gemäß den geforderten Sorgfaltspflichten- zu bestimmen bzw. zu überprüfen. In der Ausgabe des MDF-Magazins 2015 wurde bereits ausführlich über die Hintergründe (gesetzliche Anforderungen), analytischen Methoden und ersten Erfahrungen aus den Prüfungen unter dem Schlagwort „Pflicht-Bewusstsein“ berichtet. Diese für die Hersteller, Händler und Verbraucher wichtigen Erkenntnisse können nun nach zwei weiteren Jahren intensiver Prüfungen und Forschungsaktivitäten erweitert bzw. präzisiert werden.

Die zunehmenden Anfragen für die Holzartenbestimmung von Faserplatten kommen vor allem aus dem Bereich der Handelsunternehmen, die Holzprodukte mit Bauteilen aus MDF in die EU einführen (ca. 250 Prüfaufträge im Zeitraum Jan. 2016 bis Aug. 2017). Es handelt sich dabei im Wesentlichen um Möbelbauteile und Rahmen, die vollständig der EUTR unterliegen. Gleichzeitig erhält das Kompetenzzentrum vermehrt Prüfmuster, die von den Inspektoren/innen der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen staatlicher Kontrollen entnommen werden. Nachdem die Prüfungen durch die BLE in den Jahren 2013 bis 2016 vorrangig auf Massivhölzer, v.a. Schnitthölzer aus tropischen Regionen und Russland ausgerichtet waren, werden ab 2017 schwerpunktmäßig Faserplatten und Papierprodukte kontrolliert (ca. 30 Prüfaufträge für MDF in 2017). Faserplatten werden zudem zahlreich zu Produkten verarbeitet und importiert, die bisher (noch) nicht der EUTR unterliegen. Hierzu zählen vor allem Bauteile von Kinderspielzeugen und Deko-Artikel, die ebenfalls regelmäßig zur Analyse an das Kompetenzzentrum gesendet werden, um die angegebenen Deklarationen aus handelsrechtlichen Gründen zu prüfen (ca. 150 Prüfaufträge im Zeitraum Jan. 2016 bis Aug. 2017).

Auf der Grundlage dieser umfangreichen Prüfungen (ca. 560 Einzelproben in 2016 und 2017) können detaillierte Informationen über die in den Faserplatten verwendeten Hölzer und Deklarationen bereitgestellt werden. Die untersuchten Warenmuster, die hauptsächlich aus asiatischer Produktion stammen, enthalten i.d.R. unterschiedliche Mischungen von bis zu zehn verschiedenen Hölzern

(siehe Tabelle 1), die weitestgehend mit den bereits 2015 im MDF-Magazin veröffentlichten Arten übereinstimmen. Im Detail lassen sich die analysierten Hölzer in drei Gruppen unterscheiden:

1. Nadelhölzer aus der Familie der PINACEAE (Kiefer, Fichte, Douglasie, Lärche) und zusätzlich Chin. Spießtanne (= *Cunninghamia* aus der Familie der CUPRESSACEAE).
2. Laubhölzer aus temperierten Verbreitungsgebieten der Familien BETULACEAE, FAGACEAE, HAMAMELIDACEAE, MAGNOLIACEAE, NYSSACEAE, SALICACEAE, THEACEAE etc. (s. Tabelle 1). Hierzu zählen auch Hölzer der Gattungen *Liquidambar*, *Magnolia*, *Nyssa* und *Schima*, die im temperierten Asien weit verbreitet sind und regelmäßig in den Faserplatten vorkommen.
3. Plantagenhölzer aus den Familien der MYRTACEAE und FABACEAE-MIMOSOIDEAE, wobei es sich hauptsächlich um *Eucalyptus* spp. und *Acacia mangium* handelt. Zu den Plantagenhölzern zählen aber auch die schnellwachsenden Kiefern, v.a. *Pinus radiata* aus der Familie der PINACEAE.

Tabelle 1: Auflistung der regelmäßig in Span- und Faserplatten bestimmten Hölzer aus asiatischer Produktion

Botanische Gattung / Familie	Handelsname
<i>Acacia mangium</i> / FABACEAE-MIMOSOIDEAE	Akazie / akasia
<i>Acer</i> spp. / SAPINDACEAE	Ahorn / maple
<i>Alniphyllum</i> spp. / STYRACACEAE	Fortunes China-bells
<i>Alnus</i> spp. / BETULACEAE	Erle / alder
<i>Betula</i> spp. / BETULACEAE	Birke / birch
<i>Eucalyptus</i> spp. / MYRTACEAE	Eukalyptus / eucalypt
<i>Fagus sylvatica</i> / FAGACEAE	Buche / beech
<i>Liquidambar</i> spp. / HAMAMELIDACEAE	Amberbaum / Sweet gum
<i>Liriodendron</i> spp. / MAGNOLIACEAE	Tulpenbaum / Tulip wood
<i>Magnolia</i> spp. / MAGNOLIACEAE	Magnolie / magnolia
<i>Nyssa</i> spp. / NYSSACEAE	Chinese tupelo
<i>Picea</i> spp. / PINACEAE	Fichte / spruce
<i>Pinus</i> spp. / PINACEAE	Kiefer / pine
<i>Populus</i> spp. / SALICACEAE	Pappel / poplar
<i>Pseudotsuga</i> spp. / PINACEAE	Douglasie / Douglas-fir
<i>Schima</i> spp. / THEACEAE	Schima / samak
<i>Tilia</i> spp. / MALVACEAE	Linde / lime

In den untersuchten Proben können bisher keine signifikanten Sortimente oder Beimischungen von „klassischen“ tropischen Baumarten, z.B. aus den Familien der DIPTEROCARPACEAE (Meranti) oder SAPOTACEAE (Nyatoh) nachgewiesen werden, wie sie z.B. regelmäßig in Sperrhölzern vorkommen (vgl. MDF-Magazin 2015). Dennoch können in einzelnen Proben immer wieder Zellelemente (Gefäßtypen) detektiert werden, die sich nicht den oben aufgelisteten Hölzern zuordnen lassen. Für die Identifizierung dieser Arten wurde in den letzten beiden Jahren intensiv an der Erstellung bzw. Erweiterung eines Bestimmungsschlüssels (Faseratlas) für Hölzer aus Asien gearbeitet, der aktuell die wichtigsten 38 Wirtschaftsbaumarten (inkl. Tropenhölzer) aus Asien umfasst (s. Tabelle 2).

Mit Hilfe dieser speziellen Referenzen und der bereits vorliegenden Fachliteratur (Fiber Atlas - Identification of Papermaking Fibers; Ilvessalo-Pfäffli, M.-S., 1995) lassen sich die in den Faserplatten sowie in Zellstoff und Papier enthaltenen Hölzer routinemäßig am Kompetenzzentrum bestimmen und mit den angegebenen Deklarationen vergleichen. Die Auswertung der von der BLE eingereichten Prüfaufträge zeigt (aktuell) die großen Schwierigkeiten bzw. Anforderungen in Bezug auf eine eindeutige Deklaration der in Faserplatten (MDF) enthaltenen Hölzer. In den meisten Fällen werden in den Begleitdokumenten keine oder nur unzureichende Angaben zu den verwendeten Hölzern gemacht, so z.B. nur Angaben zu einzelnen Taxa wie „eucalypt“ oder „pine“, wogegen sich in den untersuchten Proben i.d.R. Mischungen von bis zu zehn Arten nachweisen lassen. In anderen Fällen werden Listen mit über 50 individuellen Arten von *Acer negundo* bis *Ulmus rubra* (Laubhölzer) und *Abies fraseri* bis *Tsuga caroliniana* (Nadelhölzer) aufgeführt, die in Nordamerika, Mitteleuropa und im temperierten Asien verbreitet sind und „theoretisch“ in den Faserplatten vorkommen könnten; gemäß der Intention „es wird schon die richtige Holzart dabei sein“. Diese Art der Sorgfaltspflicht-Erfüllung setzt aber voraus, dass für jede individuelle Art ein Nachweis (Zertifikat) der legalen Herkunft vorgelegt werden müsste. Die Anzahl der untersuchten Faserplatten, die nur eine Holzart, z.B. ausschließlich Eukalyptus, Pappel oder Kiefer enthalten, ist sehr selten. In diesen Fällen stimmen die Ergebnisse der mikroskopischen Bestimmungen mit den angegebenen Deklarationen überein. Bei der überwiegenden Anzahl der analysierten Proben handelt es sich aber um die bereits erwähnten Mischungen der aufgelisteten Hölzer (Tabelle 1), sodass die Hersteller und Importeure die Angaben zu den Deklarationen durch regelmäßige Kontrollen und Überprüfungen der Zertifikate präzisieren bzw. optimieren sollten.

Aus den bisherigen Erfahrungen und Entwicklungen lässt sich zudem ableiten bzw. erwarten, dass die Produktionsstätten weiter nach Asien verlagert und zunehmend Hölzer aus dem asiatischen Verbreitungsgebiet verwendet werden. Daher wurde am Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte mit finanzieller Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) in den letzten beiden Jahren intensiv an der Erstellung eines „Atlas of Vessel Elements - Identification of Asian Timbers“ gearbeitet, der sowohl für die Bestimmung von Zellelementen in Faserplatten (MDF) als auch für die

Identifizierung von Zellstoff und Papier verwendet werden kann. Der Faseratlas, der aktuell zur Veröffentlichung im IAWA-Journal (International Association of Wood Anatomists) eingereicht wurde, umfasst eine detaillierte Beschreibung und bildliche Dokumentation der Strukturmerkmale von insgesamt 38 botanischen Taxa (s. Tabelle 2) aus Asien. Die aufgeführten Arten besitzen ein hohes wirtschaftliches Potential und können, wie bereits am Beispiel von *Liquidambar*, *Ilex* oder *Nyssa*, regelmäßig in Faserplatten nachgewiesen werden.

Tabelle 2: Auflistung der individuellen Arten im „Atlas of Vessel Elements - Identification of Asian Timbers“

Familie	Gattung/Art	Handelsnamen
Acanthaceae	<i>Avicennia marina</i>	Api Api (mangrove)
Altingiaceae	<i>Liquidambar formosana</i>	Formosan sweet gum
Anacardiaceae	<i>Camptosperma</i> sp.	Terentang
Anacardiaceae	<i>Gluta renghas</i>	Rengas
Anacardiaceae	<i>Mangifera</i> sp.	Mango
Anacardiaceae	<i>Swintonia</i> sp.	Merpauh
Aquifoliaceae	<i>Ilex triflora</i> var. <i>kanehirai</i>	Kecemang
Arecaceae	<i>Cocos nucifera</i>	Coconut palm
Burseraceae	<i>Canarium</i> sp.	Kedondong
Calophyllaceae	<i>Calophyllum</i> sp.	Bintangor
Celastraceae	<i>Lophopetalum</i> sp.	Perupok
Dipterocarpaceae	<i>Shorea</i> subg. <i>Anthoshorea</i>	White Meranti
Dipterocarpaceae	<i>Shorea</i> subg. <i>Richetia</i>	Yellow Meranti
Dipterocarpaceae	<i>Shorea</i> subg. <i>Rubroshorea</i>	Dark/Light Red Meranti
Dipterocarpaceae	<i>Shorea</i> subg. <i>Shorea</i>	Bangkirai, Balau
Dipterocarpaceae	<i>Parashorea</i> sp.	Gerutu
Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus</i> sp.	Keruing
Euphorbiaceae	<i>Hevea brasiliensis</i>	Rubberwood
Fabaceae-Caesalpinioideae	<i>Intsia</i> sp.	Merbau
Fabaceae-Caesalpinioideae	<i>Koompassia malaccensis</i>	Kempas
Fabaceae-Mimosoideae	<i>Acacia mangium</i>	Acacia
Fabaceae-Mimosoideae	<i>Albizia procera</i>	White siris, Kokko
Fagaceae	<i>Castanopsis argentea</i>	Berangan

Lauraceae	<i>Litsea resinosa</i>	Medang
Malvaceae	<i>Durio sp.</i>	Durian
Malvaceae	<i>Heritiera sp.</i>	Mengkulang
Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i>	Eucalyptus
Myrtaceae	<i>Syzygium dyerianum</i>	Kelat
Nyssaceae	<i>Nyssa javanica</i>	Tupelo, Nyssa
Paulowniaceae	<i>Paulownia tomentosa</i>	Paulownia
Poaceae	<i>Dendrocalamus latiflorus</i>	Bamboo
Rhizophoraceae	<i>Rhizophora sp.</i>	Red Mangrove
Sapotaceae	<i>Madhuca sericea</i>	Bitis
Sapotaceae	<i>Palaquium sp.</i>	Nyatoh
Styracaceae	<i>Alniphyllum pterospermum</i>	Mee Dong
Tetrameristaceae	<i>Tetramerista glabra</i>	Punah
Theaceae	<i>Schima superba</i>	Samak, Puspa
Thymelaeaceae	<i>Gonystylus sp.</i>	Ramin

Die Bestimmung bzw. Unterscheidung dieser Laubholzarten erfolgt ausschließlich anhand von individuellen Strukturmerkmalen der vereinzelt (= mazerierten) Gefäßzellen (Abb. 1 und 2), die einführend im Faseratlas beschrieben und für jede individuelle Art anatomisch charakterisiert sowie mit hochauflösenden Bildern dokumentiert werden. Als wichtige anatomische Bestimmungsmerkmale werden dabei die Form, Größe und Anordnung der Gefäßtüpfel (= Aussparungen zum Stoffaustausch) verwendet. Weiterhin haben die Art der Gefäßdurchbrechungen und z.B. das Vorkommen von spiraligen Verdickungsleisten eine hohe diagnostische Bedeutung. Abbildung 2 zeigt eine Bildtafel zur anatomischen Unterscheidung und Bestimmung individueller Arten mit charakteristischen Strukturmerkmalen.

Die Erkennung und Differenzierung dieser Merkmale erfordert eine große mikroskopische Erfahrung und spezifische wissenschaftliche Expertise, die derzeit nur von wenigen Instituten weltweit durchgeführt bzw. angeboten werden kann. Der neu erstellte Faseratlas bietet dafür eine unverzichtbare Hilfe, um die Bestimmung der Hölzer in Faserplatten, Zellstoff und Papier zu ermöglichen.

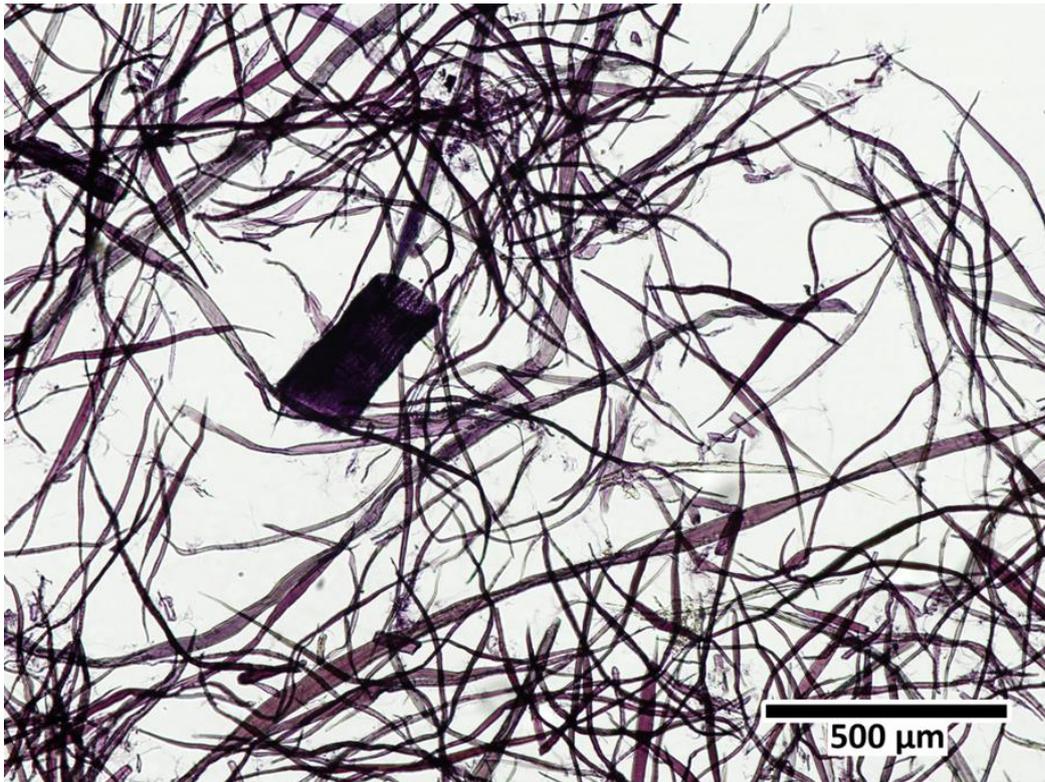


Abbildung 1: Vereinzelte Zellelemente (Mazerat) für die mikroskopische Bestimmung der Hölzer. Das Mazerat enthält eine Mischung aus Nadelholz-Tracheiden und Laubholz-Gefäßen

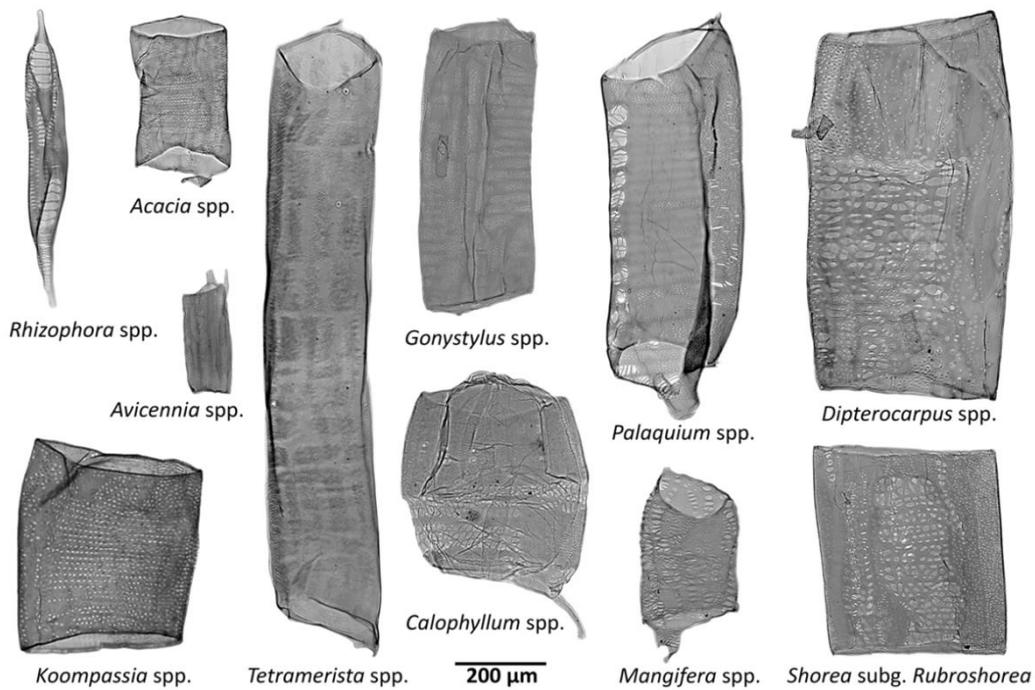
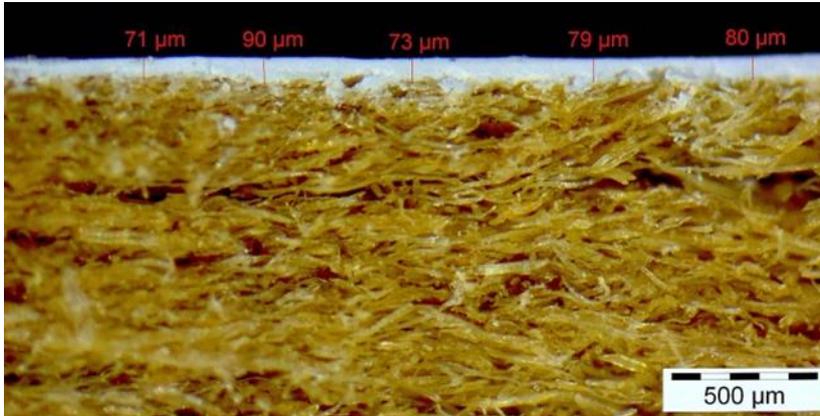
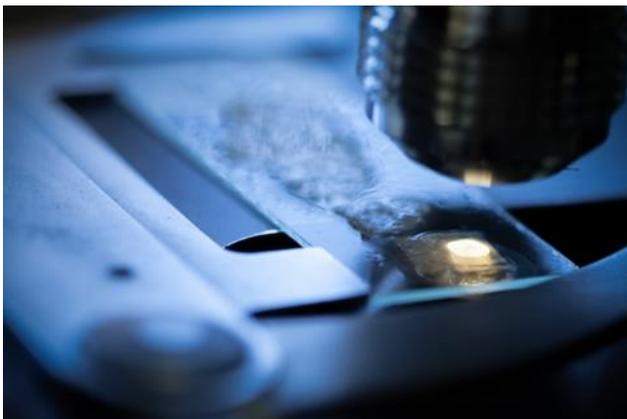


Abbildung 2: Bildtafel mit einzelnen Gefäßelementen wichtiger Wirtschaftsbaumarten aus Asien (Referenzen für die Bestimmung von Hölzern in Faserplatten, Zellstoff und Papier).



Auflichtaufnahme einer Faserplatte mit Vermessung der aufgetragenen Lackschicht



Mikroskopie von Zellelementen einer Faserplatte (MDF)

Kapitel 3.5 Publikation V

Womit grillen wir da eigentlich? Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass viele Chargen zumindest fehlerhaft deklariert sind

PD Dr. Gerald Koch, Volker Haag, Sergej Kaschuro

Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg

Haag V, Koch G, Kaschuro S. 2017. Womit grillen wir da eigentlich? Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass viele Chargen zumindest fehlerhaft deklariert sind. Holz-Zentralblatt 143 (38): 876.

Journal: Holzzentralblatt

Ausgabe: 09.2017

Erläuterungen zu den eigenen Anteilen an der vorgelegten Publikation V:

Konzipierung der Arbeit:	80 %
Versuchsplanung und -durchführung:	70 %
Datenauswertung:	90 %
Beteiligung an der Diskussion der Ergebnisse:	70 %
Beteiligung an der publikationsfähigen Darstellung der Arbeit:	70 %

Bestätigung des Betreuers **PD Dr. habil. Gerald Koch**

Hamburg, 24.Oktober 2019

Womit grillen wir da eigentlich? Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass viele Chargen zumindest fehlerhaft deklariert sind

Volker Haag, Gerald Koch und Sergej Kaschuro

Thünen-Institut für Holzforschung / Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte

Auf Anfrage von Verbraucher- und Umweltschutzorganisationen prüften Wissenschaftler am Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte Zusammensetzung und Deklarationen von über 130 Holzkohle- und Brikettsortimenten und kamen dabei zu überraschenden Ergebnissen.

Auch wenn dieser Sommer nicht immer zum Grillen eingeladen hat, nimmt der Verbrauch an Holzkohle seit Jahren stetig zu. Zahlen des Statistischen Bundesamtes belegen, dass der Verbrauch in den letzten Jahren von etwa 150.000t. (2002) auf 250.000t. (2016) stark angestiegen ist. Nach einer repräsentativen Umfrage des Vergleichsportals Idealo (Quelle: Augsburger Allgemeine Zeitung) sind die Deutschen damit „Grill-Europameister“. Recherchen und Berichte von Umweltverbänden und Medien weisen in diesem Kontext daraufhin, dass die für die Herstellung der Holzkohle/-briketts verwendeten Hölzer nicht immer aus „heimischen Wäldern“ oder zumindest aus Europa stammen, sondern auch im großen Umfang Hölzer aus tropischen und subtropischen Regionen zu Holzkohle verarbeitet und importiert werden. Obwohl Holzkohle „bisher“ noch nicht der Europäischen Holzhandelsverordnung (EUTR) unterliegt (*Brennholz muss dagegen seit März 2013 geprüft werden*) erhielt das Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte bereits im Frühjahr 2016 einen umfangreichen Prüfauftrag von der österreichischen Verbraucherschutzorganisation „Konsumentenschutz der Arbeiterkammer Oberösterreich“, um die Deklarationen und Holzartenzusammensetzung von 18 handelsüblichen Sortimenten zu prüfen, die in Baumärkten, Discountern und Supermärkten eingekauft wurden.

Für die Bestimmung der ausgewählten Holzkohle/-Brikettproben wurde am Kompetenzzentrum erstmals eine spezielle 3D-Auflichtmikroskopie-Technik verwendet, um die charakteristischen anatomischen Strukturmerkmale darstellen zu können. Im Vergleich zur mikroskopischen Bestimmung von Massivhölzern oder Holzwerkstoffen können von der Holzkohle/-Briketts keine ebenen (planen) Schnittpräparate hergestellt werden, da das Gewebe durch den Verkohlungsprozess stark zersetzt/komprimiert wird und sehr spröde ist. Mit Hilfe der neuen digitalen Mikroskopie-

Technik können von den Oberflächen/Bruchebenen der Holzkohlestücke jedoch ebene Aufnahmen erstellt und kombiniert werden. Für die Analysen werden die Holzkohlestücke zunächst vorsichtig aufgebrochen, wobei die Bruchebenen -wie beim Spalten von Holz- entlang der anatomischen Strukturrichtungen verlaufen (Abbildung 1/links). Anschließend werden die freigelegten aber noch unebenen Bereiche innerhalb eines programmierbaren Feldes digital abgescannt und zusammengesetzt. Hierbei entsteht zunächst ein dreidimensionales Bild, welches zu einem zweidimensionalen Bild umgewandelt wird (Abbildung 1/rechts).

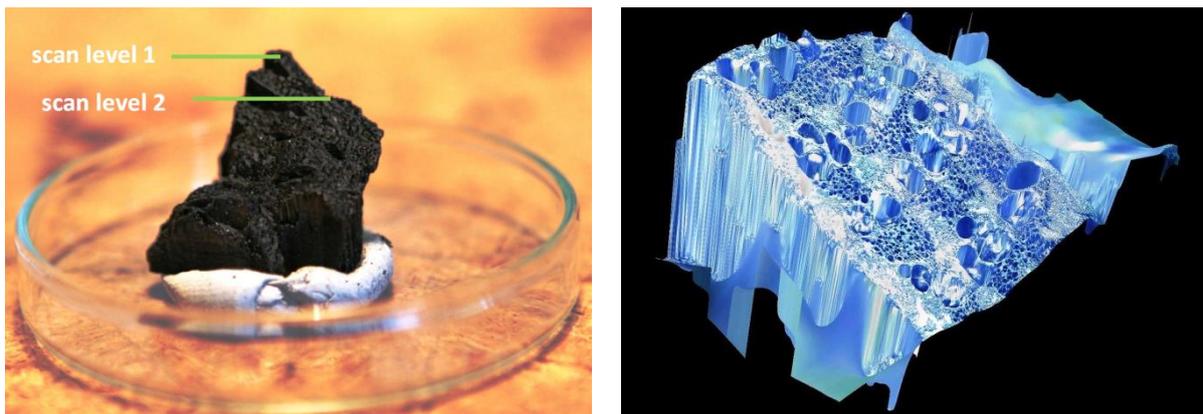


Abb. 1: Nachdem die Holzkohleproben (Eichenholz bzw. *Quercus* spp.) mit einem 3D-Auflicht Mikroskop gescannt wurden, entsteht zunächst ein dreidimensionales Bild.

Die Qualität und Schärfe der so erzeugten Aufnahmen entspricht in etwa den Ergebnissen und Anforderungen, wie sie auch in der klassischen Präparation für die Lichtmikroskopie (Herstellung mikroskopischer Dünnschnitte an einem Mikrotom) erzielt bzw. benötigt werden. Die hochauflösende Darstellung ermöglicht es somit, kleinste Zellstrukturen wie beispielsweise Größe und Anordnung der Gefäßtüpfel, Vorkommen von leiterförmigen Gefäßdurchbrechungen etc. zu detektieren und mit den codierten mikroskopischen Strukturmerkmalen von über 400 Wirtschaftsbaumarten in der Datenbank des Thünen-Instituts für Holzforschung zu vergleichen (Abbildungen). Mit Hilfe einer integrierten Polarisierungstechnik, durch die die Aufnahmen optisch grün erscheinen, können die Kontraste der Strukturmerkmale noch verstärkt und heimische Hölzer von tropischen und subtropischen Arten unterschieden werden.



Abb. 2: Das Ergebnis der dreidimensionalen Scannung kann nun am Computer zu einem zweidimensionalen Bild umgewandelt werden. Das nun zur Verfügung stehende Bild (links) hat die gleiche Auflösung bzw. Qualität der Aufnahme einer am klassischen Auflichtmikroskop untersuchten Probe (rechts). Hier am Beispiel von Weiß Eiche (*Quercus* spp.).

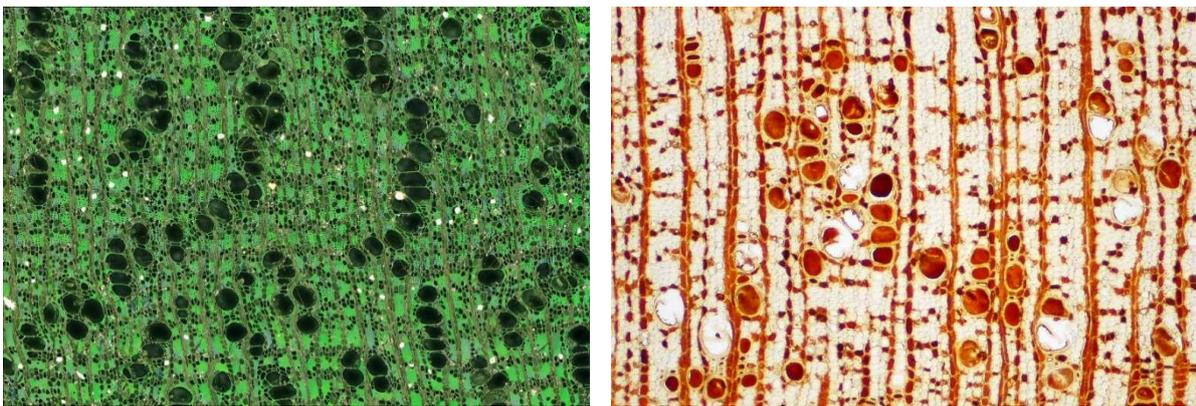


Abb. 3: Vergleich der mikroskopischen Aufnahmen von einer verkohlten Holzprobe (links) und einem mikroskopischen Dünnschnitt der Holzart *Manilkara zapota* aus Mexiko.



Abb. 4: Vergleich eines Holzes der gemäßigten Breiten (*Fraxinus* spp. = Esche/links) mit deutlichen Zuwachszonen (Porenring) und ein Holz tropischer Breiten (*Copaifera* sp./rechts) mit deutlich aliformen (augenförmigen) Parenchym und axial ausgerichteten Harzkanälen.

Für die 18 untersuchten Sortimente aus Österreich konnte mit Hilfe der neuen Technik eindeutig festgestellt werden, dass drei Holzkohle-Säcke Beimischungen von Tropenhölzern enthielten und bei weiteren drei Gebinden die angegebenen Deklarationen nicht mit den identifizierten Hölzern übereinstimmten. Die Ergebnisse dieser Studie wurden für die Verbraucher in Form einer „Ampel-Verkaufsempfehlung“ veröffentlicht. In diesem Frühjahr und Sommer erhielt das Kompetenzzentrum weitere umfangreiche Prüfaufträge, u.a. vom Schweizer Konsumentenportal K-Tipp und zahlreichen Herstellern und Händlern aus Deutschland und Europa, um die Holzartenzusammensetzungen und Deklarationen testen zu lassen. Die Untersuchungen von insgesamt 130 Sortimenten und ca. 2.000 mikroskopisch analysierten Einzelproben liefern detaillierte Erkenntnisse über die verwendeten Hölzer und v.a. Abweichungen von angegebenen Deklarationen. Im Detail kann festgestellt werden, dass etwa 30 % der untersuchten Sortimente als „kritisch“ in Bezug auf die angegebenen Deklarationen der Baumarten bewertet werden müssen, wobei im Wesentlichen zwei „Fälle“ unterschieden werden können:

- a. Sortimente, die keine Angaben zu den verwendeten Hölzern enthalten: diese Chargen bestehen zumeist vollständig aus tropischen/subtropischen Hölzern.
- b. Sortimente mit der Deklaration: „aus heimischen Laubhölzern“: hier können neben heimischen Laubhölzern, z.B. Buche, Ahorn, Eiche etc., auch Beimischungen von tropischen/subtropischen Hölzern nachgewiesen werden. In zwei Fällen waren die Chargen sogar FSC und PEFC zertifiziert.

Die Auswertungen einer weiteren umfangreichen Studie (20 Sortimente), die im Auftrag und mit begleitenden Recherchen durch den WWF erfolgte, liefern die weiteren (wichtigen) Erkenntnisse, dass

- c. ca. 50 % der in Deutschland gehandelten und untersuchten Sortimente keine Angaben zu den verwendeten Hölzern oder Baumarten enthalten
- d. lediglich 30 % der gehandelten Holzkohle und Holzkohlenbriketts aus zertifizierten Quellen (FSC oder PEFC) stammen,
- e. ca. 40 % der in Deutschland gehandelten Sortimente vorwiegend Hölzer aus subtropischen oder tropischen Regionen enthalten und davon etwa 75 % ausschließlich aus subtropisch oder tropischen Hölzern bestehen und es bei 25 % um Beimischung zu Hölzern aus gemäßigten Breiten handelt.

Bei der Bewertung dieser Ergebnisse muss grundsätzlich berücksichtigt werden, dass die Verwendung von Hölzern aus subtropischen oder tropischen Regionen für die Herstellung von Holzkohle nicht pauschal als „illegal“ oder „Raubbau“ eingestuft oder bezeichnet werden kann bzw. sollte. Beispielsweise werden in Namibia Hölzer der Gattung *Acacia* aus Landpflegemaßnahmen gegen eine Verbuschung zu Holzkohle verarbeitet und in vielen tropischen Regionen Durchforstungs- oder Resthölzer der Sägeindustrie verwendet. In diesem Zusammenhang muss auch deutlich darauf hingewiesen werden, dass ein genauer bzw. eindeutiger Herkunftsnachweis mit genetischen Methoden oder auf Basis der Isotopen-Technik, wie er z.B. für Schnittholz angewendet wird, bei Holzkohleprodukten nicht möglich ist. Daher kann der Nachweis einer legalen Verwendung/Verarbeitung von Hölzern zu Holzkohle ausschließlich über die mikroskopische Bestimmung/Überprüfung der Sortimente sowie eine sorgfältige Kennzeichnung und lückenlose Zertifizierung erfolgen, wie sie von Seiten der NGOs gefordert und schon von einigen Herstellern praktiziert wird. In einer Presseerklärung des BMEL vom 29. Juli 2016 hat Bundeslandwirtschaftsminister Christian Schmidt bereits appelliert *„beim Kauf und Handel von Holzkohle auf deren Nachhaltigkeit zu achten“*, nachdem die Ergebnisse der Untersuchungen des Kompetenzzentrums für den Konsumentenschutz der Arbeiterkammer Oberösterreich veröffentlicht wurden. Weiterhin hat Minister Schmidt in der Presseerklärung mitgeteilt: *„ich setze mich in Brüssel dafür ein, dass Holzkohle mit in die EU-Holzhandelsverordnung aufgenommen wird und damit sichergestellt ist, dass sie aus legalen Quellen stammt“*. Diese Absicht wurde im Rahmen einer weiteren aktuellen Presseanfrage vom 02. August 2017 an das BMEL wiederholt und bekräftigt: *„das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft hat sich klar für die Aufnahme von Holzkohle sowie weiterer Holzprodukte in die EU-Holzhandelsverordnung ausgesprochen. Eine Folgenabschätzung auf EU-Ebene läuft aber noch. Mit einem konkreten Vorschlag der EU-Kommission zur Aufnahme weiterer Produkte ist in der zweiten Jahreshälfte zu rechnen“*.

Kapitel 3.6 Publikation VI

Viele Anfragen zu Bubinga und Palisander: Auswirkungen der neuen CITES-Listungen wichtiger Wirtschaftsbaumarten für die Holzverwendung und den Holzhandel

PD Dr. Gerald Koch, Volker Haag.

Thünen-Institut für Holzforschung, Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg

Koch G, Haag V (2017) Viele Anfragen zu Bubinga und Palisander: Auswirkungen der neuen CITES-Listungen wichtiger Wirtschaftsbaumarten für die Holzverwendung und den Holzhandel. Holzzentralblatt 143 (13): 313.

Journal: Holzzentralblatt

Ausgabe: 03.2017

Erläuterungen zu den eigenen Anteilen an der vorgelegten Publikation VI:

Konzipierung der Arbeit:	40 %
Versuchsplanung und -durchführung:	40 %
Datenauswertung:	50 %
Beteiligung an der Diskussion der Ergebnisse:	40 %
Beteiligung an der publikationsfähigen Darstellung der Arbeit:	50 %

Bestätigung des Betreuers **PD Dr. habil. Gerald Koch**

Hamburg, 24.Oktober 2019

Viele Anfragen zu Bubinga und Palisander: Auswirkungen der neuen CITES-Listungen wichtiger Wirtschaftsbaumarten für die Holzverwendung und den Holzhandel

PD Dr. habil. Gerald Koch und Volker Haag
Thünen-Institut für Holzforschung

Auf der 17. Vertragsstaatenkonferenz des Washingtoner Artenschutzabkommens (CITES) wurden im Oktober 2016 weitere wichtige Wirtschaftsbaumarten in den Annex II bzw. (EU) Anhang B aufgenommen sowie für bereits geschützte Holzarten Änderungen in der Fußnotenregelung vorgenommen. Die neuen Listungen umfassen nun die gesamten -über 250 Arten (!)- der Gattung *Dalbergia* = Palisander und das Handelssortiment Bubinga mit den drei botanischen Arten *Guibourtia demeusei*, *G. tessmannii* und *G. pellegriniana* (Abbildung 1). Die individuelle Holzart *Pterocarpus erinaceus* = Kosso, African Rosewood wurde in den Anhang II (vorher Anhang III) hochgestuft.

Die einzelnen Anhänge I, II und III definieren jeweils den Grad der „Schutzbedürftigkeit“ für die im internationalen Handel unterschiedliche Beschränkungen gelten. Innerhalb der Europäischen Union wird das Washingtoner Artenschutzabkommen (CITES) durch die EG-Verordnungen Nr. 338/97 und 865/2006 vollständig umgesetzt und die geschützten Hölzer je nach Gefährdungsgrad in die Anhänge A, B und C (entsprechend den Anhängen/Annex I, II und III) wie folgt eingestuft:

- **Anhang A** enthält die im Annex I des WA aufgeführten Arten (*Arten, die vom Aussterben bedroht sind*) sowie Arten, die nach Ansicht der Europäischen Union im internationalen Handel so nachgefragt sind, dass jeglicher Handel das Überleben der Art gefährden würde. Darunter sind (wenige) Holzarten aufgeführt wie z.B. Rio Palisander (*Dalbergia nigra*) und Alerce (*Fitzroya cupressoides*), mit denen ein Handel ohne individuelle Vermarktungsgenehmigung (Vorerwerb) strikt untersagt ist.
- **Anhang B** enthält die im Annex II des WA aufgeführten Arten (*Arten, deren Erhaltungssituation zumeist noch eine geordnete wirtschaftliche Nutzung unter wissenschaftlicher Kontrolle zulässt*) und Arten, die international in solchen Mengen gehandelt werden, die das Überleben der Art oder von Populationen in bestimmten Ländern gefährden können. Dazu zählen Wirtschaftsbaumarten, deren Erhaltungssituation noch eine vorsichtige wirtschaftliche Nutzung unter strikter Kontrolle des Ursprungs- und Importlandes zulässt, z.B. Echtes Mahagoni (*Swietenia* spp.), Ramin (*Gonystylus* spp.) oder Afrormosia (*Pericopsis elata*) und seit 04. Februar 2017 auch die gesamten Hölzer der Gattung *Dalbergia* spp. = Palisander.

- **Anhang C** enthält die im Annex III des WA aufgeführten Arten (*Arten, die von einer der Vertragsparteien in ihrem Hoheitsgebiet einer besonderen Regelung unterworfen sind*) sowie alle anderen vom WA erfassten Arten, die nicht bereits in den Anhängen A oder B genannt sind. Unter ANNEX III sind Holzarten aufgeführt, die von einzelnen Ursprungsländern mit Handelsbeschränkungen belegt werden, z.B. Cedro (*Cedrela odorata*) in Peru und Kolumbien, aber auch *Quercus mongolica* = Mongolische Eiche aus der Russischen Föderation.

Neben den aufgeführten Anhängen A, B und C müssen auch die „wichtigen“ Fußnoten berücksichtigt werden, die jeweils die Handelsformen der geschützten Hölzer festlegen. So unterliegt z.B. Echtes Mahagoni der botanischen Art *Swietenia macrophylla* dem Anhang B mit der Fußnote #6, die sich ausschließlich auf den Handel von Stämmen oder Holzblöcken, Schnittholz und Furnierblätter sowie Sperrholz bezieht.

Die aktuell gelisteten Hölzer der gesamten Gattung *Dalbergia* = Palisander -mit Ausnahme der weiterhin in Anhang A gelisteten Art *Dalbergia nigra*- unterliegen einer „neuen“ Fußnote # 15, die alle Teile und Erzeugnisse, d.h. die gesamten Be- und Verarbeitungsstufen sowie Fertigprodukte erfasst, mit Ausnahme von:

- Blättern, Blüten, Pollen, Früchte und Saatgut,
- nicht kommerzielle Ausfuhren mit einem Maximalgewicht von 10 kg pro Sendung,
- Teile und Erzeugnisse von *Dalbergia cochinchinensis* die von der Fußnote #4 erfasst sind,
- Teile und Erzeugnisse von *Dalbergia* spp. der mexikanischen Population exportiert von Mexiko, welche von die Fußnote # 6 erfasst sind.

Diese komplexen und z.T. nur schwierig zu verstehenden Fußnotenregelungen haben große Auswirkungen auf den Holzhandel, da Palisanderhölzer wie z.B. *Dalbergia latifolia* = Ostindischer Palisander im großen Umfang für Bauteile von Musikinstrumenten, Messergriffe oder Kunstgegenstände etc. verwendet oder wie am Beispiel von *Dalbergia sissoo* = Shisham in großen Serien zu Massivholzmöbeln verarbeitet werden (*Hinweis: das neue gelistete Handelssortiment Bubinga unterliegt ebenfalls Anhang B mit der Fußnote #15*).

Die CITES-Richtlinien erfordern zudem hohe Anforderungen an die Nachweis- und Buchführungspflichten gemäß § 6 Bundesartenschutzverordnung (BartSchV), wonach die rechtmäßige Einfuhr der Hölzer und Holzprodukte nachgewiesen werden muss. Dazu sollten auf der Rechnung für einen Weiterverkauf innerhalb der EU die Nummer und das Ausstellungsdatum der Einfuhrgenehmigung, das Ursprungsland, die Nummer und das Ausstellungsdatum des CITES-Exportdokumentes sowie die wissenschaftlichen Artnamen vermerkt werden. Die damit geforderte Unterscheidung und eindeutige Bestimmung der über 250 (!) neu gelisteten Palisander-Arten ist in der Praxis und auch durch holzanatomische Experten nicht bzw. nur bedingt möglich

(Abbildung 2), sodass von Seiten des Thünen-Instituts darauf verwiesen wurde, dass in den meisten Fällen „nur“ die Angabe *Dalbergia* spp. in den Handelsdokumenten möglich ist, wobei die nach Anhang A streng geschützte Art *Dalbergia nigra* = Rio Palisander zweifelsfrei ausgeschlossen werden muss. Ein Handel mit Rio Palisander ist nur noch dann möglich, wenn das Holz als sog. Vorerwerb (die Listung erfolgte bereits am 20.07.1992) registriert wurde und eine individuelle Vermarktungsgenehmigung bei den zuständigen Umweltbehörden beantragt und genehmigt wird. Weiterhin müsste nach den neuen Regelungen auch die individuelle Art *Dalbergia cochinchinensis* = Thailand rosewood eindeutig deklariert werden, da sie der Fußnote #4 unterliegt, für die im Gegensatz zur Fußnote #15 auch kein privater bzw. nicht kommerzieller Handel mit einem Maximalgewicht von 10 kg pro Sendung zulässig ist. Eine weitere Besonderheit/Ausnahme gilt für die Mexikanischen Palisanderhölzer, z.B. *Dalbergia granadillo*, *D. tucurensis* etc., die „nur“ der Fußnote # 6 unterliegen, die sich auf den Handel von Stämmen oder Holzblöcken, Schnittholz und Furnierblätter sowie Sperrholz bezieht (vergleichbar dem Handel von *Swietenia macrophylla*).

Diese Ausnahmen und Besonderheiten lassen sich nur schwierig im globalen Handel kontrollieren bzw. umsetzen, da eine Unterscheidung der individuellen *Dalbergia*-Hölzer nur für einzelne Arten und mit viel Erfahrung möglich ist, was von Seiten der Praxis entsprechend kritisiert wird. In diesem Zusammenhang wird aktuell auch die Fragestellung mit dem Bundesamt für Naturschutz (BfN) diskutiert, inwieweit sich die Herkünfte aus einer Plantagenbewirtschaftung sicher nachweisen bzw. dokumentieren lassen, da Hölzer aus sog. künstlicher Vermehrung nicht den CITES-Richtlinien unterliegen. Dies betrifft v.a. die Holzart *Dalbergia sissoo*, die nach Recherchen der wissenschaftlichen CITES-Behörde „Pflanzen“ des BfN (fast) ausschließlich als Plantagenholz mit Umtriebszeiten von 15 bis 20 Jahren in Indien und Bangladesch kultiviert wird und als sog. deklarierte Einfuhr bewertet werden darf. Für einen Vorerwerbsnachweis sieht die wissenschaftliche Behörde derzeit keinen Grund, Angaben zur Herkunft aus künstlicher Vermehrung anzuzweifeln.

Seit Veröffentlichung der neuen CITES-Listungen, die am 04.02.2017 vollständig in der EU in Kraft getreten sind, erhält das Thünen-Institut für Holzforschung fast täglich Anfragen, um die Hölzer der beiden wichtigen Handelssortimente Palisander und Bubinga in verarbeiteten Holzprodukten, v.a. Musikinstrumenten, Möbeln und Messergriffen zu prüfen und die Handelsunternehmen über die neuen Richtlinien zu informieren. Den größten „Ansturm“ erlebte das Institut im Dezember 2016, da eine Anmeldung der vorhandenen Bestände (Vorerwerb) bei den zuständigen Landesbehörden ohne weitere Nachweise bis zum 01. Januar 2017 möglich war. An einzelnen Tagen wurden bis zu 300 Bauteile von Musikinstrumenten makroskopisch überprüft und dokumentiert, darunter auch von sehr wertvollen Streichinstrumenten, die Wirbel oder Kinnhalter aus unterschiedlichen Palisander-Arten enthalten (Abbildung 4). Bei den Prüfungen ist aufgefallen, dass noch regelmäßig Bauteile aus

Rio-Palisander (*Dalbergia nigra*) verwendet werden, die zumeist aus Altbeständen (Herstellung vor 1992) stammen, für die aber (noch) keine CITES-Verarbeitungs- bzw. Vermarktungsgenehmigungen vorlagen. Diese „Versäumnisse“ können für die in Anhang A gelistete Art als Verdacht einer Straftat verfolgt werden und sollten von der Branche daher sorgfältiger berücksichtigt werden.

Aktuell arbeitet das Thünen-Institut für Holzforschung mit Hochdruck an einem Update der Datenbank CITESwoodID, die international für die Erkennung der CITES-geschützten Hölzer von Behörden und der Praxis eingesetzt wird (Abbildung 3). Die Datenbank wird umfassend um die neu gelisteten Palisander- und Bubinga-Arten erweitert, wobei nicht alle 250 *Dalbergia*-Arten im Detail beschrieben werden können. Das Update konzentriert sich auf die wichtigsten Arten und Gruppen, die international gehandelt werden. Einzelne Arten wie z.B. *Dalbergia decipularis* = Bahia Rosenholz, *Dalbergia cearensis* = Königsholz, *Dalbergia melanoxylon* = Grenadill und *Dalbergia sissoo* = Shisham lassen sich sehr gut und individuell bestimmen. Die Mehrzahl der Palisander-Hölzer können dagegen nicht artgenau differenziert werden, so dass sie in Gruppen nach lokalen Herkünften wie z.B. *Dalbergia bariensis*, *D. cultrata*, *D. dongnaiensis*, *D. fusca* = Burma rosewood zusammengefasst werden. Im Detail sollen in der Datenbank folgende Palisander-Hölzer beschrieben und illustriert werden (nach alphabetischer Auflistung):

- ***Dalbergia baronii*** = Madagascar rosewood, voamboana
- ***Dalbergia cearensis*** = Kingwood, Königsholz
- ***Dalbergia cochinchinensis*** = Thailand rosewood, tracwood
- ***Dalbergia congestiflora*** = Camotillo, campinzarán
- ***Dalbergia decipularis*** = Bahia rosewood, tulip wood
- ***Dalbergia latifolia*** = Ostindisch Palisander, Sonokeling
- ***Dalbergia madagascariensis*** = Madagascar rosewood
- ***Dalbergia melanoxylon*** = African blackwood, Grenadill
- ***Dalbergia nigra*** = Rio Palisander, Brazilian rosewood
- ***Dalbergia odorifera*** = Huanghuali, jiang xiang huang tan
- ***Dalbergia oliveri*** = Burma rosewood, Siam rosewood
- ***Dalbergia palo-escrito*** = Palo escrito
- ***Dalbergia sissoo*** = Shisham, sissoo
- ***Dalbergia spruceana*** = Amazon rosewood, Amazonas palisander
- ***Dalbergia stevensonii*** = Honduras rosewood, Honduras Palisander

Gruppen *Dalbergia*:

- ***Dalbergia bariensis, D. cultrata, D. dongnaiensis, D. fusca*** = Burma rosewood
- ***Dalbergia cubilquitzensis, D. tucurensis*** = Guatemalan rosewood, grenadilla, Korallenpalisander
- ***Dalbergia greveana*** = Manary und ähnliche Hölzer, die meist auch als Madagascar rosewood oder bois de rose gehandelt werden
- ***Dalbergia louvelii, D. maritima*** = Bois de rose
- ***Dalbergia retusa, D. granadillo*** = Cocobolo

Allein die Auswahl dieser 15 Arten und fünf Gruppen (von über 250 Palisander-Arten) zeigt die großen Anforderungen, die in Bezug auf die Nachweis- und Dokumentationspflichten an den Handel gestellt werden und es bleibt zu hoffen, dass diese Herausforderungen vom Handel angenommen werden, damit die Edelhölzer auch weiterhin nachhaltig und legal für die vielfältigen Verwendungszwecke genutzt und nicht durch Kunststoffe substituiert werden.

Um die betroffenen Händler und Verbände im direkten Austausch mit den zuständigen Behörden (BfN und Landesbehörden) zu informieren, richtete das Thünen-Institut am 7.Juni.2017 eine Informationsveranstaltung über die neuen CITES-Listungen aus. Am Thünen-Standort in Hamburg-Bergedorf wurden folgende fachliche und gesetzliche Fragestellungen behandelt und diskutiert:

- ***Wie lassen sich die über 250 Palisanderarten und Bubinga in verarbeiteten Holzprodukten erkennen bzw. unterscheiden und von „look-alike“ Hölzern abgrenzen?*** (Vortrag von Experten des Thünen-Kompetenzzentrums Holzherkünfte)
- ***Welche Anforderungen werden an die Dokumentations- und Buchführungspflichten im nationalen und internationalen Handel gestellt?*** (Vorträge von Mitarbeitern des BfN, Abteilungen: Vollzug und botanischer Artenschutz sowie Vertreter von den Landesbehörden)
- ***Welche Auswirkungen haben die neuen CITES-Listungen auf wichtige Wirtschaftsbereiche und den Holzhandel?*** (Vorträge von Vertretern der Verbände aus den Bereichen Instrumentenhandel/SOMM, Holzhandel/GD-HOLZ und der Möbelindustrie).

Die Informationsveranstaltung soll über die gesetzlichen Richtlinien und Anforderungen für die Praxis informieren und über Unsicherheiten im Handel mit CITES-geschützten Hölzern aufklären.

Weitere Informationen unter:

<https://www.thuenen.de/de/infrastruktur/thuenen-kompetenzzentrum-holzherkuenfte/save-the-date-auswirkungen-der-neuen-cites-listungen/>



Abbildung 1: Oberflächen von Hölzern des Handelssortiments Bubinga, das die drei Arten *Guibourtia demeusei*, *G. tessmannii* und *G. pellegriniana* umfasst.



Dalbergia nigra
Rio Palisander

Dalbergia spruceana
Amazonas Palisander

Dalbergia latifolia
Ostindischer Palisander

Dalbergia retusa
Cocobolo

Abbildung 2: Holzoberflächen unterschiedlicher Palisander-Arten, die sich makroskopisch nur schwierig unterscheiden lassen.

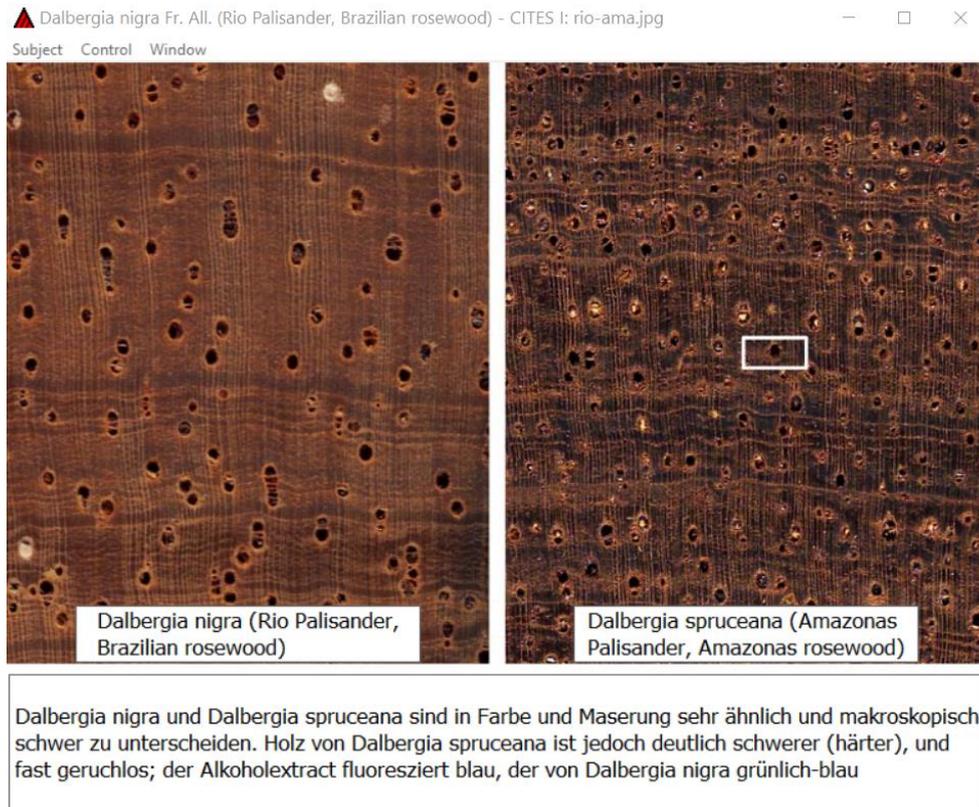


Abbildung 3: Unterscheidung der beiden Palisander-Arten *Dalbergia nigra* = Rio Palisander und *Dalbergia spruceana* = Amazonas Palisander mit Hilfe der Datenbank CITESwoodID



Abbildung 4: Wirbel aus Palisander in einer Violine, die im Rahmen der neuen CITES-Listungen in einer Instrumentenwerkstatt in Hamburg geprüft wurden.

4. Diskussion

Die grundlegenden Ergebnisse der Untersuchungen zur Charakterisierung der Struktureigenschaftsbeziehungen von „lesser known species“ aus Mittel- und Südamerika werden nachfolgend in Reihenfolge der **Publikationen I – VI** diskutiert.

4.1. Differenzierung von juvenilem und adultem Holzgewebe am Beispiel von sieben lesser known species aus Mexico

Holzbildung und Holzeigenschaften unterliegen natürlichen und phylogenetisch gesteuerten Schwankungen. Ein Großteil der Holzeigenschaften kann auf den strukturellen Aufbau sowie die chemische Zusammensetzung auf zellulärer und subzellulärer Ebene zurückgeführt werden (Bauch 1980; Magel *et al.* 1991; Koch 2004; Haag *et al.* 2019).

Nach dem heutigen Stand des Wissens können im Holz von Bäumen unterschiedliche Gewebetypen, wie u.a. das juvenile und adulte Holz differenziert werden (Zobel und Sprague 1998; Bao 2001, Burdon *et al.* 2004; Silva Guzmán 2012). Als juvenil wird Holz bezeichnet, das in der „Jugendphase“ des Baumwachstums nahe dem Mark gebildet wird. Je nach Gattung oder Art wird das juvenile Holz meist in den ersten 10 bis 20 Jahren, später erst das „reife“ adulte Holz gebildet. Untersuchungen von Fukazawa (1984); Dünisch *et al.* (2010); Palermo *et al.* (2015) und Rodríguez *et al.* (2019) zeigen deutlich, dass sich die Holzqualitäten der beiden Gewebetypen signifikant unterscheiden. Grund dafür sind beispielsweise Unterschiede in der Dimensionsstabilität, im Quell- und Schwindverhalten und in der natürlichen Dauerhaftigkeit, die wiederum auf strukturelle und chemische Unterschiede zurückzuführen sind.

Für die vorliegende Publikation wurden die Holzgewebe von sieben lesser known species (*Manilkara zapota* (L.) P. Royen, *Platymiscium yucatanum* Standl., *Lonchocarpus castilloi* Standl., *Roseodendron donnell-smithii* (Rose) Miranda, *Terminalia buceras* (L.) Wright, *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC., *Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth) aus Mexiko anatomisch-strukturell und topochemisch für eine Differenzierung von juvenilem und adultem Holzgewebe untersucht.

Untersuchung der zellulären und subzellulären Holzstruktur

Die holzanatomischen Untersuchungen wurden in Anlehnung an die IAWA-Merkmaliste zur Identifizierung von Laubhölzern (IAWA Committee 1989) ausgeführt. In bestimmten Fällen wie

beispielsweise der Faserdicke („Fiber wall thickness: thin, thin to thick, very thick“) wurden quantitative Merkmale durch numerische Werte ergänzt. Darüber hinaus wurden Daten erhoben, die nicht in der o.g. IAWA-Liste aufgeführt werden (u.a. tangentialer Durchmesser von Faserlumina). Insgesamt wurden 21 holzanatomische Merkmale ausgewählt, deren Ausprägung für die Charakterisierung der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen als relevant eingestuft wurden (Haag *et al.* 2019).

4.1.1 Untersuchung der Gefäße

Die Ergebnisse der histometrischen Untersuchungen des Parameters „Gefäßdurchmesser“ zeigen, dass 11 von 14 Bäumen größere Gefäßdurchmesser während des Übergangs von der juvenilen in die adulte Holzbildungsphase ausbilden. Diese Ergebnisse zeigen gute Übereinstimmung mit Untersuchungen von Fukazawa (1984); Carlquist (1985); Khan (1980); sowie Silva Guzmán *et al.* (2012) und können daher vorsichtig als ein diagnostisches Merkmal für die Differenzierung der beiden Gewebetypen betrachtet werden. Carlquist (2001) berichtet in diesem Zusammenhang über die Beobachtung, dass die Gefäßerweiterung im Zusammenhang mit der Expansion der Baumkrone steht. Diese Vermutung basiert auf der Überlegung, dass die Vergrößerung der Baumkrone eine Erhöhung der photosynthetischen Aktivität auslöst, die wiederum einen erhöhten Wassertransport erfordert.

Unterschiede für den Parameter Gefäßlänge konnten aufgrund einer sehr hohen (natürlichen) Variationsspanne der individuellen Gattungen / Arten nicht festgestellt werden. Diese Beobachtung deckt sich mit den Ergebnissen von Davidson (1976), der an Untersuchungen von Hölzern aus der Familie der Datisceaceae belegen konnte, dass die Gefäßelementlängen während der Transition von juvenilem zu adultem Holz nicht proportional zunehmen.

4.1.2 Untersuchung des Fasergrundgewebes

Das Fasergrundgewebe dient im Wesentlichen der Statik bzw. den Festigkeiten im Holz. Im Rahmen der Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die Strukturmerkmale des Fasergrundgewebes signifikante Unterschiede zwischen juvenilem und adultem Holz für die meisten analysierten Arten aufweisen. Die Charakteristika in der Morphologie der Fasern wurden abschließend als deutlichster Indikator für die Differenzierung der beiden Gewebetypen bewertet.

In der IAWA Merkmalsliste (IAWA Committee 1989) werden bestimmte anatomische Merkmale standardmäßig in Kategorien eingeteilt. Wie am Beispiel der Faserwanddicke gezeigt wird, wird hier die Kategorie durch das Verhältnis der Zellwanddicke zu Faserlumen bestimmt:

Faser sehr dünnwandig = Faserlumina sind 3-mal so groß wie die doppelte Zellwanddicke

Fasern dickwandig = Faserlumina nahezu oder komplett geschlossen

Auf Basis der Kategorien der IAWA Merkmalsliste können in diesem Kontext in einzelnen Fällen Fasern mit der gleichen Zellwanddicke durch das Verhältnis zum Faserlumen einmal als dickwandig („thick-walled“) und einmal als „dünnwandig“ („thin-walled“) eingestuft werden. Für die vorliegende Untersuchung wurden daher reale Messwerte miteinander verglichen.

Für die Untersuchung der Fasern wurden insgesamt vier anatomische Merkmale ausgewählt, um die genauen Dimensionen der Fasern histometrisch zu ermitteln und zwischen den folgenden Merkmalen zu differenzieren:

- **Tangentialer Faserdurchmesser**
- **Radialer Durchmesser des Faserlumens**
- **Zellwanddicke**
- **Faserlänge**

Auf der Grundlage der umfangreichen histometrischen Analysen konnte gezeigt werden, dass sich die Verkleinerung der Faserlumina umgekehrt proportional zur Erweiterung der tangentialen Gefäßdurchmesser verhält. Mit Ausnahme eines Versuchsbaums der Art *Manilkara zapota* konnte bei allen übrigen 13 Versuchsbäumen eine Abnahme der Durchmesser der Gefäßlumina im adulten Gewebe nachgewiesen werden. Die Ausprägung dieses Phänomens ist teilweise hoch signifikant. Weiterhin kann deutlich gezeigt werden, dass die Durchmesser der Faserlumina im juvenilen Gewebe teilweise bis zu 2,5-mal so groß sind wie im Vergleich zum adulten Holz, z.B. für die Art *Lonchocarpus castilloi*, wodurch sich die hohen Rohdichteunterschiede erklären lassen. Derartige Unterschiede lassen sich auch zwischen Plantagenholz und Holz von Naturstandorten (siehe Einleitung Beispiel „Teakholz“) feststellen (Darmawan *et al.* 2015).

Zudem konnten bei vier der sieben untersuchten Arten (*Platymiscium yucatanum*, *Lonchocarpus castilloi*, *Roseodendron donnell-smithii* und *Tabebuia rosea*) signifikant dickere Zellwände im adulten Holz im Vergleich zum juvenilen Holz gemessen werden. Im Durchschnitt waren die Zellwände hier ca. 17 % dicker. Besonders deutlich wurde der Unterschied bei der Holzart *Tabebuia rosea*, bei der die Zellwände der adulten Holzfasern im Durchschnitt über 40 % dicker waren als die Zellwände in juvenilem Holz. Die Ausbildung der dickeren Zellwände der Fasern im adulten Holz hat wiederum

einen Einfluss auf die Rohdichte und die technologischen Eigenschaften des Holzes und ist somit ein weiterer Beleg für die Korrelation zwischen Struktur und Eigenschaften.

Im Gegensatz zu dem klaren Trend, der für den Parameter Durchmesser des Faserlumens bestimmt wurde, sind die Ergebnisse der Faserlängenmessungen differenzierter zu bewerten. Die Ergebnisse von Kiaei *et al.* (2012) aus Untersuchungen an Hölzern der Art *Acer velutinum* und Ferreira *et al.* (2011) aus Untersuchungen an Hölzern der Art *Hevea brasiliensis*, bei denen jeweils eine Zunahme der Faserlänge vom marknahen Gewebe bis hin zum äußeren Splintholz beobachtet wurde, treffen für eine Reihe der Hölzer aus der vorliegenden Untersuchung ebenfalls zu. Bei den Holzarten *Manilkara zapota*, *Tabebuia rosea*, *Lysiloma latisiliquum*, und *Roseodendron donnell-smithii* konnte dieser Effekt ebenfalls nachgewiesen werden. Die Fasern der Arten *Platymiscium yucatanum*, *Lonchocarpus castilloi* und *Terminalia buceras* waren allerdings im juvenilen Holz ca. 6 % länger. Die stark variierenden Ergebnisse der Faserlängen-Messungen für die drei untersuchten Arten unterschiedlicher Gattungen aus der Familie der Fabaceae (Leguminosae) weisen darauf hin, dass innerhalb einer Pflanzenfamilie keine einheitlichen Trends angegeben werden können.

4.1.3 Untersuchung des Holzstrahlenparenchyms

Aufgrund der Orthotropie des Holzes müssen bestimmte Holzeigenschaften wie vor allem die Festigkeiten, Diffusionseigenschaften und das Quell- und Schwindverhalten entlang der drei Hauptrichtungen des Holzes (longitudinal, tangential und radial) unterschieden werden. Die Orthotropie des Holzes ist in der Literatur grundlegend beschrieben und dokumentiert (Niemz und Wagenführ 2012; Ozyhar 2013; Dackermann 2016; Obara 2018). Neben der Ausrichtung der Fasern in longitudinaler Richtung, aus der signifikant höhere Druck- und Zugfestigkeiten parallel zur Stammachse resultieren, führt die radiale Ausrichtung des Holzstrahlparenchyms zu höheren Festigkeiten in radialer als auch tangentialer Holz Ausrichtung (Burgert und Eckstein 2001, Burgert *et al.* 2001). In Untersuchungen von Reiterer *et al.* (2002) an Holz von Eiche (*Quercus robur*) und Esche (*Fraxinus excelsior*) konnte zudem gezeigt werden, dass die Festigkeiten und der E-Modul in Abhängigkeit von dem Anteil des Holzstrahlparenchyms bezogen auf das Holzvolumen variierten. Für die Untersuchung wurden Festigkeitsprüfungen an Holz der jeweiligen genannten Arten mit geringem Holzstrahlenanteil und hohem Holzstrahlenanteil entlang der radialen und tangentialen Holzrichtung durchgeführt. Die Ergebnisse der Studie zeigen deutlich, dass die untersuchten Hölzer mit höheren Anteilen an Holzstrahlparenchym höhere Druck- und Zugfestigkeiten sowie einen höheren E-Modul aufweisen. Reiterer *et al.* (2002) nennen diesen Zusammenhang die „Radiale Bewehrung“ (engl.: *Radial Reinforcement*) des Holzes. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen

kann gefolgert werden, dass die Ausprägung des Holzstrahlparenchyms mit den einzelnen Parametern (Höhe, Breite und Anzahl der Holzstrahlen pro Fläche der Holzstrahlen) zwischen juvenilem und adultem Holz zu signifikanten Schwankungen der Holzeigenschaften führen kann.

Die Ergebnisse der histometrischen Analysen aus **Publikation I** haben gezeigt, dass die Holzstrahlen im juvenilen Holz der meisten untersuchten Arten ein weit höheres Maß an Heterogenität aufweisen. Diese Unterschiede (Heterogenität) zeigen sich insbesondere bei den Hölzern, die im adulten Stadium einen deutlichen Stockwerkbau (etagenartige Anordnung von Holzstrahlen ähnlicher Größe in horizontaler Ebene und gleichmäßigen Abständen) aufweisen (*Platymiscium yucatanum*, *Tabebuia rosea*), der dagegen im juvenilen Holz deutlich unregelmäßiger oder nicht ausgeprägt ist. Über den eigentlichen Untersuchungsschwerpunkt hinaus kann diese Information zudem nützlich für die Identifizierung von Arten mit „normalerweise“ regelmäßigem Stockwerkbau sein, die von Plantagenpflanzungen (häufig juveniles Holz) stammen, wie dies beispielsweise bei den CITES-geschützten Palisanderarten *Dalbergia latifolia* (Ostindischer Palisander) und *Dalbergia sissoo* (Shisham) der Fall ist. Die Ausprägung eines unregelmäßigen Stockwerkbaus im juvenilen Holz kann die Bestimmung dieser Arten erschweren.

Bei den untersuchten Holzarten *Platymiscium yucatanum*, *Roseodendron donnell-smithii* und *Lysiloma latisiliquum* kann eine deutliche Zunahme der Breite und Höhe der Holzstrahlen im Übergangsbereich zwischen juvenilem und adultem Holz beobachtet werden. Nach Reiterer *et al.* (2002) kann die Vergrößerung der Holzstrahlen auch als phylogenetisch gesteuerte Erhöhung der Festigkeiten interpretiert werden, ähnlich wie dies auch bei der Verkleinerung der Faserlumina der Fall ist. Für die Holzart *Platymiscium yucatanum* kann zudem beobachtet werden, dass die ebenfalls stockwerkartigen Holzstrahlen im juvenilen Holz meist einreihig und im adulten Stadium meist mehr- bzw. zweireihig sind.

Carlquist (2001) beschreibt die Dimensionsveränderung der Holzstrahlen im Verlauf der Ontogenese als generellen Trend. Diese Theorie deckt sich mit frühen anatomischen Beobachtungen von Barghoorn (1941), der eine Vergrößerung der Holzstrahlen vom Mark zum adulten Holz in Stämmen von *Bursera simaruba* durch Messungen nachweisen konnte. Ähnlich wie die Beobachtung in dieser Studie bei *Platymiscium yucatanum* berichtet Barghoorn (1941) zudem davon, dass die Holzstrahlen in *Bursera simaruba* vom Mark aus betrachtet erst meist einreihig und später mehrreihig sind.

4.1.4 Zelluläre UV-mikrospektralphotometrische Untersuchungen (UMSP)

Für eine topochemische Charakterisierung der Lignifizierung und Verteilung aromatischer (phenolischer) Inhaltsstoffe im Gewebe von juvenilem und adultem Holz wurden zelluläre UV-spektroskopische Analysen (UMSP) durchgeführt. Die Grundlagen und Anwendungsfelder der Methode werden ausführlich in **Publikation I** und **II** beschrieben und dargestellt.

Die Ergebnisse der Untersuchung in **Publikation I** zeigen, dass die UMSP-Methode besonders geeignet ist, um Unterschiede in der Lignifizierung und Verteilung phenolischer Inhaltsstoffe zu detektieren. Entsprechend der Ergebnisse von Adamopoulos *et al.* (2005), Dünisch *et al.* (2010) und Rodriguez Anda *et al.* (2019) konnten in fünf von sieben untersuchten Spezies (*Platymiscium*, *Lonchocarpus*, *Roseodendron*, *Tabebuia*, *Lysiloma*) erhöhte Ligningehalte in den Zellwänden der Fasern und Gefäße des adulten Holzes festgestellt werden. Im Gegensatz hierzu wurden bei den analysierten Proben von *Manilkara zapota* geringfügig höhere Ligninkonzentrationen in den Zellwänden des juvenilen Holzes gemessen. Für die Holzart *Terminalia buceras* zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Lignifizierung zwischen dem juvenilen und adulten Holzgewebe. In Bezug auf die Bewertung der Messergebnisse muss grundsätzlich berücksichtigt werden, dass die Lignifizierung einerseits durch genotypische Einflüsse gesteuert wird, andererseits auch exogene Einflussfaktoren wie z.B. die Exposition des Baumes im Waldgefüge, Zugang zum Licht sowie Nährstoff- und Wasserversorgung (Magel *et al.* 1993; Carlquist 2001; Dünisch 2010) Einfluss haben können. Vor diesem Hintergrund sollten die abweichenden Ergebnisse der untersuchten Proben der Spezies *Manilkara zapota* und *Terminalia buceras* unter Berücksichtigung standortbedingter Einflüsse betrachtet werden.

Die natürliche Dauerhaftigkeit von Hölzern wird maßgeblich über die Biosynthese der Extraktstoffe, v.a. aromatischer Inhaltsstoffe und ihrer Imprägnierung in die Zellwände gesteuert (z.B. Koch und Schmitt 2013). Mit Hilfe der zellulären UV-Spektroskopie konnte in diesem Zusammenhang nachgewiesen werden, ob die Inhaltsstoffe die Zellwände imprägnieren oder als hochmolekulare Verbindungen in den Zellumina der Parenchymzellen -ihrem Syntheseort- verbleiben (Koch *et al.* 2003, 2006). Die Einlagerung der Extraktstoffe bei der obligatorischen Kernholzbildung wird zunächst durch niedermolekulare Vorstufen initiiert, die über enzymatisch aktive Tüpfelmembranen der Parenchymzellen (Bauch *et al.* 1974; Hillis 1996) in die Zellwände imprägniert werden. Die Synthese wird dabei durch membran-adsorbierte Enzyme und an das Zytoskelett gebundene Multienzymkomplexe reguliert (Sano und Fukazawa 1994). Diese sekundären Prozesse bei der Kernholzbildung werden in **Publikation I** exemplarisch für die Art *Lysiloma latisiliquum* beschrieben.

Im adulten Holzgewebe dieser Art können lokal in den Zellwänden und Tüpfelkanälen sehr hohe UV-Absorptionswerte erreicht werden, die auf eine Imprägnierung mit phenolischen Extraktstoffen hinweisen. Die phenolischen Inhaltsstoffe lassen sich in hoher Konzentration ebenfalls in den Zelllumina des parenchymatischen Gewebes nachweisen, zumeist in Form von Anlagerungen an die inneren Zellwandschichten. In den untersuchten juvenilen Geweben können dagegen deutlich geringere Konzentrationen an Extraktstoffen detektiert werden. Vergleichbare Ergebnisse wurden von Dünisch *et al.* (2010) für die topochemische Charakterisierung des juvenilen und adulten Holzes der Robinie (*Robinia pseudoacacia*) erzielt.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass hochkondensierte Phenolverbindungen durch Parenchymzellen synthetisiert werden (Hillis 1987) und aufgrund ihrer komplexen Struktur nicht in die interfibrillären Räume der Zellwände eindringen können. Diese hochkondensierten phenolischen Verbindungen waren regelmäßig im Gewebe der sieben untersuchten tropischen Arten aus Mexiko nachzuweisen.

4.1.5 Mikrofibrillenwinkel

Für die Charakterisierung der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen zählt der Mikrofibrillenwinkel (*microfibril angle* = **MFA**) zu den wichtigsten und meist diskutierten strukturellen Parametern. Grund hierfür ist der außergewöhnlich hohe Einfluss des MFA auf nahezu alle technischen und mechanischen Eigenschaften des Holzes (Bailey 1937; Harris und Meylan 1965; Donaldson 2008). Nach Bendtsen (1978), Evans und Ilic (2001) sowie Hein und Lima (2012) hat die Ausrichtung der Mikrofibrillen einen signifikanten Einfluss auf die elastomechanischen Eigenschaften und Festigkeiten. Bendtsen (1978) berichtet, dass beispielsweise die Festigkeiten und der E-Modul in Nadelholz (*Pinus* sp.) mit abnehmendem MFA zunehmen. Nach Bailey (1937) erhöhen sich hingegen Quellung und Schwindung mit zunehmendem MFA in longitudinaler Holzrichtung. In diesem Zusammenhang weisen Lichtenegger *et al.* (1999), Burdon *et al.* (2004) und Blohm *et al.* (2016) darauf hin, dass der MFA als deutlicher Indikator für die Differenzierung von juvenilem und adultem Holz bewertet werden kann. Nach Erickson und Arima (1974) verringert sich der MFA beispielsweise bei nordamerikanischen Douglasien (*Pseudotsuga menziesii*) von 32 ° im ersten Jahrring auf 7 ° im Bereich des äußeren Splintholzes. In Publikationen von Chow *et al.* (1996) und Adamopoulos *et al.* (2005) wird die Möglichkeit diskutiert, dass ein Zusammenhang zwischen der Orientierung der Mikrofibrillen in der S₂-Schicht der Zellwand und einer niedrigeren Ligninkonzentration in juvenilem Holz besteht. Diese Hypothese zeigt mit wenigen Ausnahmen gute Übereinstimmung mit den eigenen Ergebnissen der zellulären UV-spektroskopischen Analysen (s.o.), indem in fünf der sieben untersuchten Arten geringere Ligninkonzentrationen im juvenilen Holz detektiert wurden.

Bei der Bestimmung des wichtigen Parameters Mikrofibrillenwinkel muss grundsätzlich berücksichtigt bzw. geklärt werden, ob es sich beim jeweils definierten MFA um

- a. ausschließlich gleichmäßig ausgerichteten Mikrofibrillen in homogenen Zellbereichen gerade ausgerichteter Zellen handelt oder
- b. die Gesamtheit aller Mikrofibrillenwinkel einschließlich der durch bestimmte Zellstrukturen (z.B.: Tüpfelkanäle) oder Faserdeformationen abgelenkten Mikrofibrillen handelt.

Im Wesentlichen wird die Definition des MFA bereits bei der Wahl der Untersuchungsmethode festgelegt. Als eine der traditionellen Methoden zur Messung des MFA werden Jod-gefärbte Dünnschnitte von Holz untersucht. Die Methode beruht darauf, dass sich die Jod-Kristalle beim Auskristallisieren entlang der Mikrofibrillen anordnen und dort unter dem Mikroskop bei Verwendung von Polarisationsfiltern sicht- bzw. messbar werden (Bailey and Vestal 1937; Senft and Bendtsen 1985; Kretschmann *et al.* 1998; Donaldson 2004). Bei dieser Methode wird der MFA in der Regel nur bei parallel ausgerichteten Mikrofibrillen in homogenen Zellbereichen untersucht bzw. erfasst, in der Regel in der S2-Schicht. Zellbereiche mit Deformationen können nicht berücksichtigt werden. Anders verhält es sich bei der für diese Studie gewählten SilviScan[®] Methode. Hierbei wird mit einem Röntgen-Diffraktometer ein Mittelwert der Mikrofibrillenwinkel in einer Probe anhand einer Vielzahl von Messungen gebildet, einschließlich der durch Gewebeunregelmäßigkeiten (z.B.: leicht unterschiedliche Faserorientierungen oder Faserdeformationen) abweichenden Mikrofibrillen (Stuart und Evans 1995; Evans 1999).

Nach den meisten gängigen Definitionen gehen in solche Messungen nur die Werte der S2-Schicht ein, da diese in den Holzzellen den größten Anteil an der Zellwand einnimmt (Bailey 1937; Donaldson 2008). Eine weitere Schwierigkeit in diesem Zusammenhang ergibt sich durch den unbeabsichtigten Einfluss der Messungen von Reaktionsholz, bei dem die Zellwandschichten eine abweichende Anordnung bzw. abweichende Ausrichtung der Fibrillen besitzen. Im Druckholz der Nadelbäume sind die MFA-Winkel meist höher, als im übrigen Stammholz (Wardrop und Dadswell 1950; Kantola und Seitsonen 1961; Donaldson 2008). Anders verhält es sich jedoch beim Zugholz der Laubbäume, bei dem die Mikrofibrillen in der sog. G-Schicht häufig in einem kleineren Winkel oder sogar parallel zur Faserachse verlaufen (Wardrop und Dadswell 1948, 1955; Washusen *et al.* 2001; Hori *et al.* 2003; Hillis *et al.* 2004; Donaldson 2007; Ruelle *et al.* 2007).

In den Untersuchungen der durchschnittlichen MFAs des juvenilen und adulten Holzes für die vorliegende Studie konnten lediglich bei einer von sieben Holzarten (*Roseodendron donnell-smithii*) signifikante Unterschiede dokumentiert werden. Hier lag der durchschnittliche MFA des juvenilen

Holzes bei 15° und 27° bei adultem Holz und somit in einem umgekehrt proportionalen Verhältnis zu den Ergebnissen der Untersuchungen von Lima *et al.* (2004) sowie Bonham und Barnett (2001). In der Studie von Lima *et al.* (2004) wurde das Holz von elf Jahre alten Eukalyptus-Klonen untersucht und eine Tendenz zur Abnahme des MFA vom Mark zum äußeren Splintholz beobachtet. Vergleichbare Beobachtungen liegen von einer Untersuchung an *Betula pendula* von Bonham und Barnett (2001) vor, bei der ein durchschnittlicher MFA von 19° im Bereich des Marks und 12° im Bereich des äußeren Splintholzes gemessen wurde.

In den eigenen Untersuchungen konnten dagegen keine signifikanten Unterschiede im Vergleich der MFA von juvenilem und adultem Holz festgestellt werden. Die in der Literatur beschriebene Abnahme des MFA vom Mark zum äußeren Splintholz konnte somit nicht generell bestätigt werden (auch auf der Basis wiederholter Messungen). Eine Erklärung hierfür könnte damit begründet werden, dass die bisher vorliegenden Erkenntnisse fast ausschließlich auf Messungen von Hölzern aus gemäßigten Breiten (Ahorn, Birke, Pappel etc.) sowie Hölzern von Plantagen (Eukalyptus, Teak) basieren. Für tropische Hölzer aus natürlichen Wuchsgebieten liegen hierzu nach ausführlicher Recherche keine weiteren detaillierten Studien mit abgesicherten Messergebnissen vor.

Generell liegen verhältnismäßig wenige Studien zur Untersuchung des MFA von Laubhölzern vor (Donaldson 2008). Der überwiegende Teil dieser Literatur beschäftigt sich zudem mit wirtschaftlich relevanten Plantagenhölzern wie beispielsweise Eukalyptus (Boyd 1980; Bendtsen *et al.* 1981; Kibblewhite *et al.* 2004; Lima *et al.* 2004). Die nicht signifikanten Ergebnisse der eigenen Untersuchungen der lesser known species aus Mexiko weisen deutlich darauf hin, dass fortführende Untersuchungen vor allem für das Verständnis der Holzstruktur und der technischen Eigenschaften von subtropischen und tropischen Baumarten von großer Bedeutung sind.

Die Ergebnisse der strukturellen und topochemischen Untersuchungen aus **Publikation I** zeigen eindeutige Unterschiede zur Charakterisierung des juvenilen und adulten Holzgewebes. Besonders hervorzuheben sind dabei die beschriebenen anatomisch-strukturellen Veränderungen der Fasern, des parenchymatischen Gewebes und der Gefäße, die einen hohen Einfluss auf die Festigkeiten, das Quell- und Schwindverhalten und die Diffusionseigenschaften der Hölzer haben. Weiter konnten mit Hilfe der zellulären UV-Spektroskopie (UMSP) signifikante Unterschiede in Bezug auf die Lignifizierung und Einlagerung phenolischer Extraktstoffe zwischen dem juvenilen und adulten Holzgewebe detektiert werden.

4.2. Das Potential der lesser known species am Beispiel der peruanischen Forstwirtschaft

In der Einleitung wird am Beispiel wichtiger Holzhandelssortimente wie Echtes Mahagoni (*Swietenia macrophylla*) und Rotes Meranti (*Shorea subg. Rubroshorea*) bereits dargestellt, dass die starke selektive Nutzung einzelner Arten als grundsätzliches Problem der tropischen Forst- und Holzwirtschaft einzustufen ist. Durch eine Erhöhung des Angebots an Holzhandelssortimenten für zielgerichtete Verwendungen könnte der Druck auf einzelne Baumarten durch eine vermehrte Nutzung von lesser known species genommen werden. Forster *et al.* (2003) führen in diesem Zusammenhang sogar die Möglichkeit auf, bestimmte Holzarten (auch unterschiedlicher Gattungen) mit vergleichbaren Holzeigenschaften zu Handelssortimenten zusammenzufassen, um durch die Erhöhung der Verfügbarkeit die Handlungsfähigkeit der Forst- und Holzwirtschaft in den Tropen zu stärken.

Im Rahmen eines Projektes des Global Green Growth Institute (GGGI) in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Institut für Entwicklungspolitik (DIE) wurden 2014 die wichtigsten Daten der peruanischen Forstwirtschaft zusammengefasst und das Steigerungspotential der forstlichen Nutzung in Peru dargestellt. Perus Landfläche ist etwa zur Hälfte bewaldet. Nach den Erhebungen des peruanischen Ministeriums für Umwelt und des Ministeriums für Landwirtschaft (2011) entspricht dies einer Fläche von etwas mehr als 73 Millionen Hektar. 94 % dieser Fläche ist Teil des amazonischen Regenwaldes und das neuntgrößte zusammenhängende Waldgebiet der Erde (Hotz *et al.* 2014). Zahlreiche aktuelle Publikationen weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass diese Fläche ähnlich wie im benachbarten Brasilien durch unzureichende forstliche Maßnahmen, der Bedrohung durch illegalen Holzeinschlag und die Umwandlung von Forst- in Agrarflächen gefährdet ist (Putzel *et al.* 2011; Finer *et al.* 2014; Weisse und Dow Goldmann 2019). Darüber hinaus weisen das peruanische Ministerium für Umwelt und das Ministerium für Landwirtschaft (2011) darauf hin, dass die peruanische Forstnutzung bei weitem unter dem möglichen Potential liegt. Der derzeitige Anteil am Bruttoinlandsprodukt beträgt laut Forest Investment Program (FIP) etwa 1 %, während der Anteil des Bruttoinlandsproduktes im benachbarten Chile etwa dreimal so hoch liegt (Instituto Nacional de Estadísticas de Información 2008).

Für die vorliegende **Publikation II** wurde im Rahmen des Internationalen Forschungsprojektes "Kompetenzentwicklung im peruanischen Forst- und Holzsektor" zwischen dem Thünen-Institut für Holzforschung und den peruanischen staatlichen Forschungseinrichtungen CITEmadera und CITEforestal Recherchen hinsichtlich der Nutzung von lesser known species mit dem Ziel der Steigerung der Wertschöpfung der forstlichen Nutzung peruanischer Naturwälder vorgenommen.

Hierfür wurden mit den Projektpartnern der peruanischen Forstbehörde (Servicio Nacional Forestal y de Fauna silvestre) und Vertretern des regionalen Holzhandels zunächst geeignete Hölzer (lesser known species) ermittelt, die das Potential für eine Etablierung als Holzhandelssortiment für stark nachgefragte Anwendungen in Europa haben könnten. Vor dem Hintergrund der regionalen Anwendungsfelder und des bekannten Mangels an Hölzern, die potentiell als Substitute für übernutzte Holzarten im Bereich des konstruktiven Rahmenbaus (Fenster, Haustüren, Wintergärten) und Anwendungen im Außenbereich eingesetzt werden können, wurde schließlich die Holzart *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo) für weiterführende Untersuchungen ausgewählt.

Für die praxisrelevanten Untersuchungen der vorliegenden Arbeit wurde das Holz „Tornillo“ (Handelsname) von FSC-zertifizierten Konzessionen aus Peru bereitgestellt. Im Rahmen der physikalisch/technologischen Untersuchungen wurden normierte Kennwerte wie u.a. das Quell- und Schwindverhalten (DIN 52184) sowie die natürliche Dauerhaftigkeit (gemäß EN 350-1:1994 sowie CEN/TS 15083-1:2005 und DIN 350:2016) ermittelt. Zudem wurden umfangreiche strukturelle und topochemische Untersuchungen (UMSP) zur Charakterisierung der Struktur-Eigenschaftsbeziehungen des Holzgewebes durchgeführt (vergleiche auch **Publikation I**).

Die Ergebnisse der umfangreichen Untersuchungen zeigen, dass *Cedrelinga cateniformis* die Anforderungen an ein Holz für die genannten Anwendungsfelder, v.a. den konstruktiven Rahmenbau, vollständig erfüllt. Die ermittelten technischen Daten zeigen gute Übereinstimmung mit den Kennwerten etablierter Holzarten, wie z.B. Dark Red Meranti. Darüber hinaus haben die Untersuchungen der natürlichen Dauerhaftigkeit ergeben, dass *Cedrelinga cateniformis* mit der ermittelten Dauerhaftigkeitsklasse 1 (DIN 350:2016) eine deutlich höhere Resistenz gegen den Angriff holzerstörender Pilze besitzt als dies in vergleichenden Studien für die aufgeführten etablierten Hölzer (Mahagoni und Meranti) nachgewiesen werden konnte.

Auf der Grundlage der positiven Testergebnisse werden bereits bei einem renommierten Holzhändler in Peru keilzinkverleimte Rohlinge für den Einsatz im Fensterbau entwickelt. Um die hohen Qualitätsanforderungen gemäß der Kriterien der VFF-Gütegemeinschaft (Verband der Fenster- und Fassadenhersteller) in Deutschland zu erfüllen, sollen weiterführende Untersuchungen v.a. zur Dimensionsstabilität und Oberflächenbeschichtung an vollständigen Bauteilen durchgeführt werden.

Weitere Prüfungen der Holzart, z.B. für den Einsatz des Holzes im Erdkontakt sowie der Test zusätzlicher mechanischer Kennwerte (z.B. Scherfestigkeit, Brinellhärte), waren zum Zeitpunkt der

Promotion noch nicht abgeschlossen. Die hieraus resultierenden Ergebnisse sollen in absehbarer Zeit veröffentlicht werden.

4.3 Anatomische Holzartenbestimmung im Kontext der Kontrolle und Umsetzung der Europäischen Holzhandelsverordnung (EUTR) und dem Washingtoner Artenschutzabkommen (CITES)

Die **Publikationen III** und **VI** können, wie eingangs bereits erwähnt, als wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiet der anatomischen Holzartenbestimmung im Kontext der Kontrolle und Umsetzung der Europäischen Holzhandelsverordnung (EUTR) und dem Washingtoner Artenschutzabkommen (CITES = Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) betrachtet werden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studien beziehen sich vollständig auf die Arbeiten des Thünen-Kompetenzzentrums Holzherkünfte in Hamburg.

4.3.1 Die Arbeit des Thünen-Kompetenzzentrums Holzherkünfte im Rahmen der Europäischen Holzhandelsverordnung (EUTR)

Als Beitrag zum globalen Schutz der Wälder und Bekämpfung des illegalen Holzeinschlags wurde im März 2013 die Europäische Holzhandelsverordnung (EUTR) in Kraft gesetzt. Sie verbietet den Import und den Handel mit illegal eingeschlagenem Holz und verpflichtet alle Marktteilnehmer, die erstmalig Holz oder Holzprodukte in die Europäische Union einführen, bestimmte Sorgfaltspflichten einzuhalten. Dazu gehören unter anderem Informationspflichten zur Art und Herkunft des Holzes. Die eindeutige Bestimmung der Holzarten ist auch in Bezug auf die Bewertung der Produkteigenschaften (Verbraucherschutz) von großer Bedeutung, da in zunehmendem Maße minderwertige Austauschhölzer verarbeitet und eingeführt werden. Zeitgleich mit dem Inkrafttreten der EUTR wurde das Thünen-Kompetenzzentrum Holzherkünfte gegründet, das täglich Anfragen auf den Gebieten Holzartenbestimmung und genetischer Art- und Herkunftsnachweis bearbeitet (**Publikation III**). Im Jahr 2018 wurden insgesamt 1391 offizielle Aufträge (ca. 20.000 Prüfmuster/Einzelproben) holzanatomisch untersucht. Die Anfragen kommen im Wesentlichen aus dem Bereich des Holzhandels (1098), der EUTR-Kontrollbehörden (214) und darüber hinaus den NGOs und privaten Haushalten. Aufgrund der geringen Anzahl von Instituten mit einem vergleichbaren spezialisierten Arbeitsschwerpunkt auf dem Gebiet der Holzartenidentifizierung sowie einer Zunahme an Nachfragen von etwa 30 % pro Jahr (Stand Ende 2018) gilt das Thünen-Institut auf diesem Gebiet als weltweit führend. Auf der Grundlage von Auswertungen der Untersuchungsberichte von über sechs Jahren können zudem Veränderungen auf dem europäischen

Holzmarkt mit Blick auf die Mengenanteile diverser Produktgruppen (Massivholz, Holzwerkstoffe, Karton und Papier) und die verwendeten Holzarten erfasst und dokumentiert werden. In diesem Kontext zeigt eine Untersuchung aus dem Jahr 2018, dass in zunehmendem Maße Holzwerkstoffe wie Sperrhölzer und Faserplatten sowie Papierproben für die Bestimmung der verwendeten Hölzer an das Kompetenzzentrum geschickt werden.

Die klassische Holzartenidentifizierung erfolgt neben der makroskopischen Untersuchung von Holz auf Basis lichtmikroskopischer Analysen. Für die Untersuchung von Massivhölzern werden hierfür an einem Mikrotom Dünnschnitte von etwa 20 µm der drei anatomischen Hauptrichtungen des Holzes (quer, radial und tangential) hergestellt, die dann auf einem Objektträger fixiert werden. Unter dem Lichtmikroskop können die Hölzer dann anhand von ca. 100 anatomischen Strukturmerkmalen verglichen und gattungs- bzw. artgenau identifiziert werden. Für bestimmte Produktgruppen wie beispielsweise Faserplatten (MDF), Papier und Holzkohle ist diese Form der Holzartenidentifizierung jedoch nicht einsetzbar; hierfür wurden am Thünen-Institut spezielle analytische und mikroskopische Methoden der Artenidentifizierung weiterentwickelt (Helmling *et al.* 2018).

Für die Holzartenbestimmung an Faserplatten und Papier werden Mazerate hergestellt, die eine Untersuchung der verarbeiteten Holzarten erlauben. In den Mazeraten können nur noch einzelne Zellelemente für die Bestimmung der Hölzer verwendet werden, da der Gewebeverbund bei der Präparation vollständig aufgelöst wird. Eine Unterscheidung der Laubhölzer ist nur anhand der Gefäßzellen möglich, da die mazerierten Fasern und Speicherzellen (Parenchym) keine signifikanten Differenzierungsmerkmale zeigen. Im Rahmen eines von der DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) finanzierten Forschungsprojektes konnten am Thünen-Institut erstmalig die erforderlichen Referenzen (Beschreibung und Illustrierung diagnostischer Strukturmerkmale für Gefäßelemente) von 25 wichtigen tropischen Wirtschaftsbaumarten aus Südostasien ausgearbeitet werden (Helmling *et al.* 2018). Die ersten Erfahrungen (Stand 2017) hierzu werden ausführlich in **Publikation IV** dargestellt und diskutiert. Darüber hinaus wurde 2016 erstmalig eine neue Methode (Haag *et al.* 2017) der mikroskopischen Analyse von Holzkohle und Brikettfragmenten angewendet.

4.3.2 Untersuchung von international gehandelter Holzkohle und Briketts

Für die Bestimmung von Holzkohle und Briketts wurde am Kompetenzzentrum erstmals eine spezielle 3D-Auflichtmikroskopie-Technik verwendet, um die charakteristischen anatomischen Strukturmerkmale darstellen zu können. Im Vergleich zur mikroskopischen Bestimmung von

Massivhölzern oder Holzwerkstoffen, wie oben beschrieben, können von Holzkohle und Brikettfragmenten keine ebenen (planen) Schnittpräparate hergestellt werden, da das Gewebe durch den Verkohlungsprozess stark komprimiert wird und sehr spröde ist. Durch die Umwandlung von mikroskopischen 3D-Scans in zweidimensionale Strukturabbildungen können mit Hilfe der neuen digitalen Mikroskopietechnik Oberflächen und Bruchebenen von Holzkohle und Brikettfragmenten untersucht und die hierbei erstellten hochauflösenden Bilder für die Holzartenidentifizierung genutzt werden. In **Publikation V** wird die Anwendung der 3D-Auflichtmikroskopie-Technik erstmalig beschrieben. Weiterhin werden die Ergebnisse der ersten Untersuchungen von Holzkohle- und Brikettsortimenten aus den Jahren 2016-2017 vorgestellt und diskutiert.

Im Jahr 2017 führte eine umfangreiche Prüfung der Produkt- und Herkunftsdeklarationen von 40 Holzkohle- und Brikettsortimenten aus Deutschland zu großem medialen Interesse. Die Untersuchungen erfolgten im Auftrag und mit begleitenden Recherchen durch den WWF (World Wide Fund for Nature) und lieferten u.a. wichtige Erkenntnisse zum Verständnis internationaler Handelsströme von Holzkohle und Briketts.

Besonders überraschend waren in diesem Kontext der hohe prozentuale Anteil von Holzkohlesortimenten ohne Deklarationen der verwendeten Arten oder Herkunftsangaben und der hohe Anteil von verarbeiteten Hölzern aus subtropischen und tropischen Verbreitungsgebieten.

Die Ergebnisse zeigten dass:

- a. ca. 50 % der in Deutschland gehandelten und untersuchten Sortimente keine Angaben zu den verwendeten Hölzern oder Baumarten enthalten,
- b. lediglich 30 % der gehandelten Holzkohle und Holzkohlenbriketts aus zertifizierten Quellen (FSC oder PEFC) stammen,
- c. ca. 40 % der in Deutschland gehandelten Sortimente vorwiegend Hölzer aus subtropischen oder tropischen Regionen enthalten und davon etwa 75 % ausschließlich aus subtropischen oder tropischen Hölzern bestehen und es sich bei 25 % um Beimischungen zu Hölzern aus gemäßigten Breiten handelt.

Vergleichbare Untersuchungen wurden im Zeitraum 2016-2019 neben weiteren jährlichen Untersuchungen in Deutschland zudem von Sortimenten aus Frankreich, Norwegen, Österreich, Belgien, England und der Schweiz durchgeführt. Insgesamt wurden am Thünen-Institut seit 2016 über 500 einzelne Sortimente Holzkohle untersucht und nahezu 10.000 einzelne mikroskopische Untersuchungen an Holzkohlefragmenten durchgeführt.

Die Einteilung der Hölzer und Holzprodukte, die unter die EUTR fallen, richtet sich nach der „Kombinierten Nomenklatur“, die im Zolltarifrecht angewendet wird. Holzkohle und Briketts werden hier bisher nicht aufgeführt und unterliegen somit nicht den EUTR-Sorgfaltspflichten. Aufgrund des medialen Interesses und Publikationen, die auf den Einfluss von Holzkohle aus illegalen Quellen auf den europäischen Markt hinweisen (Wyatt 2012), wird aktuell auch von politischer Seite gefordert, Holzkohle und Briketts in die EUTR-Kontroll-Liste mit aufzunehmen (u.a. Beschluss des Deutschen Bundesrates vom Sept. 2019).

4.3.3 Die Auswirkungen von CITES auf den Holzhandel

In Publikation VI werden die praktischen Auswirkungen der CITES-Listungen der Holzartengruppen Palisander (*Dalbergia* spp.) und Bubinga (*Guibourtia* spp.) aufgezeigt und diskutiert. Seit Veröffentlichung der CITES-Listungen für diese wichtigen Handelshölzer, die am 4. Februar 2017 in Kraft getreten sind, erhielt das Thünen-Institut für Holzforschung regelmäßige Anfragen von deutschen Kontrollbehörden (Zoll und Umweltbehörden der Länder) speziell für die Überprüfung von Musikinstrumenten und Möbeln. Die aktuellen Listungen umfassen nun die gesamten - über 250 Arten - der Gattung *Dalbergia* = Palisander und das Handelssortiment Bubinga mit den drei botanischen Arten *Guibourtia demeusei*, *G. tessmannii* und *G. pellegriniana*. Die mit den CITES-Listungen verbundenen hohen Anforderungen an die Dokumentations- und Buchführungspflichten (incl. der Kosten) werden seitdem in der Branche des Musikinstrumentenbaus intensiv und teilweise kontrovers diskutiert.

Um den Einfluss der CITES-Listungen auf den Musikinstrumentenbau und -handel zu dokumentieren, wurden im April 2017 und April 2018 insgesamt ca. 300 neugefertigte Gitarren auf die verarbeiteten Holzarten hin untersucht. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Verwendung von Palisanderarten bereits in 2017 stark zurückgegangen ist (genaue Zahlen hierzu sollen im Laufe des Jahres 2020 in einem geplanten Fachzeitungsartikel sowie in einer wissenschaftlichen Publikation veröffentlicht werden). Auf der Grundlage der bisherigen Untersuchungen kann aber bereits deutlich festgestellt werden, dass die geschützten Palisander-Arten durch Hölzer der nachfolgend definierten Substitutionsgruppen ersetzt werden.

Substitutionsgruppe 1 - Tropenhölzer, die derzeit keinem CITES-Schutz unterliegen

Die Auswertungen der Begutachtungen für den Bereich der Gitarrengriffbretter zeigen deutlich, dass für die Herstellung der Griffbretter überwiegend Ebenhölzer (44 % der untersuchten Instrumente) verwendet werden. Im Vergleich dazu beträgt der Anteil der Griffbretter aus Palisander „nur noch“

18 % und hat, basierend auf Erhebungen und Erfahrungen aus den Vorjahren, deutlich abgenommen. Vor der Listung der Gattung *Dalbergia* wurden die Griffbretter hochwertiger Gitarren überwiegend (>50 %) aus Palisander-Hölzern (überwiegend *Dalbergia latifolia*) hergestellt, so dass eine signifikante Verschiebung in Bezug auf die Verwendung von Ebenholz festgestellt werden kann. Darüber hinaus kann eine deutliche Zunahme von bisher weniger bekannten tropischen Holzarten wie *Guibourtia ehie* (Ovengkol) und *Machaerium* spp. (Santos Palisander) beobachtet werden.

Substitutionsgruppe 2 - Heimische Hölzer aus Herkünften gemäßigter Breiten

Auffallend hoch ist zudem der Anteil an „heimischen Hölzern“ aus Herkünften gemäßigter Verbreitungsgebiete. Neben Eiche (*Quercus robur*), Erle (*Alnus glutinosa*), Olivenholz (*Olea europaea*) und Esche (*Fraxinus excelsior*) für den Bau von Zargen und Böden werden häufig das harte Pflaumenholz (*Prunus domestica*) und die Robinie (*Robinia pseudoacacia*) für die Herstellung von Griffbrettern verwendet.

Substitutionsgruppe 3 - Modifizierte Hölzer

Der Einsatz modifizierter Hölzer ist bereits aus dem historischen Musikinstrumentenbau bekannt und wird zahlreich in der Literatur dokumentiert (Fontana *et al.* 1999). Die beschriebene Einlagerung von Rohhölzern in öligen Tinkturen und Jauchegruben (Reaktion mit Ammoniak) wird heute durch die Anwendung modernster technischer Verfahren ersetzt. Ziel ist es, das Holz so zu verändern, dass die technischen und akustischen Eigenschaften etablierter Tropenhölzer im Musikinstrumentenbau erreicht werden. Hierbei dominieren die Verfahren zur Modifikation der Resonanzeigenschaften von Tonhölzern für Böden und Zargen und die Modifikation der Festigkeiten von Hölzern für Griffbretter. Für eine Anpassung bzw. Verbesserung der Resonanzeigenschaften wird derzeit häufig die thermische Modifikation gewählt. Durch die thermische Behandlung wird das Holz einem „Alterungsprozess“ unterzogen, der sich positiv zugunsten der Klangeigenschaften auswirkt (Gadd, und D´Arcy 1986; Wagenführ *et al.* 2005, 2006). Zur Substitution harter bzw. abriebfester Hölzer, wie v.a. Palisander und Ebenholz, wird derzeit häufig eine Methode mit kombinierter Ammoniakbehandlung und Zellkompression angewandt, Ergebnis ist das sog. „*Densified Wood*“ (Paril P *et al.* 2014).

Wie am Beispiel des Gitarrenbaus gezeigt werden kann, hat die CITES-Listung v.a. von Palisander (*Dalbergia* spp.) zu massiven Änderungen in Bezug auf die Auswahl und Verwendung der Hölzer geführt. Generell kann die Substitution bestimmter Tropenhölzer als Gewinn für die Branche interpretiert werden, da mitunter neue Produktgruppen generiert wurden und für heimische Hölzer alternativ durch Modifikation ein neues Nutzungsfeld entstanden ist. Die Substitution von CITES-

geschützten Arten durch andere Tropenhölzer sollte jedoch mit Augenmaß vorgenommen werden, da die oben aufgeführten Hölzer, wie z.B. Ovengkol oder Santos Palisander, ebenfalls „seltene“ Tropenhölzer sind. Ihr Handel sollte in jedem Fall sorgfältig überprüft und eine potentielle schnelle Übernutzung verhindert werden.

6. Literaturverzeichnis

ASTM (American Society for Testing Materials). 1981. Standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. ASTM D-2017-71 (Re-approved 1978), Annual Book of ASTM Standards, Part 22, Philadelphia, pp 639-645.

Adamopoulos S, Voulgaridis E, Passialis C. 2005. Variation of certain chemical properties within the stemwood of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). Holz als Roh- und Werkstoff 63 (5): 327-333. DOI: 10.1007/s00107-005-0018-3.

Ashton, P. 1998. *Shorea waltoni*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T33437A9784340. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T33437A9784340.en>. (online 23.10.2019).

Bao F, Jiang Z, Jiang XM, Lu XX, Luo XQ, Zhang SY. 2001. Differences in wood properties between juvenile wood and mature wood in 10 species grown in China. Wood Science and Technology 35(4): 363-375. DOI: 10.1007/s002260100099.

Barefoot AC, Traywick JD. 1971. Mechanical and related properties of Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*). Wood Science 3(4): 245-253.

Barghoorn ES. 1941. The ontogenetic development and phylogenetic specialisation of rays in the xylem of dicotyledons. II. Modification of the multiseriate and uniseriate rays. American Journal of Botany 28(4): 273-282.

Bastin JF, Finegold Y, Garcia C, Mollicone D, Rezende M, Routh D, Zohner CM, Crowther TW. 2019. The global tree restoration potential. Science 365(6448):76–79.

Bauch J, Schweers W, Berndt H. 1974. Lignification during heartwood formation: Comparative study of rays and bordered pit membranes in coniferous woods. Holzforschung 28 (3): 86-91.

Bauch J. 1980. Variation of wood structure due to secondary changes. In: Mitteilungen der BFH 131, Hamburg, 69-97.

Bailey IW, Vestal MR. 1937. The orientation of cellulose in the secondary wall of tracheary cells. J. Arnold Arboretum 18 (3): 185-195.

Beech E, Rivers M, Oldfield S, Smith PP. 2017. GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions, Journal of Sustainable Forestry 36(5): 454-489. DOI: 10.1080/10549811.2017.1310049.

- Bendtsen BA. 1978. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Products Journal* 28 (10): 61–72.
- Bendtsen BA, Senft J. 1986. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. *Wood Fibre Science* 18(1): 23-3.
- Bendtsen BA, Maeglin RR, Deneke F. 1981. Comparison of mechanical and anatomical properties of eastern cottonwood and *Populus* hybrid NE-237. *Wood Science* 14 (1): 1-15.
- Blohm JH, Melcher E, Lenz MT, Koch G, Schmitt U. 2014. Natural durability of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) heartwood grown in southern Germany. *Wood Material Science and Engineering* 9(3): 186-191.
- Blohm JH, Evans R, Koch G, Schmitt U. 2016. Identification and characterisation of Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) juvenile and adult wood grown in Southern Germany. *Drewno* 59 (197): 41-47. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.C01.05.
- Bodos V, Julia S. 2019. *Shorea praestans*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T31925A125823985. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T31925A125823985.en>. (online 23.10.2019).
- Boerjan W, Ralph J, Baucher M. 2003. Lignin biosynthesis. *Annual Review of Plant Biology* 54: 519–546.
- Bonham VA, Barnett JR. 2001. Fibre length and microfibril angle in Silver birch (*Betula pendula* Roth) *Holzforschung* 55(2): 159-162.
- Brown N, Jennings S, Clements T. 2003. The ecology, silviculture and biogeography of mahogany (*Swietenia macrophylla*): a critical review of the evidence. *Perspect Plant Ecol Evol Syst.* 6(1): 37–49.
- Burdon RD, Kibblewhite RP, Walker JCF, Megraw RA, Evans R, Cown DJ. 2004. Juvenile versus mature wood: A new concept, orthogonal to corewood versus outerwood, with special reference to *Pinus radiata* and *P. taeda*. *Forest Science* 50 (4): 399-415. DOI: 10.1093/forestscience/50.4.399.
- Burgert I, Eckstein D. 2001. The tensile strength of isolated wood rays of beech (*Fagus sylvatica* L.) and its significance for the biomechanics of living trees. *Trees* 15 (3): 168-170.
- Burgert I, Bernasconi A, Niklas KJ, Eckstein D (2001) The influence of rays on the transverse elastic anisotropy in green wood of deciduous trees. *Holzforschung* 55 (5): 449-454.

Literaturverzeichnis

- Bosshard HH. 1967. Über die fakultative Farbkernbildung. Holz als Roh- und Werkstoff 25 (11): 409-416.
- Boyd JD. 1980. Relationships between 1 fibre morphology, growth strains and physical properties of wood. Australian Forest Research 10(4): 337-360.
- Carlquist S. 1985. Wood anatomy of Begoniaceae, with comments on raylessness, paedomorphosis, relationships, vessel diameter, and ecology. Bull. Torrey Bot. Club 112: 59-69.
- Carlquist S. 2001. Comparative wood anatomy. Systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicoty-ledon wood, 2nd edition. Berlin: Springer-Verlag.
- Cave ID. 1968. The anisotropic elasticity of the plant cell wall. Wood Science and Technology 2 (4): 268-278.
- Chow P, Rolfe GL, Shupe TF. 1996 Some chemical constituents of ten-year-old American sycamore and black locust grown in Illinois. Wood Fiber Science 28(2): 186-.
- CIRAD-FORÊT 2017. Tropix 7, Fiches techniques Version 7.5.1. <https://tropix.cirad.fr/en/technical-sheets-available>. Konsultiert 06.2019 for Tornillo/Mongo/Light Red Meranti/Dark Red Meranti.
- Dackerman U, Elsener R, Li J, Crews K. 2016. A comparative study of using static and ultrasonic material testing methods to determine the anisotropic material properties of wood. Construction and Building Materials 102 (2): 963–976. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.195>
- Darmawan W, Nandika D, Kartikasari R, Sitompul A, Rahyuu I, Gardner D. 2015. Juvenile and mature wood characteristics of short and long rotation IAWA Journal 36 (4): 429-443.
- Davidson C. 1976. Anatomy of xylem and phloem of the Datisceae. Natl. Hist. Mus. Los Angeles County Contrib. Sci. 280 (1): 1-28.
- Deutsches Institut für Normung e. V., DIN. 1976-09 DIN 52182: Prüfung von Holz - Bestimmung der Rohdichte (Testing of wood - determination of density), Beuth Verlag, Berlin.
- Deutsches Institut für Normung e. V., DIN. 1979-05 DIN 52184: Prüfung von Holz - Bestimmung der Quellung und Schwindung (Testing of wood - determination of swelling and shrinkage). (Beuth Verlag, Berlin).
- DIN EN 350 - European Committee for Standardization 2016. Durability of wood and wood based products - Testing and classification of the natural durability to biological agents of wood and wood-based products. Beuth Verlag, Berlin.

Literaturverzeichnis

Donaldson LA, Frankland A. 2004. Ultrastructure of iodine treated wood. *Holzforschung* 58(3): 219-225.

Donaldson L. 2007. Cellulose microfibril aggregates and their size variation with cell wall type. *Wood Science and Technology* 41(5): 443-460.

Donaldson L. 2008. Review - Microfibril angle: measurement, variation and relationships - A Review. *IAWA Journal* 29 (4): 345-386. DOI: 10.1163/22941932-90000192.

Downes G, Harwood C, Washusen R, Ebdon N, Evans R, White D, Dumbrell I .2014. Wood properties of *Eucalyptus globulus* at three sites in Western Australia: effects of fertiliser andplantation stocking. *Australian Forestry* 77 (3-4): 179-188.

Dünisch O, Richter HG, Koch G. 2010. Wood properties of juvenile and mature heartwood in *Robinia pseudoacacia* L. *Wood Science and Technology* 44(2): 301-313. DOI: 10.1007/s00226-009-0275-0

European Committee for Standardization, CEN. 2005. CEN/TS 15083-1: Durability of wood and wood-based Products - Determination of the natural durability of solid wood against wood-destroying fungi, test methods - Part 1: Basidiomycetes; German version.

European Committee for Standardization, CEN. 2016 EN 350: Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials; German version.

European Committee for Standardization, CEN. 1994 EN 350-1: Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood - Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood; German version

Evans R. 1999. A variance approach to the x ray diffractometric estimation of microfibril angle in wood. *Appita Journal* 52 (4): 283-289, 294.

Evans R, Ilic J. 2001. Rapid prediction of wood stiffness from microfibril angle and density. *Forest Products Journal* 51 (3): 53-57.

Erickson HD, Arima T. 1974. Douglas-fir wood quality studies. *Wood Science and Technology* 8(3): 207–265.

Fehlenberg V, Baumann M, Gasparri NI, Piquer-Rodríguez M, Gavier-Pizarro GI, Kuemmerle T. 2017. The role of soybean production as an underlying driver of deforestation in the South American Chaco. *Global Environmental Change* 45:24-35. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2017.05.001.

Literaturverzeichnis

- Ferreira AL, Severo D, Calonego FW, 2011. Determination of fibre length and juvenile and mature wood zones from *Hevea brasiliensis* trees grown in Brazil. *Holz als Roh- und Werkstoff* 69 (4): 659-662.
- Fergus BJ, Goring DAI. 1970. The location of guaiacyl and syringyl lignins in birch xylem tissue. *Holzforschung* 24 (4): 113-117. DOI: 10.1515/hfsg.1970.24.4.113.
- Finer M, Jnkns CN, Blue Sky MA, Pine J. 2014. Logging Concessions Enable Illegal Logging Crisis in the Peruvian Amazon. *Scientific Reports* 4: 4719; DOI:10.1038/srep04719.
- Foerster R, Albrecht H, Belisle M, Caballero A, Galetti H, Lacayo O, Ortiz S. 2003. *Forest communities and the marketing of lesser-known tropical hardwoods in Mesoamerica*. ISBN 968-7864-47-8 Impreso en México, D.F.
- Fontana E, Hellwig F, Martius K. 1999. Historische Lacke und Beizen, auf Musikinstrumenten in deutschsprachigen Quellen bis 1900. Verlag des Germanischen Nationalmuseums, Nürnberg.
- Fukazawa K. 1983. Juvenile wood of hardwoods. IUFRO Cof Div 5 Madison, Wisconsin, 6 pp.
- Fukazawa K. 1984. Juvenile wood of hardwoods judged by density variation. *IAWA Bull. n.s.* 5 (1): 65-73. DOI: 10.1163/22941932-90000861.
- Franklin GL. 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new maceration method for wood. *Nature* 155 (3924): 51.
- Fricke W. 2017. Review: Water transport and energy. *Plant Cell and Environment* 40 (6): 977-994. DOI: 10.1111/pce.12848.
- Gadd Ch, D`Arcy J. 1986. On the effect of heat treatment upon acoustic properties of spruce. *Journal of Violin Society of America* 7 (4): 157-166.
- Goldschmid, O. 1971. Ultraviolet spectra. In: *Lignins, Occurrence, Formation, Structure and Reactions*. Wiley Interscience, New York. ISBN: 0471754226.
- Gullison RE, Panfil SN, Strouse JJ, Hubbell SP. 1992. Regeneración natural de la mara (*Swietenia macrophylla*) en el bosque chimanes, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, No. 19: 43-56.
- Gullison RE, Panfil SN, Strouse JJ, Hubbell SP. 1996. Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in the Chimanes Forest, Beni, Bolivia. *Botanical Journal of the Linnean Society* 122 (1): 9–34.

- Grogan J, Jennings SB, et al. 2008. What loggers leave behind: Impacts on big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) commercial populations and potential for post-logging recovery in the Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 255(1):269–281.
- Grossheim, C. 2011. Forest Concessions in Peru. In *Silviculture in the Tropics* (pp. 53-60). Springer, Berlin, Germany.
- Günter S, Weber M, Stimm B, Mosandl R. 2011. *Silviculture in the Tropics, Tropical Forestry* 8, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- Haag V, Koch G, Kaschuro S. 2017. Womit grillen wir da eigentlich? Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass viele Chargen zumindest fehlerhaft deklariert sind. *Holz-Zentralblatt* 143 (38): 876.
- Haag V, Koch G, Richter HG, Evans R, Silva Guzmán JA, Schmitt U. 2019. Wood anatomical and topochemical analyses to characterize juvenile and adult wood of lesser-known species from Central America (Mexico). *IAWA Journal* 40 (4): im Druck.
- Haag V, Koch G, Melcher E, Welling J. 2020. Characterization of the wood properties of *Cedrelinga cateniformis* (Tornillo, Cedrorana) as substitute for timbers used for window manufacturing and outdoor applications. *Ciencia y Tecnología* 22 (1): im Druck.
- Hall, J. 2008. Seed and seedling survival of African mahogany (*Entandrophragma* spp.) in the Central African Republic: implications for forest management. *Forest Ecology and Management*. 255 (2): 292–299.
- Hall, J. 2011. Natural Forest Silviculture for Central African Meliaceae. In *Silviculture in the Tropics* (pp. 219-225). Springer, Berlin, Germany.
- Hapla F, Saborowski J. 1987. Stichprobenplanung für holzanatomische Untersuchungen. *Holz als Roh- und Werkstoff* 45 (4): 141–144. DOI: 10.1007/BF02627564.
- Harris JM, Meylan BA. 1965. The influence of microfibril angle on longitudinal and 45 tangential shrinkage in *Pinus radiata*. *Holzforschung* 19 (5): 144-153.
- Haupt M, Leithoff H, Meier D, Richter HG, Faix O. 2003. Heartwood extractives and natural durability of plantation-grown teakwood (*Tectona grandis* L.) - a case study. *Holz als Roh- und Werkst.* 61: 473–474.

Hawthorne, W. 1998. *Entandrophragma cylindricum*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T33051A9753619.<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T33051A9753619.en>.

Downloaded on 04 September 2019.

Hein PRG, Lima JT. 2012. Relationships between microfibril angle, modulus of elasticity and compressive strength in Eucalyptus wood. *Maderas.Ciencia y tecnología*, 14(3): 267-274.

Helmling S, Olbrich A, Heinz I, Koch G. 2018. Atlas of vessel elements: Identification of Asian timbers. *IAWA Journal* 39 (3): 249-352. DOI: 10.1163/22941932-20180202.

Heriansyah I, Miyakuni K, Kato T, Kiyono Y, Kanazawa Y. 2007. Growth characteristics and biomass accumulations of acacia mangium under different management. *Practices in indonesia Journal of Tropical Forest Science* 19(4): 226–235.

Hillis WE. 1985. Biosynthesis of tannins. In: Higuchi T (ed) *Biosynthesis and biodegradation of wood components*. Academic Press, Orlando, 325-347.

Hillis WE. 1987. *Heartwood and tree exudates*. Springer-Verlag, New York, pp. 268.

Hillis WE. 1996. Formation of robinetin crystals in vessels of *Intsia* species. *IAWA Journal* 17 (4): 405-419. DOI: 10.1163/22941932-90000637.

Hillis, W. E. 1998. Deposits in heartshakes in wood – Part 1. Different types. *Wood Science and Technology* 32 (2): 129–137.

Hillis WE, Evans R, Washusen R. 2004. An unusual formation of tension wood in a natural forest *Acacia* sp. *Holzforschung* 58 (3): 241-245.

Hirschberger P, Winter S, 2018. Die schwindenden Wälder der Welt - Zustand, Trends und Lösungswege. WWF-Waldbericht 2018.

Hori R, Suzuki H, Kamiyama T, Sugiyama J. 2003. Variation of microfibril angles and chemical composition: Implications for functional properties. *Journal of Material Science. Lett.* 22 (13): 963-966.

Hotz H, Guarín A López S, Drayer A, Stappert N. 2014. Fact sheet: Estimating the Economic Value of Peru's Forest Sector - Beyond Conventional Wisdom.

IAWA Committee. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin* n.s. 10 (3): 221–332.

Inada T, Widiyatno, Hardiwitono S, Purnomo S, Putra IBW, Kitajima K, Kanzaki M. 2017. Dynamics of forest regeneration following logging management in a bornean lowland dipterocarp forest. *Journal of Tropical Forest Science* 29 (2): 185–197.

Ilvessalo-Pfäffli, M.S. (1995): *Fiber atlas: identification of papermaking fibres*. Springer, Berlin-Heidelberg, p. 351.

International Organization for Standardization; ISO. 2014 ISO 13061-2: Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 2: Determination of density for physical and mechanical tests. Genf, Swiss.

International Organization for Standardization; ISO. 2014 ISO/FDIS 13061-13 Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 13: Determination of radial and tangential shrinkage. Genf, Swiss.

Jacobs K, Plaschkies K, Scheiding W, Weiß B, Melcher E, Conti E, Fojutowski A, Le Bayon I. 2019. Natural durability of important European wood species against wood decay fungi. Part 2: Field tests and fungal community. *Int Biodeterior Biodegradation* 137 : 118-126.

Kantola M, Seitsonen S. 1961. X-Ray orientation investigations on Finnish conifers. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae. A-VI Phys.* 80 (1): 1-15.

Katz JL, Spencer P, Wang Y, Misra A, Marangos O, Friis L. 2008. On the anisotropic elastic properties of woods. *Journal of Materials Science* 43 (1): 139–145.

Kasongo Yakusu E, Louppe D, Monthe FS, Hardy O J, Mbele Lokanda FB, Hubau W, Van Den Bulcke J, Van Acker J, Beeckman H, Bourland N. 2019. Enjeux et amélioration de la gestion des espèces du genre *Entandrophragma*, arbres africains devenus vulnérables. *Bois et Forêts des Tropiques*, 339 : 75-94. Doi : <https://doi.org/10.19182/bft2019.339.a31717>.

Khan S. 1980. Studies on the seasonal activity of vascular cambium and secondary phloem in some Myrtaceae. PhD thesis, Aligarh Muslim Univ., Aligarh, India.

Kiaei M, Bakshi R, Veylaki S. 2012. Determination of fiber length and juvenile and mature wood zones in *Acer velutinum* Boiss. trees grown in Iran. *Forest Studies in China* 14 (4): 323–326.

Kibblewhite RP, Evans R, Riddell MJC, Shelbourne CJA. 2004. Changes in density and wood-fibre properties with height position in 15/16-year-old *Eucalyptus nitens* and *Eucalyptus fastigata*. *Appita Journal* 57 (3): 240-247.

- Kleist G, Schmitt U. 1999. Evidence of accessory compounds in vessel walls of Sapelli heartwood (*Entandrophragma cylindricum*) obtained by transmission electron microscopy. Holz als Roh- und Werkstoff 57 (2): 93-95. DOI: 10.1007/PL00002633.
- Koch G, Kleist G. 2001. Application of scanning UV microspectrophotometry to localise lignins and phenolic extractives in plant cell walls. Holzforschung 55 (6): 563-567. DOI: 10.1515/HF.2001.091.
- Koch G, Bauch J, Puls J. 2003. Topochemical characterisation of phenolic extractives in discoloured bee-chwood (*Fagus sylvatica* L.). Holzforschung 57 (4): 339-345. DOI: 10.1515/HF.2003.051.
- Koch G, Grünwald C. 2004. Application of UV microspectrophotometry for the topochemical detection of lignin and phenolic extractives in wood fibre cell walls. In Wood fibre cell walls: method to study their formation, structure and properties. In: U Schmitt (ed.). COST Action E20 book. pp 119-130. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Sweden.
- Koch G, Richter HG, Schmitt U. 2006. Topochemical investigation on phenolic deposits in the vessels of afzelia (*Afzelia* spp.) and merbau (*Intsia* spp.) heartwood. Holzforschung 60 (6): 583-588. DOI: 10.1515/HF.2006.099.
- Koch, G. 2006. Die wichtigsten Hölzer für den GaLABau. DEGA – Deutscher Gartenbau 60, Heft 27, 14-16.
- Koch G, Rehbein M. 2009. Hölzer für den Fensterbau – Kennwerte und Eigenschaften neu eingeführter Hölzer. Holztechnologie 5 (6): 5-9.
- Koch G, Stienen T. 2009. Holzarten eingeführter Holzprodukte aus Asien – Vielfalt der verwendeten Holzarten wird immer größer. Holz-Zentralblatt 135 (24): 620-621.
- Koch G, Richter HG, Schmitt U. 2011. The database CITESwoodID – Computer-aided identification and description of CITES-protected trade timbers. IAWA Journal 32 (2): 213-220.
- Koch G, Schmitt U. 2013. Topochemical and electron microscopic analyses on the lignification of individual cell wall layers during wood formation and secondary changes. In: J. Fromm (ed.): Cellular aspects of wood formation: 41-69. Plant Cell Monographs 20, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Koch G. 2015. Kontrolle importierter Hölzer - Ein Beitrag zum Wald- und Verbraucherschutz. In: C. Feest und C. Kron: (Herausgeber). Regenwald, Theiss, S. 278-279.
- Koch G, Haag V, Heinz I, Richter H-G. 2016. Die Europäische Holzhandelsverordnung (EUTR): Anforderungen an die Holzartenbestimmung in der Praxis. Holztechnologie 57 (1): 5-11.

Literaturverzeichnis

- Koch, G. 2016. Rotes Meranti für den konstruktiven Fensterbau. In: Rotes Meranti aus Malaysia für den Einsatz im Fensterbau. Kuala Lumpur: Malaysian Timber Council, pp 10-11.
- Koch G, Haag V, Heinz I, Richter HG. 2016. Die Europäische Holzhandelsverordnung (EUTR); Anforderungen an die Holzartenbestimmung in der Praxis The European Timber Regulation (EUTR) Requirements on wood identification in practice. Holztechnologie 57 (1): 5-11.
- Koch G, Haag V, Helmling S, Heinz I, Olbrich A. 2017. Fasern im Fokus: Holzartenbestimmung von Faserplatten - Erfahrungen aus den Prüfungen im Kontext der EUTR. MDF Magazin & Co: 86-88.
- Koch G, Haag V (2017) Viele Anfragen zu Bubinga und Palisander: Auswirkungen der neuen CITES-Listungen wichtiger Wirtschaftsbaumarten für die Holzverwendung und den Holzhandel. Holz-Zentralblatt 143 (13): 313.
- Kretschmann DE, Alden HA, Verrill S. 1998. Variations of microfibril angle in loblolly pine: Comparison of iodine crystallization and X-ray diffraction techniques. In: B.G. Butterfield (ed.), Microfibril angle in wood. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand. Pp. 157-176.
- Lewis SL, Wheeler CE, Mitchard ETA, Koch A. 2019. Regenerate natural forests to store carbon. Nature Vol. 568 (7750) p. 25-28.
- Lichtenegger H, Reiterer A, Stanzl-Tschegg S, fratzl P. 1999. Variation of cellulose microfibril angles in softwoods and hardwoods - A possible strategy of mechanical optimization. Journal of Structural Biology 128 (3): 257–269.
- Lima JT, Breese MC, Cahalan CM. 2004. Variation in microfibril angle in *Eucalyptus* clones. Holzforschung 58 (2): 160-166.
- Magel EA, Claudot AC, Drout A, Ziegler H. 1991. Formation of heartwood substances in the stem of *Robinia pseudoacacia* L. I. Distribution of phenylamine ammonia-lyase and chalcone synthase across the trunk. Trees 5 (4): 203-207.
- Magel EA, Höll, W. 1993. Storage Carbohydrates and adenine nucleotides in trunks of *Fagus sylvatica* L. in relation of discoloured wood. Holzforschung 47(1) 19-24.
- Magel EA. 2000. Biochemistry and physiology of heartwood formation. In: Savidge R, Barnett J, Napier R. (Eds). Cell and molecular biology of wood formation. Oxford, Bios., p. 363-376.
- Meylan 1967. Measurement of microfibril angle by X-ray diffraction. Forest Products Journal 17 (5): 51-58.

Literaturverzeichnis

- Meyer L, Brischke C, Melcher E, Brandt K, Lenz MT, Soetbeer A. 2014. Durability of English oak (*Quercus robur* L.) - Comparison of decay progress and resistance under various laboratory and field conditions. *International Biodeterioration and Biodegradation* 86 (Part B): 79-85.
- Ministerio del Ambiente (MINAM) & Ministerio de Agricultura (MINAG) (2011). *El Perú de los Bosques*.
- Moore JR, Cown DJ. 2017. Corewood (Juvenile Wood) and Its Impact on Wood Utilisation. *Wood structure and function. Current Forestry Reports* 3 (2): 107–118.
- Morland C, Schier F, Janzen N, Weimar H. 2018. Supply and demand functions for global wood markets: Specification and plausibility testing of econometric models within the global forest sector. *Forest Policy and Economics* 92:92-105, DOI:10.1016/j.forpol.2018.04.003.
- Musha Y, Goring DAI. 1975. Distribution of syringyl and guaiacyl moieties in hardwoods as indicated by ultraviolet microscopy. *Wood Science and Technology* 9 (1): 45-58. DOI: 10.1007/BF00351914
- Niemz P, Wagenführ A. (2012). *Werkstoffe aus Holz. Taschenbuch der Holztechnik*, 2.
- Obara P. 2018. Verification of Orthotropic Model of Wood. *Archives of Civil Engineering* 64 (3): 31-44.
- Ozyhar T, Hering S, Niemz P. 2013. Moisture-dependent orthotropic tension-compression asymmetry of wood. *Holzforschung* 67 (4): 395–404.
- Palermo GP de M, de F Latorraca JV, de Carvalho AM, Calonego FW, Severo ETD. 2015. Anatomical properties of *Eucalyptus grandis* wood and transition age between the juvenile and mature wood, *European Journal of Wood Products* 73 (6): 775-780.
- Paril P, Brabec M, Manak O, Rousek R, Rademacher P, Cermak P, Dejmal A. 2014. Comparison of selected physical and mechanical properties of densified beech wood plasticized by ammonia saturated steam. *European Journal of Wood and Wood Products* 72 (5): 583-591.
- Pooma R, Newman MF. 2017. *Shorea leprosula*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T33123A2833148. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T33123A2833148.en>. (online 23.10.2019).
- Purwaningsih; Kintamani, E. 2018. The Diversity of *Shorea* spp. (Meranti) at Some Habitats in Indonesia *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 197(1): 012034.

Literaturverzeichnis

- Putzel L, Peters CM, Romo M. 2011. Post-logging regeneration and recruitment of shihuahuaco (*Dipteryx* spp.) in Peruvian Amazonia: Implications for management. *For Ecol Manage* 261 (6): 1099-1105.
- Rehbein M. 2011. Topochemische und feinstrukturelle Analysen des mikrobiellen und chemischen Zellwandabbaus zur Charakterisierung der Holzeigenschaften wichtiger Wirtschaftsbaumarten Dissertation. Universität Hamburg.
- Reiterer A, Burgert I, Sinn G, Tschegg S. 2002. The radial reinforcement of the wood structure and its implication on mechanical and fracture mechanical properties - A comparison between two tree species. *Journal of Material Science* 37 (5): 935–940. DOI: 10.1023/A:1014339612423.
- Ruelle J, Yoshida M, Clair B, Thibaut B. 2007. Peculiar tension wood structure in *Laetia procera* (Poepp.) Eichl. (Flacourtiaceae). *Trees* 21 (3): 345-355.
- Rendle BJ. 1961. Changes in anatomical structure with age. *Anatomy and physiology of wood*. Sect 14, *Recent Advances in Botany* Univ Toronto Press, 1707-1711.
- Richter HG, Denstorf HO, Krämer G, Koch G. 2008. Holzartenerkennung am Computer – Vorstellung der Software macroHOLZdata. *Holz-Zentralblatt* 134 (23): 667-668.
- Richter HG, Dallwitz MJ. (2000 onwards): Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, Portuguese, and Spanish.
- Richter HG, Trockenbrodt M. 1995. Computergestützte Holzartenbestimmung unter Einsatz des DELTA/INTKEY-Programmpaketes. *Holz als Roh- und Werkstoff* 53 (4): 215-219.
- Rizanti DE, Darmawan W, George B, Merlin A, Dumarcay S, Chapius H, Gérardin C, Gelhaye E, Raharivelomanana P, Sari RK, Syafii W, Mohammed R, Geradin P. 2018. Comparison of teak wood properties according to forest management. *Annals of Forest Science*. 75 (2): 39. DOI: 10.1007/s13595-018-0716-8
- Rodríguez Anda, R.; Koch, G.; Richter, H.-G.; Fuentes Talavera, F. J. Silva Guzmán, J. A. Satyanarayana, K. G. (2019): Formation of heartwood, chemical composition of ex-tractives and natural durability of plantation grown teak wood from Mexico. *Holzforschung* 73 (6): 547-557.
- Sano Y, Fukazawa K. 1994. Structural variations and secondary changes in pit membranes in *Fraxinus mandshurica* var. *japonica*. *IAWA Journal* 15: 283-291. DOI: 10.1163/22941932-90000609.

Literaturverzeichnis

- Schier F, Morland C, Janzen N, Weimar H. 2018. Impacts of changing coniferous and non-coniferous wood supply on forest product markets: a German scenario case study. *European Journal of Forest Research* 137 (3): 279-300.
- Scholz G, Liebner F, Koch G, Bues CT, Günther B, Bäucker E. 2007. Chemical, anatomical and technological properties of Snakewood [*Brosimum guianense* (Aubl.) Huber]. *Wood Science and Technology* 41 (8): 673-686.
- Sell J. 1997. *Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten*. Baufachverlag Lignum. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für das Holz, Zürich, Swiss.
- Serk H, Gorzsás A, Tuominen H, Pesquet E. 2015. Cooperative lignification of xylem tracheary elements. *Plant Signaling & Behavior*. ISSN: (Print) 1559-2324 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/kpsb20>.
- Senft JF, Bendtsen BA. 1985. Measuring microfibrillar angles using light microscopy. *Wood and Fibre Science* 17 (4): 564-567.
- Slik JWF, Arroyo-Rodríguez V, Aiba SI, Alvarez-Loayza P, Alves LF, et al. 2015. An estimate of the number of tropical tree species. *PNAS* 112 (24): 7472–7477.
- Silva Guzmán JA et al. 2012. Industrialización, comercialización y manejo sostenible de diez especies nativas Mexicanas. Capítulo 3: Caracterización tecnológica de las especies de madera. Informe final Proyecto ITTO PD 385/05. Universidad de Guadalajara, Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.
- Sist P, Nolan T, Bertault JG, Dykstra D. 1998. Harvesting intensity versus sustainability in Indonesia. *Forest Ecology and Management*. 108 (3): 251–260.
- Sist P, Nguyen-Thé N. 2002. Logging damage and the subsequent dynamics of a dipterocarp forest in East Kalimantan (1990–1996). *Forest Ecology and Management* 165 (1-3): 85–103.
- Sist P, Fimbel R, Nasi R, Sheil D, Chevallier MH. 2003. Towards sustainable management of mixed dipterocarp forests of South East Asia: moving beyond minimum diameter cutting limits. *Environmental Conservation* 30 (4): 364–374.
- Spurr AR. 1969. A low-viscosity epoxy resin embedding medium for electron microscopy. *Journal of Ultrastructure Research* 26: 31–43. DOI: 10.1016/S0022-5320(69)90033-1.
- Steffen et al. 2018. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(33):201810141. DOI: 10.1073/pnas.1810141115

Literaturverzeichnis

Stuart SA, Evans R. 1995. X-ray diffraction estimation of the microfibril angle variation in eucalypt wood. *Appita Journal* 48 (3): 197-200.

Verwer C, Pena-Claros M, Van Der Staak D, Ohlson-Kiehn K, Sterck FJ. 2008. Silviculture enhances the recovery of overexploited mahogany *Swietenia macrophylla*. *Journal of Applied Ecology* 45 (6): 1770–1779.

Wagenführ A, Pfriem A, Eichelberger K. 2005. Der Einfluss einer thermischen Modifikation von Holz auf im Musikinstrumentenbau relevante Eigenschaften – Teil 1: Spezielle anatomische und physikalische Eigenschaften. *Holztechnologie* 46 (4): 36-42.

Wagenführ A, Pfriem A, Eichelberger K. 2006. Der Einfluss einer thermischen Modifikation von Holz auf im Musikinstrumentenbau relevante Eigenschaften – Teil 2: Technologische Eigenschaften, Herstellung und Prüfung von Musikinstrumentenbauteilen. *Eigenschaften. Holztechnologie* 47 (1): 39-43.

Wardrop AB, Dadswell HE. 1948. The nature of reaction wood. I. The structure and properties of tension wood fibres. *Australien Journal of Scientific Research of Biological Sciences* 1 (1): 4-19.

Wardrop AB, Dadswell HE. 1950. The nature of reaction wood. II. The cell wall organisation of compression wood tracheids. *Australien Journal of Scientific Research of Biological Sciences* 3 (1): 1-13.

Wardrop AB, Dadswell HE. 1955. The nature of reaction wood. IV. Variation in cell wall organisation of tension wood fibres. *Australien Journal of Botany* 3 (1): 177-189.

Washusen R, Ades P, Evans R, Ilic J, Vinden P. 2001. Relationships between density, shrinkage, extractives content and microfibril angle in tension wood from three provenances of 10-year-old *Eucalyptus globulus* Labill. *Holzforschung* 55 (2): 176-182.

Weber M, Koch G. (2007): Eignung von Garapa für den GaLaBau. *Holz-Zentralblatt* 133 (49): 1388-1389.

Weingarten P et al. 2017. Climate change mitigation in agriculture and forestry and in the downstream sectors of food and timber use. Berlin: BMEL, 31 p, Ber Landwirtsch SH 223.

Weisse M, Dow Goldman E. 2019. The world lost a Belgium-sized area of primary rainforest last year. <https://www.wri.org/blog/2019/04/world-lost-belgium-sized-area-primary-rainforests-last-year>
Konsultiert am <22.10.2019>.

Literaturverzeichnis

Wyatt T. 2012. From the Cardamom Mountains of Southwest Cambodia to the forests of the world: An exploration of the illegal charcoal trade. *International Journal of Comparative and Applied Criminal Justice*, DOI:10.1080/01924036.2012.721196.

Xi E. 2018. Dynamic relationship between mechanical properties and chemical composition distribution of wood cell walls. *Wood Research* 63 (2): 179-192.

Zimmermann MH, Milburn JA. 1982. Transport and storage of water. In: OL Lange, PS Nobel, CB Osmond, H Ziegler (eds.), *Physiological plant ecology II*: 135-151. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Zobel BJ, Sprangue JR. 1998. *Juvenile wood in forest trees* (Springer Verlag, Berlin).

Zobel BJ, van Buijtenen JP. 1989. *Wood variation—its causes and control*. Springer Series in Wood Science. Springer, Berlin.

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Dissertation selbstständig ohne Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst habe. Alle den benutzten Quellen wörtlich oder sinngemäß entnommenen Stellen sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

Diese Arbeit ist bislang keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden und auch nicht veröffentlicht worden.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Hamburg 24.10.2019

Unterschrift (Kandidat/in)

EINVERSTÄNDNISERKLÄRUNG

Kandidat/in: Volker Haag

Studienabschluss: Dr. rer. nat

Thema: **Anatomisch-strukturelle und topochemische Untersuchungen zur Charakterisierung der Holzeigenschaften neu eingeführter Handelshölzer (lesser known species)**

Sperrvermerk: Die Arbeit wird in Bezug auf die Einsichtnahme Dritter bzw. die Ausleihe

gesperrt

nicht gesperrt.

Die Sperre gilt ab dem Datum der Abgabe für die Dauer von _____ Jahren.

Bibliothek: 1. Der/die Verfasser/in ist mit der Einstellung der Abschlussarbeit in den Bestand der Bibliothek des Johann Heinrich von Thünen-Instituts

nicht einverstanden

einverstanden.

2. Die Arbeit darf nur nach ausdrücklicher Genehmigung durch den/die Erstgutachter/in der Arbeit _____ eingesehen und ausgeliehen werden:

ja

nein.

Inhalte: Der/die Kandidat/in ist mit einer Weitergabe und/oder Verwertung von Inhalten der Arbeit nur gemeinsam mit dem/der Erstgutachter/in

nicht einverstanden

einverstanden.

Hamburg, den 24.10.2019

Unterschrift (Kandidat/in)