

Vorwissenschaftliche Arbeit im Rahmen der Reifeprüfung

Vergleich der Wachstumsraten ausgewählter Baumarten im tropischen Regenwald von Costa Rica

*Wie Leguminosen am gleichen Standort, Exposition und Herbivorie das
Höhenwachstum sechs costa-ricanischer Baumarten beeinflussen*

Patricia Brandl

8C 2015/2016

Bundesgymnasium und Bundesrealgymnasium Wien 4
Wiedner Gymnasium/Sir Karl Popper Schule
A-1040 Wien, Wiedner Gürtel 68

Betreuungslehrperson: Mag. Peter Pany
Vorgelegt am 12. Februar 2016

Abstract

Angesichts der immer größer werdenden Problematik der (Regen-)Waldabholzung, gewinnt die genaue Kenntnis der Ökosysteme, die es wieder herzustellen gilt, an Bedeutung. Externe Faktoren wie Exposition, Herbivorie und Standortpräferenz (in dieser Arbeit durch Leguminosen am selben Standort repräsentiert) beeinflussen auf verschiedene Arten das Wachstum der Pflanzen und Bäume. Um diesen Einfluss im speziellen Fall einer Wiederbewaldungsfläche im pazifischen Tiefland Costa Ricas zu untersuchen, wurde auf einer Versuchsfläche das Höhenwachstum der gepflanzten Bäume im Zusammenhang mit den genannten Faktoren aufgezeichnet und ausgewertet. Die Baumarten *Aspidosperma spruceanum*, *Bursera simaruba*, *Castilla tunu*, *Hyeronima alchorneoides*, *Peltogyne purpurea* und *Tachigali versicolor* wurden genauer untersucht und es zeigte sich, dass alle Faktoren sehr artspezifische Auswirkungen hatten und somit exaktes Wissen um die Präferenzen jeder zu pflanzende Baumart den Erfolg eines Wiederbewaldungsprojekts steigern kann.

Vorwort

Eine praktische Arbeit in Costa Rica zu verfassen hätte ich mir ohne das Sparkling Science Projekt, das die Kooperation zwischen meiner Schule und der Universität für Bodenkultur Wien überhaupt ermöglicht hat, nie träumen lassen. Ich bin sehr dankbar, diese Möglichkeit gehabt zu haben, in der ich meine Leidenschaft für Lateinamerika und den Umweltschutz in meiner Abschlussarbeit kombinieren konnte.

Im Zuge dieser wunderbaren Reise durfte ich nicht nur Tropenforschung vor Ort erleben und selbst Hand anlegen, sondern erhielt auch von Experten Informationen aus erster Hand. Ich möchte mich vor allem bei Svenja Kleinschmidt und Peter Hietz bedanken – für das Interesse an meiner Arbeit, die Inputs und natürlich die Hilfestellung, alle benötigten Daten zu bekommen.

Ebenfalls ein herzlicher Dank gilt meinem Betreuungslehrer Peter Pany für die fachliche Unterstützung und Bestärkung.

Wien, 12. Februar 2016

Patricia Brandl

Inhalt

1	Einleitung und Grundlegendes	5
1.1	Biogeografie und landschaftliche Gliederung Costa Ricas und der Golfo Dulce Region (Tropenstation La Gamba)	6
1.1.1	Geografische Lage	6
1.1.2	Klima	7
1.1.3	Boden und Hydrologie auf der Untersuchungsfläche Finca Amable.....	8
2	Methoden	9
2.1	Baumarten.....	9
2.1.1	Auswahlkriterien.....	9
2.1.2	Beschreibung der Baumarten	9
2.2	Durchgeführte Messungen	12
2.2.1	Durchmesser und Brusthöhendurchmesser (BHD)	12
2.2.2	Höhe.....	13
2.2.3	Holzdichte	13
2.2.4	Exposition.....	14
2.2.5	Herbivorie	14
2.2.6	Mortalität.....	14
2.3	Datenauswertung.....	14
2.3.1	Weitere Berechnungen.....	14
2.3.2	Datenaufbereitung.....	15
3	Ergebnisse.....	15
3.1	Mortalität	15
3.2	Dickenzuwachs	16
3.3	Höhenzuwachs	18
3.4	Einfluss von Leguminosen	20
3.5	Einfluss von Sonnenlicht auf das Höhenwachstum	21
3.6	Einfluss von Herbivorie auf das Höhenwachstum	23
4	Diskussion	24
4.1	Allgemeines Wachstum.....	24
4.2	Leguminosen	25
4.3	Exposition	26
4.4	Herbivorie.....	27
4.5	Fazit	28
	Literatur	29
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	31

1 Einleitung und Grundlegendes

Wälder und insbesondere die tropischen Regenwälder, wie jene in Costa Rica, sind sowohl wahre Artenhotspots, als auch äußerst wichtige CO₂-Senken, die aber von allen Seiten bedroht werden. Durch ihre systematische Abholzung wird nicht nur der Klimawandel vorangetrieben, derselbe macht es gleichzeitig auch um ein Vielfaches schwerer, eine Kehrtwende zu vollziehen, sprich die Schäden werden irreversibel. Ökologen, wie John Cairns warnen:

„Significant climate change is likely to destabilize already damaged ecosystems further and to lessen the recolonization by appropriate species from undamaged sites. [...] Ecological restoration may be nearly impossible in a period of appreciable climate change.“ (Cairns 2003, 17)

Schon unter „normalen“ Bedingungen ist es extrem schwierig, funktionierende Ökosysteme wiederherzustellen. Beispielsweise haben Lockwood und Pimm in ihrer Untersuchung 39 Wiederbewaldungsprojekte untersucht, die zum Ziel hatten, das ursprüngliche Ökosystem wiederherzustellen. Dies ist ihnen nur bei zwei Projekten gelungen (vgl. Lockwood und Pimm 1999).

Obwohl Costa Rica seit 1996 das Abholzen von Wäldern verboten hat, steht das Land trotzdem weiten Flächen mittlerweile verlassenen Weidelands gegenüber, welches mühsam wieder bewaldet werden muss, wo doch durch viele Studien gezeigt wird, dass im Speziellen die Wiederbewaldung von verlassenen Weideland und Feldern durch hohe Bodenerosion, Herbivorie, ungünstiges Mikroklima und aggressive invasive Vegetation stark erschwert ist (vgl. Holl 2007, 95).

Mit genau solchen Flächen befasst sich das Projekt COBIGA (Córridor Biológico La Gamba), welches zum Ziel hat, durch gezieltes Bepflanzen von Schlüsselflächen in der Golfo Dulce Region, in der auch die österreichische Tropenstation La Gamba ihren Sitz hat, einen biologischen Korridor zu schaffen. Solch ein Korridor ermöglicht, zwar auf kleinem Raum, die natürliche Artenmigration und unterstützt so durch genetische Vermischung die Gesundheit von Populationen. Außerdem hilft er, die natürliche Sukzession auf angrenzenden Flächen zu beschleunigen, da die Verbreitung von Samen leichter von Statten geht (beispielsweise durch die Migration von Samenverbreitern).

Wie die verschiedenen Baumarten zur Wiederbewaldung ausgewählt werden, hängt von vielen verschiedenen Kriterien ab, die auch den Hintergedanken der Nutzung widerspiegeln – ob sie der Landwirtschaft zuträglich sind, schnell Biomasse zur Holzgewinnung aufbauen oder aber die Biodiversität des Standortes bereichern (vgl. Calvo-Alvarado, Arias und Richter 2007, 229).

Im Falle der Finca Amable, der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Versuchsfläche, wurde mit knapp 80 Baumarten eine so hohe Biodiversität wie möglich angestrebt, um einerseits von Beginn an ein widerstandsfähiges Ökosystem zu schaffen, andererseits, um die Charakteristika und das Zusammenspiel von weniger erforschten Baumarten zu untersuchen. Trotz der umfangreichen bisherigen Forschung, deren Ergebnisse auch hinter diesen Wiederbewaldungsplänen stehen, muss man sich immer bewusst sein, dass pragmatische Entscheidungen und Bauchgefühl im Feld nach wie vor eine große Rolle spielen, manches praktisch einfach nicht umsetzbar ist, was natürlich wiederum den Erfolg der Bepflanzung eindämmen kann (vgl. Davy 2003, 238f).

In dieser Arbeit wird genauer auf das Wachstum sechs verschiedener Arten eingegangen, die am stärksten auf der Versuchsfläche Finca Amable vertreten sind, um mehr über ihre Angepasstheit und Entwicklung auf typischen wieder zu bewaldenden Flächen zu lernen. Dabei wird untersucht, ob und wie die Anwesenheit von Leguminosen in ihrem Umfeld, Unterschiede in der Sonnenexposition und der Grad der Herbivorie mit dem Höhenwachstum des jeweiligen Baumes in Verbindung steht, um bei weiteren Pflanzungen die Entwicklungserfolge zu erhöhen.

1.1 Biogeografie und landschaftliche Gliederung Costa Ricas und der Golfo Dulce Region (Tropenstation La Gamba)

1.1.1 Geografische Lage

In Mittelamerika zwischen Nicaragua im Norden und Panama im Süden liegt Costa Rica, seine geografischen Koordinaten liegen zwischen 8° und 11° nördlicher Breite und 83° bis 86° westlicher Breite. Das Land, im Westen vom Pazifik, im Osten von der Karibik begrenzt, hat eine Größe von 51 100 km² (vgl. Kleinschmidt 2013, 4). Vier große

Bergketten – mit Gipfeln bis zu 3819m Höhe – machen mehr als die Hälfte der Landesfläche aus (Zuchowski und Forsyth 2007, 15).

Die Golfo Dulce Region, in der sowohl die Forschungsstation La Gamba als auch die Untersuchungsfläche Finca Amable zu finden sind, befindet sich in der Provinz Puntarenas und liegt hauptsächlich zwischen den geografischen Koordinaten 8°27'–8°41' nördlicher Breite und 83°15'–83°45' westlicher Breite. Sie ist auf einem nach wie vor tektonisch sehr aktiven Gebiet gelegen, wo sich die Cocos-Platte unter die Karibische Platte schiebt. Demnach werden bis zu zehn Erschütterungen pro Tag gemessen (vgl. Weissenhofer, Huber und Klingler 2008, 19). Die Forschungsstation La Gamba befindet sich auf 70m über NN und hat die geografischen Koordinaten 8°42'61"N, 83°12'97"W (vgl. Kleinschmidt 2013, 4).

1.1.2 Klima

Costa Rica liegt mitten in der tropischen Klimazone. Durch seine hohen Bergketten und die demnach großen Höhenunterschiede ergeben sich allerdings viele Abstufungen und dementsprechend viele Mikroklimazonen. Des Weiteren fungieren die zentralen Bergketten als Klimascheiden, die die karibische und pazifische Seite trennen und durch die Passatwinde von Gebiet zu Gebiet unterschiedliche Trocken- und Regenzeiten verursachen. Die Regenzeit an der Pazifikküste ist zwischen Mai und November. Auch die mittlere Jahrestemperatur ist mit 32,6° an der Pazifikküste höher als an der Atlantikküste. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass, wie typisch in den Tropen, die tageszeitlichen Temperaturschwankungen größer sind als die jahreszeitlichen, welche nie mehr als 5° Celsius betragen (vgl. Janzen 1983).

Durch die Nähe der beiden Ozeane, die großen Höhenunterschiede und unterschiedlichen Bodentypen ergeben sich eine riesige Anzahl an Lebensräumen (vgl. Zuchowski und Forsyth 2007), die von Holdridge in 17 Kategorien eingeteilt wurden. Allerdings genügt für Costa Rica im Großen und Ganzen schon die Unterscheidung in *dry forest*, *moist forest*, *wet forest*, *lower montane forest* und *upper montane forest* (vgl. Condit, Pérez und Daguerre 2011, 12).

Der Esquinas Regenwald des Piedras Blancas Nationalparks, der auch unmittelbar bei der Tropenstation La Gamba und der Versuchsfläche Finca Amable liegt, gilt als eines der niederschlagsreichsten Gebiete Costa Ricas (vgl. Huber 2005, 16), und verzeichnet einen durchschnittlichen Jahresniederschlag von ca. 6000 mm (Tropenstation La Gamba 2015). Demnach kann der Esquinas Regenwald als *wet forest* klassifiziert werden – die Trockenzeit im Jänner, Februar und März ist nicht sehr stark ausgeprägt. Obwohl manchmal mehrere Tage kein Regen fällt, kleinere Bäche austrocknen und wenige Baumarten Laub abwerfen, leidet der Boden kaum unter Wasserdefizit. (Tropenstation La Gamba 2015; Huber 2005, 16)

1.1.3 Boden und Hydrologie auf der Untersuchungsfläche Finca Amable

Einer Untersuchung der *Universidad de Costa Rica* zu Folge, herrschen auf der Untersuchungsfläche Finca Amable zwei Bodentypen vor:

Aeric Endoaquents, das sind Entisole, zeichnen sich durch sehr hohe Grundwasserspiegel, beziehungsweise wasserstauende Schichten, Strukturarmut und einen schwach ausgeprägten A-Horizont aus. Zweitere nennen sich *Aeric Endoaquepts*, das sind Inceptisole, welcher einen stark ausgeprägten B-Horizont sowie einen relativ hohen Grundwasserspiegel aufweisen, wodurch ein großer Teil seines Bodenhorizonts durch Wasser beeinflusst wird. Allerdings sind die staunassen Schichten und die Strukturarmut weniger stark ausgeprägt als beim *Aeric Endoaquents* (vgl. Kleinschmidt 2013, 6–7).

Der bedeutendste und auch namensgebende Fluss *Rio Esquinas* wird von fast allen Bächen und Flüssen der Region gespeist und mündet in den Pazifik, so auch sein Nebenfluss *Rio Bonito*, der nahe der Finca Amable fließt (vgl. Weissenhofer, Huber und Klingler 2008, 19)

2 Methoden

2.1 Baumarten

2.1.1 Auswahlkriterien

Jeweils zwei der sechs verschiedenen Baumarten gehören zu einer der Gruppen „Hohe Holzdichte“ (*Aspidosperma spruceanum* und *Hyeronima alchorneoides*) mit mehr als 0,5 g/cm³, „Niedrige Holzdichte“ (*Bursera simaruba* und *Castilla tunu*) mit weniger als 0,5 g/cm³ und „Leguminosen“ (*Peltogyne purpurea* und *Tachigali versicolor*). Diese Einteilung wurde vom Versuchsflächendesign der Finca Amable übernommen (vgl. Kleinschmidt 2013), um so viele wachstumsrelevante Faktoren wie möglich untersuchen zu können.

Des Weiteren war die Anzahl der Individuen von Bedeutung: Aus den jeweiligen Gruppen waren die ausgewählten Baumarten, inklusive abgestorbener Individuen zum Zeitpunkt der Messung im Frühjahr 2015 jene mit der größten Individuenzahl, um die Auswertung so repräsentativ wie möglich zu gestalten.

2.1.2 Beschreibung der Baumarten

Aspidosperma spruceanum

Aspidosperma spruceanum (Apocynaceae) ist ein von Brasilien bis Mexiko vorkommender, immergrüner Baum, der mit einer Wuchshöhe von ca. 15 m und einem geraden, zylindrischen Stamm von 30–40 cm Durchmesser (vgl. Lorenzi 2002, 40) Teil des geschlossenen Kronendaches ist. Er kommt bevorzugt auf gut entwässerten Hügelkuppen, Hängen mit relativ trockenem Klima (Weber 2001, 17ff), aber auch in halbimmergrünen Bergwäldern vor – im Speziellen auf fruchtbaren lehmigen Böden, die jahreszeitenabhängig überschwemmt werden (vgl. Lorenzi 2002, 40). Bei den Samen wurde eine geringe Keimungsrate beobachtet und die Keimlinge sind am besten im Halbschatten zu pflanzen. Die jungen Bäume wachsen mittelschnell und benötigen für die Bestäubung Bienen und Insekten (vgl. Lorenzi 2002, 40). Mit einer standortabhängigen Holzdichte zwischen 0,71–

0,82 g/cm³ wird diese Baumart der Gruppe mit hoher Holzdichte zugerechnet (vgl. Zanne et al. 2009).

Hyeronima alchorneoides

Hyeronima alchorneoides (Phyllanthaceae) kommt von Mexiko bis Peru/Brasilien auf Seehöhen von 0-900 m vor. Der bis zu 40 m hohe, immergrüne Baum prägt oft große Brettwurzeln aus. Er hält durchaus saure, schlecht entwässerte und steinige Böden aus, kann demnach gut auf verlassenen Weideflächen eingesetzt werden, um dort die Bodenstruktur zu verbessern. Am besten wächst er allerdings in Ebenen mit hoher Luftfeuchtigkeit und alluvialen oder lehmigen Böden neben Fließgewässern und hoher Staunässe. Setzlinge wurden auch auf offenen Weiden und an Wegrändern gefunden (vgl. Weissenhofer, Huber und Chacón 2012, 105), demnach kommen diese mit hoher Sonneneinwirkung zurecht. Ihre Früchte werden von verschiedenen Vogelarten gefressen, die somit auch als Samenverbreiter agieren. (vgl. Weissenhofer, Huber und Chacón 2012, 105) Laut der Holzdichtendatenbank weist der Baum eine Holzdichte zwischen 0,48 und 0,63 g/cm³ auf (Zanne et al. 2009) und wird somit ebenfalls zu der Gruppe mit hoher Holzdichte gerechnet.

Bursera simaruba

Bursera simaruba (Burseraceae) ist weitverbreitet und kommt von Florida bis in den brasilianischen Amazonas auf allen Seehöhen von 0-1800 m vor. In der Golfo Dulce Region verliert er zwischen Jänner und März seine Blätter und blüht stattdessen in dieser Zeit. Der Baum wird etwa 20 m groß und wird aufgrund seines schnellen Wachstums und der praktischen Verbreitung durch das Einsetzen abgeschnittener Triebe gern als lebender Zaun genutzt. Durch seine hohe Anpassbarkeit gegenüber Böden mit hohem Salzgehalt, wächst er auch in extremen Bodensituationen, wie sie auf verlassenen Weideflächen oft vorkommen und an Flussufern gut. Allenfalls benötigt der Baum direkte Sonneneinstrahlung. Seine Blüten ziehen viele verschieden Insektenarten an. Während die Früchte ebenfalls viele Tiere als Nahrungsquelle anlocken, sind Vögel aber die Hauptsamenverbreiter (vgl. Weissenhofer, Huber und Chacón 2012, 76–78). Mit einer Holzdichte von 0,33–

0,34 g/cm³ wird die *Bursera simaruba* der Gruppe mit niedriger Holzdichte zugeordnet (vgl. Zanne et al. 2009).

Castilla tunu

Castilla tunu (Moraceae) ist ein zweihäusiger Baum, der bis zu 40 m groß wird, meist aber im mittleren Kronendach bei 25-35 m Höhe in Wäldern an Ufern kleinerer Flüsse (vgl. Weber 2001, 343–44) in *wet forests* zu finden ist (vgl. Weber 2001, 20). Sein Verbreitungsgebiet erstreckt sich von Belize bis nach Kolumbien. Wie viele Bäume an Flussufern, bildet auch dieser Baum Brettwurzeln aus (vgl. Weber 2001, 343–44). In der internationalen Datenbank zu Holzdichte liegen keine Daten vor; *Castilla tunu* wurde aber bei Kleinschmidt (2013) zu der Gruppe mit geringer Holzdichte gezählt.

Peltogyne purpurea

Peltogyne purpurea gehört zu der Familie der Fabaceae und ist somit eine stickstoffbindende Pflanze. Es ist ein 35-40 m großer Baum, der in Costa Rica und Panama versteckt auf Höhen von 50-500 m vorkommt. Charakteristisch für diese Art ist ihr purpurfarbenes Holz, welches auch der Grund ist, warum sie nach intensivem Schlägern nun unter Naturschutz steht. In den ersten Jahren verzeichnet *Peltogyne purpurea* ein sehr langsames Wachstum und bildet sehr schweres und dichtes Holz (vgl. Weissenhofer, Huber und Chacón 2012, 98–100), laut der Datenbank von Zanne et al. von 0,83 g/cm³. Als Setzling benötigt *Peltogyne purpurea* Schatten, später wächst sie durchaus auch im direkten Sonnenlicht gut. Außerdem bevorzugt der Baum nährstoffarme Böden, die gut entwässert sind, beispielsweise an Hängen oder Bergkuppen (vgl. Weber 2001, 17). Allerdings sollten diese einen hohen Gehalt an Eisen und Aluminium haben (vgl. Weissenhofer, Huber und Chacón 2012, 98–100).

Tachigali versicolor

Tachigali versicolor, ebenfalls der Fabaceae-Familie zugehörig und somit stickstoffbindend, ist besser bekannt unter dem Namen „suicide tree“. Der große, im Flachland vorkommende Baum ist bis zur Krone unbeastet (vgl. Weber 2001, 260). Er kommt vor allem in Panama vor und ist in Costa Rica seltener anzutreffen. Auf offenen Flächen wurde er noch nie gefunden. Der Baum wächst sein ganzes Leben lang bis zur

Samenbildung. Er bildet Blüten und Samen und wirft die reifgewordenen Samen mit seinen Blättern ab und stirbt (vgl. Condit, Pérez und Daguerre 2011, 186). Die großen, allerdings vom Wind verbreiteten Samen und folglich Setzlinge kommen hauptsächlich innerhalb von 0,4 m des verstorbenen Baumes vor, nur sehr vereinzelt wurden Setzlinge in maximal 40 m Entfernung gefunden. Dementsprechend können sie sich gut an verschiedene und wechselnde Lichtverhältnisse anpassen. Wie bei einer mehrjährigen Pflanze zu erwarten, ist die Überlebensrate der Setzlinge verglichen mit anderen Baumarten hoch (vgl. Kitajima und Augspurger 1989, Abstract). *Tachigali versicolor* weist eine Holzdichte von $0,521 \text{ g/cm}^3$ auf (Zanne et al. 2009).

2.2 Durchgeführte Messungen

2.2.1 Durchmesser und Brusthöhendurchmesser (BHD)

Grundsätzlich wurden von jedem Baum zwei Werte zum Durchmesser bzw. Umfang aufgenommen. Ein Wert des Stammes ganz knapp über dem Boden – dieser ist vor allem für Bäume unter 130 cm Höhe wichtig, da er für diese den einzigen Wert bildet – und der Brusthöhendurchmesser (BHD), der in 130 cm Höhe gemessen wird. In dieser Höhe sind etwaige Wurzeln über der Bodenoberfläche meist schon in den Stamm übergegangen und somit werden die statistischen Beziehungen zwischen Dicke, Höhe, Alter, etc. nicht verfälscht. Ist in 130 cm Höhe der Baum bereits verzweigt, werden alle Triebe über einem gewissen Durchmesser (je nach Ziel) gemessen. In diesem Fall wurde vereinbart, dass ein Stamm unter 5 cm Durchmesser mit der Schublehre gemessen, darüber aber der Umfang mithilfe eines Maßbandes bestimmt werden sollte. Außerdem wurde die Maßeinheit cm mit einer Genauigkeit von 0,1 cm gewählt. Im Zuge der Datenauswertung wurden alle Umfänge, sprich Werte über $5 \cdot \pi \text{ cm}$, wieder in Durchmesser umgerechnet.

Wird mit der Schublehre gemessen gilt es allerdings folgendes zu beachten: Meist ist der Stammdurchmesser nicht kreisförmig, darum müssen zwei Durchmesser ermittelt werden. Einer an der dicksten Stelle und ein anderer normal auf diesen ersten Durchmesser, um Abweichungen bei verschiedenen Messungen zu verringern. Um

diese Bäume in den allgemeinen Vergleich zu rücken, wird dann aus diesen zwei Werten ein Mittelwert gebildet und mit diesem weitergearbeitet.

2.2.2 Höhe

Auf der Finca Amable wurden die Bäume, die nicht größer als 6 m waren, mit Hilfe eines skalierten, 4 m langen Stockes gemessen. Dieser Stock war in 10 cm Schritten markiert, was auch dem geforderten Genauigkeitsgrad von 0,1 m entsprach. Der Stock wurde von einer Person senkrecht neben den Stamm gestellt – so nah wie möglich am Stamm, um Ungenauigkeiten durch Bodenunebenheiten zu vermeiden – während eine andere Person die Höhe, d.h. die Stelle des am höchsten reichenden Astes, aus einer ungefähr der Baumhöhe entsprechenden Entfernung ablas. War der Baum nicht mehr mit einem 4 m-Stock zu messen, wurde ein Höhenmessgerät benutzt.

Um Einheitlichkeit zwischen den verschiedenen Messungen zu schaffen, wurde ebenfalls die Höhe in Zentimeter umgerechnet. Außerdem wurde aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit und Anschaulichkeit des relativen Höhenzuwachses das durchschnittliche Höhenwachstum pro Tag errechnet. Da sowohl das genaue Datum der Messungen von 2013 bzw. 2014 als auch von 2015 bekannt waren, konnten somit auch Bäume aus unterschiedlichen Bepflanzungsperioden verglichen werden. Ein Nachteil war die resultierende Verringerung des Datensatzes, da einige Messungen nicht zu allen Zeitpunkten durchgeführt worden waren.

2.2.3 Holzdichte

Die Holzdichte ist als die Trockenmasse pro Frischholzvolumen definiert. Gewöhnlich wird sie als eines der bedeutendsten Holzcharakteristika angesehen und liegt immer zwischen 0 und 1,5 g/cm³ (vgl. Chave et al. 2009, 356).

Zur Bestimmung der Holzdichte wurden bei dieser Arbeit die Werte der internationalen Datenbank von Zanne et al. (2009) zitiert. Gab es mehrere Messungen für eine Baumart, wurde, in dieser Reihenfolge, entweder der Wert, der in Costa Rica gemessen wurde, jener auf der größten Datenmenge basierende oder ein gewichteter Mittelwert aus mehreren Untersuchungen, verwendet.

2.2.4 Exposition

Des Weiteren wurden die Bäume auf der Versuchsfläche bezüglich ihrer Sonnenexposition eingeordnet. Dabei wurde zwischen völliger Exposition ohne Beeinträchtigung, Halbschatten mit Teilen des Baumes im Schatten und Bäumen völlig im Schatten unterschieden. Auf der angewandten Skala entsprechen (1) „Sonne“, (2) „Halbschatten“ und (3) „Schatten“.

2.2.5 Herbivorie

Ähnlich wurde der Schädlingsbefall jedes Baumes in 4 Kategorien eingeordnet: (0) entspricht „keinem Schädlingsbefall“, (1) steht für „mäßige Fraßschäden“, die die Gesundheit des Baumes allerdings nicht beeinträchtigen oder im Rahmen liegen, (2) entspricht „starkem Schädlingsbefall“ und (3) ist mit „komplettem Kahlfraß“ gleichzusetzen.

2.2.6 Mortalität

Schließlich wurde auch aufgezeichnet, welche Bäume in der Zwischenzeit abgestorben waren, sprich keinerlei Blätter mehr besaßen aber auch kein Zeichen eines neuen Triebes zeigten.

2.3 Datenauswertung

2.3.1 Weitere Berechnungen

Mithilfe von Microsoft Excel 2010 wurden aus den vorhandenen Daten die vergleichbaren Werte wie Höhenwachstum/Tag in mm und Dickenwachstum/Jahr in cm berechnet. Außerdem wurden Gruppierungen anhand der Merkmale „Leguminosen auf der Versuchsfläche“ (vorhanden oder nicht), „Grad der Exposition“ und „Herbivorie“ vorgenommen. Bei den letzteren zwei Merkmalen wurde abgesehen von der Berechnung der Wuchsgeschwindigkeit nur der Stand der Messungen im Frühjahr 2015 einbezogen. Davor mussten die Daten geordnet werden, was bedeutet, dass ein großer Teil der de facto gepflanzten Bäume in der weiteren

Datenverarbeitung verloren ging, weil sie beispielsweise nur einmal gemessen wurden, und so für jegliche vergleichende Arbeiten unbrauchbar wurden.

2.3.2 Datenaufbereitung

Die fertigen Datensets wurden, abgesehen vom Diagramm der Mortalität, welches mit Excel 2010 erstellt wurde, mit dem Statistikprogramm PAST mithilfe von Boxplots und hinterlegter Jitterstreuung veranschaulicht. Es sind sowohl die vier Quartilen abzulesen, als auch die Einzelwerte der Bäume, die durch die Jitterpunkte verdeutlicht werden. Dabei ist zu beachten, dass die horizontale Streuung der Punkte im Jitterplot aus Gründen der besseren Lesbarkeit nachträglich hinzugefügt wurde. Die leeren Kreise hingegen sind Teil der Boxplots und stellen Ausreißer dar.

3 Ergebnisse

3.1 Mortalität

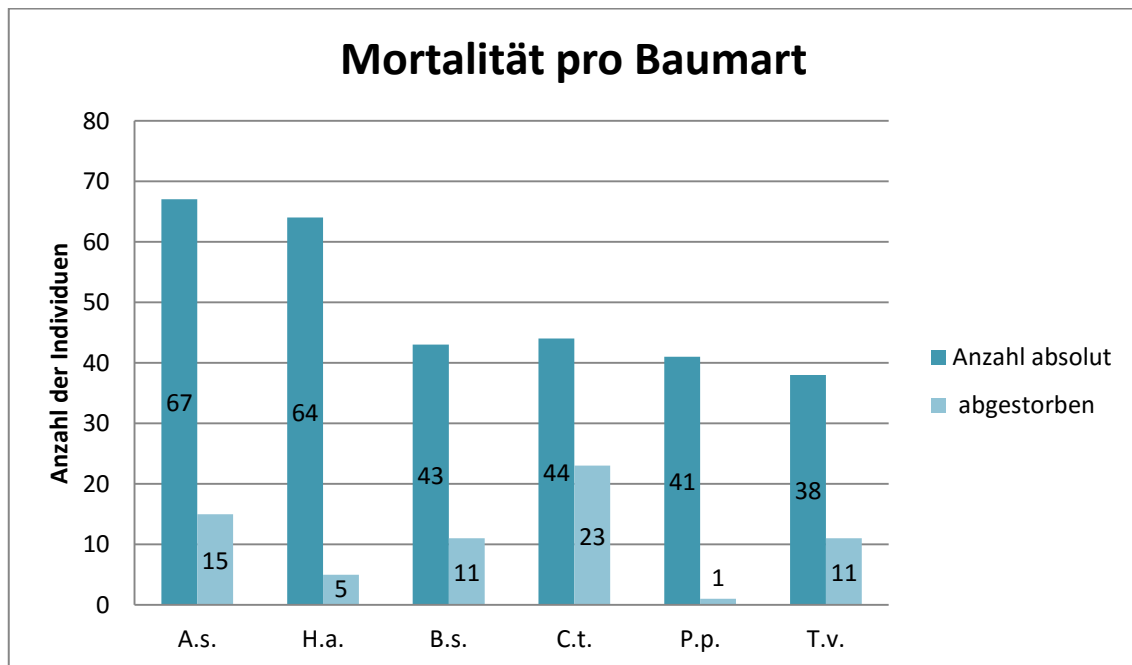


Abb. 1: Mortalität der ausgewählten Baumarten

Zum Zeitpunkt der Messungen im Frühjahr 2015 wurde folgende Mortalität erhoben: Während die Baumarten *Peltogyne purpurea* und *Hyeronima alchorneoides* eine

Mortalität von unter 10% verzeichnen, liegt jene der *Aspidosperma spruceanum*, *Bursera simaruba* und *Tachigali versicolor* bei ca. 25%. Auffallend ist die hohe Mortalität von *Castilla tunu*, die bei über 50% liegt.

3.2 Dickenzuwachs

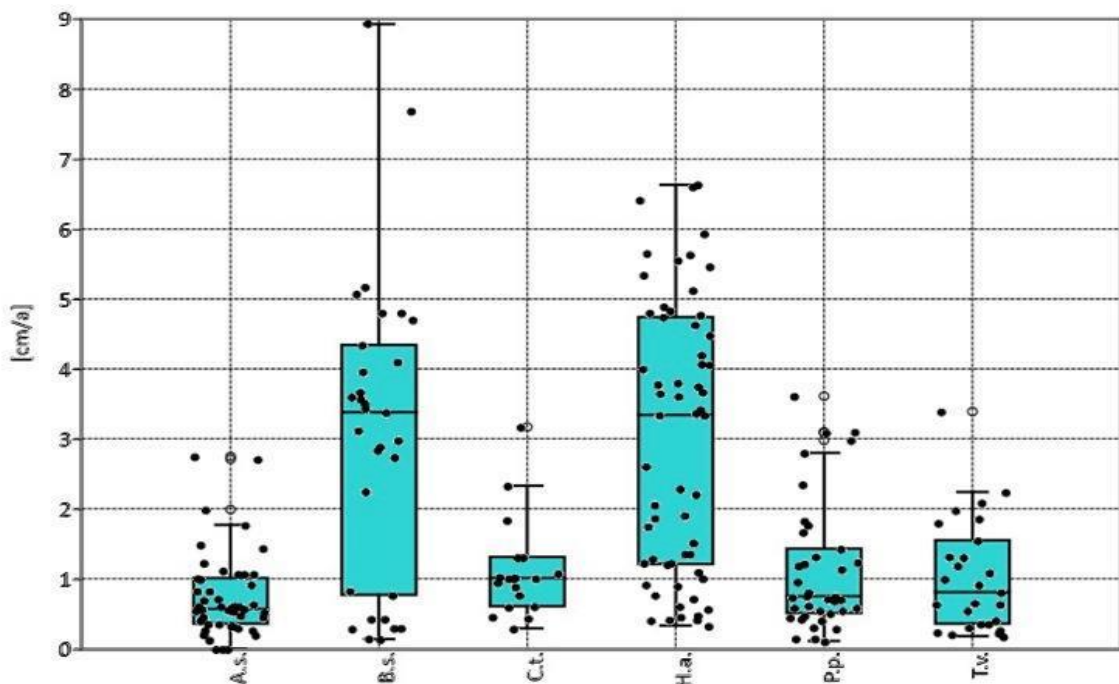


Abb. 2: Dickenwachstum in cm der verschiedenen Baumarten pro Jahr

Tab. 1: Daten zum durchschnittlichen Dickenwachstum

	A.s.	B.s.	C.t.	H.a.	P.p.	T.v.
Anzahl	48	31	19	59	38	27
Minimum [cm/a]	0	0,14	0,29	0,33	0,11	0,18
Maximum [cm/a]	2,75	8,93	3,17	6,63	3,61	3,39
Arith. Mittel [cm/a]	0,75	3,07	1,11	2,99	1,13	1,02
Median [cm/a]	0,59	3,38	1,01	3,34	0,75	0,81
25. Perzentile [cm/a]	0,36	0,77	0,61	1,21	0,50	0,36
75. Perzentile [cm/a]	1,01	4,34	1,31	4,74	1,49	1,55

Aspidosperma spruceanum weist von den sechs untersuchten Bäumen den geringsten Dickenzuwachs auf. Sowohl der Median als auch das arithmetische Mittel liegen bei *Aspidosperma spruceanum* als einziger der sechs Baumarten unter 1,00 cm/a Zuwachsrate – bei 0,59 cm/a und 0,75 cm/a. Auffallend ist außerdem, dass es die einzige Baumart der vorliegenden Auswahl ist, bei der ein Nullwachstum aufscheint,

was aufgrund der Messungenauigkeit bestenfalls ein sehr geringes Wachstum bedeutet. Abgesehen von den drei Ausreißern, die knapp 2,75 cm bzw. 2,00 cm Durchmesser pro Jahr zunehmen, ist die Streuung sehr gering und knapp neben dem Median. Nur ein Viertel der Bäume der *Aspidosperma spruceanum* erreicht einen Dickenzuwachs von mehr als 1,1 cm/a.

Bursera simaruba hingegen wächst pro Jahr durchschnittlich am stärksten in die Breite, mit einem mittleren Wachstum von 3,07 cm/a und einem Median von 3,38 cm/a. Allerdings befinden sich neun Bäume knapp unter oder über der 25. Perzentile, d.h. deren mittleres Dickenwachstum beträgt ebenfalls knapp über oder unter 0,77 cm/a. Vom Ausreißer mit einem durchschnittlichen Dickenwachstum von 8,97 cm/a abgesehen, bewegen sich die allermeisten restlichen Bäume sehr symmetrisch gestreut um den Median zwischen einem Dickenwachstum von ca. 2,2 cm/a und 5,3 cm/a.

Das Dickenwachstum der *Castilla tunu* ist trotz vergleichsweise geringer Datenzahl sehr homogen, denn die Bäume unter der 75. Perzentile weisen ein durchschnittliches jährliches Dickenwachstum von 0,29 cm/a bis 1,31 cm/a auf. Am stärksten vertreten sind sogar Bäume mit einem Wachstum zwischen 0,60 cm/a und 1,01 cm/a, was dem Bereich zwischen der 25. und 50. Perzentile entspricht.

Hyeronima alchorneoides ist in ihrem Dickenwachstum sehr heterogen, und bedeutet, dass die Baumart im Vergleich zu den anderen Baumarten ein sehr hohes Dickenwachstum aufweist, gleichzeitig aber Individuen im untersten Quartil ähnlich schnell wie *Aspidosperma spruceanum*, *Castilla tunu*. oder *Peltogyne purpurea* den Durchmesser vergrößern. In Zahlen liegt laut diesen Messungen eine sehr regelmäßige Streuung zwischen Werten von 0,33 cm/a bis 6,63 cm/a Dickenzuwachs vor. Dementsprechend sind auch keine starken Ausreißer festzustellen.

Obwohl bei den Messungen des Dickenwachstumes der *Peltogyne purpurea* eine Spanne von 0,11 cm/a und 3,61 cm/a auftritt, sind die Unterschiede zwischen Minimum und Median etwa gleich groß wie der Bereich, den das 3. Quartil eingrenzt. Dies bedeutet, dass *Peltogyne purpurea* vermehrt ein Dickenwachstum von 0,11 cm/a bis 0,75 cm/a aufweist und demnach tendenziell ein geringeres Dickenwachstum besitzt.

Tachigali versicolor, wächst zwar ähnlich wie *Hyeronima alchorneoides* sehr heterogen in die Breite, aber in einem weitaus begrenzteren Rahmen. Der Minimalwert beträgt 0,18 cm/a, der Maximalwert 3,39 cm/a, welcher allerdings als Ausreißer klassifiziert wird. Somit wird die 100. Perzentile schon bei 2,2 cm/a markiert.

3.3 Höhenzuwachs

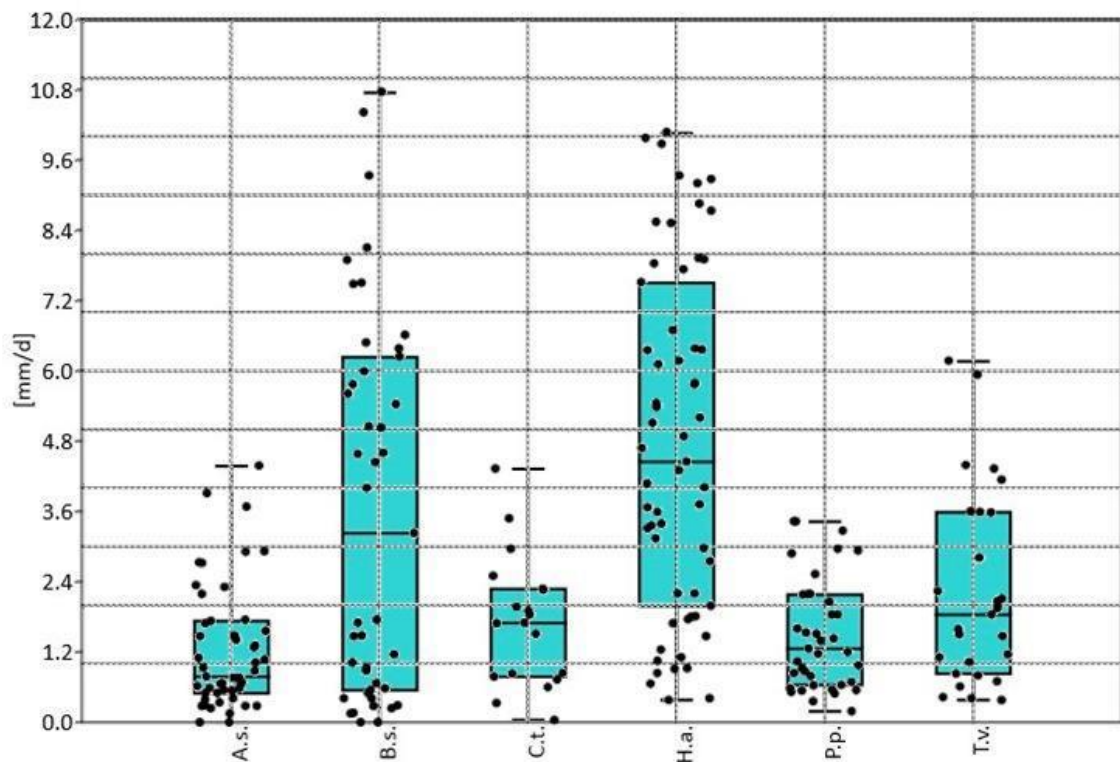


Abb. 3: Höhenwachstum der verschiedenen Baumarten in mm pro Tag

Tab. 2: Daten zum durchschnittlichen Höhenwachstum

	A.s.	B.s.	C.t.	H.a.	P.p.	T.v.
Anzahl	49	43	19	59	38	27
Minimum [mm/d]	0,00	0,00	0,04	0,38	0,19	0,38
Maximum [mm/d]	4,38	10,76	4,33	10,07	3,43	6,17
Arith. Mittel [mm/d]	1,23	3,62	1,71	4,76	1,47	2,25
Median [mm/d]	0,78	3,23	1,70	4,45	1,23	1,84
25. Perzentile [mm/d]	0,50	0,55	0,78	1,99	0,64	0,83
75. Perzentile [mm/d]	1,71	6,24	2,28	7,51	2,18	3,59

Aspidosperma spruceanum weist auch beim Höhenwachstum, verglichen mit den anderen Baumarten, eine geringe Streuung auf – vor allem die Werte des

Höhenzuwachsen der unteren Hälfte der Baumprobe sind sehr homogen und bewegen sich zwischen 0 mm/d (hierbei handelt es sich höchstwahrscheinlich um ein sehr geringes Wachstum, welches durch die Messungenauigkeit nicht festgestellt werden konnte) und 0,78 mm/d. Bäume über diesem Wert weisen eine deutlich stärkere Streuung auf: Ein weiteres Viertel der Individuen wächst zwischen 0,78 mm/d und 1,17 mm/d. Darüber hinaus ist das vierte Quartil bis zu seinem Maximalwert von 4,38 mm/d Höhenwachstum gestreut. Das durchschnittliche Höhenwachstum beträgt 1,23 mm/d und ist somit das geringste Wachstum aller hier untersuchten Baumarten.

Bursera simaruba weist ein ungemein stärkeres Höhenwachstum auf. Von empirischem Nullwachstum zum Maximalwert von 10,76 mm/d sind die Baumproben sehr heterogen gestreut, einzig um den Median von 3,23 mm/d gibt es auffallend wenige Werte. Die durchschnittliche Wuchsgeschwindigkeit beträgt 3,62 mm/d.

Bei der vergleichsweise geringen Datenmenge von *Castilla tunu* streuen die Werte ebenfalls sehr gleichmäßig über die gesamte Spanne, sind aber bei einer Spanne von 0,04 mm/d bis zu 4,33 mm/d homogener als bei der vorhergehenden Baumart. Durchschnittlich wächst *Castilla tunu* 1,71 mm/d.

Hyeronima alchorneoides zeichnet sich wie beim Dickenwachstum durch eine große Heterogenität aus – die Werte reichen von 0,38 mm/d bis zu 10,07 mm/d und sind sehr gleichmäßig über die ganze Spanne verteilt. Durchschnittlich wächst *Hyeronima alchorneoides* 4,76 mm/d, somit ist er der am schnellsten in die Höhe wachsende Baum dieser Untersuchung.

Peltogyne purpurea weist wiederum, bei durchschnittlichen 1,47 mm/d, ein sehr geringes aber dafür homogenes Höhenwachstum auf. Dreiviertel aller Werte bewegen sich zwischen 0,19 mm/d und 2,18 mm/d. Das Maximum liegt ebenfalls nur bei 3,43 mm/d.

Tachigali versicolor ist in seinem Höhenwachstum wieder breiter gestreut, mit Werten von 0,38 mm/d bis 6,17 mm/d. Allerdings ist die Spanne zwischen dem 1. und dem 2. Quartil deutlich kleiner als der Bereich dem 3. und dem 4. Quartil. Letztere reichen von 1,23 mm/d bis 3,43 mm/d. Die durchschnittliche Wuchsgeschwindigkeit beträgt 2,25 mm/d.

3.4 Einfluss von Leguminosen

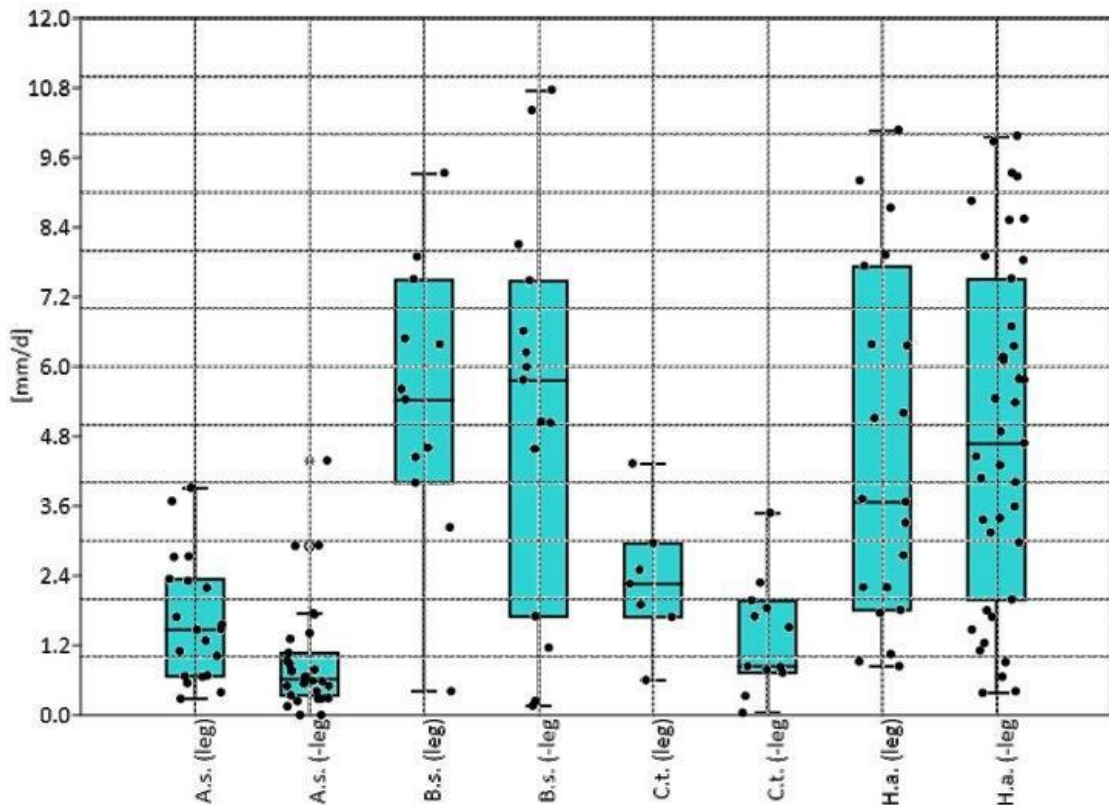


Abb. 4: Vergleich des Höhenwachstums der verschiedenen Baumarten in Bezug auf die Anwesenheit von Leguminosen in derselben Parzelle
(leg) = mit Leguminosen; (-leg) = keine Leguminosen

Der Median der Geschwindigkeit des Höhenwachstums von *Aspidosperma spruceanum* in Parzellen mit Leguminosen beträgt ca. 1,5 mm/d, während selbiger bei Bäumen in Parzellen ohne Leguminosen bei ca. 0,6 mm/d liegt. Außerdem sind die Werte bei *Aspidosperma spruceanum* mit Leguminosen weiter gestreut; sie liegen gleichmäßig zwischen ca. 0,3 mm/d und dem Maximum von ca. 3,9 mm/d. Bei Individuen ohne Leguminosen liegen die Werte, abgesehen von den Ausreißern hauptsächlich zwischen 0 mm/d und 1,1 mm/d. Die Unterschiede sind laut Mann-Whitney U-Test signifikant ($z=-2,60$, $p=0,01$).

Bei *Bursera simaruba* weisen die Werte abgesehen von den Maximalwerten nur geringfügige Unterschiede auf. Auch laut Mann-Whitney U-Test sind die Unterschiede mit größter Wahrscheinlichkeit auf eine zufällige Verteilung zurückzuführen ($z=0,02$, $p=0,98$).

Im Gegensatz dazu sind bei *Castilla tunu* große Unterschiede – vor allem beim Median – festzustellen. Während er in Parzellen mit Leguminosen bei ca. 2,3 mm/d einzuordnen ist, liegt er laut der Werte ohne Leguminosen bei ca. 0,8 mm/d. Hier kann nach dem Mann-Whitney U-Test von einem starken Trend gesprochen werden. ($z=-1,64, p=0,09$).

Schlussendlich ist bei *Hyeronima alchorneoides* sehr wahrscheinlich von keinem signifikanten Unterschied zu sprechen ($z=-0,34, p=0,73$).

3.5 Einfluss von Sonnenlicht auf das Höhenwachstum

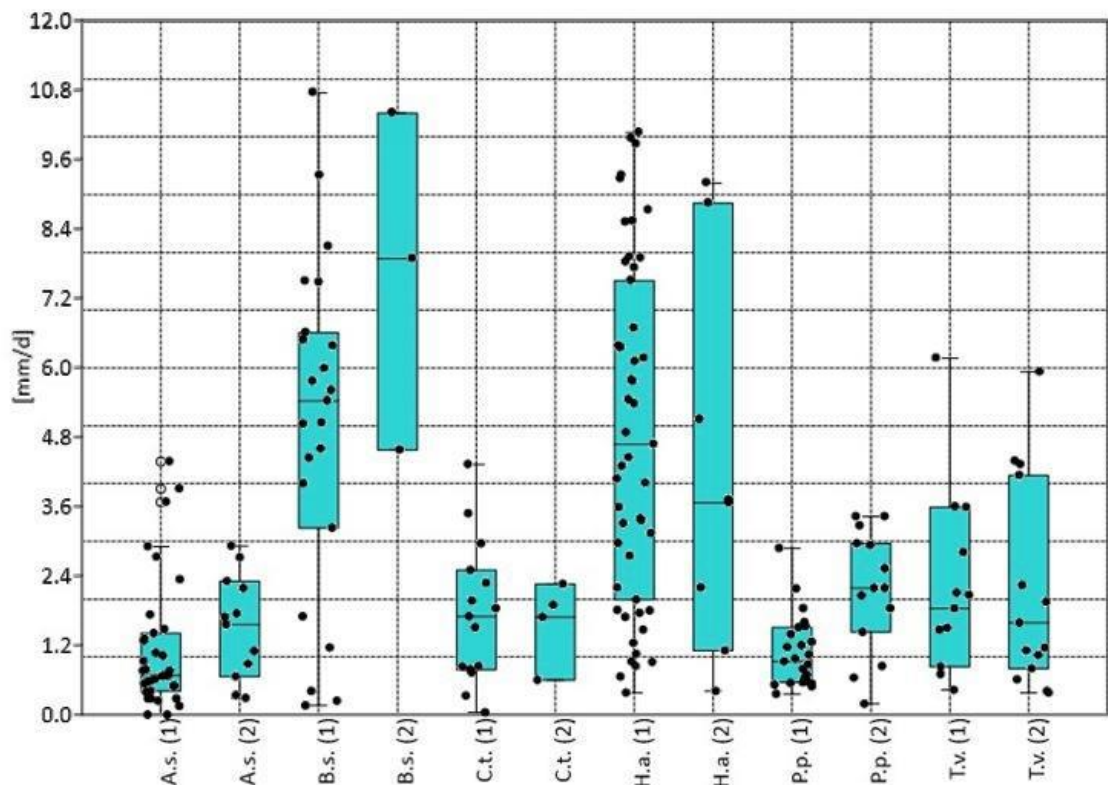


Abb. 5: Vergleich des Höhenwachstums der verschiedenen Baumarten in Bezug auf ihre Exposition
(1) = Sonne; (2) = Halbschatten

Bei *Aspidosperma spruceanum* liegt der Median des durchschnittlichen Höhenwachstums bei Bäumen, die komplett der Sonne exponiert sind, bei ca. 0,6 mm/d, während er bei *Aspidosperma spruceanum*, die im Halbschatten stehen, bei ca. 1,3 mm/d liegt. Laut Mann-Whitney U-Test weisen die Werte auf einen starken Trend hin ($z=-1,67, p=0,09$).

Aufgrund der geringen Anzahl an *Bursera simaruba* im Halbschatten – 3 Exemplare – ist ein Vergleich kaum möglich. Nichtsdestotrotz zeigt der Mann-Whitney U-Test einen schwachen Trend an, dass *Bursera simaruba* im Halbschatten besser wächst ($z=-1,20$, $p=0,22$).

Bei *Castilla tunu* unterscheidet sich bei den beiden Gruppen die Anzahl der untersuchten Exemplare stark, allerdings ist der Median bei 1,7 mm/d fast identisch. Auch der Mann-Whitney U-Test bestätigt, dass die Unterschiede nicht signifikant sind ($z=-0,15$, $p=0,88$).

Zwar beträgt bei *Hyeronima alchorneoides* der Median der Bäume mit hoher Sonnenexposition ca. 4,7 mm/d, während derselbe bei Bäumen im Halbschatten bei ca. 3,7 mm/d liegt, aber laut Mann-Whitney U-Test ist der Unterschied nicht signifikant ($z=-0,45$, $p=0,65$).

Anderes sieht es bei *Peltogyne purpurea* aus: Hier ist sowohl die Probenanzahl aussagekräftiger verteilt als auch der Unterschied höchst signifikant ($z=-3,03$, $p=0,002$). Während *Peltogyne purpurea* in der Sonne im Mittel (Median) nur ca. 0,9 mm/d wächst, beträgt der Median des Wachstums einer *Peltogyne purpurea* im Halbschatten 2,1 mm/d.

Das Verhältnis zwischen *Tachigali versicolor* mit hoher Sonnenexposition und *Tachigali versicolor* im Halbschatten ist zwar ausgeglichen, aber die Unterschiede zwischen den zwei Proben sind laut des Mann-Whitney U-Test nicht signifikant ($z=-0,43$, $p=0,66$). Die Mediane liegen bei 1,8 mm/d bzw. 1,6 mm/d.

3.6 Einfluss von Herbivorie auf das Höhenwachstum

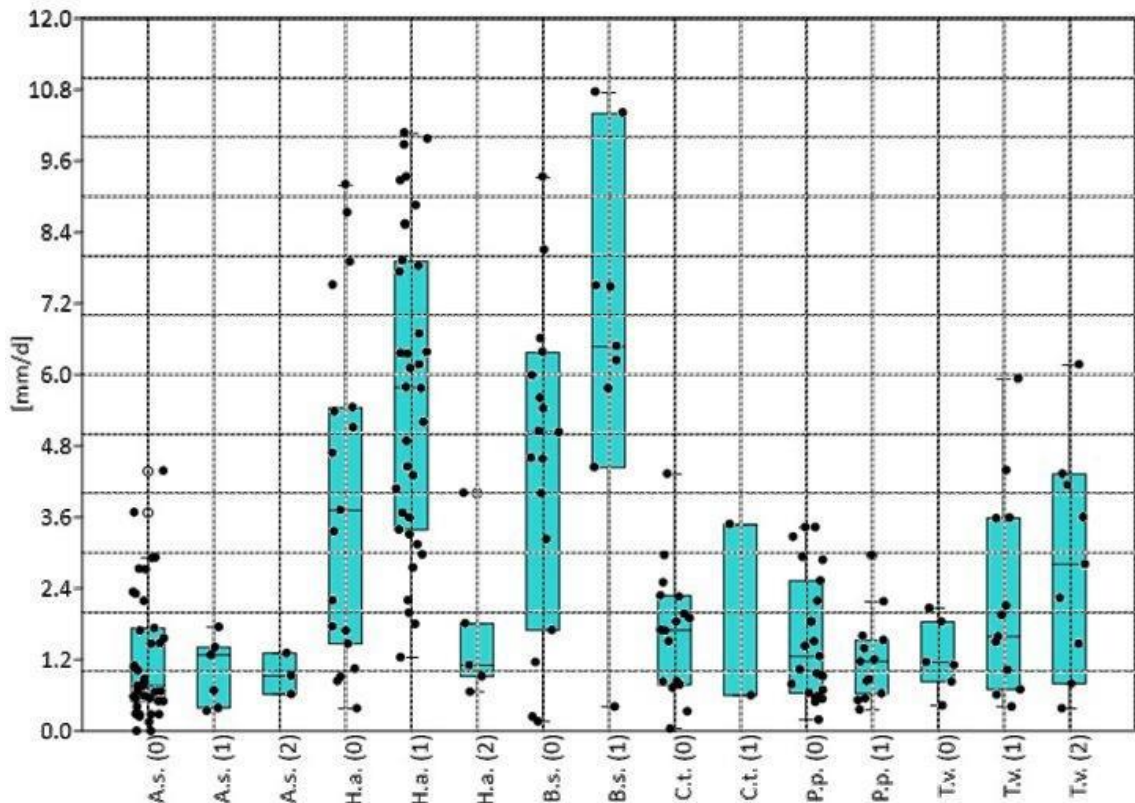


Abb. 6: Vergleich des durchschnittlichen Höhenwachstums der verschiedenen Baumarten in Bezug auf ihren Schädlingsbefall
 (0) = kein Schädlingsbefall (1) = leichte Fraßschäden; (2) = starke Fraßschäden

Die Unterschiede in der Wuchsgeschwindigkeit zwischen Exemplaren von *Aspidosperma spruceanum* ohne, mit leichten oder mit starken Fraßschäden sind nicht signifikant ((0)-(1): $z=-0,08$, (0)-(2): $z=-0,15$, $p=0,88$; (1)-(2): $z=0,12$, $p=0,93$). Individuen ohne Fraßschäden überwiegen stark.

Bei *Hyeronima alchorneoides* liegt hingegen eindeutig eine Signifikanz der Unterschiede zwischen Individuen ohne Fraßschäden und mit leichten Fraßschäden vor ($z=-2,24$, $p=0,03$). Bäume mit leichten Fraßspuren sind deutlich größer als jene, die keine aufweisen. Ihr Median liegt bei ca. 5,8 mm/d. Hingegen beträgt der Median von Bäumen ohne Schädlingsbefall nur 3,7 mm/d. Allerdings zeichnet sich von Bäumen ohne Fraßspuren ausgehend auch ein Trend in die andere Richtung ab ($z=-1,45$, $p=0,14$). Der Median bei Individuen mit starken Fraßschäden liegt nur bei 1,1 mm/d Höhenwachstum.

Auch bei *Bursera simaruba* weisen die Unterschiede der Wuchsgeschwindigkeit zwischen nicht befallenen und leicht angefressenen Bäumen einen starken Trend auf ($z=-1,83$, $p=0,07$). Während der Median der Bäume, die leichte Fraßschäden verzeichnen, bei ca. 6,4 mm/d liegt, ist derselbe bei Bäumen ohne Schädlingsbefall bei ca. 5,0 mm/d.

Bei *Castilla tunu* kann mangels Daten keine Aussage getroffen werden.

Peltogyne purpurea wächst ungeachtet des Schädlingsbefall ähnlich schnell, mit den Medianen jeweils bei ca. 1,3 mm/d und keinem signifikanten Unterschied beim Mann-Whitney U-Test ($z=-0,79$, $p=0,43$).

Zwischen *Tachigali versicolor* ohne Schädlingsbefall und jenen mit leichten Fraßspuren sind die Unterschiede laut Mann-Whitney U-Test nicht signifikant ($z=0,98$, $p=0,33$), aber verglichen mit Bäumen mit starken Fraßschäden ist ein Trend zu verzeichnen ($z=-1,59$, $p=0,11$), dass stark befallene Bäume größer sind.

4 Diskussion

4.1 Allgemeines Wachstum

Aus den Auswertungen dieser Arbeit ergeben sich klare Unterschiede in der Wuchsgeschwindigkeit der ausgewählten Baumarten. *Aspidosperma spruceanum*, *Castilla tunu*, *Peltogyne purpurea* und *Tachigali versicolor* sind mit einem Median von unter 2 mm/d Höhenwachstum pro Tag den langsam wachsenden Spezies zuzuordnen, wobei der Median von *Aspidosperma spruceanum* sogar unter 1 mm/d liegt. Hingegen wachsen Arten wie *Bursera simaruba* und *Hyeronima alchorneoides* bedeutend schneller – bei einem Median von ca. 3,5 mm/d. Wenige Ausreißer verzeichnen bei beiden Arten sogar Spitzenwerte von über 10 mm Wachstum pro Tag.

Die Werte von *Bursera simaruba*, *Peltogyne purpurea* und *Hyeronima alchorneoides* werden in Weissenhofer, Huber und Chacón (2012) bestätigt. *Aspidosperma spruceanum* wurde in Lorenzi (2002,40) als mittelschnell wachsend bezeichnet,

was aber angesichts seines sehr geringen Wachstums in dieser Untersuchung nicht bestätigt werden konnte. Für die übrigen Baumarten gab es bis jetzt keinerlei Vergleichswerte.

Auffallend ist, dass auch das Dickenwachstum einem sehr ähnlichen Muster folgt. Jene Bäume mit hohem Höhenwachstum nehmen auch schneller im Durchmesser zu. Somit kann zumindest bei dieser Auswahl an Baumarten eine Korrelation zwischen Höhen- und Dickenwachstum bestätigt werden.

Andererseits lässt sich durch die erhobenen Daten die Hypothese, dass die Wuchsgeschwindigkeit direkt proportional zur Holzdichte sei, nicht bestätigen. Zwar sind *Aspidosperma spruceanum* und *Peltogyne purpurea* langsam wachsend und besitzen eine hohe Holzdichte, doch *Castilla tunu* und *Tachigali versicolor*, beide ebenfalls langsam wachsend, sind zu den Bäumen mit niedriger Holzdichte zu zählen. Umgekehrt wachsen *Bursera simaruba* und *Hyeronima alchorneoides* sehr schnell, wobei *Hyeronima alchorneoides* den Bäumen mit hoher Holzdichte angehört. Grund dafür könnte laut Chave et al. (2009, 358) sein, dass in schweren Hölzern auch die Wassergefäße dicker sind und diese Bäume somit bei sehr trockenem Wetter nicht gezwungen sind, ihr Wassertransportsystem herunterzufahren, somit weiterwachsen und etwaige Nachteile durch die höhere Holzdichte ausgleichen können.

4.2 Leguminosen

Entgegen der Erwartung stellt sich heraus, dass die Anwesenheit von Leguminosen nur im Falle von *Aspidosperma spruceanum* und *Castilla tunu* maßgebliche Steigerung des Höhenwachstums verursacht. Die andere Hälfte der untersuchten Bäume bleibt mit großer Wahrscheinlichkeit vom zusätzlichen Stickstoff im Boden unbeeinflusst, oder er wirkt sich auf andere Bereiche des Baumwachstums oder der Gesundheit aus, die in dieser Untersuchung nicht erfasst wurden. Allerdings decken sich diese Ergebnisse mit den Standortpräferenzen der einzelnen Arten. Während *Aspidosperma spruceanum* fruchtbare Böden bevorzugt, kommen *Hyeronima alchorneoides* und *Bursera simaruba* auch auf schlechten, sauren Böden vermehrt vor (vgl. Weissenhofer, Huber und Chacón 2012).

Bei *Castilla tunu* ist bis dato nicht viel über ihre Bodenpräferenzen bekannt, diese sollten aber angesichts der relativ großen Häufigkeit der Pflanze auf der Finca Amable und der gleichzeitig hohen Mortalität von über 50% genauer untersucht werden.

Generell ist anzuraten, die Rolle der Leguminosen im Wiederbewaldungsprozess weiter und umfassender zu untersuchen, da die Leguminosen, entgegen der Annahmen, dass Wachstum durch Mangel an Kohlenstoff oder Stickstoff begrenzt wird (vgl. Massad, Dyer und Vega. 2012, Abstract), in diesem Fall keine großen Unterschiede im Höhenwachstum verursacht haben.

4.3 Exposition

Sowohl bei *Aspidosperma spruceanum* als auch bei *Peltogyne purpurea* ist stark zu empfehlen, diese im Halbschatten zu pflanzen. Die Werte der Untersuchung entsprechen somit den bereits vorhandenen Beobachtungen, dass die Keimlinge dieser Arten am besten im Halbschatten oder Schatten gedeihen (vgl. Lorenzi 2002, 40 und Weber 2001, 17). Demnach sollte weiter untersucht werden, wie ältere Individuen auf die Expositionssituation reagieren, beziehungsweise ob die Exposition nur in einem frühen Wachstumsabschnitt von hoher Bedeutung ist.

Anders sind bei *Tachigali versicolor* und *Hyeronima alchorneoides* keine Unterschiede zwischen Individuen mit hoher Sonnenexposition und im Halbschatten festzustellen. Bei *Tachigali versicolor* lässt sich das insofern bestätigen, als sie sich bekanntermaßen gut an wechselnde Lichtverhältnisse anpasst (vgl. Kitajima und Augspurger 1989, Abstract). Allerdings muss, um in Wiederbewaldungsprojekten die optimalen Bedingungen für Keimlinge zu schaffen, bei *Hyeronima alchorneoides* weitergeforscht werden, ob durch die geringen Datenmengen das Ergebnis verfälscht wurde. Denn bei Weissenhofer, Huber und Chacón ist zu lesen, dass diese Art hauptsächlich auf offenen Weiden vorkommt, somit an Standorten mit sehr hoher Sonnenexposition (2012, 104).

Um wirklich Aussagen über *Bursera simaruba* und *Castilla tunu* treffen zu können, müsste es bei beiden Arten eine größere Anzahl an Exemplaren im Halbschatten geben. Somit ist auch der rechnerische Trend, dass *Bursera simaruba* im Halbschatten besser wächst, stark zu hinterfragen und sollte auf jeden Fall weiter untersucht

werden, vor allem, weil er den bisherigen Beobachtungen widerspricht, die *Bursera simaruba* als einen Baum, der hohe Sonneneinstrahlung benötigt, klassifizieren (vgl. Weissenhofer, Huber und Chacón 2012, 105). Auch bezüglich *Castilla tunu* sind weitere Forschungsarbeiten anzuraten, da nach wie vor, durch die zu geringen Datenmengen, zu wenig über die Expositionspräferenzen bekannt ist.

In diesem Sinne ist ebenfalls anzumerken, dass aufgrund des geringen Alters der Wiederbewaldungsfläche Finca Amable noch zu wenige Daten zur Reaktion all dieser untersuchten Arten auf eine Vollschattensituation gesammelt werden konnten, was wichtig sein kann, um zu entscheiden, welche Bäume induziert werden müssen, weil sie in einem schon etwas älteren Sekundärwald, wegen des fehlenden Lichts, keine Chance hätten.

4.4 Herbivorie

Drei der sechs untersuchten Baumarten, nämlich *Hyeronima alchorneoides*, *Bursera simaruba* und *Tachigali versicolor* unterscheiden sich signifikant in ihrem Wachstum bezüglich des Herbivoriegrades. Jene mit leichtem Befall sind signifikant größer als jene ohne Schädlingsbefall. Dies ist ein Phänomen, welches schon oft beobachtet und von Herms und Mattso (1992) folgendermaßen beschrieben wurde:

They must grow fast enough to compete, and yet maintain the physiological adaptations (defenses) necessary for survival in the presence of herbivores and pathogens (Herms und Mattso 1992, 284).

Daraus ergibt sich, dass Bäume, die beispielsweise weniger in die Produktion von Abwehrstoffen investieren, mehr Ressourcen zum Wachsen haben, demnach größer als Artgenossen sind, die mehr Ressourcen für die Verteidigung aufwenden. Andererseits muss eine Balance gewahrt bleiben, wie sich bei *Hyeronima alchorneoides* zeigt, deren Wachstum bei starkem Fraßbefall signifikant geringer war. Natürlich muss hier gesagt werden, dass die Datenmenge bei starkem Fraßbefall allgemein sehr klein war, aber eine Tendenz, die weiter untersucht werden sollte, sicherlich festzustellen ist.

Anders bei *Aspidosperma spruceanum* und *Peltogyne purpurea*: Hier ist kein signifikanter Unterschied zwischen befallenen und nicht befallenen Bäumen

festzustellen. Auffallend ist allerdings, dass im Vergleich zu den anderen Baumarten der Anteil an nicht befallenen Bäumen um ein Vielfaches höher ist. Das bedeutet entweder, dass diese Baumarten von Grund auf resistenter sind, was nach der Grow-or-Defend-Theorie durchaus mit ihrer sehr geringen Wuchsgeschwindigkeit in Verbindung gebracht werden kann und deshalb geringere individuelle Unterschiede bestehen, oder, dass sich das Defizit in anderen Bereichen des Organismus abzeichnet.

Zu guter Letzt muss beim Betrachten dieser Daten bedacht werden, dass es sich um eine subjektive Einschätzung des jeweiligen Messenden handelt und somit das genaue Verhältnis der (sehr grob eingeteilten) Gruppen nur bedingt aussagekräftig ist. Möchte man weiter die Verbindung zwischen Herbivorie und den gepflanzten Baumarten auf der Finca Amable untersuchen, sind beim nächsten Messen detailliertere und genauer definierte Kategorien anzustreben.

4.5 Fazit

Alle untersuchten Faktoren haben – sehr artspezifisch – starke Auswirkungen im Speziellen auf das Höhenwachstum der untersuchten Baumarten. Gute Kenntnisse über den genauen Einfluss dieser Faktoren auf die in der Wiederbewaldung verwendeten Arten sind daher sehr hilfreich, den Wiederbewaldungsprozess sowohl ökologisch als auch ökonomisch zu optimieren, um so schnell wie möglich ein sich selbst regulierendes und artenreiches System zu schaffen. Denn beispielsweise über *Castilla tunu*, eine Baumart, die speziell in diesem Projekt sehr häufig gepflanzt wurde, ist nach wie vor sehr wenig bekannt und dem konnte aufgrund der hohen Mortalität und der daraus resultierende Datenknappheit auch in dieser Studie nicht viel hinzugefügt werden.

Keinesfalls sollten Bäume, die eine hohe Mortalitätsrate aufweisen, aus Wiederbewaldungsprojekten ausgeschlossen werden; sie sind ein wichtiger Bestandteil der Artenvielfalt und wie Karen Holl (2007, 108) empfiehlt, sollte man an Orten, wo Pionierpflanzen schnell Fuß fassen, vor allem Pflanzen der späteren Sukzession, die sich weniger schnell (und effizient) ausbreiten, pflanzen.

Literatur

- Cairns, John. 2003. „Rationale for restoration.“ In Perrow and Davy, *Handbook of Ecological Restoration*, 10–23.
- Calvo-Alvarado, J. C., D. Arias und D. D. Richter. 2007. „Early growth performance of native and introduced fast growing tree species in wet to sub-humid climates of the Southern region of Costa Rica: Forest Ecology and Management.“ *Forest Ecology and Management* 242 (2–3): 227–35. doi:10.1016/j.foreco.2007.01.034.
- Chave, Jerome, David Coomes, Steven Jansen, Simon L. Lewis, Nathan G. Swenson und Amy E. Zanne. 2009. „Towards a worldwide wood economics spectrum: Ecology Letters.“ 12 (4): 351–66. doi:10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x.
- Condit, Richard, Rolando Pérez und Nefertaris Daguerre, Hg. 2011. *Trees of Panama and Costa Rica*. Princeton field guides. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Davy, Anthony J. 2003. „Establishment and manipulation of plant populations and communities in terrestrial systems.“ In Perrow and Davy, *Handbook of Ecological Restoration*, 223–41.
- Herms, Daniel A. und William J. Mattso. 1992. „Errata: The Dilemma of Plants: To Growth or Defend.“ *The Quarterly Review of Biology* 67 (4): 283–335.
- Holl, Karen D. 2007. „Old Field Vegetation Succession in the Neotropics.“ In *Old fields: dynamics and restoration of abandoned farmland*, hg. v. Viki A. Cramer und Richard J. Hobbs, 93–118. The science and practice of ecological restoration. Washington: Island Press.
- Huber, Werner. 2005. „Tree diversity and biogeography of four one-hectare plots in the lowland rainforest of the Riedras Blancas National Park ("Regenwald der Österreicher"), Costa Rica.“ Universität Wien.
- Janzen, Daniel H. 1983. *Costa Rican Natural History*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kitajima, Kaoru und Carol K. Augspurger. 1989. „Seed and Seedling Ecology of a Monocarpic Tropical Tree, *Tachigalia Versicolor*.“ *Ecology* 70 (4): 1102–14. doi:10.2307/1941379.
- Kleinschmidt, Svenja. 2013. „Untersuchungen zu den Wiederbewaldungsmaßnahmen auf der Finca Amable (Prov. Puntarenas, Costa Rica).“ Hochschule Geisenheim University.

- Lockwood, Julie L. und Stuart L. Pimm. 1999. „When does restoration succeed?“. In *Ecological Assembly Rules*, hg. v. Evan Weiher und Paul Keddy, 363–92. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lorenzi, Harri. 2002. *Brazilian trees: A guide to the identification and cultivation of Brazilian native trees*. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora.
- Massad, Tara J., Lee A. Dyer und Gerardo Vega C. 2012. „Costs of Defense and a Test of the Carbon-Nutrient Balance and Growth-Differentiation Balance Hypotheses for Two Co-Occurring Classes of Plant Defense.“ *PLoS ONE* 7 (10): e47554 EP -. doi:10.1371/journal.pone.0047554.
- Tropenstation La Gamba. 2015. „Wissenschaftliche Informationen zur Region Golfo Dulce.“ Zugriff: 1. September 2015.
- Weber, Anton, Hg. 2001. *An introductory field guide to the flowering plants of the Golfo Dulce rain forests Costa Rica: Corcovado National Park and Piedras Blancas National Park ("Regenwald der Österreicher")*. Catalogue of OÖ. Landesmuseums N.F. 172. Linz: OÖ. Landesmuseum.
- Weissenhofer, Anton, Werner Huber und Madrigal E. Chacón. 2012. *Creando un bosque: Árboles para corredores biológicos en la región de Golfo Dulce, Costa Rica*. Vienna: Verein zur Förderung der Tropenstation La Gamba.
- Weissenhofer, Anton, Werner Huber und Michael Klingler. 2008. „Geography of the Golfo Dulce Region.“ In *Natural and cultural history of the Golfo Dulce region, Costa Rica*, hg. v. Anton Weissenhofer. Kataloge der Oberösterreichischen Landesmuseen N.S., 80. Linz: Land Oberösterreich Oberösterreichische Landesmuseen Biologiezentrum.
- Zanne, A. E., G. Lopez-Gonzalez, D. A. Coomes, J. Ilic, S. Jansen, S. L. Lewis, R. B. Miller, N. G. Swenson, M. C. Wiemann und J. Chave. 2009. „Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum.“ *Ecology Letters*. doi:10.5061/dryad.234.
- Zuchowski, Willow und Turid Forsyth. 2007. *Tropical plants of Costa Rica: a guide to native and exotic flora*. Ithaca, New York: Cornell University Press.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Mortalität der ausgewählten Baumarten	15
Abb. 2: Dickenwachstum in cm der verschiedenen Baumarten pro Jahr	16
Abb. 3: Höhenwachstum der verschiedenen Baumarten in mm pro Tag	18
Abb. 4: Vergleich des Höhenwachstums der verschiedenen Baumarten in Bezug auf die Anwesenheit von Leguminosen in derselben Parzelle	20
Abb. 5: Vergleich des Höhenwachstums der verschiedenen Baumarten in Bezug auf ihre Exposition	21
Abb. 6: Vergleich des durchschnittlichen Höhenwachstums der verschiedenen Baumarten in Bezug auf ihren Schädlingsbefall	23
Tab. 1: Daten zum durchschnittlichen Dickenwachstum	16
Tab. 2: Daten zum durchschnittlichen Höhenwachstum	18

Selbstständigkeitserklärung VwA

Name: Patricia Brandl

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich diese vorwissenschaftliche Arbeit eigenständig angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ort, Datum

Unterschrift