

Untersuchung der Fraßaktivität von Bodenorganismen auf Dauerbeobachtungsflächen des subtropischen Regenwaldes der Mata Atlântica, Brasilien



Abschlussarbeit

Postgradualstudiengang Ökotoxikologie

Jan Dobrick (geb. Heinrich)

Betreuung: Dr. Jörg Römbke, ECT Oekotoxikologie GmbH



Danksagung

Ich danke in erster Linie Dr. Jörg Römbke, der mir die Erarbeitung dieser Abschlussarbeit ermöglicht hat. Er gab mir die Gelegenheit die projektinternen Daten für die Auswertung zu verwenden und betreute den schriftlichen Prozess. Ein großer Dank geht an das gesamte SOLOBIOMA Team, besonders R. Fabry, H. Höfer, R. Marques, J. Römbke und P. Schmidt, sie waren für die Planung und Durchführung des Versuchs verantwortlich und schufen durch eine optimale Organisation die Rahmenbedingungen für die Testdurchführung, an der ich teilhaben durfte. Durch ihre Erfahrung wurden die Tage vor Ort während der Versuchsdurchführung sehr lehrreich. Auch die zahlreichen Helfer bei der Versuchsdurchführung im Feld müssen hier dankend erwähnt werden, zusammen haben wir den zeitlich anspruchsvollen Plan erfüllt und optimal funktioniert. Ein weiterer Dank geht an Dr. Anja Coors, die mir bei statistischen Fragen hilfreich zur Seite stand.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Einleitung	6
2.1	Hintergründe dieser Arbeit.....	6
2.2	Anthropogene Einflüsse in den küstennahen Wäldern der Mata Atlântica	6
2.3	Erfassung biologischer Aktivitäten im Ökosystem Boden.....	7
2.4	Ziele der Arbeit	9
3	Material & Methoden	10
3.1	Beschreibung der Schutzgebiete Cachoeira, Itaqui und den Bananenplantagen	10
3.2	Vorbereitung des Köderstreifentests	13
3.3	Beschreibung des Beprobungsdesigns	14
3.4	Versuchsdurchführung und zeitliche Abfolge	15
3.5	Auswertung und Statistik	17
4	Ergebnisse	17
4.1	Cachoeira	17
4.2	Itaqui.....	20
4.3	Bananenplantagen.....	24
4.4	Vergleichende Darstellung der Ergebnisse aus den drei Teilversuchen	26
5	Diskussion	28
5.1	Methodenkritik.....	28
5.2	Diskussion der Ergebnisse aus den Schutzgebieten Cachoeira und Itaqui	29
5.3	Diskussion der Ergebnisse aus den zwei verschiedenen Bananenplantagen	31
6	Fazit.....	33
7	Literatur.....	34

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Übersicht der Schutzgebiete Cachoeira und Itaqui sowie der Bananenplantagen im Bundesstaat Paraná, Brasilien (Schutzgebiete sind mit Ellipsen gekennzeichnet).....	10
Abb. 2: Bait Lamina Köderstreifen (aus von Törne 1990a, Kratz 1998)	14
Abb. 3: Verteilung innerhalb einer Versuchsfläche (Plot), Einteilung in 10 Subplots mit jeweils 5 Köderstreifen („Köderstreifen“).	15
Abb. 4: Foto einer Köderstreifen Gruppe.....	15
Abb. 5: Mittelwerte der Gesamtfraßraten der verschiedenen Waldstadien im Schutzgebiet Cachoeira, vertikale Balken beschreiben 95% des Vertrauensbereiches (n = 3).....	18
Abb. 6: Vertikale Verteilung der Fraßaktivität (%) in den verschiedenen Waldstadien des Schutzgebietes Cachoeira.	19
Abb. 7: Darstellung der kumulativen Summen der relativen Varianzen (%) innerhalb der jeweiligen Ebene: Köderstreifen, Subplot und Plot für die Waldstadien H bis F im Schutzgebiet	20
Abb. 8: Gesamtfraßraten der verschiedenen Waldstadien im Schutzgebiet Itaqui, vertikale Balken beschreiben 95% des Vertrauensbereiches.	21
Abb. 9: Vertikale Verteilung der Fraßaktivität (in %) in den verschiedenen Waldstadien des Schutzgebiet Itaqui.....	22
Abb. 10: Kumulative Summen der relativen Varianzen (in %) innerhalb der jeweiligen Ebene: Köderstreifen, Subplot und Plot des Waldstadiums A im Schutzgebiet Itaqui.....	23
Abb. 11: Gesamtfraßraten der verschiedenen Plantagenformen (Bananen-Monokultur und Bananen-Palmito-Mischkultur) im Schutzgebiet Rio Pequeno, vertikale Balken beschreiben 95% des Vertrauensbereichs.....	24
Abb. 12: Vertikale Verteilung der Fraßaktivität (in %) in den verschiedenen Plantagenformen (Bananen Monokultur und Bananen-Palmito Mischkultur) im Schutzgebiet Rio Pequeno.	25
Abb. 13: Kumulative Summen der relativen Varianzen (in %) innerhalb der jeweiligen Ebene: Köderstreifen, Subplot und Plot der beiden verschiedenen Plantagenformen (Bananen Monokultur und Bananen-Palmito Mischkultur) im Schutzgebiet Rio Pequeno.....	26
Abb. 14: Vergleichende Darstellung der vertikalen Verteilung der Fraßaktivität in den beiden Schutzgebieten Cachoeira (oben) und Itaqui (unten) sowie der beiden Bananen Plantagenformen (B oben und BP unten)	27

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Übersicht und Charakterisierung der Versuchsflächen.....	12
Tab. 2: Zeitliche Übersicht der Ausbringung bzw. Einholung der Köderstreifen auf den jeweiligen Versuchsflächen.....	16
Tab. 3: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA für die vertikale Verteilung der Fraßaktivität in den verschiedenen Waldstadien des Schutzgebietes Cachoeira.....	19
Tab. 4: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA für die vertikale Verteilung der Fraßaktivität in den verschiedenen Waldstadien des Schutzgebietes Itaqui.....	22
Tab. 5: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA für die vertikale Verteilung der Fraßaktivität in den verschiedenen Plantagenformen (Bananen Monokultur und Bananen-Palmito Mischkultur) im Schutzgebiet Rio Pequeno.....	25

1 Zusammenfassung

Bodenorganismen determinieren terrestrische Nährstoffkreisläufe und damit die Entwicklung bzw. den Zustand eines Ökosystems. Eine Möglichkeit, deren Leistung zu erfassen, ist der in dieser Studie eingesetzte Köderstreifentest (auch als „Bait-Lamina Test“ bekannt). Über den mit dieser Methode einfach und schnell erfassten bodenökologischen Endpunkt Fraßaktivität können verschiedene Standorte hinsichtlich ihres bodenbiologischen Zustands verglichen werden.

In dieser Studie, die Teil des Verbundprojektes SOLOBIOMA (Soil biota and biogeochemistry in Southern Atlantic rainforests of Brazil) war, wurde der Köderstreifentest eingesetzt, um vier verschiedene Waldstadien miteinander zu vergleichen. Dafür wurden von jedem Regenerationsstadium drei Replikatflächen in je zwei ca. 50 km voneinander entfernten privaten Schutzgebieten (RPPN do Rio Cachoeira und RPPN Serra do Itaqui, beide im Landschaftsschutzgebiet Guaraqueçaba, Paraná) untersucht.

Die Köderstreifen wurden in Gruppen zu fünf Stäbchen (Abstand ca. 5 cm) in jedem der 24 Plots (30 x 50 m groß) in 10 Subplots (je 5 in zwei Transekten entlang der längeren Seiten) ausgebracht.

Mit demselben Design (5 Streifen x 10 Subplots x 3 Plots pro Regenerationstadium) wurden Köderstreifen in zwei unterschiedlichen Agrarsystemen (Bananenplantagen) ausgebracht. In allen Flächen wurden die Gesamtfraßraten (nach 8 Tagen Exposition) sowie die vertikale Verteilung der Fraßaktivität untersucht.

Für eine weiterführende statistische Auswertung der Ergebnisse wurden die verschiedenen Versuchsdesignebenen (Plot, Subplot und Köderstreifengruppe) mit anteiligen kumulativen Summen an der Gesamtvarianz innerhalb eines Waldstadiums bzw. Plantagentyps belegt (Variance Components & Mixed Model ANOVA, hierarchically nested design, random factors). In beiden Schutzgebieten wurden in den beiden jüngeren Waldstadien niedrigere Gesamtfraßraten als in den älteren Waldstadien ermittelt. Die Fraßaktivität nahm in beiden Gebieten in allen Stadien signifikant mit zunehmender Bodentiefe ab. Weder die Gesamtfraßraten noch die vertikale Verteilung der Fraßaktivität in den beiden Plantagentypen waren signifikant verschieden.

Tendenziell lag der größte Teil der insgesamt auf allen Ebenen beobachteten Varianz der Fraßrate im Schutzgebiet Cachoeira auf der Versuchsdesignebene der Köderstreifen. In den

Waldflächen in Itaqui und in den Agrarflächen waren die Varianzanteile auf den Versuchsdesignebenen Subplot und Köderstreifen annähernd gleich groß.

2 Einleitung

2.1 Hintergründe dieser Arbeit

Das Deutsch-Brasilianische Kooperationsprogramm „Wissenschaft und Technologie für die Mata Atlântica hatte die Aufgabe, Wissen zu Struktur und Funktion der Waldökosysteme des atlantischen Regenwalds (Mata Atlântica) zu erarbeiten. Der Schwerpunkt der Arbeiten des SOLOBIOMA-Projekts lag auf der Diversität der Bodenbiota (Mikroorganismen, Enchyträen, Regenwürmer, Spinnen, Ameisen) und ihrer Funktion im Nährstoffkreislauf der Waldökosysteme, speziell dem Streuabbau. Von besonderem Interesse war dabei die Diversität der Bodenorganismen an Waldstandorten unterschiedlichen Alters und Zustands. In der Region finden sich in Küstennähe überwiegend Sekundärwälder, die auf aufgelassenen Wasserbüffel-Weiden nachwachsen.

Im SOLOBIOMA-Projekt wurden die Bodenorganismen mit unterschiedlichen Methoden gesammelt, wenn möglich bis zur Gattung oder Art bestimmt und ökologisch klassifiziert (z.B. nach ihrer Stellung im Nahrungsnetz als Zersetzer oder Räuber). Außerdem wurden die Wachstumsraten von Bäumen, deren Samenproduktion und Laubfall, die Laubmengen am Boden sowie die Streuabbauraten erfasst. Insgesamt lagen Daten aus vier verschiedenen Regenerationsstadien des Waldes (drei Replikate) in zwei Schutzgebieten sowie von sechs Bananenplantagen und damit insgesamt aus 30 Untersuchungsflächen vor. Dieser Datensatz bildete die Grundlage für die Beurteilung des bodenbiologischen Zustands der Sekundärwälder verschiedenen Alters. Basierend auf den Ergebnissen des SOLOBIOMA-Projekts können in Zukunft Empfehlungen für die regionale Planung der Landnutzung und zum Schutz der Wälder formuliert werden.

2.2 Anthropogene Einflüsse in den küstennahen Wäldern der Mata Atlântica

Die „Mata Atlântica“ umfasst ein 3000 km langes Band entlang der brasilianischen Ostküste, in dem verschiedene tropische und subtropische Waldformationen (Mangroven, Tiefland-, submontane und montane Wälder, Araukarien-Mischwälder) vorkommen. In dieser Region

leben heute über 100 Millionen Menschen und 93 % der ursprünglichen Waldbedeckung sind bereits zerstört. Die verbleibenden 7 % sind stark fragmentiert und meist in irgendeiner Weise vom Menschen verändert (Sekundärwälder) (Ribeiro et al 2009). Von besonderem Wert für den Erhalt der Biodiversität der Region sind deshalb größere zusammenhängende Schutzgebiete und „alte Wälder“ (sensu Clark 1996, Wirth et al. 2009).

Die Mata Atlântica zählt zu den 25 Biodiversitäts-Hotspots der Erde (Myers et al. 2000) und ist inzwischen in der Gesamtheit als UNESCO Biosphärenreservat anerkannt. Die gesamte Region des Atlantischen Regenwalds zeichnet sich durch hohe Niederschläge aus. So werden im Nordteil Jahresniederschlagssummen von 1800 bis 2000 mm und im Südteil von 2000 bis 4500 mm erreicht. Die Jahresmitteltemperaturen variieren zwischen 23°C und 25°C im Norden und liegen im Süden bei 21°C. Die Vegetation ist in submontane und montane Wälder unterteilt. Die Wälder im Süden Brasiliens (Bundesstaaten Sao Paulo, Paraná und Santa Catarina) stellen den noch größten zusammenhängenden Block des Atlantischen Regenwaldes dar.

Im Bundesstaat Paraná befinden sich die Wälder am Fuß des Küstengebirges (Serra do Mar) auf einem Teil des präkambrischen brasilianischen Schildes. Sie werden grob in drei Gruppen eingeteilt:

- Strandwälder (restingas) auf sandigen Podsolen;
- Wälder der Küstenebene (Tieflandwälder) auf Grundwasser beeinflussten Gleysolen;
- submontane bis montane Hangwälder auf Kambisoln (wenig entwickelten Braunerden).

Über ihren Nährstoffgehalt und ihre physikalisch-chemische Eigenschaft bestimmen die Böden die Lebensbedingungen für Bodenorganismen und darüber die Ausbildung und Wachstumsfähigkeit der Pflanzen und damit auch die Regenerationsfähigkeit der Wälder (Höfer et al 2007).

2.3 Erfassung biologischer Aktivitäten im Ökosystem Boden

Der Boden (Pedosphäre) ist nach § 2 des BBodSchG „die obere Schicht der Erdkruste, soweit sie Träger der im folgenden genannten Funktionen ist, einschließlich der flüssigen Bestandteile und der gasförmigen Bestandteile ohne Grundwasser und Gewässerbetten zu verstehen. Der Boden erfüllt natürliche Funktionen, z.B. Lebensraumfunktion (Böden als

Lebensgrundlage und Lebensraum für den Menschen und für Flora und Fauna in ihrer genetischen Vielfalt), Regelungsfunktion (Abiotische und biotische Stoffumwandlung, physikalische und chemische Puffer- und Filterfunktion), Trägerfunktion (Bereitstellung von Flächen für Siedlung, Verkehr usw.; Senke für Emissionen und feste Abfälle), Kulturfunktion (Grundlage menschlicher Geschichte und Kultur), Produktionsfunktion (Land- und Forstwirtschaft, Gartenbau, Rohstoffgewinnung), usw.“ (BBodSchG).

Zugleich ist der Boden der Teil der Erdoberfläche, in dem ein großer Teil der terrestrischen Nährstoffzyklen, speziell der Abbau organischen Materials, stattfindet. Eine wichtige Funktion hierbei übernehmen die Bodenorganismen mit der Weiterverarbeitung von abgestorbener Biomasse (Nekromasse), speziell die Zerkleinerung von Pflanzenresten, Exkrementen und Tierkadavern. Die eigentliche Zersetzung (Dekomposition) der Biomasse erfolgt dann durch Mikroorganismen wie Bakterien und Pilze. In diesem Prozess werden die im organischen Material enthaltenen Nährstoffe in elementarer Form wieder für Organismen frei verfügbar (Mineralstoffkreislauf). Diese Funktion des Bodens ermöglicht das Wachstum der höheren Pflanzen und damit die Primärproduktion, welche nicht zuletzt die Grundlage der menschlichen Ernährung darstellt. (Lavelle & Spain 2001).

Die Komplexität von Boden wird allerdings nicht nur durch die Zersetzungs- und Mineralisierungs-Prozesse bestimmt, sondern auch durch die z.T. kleinräumig sehr unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften des Ausgangsmaterials (Eisenbeis 1998).

Zur Charakterisierung der Bodenorganismengemeinschaft und der von ihr erbrachten Leistungen kann sowohl ihre Abundanz und Biomasse als auch die Diversität (d.h. die Artenzusammensetzung) bestimmt werden. Solche bodenzoologischen Untersuchungen sind aber besonders in den Tropen schwierig, da sie häufig taxonomische Vorarbeiten erfordern und dadurch sehr zeitaufwändig sind. Um die Gesamtheit der Bodenfauna zu erfassen ist zudem eine ganze Reihe von spezifischen Beprobungs- und Bestimmungsmethoden für die jeweiligen Tiergruppen erforderlich. Solche Untersuchungen können nur von Spezialisten durchgeführt werden. Darüber hinaus erschweren die oft erheblichen räumlichen und zeitlichen Schwankungen von Abundanz und Biomasse der Organismen-Populationen die statistische Auswertung. Vermehrt wird demnach nach Methoden gesucht, mit denen die Aktivität der Bodenorganismen direkt erfasst werden kann.

Die erste dieser Untersuchungsmethoden wurde in den achtziger Jahren entwickelt (Von Törne 1990a, b). Von Törne schlug einen Test für die direkte Erfassung der biologischen Bodenaktivität vor, wobei die Fraßaktivität der Bodenorganismen als Messparameter dient. Diese als Köderstreifen-Test bezeichnete Methode hat sich seitdem als ein gutes Instrument für eine erste Erfassung („Screening“) der biologischen Bodenaktivität in gemäßigten Breiten erwiesen (Kratz 1998; Eisenbeis 1998).

Ein großer Vorteil der Köderstreifen-Methode liegt in der einfachen Handhabung. Für die Versuchsdurchführung sind keine besonderen Vorkenntnisse sowie aufwändige Gerätschaften nötig. Die Expositionsperioden sind sehr kurz (einige Tage bis wenige Wochen), die Erstauswertung ist schnell und kann direkt vor Ort erfolgen. Die Ergebnisse sind allerdings stark von lokalen und kurzzeitigen Bedingungen, wie z.B. Klima oder, Bodenfeuchte, beeinflusst (Kratz & Pieper 1999). Deshalb ist die Methode vor allem für einen Vergleich der biologischen Aktivität in Flächen, die in geringer Entfernung voneinander liegen und sich demzufolge in den oben genannten äußeren Bedingungen kaum unterscheiden, geeignet. So wurde z.B. die Anwendbarkeit der Methode für die Ermittlung der Fraßaktivität der Bodenfauna unter dem Einfluss von Landnutzung oder von Chemikalien in mehreren Studien erfolgreich demonstriert (Geissen & Brümmer 1999, Paulus et al. 1999). Allerdings wurde sie bislang nur zweimal in tropischen Gebieten angewendet (Geissen et al. 2001; Römbke et al 2006).

2.4 Ziele der Arbeit

Hauptziel dieser Arbeit ist es, die Fraßaktivität von Bodenorganismen auf Dauerbeobachtungsflächen in zwei verschiedenen Schutzgebieten und zwei verschiedenen Typen von Bananenplantagen, die jeweils im Subtropischen Regenwald “Mata Atlântica“ im brasilianischen Bundesstaat Paraná liegen, durchzuführen. Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse soll dazu dienen, den Einfluss der vier verschiedenen Sukzessionsstadien der Schutzgebiete, bzw. der zwei verschiedenen Typen von Bananenplantagen, auf die Fraßaktivität und deren vertikale Verteilung zu messen.

Zusätzlich sollen anhand einer weiterführenden statistischen Auswertung (siehe unter 3.5) der Ergebnisse Empfehlungen für eine optimierte Struktur des Versuchsdesigns gegeben werden. Zugleich wird hiermit ein Beitrag für das bereits im Kapitel 2.1 erläuterte Verbundprojekt SOLOBIOMA geleistet.

3 Material & Methoden

3.1 Beschreibung der Schutzgebiete Cachoeira, Itaqui und den Bananenplantagen

Die Versuchsflächen befinden sich in einem 30 x 80 km² großen Gebiet entlang der Atlantikküste in der Nähe der Ortschaften Antonina und Guaraqueçaba im Bundesstaat Paraná, Brasilien. Der Hauptteil der Versuchsflächen liegt innerhalb oder in unmittelbarer Nähe von Naturschutzgebieten (Ferretti & Britez, 2006) (Abb. 1).

Die Küstenregion von Paraná lässt sich wie folgt charakterisieren (Römbke et al. 2009): Das Klima ist entsprechend Köppen's *Cfa-Typ* subtropisch humid (Schröder 2000). Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei ca. 18°C. Der jährliche Niederschlag in der Region ist saisonabhängig und bewegt sich zwischen 2000 und 3000 mm (Roderjan & Kunyoshi 1988). Die Böden der Region sind in der submontanen Höhenstufe hauptsächlich als Cambisols und Gleysols, in der planaren Höhenstufe als Podsoles zu klassifizieren (Soil World Reference Base, FAO 1998). Charakteristisch für diese Böden ist ein niedriger pH-Wert (3,5-4,3 (CaCl₂ Methode), unter Grasslandschaften bis 5,0) sowie ein C/N Verhältnis zwischen 15 und 40. Der organische Anteil in der oberen Bodenschicht (20 cm) liegt zwischen 2 und 5 % (siehe Tab. 1).

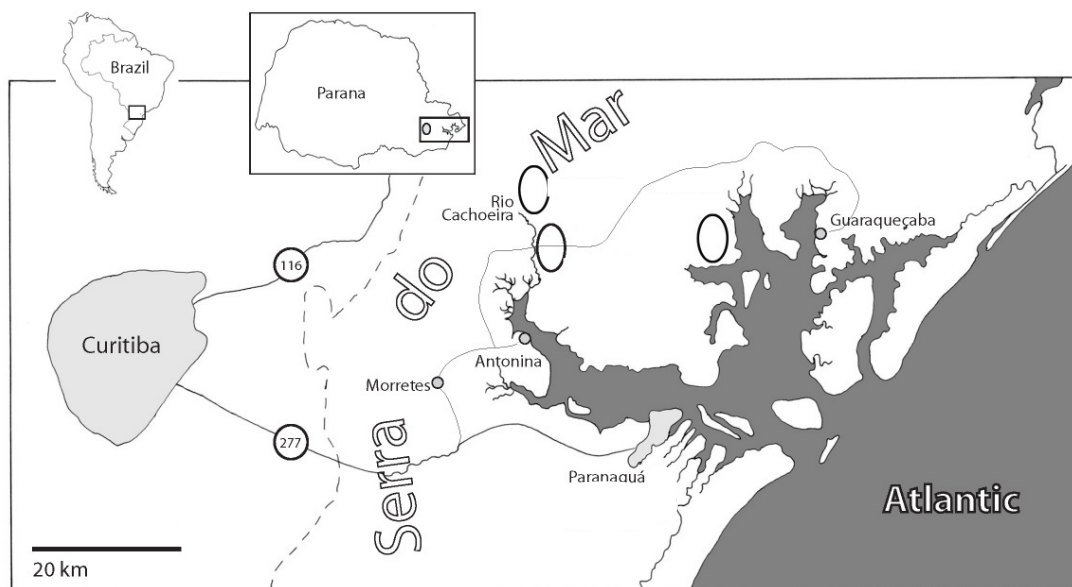


Abb. 1:

Übersicht der Schutzgebiete (gekennzeichnet mit Ellipsen) Cachoeira (unten links) und Itaqui (rechts) sowie der Bananenplantagen (oben links) im Bundesstaat Paraná, Brasilien.

Die Köderstreifentests wurden auf festgelegten Projektflächen verschiedener Waldstadien in zwei Schutzgebieten sowie auf zwei verschiedenen Typen von Bananenplantagen durchgeführt. Die Schutzgebiete liegen ca. 50 Km voneinander entfernt. Eine Gruppe der Projektflächen liegt innerhalb des Naturschutzgebietes "Reserva Natural do Rio Cachoeira" (nachfolgend Cachoeira genannt, Nr. 1-12; Tab. 1). Das Cachoeira-Schutzgebiet beinhaltet drei sekundäre Waldstadien, die durch eine natürliche Regeneration aus Weidelandschaften entstanden sind, und ein älteres Waldstadium (min. 80 Jahre alt). Für jedes Waldstadium wurden drei Replikatflächen identifiziert (Tab. 1). Dieses Design ermöglicht die Durchführung einer Varianzanalyse der biologischen Bodenaktivität, anhand derer Unterschiede zwischen den verschiedenen Waldstadien ermittelt werden können. Die zweite Gruppe der Projektflächen (Nr. 13-24; Tab. 1) liegt im Naturschutzgebiet "Reserva Natural do Itaqui". Das exakt gleiche Design (Alter der vier Waldstadien, drei Replikatflächen pro Stadium) der Versuchsflächeneinteilung in dem 50 Km in Richtung Osten entfernten Schutzgebiet Itaqui ermöglicht zusätzlich den Vergleich der beiden Schutzgebiete. Die 24 Versuchsflächen repräsentieren innerhalb der jeweiligen Schutzgebiete durch ihre mosaikartige Verteilung einen natürlichen Regenerationsprozess, der für die submontane Waldregion in der südlichen Mata Atlantica typisch ist. Alle Versuchsflächen in den zwei Schutzgebieten sind im Besitz der brasilianischen NGO "Society for Wildlife Research and Environmental Education" (SPVS), und werden auch von dieser verwaltet.

Im Detail wird der Sukzessionsverlauf durch folgende Waldstadien repräsentiert, deren Alter durch den jeweiligen Zeitpunkt der letzten Rodung bestimmt wurde:

Das jüngste Stadium ist das H-Stadium. Die Versuchsflächen (= H-Flächen) sind zwischen 8 und 10 Jahren alt, d.h. vor 8-10 Jahren waren diese Flächen noch gerodetes Weideland. Büsche und kleinere Bäume sind für sie kennzeichnend. Das nächst ältere A-Stadium hat ein Alter von 10 bis 20 Jahren (= A-Flächen) und ist durch junge Bäume im geschlossenen Verband charakterisiert. Mit einem Alter zwischen 40 und 55 Jahren repräsentiert das M-Stadium einen alten Sekundärwald. Die ältesten Wälder in der Region (= F-Flächen) sind mehr als 80 Jahre alt, enthalten teils große Überstände und werden auch als „old-growth-forest“ bezeichnet. Sie kommen dem ursprünglichen Wald am nächsten (Tab. 1).

Tab. 1: Übersicht und Charakterisierung der Versuchsflächen.

Flächennr.	Kommune	Gebiet	System	Boden	Regenerations Stadium	Alter (2008)	Höhe ü N.N.
1	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	jung	8-10	40
2	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	jung	8-10	70
3	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	jung	8-10	30
4	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	mittel	15-20	40
5	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	mittel	15-20	90
6	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	mittel	15-20	150
7	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	alt	40-55	60
8	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	alt	40-55	120
9	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	alt	40-55	120
10	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	Primärwald	> 80	140
11	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	Primärwald	> 80	260
12	Antonina	Cachoeira	Wald	Cambisol	Primärwald	> 80	90
13	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	jung	8-10	13
14	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	jung	8-10	46
15	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	jung	8-10	8
16	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	mittel	15-20	26
17	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	mittel	15-20	36
18	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	mittel	15-20	~20
19	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	alt	40-55	28
20	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	alt	40-55	27
21	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	alt	40-55	8
22	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	Primärwald	> 80	93
23	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	Primärwald	> 80	31
24	Guarequeçaba	Itaqui	Wald	Cambisol	Primärwald	> 80	20
25	Antonina	Rio Pequeno	Bananen Mono.	Gleysol	Anbau	In Nutzung	40
26	Antonina	Rio Pequeno	Bananen Mono.	Gleysol	Anbau	In Nutzung	15
27	Antonina	Rio Pequeno	Bananen Mono.	Gleysol	Anbau	In Nutzung	25
28	Antonina	Rio Pequeno	Bananen Misch.	Gleysol	Anbau	In Nutzung	16
29	Antonina	Rio Pequeno	Bananen Misch.	Gleysol	Anbau	In Nutzung	12
30	Antonina	Rio Pequeno	Bananen Misch.	Gleysol	Anbau	In Nutzung	37

Sechs weitere Versuchsflächen liegen in einem Gebiet namens Rio Pequeno ca. 20 Km nördlich der Kommune Antonia und somit in der Nähe der “Reserva Natural do Rio Cachoeira”. Diese Flächen repräsentieren Standorte, die zurzeit landwirtschaftlich genutzt werden. Drei dieser Plantagen sind Bananen-Monokulturen (Nr. 25-27; Tab. 1), drei weitere sind Mischsysteme (Nr. 28-30; Tab.1), in denen Bananen und Palmito-Palmen (*Euterpe edulis*) nebeneinander angebaut werden. Beide Plantagen-Formen werden in dieser Region von Kleinbauern betrieben. Die Köderstreifentests wurden auf allen in Tabelle 1 erwähnten Flächen durchgeführt.

3.2 Vorbereitung des Köderstreifentests

Die Köderstreifen bestehen aus PVC-Streifen mit einer Länge von 120 mm, die 16 Löcher in eine Reihe aufweisen (Abb. 2) und als Träger eines Füllsubstrates dienen. Die Löcher haben einen Durchmesser von 1,5 mm und sind im Abstand von jeweils 5 mm angeordnet. Sie haben beidseitig eine konische Form, um die Stabilität des darin enthaltenen Füllsubstrats zu gewährleisten. Das in dieser Studie verwendete Füllsubstrat bestand aus einer Mischung von Cellulose (70 %), fein gemahlener Weizenkleie (25 %) und Aktivkohle (5 %). Die Aktivkohle wird verwendet, um das Füllsubstrat farblich vom Bodenmaterial unterscheiden zu können. Dies erleichtert das Auswerten der Köderstreifen. Der Feinheitsgrad der Weizenkleie ist bei der Herstellung des Füllsubstrates von großer Bedeutung. Um ein homogenes Füllsubstrat herzustellen empfiehlt es sich daher, nach dem Mahlen der Weizenkleie diese durch ein Sieb mit einer Maschenweite von 0,25 µm zu mörsern. Hierdurch wird nicht nur eine höhere Homogenität erzielt, sondern auch die Stabilität des Füllsubstrates in den Löchern erhöht. Um die Köderstreifen zu befüllen wird das gut durchmischte Substrat mit Wasser angereichert. Der Wassergehalt wird so gewählt, dass eine pastenartige Mischung entsteht. Bei zu wenig Wasser ist das Gemisch zu trocken, um es gleichmäßig in den Löchern zu verteilen, bei zu viel Wasser entstehen während der Trocknung durch das verdunstende Wasser Lücken und die Füllung hat nach der Trocknung keine Stabilität. Das Befüllen der Köderstreifen mit dem Substrat lässt sich am besten in Handarbeit realisieren. Dieser Vorgang wurde mehrfach ausgeführt, bis die Füllung nach Trocknung einen optisch dichten Zustand aufwies. Der durch diese Arbeitsschritte erzielte intensive Kontakt zwischen Füllsubstrat und Köderstreifen verhindert, dass die Füllungen beim Einstecken der Köderstreifen in den Boden herausfallen.

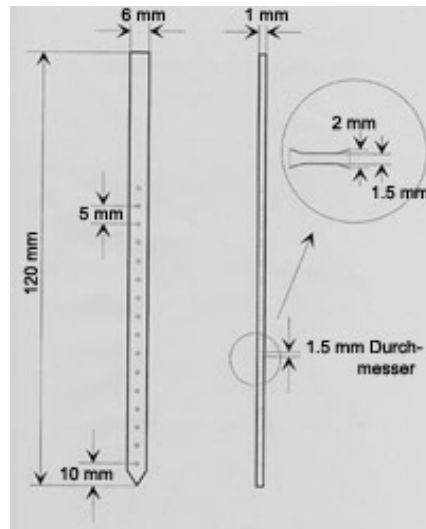


Abb. 2: Köderstreifen (aus von Törne 1990a, Kratz 1998).

3.3 Beschreibung des Beprobungsdesigns

Die insgesamt 30 Versuchsflächen (Plots) (Tab. 1) an den insgesamt drei Versuchsstandorten haben jeweils eine Größe von 30 m x 50 m (Abb. 3). Die Ausbringung der Köderstreifen erfolgte auf allen Flächen anhand desselben Prinzips. Die Köderstreifen wurden innerhalb von Subplots in Fünfer-Gruppen ausgebracht. Die insgesamt 10 Subplots pro Plot wurden in zwei parallelen Reihen aufgeteilt. Hierdurch ergab sich eine Gesamtanzahl von 50 Köderstreifen pro Fläche. Die Subplots wurden mit einer Entfernung zwischen 3 und 5 m vom jeweiligen Flächenrand festgelegt (Abb. 3). Die einzelnen Köderstreifen in einem Subplot wurden immer nach einem gleichen Muster in den Boden gesteckt (Abb. 4). Jeder Subplot wurde zwecks Wiederfindung mit einem angefärbten Holzstab markiert.

Das Einbringen der Köderstreifen in den Boden erfolgte unter Verwendung eines dünnen Zimmermannsbeitels. Auf diese Weise konnten Löcher in den Boden vorgestochen werden, deren Breite und Tiefe den Abmessungen eines Köderstreifens entsprachen und damit ein weitgehend reibungsfreies und damit schonendes Einbringen der Köderstreifen ermöglichte. Die Einbringtiefe wurde so gewählt, dass sich die oberste Köderportion ca. 0,5 cm unterhalb der Bodenoberfläche befand.

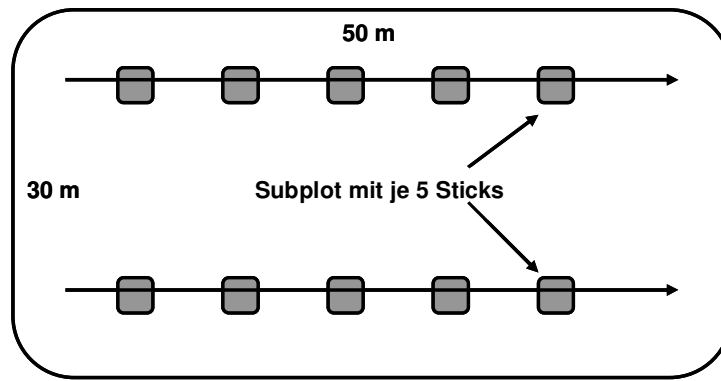


Abb. 3: Verteilung innerhalb einer Versuchsfläche (Plot), Einteilung in 10 Subplots mit jeweils 5 Köderstreifen.



Abb. 4: Foto einer Köderstreifen Gruppe.

3.4 Versuchsdurchführung und zeitliche Abfolge

Über einen Vorversuch wurde die für die lokalen und aktuellen Verhältnisse optimale Expositionsdauer für die Köderstreifen bestimmt. Dies ist erforderlich, weil die Fraßaktivität von Bodenorganismen je nach Standort und Jahreszeit stark variiert. Für einen Vergleich der Fraßaktivitäten verschiedener Standorte sollten die Köderportionen in den meisten Köderstreifen innerhalb der Expositionszeit zu mindestens 10 %, aber noch nicht vollständig gefressen sein, um Unterschiede zwischen den untersuchten Flächen zu erfassen. Anhand dieser Kriterien wurden Teile des Vorversuches nach 2, 4, 8 und 12 Tagen Expositionszeit ausgewertet und ein optimaler Expositionszeitraum von acht Tagen ermittelt.

Die Anzahl und die Entfernungen zwischen den Versuchsflächen erforderten einen detaillierten Arbeitsplan, der eine logische Abfolge für die Ausbringung und Einholung der Köderstreifen beinhaltete (Tab. 2). Die Versuchsdurchführung auf den Versuchsflächen im Schutzgebiet Cachoeira fand im Zeitraum zwischen dem 22.08.2008 und dem 31.08.2008

statt. Im Zeitraum zwischen dem 24.08.2008 und dem 01.09.2008 erfolgten die Versuche auf den Flächen in den Bananenplantagen. Die Köderstreifen in den Versuchsflächen des Schutzgebietes Itaqui wurden in der Zeit zwischen dem 01.09.2008 und dem 11.09.2008 ausgebracht und eingeholt.

Nach jeweils genau acht Tagen wurden die Versuchsflächen wieder aufgesucht. Die Köderstreifen wurden vorsichtig aus dem Boden gezogen und von groben Verunreinigungen gesäubert. Die Auswertung erfolgte indem direkt vor Ort die Köderstreifen gegen das einfallende Tageslicht gehalten wurden. Dabei erscheinen gefressene Köderportionen deutlich als Löcher. Anzahl und Lage der Löcher (Köderportion mindestens zu einem Drittel gefressen) wurden per Hand in vorbereitete Formblätter eingetragen.

Um ein Tiefenprofil der Fraßaktivität aufnehmen zu können, wurden die Löcher der Köderstreifen von 1 bis 16 durchnummeriert, wobei Loch 1 das oberste und Loch 16 das unterste Loch darstellt.

Tab. 2: Zeitliche Übersicht der Ausbringung bzw. Einholung der Köderstreifen auf den jeweiligen Versuchsflächen.

Versuchsfläche	Tag der Ausbringung	Tag der Auswertung
Cachoeira H1	22.08.2008	30.08.2008
Cachoeira H 2-3	23.08.2008	31.08.2008
Cachoeira A 1-3	22.08.2008	30.08.2008
Cachoeira M 1	22.08.2008	30.08.2008
Cachoeira M 2-3	23.08.2008	31.08.2008
Cachoeira F 1-2	22.08.2008	30.08.2008
Cachoeira F 3	23.08.2008	31.08.2008
Itaqui H 1	03.09.2008	11.09.2008
Itaqui H 2-3	01.09.2008	09.09.2008
Itaqui A 1	03.09.2008	11.09.2008
Itaqui A 2	01.09.2008	09.09.2008
Itaqui A 3	02.09.2008	10.09.2008
Itaqui M 1	03.09.2008	11.09.2008
Itaqui M 2-3	01.09.2008	09.09.2008
Itaqui F 1	03.09.2008	11.09.2008
Itaqui F 2-3	02.09.2008	10.09.2008
Plantagen (B 1-3; BP 1-3)	24.09.2008	01.10.2008

3.5 Auswertung und Statistik

Die statistische Auswertung der erzielten Ergebnisse erfolgte mit Statistica (Version 8.0, StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Neben dem Vergleich der Gesamtfraßrate zwischen den verschiedenen Waldstadien wurde die Verteilung der Fraßaktivität in Abhängigkeit von der Bodentiefe und die Interaktion zwischen Waldstadium und Bodentiefe analysiert. Die Lochreihe 1 – 16 der Köderstreifen repräsentiert hierbei eine Tiefenverteilung von 0,5 – 8 cm. Unterschiede der Fraßraten zwischen den verschiedenen Waldstadien und Schutzgebieten wurden mit einer Varianzanalyse (ANOVA) getestet. Bei signifikanten Unterschieden wurde mit Bonferroni Post-Hoc-Tests ermittelt, welche Waldstadien sich signifikant unterscheiden.

Zusätzlich wurde die Varianzverteilung innerhalb eines Waldstadium auf den verschiedenen Ebenen des Versuchsdesigns (Plot, Subplot und Köderstreifengruppe) mittels einer ANOVA MS Type I SS und der Methode nach Satterthwaite analysiert, die eine geschachtelte Betrachtung der Varianz Komponenten der verschiedenen Ebenen des Versuchsdesigns erlaubt (Variance Components & Mixed Model ANOVA, hierarchically nested design, random factors). Diese Betrachtung wird durch die durchgängige Schachtelung der verschiedenen Ebenen ermöglicht und macht deutlich, auf welcher Ebene die Variabilität (und damit Unsicherheit) der Ergebnisse am größten ist. Durch eine Anpassung der Anzahl von z.B. Plots, Subplots oder der eingesetzten Köderstreifen pro Subplot ist es dann möglich, das Versuchsdesign für evtl. folgende Versuche zu optimieren.

Die Ergebnisse zu Fraßraten in den Schutzgebieten Cachoeira und Itaquí sowie den Bananenplantagen werden im Folgenden einzeln vorgestellt und anschließend in einem eigenen Kapitel miteinander verglichen.

4 Ergebnisse

4.1 Cachoeira

Die Gesamtfraßraten in den verschiedenen Waldstadien im Schutzgebiet Cachoeira sind in Abb. 5 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass das Waldstadium einen signifikanten Einfluss ($p < 0.01$) auf die Gesamtfraßraten hat (Tab. 3). Die jüngeren Waldstadien H und A zeigten höhere Raten als die älteren Stadien M und F (Abb. 5). Signifikant verschieden (höher) war

die Gesamtfraßrate im H-Stadium (Bonferroni Post Hoc Test, $p < 0.001$) gegenüber dem F-Stadium und die Gesamtfraßrate des A-Stadiums (Bonferroni Post Hoc Test, $p < 0.004$) gegenüber den Stadien M und F (Abb. 5).

In Abb. 6 ist die vertikale Verteilung (0,5 - 8cm Bodentiefe) der Fraßaktivität für die jeweiligen Waldstadien dargestellt. Für alle Waldstadien gilt, dass die Fraßaktivität mit zunehmender Tiefe abnahm. Für die statistische Auswertung der Vertikalverteilung wurden alle Fraßaktivitäten aus den verschiedenen Waldstadien zusammengefasst. Anhand des Bonferroni Post Hoc Tests konnte eine signifikant niedrigere Fraßrate in dem Bereich von 4,5 cm bis 7,5 cm ermittelt werden als im Bereich von 0,5 cm bis 4 cm Bodentiefe. Allerdings wies das unterste Loch, welches eine Bodentiefe von 8 cm repräsentiert, keinen signifikanten Unterschied im Vergleich zu den oberen 4 cm auf.

Die Interaktion von Stadium und Tiefenverteilung in Bezug auf die Fraßaktivität ist nicht signifikant (Tab. 3). Deutlich wird dieser Sachverhalt auch graphisch (Abb. 6). Die Tiefenverteilungen der jeweiligen Waldstadien zeigen hier einen relativ parallelen Verlauf.

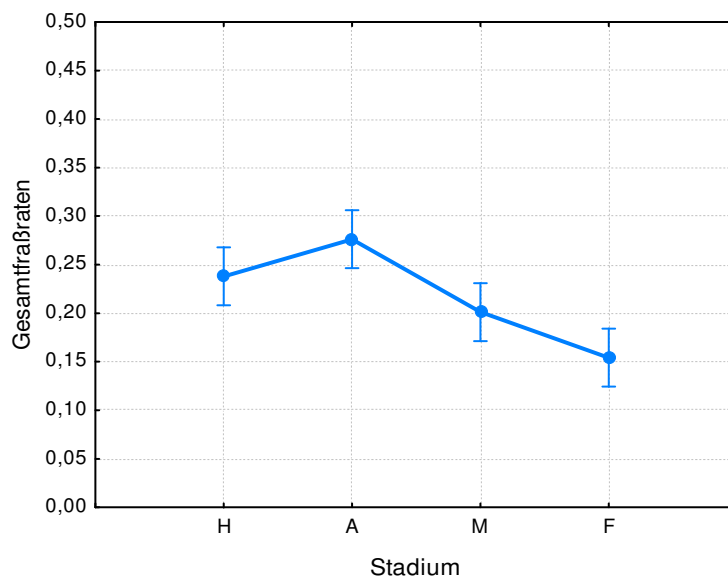


Abb. 5: Mittelwerte der Gesamtfraßraten der verschiedenen Waldstadien im Schutzgebiet Cachoeira, vertikale Balken beschreiben 95% des Vertrauensbereiches ($n = 3$).

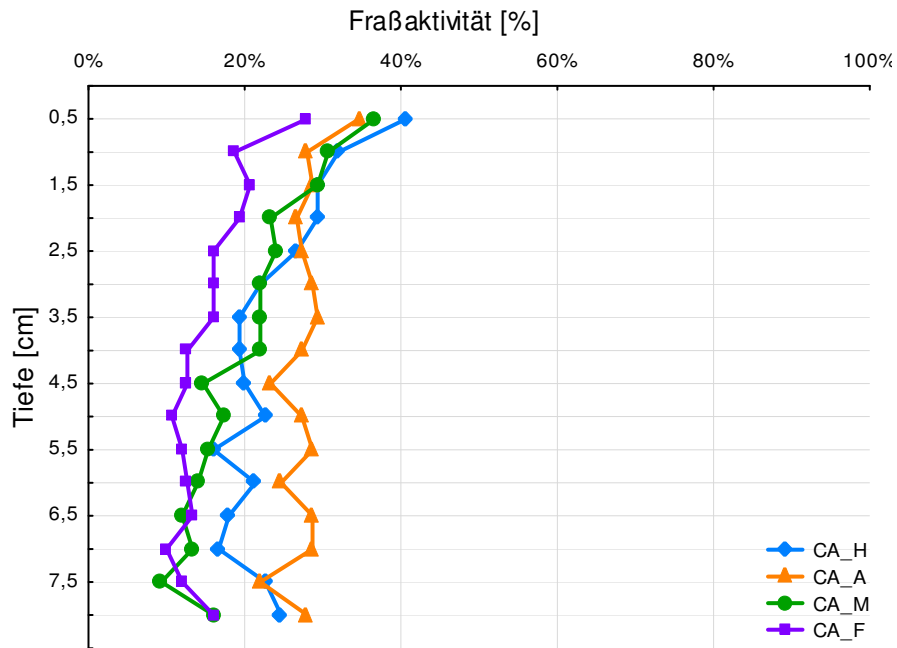


Abb. 6: Vertikale Verteilung der Fraßaktivität (%) in den verschiedenen Waldstadien des Schutzgebietes Cachoeira.

Tab. 3: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA für die vertikale Verteilung der Fraßaktivität in den verschiedenen Waldstadien des Schutzgebietes Cachoeira (MS - Mittlere quadratische Abweichung, F – F-Wert, P - Irrtumswahrscheinlichkeit).

Faktor	Freiheitsgrade oder d.f.	MS	F	P
Stadium	3	0.130	11.922	< 0.0001
Tiefe	15	0.029	2.633	0.002
Stadium * Tiefe	45	0.003	0.291	0.999
Error	128	0.011		

Für eine weiterführende Auswertung der Ergebnisse wurden alle Waldstadien auf den Versuchsdesignebenen Plot, Subplot und Köderstreifengruppe anhand ihrer relativen Varianz miteinander verglichen. In Abb. 7 sind die kumulativen Anteile der relativen Varianzen innerhalb einer Ebene für die verschiedenen Waldstadien dargestellt. Dabei wird deutlich, dass der größte Anteil der Gesamtvarianz in allen Waldstadien auf der Ebene der einzelnen Köderstreifen liegt. In den Stadien H, A und M beträgt deren Anteil zwischen 85 und 90 %, während er im F-Stadium mit 75% ein wenig niedriger ausfällt. Auf der nächsten Ebene, den Subplots, sind die Anteile an der Gesamtvarianz deutlich geringer. Im H- und F-Stadium liegt der Anteil bei ca. 10 %, im A-Stadium ist er minimal und im M-Stadium beträgt

er ca. 5 %. Die Verteilung der Anteile an der Gesamtvarianz auf der Ebene der Plots ist konstanter als auf der Subplotebene. Die Anteile bewegen sich zwischen ca. 5 % im H-Stadium bis hin zu 15 % im F-Stadium.

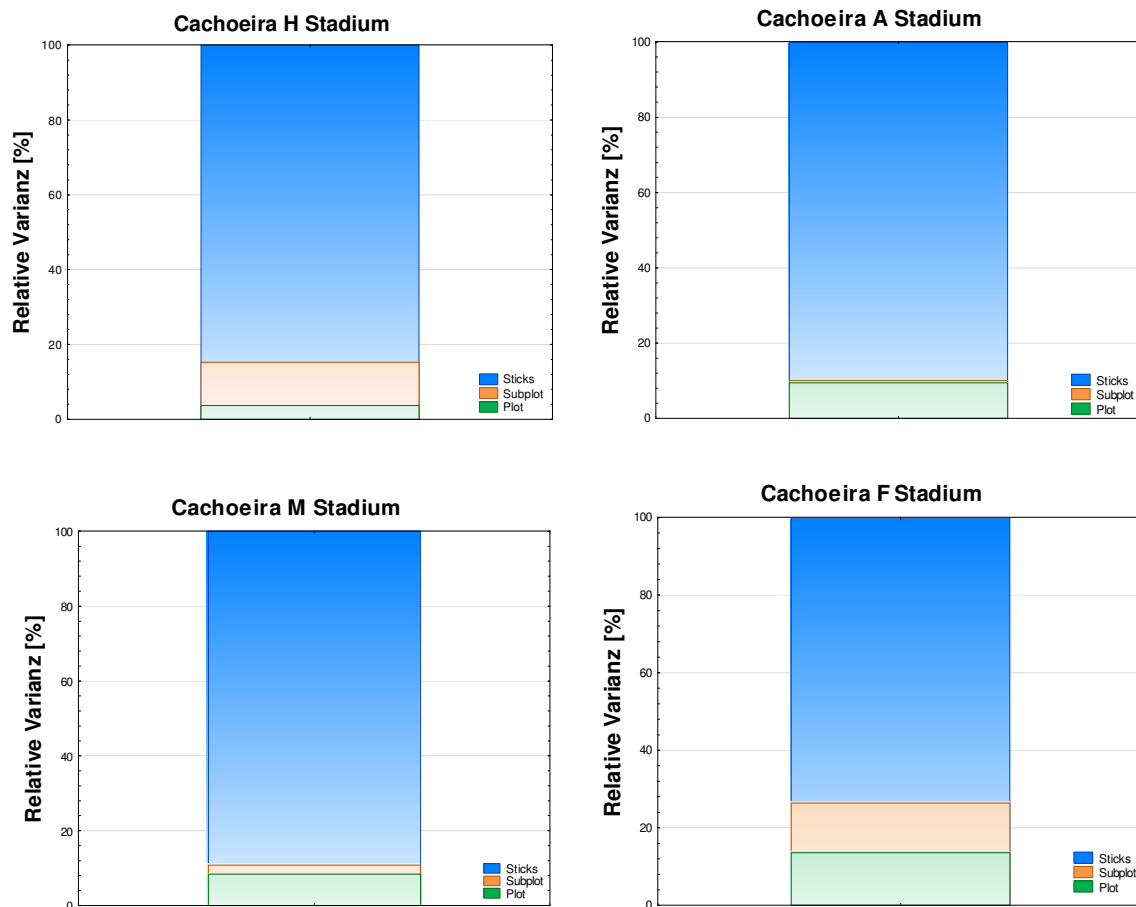


Abb. 7: Darstellung der kumulativen Anteile der relativen Varianzen (%) innerhalb der jeweiligen Ebene: Köderstreifengruppe (Sticks), Subplot und Plot für die Waldstadien H bis F im Schutzgebiet Cachoeira.

4.2 Itaqui

Die Gesamtfraßraten der verschiedenen Waldstadien im Schutzgebiet Itaqui sind in Abb. 8 dargestellt. Ähnlich der Ergebnisse des Schutzgebietes Cachoeira wurden auch hier in den Waldstadien H und A höhere Fraßraten gemessen (Tab. 4). Der Unterschied zwischen den jüngeren Waldstadien (H und A) und den älteren Waldstadien (M und F) ist, wie in Abb. 8 zu sehen, deutlicher als im Schutzgebiet Cachoeira. Dabei ist die Gesamtfraßrate des H-Stadiums signifikant höher (Bonferroni Post-Hoc-Test, $p < 0,003$) als in allen anderen Stadien. Die Gesamtfraßrate des A-Stadium ist signifikant höher (Bonferroni Post-Hoc-Test, $p < 0,02$)

als in den Stadien M und F, während dies auf die leicht höhere Gesamtfraßrate des F-Stadiums gegenüber dem M-Stadium nicht zutrifft (Bonferroni Post-Hoc-Test, $p = 1,0$).

Die vertikale Tiefenverteilung (0,5 – 8 cm Bodentiefe) der Fraßaktivität aller Waldstadien im Schutzgebiet Itaqui ist in Abb. 9 dargestellt. Viel deutlicher als im Schutzgebiet Cachoeira nimmt die Aktivität mit zunehmender Tiefe ab. Die über alle Waldstadien gemittelte Aktivität der oberen 3 Löcher (bis 1,5 cm Bodentiefe) ist im Vergleich zur Bodentiefe ab 2 cm signifikant (Bonferroni Post Hoc Test, $p < 0.006$) höher. Wird die vertikale Verteilung der Fraßaktivität genauer betrachtet ist der weitere Verlauf ab dem 7. Loch (ab 3,5 cm Bodentiefe) wiederum signifikant (Post Hoc Test Bonferroni, $p < 0.04$) niedriger als die Fraßaktivität in den Löchern 4 bis 6 (Bodentiefe zwischen 2 und 3 cm).

Die Interaktion zwischen Waldstadium und Bodentiefe ist auch im Schutzgebiet Itaqui nicht signifikant unterschiedlich; d.h. die Kurven der jeweiligen Waldstadien zeigen einen relativ parallelen Verlauf (Abb. 9).

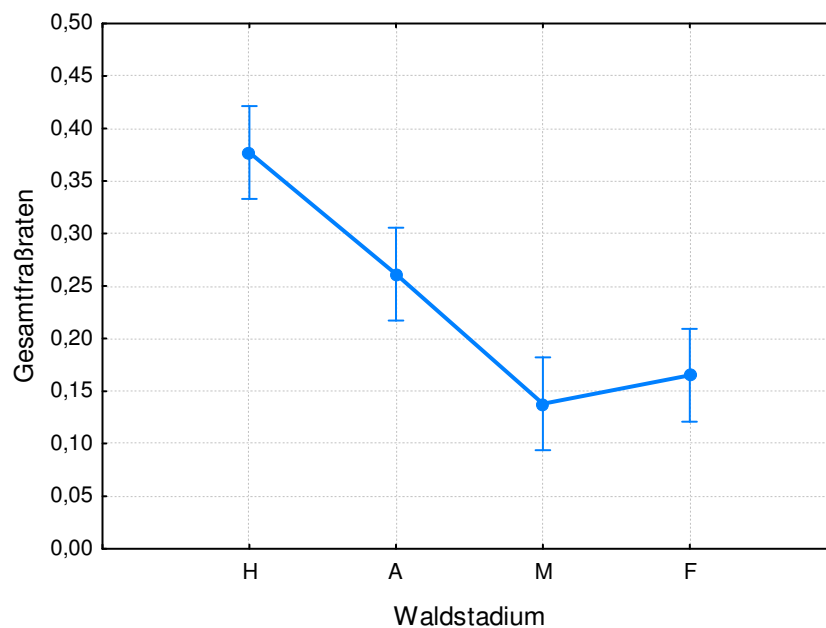


Abb. 8: Gesamtfraßraten in den verschiedenen Waldstadien im Schutzgebiet Itaqui, vertikale Balken beschreiben 95% des Vertrauensbereiches.

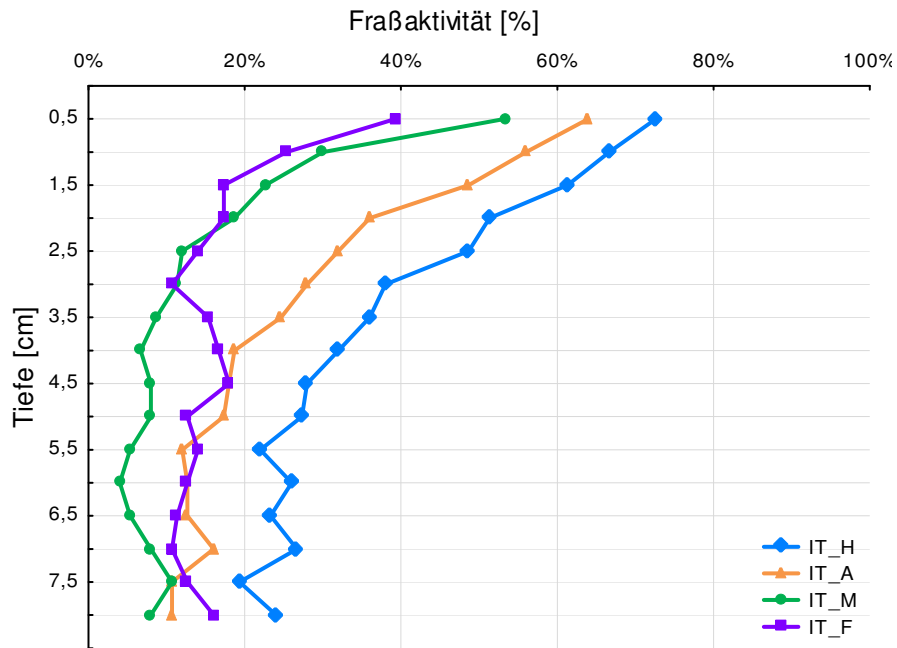


Abb. 9: Vertikale Verteilung der Fraßaktivität (in %) in den verschiedenen Waldstadien des Schutzgebiet Itaqui.

Tab. 4: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA für die vertikale Verteilung der Fraßaktivität in den verschiedenen Waldstadien des Schutzgebietes Itaqui (MS - Mittlere quadratische Abweichung, F – F-Wert, P - Irrtumswahrscheinlichkeit).

Faktor	Freiheitsgrade oder d.f.	MS	F	P
Stadium	3	0.563	23.586	< 0.0001
Tiefe	15	0.201	8.414	< 0.0001
Stadium * Tiefe	45	0.012	0.509	0.995
Error	128	0.024		

Die Verteilung der Anteile der jeweiligen Versuchsdesignebene an der Gesamt-Varianz innerhalb der verschiedenen Waldstadien ist in Abb. 10 dargestellt. In den beiden jüngeren Waldstadien H und A weisen die Ebenen Köderstreifengruppe und Plots in etwa gleiche Anteile an der Gesamtvarianz auf. Dabei liegt der Anteil der Plots im H-Stadium mit ca. 33 % etwas niedriger im Vergleich zum Anteil der Plots im A-Stadium (40%). Die Verteilungen der älteren Waldstadien gleichen dem Trend, der sich im Schutzgebiet Cachoeira abgezeichnet hat. Der größte Anteil liegt auf Ebene der Köderstreifen: im M-Stadium bei ca. 87% und im F-Stadium bei ca. 95%. Die Ebenen Subplot und Plot des M-Stadiums sind anteilig gleich groß

und liegen bei ca. 6,5%. Im F-Stadium hat die Ebene Plot keinen Anteil an der Gesamtvarianz und der Anteil der Subplots ist mit ca. 4,5 % gering.

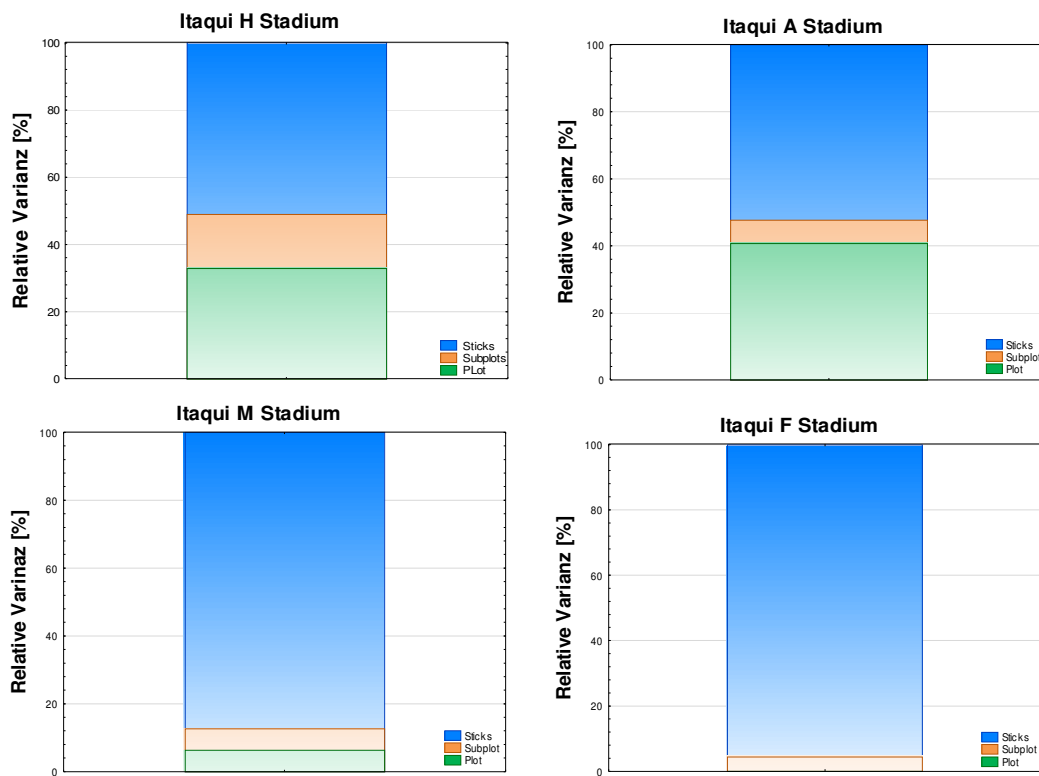


Abb. 10: Kumulative Anteile der relativen Varianzen (in %) innerhalb der jeweiligen Ebene: Köderstreifen (Sticks), Subplot und Plot des Waldstadiums A im Schutzgebiet Itaqi.

4.3 Bananenplantagen

Die Gesamtfraßraten in den zwei verschiedenen Plantagentypen, Bananen-Monokultur (Typ B) und Bananen-Palmito-Mischkultur (Typ BP), sind in Abb. 11 dargestellt. Die Fraßrate in der Bananen-Palmito-Mischkultur liegt ca. 8 % über den Fraßraten der Bananen-Monokultur. Statistisch gesehen ist dieser Unterschied aber nicht signifikant (Tab. 5).

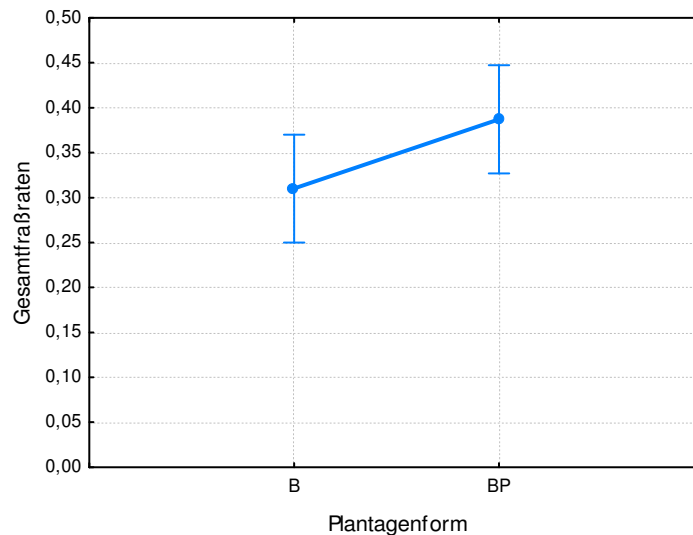


Abb. 11: Gesamtfraßraten der verschiedenen Plantagenformen (Bananen-Monokultur B und Bananen-Palmito-Mischkultur BP) im Schutzgebiet Rio Pequeno, vertikale Balken beschreiben 95% des Vertrauensbereichs.

Die vertikale Verteilung der Fraßaktivität in den beiden Plantagentypen ist in Abb. 12 dargestellt. In der Plantagenform BP wurde eine stärkere Abnahme der Fraßaktivität mit zunehmender Tiefe festgestellt. Bis zu einer Tiefe von 4 cm ist die Fraßaktivität in der Plantagenform BP im Schnitt 10 % höher. Ab einer Tiefe von 5 cm liegen die Fraßaktivitäten beider Plantagenformen auf einem Niveau zwischen 30 % und 40 %. Die Interaktion zwischen Plantagenform und vertikaler Verteilung der Fraßaktivität ist nicht signifikant (Tab. 5).

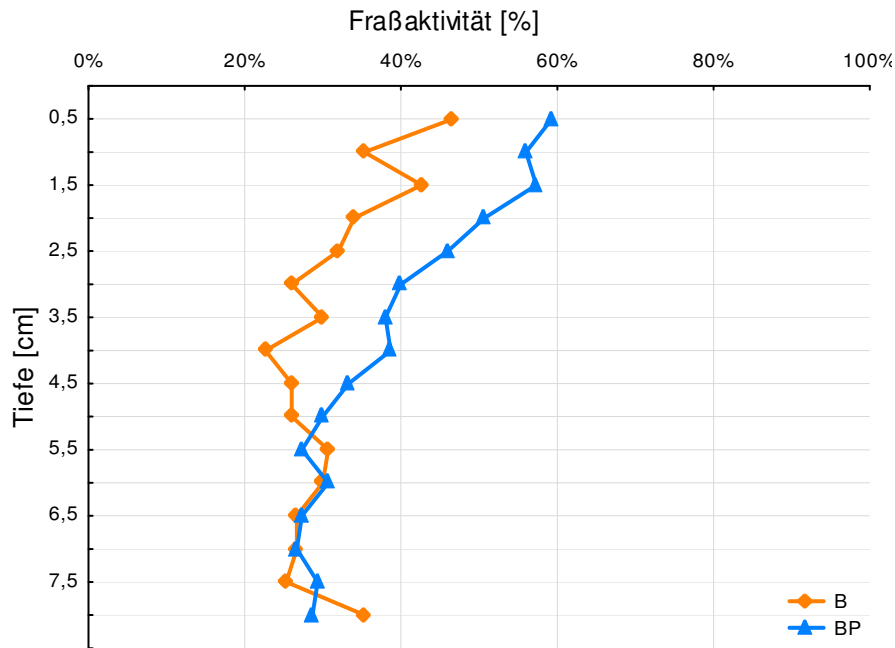


Abb. 12: Vertikale Verteilung der Fraßaktivität (in %) in den beiden Plantagenformen (Bananen Monokultur und Bananen-Palmito Mischkultur) im Versuchsgebiet Rio Pequeno.

Tab. 5: Ergebnisse der zweifaktoriellen ANOVA für die vertikale Verteilung der Fraßaktivität in den verschiedenen Plantagenformen (Bananen-Monokultur und Bananen-Palmito-Mischkultur) im Versuchsgebiet Rio Pequeno.

Effekt	Degr. of Freedom	MS	F	P
Stadium	1	0.143	3.280	0.075
Tiefe	15	0.044	1.005	0.462
Stadium * Tiefe	15	0.010	0.226	0.999
Error	64	0.043		

Die Verteilung der kumulativen Summen der relativen Varianzen auf den jeweiligen Versuchsdesignebenen, Plot, Subplot und Köderstreifengruppe an der Gesamt-Varianz innerhalb der verschiedenen Plantagenformen ist in Abb. 13 dargestellt. Der Hauptanteil der relativen Varianz in den Bananen-Monokulturen liegt mit ca. 80 % deutlich auf der Ebene der Köderstreifen. Die beiden anderen Ebenen Plot und Subplot haben mit jeweils ca. 10 % einen viel geringeren Anteil an der relativen Gesamtvarianz.

Ein vollkommen anderes Bild zeigt die Verteilung der relativen Varianz in den Bananen-Mischkulturen. Hier liegt der Hauptanteil der kumulativen Summe der Varianz mit ca. 50 % auf der Versuchsdesignebene der Plots. Der Varianzanteil auf Ebene der Köderstreifen ist mit

ca. 40 % deutlich geringer und entspricht ca. der Hälfte des Anteils in den Bananen-Monokulturen. Die Varianz auf der Ebene der Subplots liegt mit ca. 10 % auf gleichem Niveau in beiden Plantagentypen.

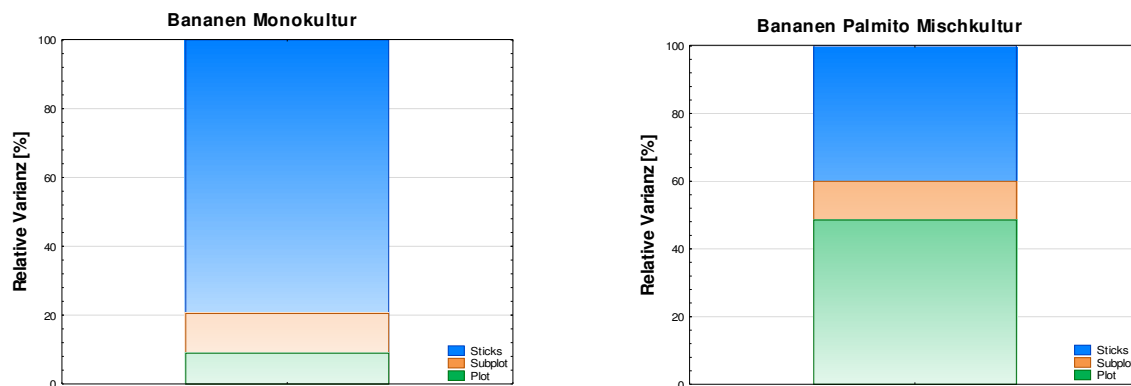


Abb. 13: Kumulative Anteile der relativen Varianzen (in %) innerhalb der jeweiligen Ebene: Köderstreifen (Sticks), Subplot und Plot der beiden verschiedenen Plantagenformen (Bananen-Monokultur und Bananen-Palmito-Mischkultur) im Versuchsgebiet Rio Pequeno.

4.4 Vergleichende Darstellung der Ergebnisse aus den drei Teilversuchen

Für eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse der zwei verschiedenen Schutzgebiete und der Bananenplantagen wurden die Tiefenprofile der Fraßaktivität ausgewählt. Dabei wurden die Plantagen nach der Art der vertikalen Verteilung der Fraßaktivität entweder der Darstellung der Fraßaktivität aus dem Gebiet Cachoeira bzw. dem Gebiet Itaqui zugeordnet (Aufteilung auf die beiden Graphiken in Abb. 14). Auf diesem Weg wird deutlich, dass die vertikale Verteilung der Fraßaktivität innerhalb der Bananen-Monokulturen derjenigen ähnelt, die im Schutzgebiet Cachoeira ermittelt worden ist (Abb. 14 oben). Die Bananen-Mischkultur, im unteren Teil der Abb. 14, zeigte eine ähnliche vertikale Verteilung der Fraßaktivität wie diejenige, die im Schutzgebiet Itaqui gemessen wurde. Im graphischen Vergleich wird deutlich, dass sich die beiden Schutzgebiete in ihrer vertikalen Verteilung der Fraßaktivität unterscheiden: Im Schutzgebiet Cachoeira konnte ein weniger ausgeprägtes Tiefenprofil festgestellt werden als im Schutzgebiet Itaqui, wo die Abnahme der Fraßaktivität mit zunehmender Tiefe weniger stark ist (Abb. 14 unten).

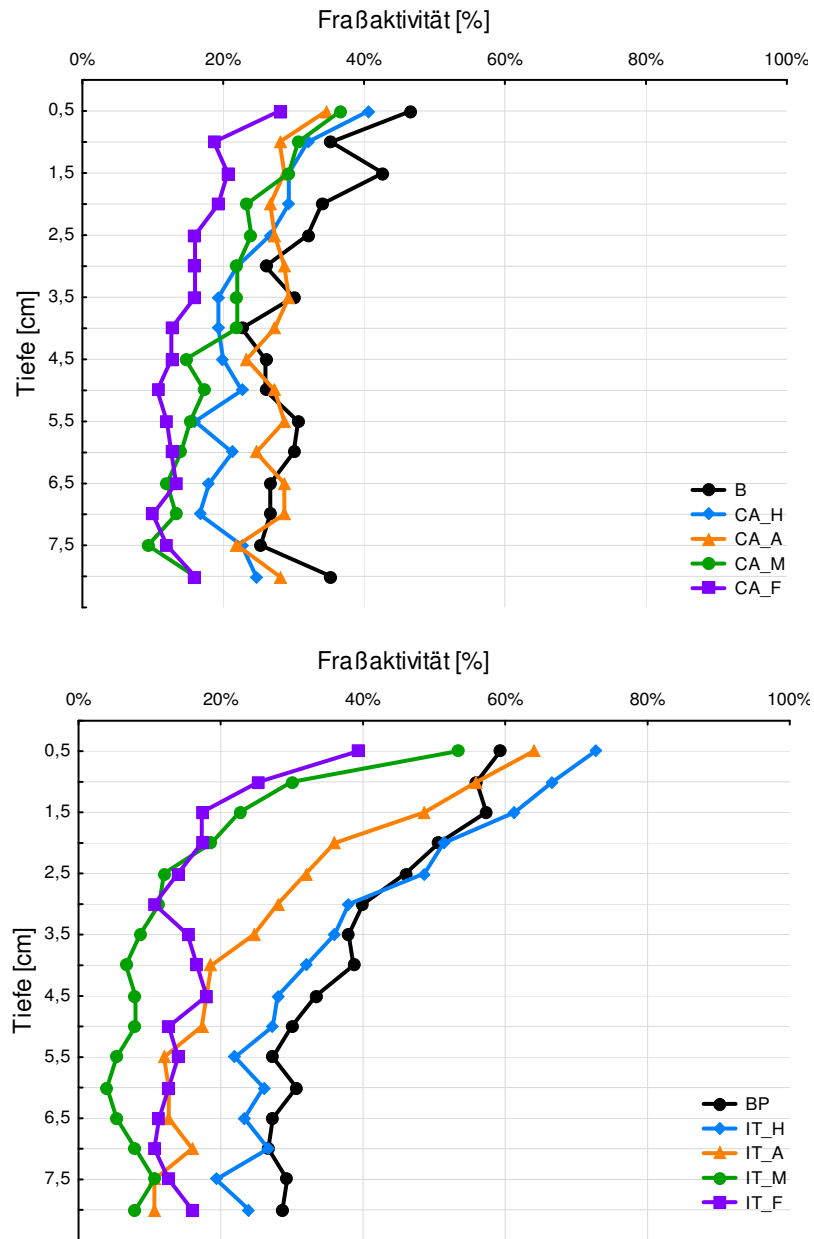


Abb. 14: Vergleichende Darstellung der vertikalen Verteilung der Fraßaktivität in den beiden Schutzgebieten Cachoeira (oben) und Itaqui (unten) sowie den beiden Bananenplantagen-Typen (B oben und BP unten)

5 Diskussion

5.1 Methodenkritik

Der Ködersteifen Test ist eine einfach anzuwendende Methode zur Bestimmung der Fraßaktivität von Bodentieren. Bereits im Amazonasgebiet Brasiliens sowie in Westafrika (Römbke et al. 2006, Geissen et al. 2001) durchgeführte Studien haben die Anwendbarkeit der Methode für tropische Böden gezeigt. Auch die in dieser Studie gemachten Erfahrungen in Südbrasilien lassen diese Methode für geeignet erscheinen, um die Aktivität (Funktion) der Bodenorganismen bzw. den biologischen Zustand von Böden tropischer Ökosysteme (Bodentiergemeinschaften) zu beurteilen. In einer Art Momentaufnahme können mit dieser Methode Aussagen zur Fraßaktivität der Bodenfauna in bestimmten Flächen gemacht und daraus Rückschlüsse zum biologischen Zustand gezogen werden. Da die biologische Aktivität im Boden von sich kurzzeitig ändernden Faktoren wie z.B. Bodentemperatur und Bodenfeuchte abhängig ist (Andre' et al. 2009, Kula und Römbke 1998, Förster et al. 2004), ist zu erwarten, dass zu einer anderen Jahreszeit andere absolute Fraßraten ermittelt worden wären. Allerdings ermöglichen die relativen Fraßraten eine Aussage über das System.

Ein Vergleich der absoluten Fraßraten dieser Studie mit anderen bisher durchgeführten Köderstreifen-Tests ist ebenfalls nicht möglich, da auch langfristig stabile abiotische Faktoren wie z.B. Klima, Bodentyp und z.B. pH-Wert die Fraßraten beeinflussen (Gongalsky et al. 2008). Weitere Studien, die das Ziel verfolgen, Fraßraten unter verschiedenen Bedingungen, wie Art und Typ des Bodens und des Klimas miteinander zu vergleichen, wären notwendig, um mehr über diese Zusammenhänge zu verstehen. Auch ein Vergleich der hier beschriebenen Ergebnisse des Köderstreifentests mit den in einigen Untersuchungsflächen durchgeführten Netzbeuteltests, ist nicht sinnvoll, da die beiden verwendeten Parameter Fraßaktivität und Streuabbau die Aktivität unterschiedlicher Teile der Bodenorganismengemeinschaft beschreiben.

5.2 Diskussion der Ergebnisse aus den Schutzgebieten Cachoeira und Itaqui

Die Gesamtfraßraten in allen Flächen der beiden Schutzgebiete Cachoeira und Itaqui liegen auf ähnlichem Niveau. Trotz hoher Variabilität zwischen den Flächen waren aber Unterschiede zwischen den verschiedenen Regenerationsstadien der Wälder zu erkennen. In Cachoeira war die Fraßaktivität am höchsten im A-Stadium, während in Itaqui die höchsten Fraßraten für das jüngste Stadium (H) ermittelt wurden. Die niedrigsten Gesamtfraßraten wurden in Cachoeira im ältesten Stadium F und in Itaqui im M-Stadium festgestellt. In beiden Gebieten zeigt sich also eine eindeutige Tendenz: Die Fraßaktivität war in den jüngeren Waldstadien höher als in den älteren Waldstadien. Die Unterschiede zwischen Cachoeira und Itaqui können über die geographische Lage und der damit verbundenen natürlichen Variation in Bezug auf Boden- oder Klimaeigenschaften (Itaqui liegt näher am Meer), die direkten Einfluss auf die Fraßaktivität von Bodenorganismen haben können, erklärt werden (Andre' et al. 2009, Larink und Sommer 2002). Eine andere Erklärung für die Schwankungen der Fraßaktivität könnte eventuell die lokal unterschiedliche Verfügbarkeit von anderen Futterquellen sein, denn laut Gongalsky et al. (2004) kann die Attraktivität der Köderstreifen durch die Verfügbarkeit von anderen Futterquellen gemindert werden. So wurde z.B. eine negativ Korrelation zwischen der Dicke der organischen Bodenschicht und der Fraßaktivität von Bodenorganismen festgestellt (Andre' et al. 2009, Geissen et al. 2007).

Die ermittelten Gesamtfraßraten der beiden Schutzgebiete korrelieren gut mit den Ergebnissen einer Regenwurmbeprobung, die auf den gleichen Versuchsflächen durchgeführt worden ist (Römbke et al. 2009). Die dabei festgestellte Regenwurmabundanz zeigte im Verlauf der Waldsukzession eine ähnliche Tendenz wie die Gesamtfraßraten dieser Studie, d.h. höhere Werte (= Abundanzen) auf den jüngeren Versuchsflächen. Während der Auswertung im Feld wurde auch ein juveniler Regenwurm in bereits ausgefressenen Ködern eines Köderstreifens beobachtet. Auch in frühen Publikationen über die Köderstreifen-Methode – allerdings in gemäßigten Breiten - gab es bereits Hinweise, dass Regenwürmer eine große Rolle beim Köderfraß spielen können (Köhler 1993; Larink 1993). Im Gegensatz dazu zeigten andere Studien, dass der Hauptanteil an der Fraßaktivität, vielleicht in Abhängigkeit von der Rezeptur des Ködersubstrates, der Bodenmesofauna zugeordnet werden kann (von Törne 1990b; Helling 1997). Zusätzlich konnte an einigen wenigen

Köderstreifen während der Auswertung ein Pilzbefall beobachtet werden. Es ist also zu vermuten, dass auch die Mikroflora an der Fraßaktivität beteiligt ist (vielleicht durch eine Veränderung der Attraktivität des Ködermaterials für Bodentiere). Römbke et al. 2006 stellt die Hypothese, dass der Hauptteil der ermittelten Fraßaktivität in Waldgebieten des Amazonas den Mikroarthropoden insbesondere den oribatiden Milben zuzuordnen ist. Nach jetzigem Kenntnisstand ist daher, je nach Standort, Klima usw., von einer Beteiligung aller Bodenorganismen an der Fraßaktivität auszugehen (Mikroflora, Mikrofauna, Mesofauna und Makrofauna).

Die Abhängigkeit der Fraßaktivität von der Bodentiefe wird in beiden Schutzgebieten deutlich. Mit zunehmender Bodentiefe nimmt die Fraßaktivität ab, ein Ergebnis, das auch in anderen Studien beobachtet wurde (Andre' et al. 2009, Gongalsky et al. 2004, Hamel et al. 2007). Das erstaunt nicht, denn es ist bekannt, dass die Abundanz der Bodenfauna mit zunehmender Bodentiefe deutlich abnimmt: 75 – 99% der Bodenmesofauna werden bis zu einer Bodentiefe von 2,5 cm gefunden (Lavelle & Spain 2001). Und auch die Verteilung der Mikroorganismen im Boden zeigt ein ähnliches Bild (Lavelle & Spain 2001). Interessanterweise wird aus der vergleichenden Darstellung der Ergebnisse deutlich, dass sich die Vertikalverteilung zwischen den zwei Schutzgebieten unterscheidet, wobei die Fraßaktivität in den oberen Zentimetern des Bodens im Gebiet Itaqui höher ist als im Gebiet Cachoeira. Dies könnte damit zusammen hängen, dass die oberste Bodenschicht im Untersuchungszeitraum in Itaqui feuchter war als in Cachoeira, was wiederum mit der Nähe zum Meer und damit einhergehendem häufigeren Bodennebel zu tun hat.

Die Berechnung der Anteile der jeweiligen Ebenen des Designs Plot, Subplot und Köderstreifengruppe an der Gesamtvarianz zeigt welche Faktoren bzw. Ebenen die größte Variabilität (Unsicherheit) aufweisen. In Cachoeira zeigten alle Waldstadien eine ähnliche Aufteilung, die größten Varianzanteile lagen zwischen den einzelnen Köderstreifen innerhalb einer Fläche. Die geringen Anteile der Versuchsdesignebenen Plot und Subplot tragen keinen relevanten Anteil zu der Gesamtaussage bei.

Im Versuchsgebiet Itaqui verhalten sich die Anteile der Versuchsdesignebenen nicht so eindeutig wie im Versuchsgebiet Cachoeira, denn nur in den beiden älteren Waldstadien M und F liegt der Hauptanteil der Gesamtvarianz auf der Ebene der Köderstreifen. Bei den jungen Waldstadien H und A waren dagegen die Unterschiede zwischen den Plots viel größer als innerhalb der anderen Stadien.

Diese Variationen könnten, wie bereits erwähnt durch die unterschiedliche geographische Lage und der damit eventuell damit verbundenen unterschiedlichen Boden- und Klimateigenschaften der drei Plots pro Waldstadium zu Stande gekommen sein. Letztlich können diese Unterschiede zum jetzigen Zeitpunkt nicht erklärt werden. Dagegen kann der im Allgemeinen hohe Anteil an der Gesamtvarianz auf der Ebene der Köderstreifen durch die z.T. sehr kleinräumig unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften des Bodens erklärt werden (Eisenbeis 1998). Auch kann von keiner homogenen Verteilung der im Boden lebenden Organismen ausgegangen werden, sodass durchaus Variationen im Maßstab von wenigen Zentimetern möglich sind.

Das Berechnungsmodell ANOVA MS Type I SS (Variance Components & Mixed Model ANOVA, hierarchically nested design, random factors) ermöglicht durch die Darstellung der Varianzanteile auf der jeweiligen Versuchsdesignebenen eine Optimierung des kompletten Versuchsdesigns. Demnach müssten bei einer Wiederholung des Versuchs im Schutzgebiet Cachoeira, wo der größte Anteil an der Gesamtvarianz auf der Ebene der Köderstreifen lag, mehr Köderstreifen pro Subplot eingesetzt werden, um eine besser Gleichverteilung der Gesamtvarianz zu erzielen (Sokal & Rohlf 1969). Ein anderer Weg für eine Optimierung dieses Versuchsdesign könnte ein Verzicht der Versuchsdesignebene der Subplots sein. Allerdings würde dann eine flächendeckende Untersuchung der Plots nicht möglich sein.

5.3 Diskussion der Ergebnisse aus den zwei verschiedenen Bananenplantagen

Die Gesamtfraßraten der beiden Plantagenformen sind statistisch gesehen nicht signifikant voneinander unterschiedlich. In den Mischkulturplantagen, bestehend aus Bananen und Palmito-Palmen, zeigt sich eine Tendenz zu einer höheren bodenbiologischen Aktivität, denn hier wurden ca. 8% höhere Gesamtfraßraten gemessen als in den Bananen-Monokulturen. Da keine Signifikanz vorliegt kann die Frage nach den Einflüssen der beiden Anbauformen auf die Fraßaktivität anhand dieser Ergebnisse nicht diskutiert werden.

Auch die vertikale Verteilung der Fraßaktivität in den beiden auf beiden Plantagentypen zeigt, dass trotz einer deutlich unterschiedlichen Verlaufskurve keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit zur Bodentiefe vorliegen. Dieser Sachverhalt könnte durch die aktuelle Bearbeitung, z.B. den Umbruch des Substrates auf den Plantagen, erklärt werden. In einer anderen projektinternen Studie, in der der Streuabbau in einer Palmito-Mischkultur

untersucht wurde, konnte eine Austrocknung der oberen Bodenschichten beobachtet werden. Dieser Standort lag allerdings in unmittelbarer Meeresnähe, wo der Boden einen sehr hohen Sandanteil von 90-98 % enthielt (Schmidt et al 2008). Dies könnte eine Erklärung dafür sein, dass Bodenorganismen diesen Bereich meiden und somit in den oberen Bodenschichten keine Fraßaktivität leisten können.

Ein Vergleich der kumulativen Summen der Gesamtvarianz zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen den Plantagenformen. Die Bananen-Monokultur zeigt eine ähnliche Verteilung der Anteile an der Gesamtvarianz wie im Versuchsgebiet Cachoeira. Der Hauptanteil der Gesamtvarianz liegt eindeutig auf der Versuchsdesignebene der Köderstreifen. Daher gilt auch hier die Empfehlung, mehr Köderstreifen pro Subplot einzusetzen, um die Gesamtvarianz gleichmäßiger zu verteilen.

Die anteilige Verteilung der Gesamtvarianz auf den verschiedenen Versuchsdesignebenen in den Bananen Mischkulturen ist komplett unterschiedlich. Hier liegt der Hauptanteil auf der Versuchsdesignebene der Plots. Zu der bereits im oberen Teil der Ergebnisdiskussion der Schutzgebiete geäußerten Vermutung, dass unterschiedliche Bodeneigenschaften für unterschiedliche Fraßaktivitäten verantwortlich sein können, kommt auf den Bananenplantagen der Sachverhalt hinzu, dass diese Flächen einer unterschiedlichen Bearbeitung unterliegen können. Beispielhaft können hier die Besatzdichte der Bepflanzung genannt werden, die direkt das Verhältnis zwischen Sonneneinstrahlung und Schatten bestimmt. Ein anderer Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse können auch Unterschiede in der Streuschichtdicke und Verteilung sein. Wie bereits in anderen Studien bewiesen beeinflusst das Vorhandensein bzw. die Dicke einer Streuschicht die Fraßaktivität (Römbke et al 2006).

6 Fazit

Der Köderstreifen-Test ist eine einfach anzuwendende und kostengünstige Methode und liefert einen sehr einfach auszuwertenden funktionellen bodenbiologischen Parameter: die Fraßaktivität von Bodenorganismen. Dieser ermöglicht eine Beurteilung der Leistung der Bodenorganismen.

Eine bessere Interpretation der Ergebnisse wäre sicher über ein weitergehendes Verständnis der Zusammenhänge zwischen Bodeneigenschaften und der biologischen Bodenaktivität möglich. Denn die Schwachstelle der Methode liegt wohl eindeutig in der Sensitivität gegenüber der vorherrschenden Bodeneigenschaften bzw. des Bodenklimas und der damit auch unterschiedlichen Zusammensetzung der Bodenorganismengemeinschaft.

Die Ergebnisse der Teilstudie in den Schutzgebieten Cachoeira und Itaqui liefern eine eindeutige Aussage: höhere Fraßaktivitäten in den jüngeren Waldstadien. Die vertikalen Verteilungen der ermittelten Fraßaktivität in den beiden Schutzgebieten waren teilweise, in Abhängigkeit Bodentiefe deutlich signifikant.

Die erzielten Ergebnisse auf den zwei verschiedenen Bananen-Plantagenformen, Mono- und Mischkulturen sind weder im Vergleich der Gesamtfraßraten noch in der aufgenommen Tiefenverteilung signifikant.

Anhand der weiterführenden statistischen Auswertung (Variance Components & Mixed Model ANOVA, hierarchically nested design, random factors) der Ergebnisse können Schlussfolgerungen über eine optimale Struktur des Versuchsdesigns gezogen werden. Das Auswertungsmodell zeigt deutlich, auf welchen Versuchsdesignebenen der Hauptanteil an der Gesamtvarianz liegt. Für zukünftige Feldstudien mit Köderstreifen ist es auf diesem Weg möglich, eine Gleichverteilung der Gesamtvarianz auf den verschiedenen Versuchsdesignebenen Plot, Subplot und Köderstreifen zu erreichen und somit stabilere Ergebnisse zu erzielen.

7 Literatur

- Andre', A.; Antunes, S.C.; Goncalves, F.; Pereira, R. (2009): Bait – lamina assays as a tool to access the effects of metal contamination in the feeding activity of soil invertebrates within a uranium mine area. *Environmental Pollution* 157: 2368 – 2377.
- Bundes-Bodenschutzgesetz § 2 vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 9. Dezember 2004 (BGBl. I S. 3214) geändert worden ist.
- Clark, DB (1996): Abolishing virginity. *Journal of Tropical Ecology* 12: 735-739.
- Eisenbeis, G. (1998): Die Untersuchung der biologischen Aktivität von Böden. Der Köderstreifen – Test. *Lebensformen und biologische Aktivität im Boden. PDN-Bio.4/47.*
- Ferretti, A.R. & Britez, R.M. (2006): Ecological restoration, carbon sequestration and biodiversity conservation: The experience of the Society for Wildlife Research and Environmental Education (SPVS) in the Atlantic Rain Forest of Southern Brazil. *Journal for Nature Conservation* 14: 249-259.
- FAO (1998): World reference base for soil resources. FAO / ISSS / ISRIC, Rome, World Soil Resources Reports 84.
- Förster, B.; Van Gestel, C.A.M.; Koolhaas, J.E.; Nentwig, G.; Rodrigues, J.M.L.; Sousa, J.P.; Jones, S.E.; Knacker, Th. (2004): Ring-testing and field-validation of a terrestrial model ecosystem (TME) – an instrument for testing potentially harmful substances effects of carbendazim on organic matter breakdown and soil fauna feeding activity. *Ecotoxicology* 13: 129 – 141.
- Gongalsky, K.B.; Pokarzhevskii, A.D.; Filimonova, Zh.V.; Savin, F.A. (2004): Stratification and dynamics of Bait lamina perforation in three forest soils along a north south gradient in Russian. *Applied Soil Ecology* 25: 111 – 122.
- Gongalsky, K.B.; Person, T.; Pokarzhevskii, A.D. (2008): Effects of soil temperature and moisture on the feeding activity of soil animals as determined by the bait lamina test. *Applied Soil Ecology* 39: 84 - 90
- Geissen, V. & Brümmer, G. W. (1999): Decomposition rates and feeding activities in deciduous forests in relation to soil chemical parameters after liming and fertilisation. *Biology and Fertility of Soils* 29:335-342.
- Geissen, V., Junge, B. & Skowronek, A. (2001): Einfluss unterschiedlicher Nutzung auf bodenökologische Kennwerte tropischer Böden der Feuchtsavanne Benins.

Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 96/1:329-330

Geissen, V., Gehrman, J.; Genssler, L. (2007): Relationship between soil properties and feeding activity of soil fauna in acid forest soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 170, 632 - 639

Hamel, C.; Schellenberg, P.M.; Hanson, K.; Wang, H. (2007): Evaluation of the Bait lamina test to access soil microfauna feeding activity in mixed grasslands. *Applied Soil Biology* 36, 199 - 204

Helling, B. (1997): Fraßaktivität an Köderstreifen von Collembolen, Enchytraeiden und Regenwürmern im Laborversuch. *Mitteilungen der Bodenkundlichen Gesellschaft*, 85, II, 505-508.

Höfer, H.; Verhaagh, M.; Fabry, R. (2007): SOLOBIOMA – Bodenbiota und Biogeochemie in Küstenregenwäldern Südbrasilens. Ein deutsch-brasilianisches Forschungsprojekt vor dem Hintergrund des Übereinkommens über die biologische Vielfalt. *UWSF – Z Umweltchemie Ökotox* 19 (2) 128 – 131 (2007).

Köhler, H. H. (1993): Erfahrungen mit dem Köderstreifen Test nach von Törne. *Mitteilungen der Bodenkundlichen Gesellschaft*, 69:143-146.

Kula, C.; Römbke, J. (1998): Evaluation of soil ecotoxicity test with functional endpoints for risk assessment of plant protection products: State of the art. *Environmental Science and Pollution Research* 5, 94 - 96

Kratz, W. (1998): The bait lamina test - general aspects, applications and perspectives. *ESPR-Environmental Science & Pollution Research* 5:94-96.

Kratz, W. & Pieper, S. (1999): Der Beitrag des Köderstreifentests bei der Entwicklung von bodenbiologischen Bodengüteklassen nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 91/2:654-657.

Larink, O. (1993): Ist der Köderstreifen Test ein Maß für die bodenzoologische Aktivität? *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 69:139-142

Larink, O.; Sommer, R. (2002): Influence of coated seeds on soil organisms tested with Bait lamina, *European Journal of Soil Biology* 38, 287 - 290

Lavelle, P.; Spain, A. (2001): *Soil Ecology*, (xxi), (218 - 219), (268 - 269), Kluwer Academic Publishers, P.O.Box 17, 3300 AA Dordrecht, The Netherlands.

- Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; da Fonseca, G.A.B.; Kent, J. (2000): Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858
- Paulus, R., Römbke, J., Ruf, A. & Beck, L. (1999): A comparison of the litterbag-, minicontainer- and bait lamina-methods in an ecotoxicological field experiment with diflubenzuron and btk. *Pedobiologia* 43:120-133.
- Ribeiro, M., Metzger, J.P., Martensen, A.C., Ponzoni, F.J. & Hirota, M.M. (2009): The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biol. Conserv.* 142(6): 1141-1153.
- Roderjan, C.V. & Kunyoshi, Y. (1988): Macrozoneamento florístico da Área de Proteção Ambiental - APA Guaraquecaba. *Serie Tecnica FUPEF* 15: 53.
- Römbke, J., Höfer, H., Garcia, M.V.B. & Martius, C. (2006): Feeding activities of soil organisms at four different forest sites in Amazonia using the bait lamina method. *J. Trop. Ecology* 22: 313-320.
- Römbke, J., Schmidt, P. & Höfer, H. (2009): The earthworm fauna of forests and anthropogenic habitats in the coastal region of Paraná (southern Mata Atlântica), an example of sincere biodiversity reduction. *PAB*
- Schmidt, P., Dickow, K., Alineia Rocha, A., Marques, R., Scheuermann, L., Römbke, J., Förster, B. & Höfer, H. (2008): Soil macrofauna and decomposition rates in southern Brazilian Atlantic rainforest. *Ecotropica* 14: 89 - 100
- Schröder, P. (2000): *Die Klimate der Welt: aktuelle Daten und Erläuterungen*. Stuttgart, Deutschland: Thieme. 159 p.
- Sokal, R.R.; Rohlf, F.J. (1969): *Introduction to Biostatistics*, W. H. Freeman and Company, San Fransisco, (159 - 160).
- Von Törne, E. (1990a): Assessing feeding activities of soil living animals. I. Bait lamina test. *Pedobiologia* 34:89-101.
- Von Törne, E. (1990b): Schätzungen von Fressaktivitäten bodenlebender Tiere. II. Mini-Köder-Tests. *Pedobiologia* 34:269-279.
- Wirth, C., Messier, C., Bergeron, Y., Frank, D. & Fankhänel, A. (2009): Old-Growth Forest Definitions: a Pragmatic View. In: Wirth, C., Gleixner, G. & Heimann, M.: *Old-Growth Forests*. Springer, Berlin, Heidelberg, 11-33.