



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Chemotaxonomische Beiträge zur Gliederung der
Gattung *Psychotria* L.“

Verfasserin

Michaela Plagg M. A.

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2012

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 438

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Botanik (Stzw) UniStG

Betreuer:

Ao. Prof. Dr. Harald Greger

Abkürzungen

APW	Angiosperm Phylogeny Group Website
IPNI	International Plant Names Index
DMT	N,N-Dimethyltryptamin

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung-----	1
2. Die Gattung <i>Psychotria</i> L.-----	3
2.1 Erstbeschreibung-----	3
2.2 Systematik-----	4
2.3 Morphologie und Verbreitung-----	10
3. Arten der phytochemischen Untersuchung-----	15
3.1 <i>Psychotria buchtienii</i> -----	15
3.2 <i>Psychotria racemosa</i> -----	16
3.3 <i>Psychotria poeppigiana</i> -----	18
4. Stoffklassen-----	21
4.1 Zur Einteilung der Stoffklassen-----	21
4.2 Iridoid-Glykoside-----	22
4.3 Tryptamin-Alkaloide-----	23
4.4 Dopamin-Iridoid-Alkaloide-----	27
5. Material und Methode-----	29
5.1 Sammlungsgebiet und Pflanzenmaterial-----	29
5.2 Methode-----	30
6. Ergebnisse-----	33
6.1 Ergebnisse der phytochemischen Literaturlauswertung-----	33
6.1.1 <i>Palicourea neu</i> -----	34
6.1.2 <i>Psychotria</i> s. str. (<i>P.</i> subg. <i>Psychotria</i>)-----	40
6.1.3 Ausgliederte Taxa-----	41
6.1.4 Strukturformeln-----	43
6.2 Ergebnisse der phytochemischen Untersuchung-----	53
6.2.1 <i>Psychotria buchtienii</i> -----	53
6.2.2 <i>Psychotria racemosa</i> -----	56
6.2.3 <i>Psychotria poeppigiana</i> -----	58
7. Diskussion-----	62

Herbarbelege

Literaturverzeichnis

Zusammenfassung

Abstract

Curriculum vitae

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den chemotaxonomischen Zusammenhängen innerhalb der Gattung *Psychotria* L. Neben Literaturrecherchen erfolgten praktische, phytochemische Untersuchungen der Arten *P. buchtienii* (H. Winkl.) Standl., *P. poeppigiana* Muell. Arg. und *P. racemosa* Rich., deren Ergebnisse zur vorliegenden, chemosystematischen Gliederung der Gattung *Psychotria* s. l. beitragen.

Die Gattung *Psychotria* L. gehört der Familie der Rubiaceen (Ordnung: Gentianales) an. Die Rubiaceen (Kaffeegewächse, Rötengewächse) umfassen rund 13.000 Arten (DELPRETE, 2004), unter ihnen eine Vielzahl von Nutz- und Heilpflanzen. *Psychotria* L. ist die größte Gattung der Familie. In ihrer weitläufigsten Definition umfasst sie etwa 2000 Arten und gehört damit zu den umfangreichsten Gattungen im Pflanzenreich (STEYERMARK, 1975; TAYLOR, 1996; WILL & KIEHN, 2008). Für die Mitglieder der Gattung in dieser weitläufigen Definition wird die Bezeichnung *Psychotria* s. l. angewendet.

Eine zufriedenstellende systematische Gliederung der Gattung erwies sich bisher als problematisch: Durch morphologische Merkmale lässt sie sich nur schwer abgrenzen. Chemotaxonomische Beiträge waren zum Zeitpunkt der Verfassung dieser Arbeit in der Literatur kaum präsent (ELISABETSKY et al., 1997; LOPES et. al. 2004; BERNHARD et al., 2011). Doch da die Gattung pharmazeutisch interessante Inhaltsstoffe aufweist, wurden im Verlauf der letzten hundert Jahre immer wieder einzelne Arten der Gattung phytochemisch untersucht. Teil der vorliegenden Arbeit war es, diese phytochemischen Veröffentlichungen ausfindig zu machen (was durch Gattungs- und Namenswechsel, sowie durch die häufig illegitimen Benennungen, erschwert wurde) und die entsprechenden Daten im chemotaxonomischen Kontext auszuwerten.

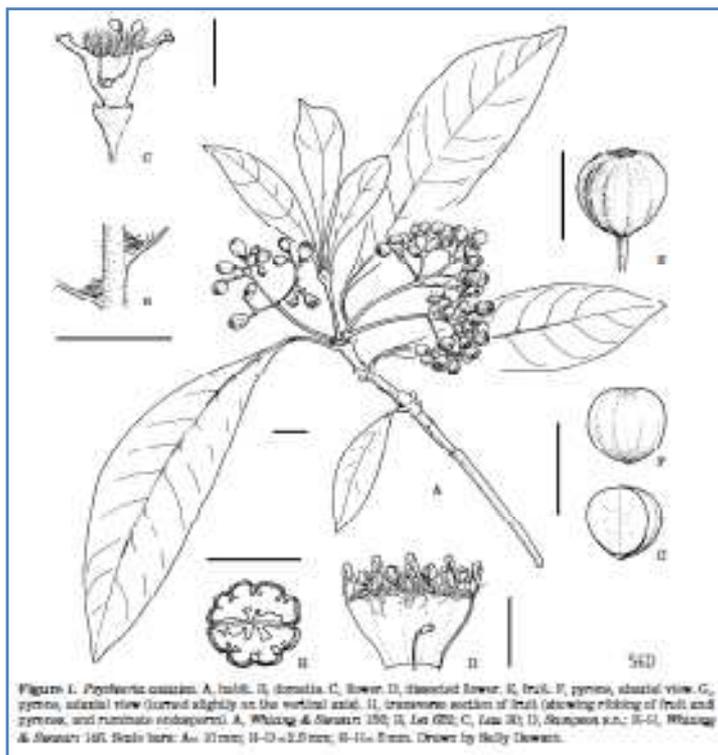
Im Laufe der letzten zwanzig Jahre hat es molekularbiologische Untersuchungen gegeben, welche Arten der *Psychotria* s. l. mit einschlossen (ANDERSSON, 2002a; NEPOKROEFF et. al., 1999) und deren Ergebnisse eine

Aufspaltung der Riesengattung nahelegen. Die vorliegende Arbeit soll klären, ob sich bei Betrachtung aller, zu Mitgliedern von *Psychotria* s. l. veröffentlichten, phytochemischen Daten, signifikante chemotaxonomische Merkmale ausfindig machen lassen. Weiters ist die Frage interessant, ob sich aus dem so erhaltenen chemotaxonomischen System Vorschläge zur Aufspaltung der Gattung ableiten lassen, beziehungsweise ob sich diesbezüglich bereits gemachte Ansätze durch die Untersuchung erhärten lassen.

2. Die Gattung *Psychotria* L.

2.1 Erstbeschreibung

Die Erstbeschreibung der Gattung erfolgte durch Linné im Jahr 1759, wobei *P. asiatica* L. (Abb. 1) als Typus dient. Von allem Anfang an erwies sich die systematische Gliederung der Gattung als schwierig: Schon im Zuge der Erstbeschreibung kam es zu einer problematischen Verwechslung und nachfolgende Autoren äußerten Zweifel an der Identität des als *P. asiatica* L. herbarisierten Individuums, wobei der Beschreibung der Typusart noch eine zweite Art (*P. brownei*) zu Grunde liegen soll (PETIT, 1966; BREMEKAMP, 1961; DAVIS et al., 2001).



„It is clear, then, that the description made by Linnaeus was drawn from at least two elements.”

(DAVIS et al., 2001)

Abb. 1:
P. asiatica, die Typusart der Gattung *Psychotria*
L. (DAVIS et al., 2001).

2.2 Systematik

Die Gattung *Psychotria* L. gehört der Familie der Rubiaceen (Kaffeegewächse, Rötelgewächse) an und ist somit Teil der Ordnung Gentianales. Nach BACKLUND (2000) umfassen die Gentianales als monophyletische Gruppe die Familien der Apocynaceen, Gelsemiaceen, Gentianaceen, Loganiaceen und Rubiaceen. Die monophyletischen Rubiaceen bilden innerhalb der Gentianales eine Schwestergruppe zu den übrigen vier Familien der Ordnung. (BREMER & ERIKSSON, 2009; APW, 2010)

Die Rubiaceen umfassen gegenwärtig etwa 650 Gattungen mit rund 13.000 Arten (DELPRETE, 2004). Im Deutschen namensgebend sind die Nutzpflanzen der Kaffee-Gruppe (*Coffea arabica*, *Coffea robusta*), jedoch gehören auch heimische Pflanzen wie der Waldmeister (*Galium odoratum*) zu den Kaffeegewächsen. Auch prominente pharmazeutische Substanzen, wie z.B. das Chinin, entstammen den Rubiaceen (Gattung *Cinchona*). Als Zierpflanzen sind viele Kaffeegewächse ebenfalls beliebt (z.B. aus der Gattung *Gardenia*) (HEYWOOD, 1993).

Im Verlauf der letzten 250 Jahre gab es immer wieder gravierende systematische Veränderungen innerhalb der Gattung *Psychotria*, der zeitweilig über 2000 Arten zugeschrieben wurden (DAVIS et al., 2001) und die damit zu den größten Gattungen weltweit gehört (WILL & KIEHN, 2008). Sie ist Teil der, von BREMEKAMP (1961) vorgeschlagenen, Unterfamilie der Rubioideae, welche sich durch die Präsenz von Raphiden von den bereits rund sechzig Jahre zuvor von Schumann (BREMER & MANEN, 2000) eingeführten Unterfamilien der Coffioideen und Cinchonoideen, bzw. von den rezenteren Guettardoideaen, abgrenzt. Erst 1988 erschien mit Robbrechts System die nächste detaillierte Abhandlung der Rubiaceen-Triben, wobei dieser die Gattung *Psychotria* der von ihm neu geschaffenen Tribus Psychotrieae zuordnete (ROBBRECHT, 1990).

Da sich das Taxon morphologisch nur schwer abgrenzen lässt, führten erst molekularbiologische Untersuchungen ab 1996 zu tiefgreifenden Veränderungen auf subfamiliärer Ebene. Steyermarks Bestrebungen in den siebziger Jahren (STEYERMARK, 1972; 1975) hatten durch Integration diverser Taxa zu einer massiven Vergrößerung der Artenzahl innerhalb der Gattung *Psychotria*, und damit innerhalb der Unterfamilie Rubioideae geführt. Die Analyse der

Verwandtschaftsbeziehungen durch Bremer veranlasste den Autor im Jahr 1996 von Psychotrieeae s. l. (BREMER, 1996), an Stelle einer klar definierten Tribus, zu sprechen – ein Begriff der sich mit dem drei Jahre später von Andersson und Rova erarbeiteten Gaertnereae-Morindeae-Psychotrieeae-Komplex (ANDERSSON & ROVA, 1999) deckt (RAZAFIMANDIMBISON et al., 2008). Im selben Jahr befindet auch Nepokroeff Robbrechts bis dato anerkannten Tribus Psychotrieeae für paraphyletisch (NEPOKROEFF et al., 1999). Bremer und Manen setzten ihre Studien fort und veröffentlichten ein Jahr darauf ihr System der „Psychotrieeae alliance“, welches inhaltlich im Wesentlichen den Psychotrieeae s. l. sensu Bremer und Manen entspricht. Demnach umfasst die „Psychotrieeae alliance“ die Stämme Psychotrieeae, Craterispermeae, Gaertnereae, Schradereae und Morindeae. 2006 erweiterten Robbrecht und Manen das Taxon durch Eingliederung der Palicoureeae (ROBBRECHT & MANEN, 2006). Schließlich fügten RAZAFIMANDIBINSON et al. (2008) noch die Mitchelleae, die Prismaticomerideae und die monotypische afrikanische Gattung *Schizocolea* hinzu. Die Tribus Psychotrieeae s. str. beinhaltet basierend auf Anderssons und Rovas, durch rps16-Sequenzen erarbeitetem System, die Gattungen *Psychotria*, *Chassalia*, *Chazaliella*, *Geophila*, *Hydnophytum*, *Margaritopsis*, *Myrmecodia*, *Palicourea*, *Readea*, *Rudgea*, *Squamellaria* und *Streblosa* (ANDERSSON & ROVA, 1999).

Abb. 2: Die „Psychotrieeae alliance“ im chronologischen Rückblick, von 1999 bis 2008

Tribal circumscriptions of the Psychotrieeae alliance based the recent molecular phylogenetic studies			
Andersson and Rova (1999)	Bremer and Manen (2000)	Robbrecht and Manen (2006)	Razafimandimbison et al. (this study)
	Craterispermeae ⁵	Craterispermeae ⁵	Craterispermeae ⁵
Gaertnereae ¹	Gaertnereae ¹	Gaertnereae ¹	Gaertnereae ¹
			Mitchelleae trib. nov.
Morindeae s.l. ²	Morindeae s.l. ²	Morindeae s.l. ²	Morindeae s.s.
		Palicoureeae ⁶	Palicoureeae ⁶
			Prismaticomerideae ⁷
Psychotrieeae s.l. ³	Psychotrieeae s.l. ³	Psychotrieeae s.s. ⁶	Psychotrieeae s.s. ⁶
Schradereae ⁴	Schradereae ⁴	Schradereae ⁴	Schradereae ⁴
			<i>Schizocolea</i>

¹Darwin (1976); ²including the *Mitchella* group and Prismaticomerideae sensu Robbrecht et al. (1991); ³including Palicoureeae sensu Robbrecht and Manen (2006); ⁴Puff and Buchner (1998); Puff et al. (1998a,b); ⁵Verdcourt (1958); ⁶Robbrecht and Manen (2006); and ⁷Robbrecht et al. (1991).

(RAZAFIMANDIBINSON et al., 2008).

Auch auf Gattungs- und Untergattungs-Niveau ergaben sich im Laufe der Geschichte weitläufige systematische Veränderungen. Die gegenwärtig anerkannte subgenerische Einteilung der Gattung *Psychotria* L. nimmt ihren Anfang 1964 mit Petits Trennung in *Psychotria* L. subg. *Psychotria* und *Psychotria* L. subg. *Tetramerae* (PETIT, 1966). Er griff dabei auf eine Arbeit von Hiern zurück, der *Tetramerae* bereits als Sektion der Gattung geführt hatte.

1972 veröffentlichte Steyermark sein System der Rubiaceen und integrierte, unter Missachtung der von Petit als gattungscharakteristisch angeführten Merkmale eine Vielzahl von Taxa in die Gattung *Psychotria* L. (ANDERSSON, 2002b). Unter anderem wurden die Gattungen *Notopleura*, *Naletonia*, *Nonatelia*, *Ronabea*, *Carapichea*, *Uragoga* und *Cephaelis* integriert und vornehmlich der neu eingeführten Untergattung *Heteropsychotria*, zugeordnet. Die von Petit definierten Untergattungen, *Psychotria* und *Tetramerae* erkannte Steyermark jedoch weiterhin an.

Was die Führung von *Cephaelis*, bzw. *Uragoga*, als eigene Gattung betrifft, so ist nach gegenwärtigem Wissensstand Steyermarks Standpunkt durchaus verständlich: Die betreffenden Gattungen wurden auf Grund ihrer auffälligen Infloreszenzmorphologie zusammengefasst, welche sich jedoch als reine Analogie in unabhängigen Linien parallel entwickelt haben dürfte (NEPOKROEFF et al., 1999).

„For example the presence of involucre bracts surrounding capitulate inflorescences has been used to define the genera Cephaelis and Uragoga, yet this character is likely to have evolved convergently in a diverse array of lineages in Psychotrieae.”

(NEPOKROEFF et al., 1999)

Weniger zielführend scheinen aus heutiger Sicht jedoch einige weitere Ansätze, die Steyermark im Zuge seiner Arbeit an *Psychotria* L. vorgeschlagen hat, und die in jüngster Zeit revidiert werden mussten. Bereits 1989 jedoch, noch bevor dies molekularbiologische Daten belegen konnten, äußerte Robbrecht schon die Ansicht, dass die Riesengattung *Psychotria* in kleinere Gattungen gespalten werden müsse (NEPOKROEFF et al., 1999). Rückblickend gab es, abgesehen von Petits klarer definiertem *Psychotria*-Begriff, bereits mehrere Hinweise darauf. Unter anderem eine wenig beachtete Arbeit die sich mit morphologischen Verzweigungsmustern innerhalb der Gattung befasst. Diese brachte zu Tage, dass Vertreter von *Psychotria* subg. *Psychotria* ihre Verzweigungsmuster betreffend durchwegs homogen sind. Vertreter von *Psychotria* subg. *Heteropsychotria* haben jedoch von diesen verschiedene, und, innerhalb der Untergattung, überdies unterschiedliche, Muster (HAMILTON, 1985).

Mit der Anerkennung von *Ronabea* als eigene Gattung setzte ROBBRECHT (1990) schließlich einen Schritt zur Verkleinerung der Gattung *Psychotria* L. Es war nicht das erste mal, dass *Ronabea* in *Psychotria* ein- und wieder ausgegliedert worden war: Nachdem die Gattung *Ronabea* 1775 von Aublet beschrieben, und von de Candolle wenig später übernommen worden war hatten Bentham und Hooker sie gut vierzig Jahre später als *Psychotria* L. sect. *Oppositiflora* schon einmal in die Gattung integriert. Bremekamp betrachtete das als inkorrekt und spaltete sie 1934 wieder als eigene Gattung ab (TAYLOR, 2004b). STEYERMARK (1975) aber machte Bremekamps Ausgliederung rückgängig und führte die Sektion wieder ein. Heute gilt *Ronabea* neuerlich als eigene Gattung und wird zudem nicht mehr den Psychotrieae zugeordnet, sondern der von BREMER & MANEN (2000) eingeführten Tribus der Lasiantheae (TAYLOR, 2004b).

Gleichzeitig mit seiner Zustimmung zur Ausgliederung von *Ronabea* äußerte Robbrecht, dass sich die Sektion *Notopleura*, welche von Steyermark der Untergattung *Heteropsychotria* zugeordnet worden war, an Hand ihrer Pyren-Morphologie klar von den übrigen Vertretern der Gattung abgrenzen lasse. Jedoch ging er nicht so weit, die Sektion als eigene Gattung auszugliedern, ein Schritt der erst durch TAYLOR (2004b) endgültig vollzogen wurde. Auch für *Notopleura* war diese Ausgliederung nicht die erste: Bentham und Hooker hatten sie 1874 bereits als Sektion *Notopleura* unter *Psychotria* geführt, bis Bremekamp sie 1934 als eigene Gattung ausgegliedert hatte. Durch ihre erneute Ausgliederung wurde ihre temporäre, auf Steyermark basierende, Wiedereingliederung revidiert. Molekularbiologische Untersuchungen (ANDERSSON & ROVA, 1999; NEPOKROEFF et al., 1999) bestätigten diesen Schritt.

Eine weitere Gattung, die in jüngster Zeit aus *Psychotria* ausgegliedert wurde, ist *Carapichea*. Robbrecht erachtete sie zwar 1994 noch für synonym mit *Psychotria* (ANDERSSON, 2002b), doch in der umfangreichen, molekularbiologischen Arbeit von NEPOKROEFF et al. (1999) zeigte sich klar, dass die zwei offenbar eng miteinander verwandten Arten *P. ipecacuanha* und *P. borucana* einen eigenen, zum damaligen Zeitpunkt noch namenlosen, Zweig bilden. Dass dieser spezielle Zweig in der besagten Studie nähere Verwandtschaft zu *Geophila* und *Hymenocoleus* aufweist, als zu den übrigen Arten der eigenen Gattung, legte seine Abspaltung nahe. Als 2002 Andersson diesem Zweig eine dritte Art zuordnen konnte, *P. ligularis* var. *carapichea*

(Poir) Steyerm. (syn.: *P. carapichea* (Steyerm.) Delprete) (ANDERSSON, 2002b), führte das zur endgültigen Auskopplung der drei Arten. Die Gattung *Carapichea* hatte damit ihren Namen, da *P. ligularis* var. *carapichea* bereits als Typus einer eigenen Gattung gedient hatte, und die Gattung also keine Neuschöpfung war, sondern eine Wiedereinführung erlebte. *Carapichea* war ursprünglich von Aublet im Jahr 1775 beschrieben worden, und von de Candolle 1830 zwar anerkannt, aber durch Richard im selben Jahr, und später auch durch Hooker im Jahr 1873, der Gattung *Cephaelis* zugeschrieben worden. Anders als bei *Notopleura* und *Ronabea* lag Bremekamp, nach bisherigem Kenntnisstand, im Fall *Carapichea*, bzw. *Cephaelis*, nicht richtig, denn er erkannte *Cephaelis* als eigene Gattung an und befürwortete auch die Synonymität von *Carapichea* mit *Cephaelis* (ANDERSSON, 2002b). Als STEYERMARK (1972) *Cephaelis* in *Psychotria* integrierte wurde somit auch *Carapichea* der Untergattung *Psychotria* subg. *Heteropsychotria* zugeordnet. Allerdings installierte Steyermark innerhalb der Untergattung eine eigene *Sektion Carapichea* (ANDERSSON, 2002b).

Nepokroeffs Untersuchung hatte also den Ausschlag zur Ausgliederung von *Carapichea* geliefert. Ihr Bestreben die bis dato paraphyletische Gattung *Psychotria* L. in monophyletische Zweige zu gliedern, machte noch weitere Schritte notwendig: So bestätigten ihre Ergebnisse die Ausgliederungen von *Notopleura* und *Ronabea*, nahmen die Ausgliederung von *Carapichea*, als noch namenloses Taxon, vorweg und bestätigten die bereits von früheren Autoren vermutete Heterogenität, bzw. Deplatzierung der Untergattung *Heteropsychotria* (HAMILTON, 1985; SOLIS et al., 1995). Nepokroeffs Ergebnisse zeigten weiters eine nahe Verwandtschaft zwischen Vertretern der Untergattung *Heteropsychotria* und der Gattung *Palicourea* Aubl. Als Folge dessen schloss Nepokroeff, dass die Untergattung *Heteropsychotria* aus der Gattung *Psychotria* L. ausgegliedert werden müsse, und gemeinsam mit *Palicourea* Aubl. eine eigene Gattung bilden sollte (NEPOKROEFF et al., 1999). Da sich der in dieser Arbeit für das entstehende Taxon vorgeschlagene Name *Psychotrophum* als nicht mit den Prioritätsregeln der Nomenklatur vereinbar erwies (DAVIS et al., 2001), wird dieses in der Literatur vorerst meist als ***Heteropsychotria plus Palicourea*** (syn: ***Palicourea neu***) bezeichnet (TAYLOR, 1996). Die verbleibenden Arten der Untergattungen *Psychotria* und *Tetramerae* werden als ***Psychotria s. str.*** bezeichnet. Unter ***Psychotria s. l.*** werden dagegen jene Taxa zusammengefasst, welche im Laufe der letzten 300 Jahre der Gattung *Psychotria* L. zugeschrieben worden sind.

Bis auf die Namensgebung konnten alle weiteren Ansätze Nepokroeffs, welche die Ausgliederung von *Heteropsychotria* und deren Vereinigung mit *Palicourea* Aubl. betreffen, in nachfolgenden molekularbiologischen Studien bestätigt werden (ANDERSSON, 2002a, 2002b;). Auch hatte Taylor die nahe Verwandtschaft zwischen *Heteropsychotria* und *Palicourea* Aubl. schon 1989 und 1996, Jahre vor Nepokroeffs Studie, betont. Sie betrachtete die durch Anpassung an Vogelbestäubung bedingte Blütenmorphologie von *Palicourea* Aubl. als Ableitung der vornehmlich insektenbestäubten Blüten von subg. *Heteropsychotria* und schloss somit, dass sich *Palicourea* aus *Psychotria* subg. *Heteropsychotria* entwickelt haben dürfte (TAYLOR, 1997).

Die Ausgliederung von *Heteropsychotria* reduziert die Gattung *Psychotria* L. also betreffend ihre Untergattungen im Groben wieder auf den Stand vor Steyermark. Petits 1966 eingeführte Untergattungen *Psychotria* und *Tetramerae*, sind nach wie vor anerkannt und fanden im Verlauf der Forschungsgeschichte auf diesem Gebiet immer wieder Zuspruch (NEPOKROEFF et al., 1999; ANDERSSON & ROVA, 1999; ANDERSSON, 2002a, 2002b). Ausgliedert wurde aus der Gattung jedoch noch eine Gruppe, welche lange der Gattung *Cephaelis* zugeordnet worden war, und welche durch Bremekamp als Gattung *Chytropsia* auf Gattungs-Niveau gehoben wurde. Im Zuge von Steyermarks *Cephaelis*-Integration, die Petits Schritt ignorierte, wurde *Chytropsia*, mit Ausnahme einer Art, als eigene Sektion der Untergattung *Heteropsychotria* zugeordnet. Dabei handelt es sich um die heutige *Margaritopsis microdon*, die er der Untergattung *Psychotria* zuschrieb. 1977 gliederte Verdcourt die paläotropische Gattung *Chazaliella* aus. Taylor konnte schließlich 1996 zeigen, dass *Chytropsia* und *Chazaliella* nach nomenklatorischer Priorität als *Margaritopsis* zu bezeichnen sind (BREMER & MANEN, 2000), nachdem Nepokroeff Vertreter von *Chazaliella* dem Taxon *Heteropsychotria plus Palicourea* zugeordnet hatte. Andersson aber gliederte *Margaritopsis* als eigene Gattung aus (TAYLOR, 2005).

Nepokroeffs Ergebnisse machten jedoch nicht nur Ausgliederungen notwendig. So integrierte sie auch Arten der Subtribus Hydnophytinae in *Psychotria*, die damit, gemeinsam mit der Untergattung *Tetramerae*, eine monophyletische Gattung mit zwei Zweigen bildete: Auf der einen Seite Hydnophytinae und einige Arten mit pazifischer Verbreitung und auf der anderen Seite *Psychotria* subg. *Tetramerae*, sowie *Psychotria* subg. *Psychotria* (NEPOKROEFF et al., 1999).

2002 bestätigte Andersson im Wesentlichen die Ergebnisse von Nepokroeff, mit dem einzigen größeren Unterschied, dass die pazifische Linie nicht der Gattung *Psychotria* s. str. zugeordnet wurde. Andersson inkludierte in *Psychotria* s. str. lediglich die Taxa *Psychotria* subg. *Psychotria* und *Psychotria* subg. *Tetramerae* (ANDERSSON, 2002a).

2.3 Morphologie und Verbreitung

Die Familie der Rubiaceen ist weltweit verbreitet (Abb. 3) (APW, 2010). Während sie in den tropischen Zonen, wo sie ihre größte Artenvielfalt erreicht, vor allem Bäume und Sträucher, seltener Epiphyten, bildet, ist die Familie in den gemäßigten Zonen krautig (HEYWOOD, 1993).

Als Familie lassen sich die Rubiaceen relativ leicht charakterisieren. Ihre Blattstellung ist gegen- oder quirlständig bei einfachen, ganzrandigen Blättern. Dies, in Kombination mit dem Vorhandensein von Stipeln, hebt sie vegetativ bereits von den meisten anderen Familien ab. Die Blüten sind meist vier- bis fünfzählig mit oberständigem Fruchtknoten; die Frucht eine Beere, Kapsel, Steinfrucht oder eine mit Anhängseln versehene Nuss (HEYWOOD, 1993).

Die Unterfamilie der Rubioideen zeichnet sich durch die Präsenz von Raphiden (nadelförmigen Kalciumoxalat-Kristallen) aus, welche in den Blättern akkumuliert werden (BREMEKAMP, 1961). Durch diese lässt sie sich klar von den übrigen Unterfamilien abgrenzen. Sie umfasst vor allem krautige Vertreter, jedoch gibt es zahlreiche Ausnahmen. Morphologisch lässt sich keine klarere Grenze ziehen: Die Raphiden gelten als einziges diagnostisches Merkmal.

Morphologie und Verbreitung der Rubiaceen



Abb. 3:

Einige Beispiele für die Formenvielfalt der Rubiaceen; Rechts oben: Verbreitungskarte der Rubiaceen (modifiziert nach HEYWOOD, 1993 und APW, 2010).

„Although the Rubiaceae forms a very clear-cut group, its intrafamilial classification is controversial and there has been disagreement about which characters are most suitable for delimiting tribes and subfamilies“.

(HEYWOOD, 1993)

Im Folgenden wird bereits die jüngste Einteilung der *Psychotria* s. l. berücksichtigt: Besprochen wird das Taxon getrennt in *Psychotria* s. str. und die Gattung *Palicourea* neu (= *Psychotria* subg. *Heteropsychotria* plus *Palicourea* Aubl.), mit Anmerkungen zu weiteren, ausgegliederten, Taxa und Schwerpunkt auf diagnostischen Merkmalen.

Psychotria s. str.

Psychotria s. str. ist pantropisch verbreitet und umfasst gegenwärtig etwa 600 Arten (TAYLOR, 2004a), davon 200 neotropisch, die vornehmlich strauchförmige Wuchsform aufweisen (TAYLOR, 1996). Diagnostisches Merkmal sind vor allem die **nicht-persistenten** Stipel (Abb.4), die nach dem Abfallen einen Trichom-Kranz hinterlassen (TAYLOR, 2004a). Auch weisen die Pyrene dieses Taxons keine Keimstellen auf, wodurch *Psychotria s. str.* nicht nur von den *Palicourea neu*, sondern auch von den ausgegliederten Gattungen *Notopleura* und *Margaritopsis*, klar unterschieden werden kann (TAYLOR, 2001).



Abb. 4:

Trieb einer *P. chagensis* (*Psychotria* subg. *Psychotria*) mit ausgeprägten, nicht-persistenten Nebenblättern: Stipel am ersten und zweiten Nodium von links noch deutlich zu sehen, am dritten Nodium von links bereits abgefallen (Foto: TROPICOS database).



Abb. 5:

Infloreszenz und Fruchtstand einer *Psychotria carthagenensis* (*Psychotria* subg. *Psychotria*) (Fotos: TROPICOS database).

Die durchwegs terminalen Infloreszenzen werden aus weiß gefärbten, kleinen Einzelblüten gebildet. Die Früchte der *Psychotria s. str.* sind, anders als bei *Palicourea neu*, **ausschließlich** rot gefärbt (Abb.5) und enthalten zwei Pyrene (TAYLOR, 2004a).

Palicourea neu



Abb. 6:
Bestäuber auf *Palicourea lasiorrhachis* (Foto:
TROPICOS database).

Die Arten innerhalb der Gattung *Palicourea neu* unterscheiden sich vor allem in der Blütenmorphologie. So betrachtet Taylor das Taxon *Palicourea* Aubl. für aus dem Taxon der ehemaligen *Psychotria* subg. *Heteropsychotria*, durch Anpassung an einen neuen Bestäuber, hervorgegangen:

„This genus is distinguished by characters of the corolla that apparently represent adaptations for pollination by hummingbirds and seem to be a member of a hummingbird-pollinated group closely related to Psychotria subg. Heteropsychotria, which is generally insect-pollinated.“

(TAYLOR, 1997)

Die Kronröhre der Gruppe *Palicourea* Aubl. ist meist, durch Anpassung an Vogelbestäubung (Abb.6 und Abb. 7), ausgeprägt bauchig gekrümmt und weist in ihrem Inneren einen Trichomkranz auf. Die durchwegs kleinen, weißen Blüten der *Psychotria* subg. *Heteropsychotria* entsprechen dagegen jenen der *Psychotria* s. str. (Abb.7) (TAYLOR, 2004a). Anders als bei *Psychotria* s. str. sind die Stipel der *Psychotria* subg. *Heteropsychotria* jedoch **immer persistent**. Auch weisen die Pyrene Keimspalten auf, welche jedoch anders ausgeprägt sind, als bei den ausgegliederten Gattungen *Margaritopsis* und *Notopleura* (TAYLOR, 2001; 2004a; 2004b; 2005).

Die Wuchsform ist innerhalb von *Palicourea neu* vornehmlich strauchförmig, wie bei *Psychotria* s. str., wodurch sich die Ausgliederung von *Notopleura* morphologisch bestätigen lässt: Diese verholzt, wenn überhaupt, nur basal (Abb.8) (TAYLOR, 1997; 2001).



Abb. 7:

Links: Typische Blütenform der Gattung *Palicourea* Aubl., angepasst an Vogelbestäubung (Foto: TROPICOS database); Rechts: Typische Blütenform der *Psychotria* subg. *Heteropsychotria*, angepasst an Insektenbestäubung (am Beispiel *P. pilosa*) (Foto: M. BERNHARD).



Abb. 8:

Beispiel einer als *Notopleura* aufgegliederten Art, die *Notopleura*-typische Wuchsform zeigt (ehemalige *Psychotria polyphlebia*), heimisch im Gebiet La Gamba (Foto: M. BERNHARD).

3. Arten der phytochemischen Untersuchung

3.1 *Psychotria buchtienii*

Psychotria buchtienii (H. Winkl.) Standl. wurde erstmals im Jahr 1910, als *Uragoga buchtienii*, beschrieben (IPNI, 2011). Die Art ist von Mexiko bis Bolivien weit verbreitet und besiedelt feuchte Tieflandwälder bis etwa 1300 m (TAYLOR, 2004a). Während der letzten Jahrzehnte wurde sie für das Gebiet Costa Rica als *P. officinalis* (Aubl.) Raeusch ex Sandwith. dokumentiert. Bei *P. officinalis* handelt es sich jedoch um eine andere Art, welche in Costa Rica nicht vertreten ist. Da dieser Fehler auch in die entsprechende Bestimmungsliteratur übernommen worden war (BURGER & TAYLOR, 1993), hielt sich das Missverständnis ausgesprochen lange. Taylor jedoch berichtigte es schließlich selbst:

“Specimens previously identified as Psychotria officinalis (AUBLET) SANDWICH., turned out to be different from the type of this species and have now been identified as P. buchtienii (H. WINKLER) STANDL.”

(TAYLOR ex WILL & KIEHN, 2008)

Die verholzende Pflanze erreicht eine Wuchshöhe von bis zu drei Metern. Ihre persistenten Stipel (TAYLOR, 2004a) weisen sie der Untergattung *Heteropsychotria*, also nach aktuellem Stand der Gattung *Palicourea neu*, zu. Ob das Epithet *Palicourea buchtienii* zulässig ist, oder ob ein „nomen novum“ geschaffen werden muss, ist bislang noch nicht geklärt worden. Die Stipel der *Psychotria buchtienii* sind stängelumfassend, mit je zwei dreieckig geformten, 1-2 mm langen Lappen auf jeder Stängelseite. Die Blattstellung ist gegenständig, mit ganzrandigen, einfachen, elliptisch bis breit-eilanzettlichen Blättern von 7,5—23,5 × 2,5—8,5 cm. Domatien sind nicht ausgeprägt. Die Infloreszenz ist cymös, pyramidal verzweigt, die Einzelblüten sitzend, mit gezähntem Kelch von 0,3- 0,8 mm Länge, die Kronröhre weiß gefärbt, 3-5 mm lang und mit 1-2 mm langen Lappen. Die Früchte sind 4,5-5 x 4,5-5 mm groß, rundlich und schwarz bis maulbeerfarben gefärbt (TAYLOR, 2004a).

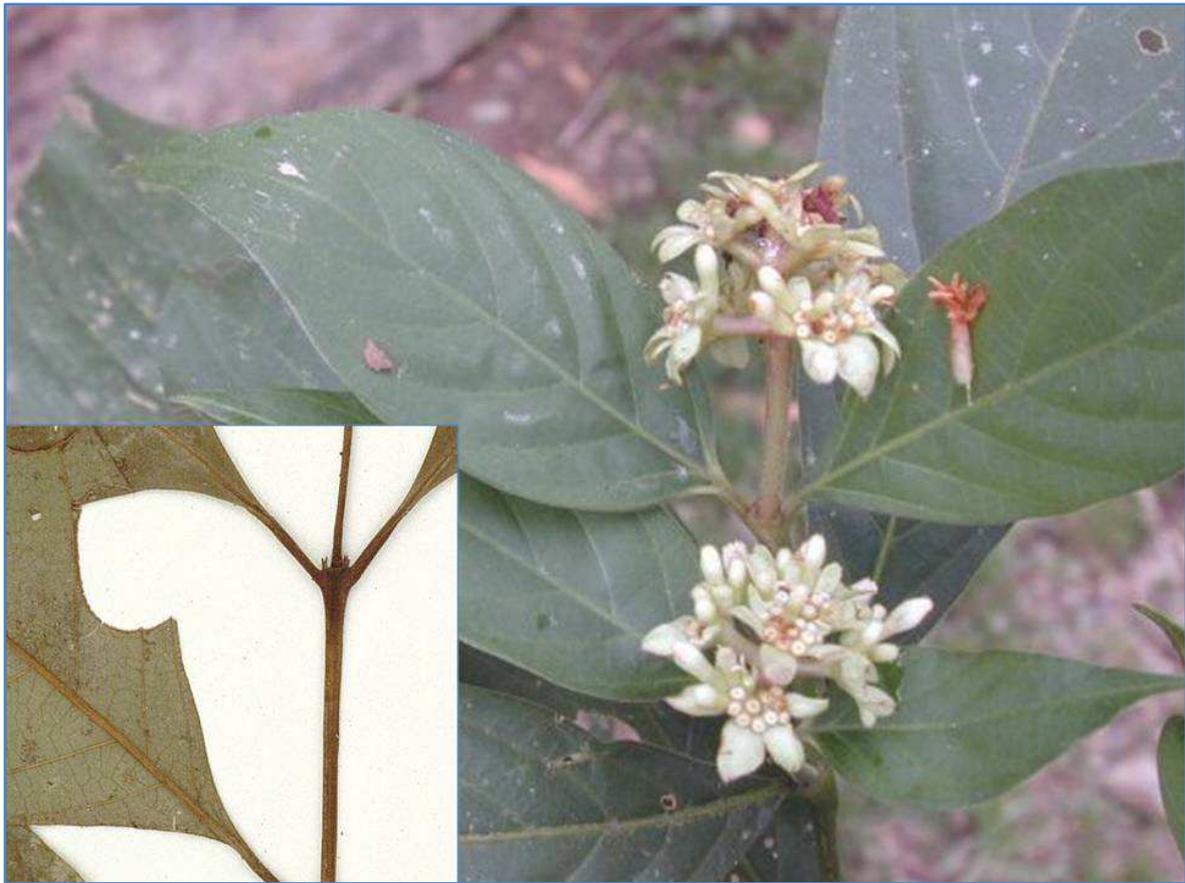


Abb. 9:
Psychotria buchtienii. Links unten: Herbarexemplar, Stipel sichtbar. Hintergrund: Laubblätter und Infloreszenz
 (Fotos: TROPICOS database).

3.2 *Psychotria racemosa*

Psychotria racemosa Rich. war über die letzten Jahrzehnte hinweg als *P. racemosa* (Aubl.) Raeusch. bezeichnet worden (DWYER, 1980; BURGER & TAYLOR, 1993), eine Bezeichnung die auf die Beschreibung der Art durch Aublet als *Nonatelia racemosa* (THE PLANT LIST, 2011) zurückgeht. Taylor argumentierte 2004 zum Vorteil des hier angeführten Autors (TAYLOR, 2004a), so dass *Psychotria racemosa* Rich. der derzeit akzeptierte Name der Art ist. Auch diese Art zählt zur Untergattung *Heteropsychotria* und dürfte folglich, sofern keine nomenklatorischen Regeln dagegen sprechen, als

Palicourea racemosa weitergeführt werden. Dies deckt sich auch mit der Ansicht von BORHIDI (2011) der die Art bereits als *Palicourea racemosa* (Aubl.) Borhidi führt.

Es handelt sich bei *P. racemosa* um eine verholzende Pflanze von bis zu 4 m Höhe. Sie ist relativ häufig in feuchtn Tieflandwäldern bis etwa 800 m von Mexico bis Brasilien und Bolivien anzutreffen (BURGER & TAYLOR, 1993).



Abb. 10:
Fruchtende *P. racemosa* im Regenwald der Österreicher (Foto: M. BERNHARD).

Die persistenten Stipel besitzen ausgeprägte Lappen von 6 – 18 mm Länge und dreieckiger Form, welche um den Stängel geschlossen sind. Die Blattstellung ist gegenständig, mit ganzrandigen, einfachen, elliptisch bis länglichen Blättern von 9-20 x 3-9 cm Größe. Diese weisen oft eine typische tertiär- und quartär-Nervatur auf. Domatien sind nicht vorhanden. Die cymöse Infloreszenz ist kurz-pyramidal mit sitzenden oder sehr kurz gestielten Einzelblüten. Der Kelch ist kleiner als 1 mm, die Krone weiß, gelblich oder grünlich gefärbt, mit einer Kronröhre von max. 3 mm Länge und abaxial mit einem Anhängsel von etwa 1 mm. Die Früchte erreichen 4-7 x 4-7 mm, sind rundlich oder länglich, jung grün, dann orange-rot, zur Reife jedoch schwarz-purpurn gefärbt, mit fünf Pyrenen (MACBRIDE & DAHLGREN, 1936; BURGER & TAYLOR, 1993).



Abb. 11:

P. racemosa. Links: Sprossachse mit sichtbaren, spitz-dreieckigen, Nebenblättern. Rechts oben: Fruchtstand (nicht ausgereift). Rechts unten: Großaufnahme der Stipel (nach Fotos von M. BERNHARD).

3.3 *Psychotria poeppigiana*

Psychotria poeppigiana Muell. Arg. wurde 1775 als *Tapogomea tomentosa* Aubl. beschrieben (THE PLANT LIST, 2011). Häufig wird als Autor jedoch Müller Argoviensis, basierend auf seiner Beschreibung von 1881, geführt (beispielsweise in TAYLOR & BURGER, 1993). Über das korrekte Basionym herrscht noch Uneinigkeit, die sich auch in den anstehenden Namenswechsel fortsetzen dürfte: Da die Art der Untergattung *Heteropsychotria* angehört, könnte sie zukünftig als *Palicourea poeppigiana* weiter geführt werden. Rückgreifend auf Aublets Erstbeschreibung führt sie Borhidi jedoch als *Palicourea tomentosa* (Aubl.) Borhidi (BORHIDI, 2011). Sie ist im Unterwuchs oder an

gestörten Standorten sehr feuchter Wälder bis etwa 1200 m anzutreffen und ist von Mexiko bis Bolivien, und Brasilien verbreitet (BURGER & TAYLOR, 1993).



Abb. 12:

P. poeppigiana aus dem Regenwald der Österreicher, mit typisch rot gefärbten Hochblättern, fruchtend (Foto: M. BERNHARD).

Bei *Psychotria poeppigiana* handelt es sich um eine dicht behaarte, bzw. beflaumte, Pflanze von bis zu max. 3 m Höhe. Die stängelumfassenden Stipel sind persistent und die dreieckigen Lappen, zwei auf jeder Seite, erreichen 4 – 16 mm Länge. Die Blattstellung ist gegenständig, mit ganzrandigen, ungeteilten, lang-elliptischen bis lanzettlichen Blättern von 6-25 x 2,5-13 cm Spreite. Domatien sind nicht vorhanden. Die Infloreszenz ist capitat, mit typisch ausgeprägten Hochblättern von leuchtend roter Färbung und einer Länge von 2,3-7 mm. Die Einzelblüten sind sitzend mit einem Kelch von max. 2 mm Länge, die Krone ist gelb gefärbt, mit einer Kronröhre von 9-15 mm Länge. Die Kronzipfel erreichen max. 3 mm. Die Früchte erreichen eine Größe von 9-15 x 3-10 mm, bei elliptischer bis zylindrischer Form und blauer Färbung (MACBRIDE & DAHLGREN, 1936; BURGER & TAYLOR, 1993). Die charakteristischen Hochblätter führten zum Trivialnamen der Pflanze: *Labios de Mujer*, bzw. rüder und weiter verbreitet: *Labios de Puta*. *Psychotria elata* erinnert habituell an *P. poeppigiana* und bildet ebenfalls lippenartige Hochblätter aus. Im Gegensatz dazu sind jedoch die Kronblätter der Einzelblüten von *P. elata* weiß gefärbt. Gut abgrenzen lässt sie sich auch

durch ihre fehlende Behaarung und ihre schwarz gefärbten Früchte (BURGER & TAYLOR, 1993).



Abb. 13:
P. poeppigiana. Links: Infloreszenz mit sichtbaren Einzelblüten, ebenfalls zu beobachten die typische, dichte Behaarung. Rechts oben: Fruchtstand. Rechts unten: Einzelfrucht (Fotos: M. BERNHARD).

4. Stoffklassen

4.1 Zur Einteilung der Stoffklassen

Zu den Stoffen, welche bislang innerhalb der Gattung *Psychotria* s. l. nachgewiesen werden konnten, zählen Iridoid-Glykoside, sowie verschiedene Alkaloide (Abb. 14). Die Einteilung und Bezeichnung dieser Alkaloide wird in der Literatur inhomogen gehandhabt – die vorliegende Arbeit unterscheidet, analog zu BERNHARD et al. (2011), zwei Großgruppen: Zum Einen die Tryptamin-Alkaloide, zum Anderen die Dopamin-Alkaloide.

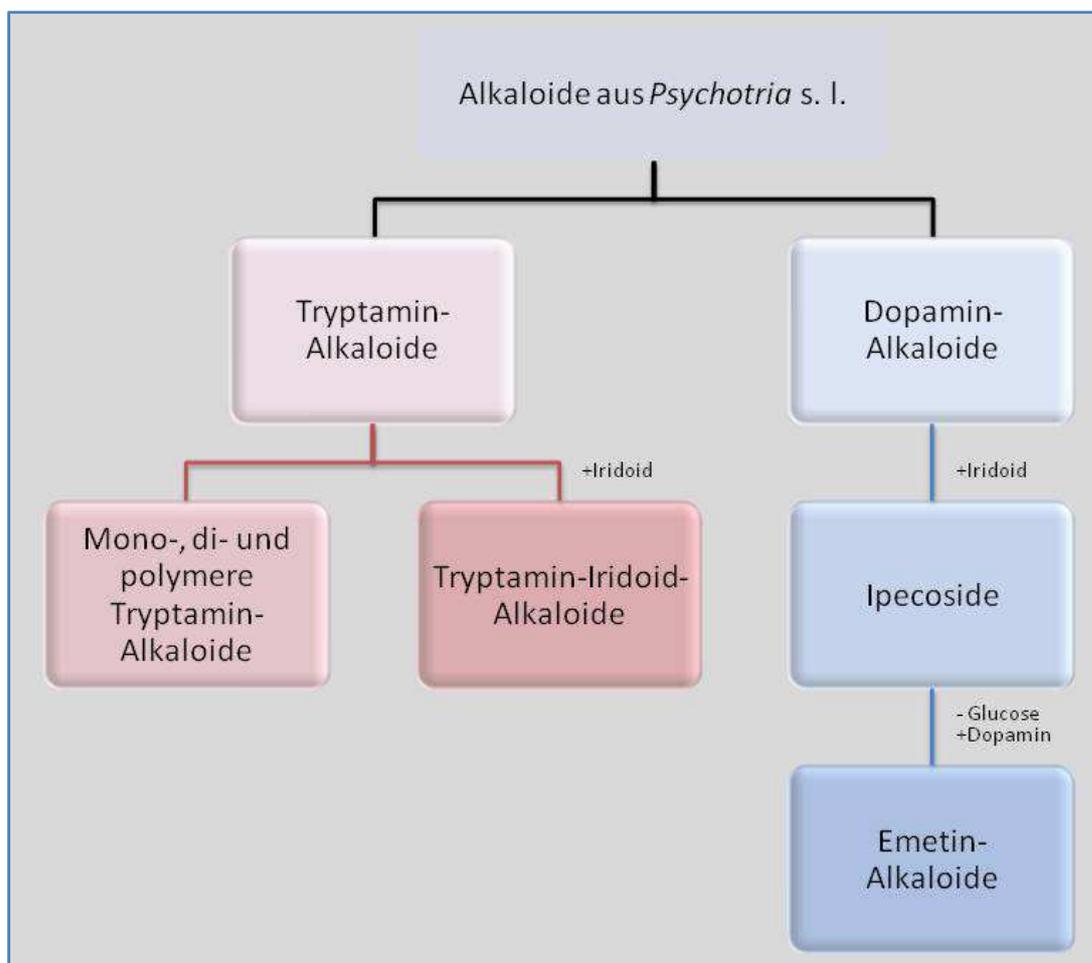


Abb. 14:

Überblick über die Alkaloidgruppen innerhalb der Gattung *Psychotria* s. l., mit schematisch vereinfachter Struktur-Ableitung. Zwischen Ipecosiden und Emetin-Alkaloiden wird in der vorliegenden Arbeit nicht unterschieden, sie werden als Dopamin-Iridoid-Alkaloide zusammengefasst behandelt

Jede dieser Gruppen wird im vorliegenden Kapitel kurz besprochen, ausführlichere Besprechungen der Stoffklassen sind der parallel laufenden Diplomarbeit von BERNHARD (2012) zu entnehmen. Nicht gesondert besprochen werden die Azaanthrachinone, eine Gruppe von Benzisochinolindionen, welche in *Notopleura camponutans* (DEL RAYO CAMACHO et al., 2004) nachgewiesen wurden. Sie wurden bislang nur in dieser einzigen Art der *Psychotria* s. l. gefunden und scheinen eine untergeordnete Rolle zu spielen.

4.2 Iridoid-Glykoside

Die Iridoide sind eine Untergruppe der Terpenoide. Als Terpenoide (syn.: Isoprenoide) bezeichnet man Verbindungen, welche sich von Isopren-Einheiten ableiten. Isopren selbst ist eine 5C-Einheit (Abb. 15). Iridoide entsprechen in der Anzahl ihrer zwei Isopren-Einheiten den Monoterpenen. Charakteristisch ist die Ausbildung eines fünfgliedrigen Rings und eines Dialdehyds bzw. isomeren Halbacetalrings, der durch Glykosidierung stabilisiert wird. Die Kohlenstoff-Anzahl kann modifiziert sein und kann auch aus neun, oder seltener acht C-Atomen bestehen. Der Pentanring der Iridoide kann sich durch oxidative Ringöffnung umwandeln, wodurch aus den Iridoiden die Secoiridoide (Abb. 16) entstehen.

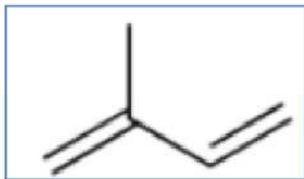


Abb. 15:
Die Struktur von Isopren

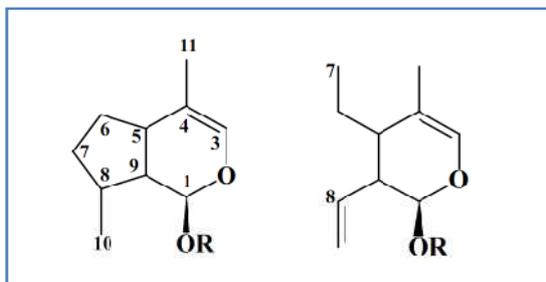


Abb. 16:
Grundstrukturen der Iridoide (links) und der Secoiridoide (rechts).

Iridoide sind eine weit verbreitete Stoffklasse: Es sind bereits über 2500 natürlich vorkommende Substanzen dieser Gruppe dokumentiert worden (SAMPAIO-SANTOS & KAPLAN, 2001). Sie liegen in der Pflanze meist glykosidisch gebunden vor und werden in den Vakuolen angereichert.

Bisherige Befunde zeigen, dass Iridoide in einigen *Psychotria*-Arten ausschließlich als freie Glykoside (Strukturformeln siehe Tabelle 1, (1-11)) auftreten, wie z. B. in *P. leiocarpa* (LOPES et al., 2004), *P. asiatica*, *P. serpens* und *P. manillensis* (INOUYE et al., 1988). In den meisten anderen Arten sind sie jedoch mit verschiedenen Aminen verknüpft und bilden so entweder die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide (Strukturformeln siehe Tabelle 1, (12-54)) oder die Dopamin-Iridoid-Alkaloide (Strukturformeln siehe Tabelle 1, (81-109)). Da sich die meisten Untersuchungen bisher nur auf das Auffinden von Alkaloiden konzentrierten, ist damit zu rechnen, dass bei routinemäßigen Vergleichen mit Dragendorff'schem Reagenz freie Iridoid-Glykoside nicht erfasst wurden. Die Akkumulation von Iridoiden äußert sich oft durch eine dunkle Verfärbung des Pflanzenmaterials im Verlauf der Trocknung. Man kann diese als *Iridoid-Schwärzung* bezeichnen. Auf diese Weise kann bereits die Durchsicht von Herbarbelegen Hinweise auf den Iridoidgehalt des betreffenden Individuums, und damit der Art, geben.

4.3 Tryptamin-Alkaloide

Die Biosynthese der Tryptamin-Alkaloide geht von Tryptamin, bzw. Tryptophan, aus. Die in *Psychotria* s. l. bislang nachgewiesenen Tryptamin-Alkaloide lassen sich in zwei Großgruppen unterteilen:

- a) Tryptamin-Iridoid-Alkaloide
- b) Mono-, di- und polymere Tryptamin-Alkaloide

a) Tryptamin-Iridoid-Alkaloide

Die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide umfassen eine Reihe von, teils komplexen, Strukturtypen, darunter beispielsweise die Substanzen vom Ergolin- und Iboga-Typ. Verglichen mit diesen, sind die in *Psychotria* s. l. nachgewiesenen Verbindungen relativ einfach gebaut.

Tryptamin, ausgehend von Tryptophan, wird mit Secologanin zu Strictosidin kondensiert (Abb. 17). Strictosidin (Strukturformel siehe Tabelle 1, (13)) ist das biosynthetisch basalste Tryptamin-Iridoid-Alkaloid, welches in *Psychotria* s. l. Ausgangssubstanz für die Bildung der anderen Strukturtypen (Strukturformeln siehe

Tabelle 1, (12-50)) ist. Es gibt jedoch auch Ausnahmen, in welche nicht Secologanin, sondern Loganin als Iridoid-Baustein eingebunden wird (Strukturformeln siehe Tabelle 1, (51-54)). Eingebaut werden können außerdem mehrere Iridoid-Anteile, wie etwa bei *Psychotria bahiensis* und *P. acuminata* (Strukturformeln siehe Tabelle 1, (49 und 50)) (PAUL et al., 2003). Eine weitere Besonderheit ist Nauclein (Tabelle 1, (46)), ein Tryptamin-Iridoid-Alkaloid das an Stelle der Sauerstoff-Funktion über eine zweite Stickstoff-Funktion verfügt.

Die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide der *Psychotria* s. l. (Abb. 18 und Tabelle 1, (12-54)) weisen einen hohen Formenreichtum auf.

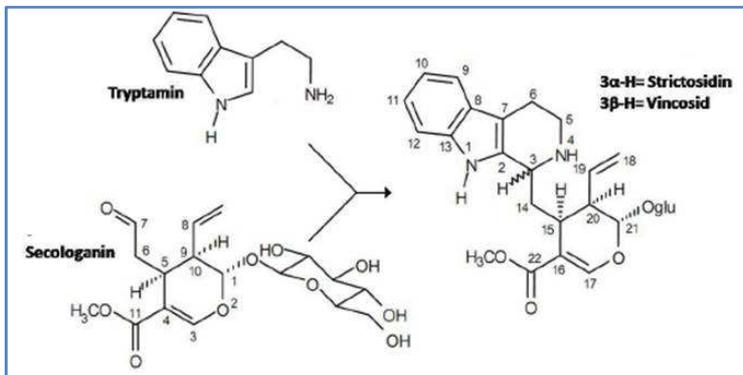


Abbildung 17:
Bildung der Tryptamin-Iridoid-Alkaloide ausgehend von Tryptamin und Secologanin (modifiziert nach SZABO, 2008).

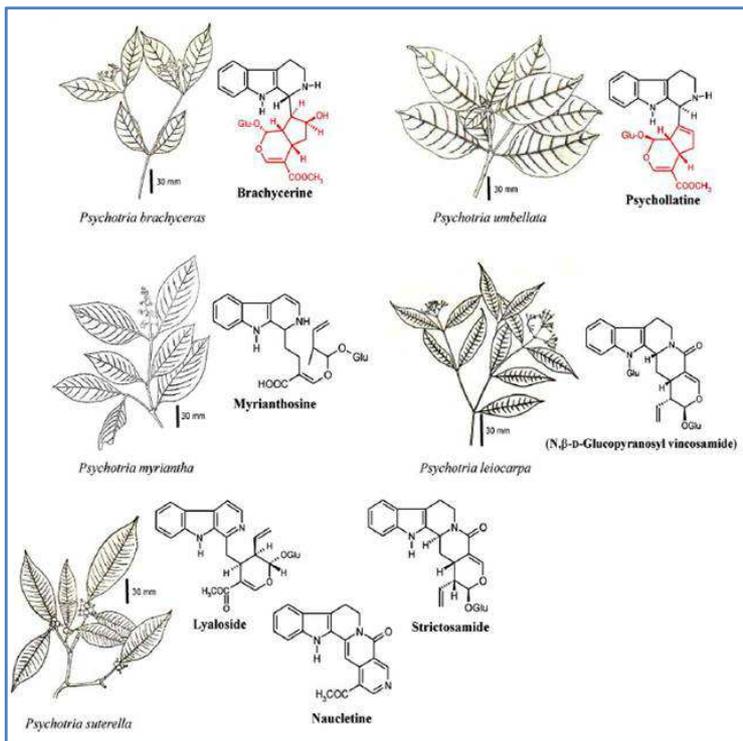


Abb. 18:
Überblick über einige TI-A (Tryptamin-Iridoid-Alkaloide) aus *Psychotria* s. l. mit Strukturformeln (modifiziert nach PORTO et al., 2009).

b) Mono-, di- und polymere Tryptamin-Alkaloide (Pyrrolidinoindolin-Alkaloide)

1. Monomere Tryptamin-Alkaloide

In *Psychotria* s. l. konnten bisher lediglich vier monomere Tryptamin-Alkaloide (Strukturformeln siehe Tabelle 1, (55-58)) nachgewiesen werden, darunter Methyl-Tryptamin und das bekanntere Dimethyl-Tryptamin (DMT) (RIVIER & LINDGREN, 1972). DMT ist das psychoaktive Prinzip des *Ayahuasca* (syn.: *Yagé*), eines bewusstseinsweiternden Trankes, welcher in der Amazonas-Region eine lange, schamanische Tradition hat (McKENNA et al., 1984). Dieser Trank enthält unter anderem die Art *P. viridis*, (SCHULTES & RAFFAUF, 1992), in welcher die Stoffe, Methyltryptamin und DMT, nachgewiesen werden konnten (RIVIER & LINDGREN, 1972).

2. Dimere Tryptamin-Alkaloide

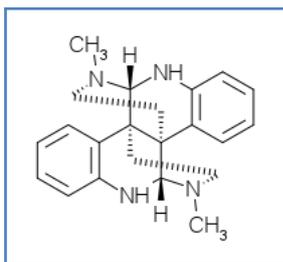


Abb. 19:
Struktur des Calycanthin.

In der Literatur sind auch Bezeichnungen wie *Cyclotryptamine* oder *Pyrrolidin-Indolin-Alkaloide* für diese Gruppe anzutreffen. Die erste isolierte Substanz dieser Art war Calycanthin, dessen Struktur in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts aufgeklärt werden konnte (STEVEN & OVERMAN, 2007). Calycanthin (Abb. 19) ist zugleich das komplexest verknüpfte, in *Psychotria* s. l. nachgewiesene, dimere Tryptamin-Alkaloid. Häufiger nachzuweisen, und einfacher gebaut, sind Substanzen vom Chimonanthin-Typ (C_{3a} - C_{3a} -Verknüpfung) (Abb. 20 und 21), oder durch simple C_{3a} - C_7 -Kondensation entstandene Stoffe (Abb. 21). Arten der *Psychotria* s. l., in welchen dimere Tryptamin-Alkaloide nachgewiesen werden konnten, sind dem Abschnitt *Phytochemische Übersicht* zu entnehmen (Strukturformeln siehe Tabelle 1, (59-67)).

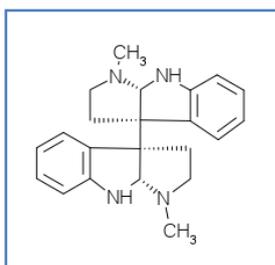


Abb.20:
Struktur des Chimonanthin.

Zwischen dimeren Tryptamin-Alkaloiden welche Calycanthin-, bzw. Chimonanthin-Struktur aufweisen, wird im chemotaxonomischen Teil der vorliegenden Arbeit nicht unterschieden. In der Vergangenheit wurde in der Literatur der Verdacht geäußert, Calycanthin könnte durch Säureeinwirkung im Verlauf der Isolierung aus Chimonanthin hervorgehen, und

somit möglicherweise gar nicht natürlich in der Pflanze vorliegen (STEVEN & OVERMAN, 2007). Da Calycanthin und dessen Derivate aber im Laufe der letzten dreißig Jahre in großer Zahl, und durch verschiedene Isolierungsmethoden, aus *Psychotria* s. l. gewonnen wurden, geht die vorliegende Arbeit von Calycanthin als Naturstoff aus.

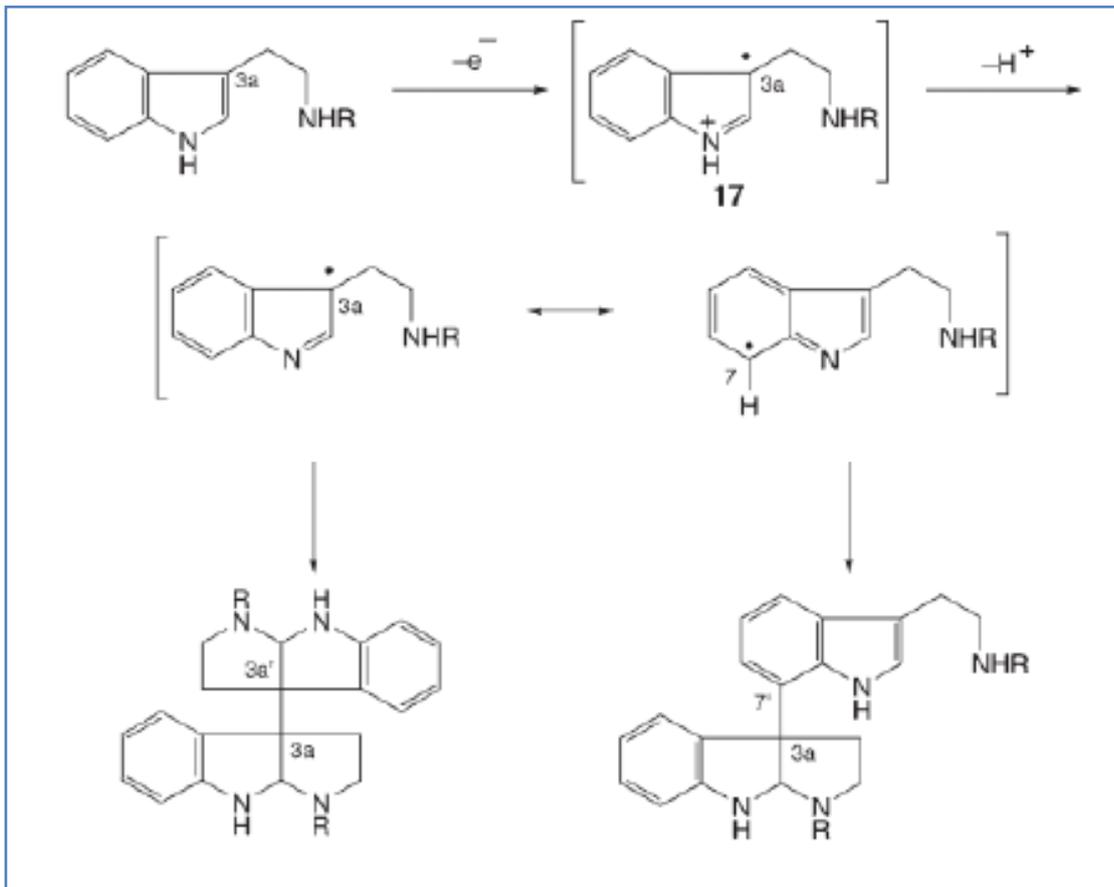


Abb.21:

Schematisch vereinfachte Biosynthese zweier Typen von dimeren Tryptaminen in *Psychotria* s. l.; links: C_{3a}-C_{3a}-Verknüpfung. rechts: C_{3a}-C₇-Verknüpfung (STEVEN & OVERMAN, 2007).

3. Polymere Tryptamin-Alkaloide

In der Literatur sind diese Stoffe auch unter den Bezeichnungen *Cyclotryptamine*, *Polyindoline* oder *Pyrrolidinoindolin-Alkaloide* zu finden. Prinzipiell entsprechen sie strukturell den dimeren Tryptamin-Alkaloiden, mit dem Unterschied, dass jeweils mehr als zwei Tryptamin-Einheiten (bis zu sieben Einheiten) miteinander verknüpft sind. Es handelt es sich zum Großteil um C_{3a}-C_{3a}- und C_{3a}-C₇-Verknüpfungen (Abb. 21), welche verschieden kombiniert auftreten, jedoch sind auch ungewöhnlichere Verknüpfungen bekannt (Strukturformeln siehe Tabelle 1, (68-80)).

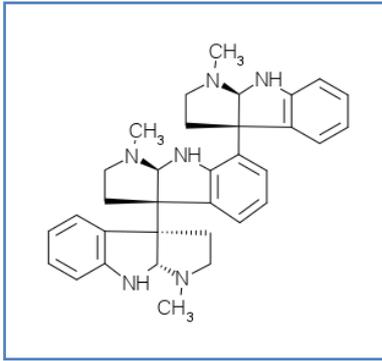


Abb. 22:
Die Struktur von Hodgkinsin

Häufig in *Psychotria* s. l. detektierte Substanzen dieser Gruppe sind beispielsweise Hodgkinsin (Abb. 22) und Derivate vom Quadrigemin-Typ. Bei den Quadrigeminen unterscheidet man die 2+2-verknüpften, von den 3+1-verknüpften Varianten (Abb. 23).

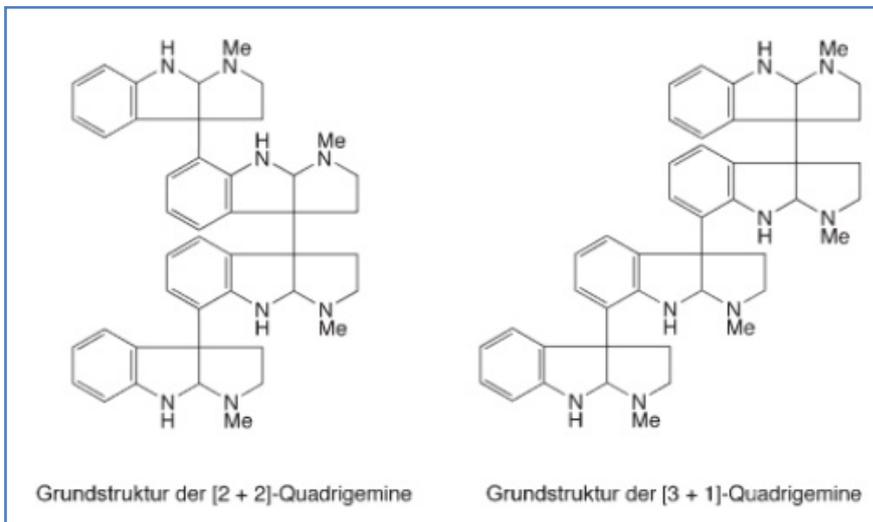


Abb.23:
Typen der Quadrigemin-Verknüpfung (STEVEN & OVERMAN, 2007)

4.4 Dopamin-Iridoid-Alkaloide

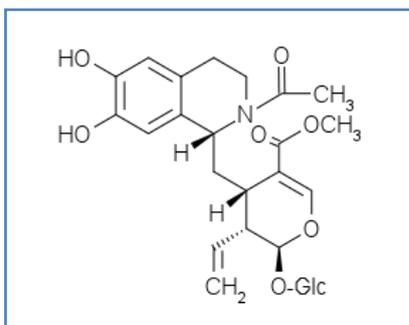


Abb. 24:
Die Struktur von Ipecosid

Die Biosynthese der Dopamin-Iridoid-Alkaloide basiert auf der Verknüpfung eines Dopamins mit der Aldehydgruppe eines Iridoids (Secologanin). Aus Dopamin plus Secologanin wird Deacetyloisopecosid gebildet. Durch Substitutionen an den Hydroxy-Gruppen des Dopamins bzw. durch Modifikationen des Iridoid-Anteils sind in weiterer Folge eine Vielzahl von daraus hervorgehenden Substanzen möglich (CHEONG et al., 2011). Weiters kann nach

Abspaltung von Glukose zusätzlich eine Dopamin-Einheit hinzu kommen (STAUNTON, 1972). Das typische, namensgebende, Beispiel für Derivate dieses Typs ist Emetin (Abb. 25 und 26). Substanzen dieser Art finden sich neben Rubiaceen auch in Alangiaceen und Icacinaceen (WIEGREBE et al., 1984).

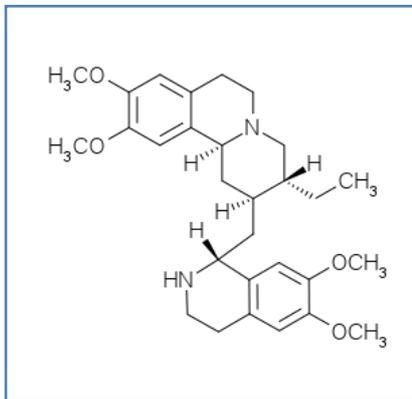


Abb.25:
Die Struktur von Emetin

Emetin hat seinen Namen seiner emetischen Wirkung zu verdanken. Die Art *Carapichea ipecacuanha* (syn.: *Psychotria ipecacuanha*), welche die Substanz akkumuliert, hat den deutschen Namen *Brechwurz* und blickt auf eine lange, pharmazeutische Tradition zurück (STAHL, 1981). Emetin konnte auch in *C. affinis* nachgewiesen werden (BERNHARD et al., 2011).

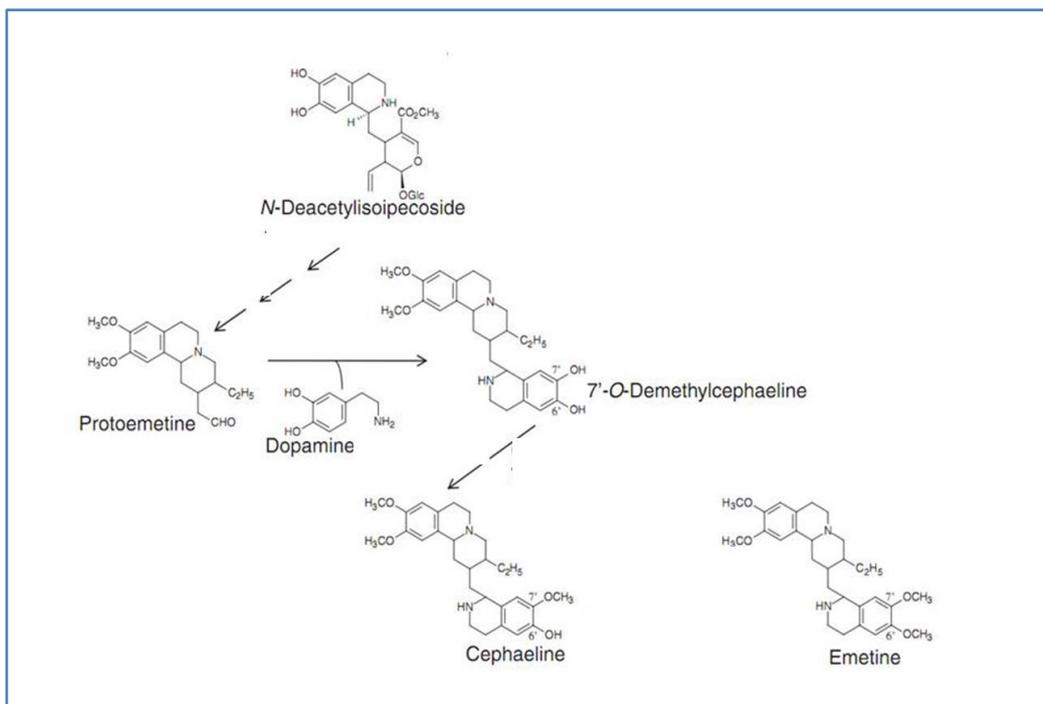


Abb. 26:
Die Biosynthese der Emetin-Alkaloide ausgehend von N-Deacetylisoipecosid (modifiziert nach CHEONG et al., 2011).

5. Material und Methode

5.1 Sammlungsgebiet und Pflanzenmaterial



Abb. 27:
Costa Rica (rot markiert)(GEOINFO).

Die demokratische Republik Costa Rica (Abb. 27) liegt in Mittelamerika und wird im Norden von Nicaragua, im Süden von Panama, begrenzt. Für die biologische Tropenforschung ist das Land dank seiner enormen Biodiversität hochinteressant (HUBER, 2005). Auch hat die Schaffung ausgedehnter Schutzräume die Erhaltung typischer Wälder gefördert, welche in Mittel- wie Lateinamerika durch exzessive Agrarnutzung und Ausbeutung von Bodenschätzen selten geworden sind. Die kleine Ortschaft La Gamba findet sich nahe der Hafenstadt Golfito (im *Golfo Dulce*), in der Provinz Puntarenas im Süden des Landes ($8^{\circ}42'N$ und $83^{\circ}13'W$, bei einer Meereshöhe von 70 m). Der *Regenwald der Österreicher* liegt in unmittelbarer Nähe von La Gamba innerhalb des *Parque Nacional Piedras Blancas*. Es handelt sich um einen perhumiden Tieflandregenwald ohne ausgeprägte Trockenzeit, der einen mittleren Jahresniederschlag von ca. 6000 mm. aufweist. Die Tagestemperatur liegt konstant bei 25 bis 27 ° C. Die Luftfeuchtigkeit im Waldesinneren beträgt rund 97% (WEISSENHOFER, 2005). Gegründet wurde der *Regenwald der Österreicher* durch den gleichnamigen Verein, welcher in den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts von dem Musiker Michael Schnitzler initiiert worden ist (REGENWALD DER ÖSTERREICHER, 2011). Heute ermöglicht im *Regenwald der Österreicher* die mittlerweile errichtete *Forschungsstation La Gamba* Untersuchungen verschiedenster Wissenschaftszweige. Grundlagenforschung, welche in Lateinamerika wegen der restriktiven Sammelbestimmungen nur schwer finanziert werden kann, wird hier ermöglicht (PLAGG, 2011).

Das im Zuge der vorliegenden Untersuchung verwendete Pflanzenmaterial wurde im *Regenwald der Österreicher*, im Nationalpark *Piedras Blancas*, von Martin Bernhard und Harald Greger gesammelt, identifiziert und vor Ort getrocknet (BERNHARD, 2012).

5.2 Methode

Extraktion

Das getrocknete Pflanzenmaterial wurde im Mixer pulverisiert und mit Methanol jeweils zwei mal über einen Zeitraum von 7 Tagen bei Raumtemperatur extrahiert.

Nachweisreagenzien

Zum Nachweis von Alkaloiden wurde Dragendorff'sches Sprühreagens nach Stahl herangezogen. Damit besprühte Platten wurden bei Raumtemperatur, ohne zusätzliche Wärmeeinwirkung, entwickelt. Die Komponenten des Reagens (Lösung A und Lösung B) setzen sich wie folgt zusammen:

Lösung A: 0,51 g Wismut-Subnitrat + 6 ml Essigsäure + 24 ml H₂O

Lösung B: 12 g Kaliumjodid + 30 ml H₂O

Zur Herstellung von 300 ml Dragendorff-Reagenz wurden die Lösungen A und B mit 30 ml Essigsäure und 240 ml H₂O vermengt.

Es ist allerdings eine vergleichsweise hohe Konzentration der in dieser Untersuchung detektierten Alkaloide notwendig, um eine Reaktion mit diesem Sprühreagens zu erzielen. Falsch-negative Resultate sind somit nicht auszuschließen. Falsch-positive Ergebnisse sind dagegen nicht zu erwarten.

Zur Detektion von Terpenoiden wurde Anisaldehyd-Sprühreagens verwendet. Die damit besprühten DC-Platten wurden unter Heißluft-Einwirkung entwickelt. Die Zusammensetzung des Anisaldehyd-Sprühreagens entspricht pro 85 ml MeOH 10 ml Eisessig, 8 ml konzentrierte Schwefelsäure und 0,5 ml Anisaldehyd.

Auftrennung

Flüssig-Flüssig-Extraktion

Die in wenig Methanol gelösten Rohextrakte wurden hierfür in 100 ml Wasser aufgenommen und anfänglich mit Chloroform, in 50- ml Schritten, bis zum Erreichen von 250 ml Chloroform gesamt, ausgeschüttelt. Dieser Vorgang wurde mit Ethylacetat

wiederholt. Die entstandenen Chloroform-, bzw. Ethylacetat- Phasen wurden archiviert. Die Wasserphase wurden weiter bearbeitet.

Trockensäule

Als stationäre Phase der Kieselgelsäule diente Merck Silicagel 60; 0,2-0,5. Die Säule hatte einen Durchmesser von 4 cm bei einer Länge von 80 cm. Der Lösungsmittelgradient der mobilen Phase, sowie die Fraktionsvolumina, variierten und sind daher dem Ergebnisteil der entsprechenden Pflanze zu entnehmen. Die Trockensäule wurde ohne zusätzlichen Druck betrieben bei einer Flußrate von etwa einem Tropfen/Sekunde.

Sephadex-Gelsäule

Als stationäre Phase diente Sephadex LH-20 Gel. Die Säule hatte einen Durchmesser von 4 cm, bei einer Länge von 90 cm. Als mobile Phase diente ein Methanol-Ethylacetat-Gemisch (50:50). Die Gelsäule wurde ohne zusätzlichen Druck betrieben, die Durchflußrate betrug etwa 1 Tropfen/Sekunde.

Präparative DC (Präparative Dünnschichtchromatographie)

Die präparative DC wurde mittels Kieselgelplatten (Merck Silica Gel 60 F₂₅₄ 20x20 cm, Schichtdicke 0,5 mm) vorgenommen. Sie kam lediglich dann zum Einsatz, wenn ein Gemisch aus wenigen, auf den Kieselgelplatten gut trennbaren, Stoffen vorlag. Das jeweilige Laufmittelgemisch variierte entsprechend den zu gewinnenden Substanzen. Nach Bedarf wurden am Randstreifen die beschriebenen Nachweisreagenzien aufgetragen, um die Banden besser identifizieren zu können.

Präzipitation

Soweit möglich wurden Stoffe durch Kristallisation gewonnen. Hierfür wurden die Substanzen zur Trockene gebracht, und in geeignetem, teils auf 40°C erwärmtem, Lösungsmittel (fallweise Methanol oder Wasser) bis knapp unter Sättigung gelöst. Durch langsames Auskühlen, bzw. bei Raumtemperatur langsam ablaufendes Abdampfen des Lösungsmittels, bildeten sich Kristalle. Ebenso wurde mit dem Fällen von Niederschlägen, durch Variation von Lösungsmitteln, gearbeitet.

Identifikation

Analytische DC (Analytische Dünnschichtchromatographie)

Bei der analytischen DC kamen Merck Silicagel 60 F₂₅₄ – Platten zum Einsatz. Das Laufmittelgemisch wurde entsprechend der zu trennenden Gemische variiert, wobei Chloroform, Ethylacetat, Ammoniak und Methanol in verschiedenen Anteilen verwendet wurden. Die jeweilige Zusammensetzung ist dem Ergebnisteil zu entnehmen. Ausgewertet wurden die Platten bei Raumlicht, sowie unter UV-Licht (254 nm), und zusätzlich unter Zuhilfenahme der bereits beschriebenen Nachweisreagenzien.

HPLC (High-Pressure-Liquid-Chromatography)

Die HPLC-UV-VIS erfolgte mittels eines Hewlett Packard 1090 Series II, mit einer Hypersil BDS C-18 Säule (5 µm, 250x4,6 mm). Die UV-Spektren wurden ermittelt durch einen Dioden-Array Detektor bei 230 nm. Als mobile Phase kam Methanol (Gradient: 30% - 100%) in wässrigem Puffer (0,01M Ammoniumacetat) zum Einsatz. Die Durchflussrate wurde auf 1 ml/min. festgelegt.

NMR (Nuclear-Magnetic-Resonance)

Die NMR-Spektren der Reinstoffe wurden am *Institut für Organische Chemie* der Universität Wien ermittelt (FASSHUBER, 2011). Zum Einsatz kam ein Bruker DRX-400 AVANCE Spektrometer bei 400,13 MHz (¹H) oder 100,62 MHz (¹³C) bei 298,1K, unter Topspin 2.1 Software zur Auswertung. Trägermittel war deuteriertes Methanol.

MS (Massen-Spektrometrie)

Die massenspektrometrische Auswertung erfolgte am *Institut für Organische Chemie* der Universität Wien (FASSHUBER, 2011). Angewendet wurde ein 900S (Finnigan MAT) Massenspektrometer unter Elektrospray-Ionisation.

6. Ergebnisse

6.1 Ergebnisse der phytochemischen Literaturlauswertung

Der vorliegende Abschnitt beinhaltet einen möglichst vollständigen Überblick über alle bislang durchgeführten, phytochemischen Studien an *Psychotria* s. l. und der nahe verwandten Gattung *Palicourea* Aubl. Besondere Schwierigkeiten ergaben sich dabei durch die wiederholten Namensänderungen vieler Arten im Verlauf der letzten Jahrhunderte. Ein beträchtlicher Teil der Studien wurde unter taxonomisch nicht korrekten Artbezeichnungen, bzw. unter alternativen Gattungsbezeichnungen, veröffentlicht. Genaue Nachforschungen in der Literatur waren daher notwendig, um alle relevanten Untersuchungen ausfindig zu machen und zuzuordnen. Es zeigte sich, dass auch namhafte Autoren auf diesem Gebiet Probleme mit einer korrekten taxonomischen Zuordnung hatten. Es fiel z. B. auf, dass LOPES et al. (2004) die Arten *Psychotria hancornifolia* Benth. und *P. longipes* Müll. Arg getrennt untersucht und beide offensichtlich für unterschiedliche Arten gehalten haben. Tatsächlich handelt es sich aber bei beiden Bezeichnungen um Synonyme von *P. vellosiana* Benth., (THE PLANT LIST, 2011). Da diese aber der Untergattung *Heteropsychotria* angehört, dürfte sie bald der Gattung *Palicourea neu* zugeschrieben werden (TAYLOR, 1997; NEPOKROEFF et al., 1999).

Gegliedert ist der Abschnitt nach Taxa in die Gruppen *Palicourea neu* (*Psychotria* subg. *Heteropsychotria* und *Palicourea* Aubl.), *Psychotria* s. str., *Carapichea*, *Ronabea* und *Notopleura*. Zu Arten der behandelten Taxa, welche hier nicht aufgelistet werden, liegen offenbar keine Arbeiten betreffend ihrer Naturstoffe vor. Namensänderungen wurden berücksichtigt: Synonyme und nicht mehr akzeptierte Bezeichnungen, unter denen die zitierten Untersuchungen stattgefunden haben, wurden mit einem Querverweis zum jeweils akzeptierten Binom versehen. Die Strukturen der nachgewiesenen Stoffe sind im Anschluss an die Auflistung, in der Tabelle 1 dargestellt, wobei jeder Stoffbezeichnung eine entsprechende Nummer (**n**) zugewiesen wurde.

6.1.1 *Palicourea neu*

Psychotria subg. *Heteropsychotria*

***Psychotria acuminata* Benth.** Aus Laubblättern, Stamm- und Wurzelrinde wurden die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide Desoxycordifolin (**38**), das bislang nur in *P. bahiensis* nachgewiesene Bahienosid B (**50**), sowie das neu beschriebene Lagambosid (**41**) isoliert (FASSHUBER, 2011; BERGER et al., in Vorbereitung).

***P. alba* Ruiz & Pav.** Bei einem HPLC-UV Vergleich wurde ein Stoff mit einem Indol-Chromophor detektiert (LOPES et al., 2004).

***P. aubletiana* Steyerm.** Unter der nicht akzeptierten Bezeichnung *Cephaelis axillaris* berichteten MARTIN et al. (1994) über das Vorkommen der Tryptamin-Alkaloide Vallesiachotamin (**40**) und Feruloyllyalosid (**36**).

***P. bahiensis* DC.** Neben Strictosamid (**17**), Angustin (**47**), Vallesiachotamin (**40**) und 5- α -Carboxystrictosidin (**39**) wurden hier auch die beiden bis dato unbekanntten Stoffe Bahienosid A (**49**) und Bahienosid B (**50**) isoliert (PAUL et al., 2003). Bei den beiden letzteren ist das Tryptamin-Grundgerüst mit jeweils zwei Iridoidanteilen verknüpft.

***P. borucana* (Ant. Molina) C.M. Taylor & W.C. Burger** Siehe *Carapichea affinis*

***P. brachyceras* Müll. Arg.** Hier wurde von KERBER et al. (2001) das ungewöhnliche Tryptamin-Iridoid-Alkaloid Brachycerin (**54**) beschrieben. Im Gegensatz zu den meisten anderen Derivaten wird hier statt Secologanin ein nicht gespaltenes Loganin-Derivat eingebaut.

***P. brachypoda* (Müll. Arg.) Britton** *P. brachypoda* ist ein Synonym von *P. umbellata*. Aus *P. umbellata* isolierten BOTH et al. (2002) ein Tryptamin-Iridoid Alkaloid, das sie Umbellatin nannten und das wie bei Brachycerin (**54**) statt Secologanin das nichtgespaltene Epiloganin als Iridoidanteil eingebaut hat. Da der Trivialname Umbellatin aber bereits für ein Triterpen vergeben war, wurde er später durch Psychollatin (**51**) ersetzt (BOTH et al., 2005; KERBER et al., 2008).

***P. buchtienii* (H. J. P. Winkl.) Standl.** *P. buchtienii* (H.J.P. Winkl.) Standl. war für das Gebiet La Gamba mehrere Jahre fehlbestimmt und als *P. officinalis* (Aubl.) Raeusch. ex Standl. identifiziert worden (WILL & KIEHN, 2008). Phytochemische Ergebnisse zu dieser Art sind dem Ergebnisteil der vorliegenden Arbeit zu entnehmen, da bis dato keine Informationen über die Art vorlagen.

***P. camponutans* (Dwyer & M.V. Hayden) Hammel** Siehe *Notopleura camponutans*

***P. capitata* Ruiz & Pav.** Aufgrund von HPLC-UV Analysen kann hier auf das Vorkommen von Verbindungen mit einer β -Carbolin-Struktur geschlossen werden (DA SILVA MORAES et al., 2011).

***P. colorata* (Willd. ex Schult.) Müll. Arg.** Die Präsenz der oligomeren Tryptamin-Alkaloide Quadrigemin B (**74**), Quadrigemin C (**72**) und Hodgkinsin (**69**), bzw. Psychotridin (**77**), wurde von mehreren Autoren bestätigt (ELISABETSKY et al., 1997; VEROTTA et al., 1998; 1999; AMADOR et al., 2000; LOPES et al. 2004). Ebenso nachgewiesen wurden die dimeren Tryptamin-Alkaloide (-)-Calycanthin (**63**), (+)-Chimonanthin (**60**), meso-Chimonanthin (**61**) und Tetrahydroisocalycanthin (**67**) (VEROTTA et al., 1998; 1999).

***P. coriacea* Cham.** Siehe *Palicourea coriacea* (Cham.) K.Schum.

***P. correae* (Dwyer & M.V. Hayden) C.M. Taylor** Für die Art wurden die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide Correantoxid (**28**), 10-Hydroxycorreantoxid (**30**), Correantin A (**22**), B (**23**) und C (**25**), 20-epi-Correantin B (**24**) und Isodolichantoxid (**33**) nachgewiesen (ACHENBACH et al., 1995), welche alle, mit Ausnahme von Isodolichantoxid, eine in *Psychotria* bislang selten vorzufindende 7-gliedrige Ringbildung des Iridoids mit dem Indol-Stickstoff aufweisen. Neben *P. correae* wurden diese Verbindungen bislang nur noch aus *P. stachyoides* isoliert.

***P. deflexa* DC.** Bei einem HPLC-UV Vergleich wurde ein Stoff mit einem Indol-Chromophor detektiert (LOPES et al., 2004).

***P. dichroa* (Standl.) C.M. Taylor** Für die Art wurde bereits 1993, unter der Bezeichnung *Cephaelis dichroa*, das Vorkommen von Strictosidin (**13**), Strictosamid (**17**), Vallesiachotamin (**40**), Vallesiachotaminlacton und Angustin (**47**) publiziert (SOLIS et al., 1993), was durch DEL RAYO CAMACHO et al. (2004) bestätigt werden konnte.

***P. domingensis* Jacq.** RIPPERGER (1982) konnte dimere Tryptamin-Alkaloide vom Typ Chimonanthin (**60**) nachweisen.

***P. elata* (Sw.) Hammel** Im Zuge einer Diplomarbeit des Instituts für Organische Chemie der Universität Wien konnte aus den Laubblättern das Tryptamin-Iridoid Alkaloid Strictosidin (**13**) isoliert werden (FASSHUBER, 2011).

***P. glaziovii* Müll. Arg.** Bei HPLC-UV Vergleichen wurde auf das Vorkommen eines 5,6-Dihydro- β -carbolin-Alkaloids geschlossen (DA SILVA MORAES et al., 2011).

***P. glomerulata* (Donn. Sm.) Steyerm.** Aus den oberirdischen Teilen wurden die dimeren Tryptamin-Alkaloide vom Calycanthin-Typ Glomerulatin A (**64**), B (**65**) und C (**66**) isoliert (SOLIS et al., 1997).

***P. hancorniifolia* Benth.** Siehe *P. vellosiana*

***P. ipecacuanha* (Brot.) Standl.** Siehe *Carapichea ipecacuanha*

***P. kleinii* L.B.Sm & Downs** Siehe *P. laciniata*

***P. klugii* Standl.** Ähnlich wie bei *Carapichea affinis* und *C. ipecacuanha* wurden aus der Stammrinde Dopamin-Iridoid-Alkaloide beschrieben. Neben den bekannten Derivaten Emetin (**97**), Cephaelin (**98**), Isocephaelin (**107**), 7'-*O*-Methylpecosid (**85**) wurden auch die beiden neuen Verbindungen Klugin (**108**) und 7'-*O*-Demethylisocephaelin (**106**) isoliert (MUHAMMAD et al., 2003).

***P. laciniata* Vell.** *P. laciniata* wurde unter dem Namen *P. kleinii* untersucht und hier auf das Vorkommen eines Stoffs mit Indol-Chromophor hingewiesen (LOPES et al., 2004).

***P. leiocarpa* Cham. & Schldl.** HENRIQUES et al. (2004) konnten N, β -D-Glucopyranosylvincosamid (**18**) aus der Pflanze isolieren und damit die erste N-Glykosylierung an Tryptamin-Iridoid-Alkaloiden dokumentieren. Dieses Alkaloid wird organspezifisch akkumuliert und zwar nicht in den Wurzeln. Vielmehr wird die Akkumulation durch Licht induziert und ist zudem auch vom Alter des Organs abhängig (HENRIQUES et al., 2004). LOPES et al. (2004) konnten Asperulosid (**7**) und Deacetylasperulosid (**8**) nachweisen. Eine Untersuchung der UV-Spektren der Inhalts-

stoffe dieser Art ergab, im Einklang damit, die Präsenz eines β -Carbolin-Peaks im UV-Spektrum der Art (DA SILVA MORAES et al., 2011).

***P. longipes* Müll. Arg.** Siehe *P. vellosiana*

***P. muscosa* (Jacq.) Steyerem.** Neben dem trimeren Pyrrolidinoindolin Hodgkinsin (**69**) wurden hier auch die dimeren Tryptamin-Alkaloide Tetradehydroisocalycanthin (**67**), (-)-Calycanthin (**63**), (+)-Chimonanthin (**60**), und meso-Chimonanthin (**61**) nachgewiesen (VEROTTA et al., 1999).

***P. myriantha* Müll. Arg.** Aus den Laubblättern wurden die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide Myrianthosin A (**20**) und B (**21**), sowie Strictosidin (**13**) und Stictosidinsäure (**15**) isoliert (LOPES et al., 2004; SIMOES-PIRES et al., 2006; PORTO et al., 2009).

***P. nemorosa* Gardner** *P. nemorosa* ist der gegenwärtig akzeptierte Name (THE PLANT LIST, 2011) für *P. pubigera* Schldl., die bei HPLC-UV Analysen einen Stoff mit einem Indol-Chromophor zeigte (LOPES et al., 2004; DA SILVA MORAES et al., 2011).

***P. nuda* (Cham. & Schldl) Wawra** Aus den Laubblättern isolierten FARIAS et al. (2009) das Tryptamin-Iridoid Alkaloid Strictosamid (**17**). Übereinstimmend wurde hier bei HPLC-UV Vergleichen auf das Vorkommen von Alkaloiden mit Indol-Chromophoren hingewiesen (LOPES et al., 2004; DA SILVA MORAES et al., 2011.)

***P. pleiocephala* Müll. Arg.** Bei einem HPLC-UV Vergleich wurde ein Stoff mit einem Indol-Chromophor detektiert (LOPES et al., 2004).

***P. poeppigiana* Muell. Arg.** Wie im Kapitel Ergebnisse beschrieben, wurde hier das Iridoid-Glykosid Deacetylasperulosidsäure (**5**) festgestellt.

***P. pubigera* Schldl.** Siehe *P. nemorosa*

***P. prunifolia* (Kunth) Steyerem.** Die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide Strictosamid (**17**), 10-Hydroxy-iso-deppeaninol (**45**), 10-Hydroxyantirhin (**43**), 14-Oxoprunifolein (**42**) und 10-Hydroxyantirhin-N-oxid (**44**) konnten isoliert werden (FARIA et al., 2010; KATO et al., 2012).

***P. racemosa* Rich.** Aufgrund von HPLC-UV Analysen wurde auf eine Verbindung mit einer β -Carbolinstruktur geschlossen (DA SILVA MORAES et al., 2011). Weitere

phytochemische Ergebnisse zu dieser Art sind dem Ergebnisteil der vorliegenden Arbeit zu entnehmen.

***P. ruelliifolia* (Cham. & Schltld.) Müll. Arg.** HPLC-UV Analysen lassen auf das Vorkommen einer Verbindung mit einer β -Carbolinstruktur schließen (DA SILVA MORAES et al., 2011).

***P. stachyoides* Benth.** Aus oberirdischen Teilen konnten die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide Correantosin E (**26**) und F (**27**), Stachyosid (**32**), Normethyl-23-oxo-correantosid (**31**), sowie N-Demethylcorreantosid (**29**) isoliert werden (PIMENTA et al., 2010; 2011). Neben *P. correae* ist dies die zweite Art mit dem Trend, den Iridoid-Anteil durch Ausbildung eines 7-gliedrigen Ring-Systems mit dem Indol-Stickstoff zu verknüpfen, wobei alle bislang isolierten Alkaloide aus *P. stachyoides* diese Strukturbesonderheit aufweisen.

***P. suerrensis* Donn. Sm.** Als Hauptkomponenten wurden die beiden β -Carbolin-Alkaloide Lyalosidinsäure (**35**) und Ophirin A (**48**) isoliert (FASSHUBER, 2011).

***P. suterella* Müll. Arg.** Aus den Laubblättern wurden Strictosamid (**17**), Naucletin (**46**) und Lyalosid (**34**) isoliert (PORTO et al., 2009; DE SANTOS et al., 2001).

***P. umbellata* Thonn.** Siehe *P. brachypoda*

***P. vellosiana* Benth.** *P. vellosiana* ist der akzeptierte Name (THE PLANT LIST, 2011) der von LOPES et al. (2004) als gesonderte Arten angeführten *P. hancorniifolia* Benth. und *P. longipes* Müll. Arg. Aufgrund von HPLC-UV Analysen wurde hier bei beiden ein Stoff mit einem Indol-Chromophor festgestellt.

***Palicourea* Aubl.**

***Palicourea alpina* (Sw.) DC.** Hier wurden das einfache Tryptamin-Alkaloid Harman (**58**), sowie die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide Palinin (**19**) und Palidimin (Struktur zum Zeitpunkt der Veröffentlichung noch ungesichert) nachgewiesen (STUART & WOO-MING, 1974).

***P. adusta* Standl.** Aus den Laubblättern wurde das Tryptamin-Iridoid-Alkaloid Lyalosid (**34**) zusammen mit den beiden Ferulasäure-Derivaten Feruloyllyalosid (**36**) und 4'-*O*-methyl-Feruloyllyalosid (**37**) isoliert (VALVERDE et al., 1999).

***P. coriacea* (Cham.) K. Schum.** Bemerkenswert ist hier das gemeinsame Vorkommen vom dimeren Tryptamin-Alkaloid Calycanthin (**63**) (DA SILVA et al., 2008) und den Tryptamin-Iridoid-Alkaloiden Strictosidinsäure (**15**), Vincosid (**14**) und 4'-*O*-3''-saccharoyl-Strictosidinsäure (**16**) (NASCIMENTO et al., 2005; DO NASCIMENTO et al., 2006; 2008).

***P. crocea* (Sw.) Schult.** Wie bei *Psychotria umbellata* und *P. brachyceras* werden hier die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide Psychollatin (**51**), Croceain A (**52**) und Croceain B (**53**) gebildet, bei denen Loganin als Iridoidbaustein eingebaut wird (NARINE & MAXWELL, 2009; DÜSMAN et al. 2004).

***P. domingensis* (Jacq.) DC.** Siehe *Psychotria domingensis*.

***P. fendleri* Standl.** siehe *P. semirasa*

***P. marcgravii* A. St.-Hil.** Neben dem einfachen Tryptamin-Derivat 2-Methyl-tetrahydro- β -carbolin (**57**) und dem Tyramin-Alkaloid N-Methyltyramin (**110**) wurde aus den Blättern Palicosid (**12**) isoliert (MORITA et al., 1989; KEMMERLING, 1996).

***P. ovalis* Standl.** DE GARCIA et al. (1997) isolierten hier dimere Tryptamin-Alkaloide vom Typ Calycanthin (**63**).

***P. rigida* Kunth** Aus den Blättern wurde das Iridoid-Glykosid Loganin (**1**) isoliert (LOPES et al., 2004).

***P. semirasa* Standl** In einer unter der Bezeichnung *P. fendleri* durchgeführten Untersuchung konnten hier Chimonanthin (**60**) und Calycanthin (**63**) nachgewiesen werden (NAKANO & MARTIN, 1976).

6.1.2 *Psychotria* s. str. (*P.* subg. *Psychotria*)

P. asiatica L. INOUYE et al. (1988) berichteten hier über das Vorkommen von Asperulosid (7).

P. beccarioides Wernham. Wird auch unter *P. leptothyrsa* var. *leptothyrsa* geführt. HART et al. (1974) isolierten hier das Pyrrolidinoindolin-Alkaloid Psychotridin (77).

P. calocarpa Kurz ZHOU et al. (2010) beschrieben hier das Vorkommen des ungewöhnlichen dimeren Tryptamin-Alkaloids Psychotriasin (59).

P. carthagenensis Jacq. Aufgrund von HPLC-UV Vergleichen wiesen hier LOPES et al. (2004) auf ein Fehlen von Tryptamin-Alkaloiden hin. Durch eine NMR-Untersuchung des verdünnten Gesamtextrakts konnten sie Iridoid-Glykoside ebenso ausschließen.

P. forsteriana A. Gray Nachgewiesen wurden hier die Pyrrolidinoindoline Quadrigemin C (72) und B (74), sowie Psychotridin (77) und ein Isopsychotridin-Derivat (BERETZ et al. 1985, ROTH et al. 1986).

P. lyciiflora (Baill.) Schltr. Aus den Blättern wurden die drei Pyrrolidinoindoline Hodgkinsin (69), meso-Chimonanthin (61) und N-desmethyl-meso-Chimonanthin (62) isoliert (JANNIC et al., 1999).

P. manillensis Bartl. ex DC. INOUYE et al. (1988) berichteten hier über das Vorkommen von Asperulosid (7) und eines weiteren Iridoid-Glykosids.

P. mariniana (Cham. & Schldtl.) Fosberg Asperulosid (7) konnte nachgewiesen werden (GONZALES & DIECK, 1996).

P. oleoides (Baill.) Schltr. JANNIC et al. (1999) isolierten hier die Pyrrolidinoindoline Quadrigemin C (72) und I (73), Isopsychotridin B (78), Psychotridin (77), Oleoidin (79), Caledonin (80) und Hodgkinsin (69). Außerdem wurde hier noch über das Vorkommen von Psycholein (75) (GUERRITE-VÖGELEIN et al. 1992; RAZAFAMINDIBISON et al., 2008) und einem Isopsychotridin-Derivat (LIBOT et al., 1987) berichtet.

***P. pilifera* Hutch.** LI et al. (2011) isolierten hier das Pyrrolidinoindolin Psychotripin (70).

***P. rubra* (Lour.) Poir.** Siehe *P. asiatica*

***P. rostrata* Blume** Zusätzlich zu den von LAJIS et al. (1993) beschriebenen Pyrrolidinoindolinen (-)-Calycanthin (63), (+)-Chimonanthin (60), Hodgkinsin (69), Calycosidin (71) und Quadrigemin B (74) wurden von TAKAYAMA et al. (2004) die zwei neuen Derivate Psychotrimin (68) und Psychopentamin (76) isoliert.

***P. serpens* L.** INOUE et al. (1988) beschrieben hier das Vorkommen von Asperulosid (7) und eines weiteren Iridoid-Glykosids.

***P. viridis* Ruiz & Pav.** McKENNA et al. (1984) isolierten hier die beiden monomeren Tryptamin-Alkaloide N-Methyl-Tryptamin (55) und N,N-Dimethyl-Tryptamin (56).

6.1.3 Ausgegliederte Taxa

Carapichea

***Carapichea affinis* (Standl.) L. Andersson** *C. affinis* wurde lange als *Psychotria borucana* (Ant. Molina) C.M. Taylor & W.C. Burger geführt. Aus der Pflanze konnten die Dopamin-Iridoid-Alkaloide Cephaelin (98), Emetin (97), Ipecosid (81), 6-*O*-Methyl-Ipecosid (84) und 6-*O*-Methyltranscephaelosid (91) sowie das neue Glykosid Borucosid (90) isoliert werden (BERNHARD et al., 2011).

***Carapichea ipecacuanha* (Brot.) L. Andersson** Aus der bekannten Heilpflanze (Quelle der *radix Ipecac* Brechdroge) (STAHL, 1981) wurden die Dopamin-Iridoid-Alkaloide Cephaelin (98), Emetin (97), Protoemetin (96), Emetamin (101), *O*-Methylpsychotrin (102), Psychotrin (103), Neocephaelin (104), 7'-*O*-

Demethylcephaelin (**100**), 10-*O*-Demethylcephaelin (**99**), 2'-N-(1''-deoxy-1''- β -D-fructopyranosyl)Cephaelin (**109**), 2'-N-(1''-deoxy-1''- β -D-fructopyranosyl)Neocephaelin (**105**), 9-Demethylprotoemetinol (**95**), 2-*O*- β -D-Glucopyranosyldemethylalangisid (**94**), Demethylisoalangisid (**93**), (4R)-4-Hydroxyipecosid (**83**), Alangisid (**89**), Ipecosidsäure (**82**), Demethylalangisid (**92**), Neoipecosid (**86**), *O*-Methylneoipecosid (**88**), 3,4-Dehydroneoipecosid (**87**), sowie die Iridoid-Glykoside Swerosid (**11**) und 7-Dehydrologanin (**3**) isoliert (WIEGREBE et al., 1984; ITOH et al., 1991; 1999; 2002).

Ronabea

***Ronabea emetica* (L.f.) A.Rich.** BERGER et al. (2011) isolierten hier die Iridoid-Glykoside Asperulosid (**7**), Asperulosidsäure (**6**), Deacetylasperulosidsäure (**5**) und 6 α -Hydroxygeniposid (**4**).

***Ronabea latifolia* Aubl.** BERGER et al. (2011) detektierten hier die Iridoid-Glykoside Asperulosid (**7**), Asperulosidsäure (**6**), Deacetylasperulosidsäure (**5**) und 6 α -Hydroxygeniposid (**4**).

Notopleura

***Notopleura camponutans* (Dwyer & M.V.Hayden) Hammel** DEL RAYO CAMACHO et al. (2004) beschrieben hier das Vorkommen von Azaanthrachinonen (Benzoisochinolindione).

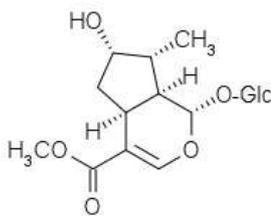
6.1.4 Strukturformeln

Tabelle 1:

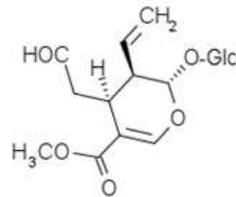
Strukturformeln der in *Psychotria* s. l. und *Palicourea* Aubl. nachgewiesenen Stoffe:

1-11=Iridoide, **12-54**=Tryptamin-Iridoid-Alkaloide, **55-80**=mono-, di- und polymere Tryptamin-Alkaloide, **81-109**=Dopamin-Iridoid-Alkaloide, **110**=Tyramin-Alkaloid.

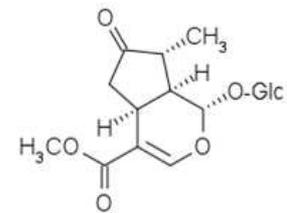
Iridoide



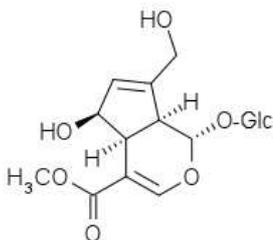
1 Loganin



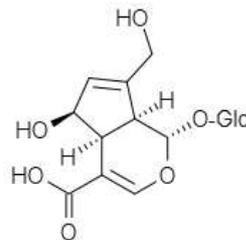
2 Secologanin



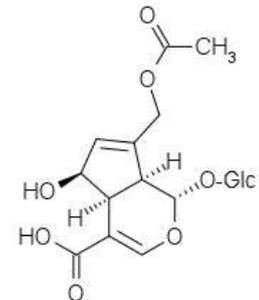
3 7-Dehydrologanin



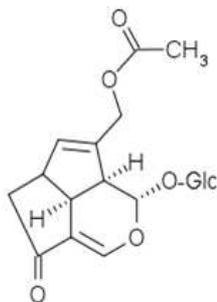
4 6-α-Hydroxygeniposid



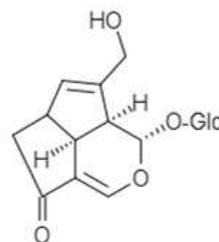
5 Deacetylasperulosidsäure



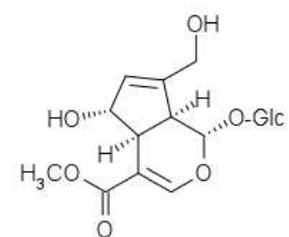
6 Asperulosidsäure



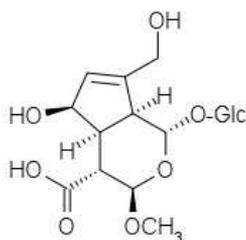
7 Asperulosid



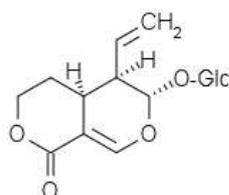
8 Deacetylasperulosid



9 Scandosidmethylester

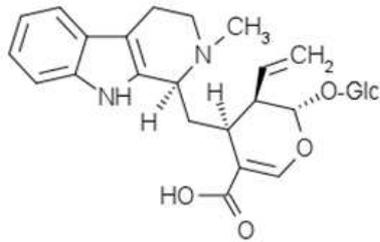


10 Iridoid aus
P. poeppigiana



11 Swerosid

Tryptamin-Iridoid-Alkaloide



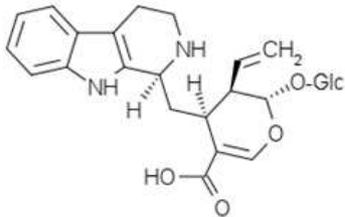
12 Palicosid



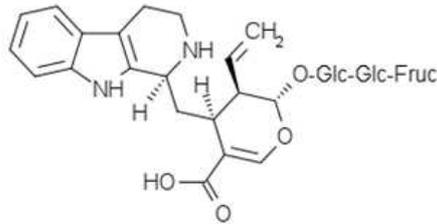
13 Strictosidin



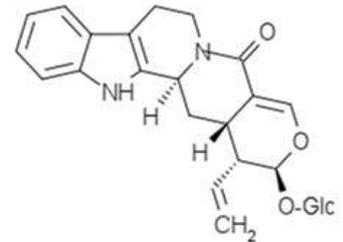
14 Vincosid



15 Strictosidinsäure



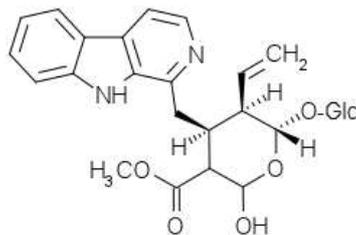
16 4'-O-3''-saccharoyl-Strictosidinsäure



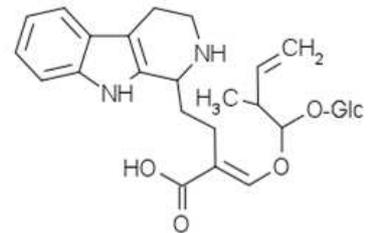
17 Strictosamid



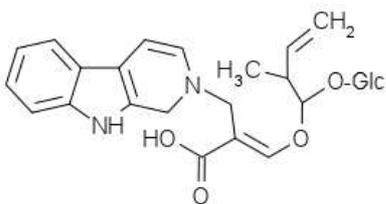
18 N,β-D-Glucopyranosilvincosamid



19 Palinin



20 Myrianthosin A



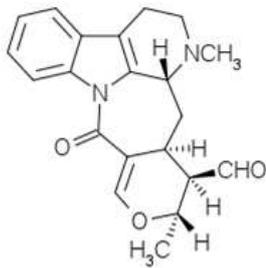
21 Myrianthosin B



22 Correantin A



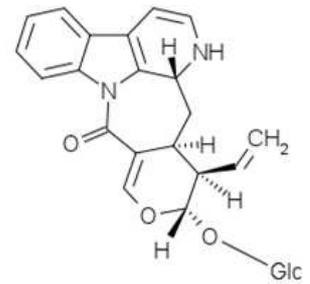
23 Correantin B



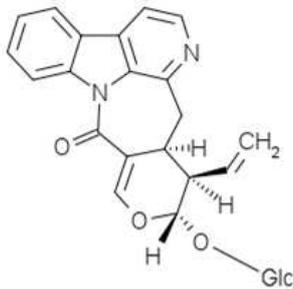
24 20-epi-Correantin B



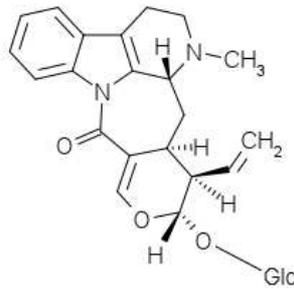
25 Correantin C



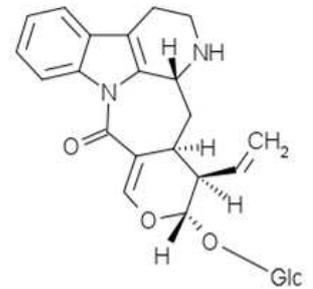
26 Correantosin E



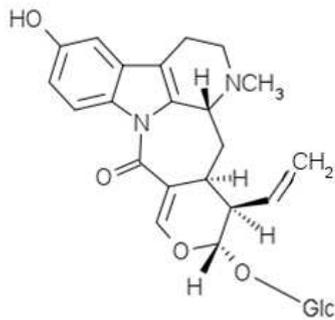
27 Correantosin F



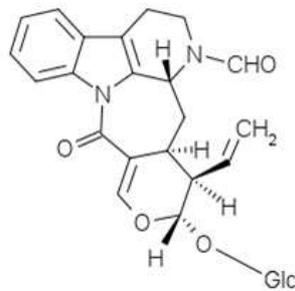
28 Correantosid



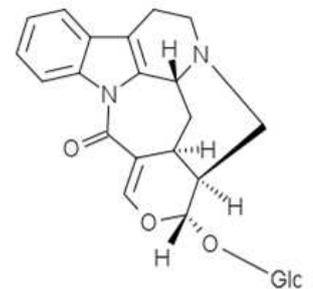
29 N-Demethyl-
correantosid



30 10-Hydroxy-
correantosid



31 nor-methyl-23-oxo-
correantosid



32 Stachyosid



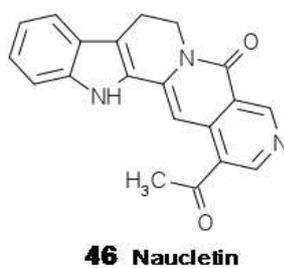
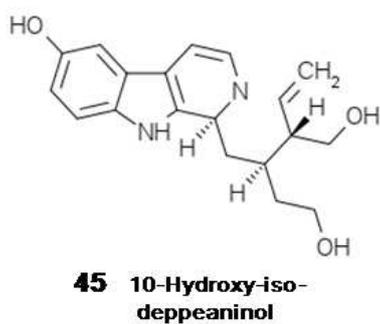
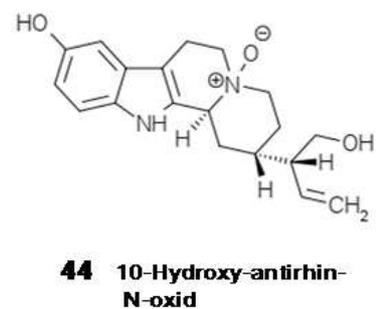
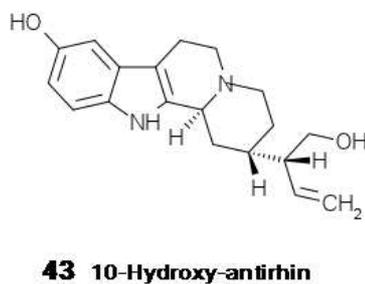
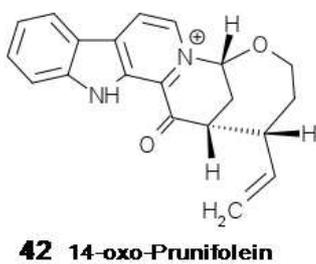
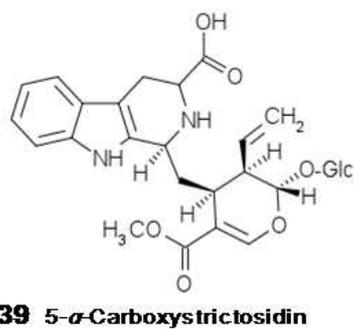
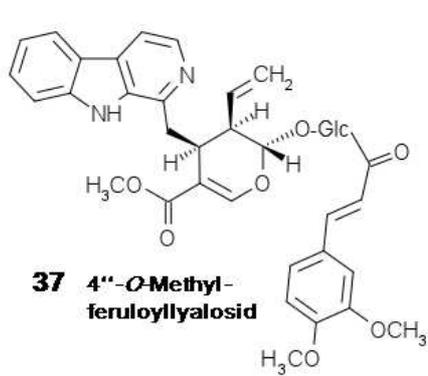
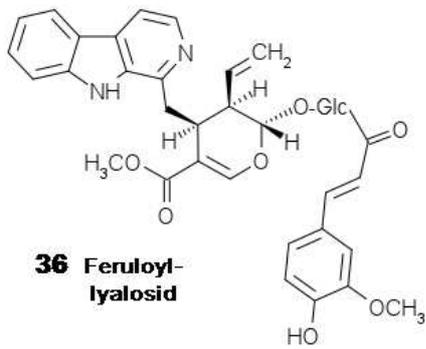
33 Isodolichantosid

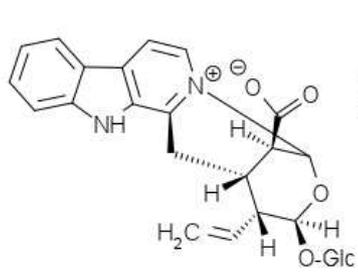


34 Lyalosid

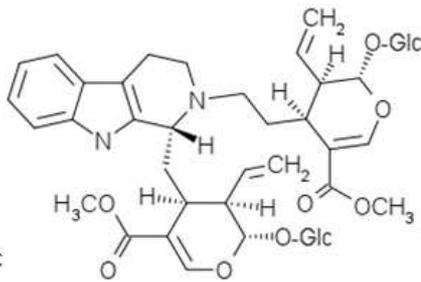


35 Lyalosidinsäure

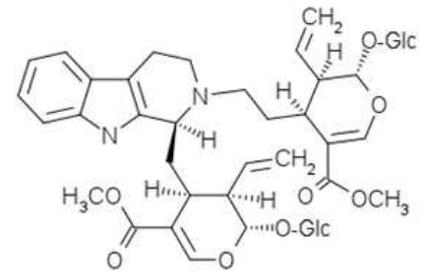




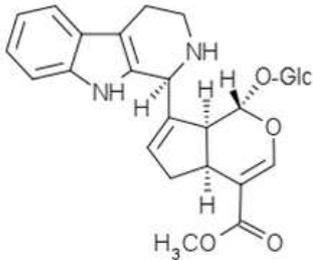
48 Ophirin A



49 Bahienosid A



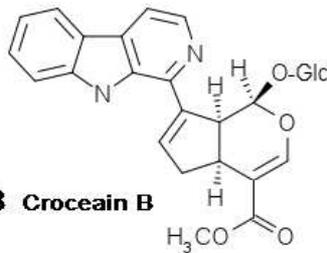
50 Bahienosid B



51 Psychollatin



52 Croceain A

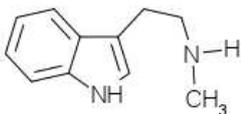


53 Croceain B

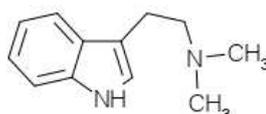


54 Brachycerin

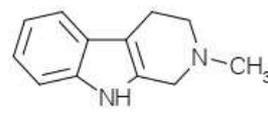
Mono-, di-, und polymere Tryptamin-Alkaloide



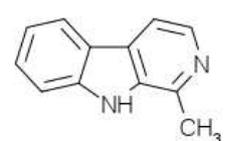
55 N-Methyl-tryptamin



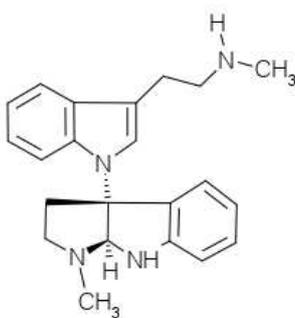
56 N,N-Dimethyl-tryptamin



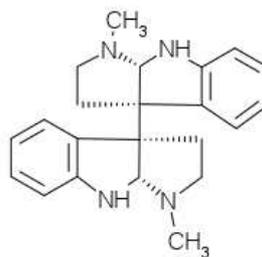
57 2-Methyl-tetrahydro-beta-carboline



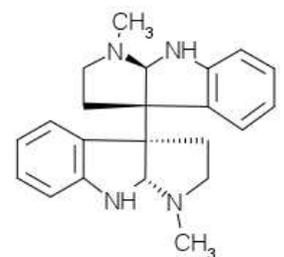
58 Harman



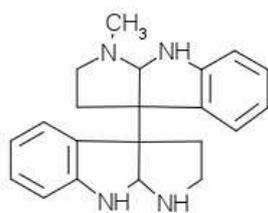
59 Psychotriasin



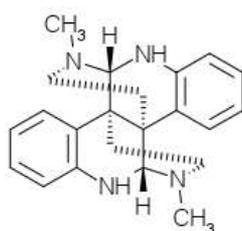
60 (+)-Chimonanthin



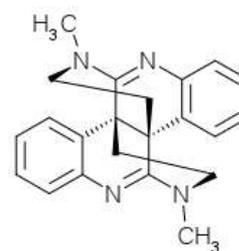
61 meso-Chimonanthin



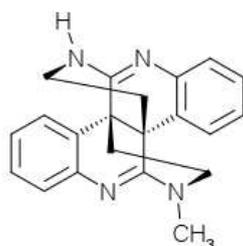
62 N-desmethyl-
meso-Chimonanthin



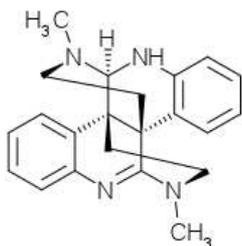
63 (-)-Calycanthin



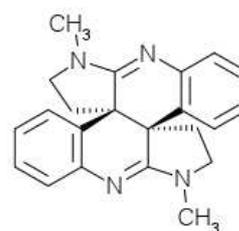
64 Glomerulatin A



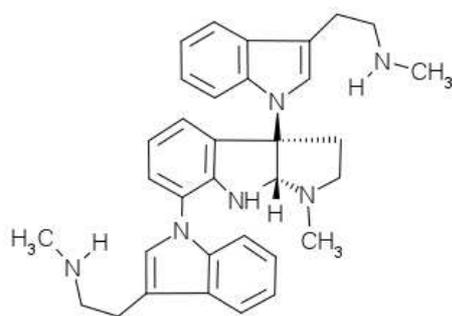
65 Glomerulatin B



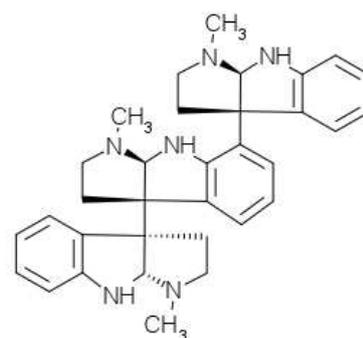
66 Glomerulatin C



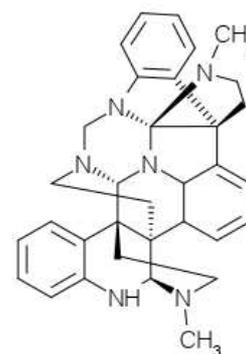
67 Tetrahydro-
isocalycanthin



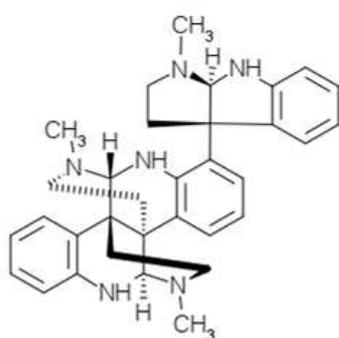
68 Psychotrimin



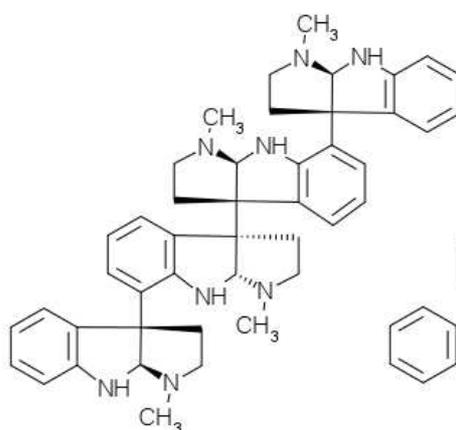
69 Hodgkinsin



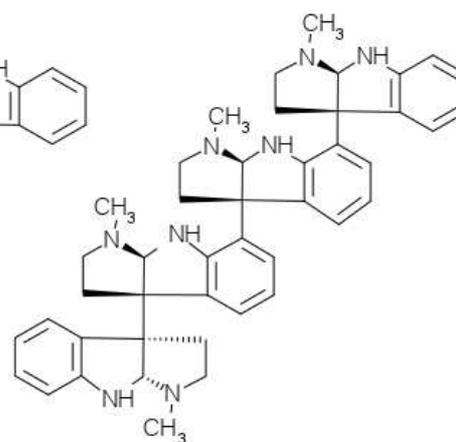
70 Psychotripin



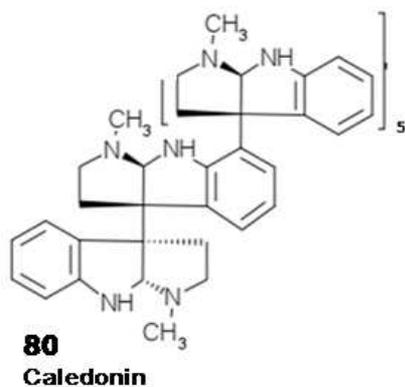
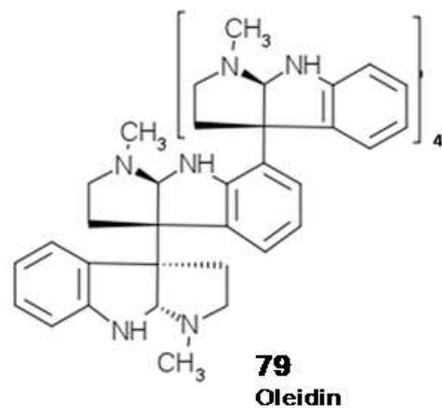
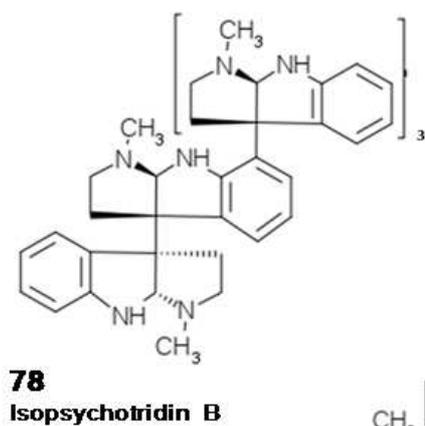
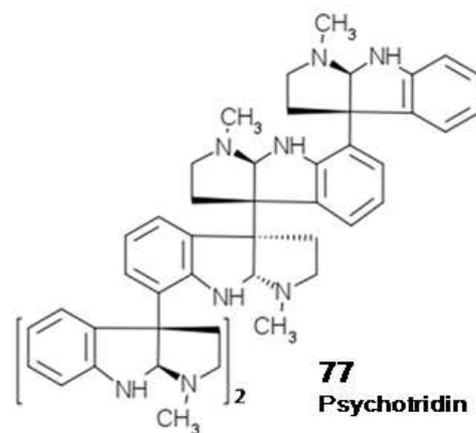
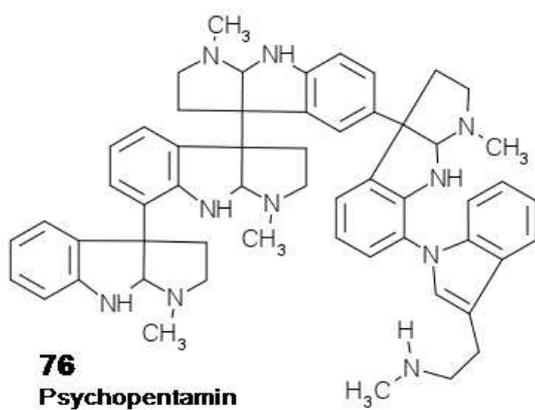
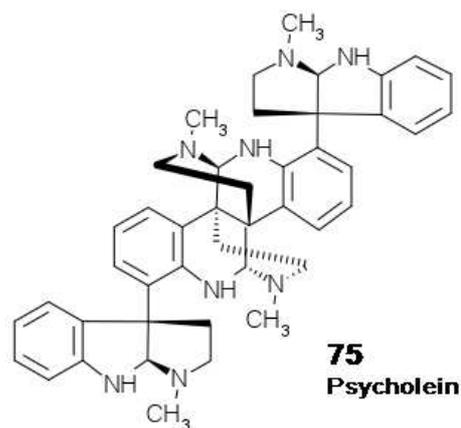
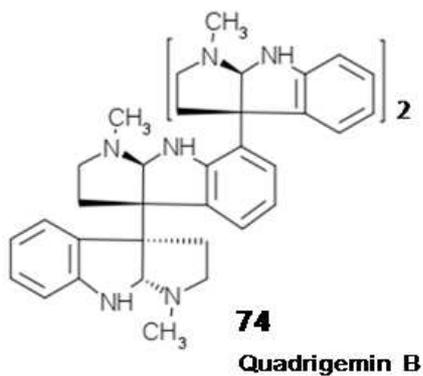
71 Calycosidin



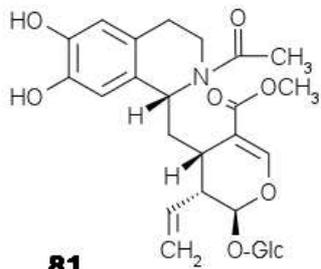
72 Quadrigemin C



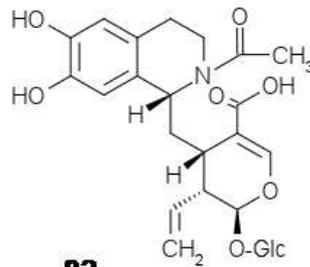
73 Quadrigemin I



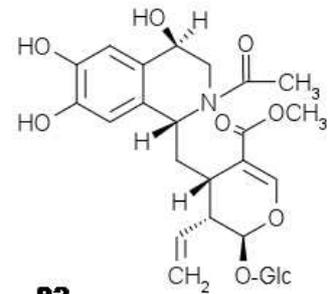
Dopamin-Iridoid-Alkaloide



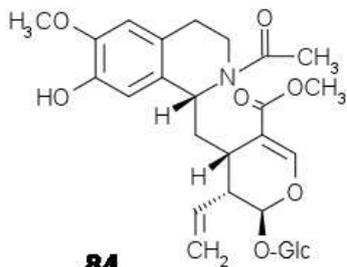
81
Ipecosid



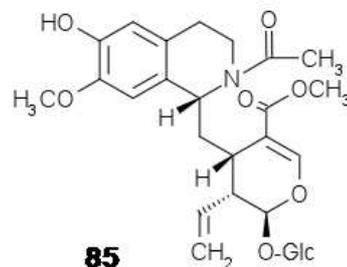
82
Ipecosidsäure



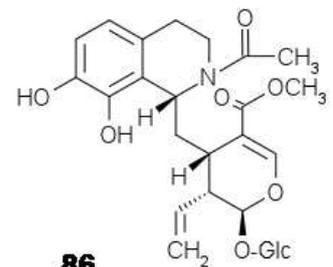
83
(4R)-4-Hydroxyipecosid



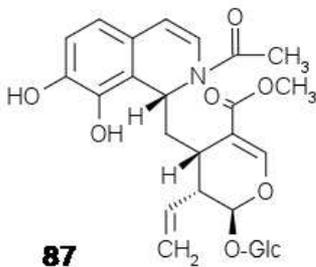
84
6-O-Methylipecosid



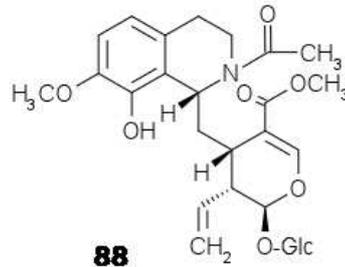
85
7-O-Methylipecosid



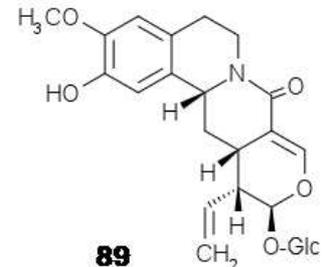
86
Neoiepecosid



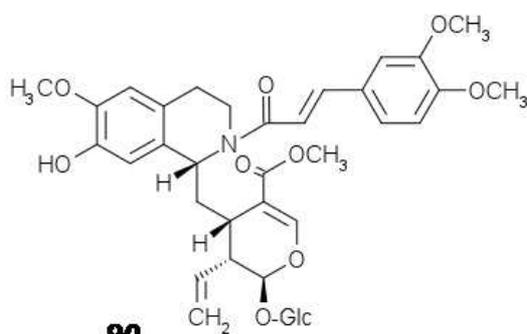
87
3,4-Dehydroneoiepecosid



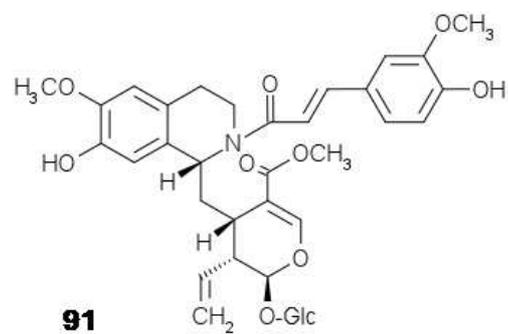
88
O-Methylneoiepecosid



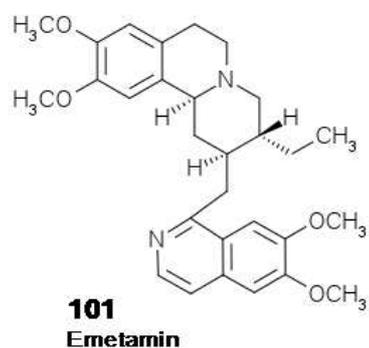
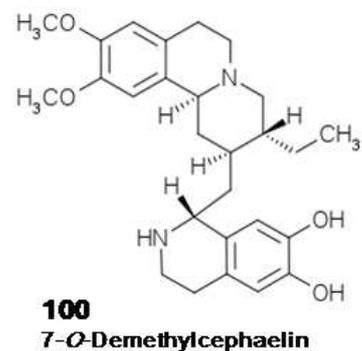
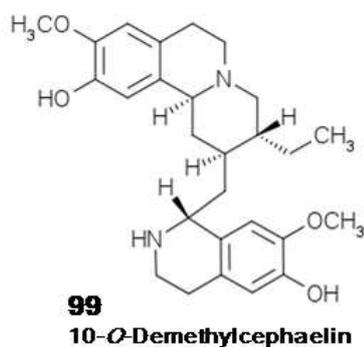
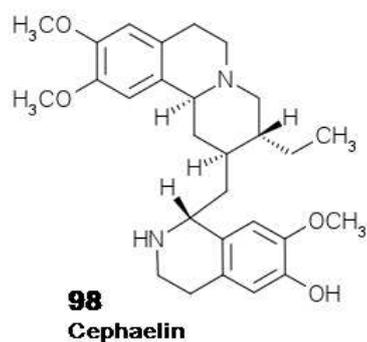
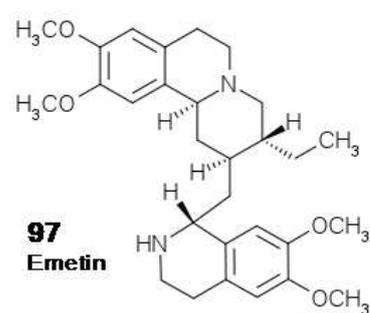
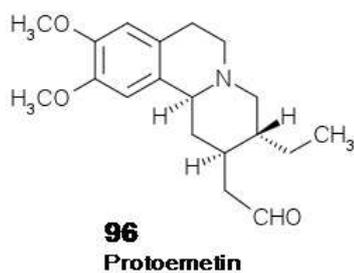
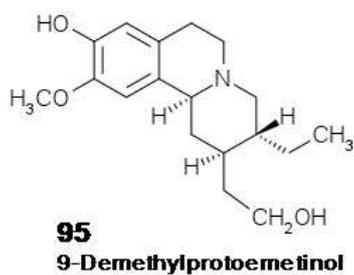
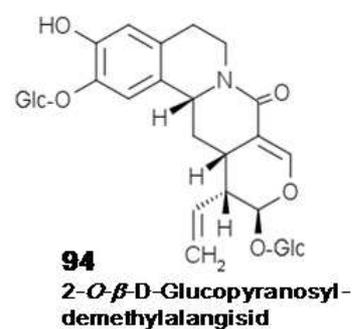
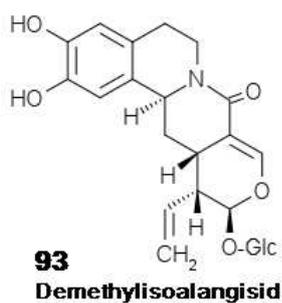
89
Alangisid

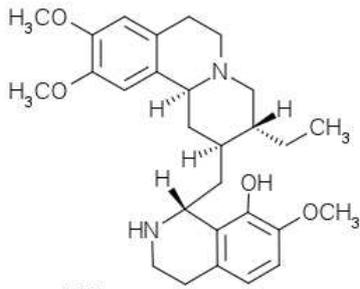


90
Borucosid

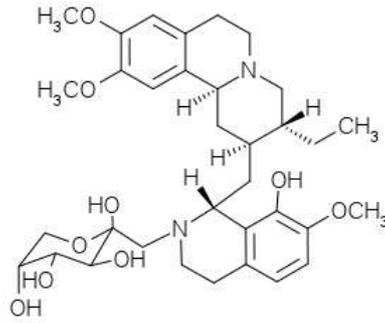


91
6-O-Methyltranscephaelosid

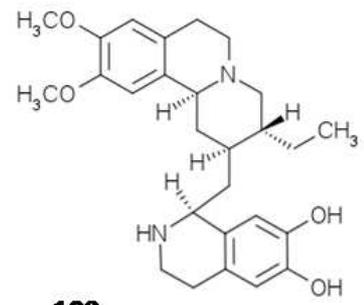




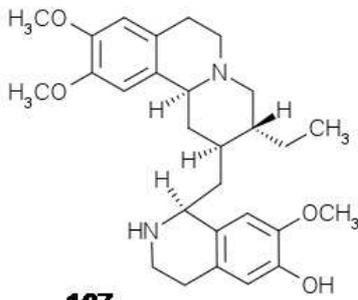
104
Neocephaelin



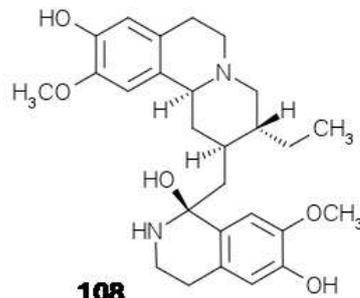
105
2'-N-(1''-deoxy-1''-β-D-fructo-
pyranosyl)neocephaelin



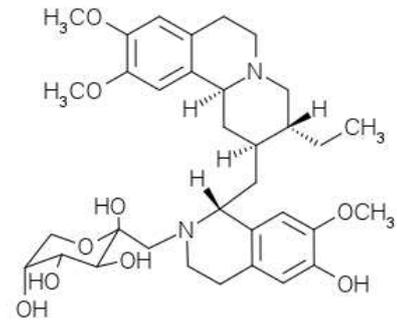
106
7-O-Demethylisocephaelin



107
Isocephaelin

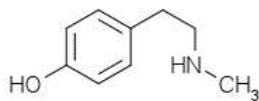


108
Klugin



109
2'-N-(1''-deoxy-1''-β-D-
fructopyranosyl)cephaelin

Tyramin-Alkaloide



110
N-Methyltyramin

6.2 Ergebnisse der phytochemischen Untersuchung

6.2.1. *Psychotria buchtienii*

Blatt-Gesamtextrakte aus 45 g Trockenmaterial der Aufsammlungen von *P. buchtienii* HG19070811, HG24070810, HG24070813, HG2407088/1 und HG2407088/2 wurden mit HPLC analysiert und zeigten weitgehende Übereinstimmung. Diese wurde auch durch DC-Analyse (CHCl₃/MeOH/NH₄OH in MeOH 75:25:1), besprüht mit Anisaldehyd- und Dragendorff-Reagenz, bestätigt. Die Extrakte wurden darauf hin zu einem einzigen Gesamtextrakt vereinigt. Die HPLC-UV Analyse von *P. buchtienii* zeigte einen markanten Peak bei einer Retentionszeit von 11,4 min. (Abb. 28), dessen UV-Spektrum auf einen Indol-Chromophor schließen läßt (LOPES et al., 2004). Das Vorkommen eines dominanten Alkaloids ließ sich auch durch eine positive Dragendorff-Reaktion auf der DC bestätigen. Während das HPLC-UV Profil kaum weitere markante Stoffe zeigte, waren auf der DC jedoch mehrere Banden zu erkennen, welche auf das Vorkommen anderer Stoffe ohne charakteristische Chromophore schließen lassen.

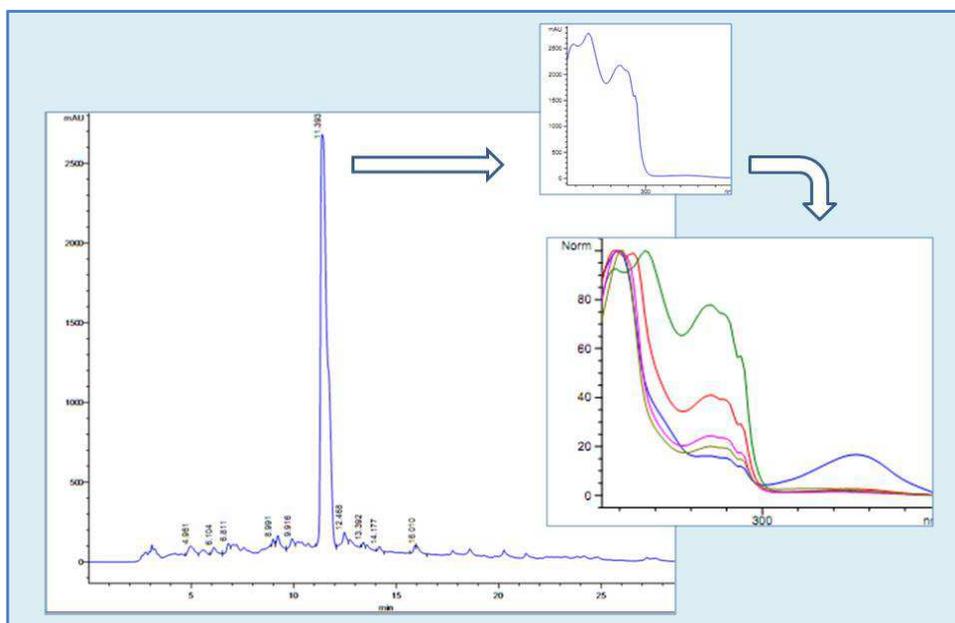


Abb. 28:

Das HPLC UV Profil des vereinigten Blatt-Gesamtextraktes von *P. buchtienii* mit markantem Peak bei einer Retentionszeit von 11,4 min. Im Bild rechts das UV-Spektrum der besagten Substanz, obiges als Gesamtüberlagerung, unteres bei verschiedenen Zeit-Perspektiven, wobei das charakteristische Indol-Spektrum sichtbar wird. (Konzentration 18 mg/ml, weitere Angaben zur Methode sind dem Abschnitt *Material und Methode* zu entnehmen).

Nach Ausschütteln des wäßrigen Methanolextrakts mit CHCl_3 und EtOAc und Überprüfung der entsprechenden Fraktionen mit DC und HPLC zeigte sich, daß die Verbindung mit Indol-Chromophor in der wäßrigen Phase vorlag (Abb. 29). Das Gewicht der Wasser-Phase betrug nach Trocknung 920 mg. Nach weiterer Auftrennung mittels Sephadex-Säule (mobile Phase: EtOAc/MeOH 50:50) lieferte präparative DC (Laufmittel: reines MeOH) 27 mg einer Substanz (Abb. 30), von welcher zur weiteren Analyse 6 mg an das *Institut für Organische Chemie* übermittelt wurden. Weitere 40 mg der Substanz wurden aus Wasser auskristallisiert (Abb. 31). Die Kristalle wurden ebenfalls am *Institut für Organische Chemie* mit NMR-S und M-S aufgeklärt. Demnach handelte es sich bei den aus Fraktion 11 gewonnenen Kristallen um das Tryptamin-Iridoid-Alkaloid Strictosidin (Abb. 31), bei dem durch präparative DC gewonnenen Stoff um Strictosidin-Säure (Abb. 30).

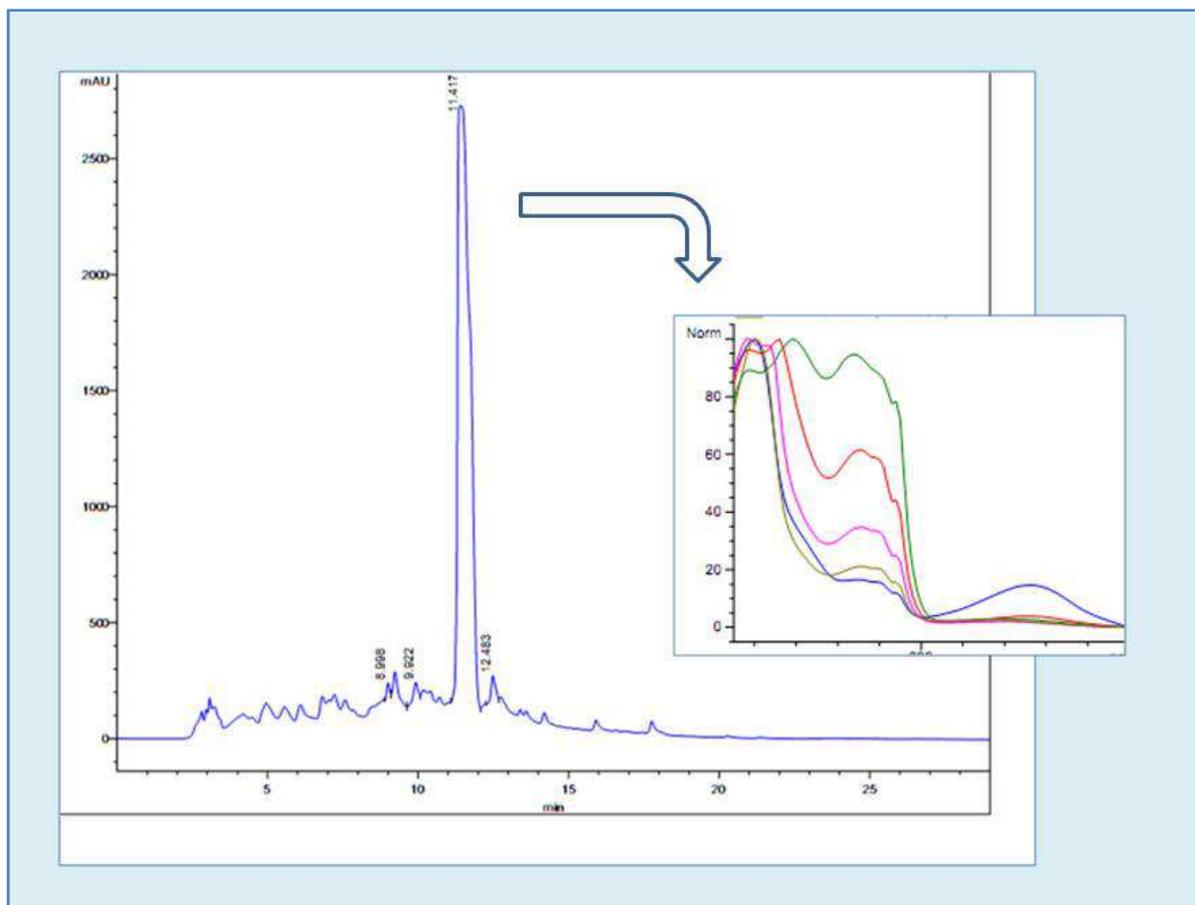


Abb. 29:

HPLC-Profil der Wasser-Phase von *P. buchtienii* (Konzentration 20 mg/ml, weitere Angaben zur Methode sind dem Abschnitt *Material und Methode* zu entnehmen), rechts im Bild das UV-Spektrum der markanten Substanz, das auf das Vorkommen eines Indol-Chromophors schließen läßt.

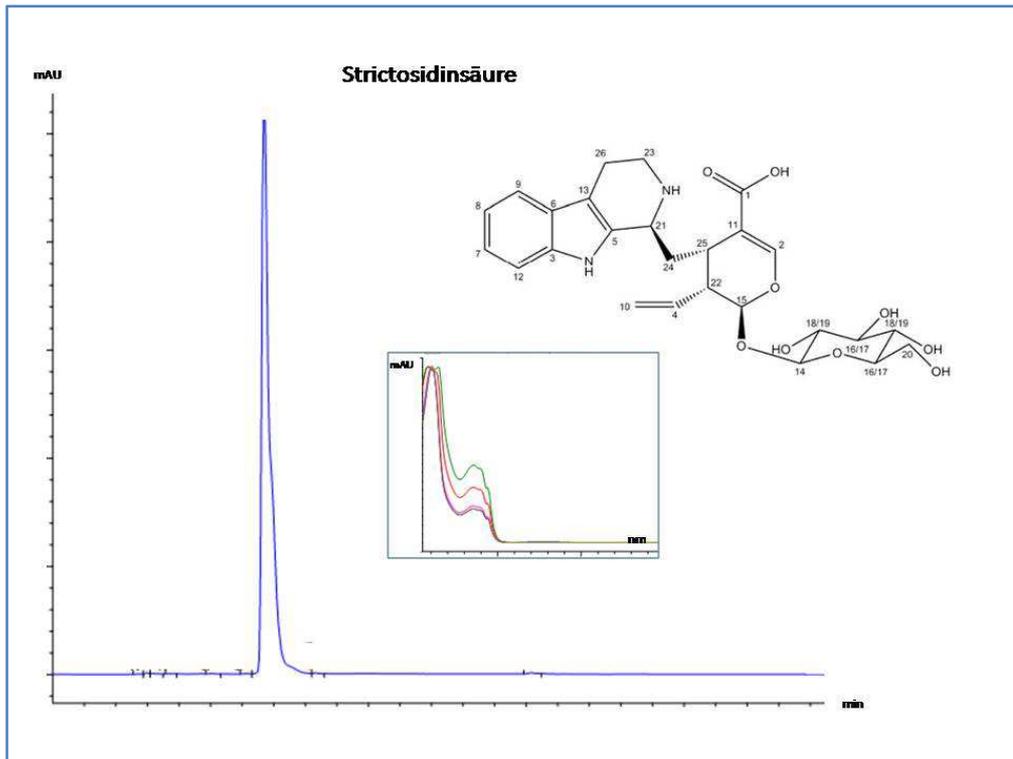


Abb. 30:

Strictosidinsäure im Überblick: HPLC-Profil, UV-Spektrum und Summenformel. Strictosidinsäure konnte mittels präparativer DC aus *P. buchtienii* isoliert werden.

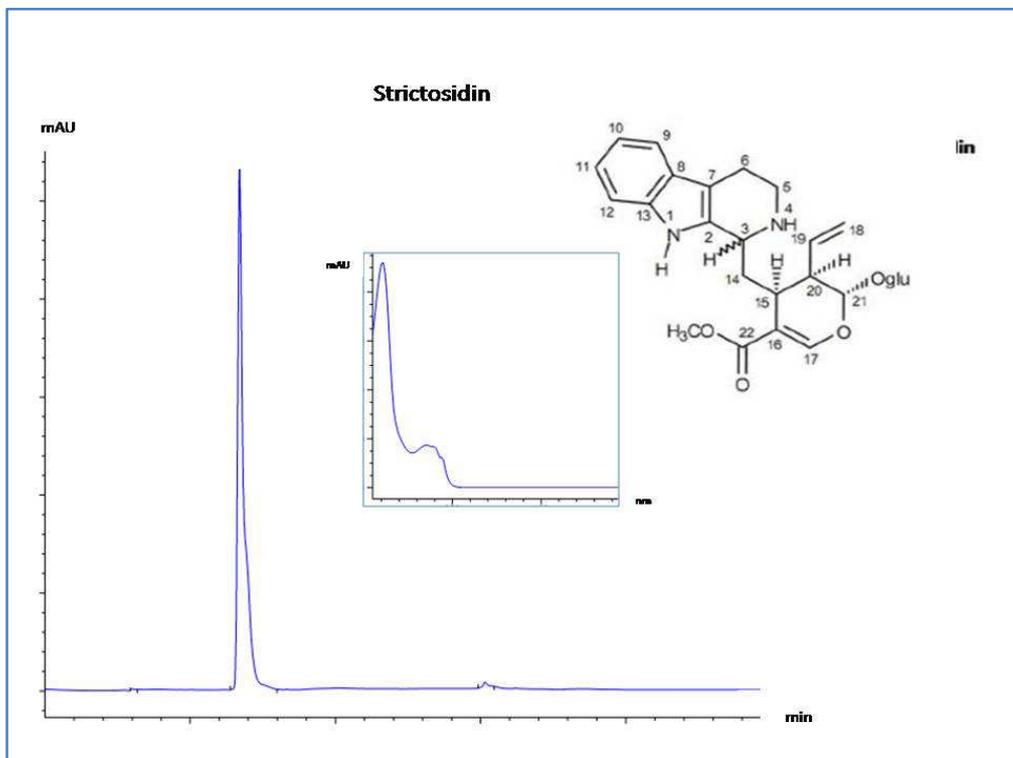


Abb. 31:

Strictosidin im Überblick: HPLC-Profil, UV-Spektrum und Summenformel. Strictosidin konnte mittels Kristallisation aus *P. buchtienii* isoliert werden.

6.2.2 *Psychotria racemosa*

Ein methanolischer Gesamtextrakt von 20 g des Blattmaterials von *P. racemosa* HG31070812 wurde mit einer Konzentration von 18 mg/ml mit HPLC analysiert, wobei sich ein markanter Peak bei einer Retentionszeit von 10,9 min zeigte. Sein UV-Spektrum ließ auf eine Verbindung mit einem Indol-Chromophor schließen (Abb. 32).

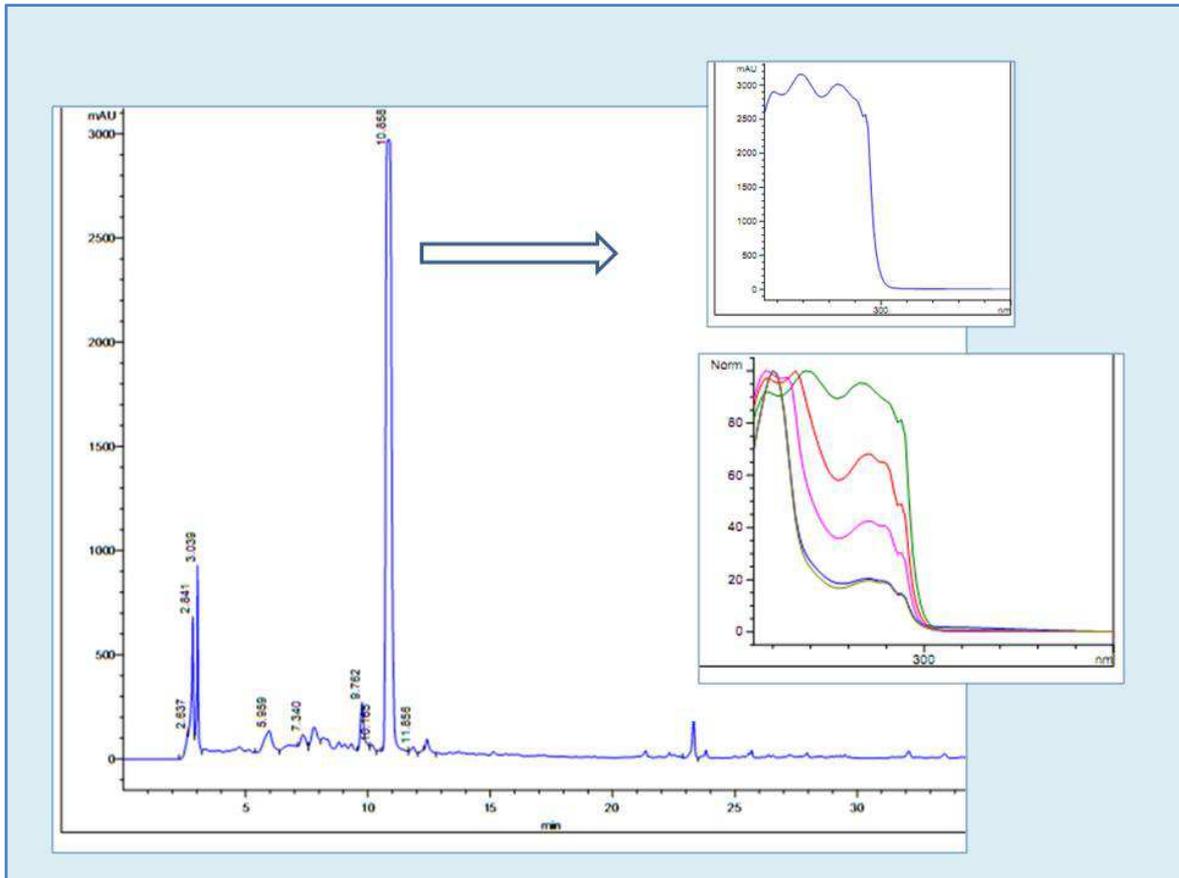


Abb. 32:

HPLC-Analyse des Gesamtextrakts von *P. racemosa* (Konzentration 18 mg/ml, weitere Angaben zur Methode sind dem Abschnitt *Material und Methode* zu entnehmen), mit markantem Peak bei 10,9 min. Rechts im Bild: Überlagertes (oben) bzw. zeitperspektivisch geschnittenes (unten) UV-Spektrum der entsprechenden Substanz).

Wie bei *P. buchtienii* war der Stoff in der Wasserphase (300 mg) angereichert. Um die apolareren Anteile abzutrennen, wurde der Extrakt in 50 ml MeOH aufgenommen, mit 100 ml (einzudiffundierendem) Et₂O über einen Zeitraum von 48 Stunden licht-geschützt bei Raumtemperatur in einem verschlossenen Gefäß gelagert. Danach hatte sich ein deutlicher Niederschlag (N1) gebildet. Eine DC-Analyse (Laufmittel: reines MeOH) des Niederschlags, sowie des Überstandes (Ü1) und der Wasser-Phase zeigte, dass sich die Dragendorff-positive Substanz wie zu erwarten zu

annähernd 100% im Niederschlag N1 befand, wobei die apolareren Anteile sich im Überstand Ü1 gesammelt hatten und somit abgeschieden werden konnten. Nach neuerlicher Umkristallisierung wurden 11 mg weiße Kristalle gewonnen. Die Struktur konnte am Institut für Organische Chemie durch NMR- und MS Analysen aufgeklärt werden. Es handelte sich um das bekannte Palicosid (HPLC-UV Profil, Strukturformel und Spektrum siehe Abb. 33), ein N-Methylderivat der Strictosidinsäure (MORITA et al., 1989).

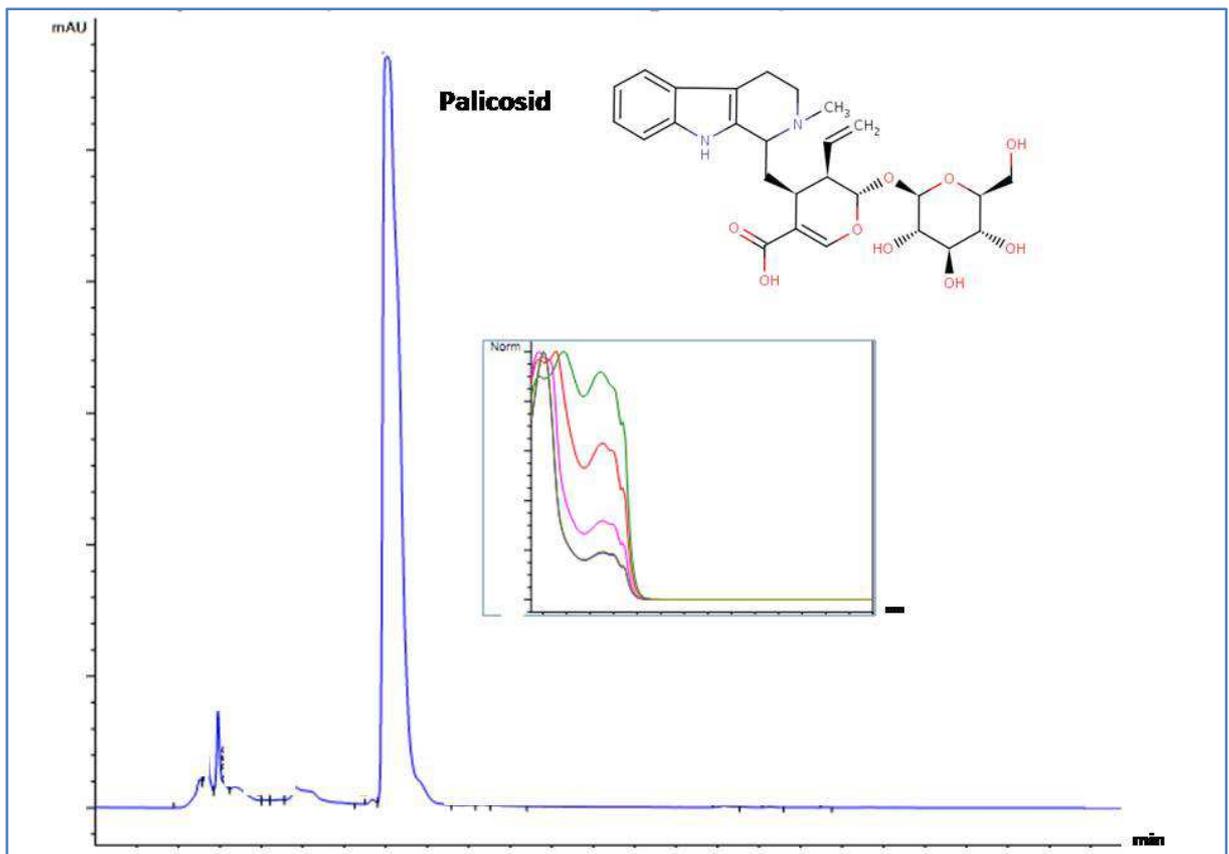


Abb 33: Palicosid im Überblick: HPLC-Profil (mit leichter Verunreinigung), UV-Spektrum und Struktur. Palicosid konnte aus *P. racemosa* isoliert werden.

6.2.3 *Psychotria poeppigiana*

Die HPLC-UV Analyse des Gesamtextraktes von 50 g Wurzeln der Probe *P. poeppigiana* HG 3007081 zeigte keinerlei markante Peaks, deren Spektren auf Verbindungen mit einem Indol-Chromophor hindeuteten. Es gab jedoch eine Reihe anderer Substanzen mit uncharakteristischen, einfachen UV-Spektren (Abb. 34). Auf der DC (CHCl₃:MeOH 80:20) zeigte sich keine Dragendorff-positive Reaktion. Nach Flüssig-Flüssig-Extraktion befand sich auch hier der höchste Gewichtsanteil in der Wasserphase. Diese wurde mit einer Trockensäule (100% Chloroform zu 100% Methanol) fraktioniert und lieferte, durch präparative DC weiter aufgereinigt, 16 mg einer Reinsubstanz. Diese wurde am *Institut für Organische Chemie* durch NMR- und MS-Analysen als das bekannte Iridoid Glykosid Deacetylasperulosidsäure (Abb. 35 und 37) identifiziert. Die von FASSHUBER (2011) publizierte Substanz (Strukturformel siehe Tab. 1 (10)) konnte allerdings nicht nachgewiesen werden. Es könnte sich aber bei der Deacetylasperulosidsäure um ein durch die präparative DC bedingtes Abbauprodukt der tatsächlich in der Pflanze vorhandenen Substanz handeln: Die HPLC-Analyse der Substanz (Abb. 37) ergab eine Retentionszeit von 3,4 min. Verglichen mit dem Gesamtextrakt, sowie mit dem HPLC-Profil der Wasserphase, ergibt sich hier eine Diskrepanz (Abb. 38). Diese weisen markante Peaks mit analogen UV-Spektren bei 2,7 min und 3,1 min. auf. Eine leichte Verschiebung der Retentionszeit ist durchaus möglich, jedoch handelt es sich hier immer um zwei Peaks. Es bleibt ungeklärt, ob es sich bei den in Rohextrakt und Wasserphase aufscheinenden Peaks um zwei natürliche Stoffe, oder bereits um ein Abbauprodukt und seine Ausgangssubstanz handelt. Die präparative DC lieferte lediglich eine Bande, wie auch die HPLC-Analyse (Abb. 37 und 38) bestätigte.

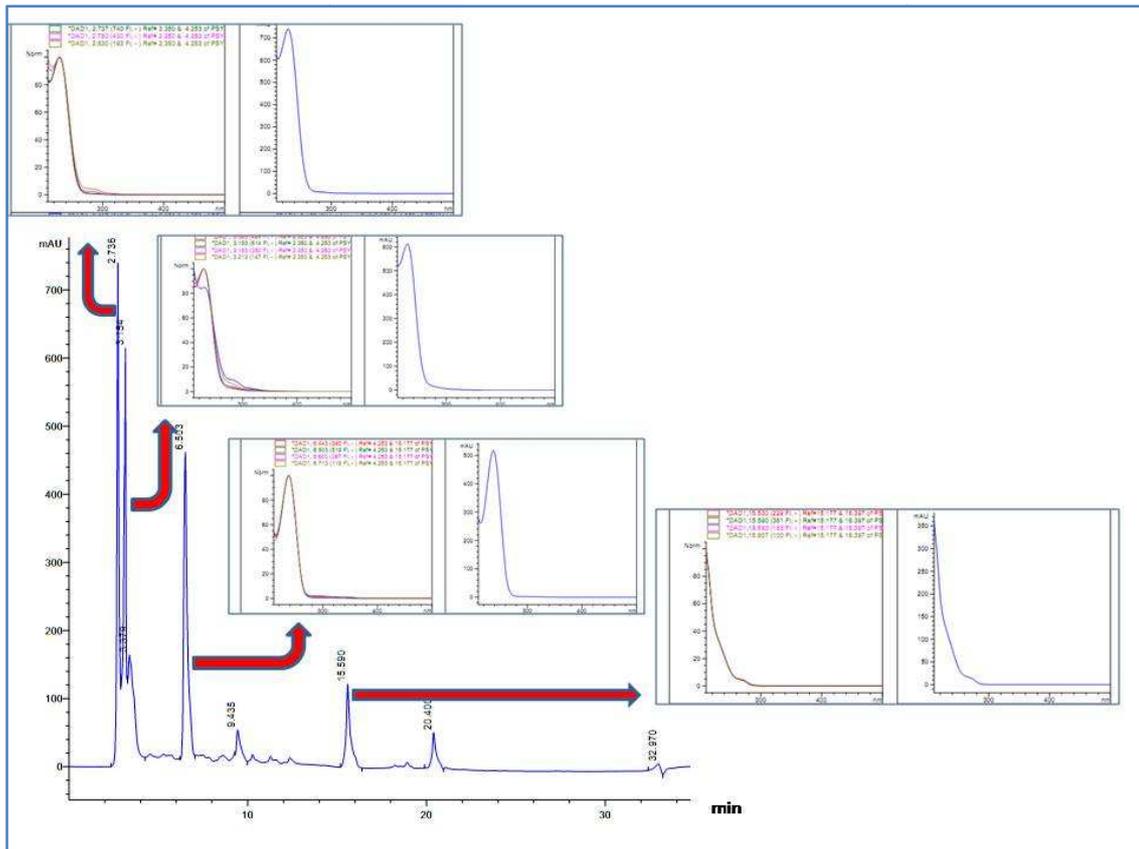


Abb.34:

HPLC-Profil des Gesamtextraktes von *P. poeppigiana* mit zugehörigen UV-Spektren der markantesten Peaks (Konzentration 28 mg/ml, weitere Details zur Methode sind dem Abschnitt *Material und Methode* zu entnehmen).

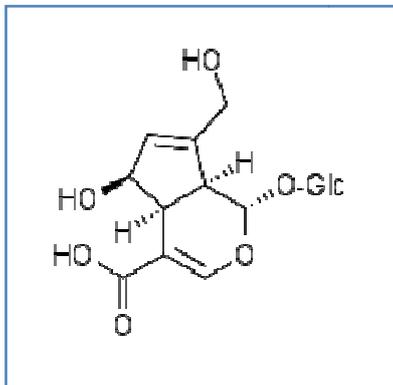


Abb.35:

Struktur der Deacetyl-Asperulosid-Säure

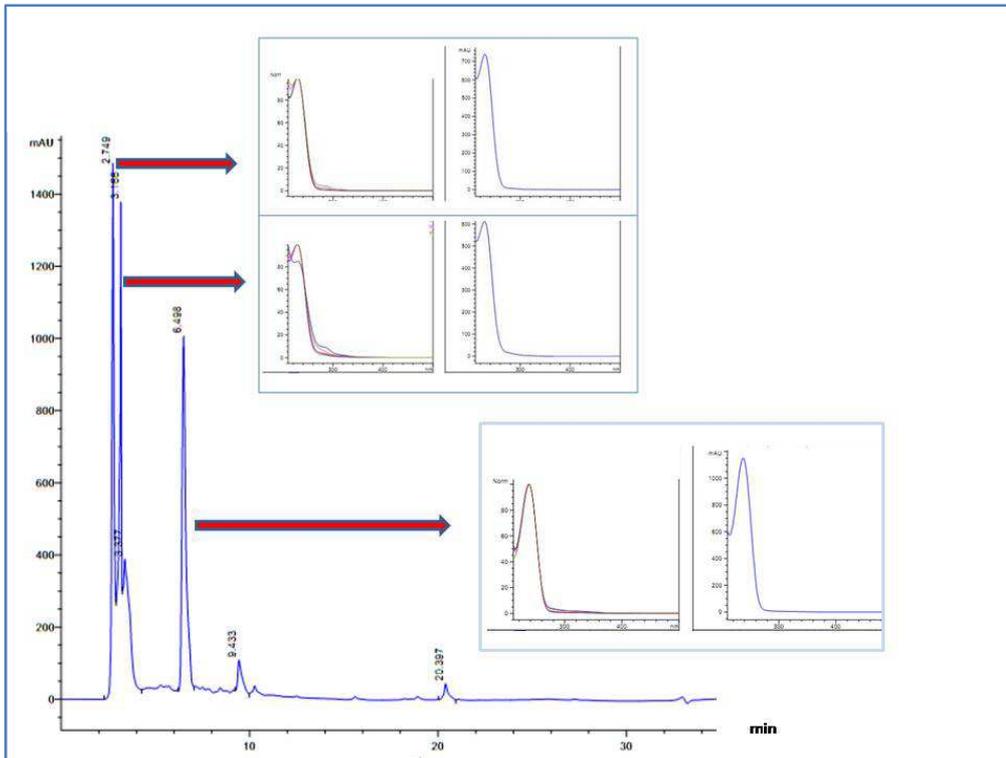


Abb.36:

HPLC-Profil der Wasser-Phase von *P. poeppigiana* (Konzentration 6 mg/ml), mit UV-Spektren der markantesten Peaks.

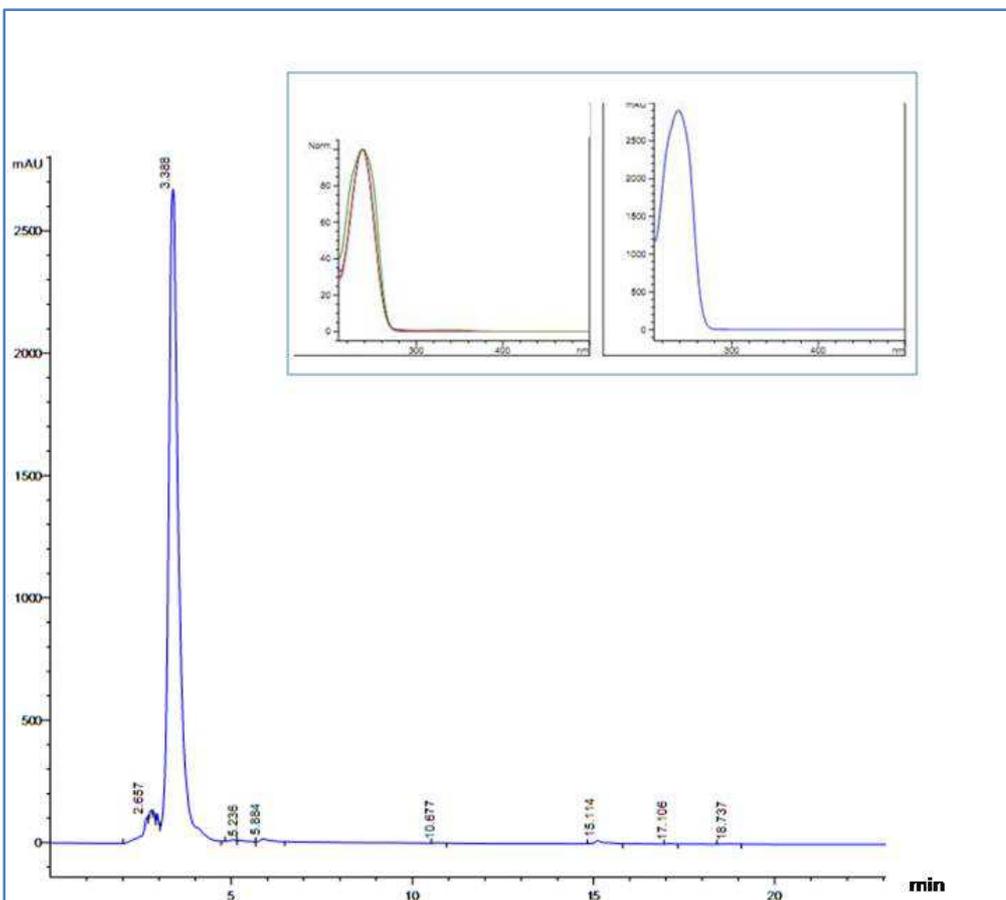


Abb.37:

HPLC-Profil der aus *P. poeppigiana* isolierten Substanz mit UV-Spektrum

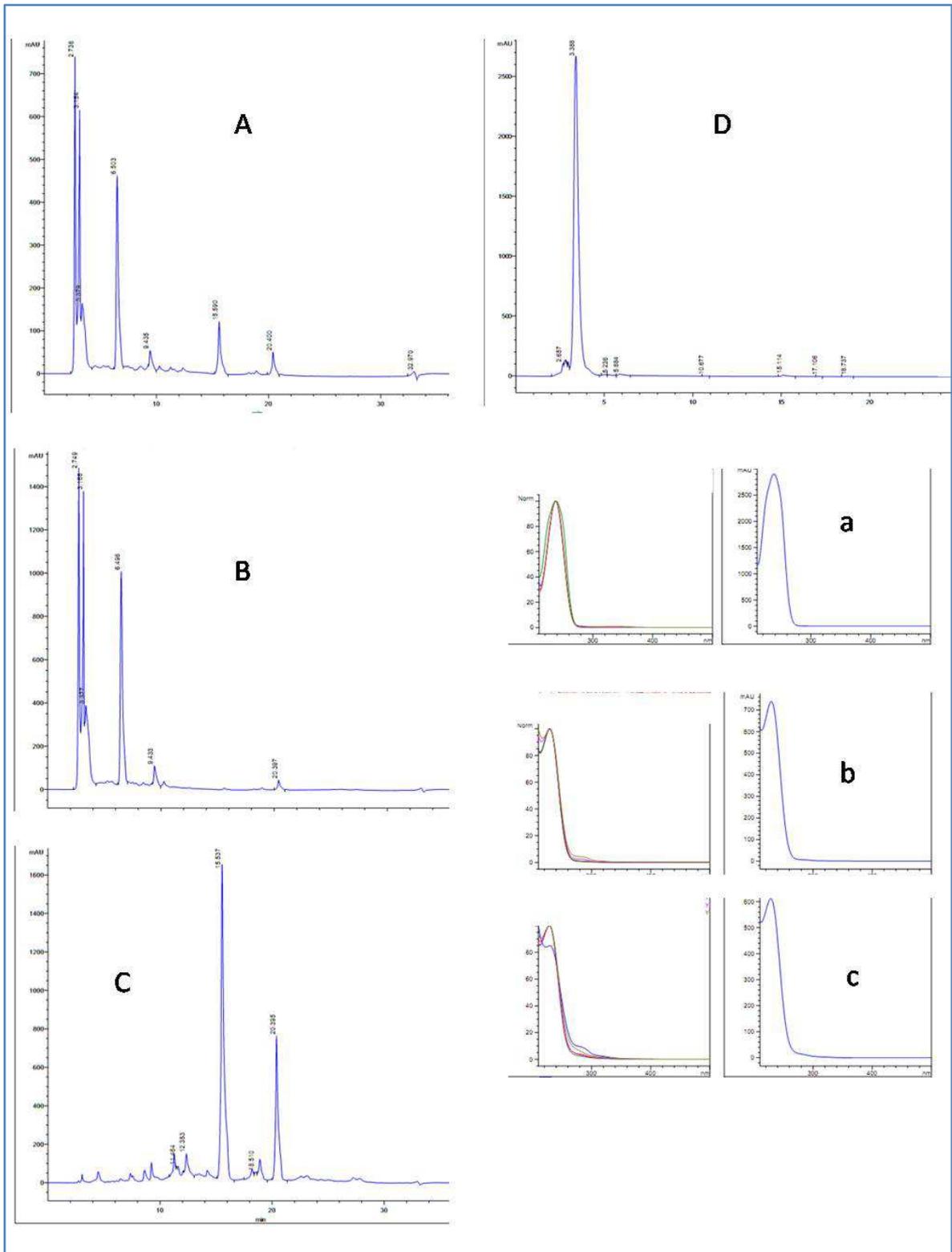


Abb. 38:

HPLC-Analysen der *P. poeppigiana* im Überblick: A=Gesamtextrakt, B=Wasser-Phase, C=Chloroform-Phase, D=Isolierte Reinsubstanz Deacetyl-Asperulosid-Säure; a=UV-Spektrum der Substanz bei Retentionszeit 2,7 min. der Wasser-Phase und des Gesamtextrakts, b=UV-Spektrum der Substanz bei Retentionszeit 3,1min. der Wasserphase und des Gesamtextrakts, c= UV-Spektrum der isolierten Reinsubstanz Deacetyl-Asperulosid-Säure.

7. Diskussion

Insgesamt konnten zusammen mit Literaturdaten und eigenen Ergebnissen 49 Arten phytochemisch verglichen werden. Wie Abb. 39 zeigt, führen unterschiedliche Stoffausstattungen zu einer Arten-Gruppierung, die mit bereits vorliegenden DNA-Sequenzanalysen von 11 Arten (NEPOKROEFF et al., 1999; ANDERSSON, 2002a) weitgehend im Einklang steht. Demnach kommt vor allem den unterschiedlichen Trends zur Akkumulation von Tryptamin-Iridoid Alkaloiden oder Dopamin-Iridoid Alkaloiden sowie dem vikariierenden Auftreten von Iridoid-Glykosiden chemotaxonomische Bedeutung zu. Dadurch heben sich die kürzlich ausgegliederten Gattungen *Carapichea*, *Ronabea* und *Notopleura* von *Palicourea neu* und *Psychotria s. str.* ab. Abgesehen von diesen drei Stoffklassen spielen bei *Psychotria s. l.* auch die Pyrrolidinoindolin-Alkaloide eine wichtige Rolle. Sie wurden allerdings sowohl aus einigen Arten von *Psychotria s. str.* als auch von *Palicourea neu* isoliert. Aufgrund einer Reihe eigener Biosyntheseschritte dürfte diesem Trend bei breiterer Bearbeitung ebenfalls chemotaxonomische Bedeutung zukommen.

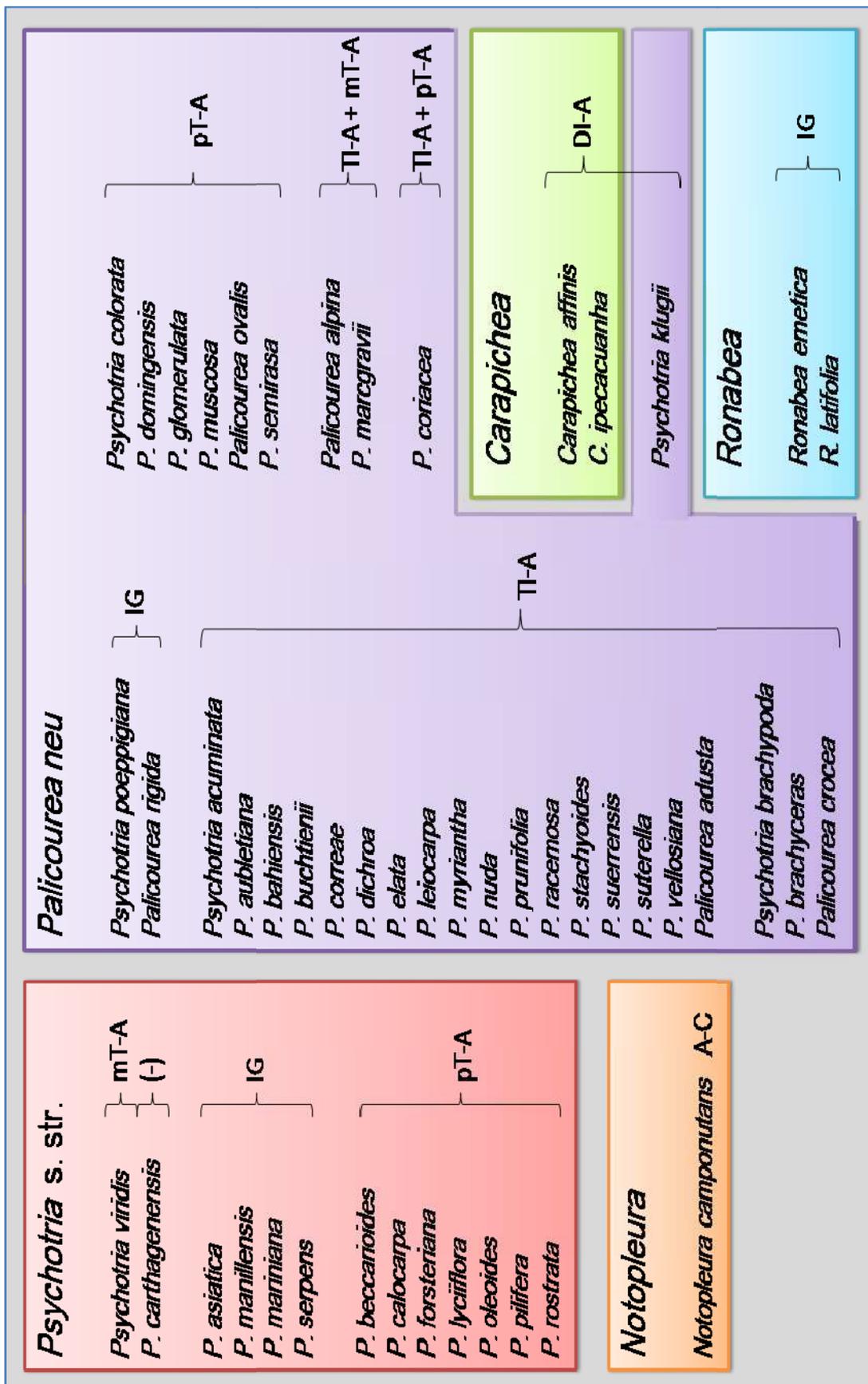


Abbildung 39:

Gesamtüberblick der chemotaxonomischen Gliederung: Verteilung der Arten auf die Gattungen *Psychotria* s. str., *Palicourea neu*, *Carapichea*, *Notopleura* und *Ronabea* entsprechend ihren Stoffausstattungen.

(-) = weder Alkaloide noch Iridoid-Glykoside nachweisbar

IG = Iridoid-Glykoside bei Abwesenheit von Alkaloiden

TI-A = Tryptamin-Iridoid-Alkaloide

mT-A = monomere Tryptamin-Alkaloide

pT-A = di- oder polymere Tryptamin-Alkaloide

DI-A = Dopamin-Iridoid-Alkaloide

A-C = Azaanthrachinone

Carapichea tritt hier besonders hervor: Aufgrund von Nukleotid-Sequenzanalysen stellen *Psychotria ipecacuanha* und *P. borucana* zusammen mit *P. ligularis* var. *carapichea* einen monophyletischen Zweig dar, der zusammen mit morphologischen Ähnlichkeiten zur Abgrenzung als eigene Gattung *Carapichea* geführt hat (ANDERSSON, 2002b). Für diese taxonomische Abspaltung spricht nun auch die Akkumulation von Dopamin-Iridoid Alkaloiden (BERNHARD et al. 2011), die in *Psychotria* s.l. bisher nur noch aus *P. klugii* isoliert wurden (MUHAMMAD et al., 2003). Morphologische sowie DNA-Sequenzanalysen werden zeigen müssen, ob auch letztere Art in die Gattung *Carapichea* gestellt werden kann.

Notopleura nimmt ebenfalls eine Stellung abseits der *Psychotria* s. l. ein, jedoch mit Vorbehalt: Gegenwärtig ist lediglich ein einziger Vertreter der Gattung *Notopleura* untersucht. Es handelt sich um *N. camponutans*, ehemals *Psychotria camponutans*. Bei den nachgewiesenen Substanzen handelt es sich um Azaanthrachinone. Azaanthrachinone wurden in keinem weiteren Vertreter der *Psychotria* s. l. nachgewiesen. Auch bei der Ausgliederung von *Notopleura* decken sich also die Vorschläge aus der Literatur (TAYLOR, 2001) mit den chemotaxonomischen Ergebnissen.

Ronabea, in welcher nach gegenwärtigen Kenntnisstand keine Alkaloide akkumuliert werden, wird durch Iridoid-Glykoside charakterisiert (BERGER et al., 2011). Sie hebt sich damit nicht so klar von *Psychotria* s. l. ab, wie *Notopleura* oder *Carapichea*. Die Präsenz von Iridoid-Glykosiden bei gleichzeitiger Absenz von Alkaloiden ist auch in *Psychotria* s. str. (bei *P. asiatica*, *P. manillensis*, *P. mariniana* und *P. serpens*) und in *Palicourea neu* (bei *P. rigida* und *Psychotria poeppigiana*) zu beobachten. Da die Tendenz innerhalb von *Ronabea* aber homogen zu sein scheint, könnte es sich hier um ein gattungsspezifisches Merkmal handeln (BERGER et al., 2011). Dieser Befund deckt sich auch mit den Schlussfolgerungen anderer Autoren (TAYLOR 2004b).

Psychotria subg. Heteropsychotria und **Psychotria subg. Psychotria** erweist sich aufgrund der chemischen Merkmale wenig gerechtfertigt: In beiden Gruppen finden sich alkaloidfreie Vertreter, sowie Tryptamin-Alkaloid-akkumulierende Arten, mit annähernd gleicher Frequenz. Betrachtet man aber diesbezüglich die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide, so zeigt sich, dass diese **ausschließlich** von Vertretern des subg.

Heteropsychotria (und Angehörigen der Gattung *Palicourea* Aubl.) akkumuliert werden, nicht aber von *Psychotria* s. str.

Zu *Palicourea neu* gehören nach TAYLOR (1996) und NEPOKROEFF et al. (1999) sowohl Vertreter der Untergattung *Heteropsychotria* als auch der Gattung *Palicourea* Aubl. Die bisher vorliegenden chemischen Befunde lassen darauf schließen, dass Tryptamin-Iridoid-Alkaloide ausschließlich innerhalb der Gruppe *Palicourea neu* auftreten, nicht aber innerhalb *Psychotria* s. str. Innerhalb der Tryptamin-Iridoid-Alkaloid-akkumulierenden Gruppe bildet *Palicourea adusta* gemeinsam mit *Psychotria brachyceras* und *P. brachypoda* einen eigenen Zweig, da ihre Tryptamin-Iridoid-Alkaloide über Loganin als Iridoid-Anteil verfügen. Wie in Abb. 39 gezeigt, wurden in dieser Gruppe bei *P. poeppigiana* und *Palicourea rigida* keine Alkaloide detektiert. Dagegen kommt es hier zu einem Dominieren der Iridoid-Glykoside. *P. poeppigiana* wurde aufgrund von DNA-Analysen in die Nähe von *P. elata* gestellt (NEPOKROEFF et al., 1999), aus der kürzlich allerdings das Tryptamin-Iridoid Alkaloid Strictosidin (13) isoliert wurde (FASSHUBER, 2011). Weitere Untersuchungen werden hier klären müssen, welcher verwandtschaftliche Aussagewert hier der fehlenden Alkaloid-Akkumulation bei gleichzeitiger Dominanz der Iridoid-Glykoside zukommt. Da Iridoide ein wichtiger Baustein in der Biosynthese dieser Alkaloide sind, könnte es sich hier auch nur um einen späteren Ausfall des wichtigen Schlüsselenzyms Strictosidinsynthase handeln. Chemotaxonomisch bedeutungsvoller erscheint dagegen die Akkumulation von Pyrrolidinoindolinen, wo keine Iridoid-Bausteine eingebaut werden. Innerhalb von *Palicourea neu* weicht dadurch *P. muscosa* von den Tryptamin-Iridoid-Alkaloid führenden Arten ab, was auch durch DNA-Sequenzanalysen bestätigt wurde (NEPOKROEFF et al., 1999). Darüber hinaus gibt es hier aber mit *P. colorata*, *P. domingensis*, *P. glomerulata*, *P. ovalis* und *P. semirasa* fünf weitere Arten, die durch Pyrrolidinoindolin-Alkaloide eine eigene Gruppe bilden.

In *Palicourea alpina*, *P. coriacea* und *P. marcgravii* wurden neben Tryptamin-Iridoid-Alkaloiden auch einfache Tryptamin-Derivate beschrieben. *Palicourea marcgravii* akkumuliert jedoch außerdem ein Tyramin-Alkaloid. Dies ist innerhalb von *Psychotria* s. l. bislang einzigartig. Die Ausbildung von Tyramin-Alkaloiden (110) könnte ein Hinweis darauf sein, dass die Art nicht der näheren Verwandtschaft von *Psychotria* s. l. angehört. Allerdings wurde das von KEMMERLING (1996)

nachgewiesene N-Methyltyramin (110) in einer früheren Untersuchung (MORITA et al., 1989) nicht detektiert. Dies könnte für einen Irrtum sprechen. Eine andere Erklärung wäre, dass es sich bei dem Tyramin-Derivat um einen Stoff handelt, der nur in Ausnahmefällen akkumuliert wird. Die stress- und verwundungsbedingte Gen-Expression des Enzyms Tyrosin-Decarboxylase ist in der Literatur bereits beschrieben worden (LEHMANN & POLLMANN, 2009) und könnte auch hier eine Rolle spielen. Auch in diesem Fall aber scheint es ungewöhnlich, dass Tyramin-Derivate in anderen *Psychotrien* nicht nachgewiesen werden konnten. Nicht außer Acht lassen, sollte man daher die Möglichkeit, dass das Tyramin-Derivat von einem assoziierten Mikroorganismus akkumuliert wird. Für diese Annahme spricht die Tatsache, dass sich *Palicourea marcgravii* morphologisch und auch durch die Akkumulation des Tryptamin-Iridoid-Alkaloids Palicosid nicht von *Palicourea neu* abhebt. Es wird aber erwähnt, dass sie oft eine enge, symbiotische Beziehung mit einem endophytischen Pilz (*Xylaria sp.*) eingeht (CAFEU et al. 2005).

Psychotria s. str. Im Gegensatz zu *Palicourea neu* konnten hier keine Tryptamin-Iridoid Alkaloide nachgewiesen werden. Aufgrund der vorliegenden Befunde können in *Psychotria s. str.* im wesentlichen zwei Biosynthese-Trends zu Pyrrolidinoindolinen und Iridoid-Glykosiden unterschieden werden. Nach neueren Untersuchungen (BERGER et al. 2012, in Vorbereitung) ist hier aber vor allem auch mit dem Auftreten von vmtl. mono-oder oligomeren Catechinen zu rechnen. Beim Vergleich mit den in den DNA-Sequenzanalysen angeführten Arten (NEPOKROEFF et al., 1999; ANDERSSON, 2002a), ist erst ein kleiner Anteil phytochemisch untersucht worden. Bemerkenswert ist dabei das gemeinsame Vorkommen von Pyrrolidinoindolin-Alkaloiden in *Psychotria s. str.* und *Palicourea neu*. Weitere Untersuchungen bei einer größeren Anzahl von Arten werden zeigen, wie weit dieses chemische Merkmal zu einer natürlicheren Gliederung beitragen kann. Dabei könnte auch klar werden, in welchem Ausmaß das Vorkommen von Iridoid-Glykosiden ohne Alkaloid-Akkumulation, sowie die alleinige Akkumulation von Dimethyltryptamin oder Harman-Derivaten nur als 'Reduktionsmuster' einer sonst weiter verbreiteten Stoffwechsellendenz zu werten ist.

Die vorliegenden Ergebnisse widerlegen demnach die Schlußfolgerungen einer früheren chemotaxonomischen Analyse (LOPES et al., 2004) wonach polymere Tryptamin Alkaloide (Pyrrolidinoindoline) ein typisches chemisches Merkmal von

Psychotria s. str. sein soll. Auch die chemotaxonomische Bedeutung der Iridoid-Glykoside sollte aufgrund der vorliegenden Befunde überdacht werden. Die Gattungsabgrenzung von *Palicourea neu* wird jedenfalls durch die Akkumulation von Tryptamin-Iridoid Alkaloiden unterstützt.

Herbarbelege

INSTITUT FÜR BOTANIK
DER UNIVERSITÄT WIEN
Herbärium WU
044515



digital image @ WU

HERBARIUM Abtlg. f. Vergleichende Phytochemie

**Psychotria
poeppigiana** Müll.Arg.

Rubiaceae

Costa Rica, Puntarenas, Golfito,
La Gamba, Biedras Blancas
National Park, Fila trail, edge of
the forest, 150 m, small tree 3 m.

M. Bernhard & H. Greger HG 2607081 26.07.2008



Psychotria poeppigiana Müll.Arg.

INSTITUT FÜR BOTANIK
DER UNIVERSITÄT WIEN
Herbarium WU
044547



BR
digital image @ WU

HERBARIUM Abtlg. f. Vergleichende Phytochemie

Psychotria (= Nonatelia)
racemosa (Aubl.) Raeusch.

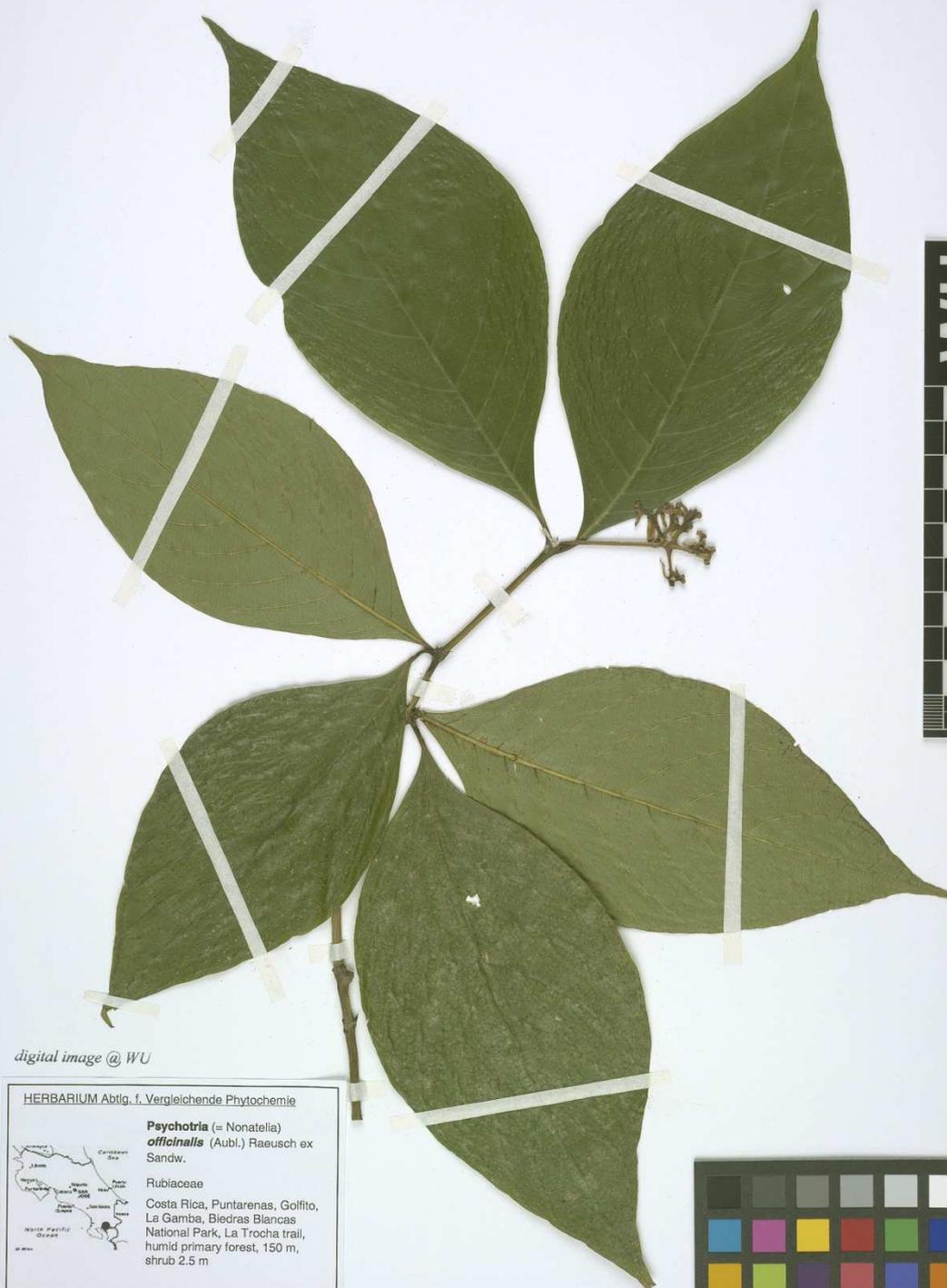
Rubiaceae

Costa Rica, Puntarenas, Golfito,
La Gamba, Biedras Blancas
National Park, Lake trail, 100 m,
shrub, 1.5 m

M. Bernhard & H. Greger HG31070812 31.07.2008

Psychotria racemosa (Aubl.) Raeusch.

INSTITUT FÜR BOTANIK
DER UNIVERSITÄT WIEN
Herbarium WU
044560



digital image @ WU

HERBARIUM Abtlig. f. Vergleichende Phytochemie

Psychotria (= Nonatelia)
officinalis (Aubl.) Raeusch ex Sandw.

Rubiaceae

Costa Rica, Puntarenas, Golfoito, La Gamba, Biedras Blancas National Park, La Trocha trail, humid primary forest, 150 m, shrub 2.5 m

M. Bernhard & H. Greger HG 2607087 26.07.2008



Psychotria buchtienii (H.Winkl.) Standl. (beschriftet als *P. officinalis* (Aubl.) Raeusch.).

LITERATURVERZEICHNIS

- ACHENBACH, H., LOTTES, M., WAIBL, R., KARIKAS, G.A., CORREA, M.D., GUPTA, M.P. (1995).** Alkaloids and other compounds from *Psychotria correae*. *Phytochemistry* 38: 1537-1545.
- AMADOR, T.A., VEROFF, L., NUNES, D.S., ELISABETSKY, E. (2000).** Antinociceptive profile of Hodgkinsine. *Planta Medica* 66:770-772.
- ANDERSSON, L. & ROVA, J.H.E. (1999).** The rps16 intron and the phylogeny of the Rubioideae (Rubiaceae). *Plant Systematics and Evolution*. 214: 161-186.
- ANDERSSON, L. (2002a).** Relationships and generic circumscriptions in the *Psychotria* complex (Rubiaceae/Psychotrieae). *Systematics and Geography of Plants* 72: 167-202.
- ANDERSSON, L. (2002b).** Re-establishment of *Carapichea* (Rubiaceae, Psychotrieae). *Kew Bulletin* 57: 363-374.
- APW ANGIOSPERM PHYLOGENY** website. Missouri Botanical Garden. (2010, 11. Dezember). <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb>.
- AUBLET, J.B.C.F. (1775).** *Histoire des Plantes de la Guyane Francoise*. Didot jeune, London, Paris.
- BACKLUND, M.O. (2000).** Phylogenetic relationships within the Gentianales based on ndhF and rcbL sequences, with particular reference to the Loganiaceae. *American Journal of Botany* 87: 1029-1043.
- BERETZ, A., ROTH-GEORGER, A. CORRE, G., KUBALLA, B., ANTON, R., CAZENAVE, J.P. (1985).** Polyindolinic Alkaloids from *Psychotria forsteriana*. Potent inhibitors of the aggregation of human platelets. *Planta Medica* 51: 300-303.
- BERGER, A., FASSHUBER, H., SCHINNERL, J., ROBIEN, W., BRECKER, L., VALANT-VETSCHERA, K. (2011).** Iridoids as chemical markers of false ipecac (*Ronabea emetica*), a previously confused medicinal plant. *Journal of Ethnopharmacology* 138: 756-761.
- BERGER, A., FASSHUBER, H., SCHINNERL, J., BRECKER, L., GREGER, H. (in Vorbereitung).** Various types of tryptamine-iridoid-alkaloids from *Palicourea acuminata* (= *Psychotria acuminata*)
- BERNHARD, M., FASSHUBER, H., ROBIEN, W., BRECKER, L., GREGER, H. (2011).** Dopamine-iridoid alkaloids in *Carapichea affinis* (= *Psychotria borucana*) confirm close relationship to the vomiting root Ipecac. *Biochemical Systematics and Ecology* 39: 232-235.
- BERNHARD, M. (2012)** *Vergleichende phytochemische Studien an Vertretern der Gattung Psychotria s. l. aus dem Esquinas Regenwald in Costa Rica, unter besonderer Berücksichtigung von Carapichea affinis*. Diplomarbeit Universität Wien, Wien.

- BORHIDI, A. (2011).** Transfer of the mexican species of *Psychotria* subgen. *Heteropsychotria* to *Palicourea* based on morphological and molecular evidences. *Acta Botanica Hungarica* 53: 241-250.
- BOTH, F.L., KERBER, V.A., HENRIQUES, A.T., ELISABETSKY, E. (2002).** Analgesic properties of Umbellatine from *Psychotria umbellata*. *Pharmaceutical Biology* 40: 336-341.
- BOTH, F.L., MENEGHINI, L., KERBER, V.A., HENRIQUES, A.T., ELISABETSKY, E. (2005).** Psychopharmacological profile of the alkaloid Psychollatine as a 5HT_{2A/C} Serotonin modulator. *Journal of Natural Products* 68: 374-380.
- BREMEKAMP, C.E.B. (1961).** The identity of the genera *Mapouria* Aubl. and *Grumilea* Gaertn. (Rubiaceae, Psychotrieae). *Acta Botanica Neerlandica* 10: 307-319.
- BREMER, B. (1996).** Phylogenetic studies within Rubiaceae and relationships to other families based on molecular data. *Opera Botanica* 7: 33-50.
- BREMER, B. & ERIKSSON, T. (2009).** Time tree of Rubiaceae: Phylogeny and dating the family, subfamilies and tribes. *International Journal of Plant Sciences* 170: 766-793.
- BREMER, B. & MANEN, J. (2000).** Phylogeny and classification of the subfamily Rubioideae (Rubiaceae). *Plant Systematics and Evolution* 225: 43-72.
- BURGER, W. & TAYLOR, C.M. (1993).** Family 202 Rubiaceae. In Burger W.: *Flora Costaricensis*. Fieldiana Botany 33, Field Museum of Natural History, Chicago.
- CAFEU, M.C., SILVA, G.H., TELES, H.L., DA BOLZANI, V.S., ARAUJO, A.R., YOUNG, M.C.M., PFENNING, L.H. (2005).** Antifungal components of *Xylaria* sp., an endophytic fungus isolated from *Palicourea marcgravii* (Rubiaceae). *Quimica Nova* 28: 991-995.
- CHEONG, B., TAKEMURA, T., YOSHIMATSU, K., SANTO, F. (2011).** Molecular cloning of O-Methyl-Transferase from adventitious roots of *Carapichea ipecacuanha*. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry* 75: 107-113.
- DA SILVA MORAES, T.M., DE ARAUJO, M.H., BERNARDES, N.R., DE OLIVEIRA, D.B., LASUNSKAIA, E.B., MUZITANO, M.F., DA CUNHA, M. (2011).** Antimycobacterial activity and alkaloid prospection of *Psychotria* species (Rubiaceae) from the Brazilian atlantic rainforest. *Planta Medica* 77: 964-970.
- DA SILVA, V., DE CARVALHO, M.G., ALVES, A.N. (2008).** Chemical constituents from leaves of *Palicourea coriacea* (Rubiaceae). *Journal of Natural Medicines* 62: 356-357.
- DAVIS, A.P., BRIDSON, D., JARVIS, C., GOVAEFACTS, R. (2001).** The typification and characterization of the genus *Psychotria* L. (Rubiaceae). *Botanical Journal of Linnaean Society* 135: 35-42.
- DE GARCIA, L.A., TOBON, C.F., CAMPO, E.M. (1997).** Citotoxicidad de los componentes de *Palicourea ovalis*. *Revista Colombiana de Ciencias Quimico-Farmacéuticas* 26: 55-57.

- DEL RAYO CAMACHO, M.,** PHILLIPSON, J.D., CROFT, S.L., YARDLEY, V., SOLIS, P.N., (2004). In vitro Antiprotozoal and Cytotoxic Activities of some Alkaloids, Quinons, Flavonoids and Coumarins. *Planta Medica* 70: 70-72.
- DELPRETE, P. (2004).** Rubiaceae. In SMITH, N.: *Flowering Plants of the American tropics*. NY Botanical Garden Press, New York.
- DE SANTOS, L.V.,** FETT-NETO, A.G., KERBER, V.A., ELISABETSKY, E., QUIRION, J.C., HENRIQUES, A.T. (2001). Indole momoterpene alkaloids from leaves of *Psychotria suterella* Müll. Arg. (Rubiaceae). *Biochemical Systematics and Ecology* 29: 1185-1187.
- DO NASCIMENTO, C. A.,** GOMES, M. S., LIAO, L. M., DE OLIVEIRA, C. M. A., KATO, L., DA SILVA, C.C., TANAKA, C. M. A. (2006) Alkaloids from *Palicourea coriacea* (Cham.) K. Schum. *Zeitschrift für Naturforschung B: A Journal of Chemical Sciences* 61: 1443-1446.
- DO NASCIMENTO, C. A.,** LIAO, L. M., KATO, L., DA SILVA, C.C., TANAKA, C. M. A., SCHUQUEL, I.T.A., DE OLIVEIRA, C. M. A. (2008). A tetrahydro β -carboline trisaccharide from *Palicourea coriacea* (Cham.) K. Schum. *Carbohydrate Research* 343: 1104-1107.
- DÜSMAN, L.T.,** MARINHO JORGE, T.C., DE SOUZA, M.C., EBERLIN, M.N., MEURER, E.C., BOCCA, C.C., BASSO, E.A., SARRAGIOTTO, M.H. (2004). Monoterpene indole alkaloids from *Palicourea crocea*. *Journal of Natural Products* 67: 1886-1888.
- DWYER, J. (1980).** Part IX. Family 179. Rubiaceae. In WOODSON, R. & SCHERY, R.: *Flora of Panama- Annals of the Missouri Botanical Garden* 67. Missouri Botanical Garden, Missouri.
- ELISABETSKY, E.,** AMADOR, T.A., LEAL, M.B., NUNES, D.S., VEROTTA, L. (1997). Merging ethnopharmacology with chemotaxonomy: an approach to unveil bioactive natural products. The case of *Psychotria* alkaloids as potential analgesics. *Ciencia e Cultura* 49: 378-385.
- FARIA, E.O.,** KATO, L., DE OLIVEIRA, C.M.A., CARVALHO, B.G., SILVA, C.C., SALES, L.S., SCHUQUEL, I.T.A., SILVEIRA-LASERDA, E.P., DELPRETE, G.P. (2010). Quarternary β -carboline alkaloids from *Psychotria prunifolia* (Kunth) Steyerem. *Phytochemistry Letters* 3: 113-116.
- FARIAS, F.M.,** KONRATH, E.L., ZUANAZZI, J.A.S., HENRIQUES, A.T. (2009). Strictosamide from *Psychotria nuda* (Cham. et Schltdl) Wawra (Rubiaceae). *Biochemical Systematics and Ecology* 36: 919-920.
- FASSHUBER, H. (2011).** *Strukturbestimmung sowie Untersuchung der enzymkatalysierten Hydrolyse von Naturstoffen mit Glycosidstruktur aus der Pflanzengattung Psychotria L.* Diplomarbeit der Universität Wien, Institut für Organische Chemie, Wien.
- GOEVARTS, R. (2006)** In: *World Checklist of Rubiaceae*. Kew Royal Botanic Gardens website. (16.9. 2011). <http://www.kew.org/wcsp/rubiaceae>.
- GONZALEZ, J. & DIECK, T. (1996).** Asperuloside, an iridoid glucoside isolated from *Psychotria mariniana*. *Revista Latinoamericana Química* 24: 7-9.

GUÉRITTE-VOEGELEIN, F., SEVENET, T., PUSSET, J., ADELIN, M. Y., GILLET, B., BELOEIL, J. C., GUENARD, D., POTIER, P., RASOLONJANAHARY, R., KORDON, C. (1992). Alkaloids from *Psychotria oleoides* with activity on growth hormone release. *Journal of Natural Products* 55: 923-30.

HAMILTON, C. (1985). Architecture in the Neotropical *Psychotria* L. (Rubiaceae): Dynamics of branching and its taxonomic significance. *American Journal of Botany* 72: 1081-1088.

HART, N.K., JOHNS, S.R., LAMBERTON, J.A., SUMMONS, R.E. (1974). Psychotridine, a C₅₅H₆₂N₁₀ alkaloid from *Psychotria beccarioides* (Rubiaceae). *Australian Journal of Chemistry* 27: 639-646.

HENRIQUES, A.T., LOPES, S.O., PARANHOS, J.T., GREGIANINI, T.S., FETT-NETO, A.G., SCHRIPEMA, J. (2004). N,β-D-Glucopyranosyl vincosamide, a light regulated indole alkaloid from the shoots of *Psychotria leiocarpa*. *Phytochemistry* 65: 449-454.

HEYWOOD, V. (1993). *Flowering Plants of the World*. Oxford University Press, Oxford, New York.

HUBER, W. (2005). *Tree diversity and biogeography of four one-hectare plots in the lowland rainforest of the Piedras Blancas National Park ("Regenwald der Österreicher"), Costa Rica*. Dorktorarbeit Universität Wien, Wien.

INOUE, H., TAKEDA, Y., NISHIMURA, H., KANOMI, A., OKUDA, T., PUFF, C. (1988). Chemotaxonomic studies of Rubiaceae plants containing iridoid glycosides. *Phytochemistry* 27: 2591-2598.

IPNI *The International Plant Names Index* website – database of collaboration of The Royal Botanic Gardens Kew, The Harvard University Herbaria and The Australian National Herbarium. (2008, 1. März). <http://www.ipni.org>.

ITOH, A., TANAHASHI, T., NAGAKURA, N. (1991). Six tetrahydroisoquinoline-monoterpene glucosides from *Cephaelis ipecacuanha*. *Phytochemistry* 30: 3117-3123.

ITOH, A., IKUTA, Y., BABA, Y., TANAHASHI, T., NAGAKURA, N. (1999). Ipecac alkaloids from *Cephaelis acuminata*. *Phytochemistry* 52: 1169-1176.

ITOH, A., IKUTA, Y., BABA, Y., TANAHASHI, T., NAGAKURA, N. (2002). Tetrahydroisoquinolinemonoterpene glycosides from *Cephaelis acuminata*. *Phytochemistry* 59: 91-97.

JANNIC, V., GUERITTE, F., LAPREVOTE, O., SERANI, L., MARTIN, M.T., SEVENET, T., POTIER, P. (1999). Pyrrolidinoindoline Alkaloids from *Psychotria oleoides* and *Psychotria lyciiflora*. *Journal of Natural Products* 62: 838-843.

- KEMMERLING, W. (1996).** Toxicity of *Palicourea marcgravii*: combined effects of fluoroacetate, N-methyltyramine and 2-methyltetrahydro-beta-carboline. *Zeitschrift für Naturforschung C* 51: 59-64.
- KERBER, V., GREGIANINI, T.S., PARANHOS, J.T., SCHWAMBACH, J., FARIAS, F., FETT, J.P., FETTNETO, A.G., ZUANAZZI, J.A., QUIRION, J.C., ELISABETSKY, E., HENRIQUES, A.T. (2001).** Brachycerine, a Novel Monoterpene Indole Alkaloid from *Psychotria brachyceras*. *Journal of Natural Products* 64: 677-679.
- KERBER, V., PASSOS, C.S., VERLI, H., FETT-NETO, A.G., QUIRION, J.P., HENRIQUES, A.T. (2008).** Psychollatine, a glucosidic Monoterpene Indole Alkaloid from *Psychotria umbellata*. *Journal of Natural Products* 71: 697-700.
- LAJIS, N.H., MAHMUD, Z., TOIA, R.F. (1993).** The Alkaloids of *Psychotria rostrata*. *Planta Medica* 59: 383-384.
- LEHMANN, T. & POLLMANN, S. (2009).** Gene expression and characterization of a stress-induced tyrosine decarboxylase from *Arabidopsis thaliana*. *Febs Letters* 583: 1895-1900.
- LI, X-N., ZHANG, Y., CAI, X-H., FENG, T., LIU, Y-P., LI, Y., REN, J., ZHU, H-J., LUO, X-D. (2011).** Psychotripine: A new trimeric pyrroloindoline derivative from *Psychotria pilifera*. *Organic Letters* 13: 5896-5899.
- LIBOT, F., MIET, C., KUNESCH, N., POISSON, J. E., PUSSET, J., SEVENET, T. (1987).** Rubiacées d'Océanie: alcaloides de *Psychotria oleoides* de Nouvelle-Calédonie et de *Calycodendron milnei* du Vanuatu. *Journal of Natural Products* 50: 4687-473.
- LOPES, S., VON POSER, G., KERBER, V., FARIAS, F., KONRATH, E., MORENO, P., SOBRAL, M.E., ZUANAZZI, J.A., HENRIQUES, A.T. (2004).** Taxonomic significance of alkaloids and iridoid glucosides in the tribe Psychotrieae (Rubiaceae). *Biochemical Systematics and Ecology* 32:1187-1195.
- MACBRIDE, JF. & DAHLGREN, B.E. (1936).** Flora of Peru, *Fieldiana Botany series vol.13, part 6, no.1*. Field Museum of Natural History, Chicago.
- MARTIN, M., GUPTA, M.P., ORTIZ DE URBINA, A.V., KARIKAS, G.A., GORDALIZA, M., MIGUEL DE CORRAL, J.M., SAN ROMAN, L., SANCHEZ, C., SAN FELICIANO, A. (1994).** Pharmacological and phytochemical studies of *Cephaelis axillaris*. *Planta Medica* 60: 561-565.
- McKENNA, D.J., TOWERS, G.H.N., ABBOTT, F.S. (1984).** Monoamine oxidase inhibitors in South American hallucinogenic plants: Tryptamine and β -carboline constituents of *Ayahuasca*. *Journal of Ethnopharmacology* 10: 195-223.
- MOBOT.** *Palicourea* project website. *Missouri Botanical Garden*. (2011, 10. September). <http://www.tropicos.org/Name/40000063?projectid=34>.

- MORITA, H.,** ICHIHARA, Y., TAKEYA, K., WATANABE, K., ITOKAWA, H., MOTIDOME, M. (1989). A New Indole Alkaloid Glycoside from the Leaves of *Palicourea marcgravii*. *Planta Medica* 55: 288-289.
- MUHAMMAD, I.,** DUNBAR, D.C., KHAN, S.I., TEKWANI, B.L., BEDIR, E., TAKAMATSU, S., FERREIRA, D., WALKER, L.A. (2003). Antiparasitic alkaloids from *Psychotria klugii*. *Journal of Natural Products* 66: 962-967.
- NARINE, N. & MAXWELL, A.R. (2009).** Monoterpenoid Indole alkaloids from *Palicourea crocea*. *Phytochemistry Letters* 2: 34-36.
- NASCIMENTO, C. A.;** LIÃO, L. M.; OLIVEIRA, C.M.A.; KATO, L. (2005). *Alcalóides Indólicos Monoterpênicos Glicosilados de Palicourea coriacea (Rubiaceae)*. In: Congresso de pesquisa, ensino e extensao da UFG. Conpex, Goiânia.
- NEPOKROEFF, M.,** BREMER, B., SYTSMA, K.J. (1999). Reorganization of the genus *Psychotria* and tribe Psychotrieae (Rubiaceae) Inferred from ITS and rbcL sequence data. *Sytematic Botany* 24: 5-27.
- PAUL, J.,** MAXWELL, A.R., REYNOLDS, W.F. (2003). Novel Bis (monoterpenoid) Indole Alkaloids from *Psychotria bahiensis*. *Journal of Natural Products* 66: 752-754.
- PETIT, E. (1966).** Les espèces africaines du genre *Psychotria* L. (Rubiaceae) II. *Bulletin du Jardin botanique de l'Etat a Bruxelles* 36: 65-189.
- PIMENTA, A.T.A,** BRAZ-FILHO, R., DELPRETE, P.G., DE SOUZA, E.B., SILVEIRA, E.R., SOUSA LIMA, M.A. (2010). Structure elucidation and NMR assignments of two unusual monoterpene indole alkaloids from *Psychotria stachyoides*. *Magnetic Resonance in Chemistry* 48: 734-737.
- PIMENTA, A.T.A,** UCHOA, D.E.A., BRAZ-FILHO, R., SILVEIRA, E.R., LIMA, M.A.S. (2011). Alkaloid and other chemical constituents from *Psychotria stachyoides* Benth. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 22: 2216-2219.
- PLAGG, M. (2011).** *Die Pflanzen der Doña Sara, Heilpflanzen einer costaricanischen herbalista*. Masterthese Österreichisches Lateinamerika-Institut. Universität Wien, Wien.
- PORTO, D.,** HENRIQUES, A.T., FETT-NETO, A.G.(2009). Bioactive alkaloids from South American *Psychotria* and related species. *The Open Bioactive Compounds Journal* 2: 29-36.
- RAMAHEFARIZO, R.,** SEVENET, T., VOEGELEIN, F.G., KORDON, C. (1995). Psycholeine, a natural alkaloid extracted from *Psychotria oleoides*, acts as a weak antagonist of Somatostatine. *European Journal of Pharmacology* 285:19-23.
- RÄTSCH, C. (1998).** *Enzyklopädie der psychoaktiven Pflanzen, Botanik, Ethnopharmakologie und Anwendungen*. AT-Verlag, Aarau.
- RAZAFIMANDIMBISON, S.,** RYDIN, C., BREMER, B. (2008). Evolution and trends in the

Psychotrieae alliance (Rubiaceae)- A rarely reported evolutionary change of many-seeded carpels from one-seeded carpels. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 48: 207-223.

REGENWALD DER ÖSTERREICHER. Verein Regenwald der Österreicher website. (2010, 17. September). <http://regenwald.at>.

RIPPERGER, R. (1982). Chimonanthine from *Palicourea domingensis*. *Pharmazie* 37: 867.

RIVIER, L., & LINDGREN, J. (1972). Ayahuasca, the South American hallucinogenic drink: Ethnobotanical and chemical investigations. *Economic Botany* 29: 101-129.

ROBBRECHT, E. (1990). Tropical woody Rubiaceae. characteristic features and progressions. Contributions to a new subfamilial classification. *Kew Bulletin* 45:599-602.

ROBBRECHT, E. & MANEN, J. (2006). The major evolutionary lineages of the coffee family (Rubiaceae, Angiosperms). Combined analysis (nDNA and cp DNA) to infer the position of *Coptosapelta* and *Luculia*, and subtree construction based on rbcL, rps16, trnL-trnF, and atpB-rbcL data. A new class. *Systematics and Geography of Plants* 76: 85-146.

ROTH, A., KUBALLA, B., BOUNTHANAH, C., CABALION, P., SÉVENET, T., BECK, J.P., ANTON, R. (1986). Cytotoxic activity of polyindoline alkaloids of *Psychotria forstriana* (Rubiaceae). *Planta Medica* 52: 450-453.

SAMPAIO-SANTOS, M. & KAPLAN, M. (2001). Biosynthesis and significance of Iridoids in Chemosystematics. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 12: 144-153.

SCHULTES, R.E. & RAFFAUF, R.F. (1992). *Vine of the Soul: Medicinemen, their Plants and Rituals in the Columbian Amazonia*. Synergetic Press, Santa Fé.

SIMÕES-PIRES, C. A., FARIAS, F.N., MARSTON, A., QUEIROZ, E.F., CHAVES, C.G., HENRIQUES, A.T., HOSTETTMANN, K. (2006). Indole Monoterpenes with antichemotactic activity from *Psychotria myriantha*: Chemotaxonomic significance. *Natural Product Communications* 1: 1101-1106.

SOLIS, P.N., WRIGHT, C.W., MAHABIR, P., GUPTA, P., PHILLIPSON, D. (1993) Alkaloids from *Cephaelis dichroa*. *Phytochemistry* 33: 1117-1119.

SOLIS, P.N., LANG 'AT, C., GUPTA, M.P., KIRBY, G.C., WARHURST, D.C., PHILLIPSON, J.D. (1995). Bio-active compounds of *Psychotria camponutans*. *Planta Medica* 61: 62-65.

SOLIS, P.N., RAVELO, A.G., PALENZUELA, A., MAHABIR, P.G., GONZALES, A., PHILLIPSON, D. (1997). Quinoline Alkaloids from *Psychotria glomerulata*. *Phytochemistry* 44: 963-969.

STAHL, E. & SCHILD, W. (1981). *Pharmazeutische Biologie 4: Drogenanalyse II: Inhaltsstoffe und Isolierungen*. Gustav Fischer Vlg, Stuttgart, New York.

STAUNTON, J. (1972). Biosynthesis. In J. SAXTON: *The Alkaloids-Volume 2*. The Chemical Society Burlington House, London.

- STEVEN, A. & OVERMAN, L. (2007).** Totalsynthese komplexer Cyclotryptaminalkaloide: stereokontrollierter Aufbau quartärer Kohlenstoffstereozentren. *Angewandte Chemie* 119: 5584- 5605.
- STEYERMARK, J. (1972).** Botany of the Guyana Highlands. *Memoirs of the New York Botanical Garden* 23: 227-832.
- STEYERMARK, J. (1975).** *Flora of Missouri*. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- STUART, K.L. & WOO-MING, R.B. (1974).** *Palicourea alkaloids*. Structure of palinine. *Tetrahedron Letters* 44: 3853-3856.
- SZABÒ, L.F. (2008).** Molecular evolutionary lines in the formation of indole alkaloids derived from secologanin. *ARKIVOC* (iii): 167-181.
- TAKAYAMA, H., MORI, I., KITAJIMA, M. AIMI, N., NORDIN, H.L. (2004).** New type of trimeric and pentameric indole alkaloids from *Psychotria rostrata*. *Organic Letters* 6: 2945-2948.
- TAYLOR, C.M. (1996).** Overview of the Psychotrieae (Rubiaceae) in the neotropics. *Opera Botanica Belgica* 7: 261-270.
- TAYLOR, C.M. (1997).** Conspectus of the genus *Palicourea* (Rubiaceae, Psychotrieae) with the description of some new species from Ecuador and Colombia. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 84: 224-262.
- TAYLOR, C.M. (2001).** Overview of the neotropical genus *Notopleura* (Rubiaceae: Psychotrieae), with the description of some new species. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 88: 478-515.
- TAYLOR, C.M. (2004a).** Rubiacearum Americanarum Magna Hama Pars XVI. New Species, a new subspecies, and an overlooked species of *Psychotria* subg. *Heteropsychotria* from Mexico, Central America, and Western South America. *Novon: A Journal for Botanical Nomenclature* 14: 493-508.
- TAYLOR, C.M. (2004b).** The neotropical genus *Ronabea* (Rubiaceae, Lasiantheae). *Systematics and Geography of Plants* 74: 35-42.
- TAYLOR, C.M. (2005).** *Margaritopsis* (Rubiaceae, Psychotrieae) in the Neotropics. *Systematics and Geography of Plants* 75: 161-177.
- THE PLANT LIST** *The Plant List database* website. Royal Botanic Gardens New York, Kew & Missouri Botanical Garden (2011, 22. August). <http://www.theplantlist.org>.
- THE WORLD FACTBOOK.** *Central Intelligence Agency database* website. CIA. (2011, 11. Juni). <http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/cs.html>.
- TROPICOS.** *TROPICOS database* website. Missouri Botanical Garden. (2001, 19. Juli). <http://www.tropicos.org>.
- VALVERDE, J., TAMAYO, G., HESSE, M. (1999).** β -Carboline monoterpene glucosides from

Palicourea adusta. *Phytochemistry* 52: 1485-1489.

VEROTTA, L., PILATI, T., TATO, M., ELISABETSKY, E., AMADOR, T.A., NUNES, D.S. (1998).

Pyrrrolidinoindoline alkaloids from *Psychotria colorata*. *Journal of Natural Products* 61: 392-396.

VEROTTA, L., PETERLONGO, F., ELISABETSKY, E., AMADOR, T.A., NUNES, D.S. (1999).

Highperformance liquid chromatography–diode array detection–tandem mass spectrometry analyses of the alkaloid extracts of Amazon *Psychotria* species. *Journal of Chromatography A* 841: 165- 176.

WEISSENHOFER, A. (2005). *Structure and vegetation dynamics of four selected one-hectare forestplots in the lowland rainforests of the Piedras Blancas National Park ("Regenwald der Österreicher"), Costa Rica, with notes on the vegetation diversity of the Golfo Dulce region.* Doktorarbeit . Universität Wien, Wien.

WIEGREBE, W., KRAMER, W.J., SHAMMA, M. (1984). The Emetine alkaloids. *Journal of Natural Products* 47: 397-408.

WILL, S., & KIEHN, M. (2008). Survey of Rubiaceae in the Golfo Dulce area, Costa Rica: new species, combinations and name changes since 2001. *Stapfia* 88: 109-118.

ZHOU, H., HE, H-P., WANG, Y-H., HAO, X-J. (2010). A new dimeric alkaloid from the leaf of *Psychotria calocarpa*. *Helvetica Chimica Acta* 93: 1650-1652.

Zusammenfassung

Die Gattung *Psychotria* L. umfasst in ihrer weitläufigsten Definition rund 2000 Arten. DNA-Sequenzanalysen der letzten zwei Jahrzehnte haben gezeigt, dass tiefgreifende, systematische Veränderungen notwendig sein werden, um die Riesengattung natürlich zu gruppieren. Da es kaum diagnostische Merkmale im Habitus gibt, lässt sich die Gattung morphologisch nur schwer abgrenzen. Zum Zeitpunkt der Verfassung der vorliegenden Arbeit waren lediglich bei 11 Vertretern von *Psychotria* s. l. sowohl phytochemische Untersuchungen als auch DNA-Sequenzanalysen durchgeführt worden.

Da die Gattung über eine reiche Palette von pharmazeutisch interessanten Inhaltsstoffen, wie etwa Tryptamin-Iridoid-Alkaloide, Dopamin-Iridoid-Alkaloide, Pyrrolidinoindolin-Alkaloide und Iridoid-Glykoside, verfügt, gab es in der Vergangenheit zahlreiche phytochemische Untersuchungen vor pharmazeutischem Hintergrund. Dennoch wurde bislang kein ausführlicher, chemotaxonomischer Überblick veröffentlicht, und auch in kleinerem Rahmen gab es zu *Psychotria* s. l. nur wenige Arbeiten mit chemosystematischen Aussagen.

Zusammen mit Analysen der Nukleotid-Sequenz-Variationen ergeben nun auch phytochemische Daten wichtige Hinweise auf eine natürlichere Gliederung der ehemaligen Riesengattung *Psychotria* s. l. Demnach erweisen sich die Tryptamin-Iridoid-Alkaloide als wichtiges chemisches Merkmal für '*Palicourea neu*' und die Abspaltung von *Carapichea* wird durch die Ausbildung von Dopamin-Iridoid Alkaloiden unterstrichen. Für *Ronabea* scheint dagegen die Akkumulation von Iridoid-Glykosiden charakteristisch zu sein. Hier konnten keine Alkaloide detektiert werden. Chemotaxonomisch bedeutsam ist auch das Vorkommen von Pyrrolidinoindolinen bei Vertretern von *Psychotria* s.str. und *Palicourea neu*.

In Summe zeigte sich, dass die chemotaxonomischen Ergebnisse weitgehend mit den jüngst in der Literatur gemachten Vorschlägen zur Verkleinerung der *Psychotria* L. übereinstimmen und dass sie die Ausgliederung der Gattungen *Carapichea*, *Notopleura* und *Ronabea* erhärten. Auch die Neukombination der Gattung *Palicourea*, welche *Psychotria* subg. *Heteropsychotria* mit *Palicourea* Aubl. verbindet

und zu einem neuen Taxon, *Palicourea neu*, erhebt, kann durch chemische Merkmale erhärtet werden.

Abstract

The genus *Psychotria* L. in its major definition consists of over 2000 species. During the past 20 years, investigation of DNA-sequences have shown, that wide ranging changes in the systematics of this huge taxon will be necessary to enable a monophyletic grouping. Morphological circumscription of the genus turned out to be difficult, due to lack of diagnostic features. At the time of the given investigation, only 11 species of *Psychotria* s. l. had undergone both molecular ranking and phytochemical investigation.

Due to the fact, that the genus is rich in pharmacologically remarkable secondary metabolites, such as tryptamine-iridoid-alkaloids, dopamine-iridoid-alkaloids, pyrrolidino-indoline-alkaloids and iridoid-glycosides, several species had been phytochemically studied in the past. Nevertheless, no wide-range chemotaxonomical approach had been made so far, and only very few interpretations from the chemotaxonomical viewpoint on some phytochemical data had been published.

Along with published data on nucleotide-sequence-variation, the phytochemical data provide a new approach to a natural grouping of the huge taxon *Psychotria* s. l. The genus *Palicourea* in its new combination (*Psychotria* subg. *Heteropsychotria* plus *Palicourea* Aubl.) is chemotaxonomically well supported. Here the tryptamine-iridoid-alkaloids seem to be a diagnostic tool, as they only (even though not always) appear in *Palicourea new*, but never in *Psychotria* s. str. In the case of *Carapichea*, dopamine-iridoid-alkaloids seem to be diagnostic, whereas the genus *Ronabea* seems to be characterized by absence of alkaloids and accumulation of iridoid-glycosides.

Summarizing, the results support the recently suggested separation of the taxa *Carapichea*, *Notopleura*, *Ronabea* and *Psychotria* subg. *Heteropsychotria*, as well as the fusion of *Psychotria* subg. *Heteropsychotria* and *Palicourea* Aubl. to form the genus *Palicourea new*.

Curriculum vitae

Name: Michaela Plagg

geboren: 08. 04. 1982 in Meran (IT/BZ)



1989 – 1995: Pflichtschulbesuch in Malles/Venosta (IT/BZ)

1999: *Facharbeiterin für Steinmetz und Steinbildhauerei* Fachschule für Steinbildhauerei Lasa/Venosta

2003: *Matura* Neusprachliches Realgymnasium Silandro/Venosta

2003-2008: Studium der Biologie (A 437) an der Universität Wien

2005: Geburt der Tochter *Gina Louise Bernhard*

2008: *Akademischer Lateinamerikanist* LAI-Wien

2011: *Master of Arts in Latin American Studies* Universität Wien/LAI

2008 – heute: Studium der Botanik (A 438) an der Universität Wien