



## **Charakterisierung der agrarischen Landnutzungssysteme in Ketou, Benin**



**Diplomarbeit**

**Sophia-Emilia Baumert**

# **Charakterisierung der agrarischen Landnutzungssysteme in Ketou, Benin**

## **Diplomarbeit**

für die

## **Diplomprüfung**

zur

Erlangung des Grades: Diplom-Agraringenieurin (Dipl.-Ing.agr.)

der

Landwirtschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

zu

Bonn

Vorgelegt am **25. April 2008**

Von cand.agr. **Sophia-Emilia Baumert**

1.Prüfer: **Prof. Dr. Marc Janssens**

2.Prüfer: **Prof. Dr. Mathias Becker**

The world is out there, but descriptions of the world are not.

Only descriptions of the world can be true or false.

The world on its own - unaided by the describing activities of a human being – cannot.

Richard Rorty, 1989

## **Danksagung**

Viele Menschen haben mir an der erfolgreichen Vollendung der vorliegenden Diplomarbeit geholfen – dafür möchte ich mich herzlich bedanken!

Ich danke den Menschen in den Untersuchungsdörfern, die es mir durch ihre Gastfreundschaft und ihre Offenheit ermöglicht haben, einen umfassenden Einblick in den Untersuchungsgegenstand zu erhalten und wertvolle persönliche Erfahrungen zu sammeln.

Dem IMPETUS Projekt danke ich für die Bereitstellung der finanziellen und logistischen Infrastruktur, die für die Durchführung der Forschung in Benin erforderlich war. Dabei möchte ich mich besonders bei Andreas Preu bedanken, der von Cotonou aus für einen reibungslosen Arbeitsablauf gesorgt hat. Außerdem danke ich allen Mitarbeitern des IMPETUS Projekts, die mir während meines Aufenthaltes in Benin unterstützend zur Seite standen.

Evariste Bara habe ich zu verdanken, dass ich meine Forschung in Ketou umsetzen konnte. Als Kollege, Berater, Übersetzer und Freund war er die gesamte Zeit in Benin ein wichtiger Partner für mich!

Der Studienstiftung des deutschen Volkes danke ich für die finanzielle Unterstützung meines Forschungsvorhabens.

Herr Professor Janssens hat mir die Durchführung der Forschung ermöglicht. Nur durch seine Betreuung und konstruktiven Ratschläge während des Feldaufenthalts und der Auswertungsphase konnte ich meine Diplomarbeit in der vorliegenden Art und Weise erstellen. Ihm gilt mein besonderer Dank!

Meinen Eltern und Geschwistern danke ich für ihre bedingungslose emotionelle Unterstützung und finanzielle Großzügigkeit, die es mir ermöglichten, ein erfolgreiches Studium zu absolvieren! Meiner Schwester Anna danke ich außerdem für ihre zuverlässigen Korrekturen.

Meinem Freund Niklas danke ich für seine beständige Zuneigung, die auch über weite Entfernung spürbar ist und mir einen unbeschwerten Aufenthalt in Benin ermöglicht hat. Durch seine Geduld, seine Aufmerksamkeit und seine unerschöpfliche Neugierde wurde die Zeit des Diplomarbeitschreibens eine gemeinsame Reise in die Welt der Forschung.

<b>Abbildungs-, Tabellen- und Bilderverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>7</b>
<b>1 Einführung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Erkenntnisinteresse .....	2
1.2 Aufbau der Arbeit .....	4
<b>2 Theoretischer Hintergrund.....</b>	<b>6</b>
2.1 Landnutzungssysteme.....	6
2.1.1 Definition.....	6
2.2 Landnutzungsänderung und die Folgen für Ökosystemfunktionen.....	7
2.3 Ökologische Funktionen und deren Indikatoren .....	10
2.4 Treibende Kräfte der Landnutzungsänderung.....	15
2.5 Aus der Theorie abgeleitete Forschungsfragen für die empirische Untersuchung .....	20
<b>3 Untersuchungskontext.....</b>	<b>21</b>
3.1 Naturräumliche Einteilung .....	21
3.2 Wirtschaft .....	22
3.2.1 Landwirtschaft .....	23
3.2.2 Forstwirtschaft .....	25
3.3 Ketou als Fallbeispiel.....	26
<b>4 Methodik .....</b>	<b>29</b>
4.1 Untersuchungsverfahren .....	29
4.1.1 Annäherung an das Forschungsfeld.....	29
4.1.2 Qualitative Erhebungen .....	30
4.1.2.1 Partizipative Erhebungsmethodik .....	30
4.1.2.2 Problemzentrierte und semistrukturierte Interviews .....	32
4.1.3 Quantitative Erhebungen.....	32
4.1.3.1 Allometrische Messungen.....	34
4.1.3.2 Probennahme .....	35
4.1.4 Grenzen der Untersuchung .....	37
4.2 Analysemethodik.....	37
4.2.1 Berechnung von Ökovolumen und Biovolumen .....	38
4.2.1.1 Ökovolumen.....	38
4.2.1.2 Biovolumen .....	39
4.2.2 Biomasse .....	39
4.2.2.1 Direkte Methode.....	40
4.2.2.2 Indirekte Methode .....	40

4.2.3 Kohlenstoff.....	42
<b>5    Ergebnisse und Interpretation .....</b>	<b>43</b>
<b>5.1    Einführung .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2    Differenzierung der Untersuchungsdörfer .....</b>	<b>44</b>
<b>5.3    Landnutzungssysteme und ihre Merkmale.....</b>	<b>46</b>
5.3.1 Vegetationsdynamik .....	47
5.3.2 Forstwirtschaft .....	48
5.3.3 Produktionssystem Landwirtschaft .....	49
5.3.3.1    Bodenfruchtbarkeit.....	51
5.3.3.2    Annuelle Kulturen.....	52
5.3.3.3    Brache und die Erschließung neuer Flächen.....	57
5.3.3.4    Plantagen und Agroforestry .....	59
5.3.4 Zusammenfassung und Diskussion.....	60
<b>5.4    Biomasse, Ökovolumen und Biovolumen als Indikatoren von</b>	
<b>Ökosystemfunktionen .....</b>	<b>62</b>
5.4.1 Ökovolumen und Biovolumen.....	62
5.4.2 Biomasse .....	67
5.4.3 Zusammenhang zwischen räumlichen und Gewichtsparemtern .....	71
5.4.4 Bewertung ökologischer Funktionen.....	72
5.4.4.1    Resilienz .....	72
5.4.4.2    Kohlenstoffbindungspotential.....	73
5.4.4.3    Ökoniederschlag .....	75
5.4.5 Zusammenfassung und Diskussion.....	76
<b>Landwirte als Akteure im Spannungsfeld von ökonomischer Effizienz und</b>	
<b>ökologischer Nachhaltigkeit.....</b>	<b>78</b>
5.4.6 Armutskreislauf.....	78
5.4.7 Natürliche Umwelt der Landwirte.....	79
5.4.8 Institutionelle Umwelt der Landwirte .....	80
5.4.9 Zusammenfassung und Diskussion.....	83
<b>6    Schlussfolgerung und Empfehlung .....</b>	<b>84</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>89</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>95</b>
Anhang A: Interviewleitfäden für semistrukturierte Interviews mit Landwirten .....	95
Anhang B: Quantitativ erhobene Daten .....	100
Anhang C: Bodenanalyse .....	102

## Abbildungs-, Tabellen- und Bilderverzeichnis

Abb. 1: Schematischer Überblick über die IMPETUS Projektstruktur .....	2
Abb. 2: Schematische Darstellung der Interaktionen zwischen Landnutzungssystem und Umwelt .....	4
Abb. 3: Klassifizierung der Landnutzungssysteme.....	7
Abb. 4: Beitrag der Landwirtschaft zur globalen THG-Emission .....	11
Abb. 5: Veranschaulichung des Ökovolumenkonzeptes .....	13
Abb. 6: Beziehung zwischen Ökovolumen und Öko-Niederschlag .....	14
Abb. 7: Landnutzungssysteme im Wirkungsgefüge direkter und indirekter Faktoren .....	18
Abb. 8: Republik Benin.....	21
Abb. 9: Temperatur- und Niederschlagsverlauf und die daraus abgeleitete Vegetationszeit für die Gemeinde <i>Ketou</i> .....	27
Abb. 10: Die Gemeinde <i>Ketou</i> und ihre Landnutzung.....	28
Abb. 11: Aufbau einer Versuchsparzelle .....	34
Abb. 12: Prozentuale Anteile der Landnutzungssysteme an der Gesamtfläche <i>Ketous</i> .....	48
Abb. 13: Prozentuale Flächenanteile der wichtigsten Kulturen in der Gemeinde <i>Ketou</i> .....	52
Abb. 14: Ökovolumen der Landnutzungssysteme in <i>Ketou</i> .....	64
Abb. 15: Ökovolumen wichtiger Kulturen in <i>Ketou</i> .....	65
Abb. 16: Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte und Ökovolumen/Biomasse .....	80
Tab. 1: Phases et caractéristiques de l'évolution écologique et socio-économique de l'utilisation des terre.....	8
Tab. 2: Fragestellungen und Forschungsaspekte der angewandten Methoden .....	30
Tab. 3: Landnutzungskategorien im Vergleich .....	33
Tab. 4: Anzahl der Messungen in den unterschiedlichen Landnutzungssystemen.....	33
Tab. 5: Differenzierung der Untersuchungsdörfer <i>Dogo</i> , <i>Kpankoun</i> und <i>Atanka</i> .....	45
Tab. 6: Flächenaufteilung der Gemeinde <i>Ketou</i> .....	48
Tab. 7: Landnutzungskoeffizienten für die Gemeinde <i>Ketou</i> .....	50
Tab. 8: Durchschnittliche Ertragsleistung (kg/ha) wichtiger Kulturen .....	53
Tab. 9: Rotationen und Assoziationen in der Gemeinde <i>Ketou</i> .....	54
Tab. 10: Kulturkalender .....	56
Tab. 11: Wichtige Kenngrößen der Landnutzungssysteme in <i>Ketou</i> .....	63
Tab. 12: Ökovolumina und Schichtungsindex .....	65
Tab. 13: <i>Crowding Intensity</i> und Wesenbergfaktor .....	66
Tab. 14: Biomasseberechnung nach unterschiedlichen Allometrieformeln.....	69
Tab. 15: Biomassefraktionen der unterschiedlichen Systeme .....	71

Tab. 16: Lineare Regressionsmodelle für kurzlebige Vegetationsformen .....	72
Tab. 17: Resilienz und Ökovolumenverlust der Landnutzungssysteme in <i>Ketou</i> .....	73
Tab. 18: Kohlenstoffgehalt in der Biomasse/ Bodenstreu/Boden .....	74
Bild 1: Farmerin bei der Verteilung von Maiskörnern .....	31
Bild 2: Anbau von Chili nach Brandrodung der natürlichen Vegetation.....	57
Bild 3: Problembaum in <i>Kpankoun</i> .....	79

## Abkürzungsverzeichnis

BIP	Bruttoinlandsprodukt
BM	Biomasse
C	Kohlenstoff
CARDER	Centre d'Action Régionale pour le Developpement Rural
CIC	Cropping Intensity Coefficient
CLCAM	Caisse Local de Crédit Mutuel
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
DPP/MAEP	Ministère de l'agriculture de l'élevage et de la peche
DSS	Decision Support System
FAO	Food and Agriculture Organisation
GPS	Global Positioning System
ICRAF	International Centre for Research in Agroforestry
IMPETUS	Integratives Management-Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika
INRAB	Institut National des Recherches Agricoles du Benin
IPCC	Intergovernmental Penal on Climate Change
LGP	Length of growing period
MDR	Ministère developpement rural
MEA	Millennium Ecosystem Assessment
PAR	Participatory Rural Appraisal
PDC	Plan de Developpement Communal
PET	Potentielle Evapotranspiration
pH	potentia Hydrogenii
THG	Treibhausgas

# 1 Einführung

Landwirtschaft als Klimakiller, als Umweltsünder, als größter Wasserkonsument und Landwirtschaft, die nicht genügend Nahrungsmittel produziert. Landwirtschaft ist ins Kreuzfeuer der Kritik geraten: Mehr Nahrungsmittel und weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoß werden gefordert. Bracheflächen in Europa sollen wieder zur Nahrungsmittelproduktion genutzt und tropische Wälder in Afrika geschützt werden.

Doch das Problem, dass besonders Landwirte in Ländern wie Benin in Afrika, die ein hohes Bevölkerungswachstum aufweisen, aufgrund von technischen und institutionellen Restriktionen nur eine expansive Landwirtschaft betreiben können, bleibt weitgehend unberührt. Diese Form von Landwirtschaft bewegt sich auf einem geringen Produktionsniveau und trägt bei einer gleichzeitig uneffizienten Nutzung natürlicher Ressourcen zu deren Erschöpfung bei. Ökosysteme, die die Lebensgrundlage aller Menschen darstellen, werden aufgrund wachsender Bevölkerung, steigender Viehbestände und abnehmender Bodenfruchtbarkeit in einer nie da gewesenen Geschwindigkeit erschlossen. Die Landnutzungsänderungen führen zu einer Herabsetzung der funktionalen Dienstleistungen der Ökosysteme und zu einer Veränderung der natürlichen Umwelt, gegenüber der besonders die Menschen in ländlichen Räumen, die direkt von den ökologischen Leistungen abhängen, am verwundbarsten sind.

Vor dem Hintergrund der Klima- und Ernährungsdebatte hat die Analyse agrarischer Landnutzungssysteme zum Ziel, ein tieferes Verständnis für die Veränderungsprozesse der agrarischen Landnutzung, deren ökologische Folgen und den sie steuernden Ursachen zu erzeugen. Als Analyse- und Steuerungswerkzeuge sind Indikatoren von besonderer Wichtigkeit, mithilfe derer verlässliche Informationen über Landnutzungssysteme und deren Ökosystemfunktionen (Wasserrecycling, CO<sub>2</sub>-Bindung, Produktivität) gewonnen werden können. Damit eine *toolbox* für ein schnelles und kostengünstiges Assessment von Landnutzungssystemen zur Verfügung steht, ist weiterhin die Prüfung möglicher Kenngrößen auf ihre Aussagekraft in der Praxis nötig.

Erst anhand dieses Expertenwissens und ökologischer Kenntnisse können anschließend nachhaltige Landnutzungspraktiken und zukünftige Anbaustrategien als Handlungsoptionen entwickelt und bewertet werden, und wissenschaftlich fundierte Entscheidungsunterstützungssysteme für die Politik bereitgestellt werden.

Das Ziel einer gesteigerten Nahrungsmittelproduktion, sollte durch die Umsetzung agrarischer Landnutzungssysteme erfolgen, die an klimatische Bedingungen angepasst sind und den Erhalt der Ökosystemleistungen gewährleisten. Dafür ist die Erforschung von Landnutzungssystemen und deren Charakteristiken eine unabdingbare Voraussetzung.

## 1.1 Erkenntnisinteresse

Die durchgeführte Forschung folgte in erster Linie dem übergeordneten Erkenntnisinteresse des IMPETUS Projektes, in dessen Rahmen die Arbeit durchgeführt wurde.

Das IMPETUS Projekt (Integratives Management-Projekt für einen Effizienten und Tragfähigen Umgang mit Süßwasser in Westafrika) untersucht seit 2000 wesentliche anthropogene und physische Aspekte des Wasserkreislaufs. Ziel ist es, zusammen mit den Partnerländern Benin und Marokko ein Instrumentarium für ein nachhaltiges Wassermanagement zu entwickeln. Hierfür werden aus den erhobenen Daten Entscheidungsunterstützungssysteme (*Decision Support Systems* DSS) entwickelt, die wissensbasierte Entscheidungen für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement ermöglichen sollen. Um der Komplexität des Wasserkreislaufs (Abb. 1) gerecht zu werden, handelt es sich um ein interdisziplinäres Forschungsprojekt, in dem wissenschaftliche Disziplinen wie Hydrologie, Agrarwissenschaften, Geologie, Meteorologie und Fernerkundung zusammen an Lösungsvorschlägen arbeiten.

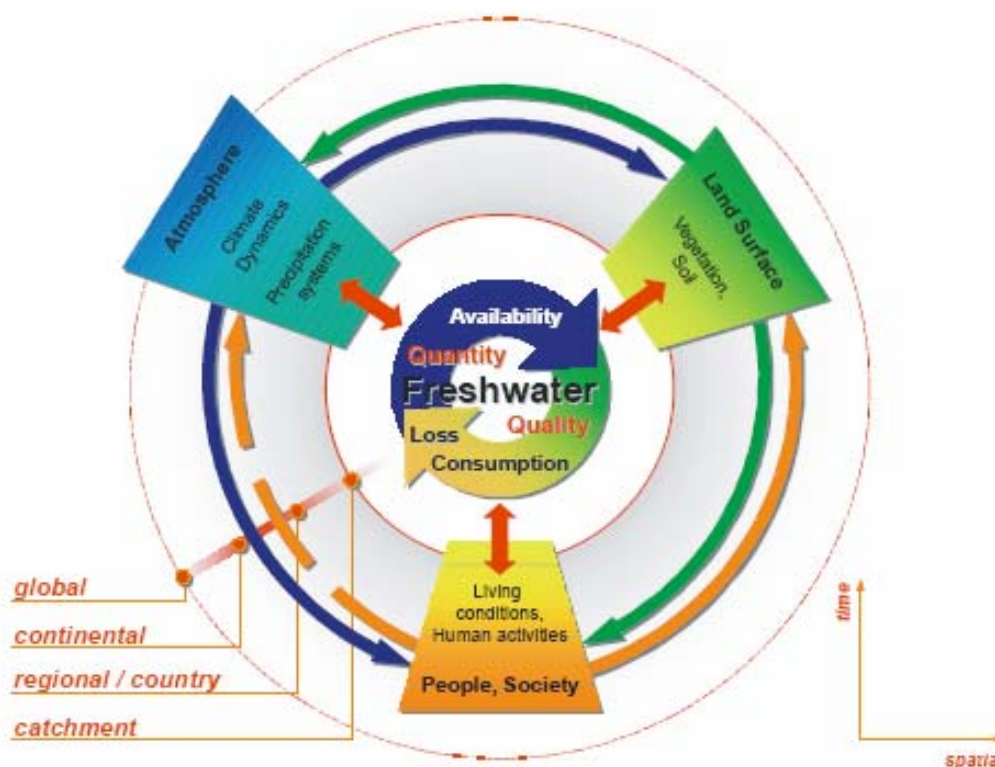


Abb. 1: Schematischer Überblick über die IMPETUS Projektstruktur

Quelle: IMPETUS, 2001 in FAß, 2004

Die vorliegende Arbeit ist in Benin im Rahmen des Themenbereichs „Landnutzung“ unter dem Problemkomplex PK Be-L.4: „Ökovolumendynamik und Anpassung des Anbausystems an die Klimaänderung im Ouémé<sup>1</sup>-Einzugsgebiet“ durchgeführt worden.

Für die Erzeugung von Nahrungsmitteln wird der größte Teil des gesamt genutzten Landes in Benin eingenommen. Hohes Bevölkerungswachstum, zusätzlich durch Migration verstärkt, wird den Druck auf die Landwirtschaft auch in Zukunft weiter erhöhen und zu drastischer Verringerung der Vegetationsdecke durch Rodung von Wäldern und Erschließung natürlicher Ökosysteme führen. Zwischen Vegetationsdecke und Mikroklima wird eine wechselseitige Beeinflussung angenommen, so dass bei einer stetigen Verringerung der Vegetation eine deutliche Abnahme der lokalen und regionalen Regenfälle zu erwarten ist. Hinzu kommt eine verstärkte Variabilität der Niederschläge, die eine risikofreie Landwirtschaft erschwert. Die Abbildung von Veränderungsprozessen zwischen Landnutzung und Landbedeckung und den sie steuernden Ursachen steht im Zentrum des Themenbereichs „Landnutzung“. Entscheidungsgrundlagen, wie sich Landnutzungssysteme in Zukunft an veränderte klimatische Rahmenbedingungen anpassen können bei gleichzeitiger Verschiebung der *trade-offs*, die zwischen Nahrungsmittelproduktion und Erhalt der Ökosystemkapazität bestehen, sollen anhand des **Entscheidungsunterstützungssystems FARM-ADA-M** (*Farm adaptation management as to water availability*) generiert werden (IMPETUS, 2006).

Nach den verschiedenen Phasen der Datengenerierung, der Modellierung und Entwicklung von Szenarien sowie der Extraktion von Problemkomplexen stehen aktuell der Transfer und die Anwendung der Ergebnisse durch *Capacity Building* und der Entwicklung des *Decision Support Systems* im Vordergrund.

Mit dem Titel „Charakterisierung der agrarischen Landnutzungssysteme in Ketou, Benin“ kann eine erste Einordnung der vorliegenden Arbeit in die IMPETUS Projektstruktur erfolgen.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den Landnutzungssystemen Benins, die anhand eines Fallbeispiels exemplarisch dargestellt und mithilfe von Kenngrößen hinsichtlich ihrer Vegetationsdynamik beschrieben werden sollen. Dieser Ansatz dient dem übergeordneten Ziel, **Zusammenhänge zwischen Vegetationsdecke und Landnutzung und den sie steuernden Ursachen** abbilden zu können. Neben der deskriptiven Beschreibung der Landnutzungssysteme und der Vegetationsdynamik ging es der Autorin besonders darum, **Indikatoren von Ökosystemfunktionen**, die hauptsächlich innerhalb des IMPETUS Projektes generiert wurden, auf ihre Validität und Aussagekraft hin zu überprüfen. Der Arbeit kommt insofern eine wichtige Bedeutung zu, als dass alle erhobenen Daten für die

---

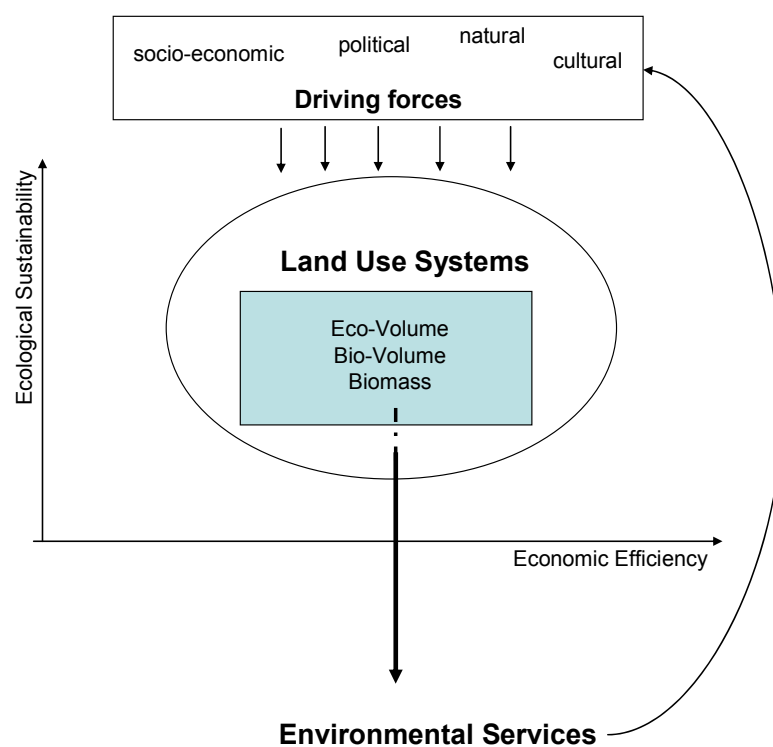
<sup>1</sup> Der Ouémé ist mit 510 km der längste Fluss Benins. Sein gesamtes Einzugsgebiet befindet sich in Benin.

Präzisierung der Datengrundlage, mit der das DSS gespeist wird, von Bedeutung sind und die getesteten Indikatoren als Entscheidungsunterstützung in das DSS Eingang finden.

Im Interesse der Autorin stand außerdem, den **Landwirten<sup>2</sup> als Akteur** im Spannungsfeld zwischen Nahrungsmittelproduktion und Ausführung nachhaltiger landwirtschaftlicher Praxis zu erfassen. Welches sind die externen und internen Triebkräfte und Hindernisse, die den Akteur bei der Landnutzungsgestaltung beeinflussen?

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit folgt dem Anspruch, eine kohärente und verständliche Wiedergabe und Interpretation der Forschungsergebnisse leisten zu können. Zur Veranschaulichung und Einbettung der Forschung in den umfassenden Kontext soll folgende Abbildung dienen.



**Abb. 2: Schematische Darstellung der Interaktionen zwischen Landnutzungssystem und Umwelt**

Quelle: Eigene Darstellung

<sup>2</sup> Es ist sowohl der Landwirt als auch die Landwirtin gemeint. Das gilt für das gesamte Dokument.

Agrarische Landnutzungssysteme und dessen Umweltleistungen lassen sich anhand bestimmter Kriterien charakterisieren. Werden die Landnutzungssysteme verändert kommt es gleichzeitig zu einer Alternierung der ökologischen Funktionen. Diese Veränderung nimmt rückwirkend Einfluss auf das System. Es entsteht ein komplexes Wirkungsgefüge zwischen System und Umwelt, in dem der Landwirt als Entscheidungsträger tätig ist. Indem er sein Handeln den Rahmenbedingungen anpasst, entscheidet er über Änderungen der Landnutzungssysteme, die sich zwischen ökonomischer Effizienz und ökologischer Nachhaltigkeit bewegen.

Diesem Schema folgt die Gliederung der vorliegenden Arbeit:

Nach einem kurzen Einblick in den aktuellen Stand der Forschung (Kapitel 2) und den Untersuchungskontext (Kapitel 3) wird die Forschungsmethodik (Kapitel 4), mit der die Untersuchungen durchgeführt wurden, dargelegt. In dem anschließenden Kapitel (Kapitel 5) werden die Ergebnisse in drei thematischen Blöcken vorgestellt und diskutiert: Zuerst werden die Landnutzungssysteme am Fallbeispiel *Ketou* detailliert beschrieben (Abschnitt 5.3) und einige ausgewählte Indikatoren vorgestellt, sowie deren Anwendungspotential bei der Bewertung von ökologischen Funktionen dargelegt (Abschnitt 5.4). Zum Schluss werden kurz die Rahmenbedingungen, die in *Ketou* zu den bestehenden Landnutzungssystemen und Änderungen führen, und die Rolle der Landwirte beleuchtet (Abschnitt 5.5). In einem abschließenden Kapitel (Kapitel 6) wird eine umfassende Bewertung der Ergebnisse vor dem Hintergrund aktueller Forschungserkenntnisse vorgenommen und Forschungs- und Anwendungsempfehlungen abgeleitet.

## 2 Theoretischer Hintergrund

Im Folgenden wird das theoretische Fundament der Untersuchung vorgestellt, um dann im Rahmen des Erkenntnisinteresses die übergeordneten Forschungsfragen für die empirische Untersuchung abzuleiten. Die einzelnen theoretischen Elemente wurden vor dem Hintergrund der aktuellen Diskurse im Kontext der Landnutzungsänderung ausgesucht und in ihrer Zusammenstellung auf das Erkenntnisinteresse abgestimmt.

### 2.1 Landnutzungssysteme

#### 2.1.1 Definition

Nach WOERMANN heißt es, dass ein landwirtschaftliches System als eine organisierte ökonomische Einheit betrachtet werden kann, in der Pflanzen- und Tierproduktion betrieben werden mit dem Zweck, einen ökonomischen Gewinn zu erzielen (WOERMANN, 1959 in RUTHENBERG, 1976). Auch RUTHENBERG spricht von einer Ansammlung funktionaler Einheiten wie Kulturen, Tiere, Verarbeitungs- und Marktaktivitäten, die sich gegenseitig beeinflussen. Gemeinsam profitieren sie von den Inputs der sie umgebenden Umwelt und versorgen diese rückwirkend mit Outputs, was gleichzeitig dem Ziel der Bedürfnisbefriedigung des Farmers entspricht. Der Landwirt ist somit Akteur sowohl des Systems als auch der Umwelt. Ein landwirtschaftliches System ist jedoch nicht nur eine ökonomische Einheit, sondern auch ein Ökosystem (WALTER, 1973 in RUTHENBERG, 1976).

Eine Abgrenzung der Begriffe *farming systems*, *landuse systems*, *ecosystems*, *agro-ecosystems* erfolgt in der Literatur nicht eindeutig, wodurch eine klare Diskussion erschwert wird. Aus diesem Grund soll hier eine klärende Anmerkung zur Begriffsfindung erfolgen.

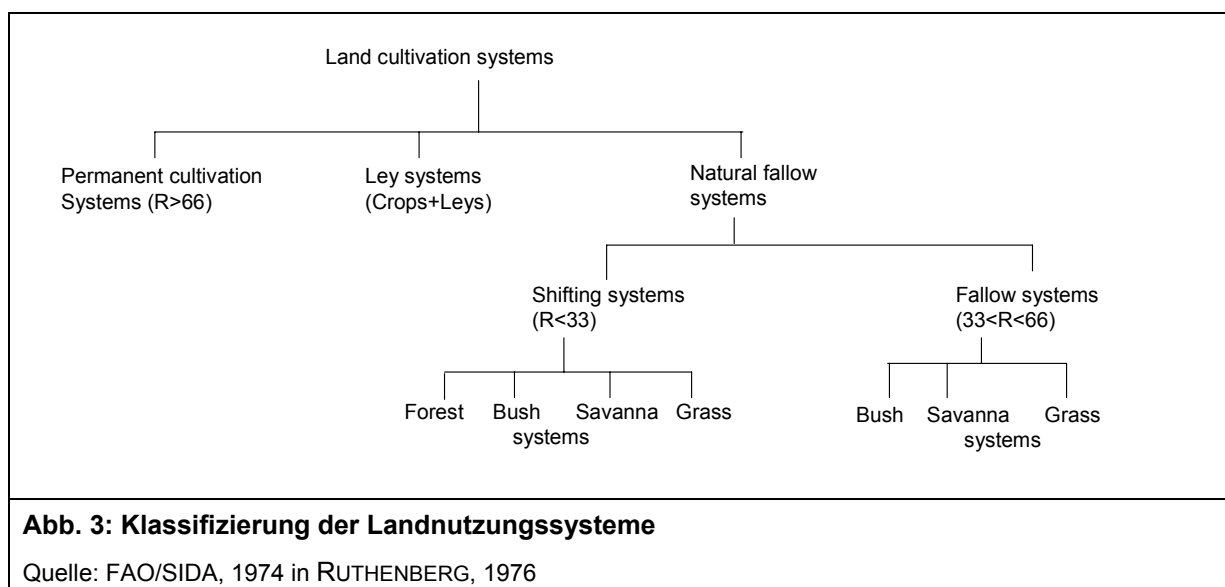
Die Begriffe Ökosystem, Landnutzungssystem und landwirtschaftliches System (*farming system*) werden wiederholt verwendet. Es handelt sich dabei um **Systeme**, die eine Gesamtheit von Elementen darstellen, die durch Wechselwirkungen derart mit einander verbunden sind, dass sie als Einheit betrachtet werden können und sich in dieser Hinsicht gegenüber der sie umgebenden Umwelt abgrenzen. Die Grenzziehung und die Maßstabsebene unterscheiden die Systeme voneinander. So liegt die Grenze der landwirtschaftlichen Systeme dort, wo keine landwirtschaftlichen Eingriffe mehr erfolgen, die der Landnutzungssysteme dort, wo keine menschliche Nutzung mehr stattfindet. Als Maßstabsebene kann entweder ein einzelnes Feld oder auch ein großes Gebiet gewählt werden, wobei es sich sowohl bei ersterem als auch bei zweitem um ein Ökosystem handelt:

**Ökosystem** ist die funktionelle Einheit aus Lebewesen (Biozönose) und Lebensraum (Biotop), gekennzeichnet durch stoffliche, energetische und informatorische Wechselwirkungen zwischen den Organismen untereinander und mit ihrer Umwelt.<sup>3</sup>

Auch die Klassifizierung von Landnutzungssystemen fällt je nach Gesichtspunkt anders aus. So kann die Klassifizierung nach Art der Rotation, der Wasserversorgung, der Kulturschemata, dem Grad der Inputanwendung und der Kommerzialisierung erfolgen (RUTHENBERG, 1976). Für diese Arbeit ist die Klassifizierung nach dem Grad der Landnutzungsintensität gewählt. Diese wird vor allem durch die Dauer der Brache bestimmt und kann anhand des **Ruthenberg-Index R** charakterisiert werden. R stellt das Verhältnis von kultivierter Fläche C zu insgesamt zur Kultivierung verfügbarem Land (C+F) dar:

$C/(C+F) * 100$  (RUTHENBERG, 1976).

Einen Überblick über die Landnutzungssysteme gibt die Abbildung.



## 2.2 Landnutzungsänderung und die Folgen für Ökosystemfunktionen

Vegetationsänderungen finden seit Menschengedenken statt, nehmen in ihrer Geschwindigkeit jedoch seit den letzten Dekaden dramatisch zu (KATES et al., 2003 in BELLARBY et al., 2008; MEA, 2005). Die Geschwindigkeit des Prozesses wird von demographischen Faktoren, Technologie, Ressourcenmanagement, Infrastruktur, Institutionen und politischen Rahmenbedingungen bestimmt (SANCHEZ et al., 2005). Zuerst

<sup>3</sup>Quelle: Umweltdatenbank: <http://www.umweltdatenbank.de/lexikon/oekosystem.htm>

kommt es zur Ausdehnung der landwirtschaftlichen Fläche auf Kosten von Wäldern und natürlichen Vegetationsformen bis aufgrund der Verknappung der Landressourcen der Druck zur Intensivierung steigt. Die gesteigerte Bodennutzung führt letztendlich zur Degradation der Ökosysteme (IGUE et al., 2000b).

MULINDABIGWI (2005) teilt den Prozess der Landnutzungsänderung von extensiver Brachewirtschaft bis intensiven Landbau in fünf Phasen ein.

**Tab. 1: Phases et caractéristiques de l'évolution écologique et socio-économique de l'utilisation des terre**

Caractéristiques	Phase I	Phase II (Doguè)	Phase III (Sérou)	Phase IV (Mono)	Phase V (Rwanda)
	<i>Equilibre écologique</i>	<i>Rupture de l'équilibre écologique</i>	<i>Dégradation écologique</i>	<i>Insécurité alimentaire structurelle</i>	<i>Misère et dégradation écologique irréversible</i>
1. <i>Extension des superficies agricoles</i>	peu importante	très importante	importante	insignifiante ou stagnante	stagnante (ou décroissante)
2. <i>Origine des terres défrichées</i>	formations naturelles	formations naturelles, jachères de longue durée	jachères de longue durée, pâturages, dernières formations naturelles	terres marginales, pâturages, jachères de courte durée	jachères de courte durée, (abandon des terres devenues improductives)
3. <i>Systèmes de production agricole</i>	itinérants	principalement à jachères	principalement permanents	exclusivement permanents	exclusivement permanents
4. <i>Dégradation des ressources naturelles</i>	faible dégradation végétale	forte dégradation végétale	forte dégradation végétale et édaphique	très forte dégradation végétale et édaphique	Dégradation irréversible végétale, édaphique et hydrologique
5. <i>Feux de brousses</i>	peu importants	très importants	importants	insignifiants	inexistants
6. <i>Exploitation foncière</i>	illimitée et collective	illimitée et collective	limitée et collective	limitée et individuelle	limitée et individuelle
7. <i>Conflits fonciers</i>	rares	principalement entre collectivités	entre collectivités et entre familles	entre familles et entre individus	principalement entre individus
8. <i>Exode rural et émigration</i>	inexistants	insignifiants	faibles et saisonniers	importants et permanents	très importants et permanents
9. <i>Activités champêtres de l'homme</i>	très importantes	très importantes	importantes	peu importantes	peu importantes
10. <i>Bilan de charge humaine des terres</i>	charge humaine écologique	charge humaine écologique	charge humaine supportable	surcharge humaine	surcharge humaine
11. <i>Production agricole</i>	suffisante	suffisante: disettes rares et conjoncturelles	partiellement suffisante: disettes fréquentes et conjoncturelles	insuffisante: disettes structurelles	très insuffisante: famines structurelles

Quelle : MULINDABIGWI, 2005

So werden zuerst natürliche Systeme umgewandelt und unter *shifting cultivation* (Wanderfeldbau) bewirtschaftet. Damit wird das ökologische Gleichgewicht, oder auch *Eco-climax* (JANSSENS, 2004), in dem der Zustand des Systems über lange Zeit der gleiche bleibt, in einen Menschen gemachten Status umgewandelt, der sich dadurch auszeichnet, dass er ökonomisch produktiver ist. Dieser Zustand wird von JANSSENS als *Agro-climax* bezeichnet, und bedarf ständigen Inputs, um das hohe Output-Level aufrecht zu erhalten (JANSSENS, 2004; RANDALL, 1976 in RUTHENBERG, 1976). Wird ein konvertiertes Land wieder der Natur

überlassen, stellt sich meistens ein weniger produktiver Zustand ein als zuvor (RUTHENBERG, 1976). Mit zunehmender Bevölkerung und steigendem Landbedarf kommt es zur Verkürzung der Brachezeiten, was bei gleichzeitiger Beibehaltung der Biomasseverbrennung (*slash-and-burn agriculture*) zur Erschöpfung der natürlichen Ressourcen und zur Degradation der Systeme führt. Nach FLOQUET (1987 in PREUSS, 1994) kann sich eine landwirtschaftlich genutzte Fläche ohne Zugabe von Nährstoffen regenerieren, solange der Anteil der Brachzeit an einem Rotationszyklus 70% beträgt.

Der positive Zusammenhang zwischen Ertrag und Dauer der Brache ist in den tropischen Agrarwissenschaften schon lange bekannt (IMPETUS, 2006) und führte immer wieder zu der Meinung, dass eine intensiviert Landwirtschaft in den tropischen Breitengraden nicht möglich sei (BOSERUP, 1965). Dies wurde häufig als Bestätigung der Lehre von MALTHUS gedeutet, dass das Bevölkerungswachstum die Tragfähigkeit der Erde übertreffen werde (BOSERUP, 1965). Erst durch die Einführung einer nachhaltigen Intensivierung durch Schaffung von Anreizen für die Farmer, ungenutzte Ressourcenquellen zu erschließen und diese effizient zu nutzen, können sich Ökosysteme und deren Funktionen rehabilitieren und ein hohes Produktionsniveau beibehalten werden (SANCHEZ et al., 2005; RANDALL, 1976 in RUTHENBERG, 1976). Die Einführung verbesserter Landnutzungstechniken haben nach statistischen Angaben der FAO von 1950 bis 2000 1,1 Billionen Hektar Land vor der Konversion geschützt (NAIR, 2007).

Dass die Intensivierung des landwirtschaftlich genutzten Landes unumgänglich ist, um die wachsende Bevölkerung weltweit mit Nahrungsmitteln versorgen zu können, wird von der FAO (2002 in BELLARBY et al., 2008) betont. Verdeutlicht wird der Zwang zur Intensivierung vor dem Hintergrund, dass der größte Anteil des weltweit kultivierbaren Landes mit guter Qualität bereits durch landwirtschaftliche Aktivitäten erschlossen ist (DESJARDINS et al., 2007 in BELLARBY et al., 2008). In Afrika, wo nur 2% des gesamten globalen Düngeverbrauchs genutzt werden<sup>4</sup>, steht mit der nachhaltigen Verwendung von Inputmitteln ein gewaltiges Intensivierungspotential zur Verfügung.

Mit Änderung der Landnutzung gehen automatisch Änderungen der Ökosysteme und ihrer Funktionen einher. Die Ökosystemleistungen gliedern sich in die Leistungen, die durch die Bereitstellung von Nahrungsmitteln und Wasser entstehen (*Provisioning Services*), in regulative Service wie Klimaregulation (*Regulating Services*) und in kulturelle Service (*Cultural Services*), die ein Ökosystem als Erholungsraum erbringt. Diese Funktionen basieren auf den unterstützenden Leistungen wie Nährstoffkreisläufen und

---

<sup>4</sup>Quelle : International Fertilizer Industry Association :  
<http://www.fertilizer.org/ifa/statistics/indicators/tablenpk.asp>

Bodenbeschaffenheiten (*Supporting Service*) (MEA, 2005). Wie die Ökosysteme im Einzelnen auf Änderungen der Landnutzung reagieren, ist von klimatischen, ökologischen und topographischen Faktoren abhängig (DEFRIES, 2006).

In den letzten zwei Jahrzehnten wurde vermehrt Forschung zur Identifizierung der Ursachen von Landnutzungsänderungen und deren Wirkungen auf die ökologischen Funktionen betrieben. Dabei entstand die allgemeine Meinung, dass es sich um ein *trade-off* zwischen der Versorgungs- und Umweltleistung handelt, der dem menschlichen Überleben dient aber zur Degradation der Umwelt führt (DEFRIES, 2006; DENG, 2007).

Auch BAEUMER (1992) beschreibt den permanenten Zielkonflikt zwischen ökonomisch maximal möglichem Erfolg und dem Verzicht auf diesen Erfolg zugunsten ökologisch begründeter Ziele. Um diesen Konflikt zu lösen, wurden schon Anfang des 19. Jahrhunderts Theorien zur optimalen Gestaltung eines Betriebes erstellt. THAER (1809 in BAEUMER, 1992) fordert eine Landnutzung, in der „die Kraft des Bodens, der Ertrag der Ernte und die Erschöpfung des Bodens gegeneinander stehen“. Auch v. WULFFEN (1823 in BAEUMER, 1992) spricht von der „Statik des Landbaus“, bei der ein Betrieb im Gleichgewichtszustand zwischen Nährstoffentzug und Nährstoffzufuhr steht, im so genannten „Beharrungspunkt“. Dieser Beharrungspunkt entspricht dem Konzept des *Agro-klimax*, welches einen hoch produktiven Zustand eines landwirtschaftlichen Systems beschreibt, in dem Input und Output im Gleichgewicht sind (JANSSENS, 2004).

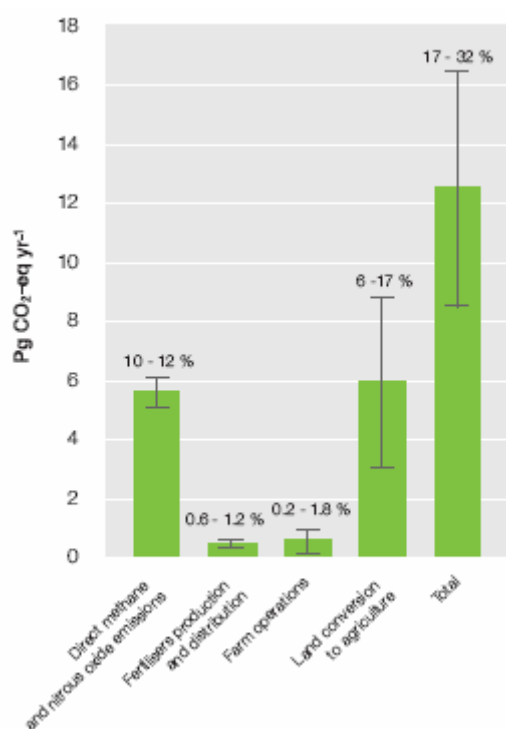
Der *trade-off* zwischen Lebensmittelproduktion und Erhalt der Ökosystemkapazität wird dadurch verstärkt, dass ökologische Leistungen nicht über den Markt bewertet werden (SACHS, 2005b). Eine weit verbreitete ökonomische Meinung ist, dass die Lösung von Umweltdegradation darin liegt, die Service der jeweiligen Ökosysteme monetär zu bewerten. Um diesen Schritt gehen zu können, müssen umfangreiche wissenschaftliche Analysen durchgeführt werden, die eine verlässliche Aussage über den tatsächlichen Wert eines Ökosystems geben können (SACHS, 2005b). So entstand eine Vielzahl von Indikatoren, die sich mehr oder weniger für eine Bewertung der Ökosysteme hinsichtlich derer Funktionen eignen. Ein befriedigendes Set von Indikatoren ist noch nicht vorhanden (HAIRIAH et al., 2005)

## 2.3 Ökologische Funktionen und deren Indikatoren

Im Fokus dieser Arbeit stehen die *Regulating Ecosystem Services*. Hierzu ist vor allem die Klimaregulation durch CO<sub>2</sub>-Bindung und Wasserrecycling zu zählen. Wie im vorangegangenen Kapitel erläutert, ist die Landnutzung einem permanenten Intensivierungsprozess unterlegen, der sich in den letzten Jahren immer weiter beschleunigt.

Gerade die regulierende Leistung der Ökosysteme nimmt durch diesen Prozess kontinuierlich ab, was langfristige Auswirkung auf das Klima hat. Doch werden mit intensiver Landnutzung nicht nur ökologische Funktionen wie CO<sub>2</sub>-Bindung und Wasserrecycling beeinträchtigt, sondern es wird auch ein massiver Beitrag zur Treibhausgasemission (THG) geleistet. In der aktuellen Debatte über den Klimawandel rückt die Landnutzung wieder in den Vordergrund und damit die Forderung, die Position der Landwirtschaft als zweitgrößten Treibhausgasemittent zur Kohlenstoffsенке zu ändern (BELLARBY et al., 2008). Dass der Anstieg der THG Konzentration in der Atmosphäre an klimatischen Veränderungen wie Änderungen der Niederschlagsregime und Anstieg der Temperaturen beteiligt ist, ist mittlerweile unumstritten (IPCC, 2007).

Der Anteil der THG Emissionen, der von der Landwirtschaft ausgeht, wird global auf 17-32% geschätzt. Dieser besteht hauptsächlich aus Methan, Stickoxiden und Kohlendioxid.



**Abb. 4: Beitrag der Landwirtschaft zur globalen THG-Emission**

Quelle: BELLARBY et al., 2008

Methanemissionen aus der Landwirtschaft machen 50 % und Stickoxide sogar 60 % der globalen anthropogenen Emissionen aus (IPCC, 2007 in BELLARBY et al., 2008). Trotz der hohen Austauschrate von CO<sub>2</sub> zwischen Atmosphäre und genutztem Land wird der Nettofluss als fast ausgeglichen angenommen (IPCC, 2007).

Neben den Emissionen von Methan, die mit der Tierproduktion verknüpft sind, und Stickoxiden aus Böden, spielen die Emissionen, die bei der Biomasseverbrennung entstehen, eine große Rolle. Diese stammen zu 74 % aus Sub-Sahara Afrika (US-EPA, 2006 in BELLARBY et al., 2008), da Entwaldung in den Tropen und die Umwandlung von Wald in Ackerland hauptsächlich als Brandrodung praktiziert werden (IPCC, 2000 in PUIG, 2005).

## Biomasse

Um den Verlust an Ökosystemfunktionen einerseits und den Beitrag zu THG Emissionen andererseits, die mit einer Landnutzungsänderung einhergehen, quantifizieren zu können, stellt die Biomasseschätzung eine wichtige Maßnahme dar. Die Ermittlung von Biomasse ist zurzeit der wichtigste Schritt, Ökosysteme hinsichtlich ihrer Umweltfunktionen zu bewerten. Gerade tropische Systeme haben aufgrund ihrer hohen Biomassevolumina per Hektar eine

gewaltige Senkenkapazität für Kohlenstoffdioxid (KEELING, 2007; LUGO und BROWN, 1992 in TORRICO, 2006). Folglich haben Veränderungen der tropischen Ökosysteme und damit der Kohlenstoffsenken einen Einfluss auf das globale Klima (KEELING, 2007). Oberirdische Biomasse funktioniert als Kohlenstoffakkumulator und somit entweder als permanente Senke oder als Energieträger. Vorteil des Energieträgers ist die Kohlenstoffneutralität, da das bei der Verbrennung freigesetzte CO<sub>2</sub> zuvor in der organischen Masse gebunden war.

Landnutzungssysteme unterscheiden sich dabei ganz wesentlich in ihrer Fähigkeit, Biomasse und damit Nährstoffe und Kohlenstoff akkumulieren zu können. MELILLO et al. (1996 in MULINDAGBIGWI, 2005) sagen aus, dass ein Waldökosystem 20-30-mal mehr Kohlenstoff per Einheit Fläche speichern kann als landwirtschaftlich genutzte Fläche. Die Kohlenstofffixierung von Wäldern ist jedoch ein endlicher Prozess, der bei Etablierung einer Klimaxvegetation, bei der sich alle metabolischen Prozesse im Gleichgewicht befinden, zum Stillstand kommt (PUIG, 2005). Sekundärwälder und Plantagen, die sich durch eine hohe Produktivität auszeichnen, haben in diesem Sinne ein höheres Bindungspotential (PUIG, 2005). WINTERBOTTOM und HALZWOOD (1987 in MULINDAGBIGWI, 2005) vermuten, dass *Agroforestry* eine gute Alternative zur Waldrodung und dem Wanderfeldbau darstellt, und somit ein großes Potential der Kohlenstoffbindung auf landwirtschaftlich genutzter Fläche trägt.

Land unter annuellen Kulturen hat zwar die geringste Kohlenstoffkonzentration bietet aber dadurch das größte Potential, die Kohlenstoffbindung durch Änderungen der Landnutzungspraktiken zu erhöhen. Vor allem die Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes in landwirtschaftlich genutzten Böden bietet den größten Beitrag zur Minderung der Emissionen in der Landwirtschaft (SMITH et al., 2007 in BELLARBY et al., 2008). Dabei adressieren ANDRASKO et al. (1991 in INNES, 2000) besonders das Problem der Biomasseverbrennung und dessen Einfluss auf die Atmosphäre. Gefordert werden anstatt des Feuergebrauchs nachhaltige Landnutzungspraktiken, die auf einer effizienten Energienutzung beruhen.

Insgesamt kann der Beitrag zu den Treibhausgasen durch Landnutzungsänderungen als der am schwersten einzuschätzende Teil bezeichnet werden (BELLARBY et al., 2008), was vor allem darauf zurück zu führen ist, dass die Schätzung der Biomasse von Ökosystemen eine große Herausforderung darstellt.

Das größte Problem bei der Biomasseermittlung bleibt die Methode. Da die direkte Biomassebestimmung destruktive Eingriffe in ein Ökosystem impliziert, wurden Allometrieformeln entwickelt, die auf repräsentativen, destruktiv ermittelten Biomasseproben basieren. So kann anhand von Struktureigenschaften der Bäume deren Biomasse geschätzt werden (BROWN, 1997; KETTERINGS, 2001). Von diesen Schätzungen ist jedoch die Nicht-Baum Vegetation ausgeschlossen, was vor allem in lichten Wäldern, in denen der

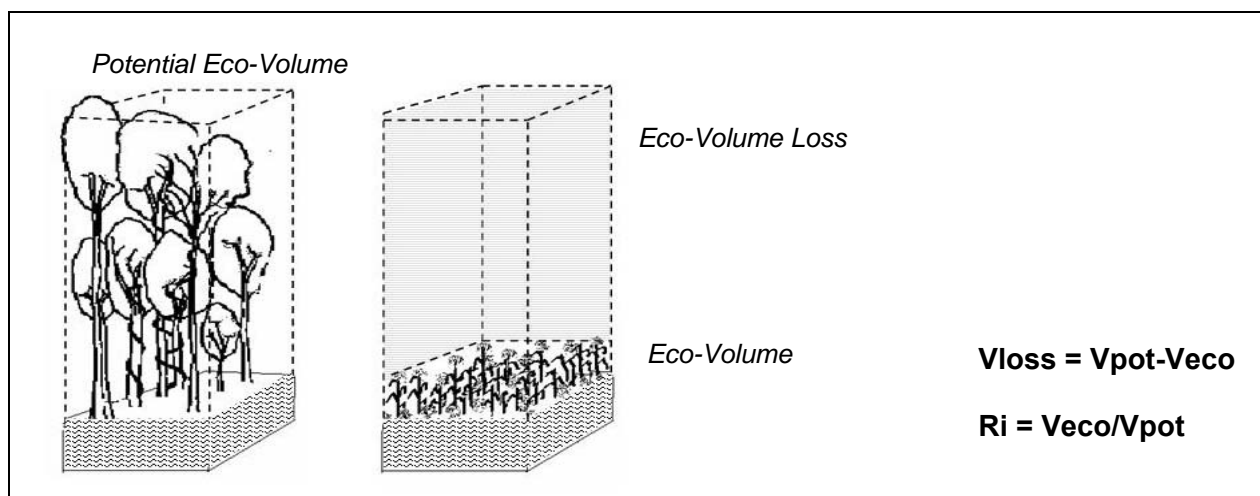
Unterwuchs maßgeblich zur gesamten Biomasse beiträgt, zu einer strukturellen Unterschätzung der Biomasse führt (KEELING, 2007).

### Ökovolumen

Bisherige allometrische Relationen, in denen die Produktivität einer Vegetation mit dessen Masse gelinkt wird, vernachlässigen, dass der Energiefluss auch eine Funktion der umgebenden Vegetation ist. Deswegen wird in aktuellen Forschungen die Bedeutung der Vegetation im Raum betont (ENQUIST, 2002). Dem wird mit dem Ansatz des Ökovolumens gerecht; Das heißt das Volumen, in dem sich eine Pflanze metabolisch am effizientesten entwickelt. Dieser Ansatz folgt der Annahme, dass Pflanzengemeinschaften mehr darauf ausgerichtet sind, Raum einzunehmen als Gewicht zu gewinnen (JANSSENS, 2004). Der Raum, in dem sich eine Vegetation entwickelt, wird somit betrachtet.

*“Eco-volume is the aboveground quantifiable volume limited by the uniform vegetable composition and its height, in which coexist and wide interactions are developed among biotic and abiotic components. This concept emphasizes the interrelationships between species living within the boundaries of a volume, and encompasses a biocenosis to specific conditions in a given place” (JANSSENS, 2004 in TORRICO, 2006a)*

So soll Ökovolumen nicht nur ein einfach zu ermittelnder integrativer Indikator für die Diskriminierung von Vegetationstypen und *farming systems* sein (JANSSENS, 2004), sondern auch ein „effektiver und wichtiger Parameter, um ökologische Funktionen (Ökosystemkapazität) und Qualität natürlicher und landwirtschaftlicher Systeme messen zu können“ (TORRICO, 2006). Außerdem ermöglicht dieser Parameter, die „Resilienz von landwirtschaftlichen und natürlichen Systemen zu ermitteln“ (TORRICO, 2006a). Der daraus resultierende **Resilienz-Index Ri** beschreibt das Verhältnis von aktuellem Ökovolumen eines Ökosystems zu dem für eine Region potentiell möglichen Ökovolumen (TORRICO, 2006a).



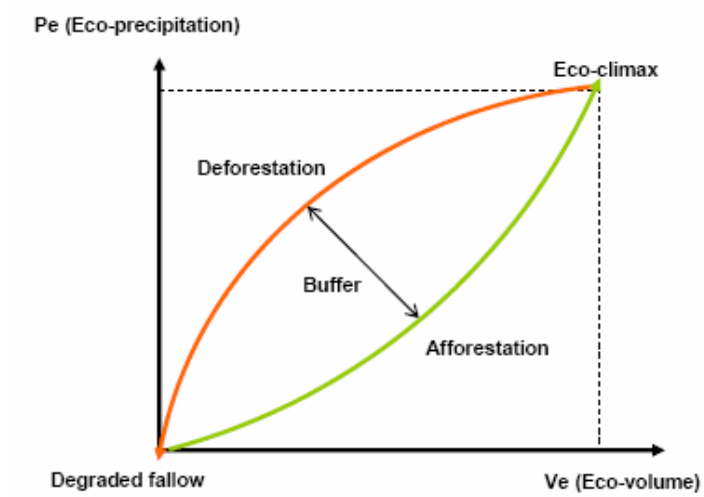
**Abb. 5: Veranschaulichung des Ökovolumenkonzeptes**

Quelle: TORRICO, 2006a

Mit Resilienz wird die Kapazität eines Ökosystems beschrieben, zu einem ursprünglichen guten Zustand zurückzukehren. Resilienz kann auch als Puffer gegen Umweltänderungen und Störungen bezeichnet werden (VERGANO, 2006 in TORRICO, 2006). Somit handelt es sich hierbei nicht direkt um eine ökologische Funktion, sondern um die Fähigkeit eines Ökosystems, auch bei Störungen die gleiche Leistung beizubehalten. Dabei kann gesagt werden, dass die Fähigkeit zur Selbstregulation umso geringer ist, je höher die Fremdregulation ausfällt (BAEUMER, 1992). Damit besitzen intensiv genutzte Agrarökosysteme die geringste Resilienz.

### Ökoniederschlag

Dass durch Biomassemanagement das Mikroklima beeinflusst werden kann, ist in der landwirtschaftlichen Praxis lange bekannt (BEETS, 1990). Auch auf höherer Ebene sind Zusammenhänge zwischen Vegetation und Niederschlag erwiesen. So nimmt die Evapotranspiration mit schwindender Vegetationsdecke ab und führt zu einem wärmeren und trockneren Klima (DEFRIES, 2006). Andersherum generiert zusätzliche Vegetation zusätzlichen Niederschlag (JANSSENS, 2004). Dieser Zusammenhang soll anhand des Ökovolumens ausgedrückt werden, in dem Sinne, dass Ökovolumen einen direkten Einfluss auf die lokale Niederschlagsgenerierung habe. Diese Beziehung wird durch eine Hysteresekurve<sup>5</sup> abgebildet (s. Abb.6), die aussagt, dass je mehr Volumen durch Vegetation (*Eco-Volumen*) eingenommen wird, desto höher der zusätzlich generierte Niederschlag (*Eco-Precipitation*). Der Puffer zwischen Ökovolumenänderung und Auswirkung auf den Niederschlag hängt von der Vitalität und Resilienz der Ökosysteme ab.



**Abb. 6: Beziehung zwischen Ökovolumen und Öko-Niederschlag**

Quelle: JANSSENS et al., 2004

<sup>5</sup> Hysterese bezeichnet das Fortdauern einer Wirkung nach Wegfall ihrer Ursache und tritt vor allem bei Regelungsvorgängen auf

DENG (2007) führte Regressionsanalysen mit Ökovolumen- und Niederschlagsdaten über 62 Kommunen in Benin durch und erkannte eine signifikante Korrelation von 26%. Häufige Kritik an dem Modell ist jedoch, dass der Niederschlag nicht zwangsläufig dort fällt, wo er generiert wird und man deshalb nicht von lokalem Ökovolumen auf lokales Niederschlagsverhalten schließen könne (mündliche Aussage, 2007).

Ein weiterer Ansatz, Landnutzungssysteme hinsichtlich ihrer ökologischen Funktionen zu bewerten, bietet die Aufstellung von Energiebilanzen. Einerseits konsumiert die Landwirtschaft große Mengen an Energie, produziert auf der anderen Seite aber auch wesentliche Mengen in Form von Nahrung, Brennholz, Biomasse (LANSINK et al., 2002 in TORRICO, 2006b).

Nach MRINI et al. (2002 in BELLARBY et al., 2008) und TORRICO (2006a) schneiden traditionelle Systeme in ihrer Energiebilanz besser ab. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass es sich dabei um die Energiebilanz eines produzierten Produktes handelt und nicht um die einer Fläche (BELLARBY et al., 2008). Um eine genauere Abschätzung der Energieeffizienz gewährleisten zu können, muss der Vorteil der Intensivierung landwirtschaftlicher Nutzung, nämlich dass eine Flächenexpansion auf Kosten natürlicher Ökosystem verhindert wird, dem Nachteil des erhöhten Inputbedarfs gegenübergestellt werden. Letztendlich entscheidet die Landnutzungspraxis darüber, ob intensiv bewirtschaftetes Land eine positive oder negative Bilanz hat. Dass eine verbesserte Energienutzungseffizienz bei den klimatischen Veränderungen und dem steigendem Energieverbrauch bei gleichzeitig steigenden Preisen unumgänglich ist, sollte unumstritten sein (TORRICO, 2006a).

## **2.4 Treibende Kräfte der Landnutzungsänderung**

Nach der Beschreibung der Auswirkungen von Landnutzungsänderungen auf die Ökosystemfunktionen bleibt die Erörterung der Ursachen. Die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen Ursache und Wirkung ist elementar, um die Vorteile der unumgänglichen Landnutzungsänderung für die Gesellschaft nutzen und mögliche negative Effekte für die Umwelt abwehren zu können (DEFRIES, 2006).

Nach RUTHENBERG (1976) sind Landwirtschaftssysteme sowohl Ökosysteme als auch Teil ökonomischer Aktivitäten. Jedes System, das sich durch seine Grenze von der Umwelt separiert, wird von externen Effekten beeinflusst. Die Elastizität der Agrarsysteme variiert stark, wobei der Rotationslandbau zu den unelastischen Systemen gehört. Damit können Landnutzungssysteme, solange sie nur der Subsistenz dienen, als weitgehend von der ökonomischen Umwelt unabhängig bezeichnet werden (RUTHENBERG, 1976).

Auch CAMBELL (1998 in TORRICO, 2006) positioniert die Landwirtschaft an der Schnittstelle von Natur und Ökonomie. Die landwirtschaftliche Produktion beruht auf dem Verbrauch von natürlichen Ressourcen und ökonomischem Input, wobei die Intensitätsstufe der Landnutzung den Schwerpunkt variiert. Der Trend der Intensivierung der Landwirtschaft führt zu einer immer stärker werdenden Abhängigkeit von ökonomischen Faktoren.

Wiederholt wurde versucht, diese Abhängigkeit der Landnutzungssysteme von ihrer sozioökonomischen Umwelt in ihrer Komplexität zu erfassen. Doch die Aufzählung von Faktoren scheint häufig ungeordnet und unvollständig. So nennen SANCHEZ et al. (2005) demographische Faktoren, Technologie, Ressourcenmanagement, Infrastruktur, Institutionen und politische Rahmenbedingungen als treibende Kräfte der Landnutzungsänderungen, RUTHENBERG (1976) spricht von natürlichen Bedingungen, Informationen und Wissen, institutioneller und ökonomischer Umwelt und DEFRIES (2006) betont ökologische und demographische Konditionen, Konsummuster, ökonomische Kräften und Politiken. Die Einteilung nach natürlichen und sozioökonomischen Faktoren, wie FRESCO (1985) sie vornimmt, erleichtert den Überblick.

**Tab. 1: Facteurs déterminants des systèmes de production agricoles**

Naturels		Socio-économiques	
Physiques	Biologiques	Endogènes	Exogènes
Climat	Plante	Composition familiale	Population
Topographie	Elevage	Santé et nutrition	Droit foncier
Sols	Ravageurs	Education	Opportunités en dehors de l'exploitation
Structure physique	Maladies	Préférences alimentaires	Infrastructures sociales
		Risques	Crédit
		Attitudes/objectifs	Marché
		Genre	Prix
			Technologie
			Approvisionnement en intrants
			Vulgarisation
			Epargnes

Quelle: FRESCO, 1985 zitiert von BEETS, 1990 in MULINDABIGWI, 2005

So bestimmen naturräumliche und klimatische Gegebenheiten, welche Agrarökosysteme in einem Gebiet gedeihen können, während die sozioökonomischen Faktoren den Intensitäts- und Effizienzgrad der Nutzung bestimmen.

Welches nun die maßgeblichen Faktoren sind, ist wiederum schwer zu identifizieren. BARBIER (1998) meint, das Kernproblem der Landdegradation sei in der Ökonomie zu

suchen und auch SCHLAUDERER (2000) nennt als größtes Problem den mangelnden Zugang zu Kapital. Bevölkerungsdichte und Marktzugang sind nach BINSWANGER und MCINTIRE (1987 in IGUE et al., 2000b) treibende Faktoren von Landnutzungsänderungen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass diese Faktoren unterschiedliche Auswirkungen haben können. So führt steigende Bevölkerungsdichte eher zur Expansion der landwirtschaftlich genutzten Fläche, währenddessen verbesserter Marktzugang die Intensivierung der Landwirtschaft vorantreiben wird (SMITH und WEBER, 1994 in IGUE et al., 2000b). Ob die Intensivierung nachhaltig geschieht, ist weiterhin von Rahmenbedingungen abhängig. Ist den Farmern der Zugang zu neuen Techniken und Wissen ermöglicht und wird die Adaption von Innovationen durch ökonomische Anreize gefördert, so ist ein Wandel der Landnutzung in Richtung Nachhaltigkeit nicht unwahrscheinlich (IGUE et al., 2000b).

BOSERUP (1965) vertritt die These, dass das Bevölkerungswachstum der grundlegende Faktor aller Veränderungen in der Landwirtschaft selber und in dessen Umwelt sei. Der Prozess der Landdegradation, durch steigende Bevölkerungszahl induziert, wird an einen Punkt gelangen, an dem die hohe Bevölkerungsdichte Innovationen nachhaltiger Landnutzungspraktiken ermöglicht. Dieser Prozess wird von HAYAMI und RUTTAN (1985 in SANCHEZ, 2005) als „induzierte institutionelle Innovation“ bezeichnet.

Eine weitere Einteilung in direkte und indirekte Ursachen von Landnutzungsänderung und Landdegradation scheint nötig. GEIST und LAMBIN (2002 in WORLDBANK, 2006) und GREENLAND und NABHAN (2001) legen den direkten Faktoren wie Waldrodung, Übergrasung, Rotationslandbau mit Brandrodung und nichtnachhaltigem Ressourcenmanagement indirekte ökonomische, demographische, technologische, politische und kulturelle Faktoren zugrunde. Doch bleibt das Problem, dass Ursache und Wirkung schwer von einander abzugrenzen sind und reziproke Zusammenhänge anzunehmen sind. Landnutzungssysteme sind nicht nur eine Funktion der Umwelt, sondern beeinflussen auch spürbar die Umwelt (MEA, 2005). So sind die von DEFRIES (2006) genannten Konsequenzen von Landnutzungsänderungen (menschliche Gesundheit, Hydrologie, Biodiversität, Bodenfruchtbarkeit) den von FRESCO genannten Ursachen sehr nahe. Auch aus der folgenden Abbildung wird deutlich, dass es sich um eine Vielzahl von Faktoren handelt, die sich gegenseitig beeinflussen.

Die Nutzung der Ökosystemfunktionen in Form von Verbrauch natürlicher Ressourcen hat direkten Einfluss auf das Wohlbefinden der Menschheit. Dies hat demographische und ökonomische Implikationen, die die Art der Landnutzung beeinflussen und eine Alternierung der Ökosystemleistungen hervorrufen.



***Vulnerability** is defined as the extent to which climate change may damage or harm a system. It depends not only on a system's sensitivity but also on its ability to adapt to new climate conditions. (IPCC, 1995 in GOMMES, 1998)*

Insgesamt kann der optimistischen Annahme gefolgt werden, dass sich die landwirtschaftliche Produktion der globalen Erwärmung anpassen wird, doch muss beachtet werden, dass die Verwundbarkeit zwischen Regionen stark variieren kann. Gerade in Afrika wird aufgrund von fehlender Institutionen ein steigendes Risiko erwartet (IPCC, 2007).

Bei dem Anpassungsprozess darf der Farmer als Entscheidungsträger nicht vergessen werden. Nach RUTHENBERG (1976) heißt es, dass die Entscheidungen der Farmer häufig rationaler Art sind und dass diese von veränderten Rahmenbedingungen beeinflusst werden, solange der ökonomische Nutzen den Aufwand deckt. Ob Innovationen von den Farmern letztendlich angenommen werden, hängt von verschiedenen Faktoren ab, die in dem jeweiligen sozialen Kontext eingebettet sind (NAIR, 1990).

Aus der Darlegung der Komplexität der Interaktionen zwischen Landnutzungssystemen und systemexternen Einflussgrößen, sollte deutlich geworden sein, dass die Entwicklung von Handlungsoptionen auf globaler Ebene kaum möglich ist. An welchen Stellen welche Strategien angewandt und welche Interventionen getätigt werden müssen (s. Abb.7), um eine für Umwelt und Mensch nachhaltige Landwirtschaft zu fördern, muss auf nationaler und regionaler Ebene entschieden werden, wozu eine umfassende Analyse der Landnutzungssysteme und dessen Umwelt erforderlich ist.

## 2.5 Aus der Theorie abgeleitete Forschungsfragen für die empirische Untersuchung

Aus dem dargelegten theoretischen Fundament, verknüpft mit dem Erkenntnisinteresse im Rahmen des IMPETUS Projektes, ergänzt durch persönliche Schwerpunkte ergab sich ein Hypothesengerüst, das als Leitfaden der empirischen Forschung und dem Aufbau dieser Arbeit diene.

Forschungsaussagen sollten auf ihre Validität geprüft und gegebenenfalls durch neue Erkenntnisse ergänzt werden.

**Zielsetzung 1:** Beschreibende Darstellung der Landnutzungssysteme am Fallbeispiel *Ketou*: Bestimmung des Intensivierungsgrades der Landnutzung und der Nachhaltigkeit der landbaulichen Techniken.

**Hypothese 1:** Bei den Landnutzungssystemen in *Ketou* handelt es sich um eine wenig technologisierte Landnutzung, die aufgrund des Bevölkerungswachstums und dem einhergehenden Zwang zur Intensivierung in der Degradation der Ökosysteme mündet.

**Zielsetzung 2:** Vergleichende Darstellung der Landnutzungssysteme anhand der Kenngrößen Ökovolumen, Biovolumen und Biomasse. Prüfung dieser auf ihre Eignung als Indikatoren von ökologischen Funktionen.

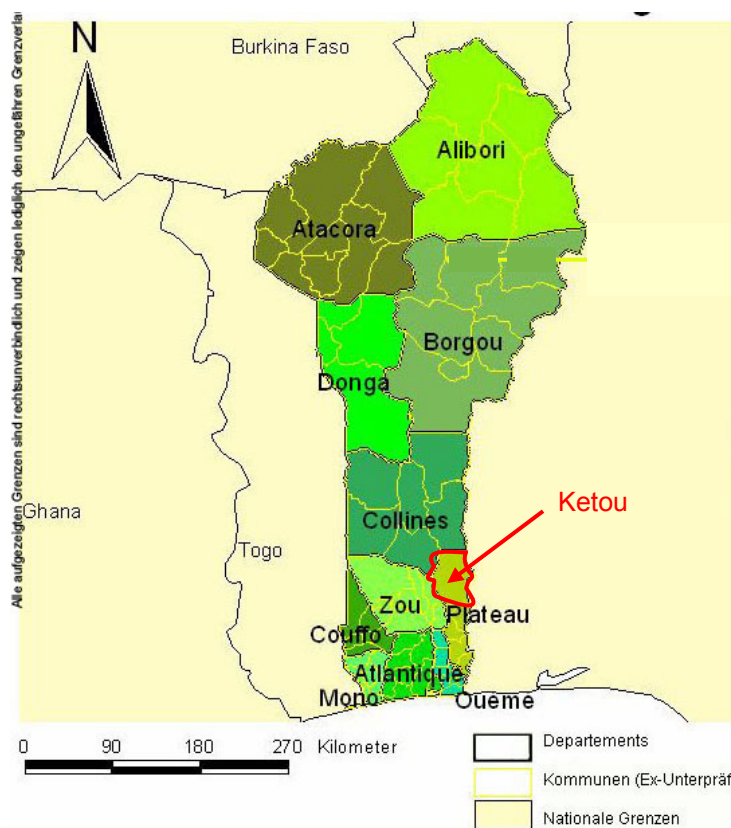
**Hypothese 2:** Die Kenngrößen Ökovolumen, Biovolumen und Biomasse zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Landnutzungssystemen auf und liefern Information über deren Beschaffenheit und Qualität. Aus diesen Informationen lassen sich Aussagen über die Funktionsleistung der Ökosysteme ableiten.

**Zielsetzung 3:** Erfassung des Landwirten in seiner Umwelt, seine Handlungsentscheidungen, Ursachen und Wirkungen.

**Hypothese 3:** Die Landwirte in *Ketou* sind durch sozioökonomische Rahmenbedingungen stark in ihrer Handlungsfähigkeit eingeschränkt und tragen somit maßgeblich zum *trade-off* zwischen Ökosystemfunktionen und Nahrungsmittelproduktion bei.

### 3 Untersuchungskontext

In diesem Kapitel werden die für die Untersuchung bedeutsamen wirtschaftlichen und natürlichen Charakteristiken Benins und der Gemeinde *Ketou* dargestellt.



Benin grenzt an Burkina Faso, Niger, Nigeria, Togo und den Golf von Guinea. Seit 1999 gliedert sich das Land in 12 Departements, die sich in 77 Gemeinden unterteilen. Weitere Aufteilung erfolgt nach Bezirken und schließlich nach Dörfern.

Die Bevölkerungszahl wurde 2006 auf 8,5 Mio.<sup>6</sup> mit einer Wachstumsrate von 3,1% geschätzt. Die Bevölkerung setzt sich aus 42 verschiedenen ethnischen Gruppen (u.a. 40% Fon, 15% Adja, 12% Yoruba, 9% Bariba) zusammen. Französisch ist neben zahlreichen lokalen Sprachen die Amtssprache.

Mit einem Pro-Kopf Einkommen kleiner als 500€ pro Jahr gehört Benin zu den ärmsten Ländern der Erde (AUSWÄRTIGES AMT, 2008<sup>7</sup>).

**Abb. 8: Republik Benin**

Quelle: modifiziert nach HELDMANN, 2002

#### 3.1 Naturräumliche Einteilung

Benin, dessen Staatsgebiet von 112,622 km<sup>2</sup> zwischen dem 6. und 12. Grad nördlicher Breite und dem 1. und 4. Grad östlicher Länge liegt, verfügt aufgrund seiner ausgeprägten Nord-Süd-Ausdehnung über eine Vielzahl unterschiedlicher agro-ökologischer Zonen, die sich klimatisch grob dreiteilen lassen. Der Süden des Landes (Atlantique, Mono, Ouémé, Couffo, Plateau) gehört mit zwei Regen- und zwei Trockenzeiten zu den wechselfeuchten

<sup>6</sup> Quelle: The World Bank Group, 2007a ([http://devdata.worldbank.org/AAG/ben\\_aag.pdf](http://devdata.worldbank.org/AAG/ben_aag.pdf))

<sup>7</sup> Quelle: Auswärtiges Amt, 2008 (<http://www.auswaertiges-amt.de/diplo/de/Laenderinformationen/Benin/Wirtschaft.html>)

Tropen der **Guineazone**, der Norden (Atacora, Donga, Borgou, Alibori) ist aufgrund des monomodalen Niederschlagsregims der **Sudanzone** zuzuordnen. Der zentrale Teil Benins (Zou, Collines) wird als **Transitionszone** beschrieben, wobei von Süden nach Norden mit abnehmenden Niederschlägen zu rechnen ist. Die durchschnittliche Niederschlagsmenge liegt für Benin zwischen 1000 und 1400 mm (FAO Clim, 2000).

Eine genauere Einteilung der agro-ökologischen Zonen nahm das Ministerium für ländliche Entwicklung (*Ministère développement rural* MDR) vor. So entstanden 8 unterschiedliche Gebiete, die sich durch relativ homogene Böden und klimatische Bedingungen auszeichnen (DENG, 2007). Von Norden nach Süden lassen sich folgende Differenzierungen treffen: 1) *Zone de l'Extrême Nord Bénin* und 2) *Zone Ouest Atakora* zeichnen sich durch ungünstige Bedingungen für die landwirtschaftliche Produktion aus, 3) *Zone Cotonnière du Nord Bénin* und 4) *Zone Vivrière du Sud Borgou* haben günstigere Produktionsbedingungen. Die 5) *Zone Cotonnière du Centre Bénin* liegt in der Transitionszone, in der je nach Niederschlagsregime bis zu zwei Anbauperioden pro Jahr stattfinden können. Im Süden Benins sind 6) *Zone des Terres de Barre*, 7) *Zone de Pêcheries* und 8) *Zone de la Depression*, in denen intensiver Landbau betrieben wird, zu nennen. Insgesamt nehmen die Bevölkerungsdichte und die Intensität der Landnutzung von Nord nach Süd zu.

### 3.2 Wirtschaft

Die Wirtschaft Benins ist von der Landwirtschaft und dem Handel mit den Nachbarstaaten geprägt. 60 % des ökonomisch aktiven Teils der Bevölkerung arbeiteten 1979 in der Landwirtschaft. Die Annahme, dass sich dieser Anteil in den letzten Jahren nicht wesentlich verändert hat (CASSEHOUIN, 1991 in PREUSS, 1994) entspricht der aktuellen Aussagen des Auswärtigen Amtes, dass mehr als zwei Drittel der Bevölkerung in der Landwirtschaft arbeiten. Der Anteil der Landwirtschaft an der Entstehung des Bruttoinlandsproduktes (BIP) schwankt um 40 %. Die Nahrungsmittelkulturen (Yam, Mais, Maniok, Sorghum, Erdnüsse, Bohnen) nehmen, gefolgt von Viehhaltung und Fischerei, den höchsten Stellenwert ein. Der Preis der Grundnahrungsmittel wird durch ein relativ freies Spiel der Marktkräfte bestimmt, was dazu führt, dass die Preise kurz nach der Ernte zum Teil unter den Produktionskosten liegen. Kurz vor der Ernte erreichen sie einen Höhepunkt, der um bis zu 150% über dem Durchschnittspreis liegen kann (PREUSS, 1994).

Baumwolle ist das „weiße Gold“ Benins und stellt für das rohstoffarme Land die wichtigste Einkommens- und Devisenquelle dar (ENGELS, 2004). Gefördert wird der Sektor durch erhebliche Subventionierung vor- und nachgelagerter Dienstleistungen und durch massive externe Unterstützung (PREUSS, 1994). Nicht nur die Landwirtschaft wird von der Baumwolle

dominiert, sondern auch der noch schwache Industriesektor ist von ihr abhängig. Schätzungsweise wird angenommen, dass die Hälfte der beninischen Bevölkerung direkt oder indirekt von der Baumwolle lebt (ENGELS, 2004). Doch wirft der Baumwollsektor immer geringere Gewinne ab, da der Weltmarktpreis kontinuierlich sinkt und auch interne Probleme zu einer Schwächung des Wirtschaftszweiges führen. Die extreme Abhängigkeit des Außenhandels von der Baumwolle führt zu einer strukturellen Schwäche der beninischen Wirtschaft (AUSWÄRTIGES AMT).

Ein weiteres Exportprodukt ist Palmöl, dessen Produktion aufgrund der Konkurrenz asiatischer Länder auf dem Weltmarkt stetig sinkt (PREUSS, 1994).

Der Dienstleistungssektor erwirtschaftet ungefähr die Hälfte des BIP; Benin ist - v.a. über den Hafen in Cotonou - Transitland für Güter nach Nigeria, Burkina Faso, Niger und Tschad. Die Industrie ist nur schwach entwickelt.

Der informelle Sektor spielt eine sehr große Rolle in der beninischen Wirtschaft, vor allem den Handel mit Nigeria betreffend. Über den Anteil an der Gesamtwirtschaft können keine verlässlichen Angaben gemacht werden (Schätzungen gehen davon aus, dass bis zu 90 % des beninischen Wirtschaftsgeschehens dem informellen Sektor zugerechnet werden muss) (BEHLE, 2006; AUSWÄRTIGES AMT).

Durch das hohe Bevölkerungswachstum verstärkt sich der Druck auf die Umwelt. Der Industrie- und Dienstleistungssektor ist jedoch noch nicht in der Lage, außerhalb der Landwirtschaft genügend neue Arbeitsplätze bereitzustellen. Ökologische Probleme, wie der Rückgang des Waldes, die Überfischung in den Lagunengebieten, die Verarmung der landwirtschaftlich nutzbaren Böden, die zunehmende Luftverschmutzung in den Städten und die Küstenerosion nehmen daher zu (AUSWÄRTIGES AMT).

### **3.2.1 Landwirtschaft**

28,9 % der Landesfläche ist landwirtschaftlich belegt (WORLD INDICATORS DATABASE<sup>8</sup>, 2007). Vor allem der Süden des Landes wird intensiv ackerbaulich genutzt (PREUSS, 1994), folglich konzentriert sich dort auch der Größtteil der Bevölkerung. Verglichen mit der Einteilung nach RUTHENBERG (1976) handelt es sich um Wanderfeldbau im Norden, da dort die Möglichkeit zur Expansion landwirtschaftlich genutzter Flächen weiterhin besteht, und permanenten Feldbau im Süden Benins bei fortschreitender Degradierung der Produktionsgrundlage.

---

<sup>8</sup> Quelle: The World Bank Group, 2007b  
(<http://devdata.worldbank.org/external/CPProfile.asp?PTYPE=CP&CCODE=BEN>)

Diese Kombination, dass die Landwirtschaft das ökonomische Rückgrad der beninischen Ökonomie darstellt (SCHLAUDERER, 2000), sich aber aufgrund eines nichtnachhaltigen Intensivierungsprozesses getrieben durch das Bevölkerungswachstum der eigenen Produktionsgrundlage beraubt, signalisiert eine kritische Situation. Trotz Expansion und Intensivierung landwirtschaftlicher Fläche kann die landwirtschaftliche Produktion kaum mit der Vermehrung der Konsumenten Schritt halten (PREUSS, 1994). Das liegt u.a. daran, dass der hauptsächlich subsistenzorientierte Landwirtschaftssektor einerseits zur Übernutzung der natürlichen Ressourcen führt, andererseits jedoch in keiner Weise das Potential der agro-ökologischen Zonen ausschöpft, da viele Anbauschemata nicht an die natürlichen Bedingungen wie Niederschlag und Bodeneigenschaften angepasst sind (IGUE et al., 2000a).

Die bewirtschaftete Fläche in Benin nimmt zwei Drittel des insgesamt kultivierbaren Bodens ein, was bei der vorherrschenden traditionellen Nutzungsform, die sich durch geringe Produktivität auszeichnet, einen problematischen Zustand darstellt (PREUSS, 1994).

Neben Landmangel gehört unzureichendes Kapital zu den wichtigsten entwicklungshemmenden Faktoren. Vor dem Hintergrund erhöhter saisonaler Schwankung der Niederschlagsmenge, die seit den frühen 70er Jahren in West-Afrika zu beobachten sind (IPCC, 2001 in M'BAREK et al., 2005), erhält auch Wasser wachsende Bedeutung sowohl in ökologischen als auch in ökonomischen Bereichen (M'BAREK et al., 2005). Da 58 % der Wassernachfrage in der Landwirtschaft konsumiert werden (FAO, 2002 in M'BAREK et al., 2005) sorgt die Variabilität des Niederschlagsverhaltens für unsichere Ertragsaussichten der landwirtschaftlichen Produktion (PREUSS, 1994). Erfolgt keine Anpassung der aktuellen Landnutzungspraktiken an das Problem der Landknappheit und der Niederschlagsvariabilität, wird es in Zukunft zu Nahrungsmittelverknappung kommen (M'BAREK et al., 2005). Unterstützende Interventionen des Staates, wie Sicherung der Landnutzungsrechte und Einführung von Techniken für eine nachhaltig intensivierte Landnutzung, sind uneffektiv oder inexistent.

In diesem Zusammenhang ist der CARDER (*Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural*) als Beispiel zu nennen. Der ursprüngliche Gedanke bei der Gründung des CARDER 1969 war, ihm die Zuständigkeit der ländlichen Entwicklung auf regionaler Ebene zu übergeben. Nach dem Prinzip „*training and visit*“ sollte vielen Landwirten Wissen zugänglich gemacht werden (BRÜNTRUP-SEIDEMANN et al., 2000). Tatsächlich aber fand hauptsächlich die Vergabe von Krediten für den Baumwollanbau, anstelle der Informationsvermittlung, statt. In diesem Bereich waren auch die einzigen Umsetzungen der vermittelten Techniken zu verzeichnen, da andere Innovationen aufgrund fehlenden Kapitals nicht angenommen werden konnten. Das Verhältnis zwischen den Beratern und den Farmern, das durch eine starke Hierarchie geprägt ist, und das wenig kundenorientierte

Verhalten der Berater können als hindernde Elemente gesehen werden. Die Ineffizienz des CARDERS und die damit fehlende Verbindung zwischen Forschung und Praxis, ist wiederholt dokumentiert worden (FLOQUER et al., 1994 in PREUSS, 1994; BRÜNTRUP-SEIDEMANN et al., 2000; SCHLAUDERER, 2000).

Auch das Kreditinstitut CLCAM (*Caisse Local de Crédit Mutuel*) verfehlt seinen Zweck, die Landwirte mit der Vergabe von Krediten zu unterstützen. Zwar werden Kredite für den Erwerb von Dünger vergeben, allerdings ist das Institut bei den Farmern aufgrund schlechter Erfahrungen sehr unbeliebt (SCHLAUDERER, 2000). Da die Inputmärkte stark an die Baumwollproduktion gebunden sind, ist es in Gebieten, in denen keine Baumwolle angebaut wird, kaum möglich, Dünger und andere produktionssteigernde Inputmittel für die Nahrungsmittelproduktion zu erwerben (BRÜNTRUP-SEIDEMANN et al., 2000).

### **3.2.2 Forstwirtschaft**

Benin hat im Vergleich mit den anderen Westafrikanischen Ländern ein trockenes Klima, das die Bildung eines dichten, weite Landstriche bedeckenden Regenwaldes verhindert. Die vorhandenen Wälder, meist als *fôret claire* bezeichnet, werden trotzdem intensiv genutzt. Der Anteil der illegalen Holzentnahme aus den Wäldern beläuft sich nach Angaben von SIEBERT (2002) auf 80-90 %. Bleibt die Abholzungsrate auf dem gleichen Niveau, ist zu vermuten, dass die kompletten Holzressourcen Benins in wenigen Jahren aufgebraucht sind (SULSER, 2000 in SIEBERT, 2002). THAMM und MENZ (2002 in M'BAREK et al., 2005) bezifferten die Abnahme des Waldes in den Jahren 1986 bis 2000 von 11 % auf 6 % der gesamten Landesfläche.

Nach offiziellen Angaben liegt der Anteil am BIP, der durch die Nutzung von Holz entsteht, bei 2,8 % (GENERAL WOOD und VENEERS 1997, in SIEBERT 2002). Nach Schätzungen von SIEBERT (2002) beläuft sich dieser auf 16 %, da illegale Transaktionen nicht in der offiziellen Version mit aufgeführt werden. Diese illegalen Machenschaften mit einem hohen Grad an Korruption sind mittlerweile im Forstsektor tief verankert (SIEBERT, 2002).

Die Nutzung des Waldes besteht hauptsächlich aus der Holzentnahme zur Produktion von Holzkohle und zur Weiterverarbeitung zum Konstruktionsholz. Außerdem spielt die Expansion der landwirtschaftlichen Fläche sowie der Bedarf an Weideflächen für Rinder eine große Rolle bei der Konversion von Waldflächen (M'BAREK et al., 2005).

Da Benin zu den weniger entwickelten Ländern gehört und der Standard der Technologie sehr niedrig ist, ist das Land von den Energieträgern Holzkohle und Feuerholz besonders abhängig. Wird dieser Abhängigkeit bei gleichzeitig wachsender Bevölkerung nicht mit alternativen Energieträgern begegnet, ist ein ernstzunehmendes Brennholzproblem abzusehen (SIEBERT, 2002).

### 3.3 Ketou als Fallbeispiel

Die Gemeinde *Ketou* ist in dem Departement *Plateau* situiert (s. Abb.8), und breitet sich mit einer Fläche von 1775 km<sup>2</sup> zwischen den Breitengraden N7°10 und 7°41 und den Längengraden E2°24'24 und E2°47'40 aus. Nach der genaueren Einteilung in die Agro-ökologischen Zonen liegt *Ketou* in der *Zone Cotonnière du Centre Bénin* sehr nahe an der *Zone des Terres de Barre* gelegen.

*Ketou* gliedert sich in 6 Arrondissements. Die Distrikthauptstadt ist nach der Gemeinde *Ketou* benannt. Mit 100499 Einwohnern ergibt sich eine Einwohnerdichte von 57 Einwohnern pro km<sup>2</sup>. Diese setzen sich aus den ethnischen Gruppen Nagot (49%), Hollidjè (26%), Fon (16%), Mahi (4%) zusammen, die sich wiederum in verschiedene religiöse Gruppen aufteilen (Katholizismus 35%, Islam 19%, Woudou 8%, Protestantismus 8%) (PDC KETOU, 2005).

Die wichtigste berufliche Beschäftigung liegt im landwirtschaftlichen Sektor mit einem Beschäftigtenanteil von 65 % der Gesamtbeschäftigtenzahl, gefolgt von Handelsaktivitäten mit einem Anteil von 19 % (PDC KETOU, 2005). 90 % der landwirtschaftlichen Betriebe bewirtschaften eine Fläche mit weniger als zwei Hektar (MDRAC/MPS, 1990 in PREUSS, 1994).

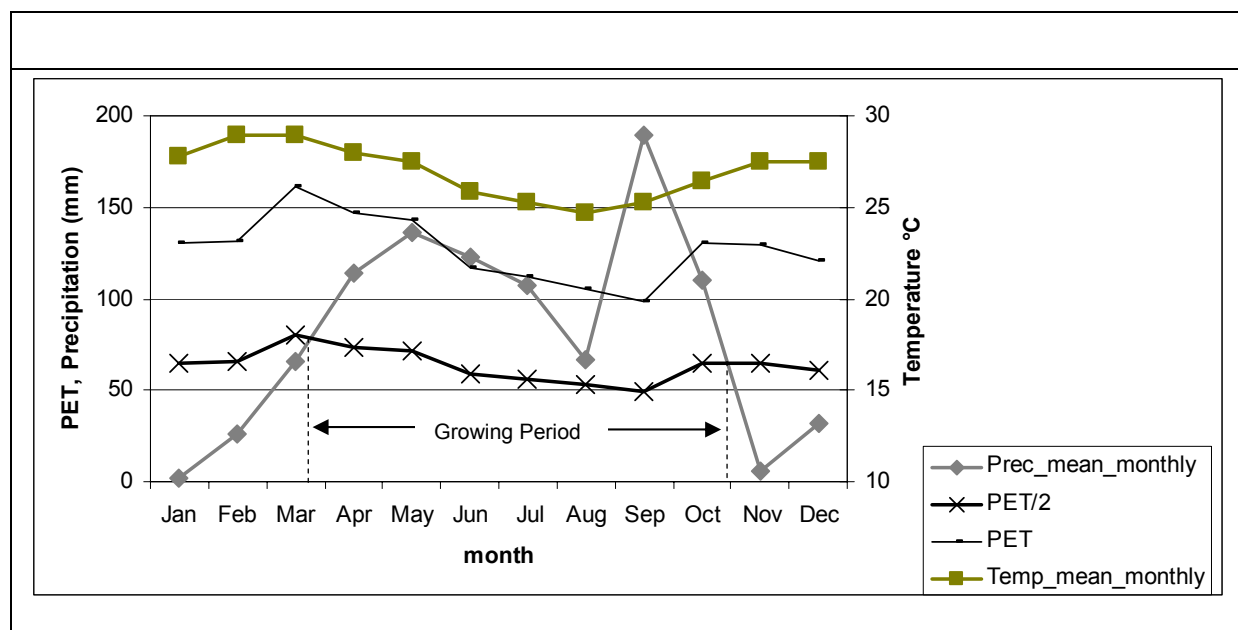
Die unmittelbare Nachbarschaft zu Nigeria ermöglicht einen regen internationalen Handel und stellt somit einen wichtigen Faktor der Gemeindeentwicklung dar. Aus Nigeria importiert werden hauptsächlich Petroleum, Motorräder, Ersatzteile für Motorräder und Fahrräder, Plastikartikel wie Tüten, Geschirr etc. und Limonade (PDC KETOU, 2005). Nach Nigeria werden hauptsächlich Nahrungsmittel exportiert.

Die Transformation von agrarischen Produkten beschränkt sich im Wesentlichen auf die Herstellung von *Gari*, *Lafou* (Maniokmehl) und Erdnussöl. Eine Ausweitung dieser einkommensschaffenden Tätigkeiten wird durch fehlende Technik und Wissen, sowie unzureichende Kredite beschränkt.

In der Stadt *Ketou* gibt es drei Märkte, in der gesamten Gemeinde insgesamt 18. Alle sind nach Aussage des Entwicklungsberichtes (PDC KETOU, 2005) in schlechtem Zustand.

Nach der geographischen Lage gehört *Ketou* zu der Guineazone gekennzeichnet durch zwei Regenzeiten. Es handelt sich demnach um ein **bimodales Niederschlagsregime**, das sich folgendermaßen gliedert: Große Regenzeit von März bis Juli, kleine Trockenzeit im August, kleine Regenzeit von September bis Oktober und die große Trockenzeit von November bis Februar. Es ergibt sich eine große Anbausaison in der ersten Hälfte des Jahres und eine kleine in der zweiten Hälfte. Aufgrund der nördlichen Lage sind Charakteristiken der Übergangszone erkennbar, was sich durch eine tendenzielle Verschiebung der Regenzeiten zu einem unimodalen Regime bemerkbar macht.

Insgesamt fallen an 65 Tagen 1073 mm Niederschlag (PDC KETOU, 2005). Die Durchschnittstemperatur liegt bei 25°C.



**Abb. 9: Temperatur- und Niederschlagsverlauf und die daraus abgeleitete Vegetationszeit für die Gemeinde Ketou**

Quelle: Daten von FAO Clim, 2000

Die Länge der Vegetationszeit (*length of growing period* LGP) ist als die Periode im Jahr definiert, in der die Niederschlagsmenge die halbe potentielle Evapotranspiration (PET) übertrifft (FAO, 1978). Als feuchte Periode wird die Zeit, in der die Regenmenge zwischen PET und PET/2 liegt genannt, als nasse Periode, wenn der Niederschlag PET übertrifft<sup>9</sup>. Daraus ergibt sich für *Ketou* eine Vegetationszeit von Ende März bis Anfang November.

Die Gemeinde *Ketou* und die Lage der drei Untersuchungsdörfer (rot umrandet) sind in der Abbildung 10 dargestellt.

<sup>9</sup> Quelle: FAO, 2008 ([http://www.fao.org/nr/climpag/nri/gsbkfl\\_en.asp](http://www.fao.org/nr/climpag/nri/gsbkfl_en.asp))

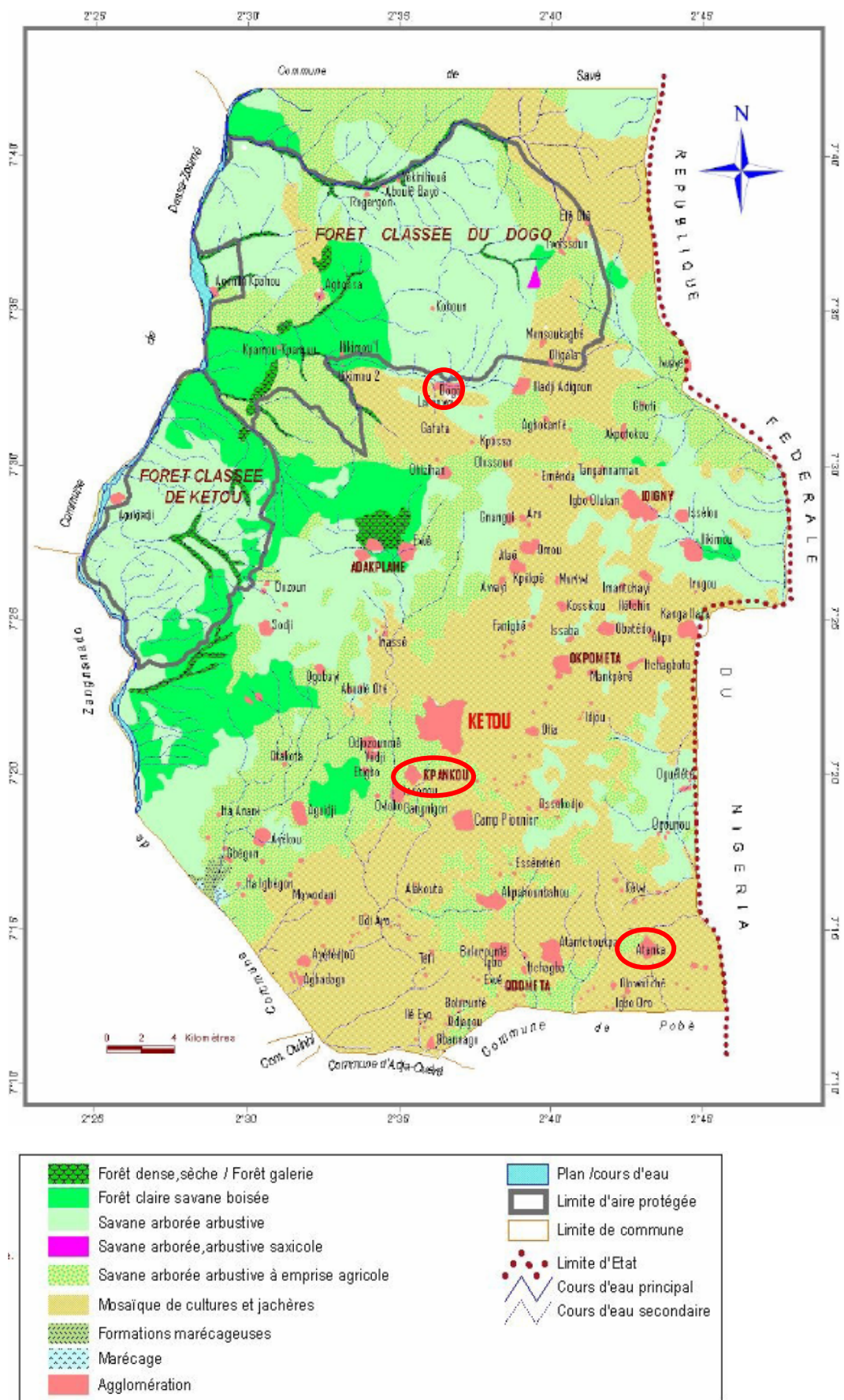


Abb. 10: Die Gemeinde Ketou und ihre Landnutzung

Quelle: Fond de Carte IGN/CENATEL, 2004 in PDC KETOU, 2005

## 4 Methodik

Das folgende Kapitel stellt die methodische Vorgehensweise, die der Untersuchung zugrunde gelegt ist, vor. Die Forschungsmethodik wurde mit dem Ziel konzipiert, ein realitätsnahes Bild des Untersuchungsgegenstandes anhand der erhobenen Daten zeichnen zu können.

Die Realisierung der vorliegenden Arbeit lässt sich in zwei Phasen einteilen: 1) Erforschung des Untersuchungsgebietes durch qualitative Befragungen und Erhebung quantitativer Felddaten, 2) statistische Analyse aller Daten mithilfe der Programme SPSS 15.0 und Microsoft Office Excel 2003.

### 4.1 Untersuchungsverfahren

Um der Komplexität des Untersuchungsgegenstandes gerecht zu werden, wurden verschiedene Methoden angewandt. Aus der qualitativen Sozialforschung dienten Vorgehensweisen wie problemzentrierte und semistrukturierte Interviews mit Einzelpersonen und Gruppen, sowie teilnehmende Beobachtung und partizipative Erhebungsmethoden. Aus der naturwissenschaftlichen Forschung wurden Methoden zur Erhebung der quantitativen Daten herangezogen. Die als **Methoden- und Perspektiven-Triangulation** bezeichnete Vorgehensweise hat zum einen das Ziel der „*maximalen Variation der Perspektive*“ (KLEINIG, 1982 IN GEBERT, 2006), und zum anderen die Validierung bzw. Falsifizierung der Ergebnisse. Die genannten Methoden wurden im Verlauf der Feldforschung durch gewonnene Erkenntnis über den Forschungsgegenstand und erzielte Erfolge mit angewendeten Methoden kontinuierlich an die jeweiligen Forschungsbedingungen angepasst.

#### 4.1.1 Annäherung an das Forschungsfeld

Die Arbeit im Feld wurde von Anfang September bis Mitte Dezember in der Gemeinde *Ketou* durchgeführt. Die Unterbringung der Autorin erfolgte in der Distrikthauptstadt *Ketou*. Da die Untersuchung in einem fremden kulturellen Kontext stattfand, war ein hohes Maß an Sensibilität erforderlich, um gegebene Normen und Verhaltenskodizes nicht zu verletzen. Somit wurde die Autorin mit ihrem Vorhaben in den ersten Tagen der Bürgermeisterin vorgestellt sowie mit dem Direktor des CARDER (*Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural*) und dessen Mitarbeitern bekannt gemacht. Das CARDER blieb auch weiterhin wichtige Anlaufstelle, um Unterstützung in Form von Mitarbeitern oder Informationen zu erhalten. Während der gesamten Forschungsperiode stand der Autorin eine Person zur Seite.

Mithilfe von verfügbarem Daten- und Kartenmaterial sowie den Informationen ortskundiger Personen wurden drei Untersuchungsdörfer ausgewählt. Die Kriterien, anhand derer die

Auswahl erfolgte, waren die Distanz zu der Stadt *Ketou* bzw. zum nächsten größeren Markt, Zustand der Straße, Bevölkerungsdichte sowie Zugang zu natürlichen Ressourcen, wie Holz und Land. Angestrebt wurde, drei Dörfer auszuwählen, die hinsichtlich der genannten Kriterien möglichst große Unterschiede aufweisen, damit später mögliche Einflüsse dieser Faktoren herausgestellt werden können.

#### 4.1.2 Qualitative Erhebungen

In diesem Kapitel wird auf die angewandten qualitativen Methoden eingegangen und deren Fragestellungen und Zielgruppen beschrieben. Hier ein Überblick:

**Tab. 2: Fragestellungen und Forschungsaspekte der angewandten Methoden**

Anwendung	Fragestellungen	Forschungsaspekte	Akteure
<b>Partizipative Problemanalyse</b>	Welches sind die vorherrschenden Probleme in Bezug zur landwirtschaftlichen Produktion?	Sozioökonomische Einbettung der Landwirtschaft	Landwirt
<b>Semistrukturierte Interviews</b>	Welches sind die prägenden Merkmale des jeweiligen Systems?	Informationen über die Landwirtschaft und den sie umgebenden Strukturen	Landwirt Förster Landwirtschaftlicher Berater Banker
<b>Partizipative Verteilungsanalyse</b>	Wie sind die Landnutzungssysteme und die wichtigsten Kulturen anteilig in dem jeweiligen Dorf vertreten?	Bewertung der ökologischen Funktionen und deren Reichweite	Landwirt
Quelle: eigene Darstellung			

##### 4.1.2.1 Partizipative Erhebungsmethodik

Bei *Participatory Rural Appraisal* (PAR) Methoden handelt es sich um Gruppendiskussionen, die sich durch dynamische Wirkung auszeichnen. Das wird, wie der Name schon vermuten lässt, durch eine umfassende Partizipation der Teilnehmer provoziert. Eine konsequente Visualisierung der Ergebnisse, begleitet mit der Verwendung von allgemein verständlichen Symbolen, ermöglicht auch die Teilnahme von zurückhaltenden Personen und Analphabeten (TRÖGER, 2004 in GEBERT, 2006). Eine folgende konstruktive Diskussion liefert ein intersubjektiv validiertes Ergebnis.

In jedem Dorf wurde mit Unterstützung des Dorfchefs eine Versammlung der Landwirte organisiert (7-25 Personen). Dies diente der Vorstellung der eigenen Person und der

bevorstehenden Arbeit, sowie der Erhebung erster Daten in Bezug zur Landwirtschaft. So wurden Informationen zu den hauptsächlich angebauten Kulturen, Kulturassoziationen und -Rotationen, Kulturkalender, Anwendung von Inputmitteln und Probleme in der Landwirtschaft erfasst.

Außerdem wurde die prozentuale Aufteilung der Flächen im Dorf nach den Landnutzungskategorien Brache, Plantagen, Kulturen, Wald erfragt (Abb. 3), sowie die Aufteilung der kultivierten Flächen nach den Hauptkulturen jeweils für die kleine und die große Regenzeit. 30 Maiskörner wurden unter den anwesenden Dorfbewohnern verteilt mit der Aufforderung, diese den einzelnen Kulturen bzw. den einzelnen Landnutzungskategorien je nach Wichtigkeit zuzuordnen (s. Bild 1). Wie auch schon MULINDABIGWI (2005) in seiner Dissertation anmerkte, ist es für das Gelingen einer solchen Gruppenbefragung von enormer Wichtigkeit, eine Atmosphäre der Konzentration und des Vertrauens zu schaffen.



Anhand der Verteilung von Maiskörnern auf die aufgezeichneten Felder, die jeweils eine Kultur repräsentieren, werden der Flächenanteil an der gesamten Dorffläche und die Wichtigkeit einer Kultur geschätzt.

**Bild 1: Farmerin bei der Verteilung von Maiskörnern**

Quelle: eigene Aufnahme

Mit fortgeschrittener Vertrautheit mit der Gegend und den Menschen wurde eine zweite Versammlung je Dorf einberufen, in der eine Problemanalyse der Landwirtschaft im Kontext des Dorfes und der Gemeinde durchgeführt wurde. Als Visualisierung wurde ein Problembaum gewählt, dessen Wurzeln die Ursache und dessen Geäst die Folgen darstellen.

#### 4.1.2.2 Problemzentrierte und semistrukturierte Interviews

In jedem Dorf wurden anschließend 3-5 Landwirte ausgewählt, mit denen persönliche semistrukturierte Interviews zur genaueren Erfassung der vorherrschenden Landnutzung durchgeführt wurden. Durch die Formulierung der gleichen Fragen, wie schon zuvor in den Gruppeninterviews, konnten Antworten validiert werden. Die Aussagen der Interviewpartner dienten in erster Linie dazu, den Intensitätsgrad der Landnutzung bestimmen zu können. Wie die dafür benötigten Parameter berechnet werden wird in Abschnitt 5.3.3 erläutert. Vor diesem Hintergrund wurden Fragen nach der Länge eines Fruchtfolgezyklus und der anschließenden Brachezeit, der Art der Bodenbearbeitung bzw. dem Grad der Biomasseverbrennung gestellt. Außerdem wurden außeragrarischen Aktivitäten und Projekten in der Zukunft erfasst. Die zusätzlich erfragten Informationen gehen aus dem Fragebogen, der im Anhang einzusehen ist, hervor (s. Anhang A).

Mit diesen Landwirten wurde in der gesamten Forschungsperiode kollaboriert, so dass sich teilweise persönliche Beziehungen zwischen den Farmern und der Autorin entwickelten. So konnten durch wiederholte **informelle Gespräche** während der Arbeit im Feld Informationen über Dorfstrukturen, Anbautechniken der Kulturen und deren Problematiken gesammelt werden. Ergänzend zu den Erhebungen vor Ort wurden Experteninterviews mit den für die Gemeinde zuständigen Förstern, mit Mitarbeitern des CARDERS und mit dem Manager des Kreditinstituts CLCAM (*Caisse Local de Crédit Mutuel*) geführt.

#### 4.1.3 Quantitative Erhebungen

Quantitative Daten wurden im Feld in den jeweiligen Dörfern und im IMPETUS Labor in *Parakou* erhoben. Die Messungen an den Dauerkulturen wurden während der gesamten Forschungsperiode durchgeführt, währenddessen die annualen Kulturen erst zum Ende der kurzen Regensaison Mitte bis Ende November vermessen wurden. Zu diesem Zeitpunkt stehen die Kulturen kurz vor der Ernte und die maximale Biomasse ist erreicht.

Ziel war es, ein möglichst realistisches Bild der Vegetationsformen der Gemeinde *Ketou* dar zu stellen. Dazu wurden Landnutzungskategorien definiert, in denen die Erhebungen stattfinden sollten (s. Tab. 3). Die Einteilung dieser erfolgte spezifischer als bisherige Kategorisierungen. Die Aufteilung der Brachen nach kurzer und langer Stilllegung erfolgte in Anlehnung an die Definition der FAO, nach der Stilllegungen kürzer als 5 Jahre einer kurzen Brache und länger als 5 Jahre einer langen Brache entsprechen. Die letztgenannten Flächen werden von der FAO als verlassen betrachtet und somit nicht mehr zu der landwirtschaftlich genutzten Fläche gezählt (FAO, 1984).

**Tab. 3: Landnutzungskategorien im Vergleich**

THAMM & BRAUN, 2002	MULINDABIGWI et al., 2003	BAUMERT, 2008
Fôret	Vegetation naturelle	Fôret
Savane	Jachère longue	Savane + Jachère longue
	Plantation d'anacardier	Plantations
	Superficies agricoles	Jachère court
Champs		Champs et Jachère très court

Quelle: modifiziert nach MULINDABIGWI, 2005

Den großen Variationen, denen die Vegetationsdecke der einzelnen Ökosysteme unterliegt, sollte durch die Anzahl der Messungen gerecht werden. In jedem konkreten Ökosystem<sup>10</sup> wurden daher mehrere Erhebungen durchgeführt. Um statistisch verlässliche Daten generieren zu können, wurden Wiederholungen innerhalb jedes Landnutzungssystems durchgeführt. Als Referenzgröße wird das System Wald, wie es in *Ketou* zu finden ist, herangezogen.

Die konkreten Ökosysteme, in denen die Messungen erfolgen sollten, wurden nach ihrer Repräsentativität gegenüber dem Gesamtsystem ausgewählt. Innerhalb dieser Systeme wurde in Versuchspartellen gearbeitet, die möglichst die Heterogenität des Feldes umfassten. Anzahl und Umfang der Messungen werden in der folgenden Tabelle illustriert.

**Tab. 4: Anzahl der Messungen in den unterschiedlichen Landnutzungssystemen**

Village	Plantations					Jachère		Champs					Fôret	
	Anac.	Orang.	Teck	Palm.	Cacao.	court	longue	Mais	Piment	Coton	Maniok	Goussi		Haric.
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2		2
2	1	1	1	1				2	2	2	2	2	1	
3	1		1	1		1		2	2	1	2	1	1	
Σ	3	2	3	3	1	2	1	6	6	4	6	5	2	2

Village 1: Dogo, 2: Atanka, 3: Kpankoun

<sup>10</sup> Mit konkretem Ökosystem ist ein Feld, eine Plantage oder eine Vegetationsform gemeint, währenddessen ein abstraktes Ökosystem eine Zusammenfassung mehrerer konkreter Ökosysteme z.B. zu einem Landnutzungssystem bezeichnen soll.

#### 4.1.3.1 Allometrische Messungen

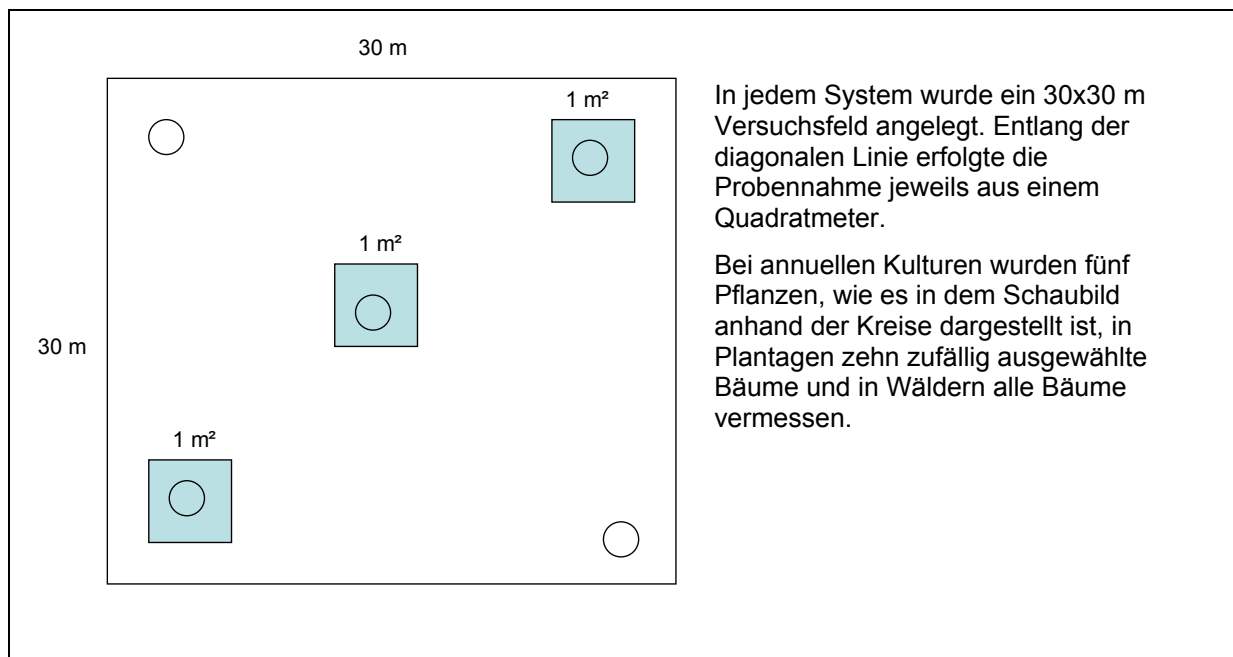
**Allometrie** (griechisch: *allos* = anders; *metrie* = messen) ist definiert als das Messen und Vergleichen von Körpergrößen sowie das Herstellen von Verhältnissen der gemessenen Größen zu anderen biologischen Größen<sup>11</sup>.

In diesem Abschnitt wird beschrieben, in welcher Art und Weise die Größen erfasst wurden, die für die Entwicklung und Anwendung allometrischer Gleichungen erforderlich sind. Auf die Generierung und Anwendung solcher Allometrieformeln wird in Kapitel 4.2.2.2 eingegangen.

Als Instrumente dienten einfache Messbänder, Zollstöcke, eine Schiebelehre, ein Klinometer der Marke *Suunto*, ein Bohrgerät zur Holzdichtemessung, eine digitale Waage, ein Erdbohrer zur Entnahme von Bodenproben und ein Garmin eTrex H GPS Gerät.

In den nach dem zuvor beschriebenen Schema ausgewählten Feldern wurde eine 30x30m Versuchsfäche ausgemessen. War die Größe des Feldes nicht ausreichend, wurde die Versuchsfäche angepasst. Aus der Versuchsparzelle ausgenommen waren die durch häufig unbestimmbare Faktoren beeinflussten Randpflanzen (siehe z.B. MULINDABIGWI, 2005). In der folgenden Abbildung wird der prinzipielle Aufbau einer Parzelle dargestellt. In diesem Rahmen wurden schließlich die Messungen durchgeführt und die Proben entnommen. Alle Flächen, in denen gearbeitet wurde, sind anhand des GPS - Gerätes georeferenziert.

**Abb. 11: Aufbau einer Versuchsparzelle**



<sup>11</sup> Quelle: Wikipedia (<http://de.wikipedia.org/wiki/Allometrie>)

Zu Beginn wurde die **Pflanzendichte (PD)** durch Zählung der Reihen und Linien innerhalb der Versuchsparzelle bestimmt. Anhand der angegebenen Formel konnte die Pflanzendichte per Hektar berechnet werden:

$$PD/ha = 10000/S * n$$

**S: Fläche des beprobten Areals, m<sup>2</sup>.**

Daraufhin wurden 5 Pflanzen vermessen (jeweils in den Ecken und in der Mitte der Parzelle (s. Abb. 11)). Der Umfang des Stammes wurde sowohl auf Brusthöhe, als auch auf Bodenhöhe bestimmt. Aus dem Umfang konnte der **Durchmesser (D)** errechnet werden:

$$d = U/\pi.$$

Bei dem Diameter auf Brusthöhe (*Diameter at breast height*<sup>12</sup> **DBH**), handelt es sich um den Durchmesser auf einer definierten Höhe von 1,30 m (HAIRIAH, 2001).

Eine weitere Messung betraf den Durchmesser der Baumkrone bzw. die räumliche Ausdehnung der Blätter einer Pflanze. Diese wurde durch zweifache Messung des Diameters der auf den Boden projizierten Ausdehnungsfläche der Krone bestimmt bzw. durch direkt Messung bei den Kulturen. Aus den beiden Werten wurde das arithmetische Mittel bestimmt und anschließend die Fläche berechnet, die **Crown Area (CA)**:

$$d = (d_1+d_2)/2$$

$$CA = \pi * d^2/4.$$

Die **Höhe (H)** jeder Pflanze wurde außerdem gemessen. Bei Bäumen ist die Höhe als die vertikale Distanz zwischen Boden und dem höchsten Punkt des Baumes definiert (WEST, 2003). Diese Distanz wurde mithilfe des Klinometers bestimmt. Hierbei handelt es sich um eine trigonometrische Berechnung der Höhe, die eine Ungenauigkeit von 0,1-0,5 m beinhalten kann (VERMEERSCH, 2005). Bei allen anderen Kulturen war es möglich, eine direkte Messung mit einem Meterband durchzuführen.

Alle Größen wurden sorgfältig in einem vorbereiteten Tabellenblatt notiert und am Ende des Tages in Excel-Datenblätter transformiert.

#### 4.1.3.2 Probennahme

Neben der Vermessung der Pflanzen erfolgte die Probennahme nach dem in Abbildung 11 dargestellten Schema. Die Proben innerhalb der 1m<sup>2</sup>-Parzellen umfassten die Phytomasse<sup>13</sup> der Kulturpflanzen, die Nekromasse<sup>14</sup>, die Phytomasse der Begleitvegetation<sup>15</sup>, sowie Boden.

---

<sup>12</sup> Für viele in der Literatur häufig verwendete Begriffe gibt es keine befriedigende deutsche Übersetzung. Daher wird die englische Bezeichnung beibehalten.

<sup>13</sup> Mit Phytomasse ist die gesamte pflanzliche Substanz gemeint.

Die Kulturpflanzen wurden auf Bodenhöhe abgetrennt und in Blatt-, Stängel- und Fruchtanteile zerlegt. Handelte es sich um Wurzelfrüchte, wurden diese ausgegraben. Die Nekromasse wurde mithilfe eines Rechens aufgegeben, die krautigen Pflanzen separat entnommen. Bei der krautigen Vegetation wurde ergänzend der Umfang und die Höhe der als Bündel zusammengefassten Pflanzen gemessen; anschließend erfolgte auch hier die Trennung in Stängel- und Blattmaterial. Die Bodenproben wurden aus 25cm Bodentiefe entnommen.

Am gleichen Tag wurde die Frischmasse der separierten Pflanzenteile mithilfe einer elektronischen Waage bestimmt. Die Ofentrocknung und Trockenmassebestimmung der Proben erfolgte im IMPETUS Labor in *Parakou*. Bei 70°C wurde die Biomasse für 48 Stunden getrocknet und anschließend gewogen. Alle Massenangaben wurden von g/m<sup>2</sup> in die Einheit t/ha umgerechnet.

Die Bodenproben wurden in der Sonne getrocknet, gesiebt und in *Cotonou* im *Institut National des Recherches Agricoles du Benin* (INRAB) auf Kohlenstoffgehalt, pH-Wert und gravimetrische Eigenschaften untersucht.

Die Holzproben wurden aus den beprobten Plantagen entnommen. Von jeweils vier Bäumen wurde mithilfe eines speziellen Bohrgerätes ein dünnes Röhrchen Holz aus dem Stamm gelöst. Die Frischholzprobe wurde gewogen und durch Messung des Durchmessers  $d$  und der Länge  $l$  dessen Volumen  $V$  berechnet:

$$V = \pi * d^2/4 * l.$$

Nach Trocknung für 72 Stunden bei 70°C wurde wiederholt das Gewicht und das Volumen bestimmt. Nach CHAVE et al. (2003) ist die Holzdicke  $\rho$  definiert als "oven-dry mass per unit of green volume". Daraus ergibt sich folgende Gleichung,

$$\rho = m/V$$

**m = Trockenmasse, g**

**V = Volumen der Frischholzprobe, cm<sup>3</sup>**

aus der das spezifische Gewicht des jeweiligen Holzes bestimmt werden konnte. Mit Hilfe dieser Größe kann die Trockenmasse eines Baumes bestimmt werden.

---

<sup>14</sup> Als Nekromasse wird tote Pflanzenbiomasse bezeichnet, die dem Boden aufliegt.

<sup>15</sup> Hierbei sind v.a. Unkräuter und -gräser, sowie andere den Kulturen ungleiche Pflanzen gemeint. Im Folgenden soll der Begriff krautige Pflanzen verwendet werden.

#### 4.1.4 Grenzen der Untersuchung

In diesem Abschnitt sollen kurz eine Reihe von Restriktionen aufgeführt werden, die die Forschung in die Schranken wiesen:

- 1) Durch die mangelnde Kenntnis der lokalen Sprachen Fon und Nargo können wichtige Informationen auf dem Wege der Übersetzung verloren gegangen sein. Auch in der französischen Sprache mangelte es zu Beginn an ausreichender Kenntnis, um jedem Gesprächsverlauf ohne Schwierigkeiten folgen zu können. Diesen Problemen wurde versucht Abhilfe zu leisten, in dem mit dem engen Mitarbeiter und Dolmetscher im Vorfeld der Verlauf und Inhalt der Interviews besprochen wurde und im Nachfeld Ungereimtheiten geklärt wurden.
- 2) Die Abhängigkeit der Autorin von den Mitarbeitern des CARDERS, deren Verhältnis mit den lokalen Farmern nicht immer spannungsfrei ist, führte teilweise zum Verlust der Neutralität, die in einem Diskurs über die Landwirtschaftspraxis und dessen Probleme vorherrschen sollte.
- 3) Da der Autorin zum Transport nur ein Moped zur Verfügung stand, stellte der Transport des Probenmaterials eine große Herausforderung dar. An einem Tag konnte somit nur eine begrenzte Anzahl von Felderhebungen erfolgen.
- 4) Die Materialausrüstung bestand fast ausschließlich aus Gegenständen, die vor Ort beschaffbar waren. Dementsprechend ließ die Qualität teilweise zu wünschen übrig und es kam häufiger zu Situationen, in denen improvisiert werden musste.

Trotz der dargelegten zeitlichen, finanziellen und persönlichen Grenzen, in der die Untersuchung ablaufen musste, kann abschließend festgehalten werden, dass mit der Forschungskonzeption eine ausreichende Validität der Daten erzielt wurde.

#### 4.2 Analysemethodik

Die für die einzelnen Organismen erhobenen Parameter Höhe (H), *Diametre at breast height* (DBH), *Crown area* (CA), Pflanzendichte (PD) und Holzdichte  $\rho$  wurden in dem Computer Programm Microsoft Office Excel 2003 verwaltet und mit SPSS 15.0 statistisch ausgewertet.

## 4.2.1 Berechnung von Ökovolumen und Biovolumen

### 4.2.1.1 Ökovolumen

Das Ökovolumen einer Pflanze ist definiert als das Volumen, das von der Höhe  $H$  der Pflanze und der Fläche, die durch die Ausdehnung des Blätterwerkes der *Crown Area*  $CA$  eingenommen wird, bestimmt ist:

$$V_e = CA * H$$

**$V_e$ : Ökovolumen,  $m^3$ .**

Das Ökovolumen einer Pflanzengemeinschaft wird von DENG (2007) und JANSSENS (2004) als Produkt der Fläche  $S$ , die von der Gemeinschaft eingenommen wird, und dessen gewichtete durchschnittliche Höhe, auch **Ökohöhe** (*Eco-Height*)  $H_e$  genannt, definiert. Gewöhnlich wird Ökovolumen in  $m^3$  pro Hektar angegeben.

Für die Berechnung des Ökovolumens eines gesamten Landnutzungssystems ergibt sich die Gleichung:

$$V_e = \sum V_{e_i} = \sum (S_i * H_{e_i})$$

**$i$ : Vegetationskomponente  $i$ .**

Bei dieser Art der Berechnung wird angenommen, dass alle Vegetationen eine geschlossene Pflanzendecke besitzen. Ein lichterer Bewuchs oder auch ein Bewuchs, in dem sich die Pflanzen überlappen, wird in der Rechnung nicht berücksichtigt. Werden jedoch die Ökovolumina aller Einzelpflanzen, wie in der folgenden Gleichung dargestellt, aufsummiert, wird diesem Umstand Rechnung getragen:

$$V_{e_i} = \sum (CA_i * H_i) / n * PD/ha$$

**$i$ : Einzelpflanze  $i$**

**$n$  = Anzahl der gemessenen Pflanzen.**

Die Volumina  $V_{e_i}$  der einzelnen Vegetationen werden anschließend mit den Faktoren  $f$  und  $t$  gewichtet:

**$f_i$  = Abundanz (Anteil der zu betrachtenden Gesamtfläche)**

**$t_i$  = Vegetationszeit (Anteil eines Jahres).**

Die Summe aller gewichteten Volumina ergibt somit das durchschnittliche gewichtete Ökovolumen einer betrachteten Fläche in  $m^3/ha$ :

$$V_e = \sum (V_{e_i} * f_i * t_i).$$

Der Zeitfaktor ist bei den Wäldern, Plantagen und Bracheflächen  $t = 1$ , da die Vegetation dieser Systeme das ganze Jahr über existiert. Bei den Kulturen stellt sich das Problem, dass die Vegetation und somit auch das Ökovolumen einer starken zeitlichen Variation unterliegen. Bei den in dieser Arbeit gemessenen Volumina handelt es sich um

Maximalwerte, da die Kulturen kurz vor der Ernte standen. Die Varianz, die innerhalb einer Vegetationszeit stattfindet, ist schwer zu fassen. In diesem Fall wird darauf verzichtet, eine weitere Differenzierung vorzunehmen, und das maximale Volumen wird für die gesamte Vegetationszeit der jeweiligen Kulturen angenommen. Begründet wird es damit, dass in den Landbausystemen häufig Mischanbau betrieben wird, bei dem sich die Volumina unterschiedlicher Kulturen räumlich und zeitlich überlappen. Da diese Überlappung jedoch nicht in der Abundanz erfasst wird, kommt es zu einer Unterschätzung, die der Überschätzung durch Erfassung maximaler Volumina entgegensteuert.

#### 4.2.1.2 Biovolumen

Das Biovolumen einer Pflanze ist das Produkt aus der Grundfläche des Stammes, der so genannten **Basal Area BA** und der Höhe H der Pflanze:

$$V_b = BA \cdot H$$

$$\text{Wobei } BA = \pi \cdot D^2/4$$

**V<sub>b</sub>**: Biovolumen, m<sup>3</sup>.

Diese Annahme beruht auf der *Tube-Theory* (WEST et al., 1997), dass alle Pflanzenteile zusammengesprengt einem Zylinder gleichen und somit dem Gesetz  $V = A \times h$  folgen.

Die Berechnung des Biovolumens für eine Pflanzengemeinschaft, ein Ökosystem oder eine zu betrachtende Fläche erfolgt nach dem gleichen Prinzip wie für das Ökovolumen erklärt.

#### 4.2.2 Biomasse

Die Definition der Biomasse erfolgt nach BROWN (1997), nach der die oberirdische lebende organische Masse als Biomasse bezeichnet wird. Angegeben wird normalerweise die Trockenmasse als ofengetrocknete Tonnen pro Fläche, da die Masse abzüglich des Wassers Auskunft über die tatsächlich photosynthetische Leistung gibt (WEST, 2003 in VERMEERSCH, 2005). Weil es in dieser Arbeit auch um die räumliche Ausbreitung lebender Vegetation im Feld geht, stellt die Frischmasse ebenfalls eine interessante Größe dar. Die Biomasse wurde entsprechend soweit wie möglich sowohl im frischen als auch im trocknen Zustand ermittelt<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> Des Weiteren werden Trockenmasse mit TM und Frischmasse mit FM abgekürzt.

#### 4.2.2.1 Direkte Methode

Bei der direkten Methode der Bestimmung von Biomasse handelt es sich um destruktive Anwendungen. Die Pflanze an sich wird entnommen und gewogen. Es handelt sich um eine sehr genaue und verlässliche Methode, die aber sehr zeit- und geldaufwendig ist. In der vorliegenden Arbeit wurde diese Methode zur Ermittlung der Phytomasse annualer Kulturen sowie krautiger Vegetationsformen angewendet. Die Vorgehensweise wurde in Abschnitt 4.1.3.2 beschrieben. Für die Massebestimmung der Bäume wurde aus zeitlichen, finanziellen und auch ökologischen Gründen die indirekte Methode herangezogen.

#### 4.2.2.2 Indirekte Methode

Die indirekte Methode der Biomassebestimmung beruht auf der Anwendung von allometrischen Gleichungen. Die klassische Allometrieformel

$$y = a * x^b,$$

wobei x die Körpermasse, y die abhängige Variable und a und b freie Parameter darstellen, geht auf OTTO SNELL (1892) zurück. Nach HUXLEY (1932 in KETTERINGS, 2001) lässt sich diese Exponentialfunktion in vielen Verhaltensformen der Biologie wieder finden. In der Literatur sind mittlerweile zahlreiche Allometrieformeln zur Berechnung der Masse unterschiedlicher Vegetationen zu finden, deren Übertragung auf vergleichbare Vegetationen Arbeit und destruktive Eingriffe in ein Ökosystem erspart. Jedoch ist keine Gleichung optimal, da das Ergebnis von der gewählten funktionalen Beziehung zwischen den gemessenen Größen und der abhängigen Variable bestimmt wird (CHAVE, 2004 in PUIG, 2005). Außerdem hat sich gezeigt, dass Modelle nur mit Vorsicht auf andere Vegetationen transferiert werden können. Nur Modelle, die in einer sich ähnlichen Vegetation generiert und angewandt werden, können verlässliche Ergebnisse erzielen. Eine nicht angemessen angewendete allometrische Gleichung führt zu einer falschen Biomasseberechnung (PUIG, 2005). Nach KETTERINGS et al. (2001 in HAIRIAH, 2001) führen Gleichungen, in denen mehrere unabhängige Variablen wie *Diameter at breast height* (DBH), Baumhöhe H und Holzdichte  $\rho$  eingearbeitet werden, zu verbesserten Schätzungen.

Um eine verlässliche Biomasseschätzung zu erzielen, wurden in dieser Arbeit mehrere allometrische Funktionen angewandt, die Ergebnisse verglichen, diskutiert und die valideste Schätzung ausgewählt. Folgende Funktionen wurden berücksichtigt:

(1) Die von BROWN (1997) entwickelten Gleichungen sind auf tropische Wälder unterschiedlicher Niederschlagsregime übertragbar. Die erste Gleichung ist für trockene Klimazonen mit einem jährlichen Niederschlag zwischen 900 und 1400 mm/a anzuwenden. Die Bäume sollten außerdem die Marge von 5-40cm DBH nicht überschreiten:

$$TM = e^{(-1,996+2,32*\ln(D))} \quad (\text{BROWN 1997}).$$

Die zweite Gleichung kann für feuchte Regionen (>1400 mm/a) angewandt werden. Der Stammdurchmesser sollte dabei in einer Spanne von 5-148 cm liegen:

$$TM = e^{(-2,134+2,530 \cdot \ln(D))} \quad (\text{Brown, 1997})$$

**TM : Trockenmasse, kg/Baum**

**D: DBH, cm**

**H: Höhe, m**

**$\rho$ : Holzdichte, g/cm<sup>3</sup>.**

Die meisten Berechnungen fordern einen Diameter gemessen in Brusthöhe (1,30 m). Handelt es sich jedoch in dieser Höhe um vielfach verzweigte Bäume, so kann auch der Diameter in 0,30 m Höhe herangezogen werden (BROWN, 1997). Dies wurde in dieser Arbeit bei den Plantagenbäumen Orange, Cashew und Kakao getan.

Der Diameter und die Höhe stammen aus den eigenen Messungen, sowie die Holzdichte der Plantagenbäume. Diese wurden zusätzlich mit Angaben aus einer Datenbank des *International Centre for Research in Agroforestry* (ICRAF) verglichen<sup>17</sup>.  $\rho$  für die Wälder wurden der Annahme BROWNS (1997), dass die durchschnittliche Holzdichte eines tropischen Waldes zwischen 500 kg/m<sup>3</sup> und 790 g/m<sup>3</sup> liegt, entnommen. Jedoch ist die Angabe von einer durchschnittlichen Holzdichte für tropische Regenwälder Quelle ständiger Diskussion. Grund ist, dass Holzdichten je nach Baumart, Baumteilen, geographischer Lage, Alter, Niederschlag und Bodenfruchtbarkeit variieren (BROWN und LUGO, 1990 in PUIG, 2005). Außerdem ist die Variation der Baumarten in einem Wald sehr groß, so dass Holzdichten für viele Spezies unbekannt sind (FEARNSIDE, 1997 in PUIG, 2005).

(2) Vergleichend zu der Gleichung von BROWN wurden die Formel von PUIG (2005) und KETTERINGS (2001) angewandt:

$$TM = e^{-1,945+1,2341 \cdot \ln D^2} \quad (\text{PUIG, 2005})$$

$$TM = 0,11 \cdot \rho \cdot D^{2,62} \quad (\text{KETTERINGS, 2001}).$$

Aus den Einzelschätzungen kann die Gesamtbiomasse in Tonnen per Hektar errechnet werden:

$$TTM = \Sigma TM/n \cdot 1000 \cdot PD/ha$$

**TTM: totale Trockenmasse, t/ha.**

(3) Eine weitere Methode der Biomasseberechnung beruhte auf der einfachen Theorie, dass die Masse eines Körpers ein Produkt aus dessen Volumen V und dessen spezifischem Gewicht  $\rho$  darstellt:

---

<sup>17</sup> Quelle: ICRAF, 2008 (<http://www.worldagroforestry.org/sea/products/afdbases/wd/index.htm>)

$$TM = \rho * V.$$

Als Volumen wurde hierbei das berechnete Biovolumen  $V_b$  herangezogen.

(4) Für die Berechnung der Biomasse von Palmen sind separate Gleichungen nötig, da sie als Monokotyledone keinem sekundären Dickenwachstum unterliegen und somit nicht das gleiche Verhältnis zwischen Stammdurchmesser, Höhe und Kronenausdehnung gilt (HAIRIAH, 2001). Auch die Bestimmung der Holzdicke war bei Palmen nicht möglich, da es sich in den Untersuchungsgebiet ausschließlich um Palmen zur Alkoholgewinnung handelt, die nicht in ein Alter kommen, in dem holziges Stammmaterial gebildet wird. Zugrunde gelegt wurde folgende Gleichung:

$$TM = 10 + 6,4 * H \quad (\text{FRANGI, LUGO, 1985 in SONWA, 2004}).$$

Die Wurzelbiomasse wurde bei den Berechnungen vernachlässigt.

### 4.2.3 Kohlenstoff

Kohlenstoffgehalte in überirdischem Pflanzenmaterial  $C_t$  wurden in t pro ha errechnet

$$C_t = TM * 0,45 \quad (\text{NOLTE et al. 2001 in SONWA, 2004}),$$

sowie der Kohlenstoffgehalt  $C_b$  in den ersten 25 cm des Bodens

$$C_b = C * \rho * V \quad (\text{MULINDABIGWI, 2005})$$

**C:** % an organischen C, aus Bodenanalysen

**$\rho$ :** Bodendichte,  $\text{kg/m}^3$

**V:** Bodenvolumen,  $\text{m}^3$

Bei der Bodendichte wurde ein ungefährender Wert von  $1,5 \text{ g/cm}^3$  abgenommen. Diese Schätzung stammt aus einer mündlichen Mitteilung. Eine genauere Berechnung war aufgrund fehlender Informationen leider nicht möglich.

Der Gesamtkohlenstoffgehalt eines Ökosystems ergibt sich aus der Aufsummierung der Einzelwerte.

## 5 Ergebnisse und Interpretation

In dem ersten Kapitel wurden bisherige Erkenntnisse aus der Forschung über Landnutzungstypen, deren interne ökologische Kenngrößen und ökologische Funktionen, sowie Interaktionen zwischen System und Umwelt vorgestellt. In diesem Teil sollen die gewonnenen Erkenntnisse auf die Gemeinde *Ketou* in Benin übertragen und mit den aktuellen Forschungsergebnissen aus der Region verknüpft werden. Nach ein paar einführenden Worten über die prägende Landwirtschaft der Gemeinde *Ketou* und der Differenzierung der Untersuchungsdörfer, werden die Ergebnisse in drei Abschnitten vorgestellt. Jeder Themenblock wird separat kommentiert und diskutiert.

Als Leitfaden für die Forschung und den Aufbau dieses Kapitels dient das Hypothesengerüst, das in Abschnitt 2.5 bereits erläutert wurde.

### 5.1 Einführung

Die Landwirtschaft in der Gemeinde *Ketou* wird wie in den meisten Gebieten von Benin von Kleinbauern betrieben. Die Größe der Betriebe liegt zwischen 0,5 und 10 ha, wobei letzteres einen vergleichsweise hoch kommerzialisierten Betrieb<sup>18</sup> darstellt. Trotz des kleinen Umfangs der meisten Betriebe kann nicht mehr von der typischen Subsistenzwirtschaft gesprochen werden, da alle Farmer zusätzlich von Verkaufserlösen abhängig sind. So werden Erntemengen, die den Bedarf des Eigenkonsums übertreffen, direkt nach der Ernte verkauft oder nach einer betriebsinternen Transformation auf dem lokalen Markt angeboten. Nach dem WORLD CENSUS OF AGRICULTURE (1970 in RUTHENBERG, 1976) werden solche Systeme, in denen die Hälfte der landwirtschaftlichen Produktionsmenge verkauft wird, während die andere Hälfte der Subsistenz gilt, als halb kommerzialisierte Betriebe klassifiziert.

Wie auch schon im Norden Benins von MULINDABIGWI (2005) beobachtet, erfolgt in *Ketou* eine Erhöhung der Produktion ausschließlich über die Ausweitung der landwirtschaftlichen Fläche. Dafür werden noch nicht erschlossene Flächen wie Wald und Savanne nach dem *slash-and-burn* System<sup>19</sup> in landwirtschaftliche Nutzfläche konvertiert. Treibender Faktor der Landkonversion ist die wachsende Bevölkerungszahl und die damit erhöhte Nahrungsmittelnachfrage. Langfristig kommt es zur Landknappheit, der mit einer Verkürzung der Brachezeit begegnet wird. Die Landwirtschaft entwickelte sich somit vom Wanderfeldbau

---

<sup>18</sup> Hiermit sind Betriebe gemeint, die sowohl Produktion steigernde Inputmittel als auch modernere Ernte- und Bestelltechniken verwenden. Der Ertrag ist hauptsächlich für den Verkauf bestimmt.

<sup>19</sup> Natürliche Vegetation wird gerodet und anschließend verbrannt.

(*shifting cultivation*<sup>20</sup>) über die Brachewirtschaft (*fallow system*) zum permanenten Landbau. Die Wirtschaftsweise, die hauptsächlich darauf basiert, dass durch Landrotation dem Boden ermöglicht wird, in der Brachezeit an Produktivität zu gewinnen, funktioniert nicht mehr, da es sich trotz verkürzter Brachezeit weiterhin um *low-input* Systeme handelt, in denen die Benutzung von Düngern eine Ausnahme bleibt. Zwangsläufig kommt es zur Verarmung des Bodens und zur Abnahme der Produktivität. In diesem Dilemma der zunehmenden Degradation der natürlichen Ressourcen durch Brandrodung und ineffiziente Ressourcennutzung bei gleichzeitig wachsendem sozioökonomischem Druck befinden sich die Landwirte von *Ketou*.

## 5.2 Differenzierung der Untersuchungsdörfer

Nachdem bereits die Übersicht des Distrikts *Ketou* in Abschnitt 3.3 gegeben wurde, sollen nun die Untersuchungsdörfer differenzierter betrachtet werden.

Die Untersuchungsdörfer *Dogo*, *Kpankoun* und *Atanka* wurden entsprechend der in der Untersuchungsmethodik (Abschnitt 4.1.1) dargelegten Kriterien ausgewählt. Einen Überblick über die für diese Untersuchung bedeutsamen Unterschiede gibt die Tabelle 5.

---

<sup>20</sup> Der Begriff *Shifting cultivation* ist aufgrund weitläufigen Gebrauchs schwer zu fassen. In diesem Zusammenhang soll folgende Definition gelten: "*The essential characteristics of shifting cultivation are that an area of forest is cleared, usually rather incompletely, the debris is burnt, and the land is cultivated for a few years - usually less than five - then allowed to revert to forest or other secondary vegetation before being cleared and used again*" (FAO, 1984 in UPADHYAY, 1995). *Fallow systems* unterscheiden sich von *Shifting Systems* durch eine verkürzte Brachezeit (s. Abb.3).

**Tab. 5: Differenzierung der Untersuchungsdörfer *Dogo*, *Kpankoun* und *Atanka***

<b>Indikator</b>	<b>Dogo</b> N7 32.511 E2 36.835 Elevation: 172 m	<b>Kpankoun</b> N7 20.074 E2 35.366 79 m	<b>Atanka</b> N7 14.375 E2 43.155 102 m
<b>Demographische Daten</b>			
Dorfbewohner	2428	1167	2245
Einwohnerdichte (Einwohner/km <sup>2</sup> )	25	66	28
Vorherrschende Volksgruppe	Hollidjè/Nagot	Fon	Hollidjè/Nagot
<b>Infrastruktur/Marktintegration</b>			
Distanz zu <i>Ketou</i>	30 km	2 km	25 km
Distanz zum nächsten Markt	30 km	3 km	5 km
Straßenverhältnis	Piste	Teer	Teer und Piste
Transportmöglichkeiten	Fahrrad/Moped	Fahrrad/Moped	Fahrrad/Moped
Mobilfunknetz	Nein	Ja	Ja
<b>Natürliche Ressourcen</b>			
Zugang zu Wald	Ja	Nein	Nein
Expandierung	Ja	Nein	Ja
Entfernung zu den Feldern	0-2 km	2-6 km	0-8 km

Quelle: eigene Darstellung

*Dogo* stellt den traditionellen Typus ländlicher Dorfstruktur mit geringer Marktintegration und Infrastrukturausstattung dar. Die Dorfbewohner, die hauptsächlich dem Volksstamm der Yoruba angehören, leben fast ausschließlich von der Landwirtschaft. Zu den gelegentlichen Aktivitäten außerhalb der Landwirtschaft gehört der Handel von Treibstoff, Detailhandel und *Zemijan*.<sup>21</sup> Der größte Teil der Agrarproduktion gilt der Subsistenz, Überschüsse werden im Dorf verkauft oder mit dem Fahrrad, Moped in die Stadt *Ketou* auf den Markt transportiert. Um große Erntemengen vorwiegend Mais verkaufen zu können, sind *Dogo* sowie alle anderen Dörfer darauf angewiesen, dass die Käufer mit den Lieferwagen in die Dörfer kommen. Diese Abhängigkeit führt dazu, dass die Farmer keinen Einfluss auf die Preisbildung haben und zu jedem Preis verkaufen müssen.

Insgesamt kann *Dogo* als vergleichsweise ressourcenreiches Dorf beschrieben werden. Mit dem nahe gelegenen Wald ist den Einwohnern die Möglichkeit gegeben, landwirtschaftliche Nutzflächen weiter auszudehnen und Holz dem Wald zu entnehmen, um Holzkohle herzustellen. Auch die Böden, hauptsächlich Vertisol, haben eine hohe Produktionsleistung. So wird *Dogo* als Maiskammer *Ketous* bezeichnet.

<sup>21</sup> Hierbei handelt es sich um die für Benin sehr typische Art des Moped-Taxis.

*Kpankoun* ist direkt an die Stadt *Ketou* angegliedert und über die geteerte Straße Richtung *Bohicon* schnell erreichbar. Handelstätigkeiten können unmittelbar an der Straße oder auf dem nahe gelegenen Markt in *Ketou* erfolgen. Auch der Zugang zu Informationen und Inputmitteln für die Landwirtschaft ist durch die peri-urbane Lage erleichtert. Dementsprechend wurden die Anbaumuster an die Nachfrage in der Stadt angepasst; So wird vergleichsweise viel Baumwolle kultiviert, sowie Palmbäume, aus dessen Saft sich der hoch rentable Alkohol herstellen lässt. Insgesamt ist der Lebensstandard spürbar höher als in *Dogo*. Doch das hohe Bevölkerungswachstum hinterlässt seine Folgen: die Felder liegen weit im Hinterland und sind nur über enge Wege erreichbar und extensive Rotationslandwirtschaft wurde durch wenig nachhaltige permanente Praktiken ersetzt, die zum Verlust der Bodenfruchtbarkeit führen. Obwohl es sich um den Volksstamm der *Fon* handelt, der das Land vorwiegend in Eigenbesitz hat und somit privilegiert ist, Bäume zu pflanzen, sind aufgrund des Nahrungsmittelbedürfnisses kaum Plantagen vorzufinden.

Als Landbesitzrecht gilt in Benin das Recht des Erstsiedelnden. Dieser ist im Distrikt *Ketou* der Stamm der *Fon*. Durch die Pflanzung meist eines Mangobaums werden die Besitzansprüche kenntlich gemacht. Den Dorfbewohnern anderer Ethnien ist es erlaubt, das Land zu kultivieren, jedoch ist es ihnen nicht gestattet, Bäume zu pflanzen. Ein zu beobachtender Trend, der mit der Landverknappung einhergeht, ist die Verpachtung von Land. Somit müssen Fremdsiedler für das Land, das sie kultivieren wollen, Geld zahlen und werden so häufig in finanzielle Schwierigkeiten getrieben.

*Atanka* kann zwischen *Kpankoun* und *Dogo* eingeordnet werden. Die höhere Bevölkerungsdichte als in *Dogo* übt zwar einen stärkeren Druck auf die Landressourcen aus, führt aber nicht wie in *Kpankoun* zu Landmangel, der sich durch abnehmende Brachefläche auszeichnet.

### 5.3 Landnutzungssysteme und ihre Merkmale

Mit diesem Kapitel sollen einleitend die Landnutzungssysteme der Gemeinde *Ketou* anhand der Beobachtungen in den drei Untersuchungsdörfern analysiert und charakterisiert werden.

In diesem Zusammenhang sei die erste Hypothese nochmals vorgestellt:

**Zielsetzung 1:** Beschreibende Darstellung der Landnutzungssysteme am Fallbeispiel *Ketou*: Bestimmung des Intensivierungsgrades der Landnutzung und der Nachhaltigkeit der landbaulichen Techniken.

**Hypothese 1:** Bei den Landnutzungssystemen in *Ketou* handelt es sich um eine wenig technologisierte Landnutzung, die aufgrund des Bevölkerungswachstums und dem einhergehenden Zwang zur Intensivierung in der Degradation der Ökosysteme mündet.

### 5.3.1 Vegetationsdynamik

Die Landaufteilung des Untersuchungsgebietes nach Landnutzungssystemen ist in sofern bedeutsam, als dass nur so deren Merkmale anhand deren Abundanz gewichtet werden können. Dies ist wichtig, um anschließende Aussagen über die Einflussnahme der Landnutzungssysteme auf das gesamte Ökosystem treffen zu können. Im Rahmen des Unterprojektes PK Be-L.1 „Landbedeckungsänderungen: Erfassung, Ursachen, Prognosen, Maßnahmen“ erfolgte mithilfe von Satellitenbildern eine vorläufige Aufteilung der Landnutzungssysteme in Benin. Wie aus der Tabelle 3 in Abschnitt 4.1.3 zu entnehmen ist, handelt es sich dabei um die drei Kategorien Wald, Savanne und Fläche unter Kulturen. Bei dieser Kategorisierung ist Brachefläche kurzer Dauer nicht von Savanne und Plantagen nicht vom Wald unterscheidbar. Eher handelt es sich bei der Savanne um eine „Sammelklasse“, in der alle Sukzessionsstadien der Brache vorzufinden sind (JUDEX, 2003). Eine sichere Größe, die für die Flächenberechnung dieser Untersuchungen herangezogen wurde, ist die Angabe der Fläche annueller Kulturen **Sc**. Dieser Wert entspricht auch dem in den Agrarstatistiken angegebenen Wert, nachdem er mit dem CIC (*Cropping Intensity Coefficient*) korrigiert wurde. Die Korrektur ist eine notwendige Maßnahme, da mehrfache Kultivierungsperioden in einem Jahr auch mehrfach in die Statistiken eingehen.

In Kombination mit statistischen Werten (ATLAS MONOGRAPHIQUE, 2001) über die landwirtschaftlich genutzte Gesamtfläche **Sct**, in der auch die Bracheflächen kurzer Dauer **Sj** eingeschlossen sind, lässt sich der Anteil der Brache berechnen:

$$S_j = S_{ct} - S_c$$

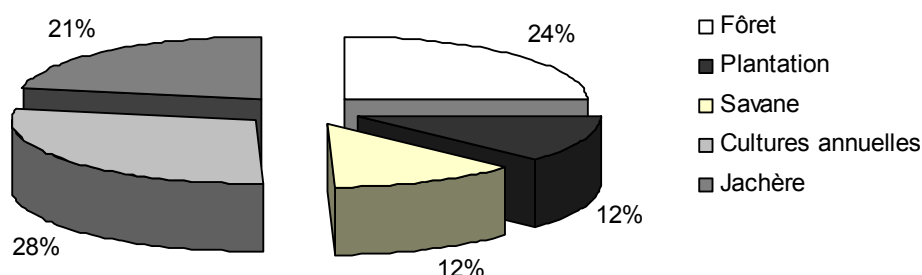
Gemeindefläche **St** und Forstfläche **Sf** wurden dem PDC (*Plan de Developpement Communal* KETOU, 2005) entnommen, der Anteil der Plantagen **Sp** ist eine Schätzung, die nach Aussagen der Farmer erfolgte. Der restliche Flächenanteil wird abzüglich der Agglomerationen, der Kategorie Savanne zugeordnet, in die auch die Bracheflächen langer Dauer miteinbezogen werden. Daraus ergibt sich folgend dargestellte Aufteilung:

**Tab. 6: Flächenaufteilung der Gemeinde Ketou**

	ha	%		ha	%	% v. ges
<b>Ketou</b>	177500					
<b>Fôret</b>	42850	24				
<b>Superficie cultivée</b>	87000	49	<b>Culture</b>	49210	57	28
			<b>Jachère</b>	37790	43	21
<b>Plantation</b>	20851	12				
<b>Savane</b>	21474	12				
<b>Agglomération</b>	5325	3				
	177500	100				

Quelle: Kombination von Daten: ATLAS MONOGRAPHIQUE 2001, Fernerkundungsdaten, PDC 2005, Aussagen der Landwirte

Demnach wird die Hälfte der Gemeindefläche für landwirtschaftliche Produktion genutzt, die sich wiederum in knapp zweidrittel aktuell bewirtschaftete Fläche und eindrittel Brache aufteilt. Der Anteil an Waldfläche ist in *Ketou* vergleichsweise hoch (vgl. 6% Waldfläche für Benin (FARM-ADA-M<sup>22</sup>, 2008)).

**Abb. 12: Prozentuale Anteile der Landnutzungssysteme an der Gesamtfläche Ketous**

Quelle: Eigene Darstellung

### 5.3.2 Forstwirtschaft

Zwei große Gebiete im Norden von *Ketou* sind bewaldet, was einen Anteil von 24 % der Gesamtfläche ausmacht. Aufgrund der begrenzten Niederschlagsmenge entwickelt sich ein *fôret claire*. Hierbei handelt es sich um einen *fôret classé*, dessen Begriff während der Kolonialzeit geprägt wurde und soviel bedeutet wie „für die Bevölkerung unzugänglich“. Auch

<sup>22</sup> DSS Datenbank des IMPETUS Themenbereichs Be-L.4.

heute noch ist die Nutzung des *fôret classé* per Gesetz verboten. Zusätzlich wurde in den Randgebieten eine Zone *fôret protégé* errichtet, in der es den Menschen erlaubt ist, Landwirtschaft zu betreiben, Holz von toten Bäumen zu sammeln und zu jagen. Die Bewirtschaftungsweise entspricht im Wald dem Wanderfeldbau: nach der Brandrodung (*slash-and-burn*) wird für drei bis fünf Jahre Mais kultiviert, danach wird das Land brach gelassen und eine neue Fläche im Wald bearbeitet. In diesem nur begrenzt geschützten Bereich ist entsprechend hauptsächlich sekundärer, lichter Wald vorzufinden. Sowohl in den an den Wald grenzenden Dörfern *Dogo* und *Adakplame*, als auch in der Stadt *Ketou* sind Förster stationiert, die für die Kontrolle der Waldnutzung zuständig sind. Trotzdem ist ersichtlich, dass es sich nicht um nachhaltige Forstwirtschaft handelt. Das illegale Fällen von Bäumen und die Bestechung von Förstern gehört zum alltäglichen Leben. Angst vor Gewalt und das verlockende Angebot, Geld zu verdienen, zementieren die Korruption in dem Forstsektor. Täglich werden somit ungehindert große Mengen Holz zur Produktion von Holzkohle entnommen und Waldfläche in Kulturfläche umgewandelt und das nicht nur in den Randgebieten. Sowohl die vernichtende Nutzung des Waldes als auch das Ausmaß der Korruption ist den ansässigen Menschen bewusst:

*„Le fôret est en pleine dégradation.“*  
(Der Wald wird vollständig zerstört.)

*« Non, je n'ai pas de champs dans la fôret. C'est la déforestation. »*  
(Nein, ich habe kein Feld im Wald. Das ist die reine Vernichtung des Waldes.)

*« Le fôrestier ? Il est seulement ici pour gagner de l'argent. »*  
(Der Förster ? Der ist nur hier, um Geld zu verdienen.)

Die abnehmende Bodenfruchtbarkeit der Flächen, die Notwendigkeit Geld zu verdienen und die starke Abhängigkeit Benins von Holzkohle als Energielieferant treiben die Menschen dazu, die Wälder immer weiter zu zerstören.

### 5.3.3 Produktionssystem Landwirtschaft

Einen ersten Eindruck über die Intensität eines Landwirtschaftssystems erlangt man über die Betrachtung des **Ruthenberg-Indexes R** und des **Cropping Intensity Coefficient CIC**.

Ersterer trifft eine Aussage über das Verhältnis von kultiviertem Land zu der gesamten kultivierbaren Fläche. Dieses Verhältnis kann auf Flächenebene oder auch auf Zeitebene erfolgen:

$$R_{\text{area}} = S_c / (S_c + S_j)$$

**S<sub>c</sub>: Kultivierte Fläche**

**S<sub>j</sub>: Stillgelegte Fläche**

$$R_{\text{time}}: Nc/(Nc+Nj)$$

**Nc:** Anzahl der Jahre, in denen eine Fläche kultiviert wird

**Nj:** Anzahl der Stilllegungsjahre.

Der *Cropping Intensity Coefficient* CIC gibt die Anzahl der Kultivierungsperioden an, die in einem Jahr auf dem gleichen Boden stattfinden:

$$CIC = (Sc_1 + Sc_2) / Sc_1$$

**Sc<sub>1</sub>:** kultivierte Fläche in langer Regensaison

**Sc<sub>2</sub>:** kultivierte Fläche in kurzer Regensaison.

Die Rechnungen basieren auf den Ergebnissen der Interviews, die mit den Farmern geführt wurden, und ergeben folgende Werte:

**Tab. 7: Landnutzungskoeffizienten für die Gemeinde Ketou**

	$R_{\text{time}}$	$R_{\text{area}}$	CIC
<b>Gemeindeebene</b>	0,57	0,57	1,69
Kpankoun	0,71	k.A.	k.A.
Atanka	0,55	k.A.	k.A.
Dogo	0,45	k.A.	k.A.

Datenquelle: Einzelinterviews (n = 15), Gruppeninterviews (n = 3)

Der Ruthenberg-Index 0,57 sagt aus, dass von dem gesamt ackerbaulich genutzten Land knapp 60 % permanent kultiviert werden. Damit fällt die Landwirtschaft, für die gesamte Gemeinde *Ketou* gesehen, nach RUTHENBERG (1976) in die Kategorie der **Brachewirtschaft** ( $33 < R < 66$ ) (s. Abb. 3). Auf der gleichen Fläche findet eine Rotation von durchschnittlich vier Jahren Bewirtschaftung gefolgt von einer dreijährigen Brachezeit statt. Während der Stilllegungszeit entwickelt sich typischerweise Grass- oder Buschvegetation. Für die Regeneration einer sekundären Waldvegetation ist die Zeit nicht ausreichend.

Ein differenzierterer Blick auf die einzelnen Untersuchungsdörfer zeigt, dass innerhalb der Gemeinde die Intensität der Landnutzung stark variieren kann. So handelt es sich in *Kpankoun*, nahe der Stadt mit hoher Bevölkerungsdichte, um **permanente Landwirtschaft** ( $R > 66$ ), während in *Dogo* noch von **extensiver Brachewirtschaft** gesprochen werden kann. *Atanka* befindet sich in der Übergangsphase. Diese Erkenntnis wird durch die in Abschnitt 5.2 vorgenommene Differenzierung der Dörfer untermauert.

Nach dem *Cropping Intensity Coefficient* (1,69) wird auf Gemeindeebene sowohl die kleine, als auch große Regenperiode genutzt. Nur knapp ein Drittel der Flächen werden in der kleinen Saison vernachlässigt (**2-CIC = 0,31** Anteil der Kurzbrache von 1-6 Monaten).

DENG (2007) führte einen weiteren R-Index (*R-long-area*) für die Darstellung des Verhältnisses zwischen aktuell kultiviertem Land und theoretisch kultivierbarem Land ein. In diesem Fall betrüge dieser Wert  $R = 38$ , was der Aussage entspricht, dass sich die Landwirtschaft im Übergang vom Wanderfeldbau zur Brachewirtschaft befindet. Natürlich ist rein theoretisch die Möglichkeit gegeben, die landwirtschaftlichen Flächen über die Grenzen der Dörfer auszudehnen, doch aus Arbeits- und Sicherheitstechnischen Gründen ist das für die Landwirte kaum umsetzbar. Da das Bevölkerungswachstum dort stattfindet, wo die Menschen siedeln, ist auch dort die Landknappheit und Intensivierung der Landwirtschaft gegeben. Von der Benutzung des *R-long-area* wird aus diesem Grunde abgesehen.

### 5.3.3.1 Bodenfruchtbarkeit

In *Ketou* dominieren schwach ferralitische Böden der „*terre de barre*“-Zone. Diese lassen sich leicht bearbeiten, verfügen aber nur über eine begrenzte mineralische Ausstattung. Die Böden sind Produktionsgrundlage für den Großteil der ländlichen Bevölkerung und gelten als die besten Böden Benins (RAUNET, 1973 in PREUSS, 1994; IGUE et al., 2000b). Im Norden *Ketous* (*Dogo*) sind auch Vertisole vorzufinden, die zwar ein hohes landwirtschaftliches Potential haben, aber aufgrund von Staunässe in der Regenzeit und Trockenrisse in der Trockenzeit nur begrenzt kultivierbar sind. Vor allem wegen der schwierigen Bearbeitung dieser Böden, werden sie häufig nicht mit in die Produktion einbezogen (PREUSS, 1994). Die Landwirte aus *Dogo*, hauptsächlich allochthone *Yoruba*, sind sehr stolz über ihr Wissen wie dieser Boden zu bearbeiten ist. Sie behaupten, dass die Einheimischen *Fon* nicht in der Lage sind, diesen Boden zu bearbeiten und ihn deshalb Fremden überlassen.

Der Kohlenstoffgehalt in den ersten 25 cm des Bodens erreicht in *Ketou* bis zu 3 %. Durchschnittlich ist ein Wert von 1,5 % zu erwarten. Der Gehalt an Mikroorganismen (M.O.) liegt zwischen 2 und 3 % und der pHKCl-Wert bei 6. Typische Werte der Böden im *Ouémé supérieur* liegen für den Kohlenstoffgehalt bei 0,7-0,9 % und bezüglich des M.O. - Gehaltes bei 1,1-1,6 %. Die pH-Werte liegen meistens unter 6 (MULINDABIGWI, 2005). Aus diesem Vergleich wird deutlich, dass es sich in *Ketou* um fruchtbare Böden handelt.

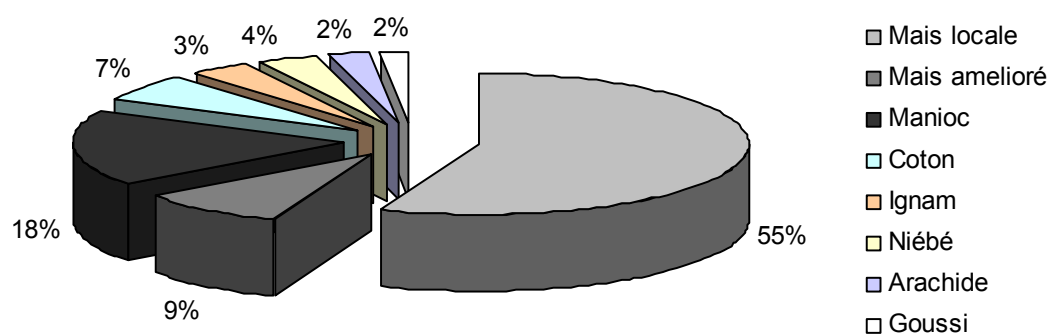
Zwischen den Böden unter verschiedenen Ökosystemen sind in *Ketou* keine großen Unterschiede festzustellen. Zu bemerken ist lediglich, dass sich auf Flächen, die nicht von Brandrodung betroffen sind, organische Substanz akkumulieren kann. Diese Anreicherung von Nährstoffen kommt einer organischen Düngung gleich und lässt sich durch hohe C-Werte im Boden nachweisen. Durch Multiplikation des C-Gehalts mit dem Faktor 1,72 (entspricht dem C-Gehalt von 43 % in der organischen Masse) kann der Gehalt an organischer Substanz im Boden errechnet werden. Dieser beläuft sich auf 2,6 %, was einem mäßig humosen Boden entspricht (MÜCKENHAUSEN, 1985). Ein in Benin häufig auftretendes

Problem, dass mineralischer Dünger aufgrund mangelnder organischer Substanz nicht wirken kann, gibt es demnach in *Ketou* nicht.

Die Verwendung von NPK-Dünger ist hauptsächlich der Baumwolle vorenthalten. Es werden jedoch Mengenanteile entnommen und zum Mais appliziert. In *Ketou* besteht außerdem die Möglichkeit, kostengünstig Dünger aus Nigeria zu erwerben. Allerdings äußerten einige Bauern, dass der beninische Dünger wirkungsvoller sei.

### 5.3.3.2 Annuelle Kulturen

Zu den in *Ketou* angebaute Kulturen zählen Mais *Zea mays* mit einem Flächenanteil von 64 % des ackerbaulich genutzten Landes, Maniok *Manihot esculenta* (17 %), Baumwolle *Gossypium hirsutum* (6,5 %), Bohnen *Vigna unguiculata* (4 %), Yamswurzel *Dioscorea spp.* (3 %), Erdnuss *Arachis hypogaea* (2,5 %), Goussi *fam. Cucurbitaceae*<sup>23</sup> (1,5%), Tomaten *Lycopersicon esculentum* (0,5 %) und Chili *Capsicum frutescens* (0,5%). Okraschoten *Abelmoschus esculentus*, Süßkartoffeln *Ipomoea batatas*, Zwiebeln *Allium cepa*, Taro *Colocasia spp.* und Tabak *Nicotiana tabacum* werden meistens nur im Hausgarten in geringem Umfang angebaut.



**Abb. 13: Prozentuale Flächenanteile der wichtigsten Kulturen in der Gemeinde *Ketou***

Quelle: Eigene Darstellung

Zu erwartende Erträge der wichtigsten Erträge in *Ketou* im Vergleich mit durchschnittlichen Ertragsleistungen auf nationaler Ebene sind folgend dargestellt.

<sup>23</sup> Die genaue Spezies ist nicht bekannt.

**Tab. 8: Durchschnittliche Ertragsleistung (kg/ha) wichtiger Kulturen**

	<b>Ertrag <i>Ketous</i></b>	<b>Ertrag <i>Benins</i></b>
Mais locale	832	1069
Mais amélioré	1101	1430
Manioc	15001	12039
Ignam	19354	12307
Arachide	834	810
Niébé	747	761
Goussi	749	575
Coton	837	903

Quelle: Direction de la Programmation et de la Prospective du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DPP/MAEP) bereinigte von Esaie Gandonou und Arnim Kuhn, 2004

Aus der DPP/MAEP-Datenreihe von 1999 bis 2004 gehen keine Ertragssteigerungen in der Gemeinde *Ketou* hervor. Im Gegenteil, sowohl für lokalen Mais als auch für verbesserte Maissorten wurden abnehmende Ertragsmengen verzeichnet, was den Aussagen IGUE et al. (2000a) entspricht, dass die Produktivität pro Hektar kontinuierlich abnimmt. Dass 64 % der Flächen mit Mais bepflanzt sind, zusammen mit der Information, dass die Maiserträge kontinuierlich abnehmen, lässt darauf schließen, dass die stark einseitige Bodennutzung zur Erschöpfung des Bodens führt. Die Ertragswerte von Kulturen wie Maniok und Yam, die nur auf geringen Flächenanteilen angebaut werden, liegen dagegen weit über dem nationalen Durchschnitt.

Auch wenn die Maiserträge in *Ketou* schon deutlich unter dem nationalen Durchschnitt liegen stammen noch 34 % des in Benin produzierten Mais aus dem Departement *Plateau*.

### **Fruchtfolge und Misanbau der Kulturen**

Alle Kulturen bis auf Baumwolle sind in verschiedensten Assoziationen vorzufinden (s. Tab.9). Sowohl in jungen als auch in lichten Plantagen werden Kulturen nebeneinander gepflanzt. Die Anordnung der Früchte scheint wahllos

*„Je mélange, ce qu' on peut mélanger.“  
(Ich mische alles, was sich mischen lässt.)*

folgen aber meistens der typische Strategie der Risikoreduktion. Durch die Diversifizierung auf der gleichen Fläche können die Ertragseinbußen einer Kultur durch den Ertrag der anderen kompensiert werden. Außerdem ist die räumliche Anordnung der Pflanzen auf die Wachstumsstadien und Wirkungsweisen der jeweiligen Kulturen abgestimmt, wodurch weitere positive Effekte erzielt werden. So wird in junge Maniokbestände Mais gesät, um das

Unkrautwachstum zu unterdrücken, und Mais im Mischanbau mit Erdnuss gepflanzt, um von der leguminösen Stickstoffassimilation zu profitieren.

DENG (2007) deutet die Anordnung der Pflanzen als ein Zeichen der zunehmenden Intensivierung der Flächenproduktion. Diese Annahme trifft jedoch nur bis zu einem bestimmten Grad der Intensivierung zu. Sobald mineralischer Dünger die Produktivität steigert, wirkt ein Mischanbau kontraproduktiv, da die interspezifische Konkurrenz zum ertragslimitierenden Faktor wird. So auch eine Aussage eines Landwirts, der regelmäßig mineralischen Dünger benutzt:

*„Je n’aime pas l’association des cultures. Les rendements sont toujours bas.“  
(Mischanbau mag ich nicht so gerne. Die Erträge sind immer niedrig.)*

Eine Fruchtfolge, wie man sie bei uns als zeitliche und räumliche Anordnung der Kulturen versteht, durch die Vorfruchteffekte optimal genutzt werden, existiert in der Gemeinde *Ketou* nicht. Das Kulturschema ist eindeutig vom Maisanbau gekennzeichnet. Nach dem Umbruch der Brache, der vor der großen Regenzeit im März erfolgt, steht Mais an der Spitze der Fruchtfolge. In den darauf folgenden Perioden wird wiederholt Mais angebaut solange der Boden ausreichend fruchtbar ist. Kommt es zu Ertragseinbußen, wird je nach Bedarf das Anbauschema geändert oder das Land brach gelassen. Die Kulturperiode beträgt im Durchschnitt 4,5 Jahre, worauf eine Brachezeit von 3,5 Jahren folgt (siehe R-Index). Eine mögliche Kulturperiode, wie man sie in der Gemeinde *Ketou* vorfindet, wird in der folgenden Tabelle illustriert.

**Tab. 9: Rotationen und Assoziationen in der Gemeinde *Ketou***

	<b>Grande Saison</b>	<b>Petite Saison</b>	<b>Grande Saison</b>	<b>Petite Saison</b>
<b>Avant</b>	Jachère			
<b>1./2. Année</b>	Mais+Manioc	Manioc	Manioc	Manioc
<b>2./3. Année</b>	Mais+Piment	Goussi+ Piment	Piment	Piment
<b>4./5. Année</b>	Mais / Ignam / Ignam + Mais	Mais / Coton / Goussi / Tomate /Piment / Haricot/ Goussi+Mais / Piment+Haricot / Piment +Tomate / Haricot + Mais	Mais + Pois d’Angol	Pois d’Angol
<b>Après</b>	Jachère + Pois d’Angol			
Quelle: Eigene Darstellung + Assoziiert; entweder / oder				

Der Abschluss einer Kulturperiode mit dem Anbau der Leguminose *Pois d’Angol* (*Cajanus Cajan*) ist häufig. Damit wird der positive Effekt der Stickstoffakkumulation während der gesamten Brachezeit genutzt. Man spricht von einer ‚verbesserten Brache‘. Bei den Farmern

ist die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch die Kultivierung von Bohnen und Erdnüssen bekannt. Sie werden häufig angebaut, wenn erste Ertragseinbrüche im Maisanbau zu beobachten sind. Ein Großteil der positiven Effekte wird allerdings durch wiederholte Biomasseverbrennungen zunichte gemacht. Zwischen dem Anbau der einzelnen Früchte bleibt eine Bodenbearbeitung häufig aus und die Saat erfolgt anhand der Ablage der Samen in einer mit der Machete gefertigten Vertiefung. Dabei wirken sich große Ansammlungen von Biomasse der Vorfrüchte störend aus und werden deshalb verbrannt. Die Farmer sind sich über die langfristig positive Wirkung von Biomasse auf die Bodenfruchtbarkeit bewusst, sind aufgrund des Arbeitskräftemangels jedoch weder in der Lage, die Biomasse in den Boden einzuarbeiten, noch auf andere Felder zu transportieren oder diese zu kompostieren.

### **Kulturkalender**

Das bimodale Niederschlagsregime in *Ketou* erlaubt zwei Anbauperioden. Mit dem Einsetzen der ersten großen Regenzeit im März/ April werden die meisten Kulturen gesät. Die Ernte erfolgt abhängig der Vegetationszeit der Pflanzen zwischen den Monaten Juni und September. Im August, der so genannten kleinen Trockenperiode, erfolgt die Saat der Zweitfrüchte, deren Auswahl aufgrund der Kürze der folgenden Regenzeit beschränkt ist. In der Regel werden Baumwolle, Mais, Bohnen und Tomaten, sowie Goussi kultiviert. Bei Maniok und Chili handelt es sich um überjährige Kulturen dessen Ernte nach dem Reifungsprozess ganzjährig stattfinden kann. Ein für die Region *Ketous* typischer Kulturkalender wird folgend dargestellt. Gelb illustriert den Zeitraum der Aussaat, Orange den der Ernte. Die Regenzeit ist in Blau und die Zeit, in denen Buschfeuer auftreten, in Rot dargestellt.

**Tab. 10: Kulturkalender**

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Julit	August	September	October	November	December
Regenzeit			■	■	■	■	■		■	■	■	
Buschbrände	■	■										■
Mais				■				■	■			
								■	■			■
Maniok			■	■	■	■	■	■				
	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Bohne				■				■				
						■				■	■	
Ernuss			■					■				
						■				■	■	
Goussi									■			
											■	■
Baumwolle						■	■	■				
												■
Yam	■	■	■									
								■	■	■	■	■
Chili						■	■	■				
								■	■	■	■	■
Tomate							■					
									■	■		
Kakao	■	■	■							■	■	■
Orange										■	■	■
Acajou		■	■	■								

■ Saat, ■ Ernte, ■ Regenzeit, ■ Zeit der Buschbrände

### 5.3.3.3 Brache und die Erschließung neuer Flächen

Sekundärvegetation alternierend mit Produktionsphasen gibt es seit den ersten Siedlungen der Menschen. Die Intensität solcher Wirtschaftsweisen wird von der Länge der Brache bestimmt. Diese ist wiederum von sich gegenseitig bedingenden Faktoren wie Landnutzung, Farmgröße, Populationsdichte und Marktnachfrage abhängig. Der Zeitraum der Ruheperiode ist außerdem entscheidend für den sich währenddessen entwickelnden Vegetationstypus. DENICH (1986 in PUIG, 2005) spricht von einer lang andauernden menschenverursachten Selektion, die die Zusammensetzung der sekundären Vegetation prägt. So können sich während einer drei jährigen Brache Grass- und Buschsavannen und in einem Zeitraum von fünf und mehr Jahren sekundäre Wälder bilden. Ein System der alternierenden Produktions- und Ruhephasen ohne externe Inputs ist nur solange effizient, wie der Zeitraum der Brache zulässt, dass der Boden durch Akkumulation organischer Substanz wieder an Fruchtbarkeit gewinnen kann. Die Brache kann sozusagen als Herzstück der *low-input* Landwirtschaft gesehen werden. Eine Tragödie ist jedoch, dass der Umbruch einer Brache meistens durch das Legen von Feuer in der Trockenzeit und dem Verbrennen der gesamten Biomasse erfolgt. Die angesammelte Biomasse wird somit nicht nachhaltig in Form von organischer Bodensubstanz genutzt, sondern durch Verbrennung in Form von Asche den Pflanzen nur kurzfristig zur Verfügung gestellt. Auch positive Effekte von durch Leguminosen bereicherten Brachen gehen verloren.



Typisch für die Landwirtschaft in *Ketou* ist das Verbrennen von Biomasse. So werden vor dem Anbau einer Kultur entweder die Erntereste der vorangehenden Kultur verbrannt oder ein gesamtes natürliches Ökosystem durch Brandrodung in landwirtschaftlich nutzbare Fläche umgewandelt.

**Bild 2: Anbau von Chili nach Brandrodung der natürlichen Vegetation**

Quelle: eigene Aufnahme

Wie dem Abschnitt 5.3.3 entnommen werden kann, sind in der Gemeinde *Ketou* ganz unterschiedliche Intensitätsstufen der Landwirtschaft vorzufinden. Ein differenzierter Blick auf die Untersuchungsdörfer soll ein Bild der aktuellen Situation zeichnen:

Die Landwirtschaft in *Atanka* befindet sich im Übergang von der Brachewirtschaft zum permanenten Landbau. Die Expandierung der landwirtschaftlichen Flächen ist aufgrund der zunehmenden Entfernungen zum Dorf und der damit verbundenen Gefahren immer begrenzter. Die zwingende Intensivierung der bisher genutzten Flächen führt zu einer Verkürzung der Bache bei Beibehaltung der Biomasseverbrennung. In dieser Phase erlaubt die Ruheperiode keine ausreichende Regenerierung des Bodens, alternative Techniken zur nachhaltigen Bodennutzung sind nicht verbreitet. Langfristig kommt es zur Abnahme der Bodenfruchtbarkeit, welche in Produktivitätseinbußen resultiert.

Eine in *Kpankoun* häufig zu hörende Antwort der Landwirte auf die Frage, was sie für Maßnahmen ergreifen wenn der Boden müde wird, lautete:

*„Si j'avais eu assez de terre, je l'aurais laissé en jachère pour trois ans.“*  
(Wenn ich genug Land hätte, würde ich es für drei Jahre brach liegen lassen.)

Und tatsächlich war es zum Zeitpunkt der Erhebung nicht möglich, eine Brachefläche aufzufinden. *Kpankoun* hat die Stufe des permanenten Landbaus erreicht, was hauptsächlich auf die hohe Populationsdichte zurückzuführen ist. Trotz der vergleichsweise fruchtbaren Böden, ist die voranschreitende Degradation dieser für die Landwirte spürbar. Es steigt der Druck, auf alternative Bodenbearbeitungs- und Pflanzenbautechniken umzusteigen. Daher tendieren die Landwirte in *Kpankoun* dazu, ihre Biomasse nicht mehr zu verbrennen:

*„Mon sol est fertile parce que je ne brûle plus la biomasse“.*  
(Mein Boden ist fruchtbar, weil ich die Biomasse nicht mehr verbrenne.)

In *Dogo*, wo die Bewirtschaftungsweise dem Wanderfeldbau noch sehr ähnlich ist, sind die Rotationszyklen entlegener Flächen bis zu 15 Jahre lang und nur nahe gelegene, gut erreichbare Felder weisen eine intensivere Bewirtschaftung auf. Das Problem der abnehmenden Bodenfruchtbarkeit ist hier aufgrund der bestehenden Möglichkeit zur Flächenexpansion noch nicht bemerkbar. Da aber auch in *Dogo* das Bevölkerungswachstum voranschreitet, führt die damit verbundene ständige Expandierung der Anbauflächen durch Brandrodung und Abholzung zwangsläufig zur Degradation der Ökosysteme.

In allen Dörfern unabhängig der landwirtschaftlichen Intensitätsstufe neigen Pächter von kleinen Parzellen dazu, bei unzureichender Bodenfruchtbarkeit eher das Land aufzugeben und sich ein anderes Stück zu erwerben, als ein Teil brach liegen zu lassen oder die Bewirtschaftung zu ändern.

#### 5.3.3.4 Plantagen und Agroforestry

*Agroforestry is a collective name for land-use systems and technologies in which woody perennials (trees, shrubs, palms, bamboos, etc.) are deliberately combined on the same management unit with herbaceous crops and/ or animals, either in some form of spatial arrangement or temporal sequence. In agroforestry systems there are both ecological and economic interactions among the different components (DENICH, 2007).*

Fruchtbäume sind in *Ketou* vereinzelt, in Mischanbau mit Kulturen oder in Plantagen vor zu finden. Zu ihnen zählen mit abnehmender Wichtigkeit folgende: Acajoubaum *Anacardium occidentale*, Teakbaum *Tectona grandis*, Ölpalme *Elaeis guineensis*, Orangen- *Citrus sinensis*, Kakao- *Theobroma cacao*, Mangobaum *Mangifera indica* und Bananenstaude *Musa*.

Das Management der räumlichen Anordnung beinhaltet hauptsächlich den Mischanbau von Plantagenbäumen mit ein- oder überjährigen Kulturen. So erlaubt eine lichte Orangenplantage einen ständigen Anbau von Kulturen in den Zwischenräumen. Acajoubäume werden meistens in bestellte Felder gepflanzt, die solange weiter kultiviert werden, bis die Konkurrenz um Licht und Nährstoffe zu groß wird. Ölpalmen, die in *Ketou* ausschließlich zur Alkoholgewinnung angebaut und somit schon in den ersten 8 Jahren geerntet werden, sind in dem Landschaftsbild überall anzutreffen: einzeln, in Assoziation oder in reinen Plantagen.

Ein zeitliches Management besteht in sofern, als dass Plantagen, die alt und ertragsschwach sind, beseitigt werden und der nachfolgenden Kultur ein hoch fertiler Boden zur Verfügung steht. Bemerkenswert ist, dass die Konversion von Plantagen zum Feld für *food crops* ohne Einsatz von Feuer geschieht. Anstatt dessen werden die Bäume gefällt, das Holz genutzt und die meist gewaltige, durch jahrelangen Laubfall akkumulierte organische Substanz kann von der Folgekultur genutzt werden.

*Agroforestry*<sup>24</sup> birgt nicht nur ein hohes Potential hinsichtlich der Bodenverbesserung durch Akkumulation organischer Substanz, sondern trägt auch durch langfristige Bedeckung des Bodens wesentlich zum Erosionsschutz bei. Außerdem kann aufgrund der großen Mengen an stehender Biomasse (s. Tab. 15) von einem enormen CO<sub>2</sub>-Bindungspotential gesprochen werden.

Früchte der Kakao- und Acajoubäume werden hauptsächlich in Nigeria verkauft, Orangen und Teckholz finden auch Absatz auf heimischen Märkten. Insgesamt kann mit Plantagenwirtschaft durch meist hohe Preise der Früchte bei gleichzeitig unaufwendiger

---

<sup>24</sup> *Agroforestry* übersetzt bedeutet soviel wie Waldfeldbau, soll aber als englischer Begriff weiterverwendet werden.

Bewirtschaftung ein hohes Einkommen erzielt und die ökonomische Situation der Landwirte verbessert werden.

Trotz der vielfältigen Vorteile ist *Agroforestry* nicht vollständig von den Farmern adaptiert. Dafür sind mehrere Gründe zu nennen:

- 1) Plantagen haben eine Etablierungsphase von drei Jahren, bis sie den ersten verkaufsfähigen Ertrag erzielen. Da sich die meisten Farmer risikoavers verhalten, also einem späteren Mehrerlös einen kontinuierlichen geringeren Erlös vorziehen, werden die Plantagenflächen trotz der vielfältigem Potential nicht ausgeweitet. Zusätzlich mangelt es an nötigem Startkapital. So berichten 6 von 10 Farmern, dass sie gerne ihre Plantagen ausweiten würden, wenn sie das nötige Geld zur Verfügung hätten.
- 2) Die ständig wachsende Bevölkerung führt zu einem höheren Bedarf an Nahrungsmitteln. Diesem wird gegenwärtig nicht mit einer Intensivierung der Produktion, sondern mit einer Expandierung der Fläche Rechnung getragen. Die damit einhergehende Landverknappung verhindert die Zunahme von Plantagenflächen.
- 3) Problem stellt auch die Rechteverteilung innerhalb der Dörfer dar. Nichtansässige Farmer haben kein Recht, Plantagen zu pflanzen. Das Pflanzen von Bäumen gilt in Benin als ein Zeichen des Besitzanspruches und der Grenzmarkierung und ist daher nur den einheimischen Ethnien erlaubt.

### 5.3.4 Zusammenfassung und Diskussion

Der Ruthenberg-Index beschreibt die Landnutzung in *Ketou* als Brachewirtschaft mit fortschreitender Tendenz zur permanenten Landwirtschaft. Abhängig vom Standort, der Infrastruktur und der Marktintegration variiert die Intensität der Landwirtschaft in *Ketou*. Die kultivierten Kulturen und die angewandten Pflanztechniken unterscheiden sich währenddessen wenig und zeichnen sich durch geringe Diversität und Innovation aus. So richtet sich der Aussaattermin ausschließlich nach der Regenzeit, die Bodenbearbeitung ist minimal oder inexistent, die Biomassewirtschaft ist durch deren Verbrennung gekennzeichnet und Pflegemaßnahmen während der Wachstumsperiode werden nicht praktiziert. Insgesamt kann anhand der Beschreibung der Landnutzungssysteme in *Ketou* deutlich gemacht werden, dass es sich hier um eine wenig technologisierte Landwirtschaft handelt, die vorwiegend traditionellen Überbringungen und lokalen Konsummustern folgt. Bei dieser Art der Bewirtschaftung handelt es sich um eine optimal angepasste Technik, solange die Produktion von Nahrungsmitteln und die Regenerationsfähigkeit der Natur im Gleichgewicht stehen. Nun gerät die Landwirtschaft immer weiter unter den Druck des Bevölkerungswachstums und muss sich zwangsläufig intensivieren. Bis zu einem

bestimmten Punkt konnte diesem Druck durch Flächenexpansion entgegengewirkt werden, mit fortschreitender Landverknappung steigt jedoch die Intensivierung der einzelnen Flächen ohne die Anwendung angepasster Techniken. MULINDABIGWI (2005) nennt diesen Zustand *Phase de dégradation écologique* der gefolgt wird von einer Situation der strukturellen Ernährungsunsicherheit, die bei nicht gegen wirkenden Maßnahmen in einer irreversiblen Umweltdegradation enden kann (s. Tab. 1). Es wird deutlich, dass eine Änderung der Landnutzung unumgänglich ist, um das schlimmste Szenario, in dem aufgrund der Umweltdegradation nicht mehr ausreichend Nahrungsmittel produziert werden können, zu verhindern. Hierzu zählt die Forstwirtschaft, die so wie sie aktuell betrieben wird in absehbarer Zeit in einer vollständigen Vernichtung der Waldressource enden wird, sowie die traditionell begründete und weit verbreitete Brandrodung, die eine Rehabilitation der Bodenfruchtbarkeit verhindert. Flächen, die für die Produktion von Nahrungsmitteln verwendet werden, müssen durch den Einsatz verbesserter Techniken und Düngemittel in ihrer Produktivität gesteigert werden. Parallel muss die Plantagenwirtschaft ausgebreitet werden, da diese ein großes Potenzial hinsichtlich der Einkommensgenerierung und der ökologischen Leistungen birgt.

Wie diese ökologischen Leistungen der Ökosysteme bewertet werden können und somit als Entscheidungsgrundlage für ein verbessertes Ressourcenmanagement herangezogen werden können, wird im anschließenden Kapitel evaluiert.

## 5.4 Biomasse, Ökovolumen und Biovolumen als Indikatoren von Ökosystemfunktionen

Aus der vorangegangenen Beschreibung der Landnutzungssysteme am Beispiel der Gemeinde *Ketou* wurde ersichtlich, dass eine Änderung dieser, um einer Schädigung von Mensch und Umwelt entgegen zu wirken, notwendig ist. Wohin soll der Trend jedoch gehen, welche Landnutzungssysteme werden sowohl der Umwelt als auch den Bedürfnissen der Menschen nach Nahrungsmitteln gerecht und wie kann man diese bewerten? Dazu wurde eine Vielzahl an Indikatoren entwickelt, anhand derer Landnutzungssysteme charakterisiert und deren ökologische Funktion bewertet werden. In diesem Kapitel nun soll zum einen anhand der Berechnung von Biomasse, Ökovolumen und Biovolumen aus den in *Ketou* erhobenen Daten, eine Vergleichbarkeit der Systeme ermöglicht werden und zum anderen sollen diese Größen hinsichtlich ihrer Leistung als Indikatoren von Ökosystemfunktionen untersucht werden.

**Zielsetzung 2:** Vergleichende Darstellung der Landnutzungssysteme anhand der Kenngrößen Ökovolumen, Biovolumen und Biomasse. Prüfung dieser auf ihre Eignung als Indikatoren von ökologischen Funktionen.

**Hypothese 2:** Die Kenngrößen Ökovolumen, Biovolumen und Biomasse zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Landnutzungssystemen auf und liefern Information über deren Beschaffenheit und Qualität. Aus diesen Informationen lassen sich Aussagen über die Funktionsleistung der Ökosysteme ableiten.

### 5.4.1 Ökovolumen und Biovolumen

Unter **Ökovolumen  $V_e$**  wird das Volumen einer Pflanze oder einer Vegetation, das durch deren Höhe und der bewachsenen Fläche bestimmt wird, verstanden. Es handelt sich also um den Raum, in dem eine Pflanzengemeinschaft mit abiotischen und biotischen Faktoren interagiert. Somit können Wechselwirkungen zwischen Umwelt und Vegetation berücksichtigt werden. Das **Biovolumen  $V_b$**  ist das Volumen einer Pflanze, das von der Biomasse eingenommen wird. Mit diesem Ansatz der Volumina werden häufig in den Vordergrund gestellte Gewichtparameter vernachlässigt und die Raumaspekte einer Vegetation beleuchtet:

*“Plants are more space invaders, than weight watchers”* (JANSSENS, 2004)

In der folgenden Tabelle werden die für die jeweiligen Landnutzungskategorien berechneten Werte dargestellt. Die Berechnungen erfolgten nach der in Abschnitt 4.2.1 beschriebenen Methodik. Die angegebenen Werte  $BA$ ,  $V_b$  und  $V_e$  der Plantagen und Kulturen sind nach

Vorkommen der einzelnen Vegetationskomponenten  $f_i$  und Vegetationszeit  $t_i$  gewichtete Mittelwerte.

**Tab. 11: Wichtige Kenngrößen der Landnutzungssysteme in Ketou**

	<b>f</b>	<b>H</b>	<b>He</b>	<b>BA</b>	<b>Vb</b>	<b>Ve</b>
	%		m	m <sup>2</sup> /ha		m <sup>3</sup> /ha
<b>Wald</b>	24	8	13	24	312	166561
<b>Plantage</b>	12	6	6	28	152	55787
<b>Savanne</b>	12	3	3	134	356	25472
<b>Brache</b>	21	2	2	196	487	19417
<b>Kulturen</b>	28	1	2	3	7	11638
<b>Ketou</b>	<b>100</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>68</b>	<b>242</b>	<b>57105</b>

f: Abundanz; H: arithmetisches Mittel aller Höhen, He: nach BA gewichtete Höhe (*Eco-Height*=  $Vb/BA$ ); BA: *Basal Area*; Vb: Bio-Volumen; Ve: Öko-Volumen;

Quelle: eigene Berechnung

Zwischen den einzelnen Werten der Landnutzungssysteme lassen sich deutliche Unterschiede feststellen. So ist das Biovolumen, das von einem Wald eingenommen wird, zum Beispiel 44-mal und das Ökovolumen 14-mal höher als das der Kulturen.

In anderen Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Basalfläche (*Basal area* BA) natürlicher Vegetationen typischerweise zwischen 30-50m<sup>2</sup> pro Hektar liegt (mündl. JANSSENS, 2008). Dass die Basalfläche sowie das Biovolumen von Savanne und Brache hier sehr hoch ausfallen, geht auf Schwierigkeiten zurück, die bei der Vermessung der hauptsächlich krautigen Vegetation aufgetreten sind<sup>25</sup>.

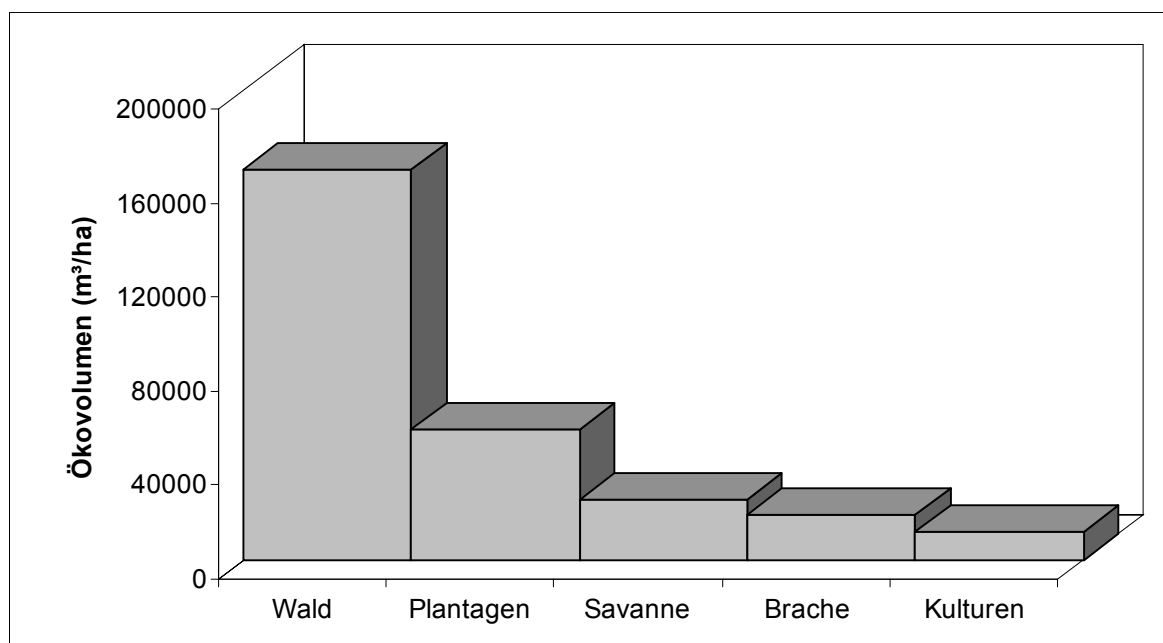
Zieht man andere Messergebnisse aus Benin hinzu (DENG, 2007; MULINDABIGWI, 2005), so kann die Basalfläche der Kulturen in einem Bereich von 1,2 – 10 m<sup>2</sup> /ha liegen. Die große Schwankungsbreite wird a) von der Messmethodik, b) der Auswahl der vermessenen Kulturen und der Abundanz dieser, c) dem Messzeitpunkt und d) der Ertragsfähigkeit des Standortes bedingt. Im vorliegenden Fall wurden die Erhebungen in der zweiten kleinen Regenzeit, in der den Kulturen weniger Zeit zur Biomasseakkumulation zur Verfügung steht und die Zusammensetzung der Kulturen einerseits stark von kriechenden (Goussi, Bohne) andererseits von verholzenden Pflanzen (Baumwolle, Maniok) geprägt ist, durchgeführt. So kommt es, obwohl es sich in der Gemeinde *Ketou* um einen ertragsfähigen Standort handelt

<sup>25</sup> Die Messung des Umfangs der Kräuter und Gräser konnte nicht an einzelnen Halmen erfolgen, sondern wurde an Pflanzenbündeln durchgeführt. Dadurch kam es zu einer strukturellen Überschätzung.

(Abschnitt 5.3.3.1), zu BA-Werten, die in der unteren Hälfte liegen. Schwankungen bei den Volumina der Kulturen sind auf gleiche Ursachen zurückzuführen (Vb: 3-14 m<sup>3</sup>/ha; Ve: 9000-16000 (DENG, 2007; MULINDABIGWI, 2005))

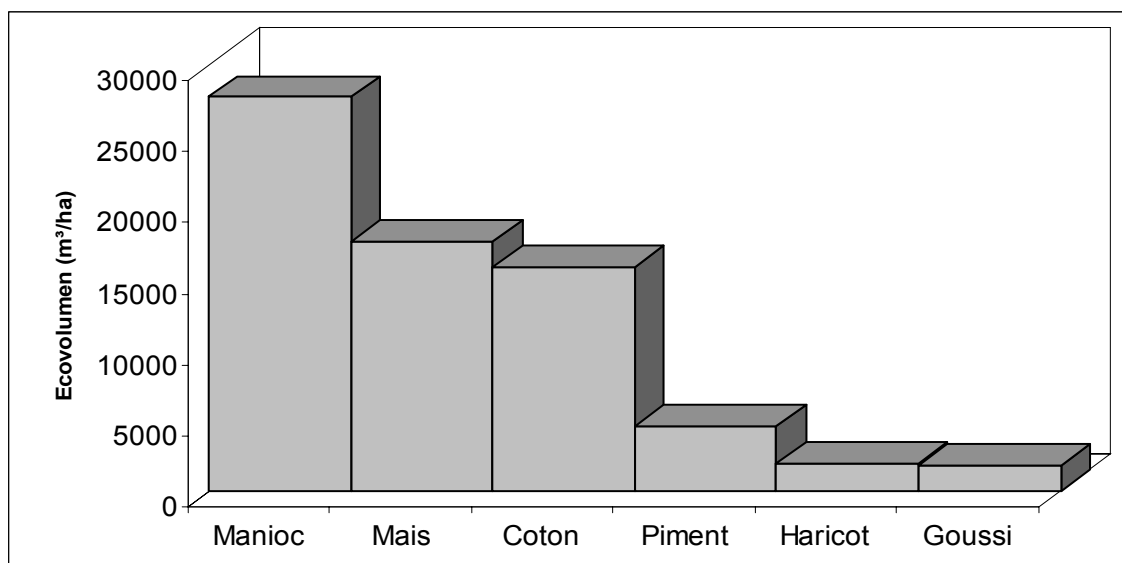
Zwischen der Höhe  $H$ , errechnet als das nach Vorkommen  $f_i$  gewichtete arithmetische Mittel aller Einzelwerte, und der nach der Basalfläche gewichteten Höhe  $H_e$ , sind im Falle des Waldes und der annuellen Kulturen Unterschiede zu erkennen. Diese lassen sich durch Heterogenitäten innerhalb eines Systems erklären. Dividiert man  $H$  durch  $H_e$  erhält man den **Homogenitätsindex** (*Homogeneity-Index*)  $H_i$  der zwischen 0,5 und 1 liegt. Werte ähnlich 1 signalisieren einen homogenen Bestand, bei dem das Verhältnis zwischen Höhe und Basalfläche flächendeckend annähernd gleich ist (Plantagen 1,1; Savanne 1,1; Brache 0,9), währenddessen bei Wald (0,6) und Kulturen (0,6) eine hohe Abweichung von 1 ein heterogenes Landschaftsbild vermuten lässt.

Das Ökovolumen der jeweiligen Landnutzungskategorien wird hier als Summe aller Einzelpflanzenvolumina dargestellt und variiert von 10000 m<sup>3</sup>/ha für annuelle Kulturen bis 170000 m<sup>3</sup>/ha für Waldflächen. Das höchste Ökovolumen in den landwirtschaftlichen Systemen haben die Plantagen. Teck dominiert dort mit einem Volumen von 10000 m<sup>3</sup>/ha gefolgt von Acajou mit 5000 m<sup>3</sup>/ha. Innerhalb der annuellen- und überjährigen Kulturen liegt das Ökovolumen bei 1800 m<sup>3</sup>/ha für Goussi und Bohnen und bei 27000 m<sup>3</sup>/ha für Maniok.



**Abb. 14: Ökovolumen der Landnutzungssysteme in Ketou**

Quelle: Eigene Darstellung



**Abb. 15: Ökovolumen wichtiger Kulturen in Ketou**

Quelle: Eigene Darstellung

Werden die einzelnen Systeme nach ihrer Abundanz gewichtet, ergeben sich die für die gesamte Gemeinde gültigen Werte. Somit hat *Ketou* ein durchschnittliches Ökovolumen von 57105 m³ pro Hektar (vgl. durchschnittlicher Wert für Benin: 44326 m³/ha (FARM-ADA-M, 2008)).

Eine zweite Berechnungsart des Öko-Volumens folgt der Methodik JANSSENS (2004), nach der  $V_e$  das Produkt aus einer von einer Vegetation bewachsenen Oberfläche  $S$  und der Öko-Höhe  $H_e$  ist (s. Tab. 12). Bei dieser Berechnung wird vernachlässigt, ob es sich um einen lichten oder dichten Bestand handelt, da die individuelle *Crown Area* nicht berücksichtigt wird, sondern prinzipiell eine lückenlose Vegetationsdecke angenommen wird. Somit erklären sich die Unterschiede, die bei den beiden Berechnungswegen entstehen.

**Tab. 12: Ökovolumina und Schichtungsindex**

	$V_{e1} = \sum V_{ei}$	$V_{e2} = S \cdot H_e$	$V_{e1}/V_{e2} \cdot 100$
	m³/ha		
<b>Wald</b>	166561	130000	129
<b>Plantage</b>	55787	50000	101
<b>Savanne</b>	25472	30000	96
<b>Brache</b>	19417	20000	78
<b>Kulturen</b>	11638	20000	55
<b>Ketou</b>	57105	55913	102

Quelle: Eigene Berechnung

Dividiert man  $Ve_1$  und  $Ve_2$  und multipliziert sie mit 100 erhält man einen neuen Indikator, der Aussagen über die Dichte eines Bestandes zulässt. Ein Wert über 100 hinsichtlich des Waldes lässt sich damit begründen, dass sich in einer Waldformation viele Vegetationsformen überlappen. In andern von menschlichen Eingriffen geprägten Systemen ist der horizontale Schluss des Ökovolumens häufig nicht gegeben, womit sich ein Wert unter 100 deuten lässt. Der berechnete Indikator kann somit als **Schichtungs-Index** (*Strata-Index*) **Si** bezeichnet werden, der wichtige Informationen über die vertikale und horizontale Struktur eines Ökosystems gibt.

Aus Bio- und Ökovolumina lassen sich anschließend andere interessante Indikatoren berechnen. Der Wesenbergfaktor

$$Wb = Ve/Vb \quad (\text{WESENBERG, 2004 in JANSSENS, 2004})$$

zeigt das Verhältnis von Ökovolumen zu Biovolumen auf und damit die Fähigkeit einer Pflanzengemeinschaft, sich in einem natürlichen Raum auszubreiten (JANSSENS, 2004). Anhand des *Crowding Intensity Index*

$$Ci = 100/wb$$

können Aussagen über die Ausdehnung eines Bestandes gemacht werden (Prozent des durch Biovolumen ausgefüllten Ökovolumens). Für natürliche Systeme bedeutet das, umso größer  $Ci$ , umso besser die  $Ve$  Qualität. In landwirtschaftlichen Systemen muss jedoch zwischen einem hohen  $Ci$  Wert, d.h. einem dichten Bestand, in dem hohe Konkurrenzverhältnisse um Licht, Wasser und Nährstoffe zwischen den Pflanzen bestehen, und einem kleinen  $Ci$  Wert, der einen lichten Bestand charakterisiert, in dem die Unkrautkontrolle intensiver erfolgen muss, unterschieden werden. Bei der Berechnung von  $Wb$  und  $Ci$  ist es sinnvoll das  $Ve$  basierend auf der Gesamtfläche der Pflanzengemeinschaft ( $Ve_2$ ) heranzuziehen, da es sich bei den zu berechnenden Werten um Indikatoren handelt, die Informationen über eine Pflanzengemeinschaft in einem definierten Raum geben.

**Tab. 13: Crowding Intensity und Wesenbergfaktor**

	<b>wb</b>	<b>Ci (%)</b>
<b>Wald</b>	412	0,24
<b>Plantage</b>	362	0,27
<b>Savanne</b>	74	1,33
<b>Brache</b>	51	1,96
<b>Kulturen</b>	3176	0,03

Quelle: eigene Berechnung

Die hohen Ci-Werte für Savanne und Brache sind typisch für Gras- und Buschvegetationen, in denen die Pflanzen von Natur aus sehr dicht wachsen. Dementsprechend ist die Fähigkeit Raum einzunehmen gering ( $w_b < 100$ ). Die geringe Pflanzendichte ( $C_i: 0,03$ ) bei den Kulturpflanzen entspricht dem Wert des Schichtungs-Index ( $S_i: 55$ ), der aussagt, dass 45% der Fläche nicht von einer Vegetation bedeckt sind. Dieser vergleichsweise sehr geringe Wert (vgl.  $C_i: 0,06$  (DENG, 2007)), ist mit derselben Argumentation, wie schon oben zur Basalfläche aufgeführt, zu begründen. Vor diesem Hintergrund muss bei dem Wesenbergsfaktor von 3176 beachtet werden, dass es sich nicht um eine Qualitätsangabe handelt, sondern im Gegenteil, um ein Anzeichen für geringe Produktivität der landwirtschaftlichen Systeme<sup>26</sup>.

#### 5.4.2 Biomasse

Bei der Biomasse handelt es sich um die lebende überirdische organische Substanz, die in ofengetrockneten Tonnen pro Flächeneinheit angegeben wird. Weiter aufteilen lässt sich die Biomasse in die der Begleitvegetation und in die der verholzten Pflanzen, wobei alle Komponenten (Rinde, Blätter, Zweige, Früchte) mit einbezogen sind.

Die Schätzung von überirdischer Biomasse ist eine essentielle Voraussetzung für weitere Untersuchungen des Kohlenstoffhaushaltes und des Effekts von Entwaldung auf die globale Kohlenstoff Bilanz (KETTERING, 2001). Wie schon im Methodenteil erwähnt, handelt es sich bei der destruktiven Methode, um die sicherste Biomasseermittlung. Diese wurde für die ein- und überjährigen Kulturen und die Grass- und Buschsavannen bzw. die Bracheflächen durchgeführt. Für die Biomassebestimmung der Plantagen und des Waldes mussten Allometrieformeln zur Schätzung hinzugezogen werden. Schon im Methodenteil wurde darauf hingewiesen, dass es eine Vielzahl von Formeln gibt, die jeweils unter bestimmten Bedingungen generiert wurden. In der folgenden Tabelle werden die Ergebnisse einiger ausgewählter Gleichungen vorgestellt.

Die Gleichung (2) von Brown eignet sich für trockene Standorte mit einem Niederschlag zwischen 900mm/a und 1400mm/a und für Bäume mit einem Stammdurchmesser von 5-40 cm. Die zweite Brown-Gleichung (3) wurde zwar in einer feuchten Klimazone generiert, empfiehlt sich aber besonders für Bäume mit größerem Stammdurchmesser (5-148cm), somit also für den in dieser Arbeit untersuchten Wald (DBH: 5-80cm). Nach Aussagen von Brown eignen sich diese Schätzungsmethoden nicht nur für Wälder, sondern insgesamt für

---

<sup>26</sup> Diese Aussage kann nur für die in dieser Arbeit zur kleinen Regenperiode vermessenen Kulturen angenommen werden.

Vegetationen, in denen Bäume dominieren (BROWN, 1997). Nach HAIRIAH (2001) kommt es bei der zweiten Gleichung (3) von Brown besonders in sekundären Wäldern und schnell wachsenden Plantagenbäumen zu einer Überschätzung des tatsächlichen Wertes; Für Sekundärvegetationen solle demnach eher die Gleichung (4) von PUIG (2005) herangezogen werden. Diese unterscheidet sich in der vorliegenden Schätzung jedoch keineswegs von der Brown Gleichung (3). KETTERING (2001) schlägt eine weitere Allometrieformel (5) vor, die nach seinen Angaben ein flexibles Model sei, das sich auf unterschiedliche Untersuchungsgebiete übertragen lasse.

Tab. 14: Biomasseberechnung nach unterschiedlichen Allometrieformeln

	f %	BA m <sup>2</sup> /ha	ρ g/cm <sup>3</sup>	TM=Vb/ρ (1)	TM=e <sup>-1,966+2,32*lnD</sup> BROWN, 1997 (2)	TM=e <sup>-2,134+2,530*lnD</sup> BROWN, 1997 (3)	TM=e <sup>-1,945+1,2341*lnD<sup>2</sup></sup> PUIG, 2005 (4)	TM=0,1*ρ*D <sup>2,62</sup> KETTERINGS, 2001 (5)
<b>Wald</b> n=104	24	24	0,64	174a	85a	157a	151a	129a
<b>Plantagen</b> n=87	12	28		111a	71a	111a	111a	85a
<b>Kakao</b> n=10	7	13	0,55	34a	60ab	97c	97c	66b
<b>Teak</b> n=30	36	64	0,75	251a	113b	165ab	170ab	146ab
<b>Orange</b> n=19	10	9	0,84	40a	43a	72b	71b	75b
<b>Cashew</b> n=28	37	9	0,50	36a	52ab	94c	91bc	61abc
		<b>H</b> <b>m</b>		<b>TM=10+6,4*H</b> <b>FRANGI und LUGO, 1985</b>				
<b>Ölpalme</b> n=27	10	6		44				

TM: Trockenmasse (t/ha); f: Abundanz; BA: *Basal Area*; D: DBH (Brusthöhe) im Falle des Waldes und Teaks, DSL (Bodenhöhe) im Falle der restlichen Plantagenbäume (cm); ρ: Holzdichte (g/cm<sup>3</sup>); H: Höhe; Vb = Σ(BA<sub>i</sub>\*D<sub>i</sub>) (m); n: Anzahl der vermessenen Bäume.

One-way ANOVA, Signifikanzniveau 5%

Quelle: eigene Berechnung

Bei allen Gleichungen muss berücksichtigt werden, dass sie in einer der hier angewandten Vegetation verschieden generiert wurden, und dadurch nur schwer klare Aussagen über die tatsächliche Biomasse getroffen werden können. Nach einer Varianzanalyse kann festgestellt werden, dass es im Falle des Waldes und der Plantagen (als gewichtete Sammelklasse) keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schätzungsmodellen gibt, was auf die hohe Variation innerhalb der Vegetationsklassen zurückzuführen ist. Es kann also davon ausgegangen werden, dass der tatsächliche Wert innerhalb der Schätzungsspanne liegt. Nach Angaben von MARSCH et al. (1976 in BROWN, 1997) beläuft sich die Biomasse einer Baumsavanne in Benin, die einem lichten Wald sehr ähnlich ist, auf 96 t/ha. Jedoch ist bei dieser Angabe die Vegetation mit einem Stammdurchmesser < 10 cm nicht berücksichtigt, woraufhin von einem tatsächlich höheren Wert ausgegangen werden kann. Andere in der Literatur angegebenen Werte (SONWA, 2004; DENG, 2007; MULINDABIGWI, 2005) sind häufig nach den Modellen von Brown berechnet und können daher nur bedingt als Anhaltspunkt dienen.

Die Berechnungsmethode nach dem Volumengesetz (1) wird mit seinen Werten am ehesten den Unterschieden zwischen der Waldvegetation, den sehr dichten Teckplantagen und den lichten Plantagen gerecht. Im Falle des Waldes und der Teckplantagen kann jedoch von einer Überschätzung aufgrund fehlerhafter Höhenschätzung ausgegangen werden. Deshalb werden hierfür die nach KETTERINGS berechneten Werte angenommen. Die Biomasseangaben für die restlichen Plantagenbäume nach der Formel (1) scheinen vor dem Hintergrund, dass alle übrigen Allometrieformeln den Durchmesser in Brusthöhe fordern, dieser aber im Fall von Acajou, Orange und Kakao aufgrund von starken Verzweigungen nicht gemessen werden konnte und somit eine starke Überschätzungen anzunehmen ist, am genauesten zu sein.

Letztendlich ergeben sich folgende Mengen an organischer Substanz in den jeweiligen Landnutzungssystemen, woraus sich auf Gemeindeebene 45 Tonnen Biomasse pro Hektar errechnen.

**Tab. 15: Biomassefraktionen der unterschiedlichen Systeme**

	Phytomasse	Herbalmasse	Nekromasse	Biomasse total
	t/ha			
<b>Wald</b>	129 <sup>27</sup>	2,1	1,5	133
<b>Plantage</b>	75 <sup>28</sup>	0,8	2,5	78
<b>Savanne</b>	39	8,3	2,0	50
<b>Brache</b>	0	12	1,8	14
<b>Kulturen</b>	5	0,3	0,5	6
<b>Ketou</b>				<b>45</b>

Quelle: eigene Berechnung

### 5.4.3 Zusammenhang zwischen räumlichen und Gewichtsparemern

Die in der Literatur zu findenden Allometrieformeln gelten meistens nur für Wälder und Plantagen und beruhen auf den Relationen zwischen Biomasse, Stammdiameter, der Holzdichte und der Höhe (BROWN, 1997; KETTERINGS, 2001; PUIG, 2005). Für kurzlebige Pflanzen gibt es kaum Gleichungen, aus denen sich die Biomasse ermitteln lässt. Auch wird selten das Verhältnis zwischen Ökovolumen, Biovolumen und Biomasse/ Ertrag beleuchtet. Dies kann damit erklärt werden, dass sich das Volumen aus den Parametern Diameter und Höhe errechnet und somit keine Verbesserung der Schätzung zu erwarten ist.

Lineare Regressionsanalysen mit der abhängigen Variable Biomasse und den unabhängigen Parametern  $V_e$  und  $V_b$  sind innerhalb der einzelnen Kulturgemeinschaften unergiebig. Eine zu geringe Fallzahl (<30) und eine zu große Varianz sind hier als Grund zu sehen. Nur bei Baumwolle, die aufgrund von gleicher Anbaumethode und Inputintensität sehr homogen im Feld steht, sind signifikante Korrelationen zwischen  $V_b$ ,  $V_e$  und Biomasse zu beobachten. Erst wenn die Kulturen als Klasse zusammengenommen werden, ergibt sich eine signifikante Korrelation zwischen Biomasse und Volumenangaben. Dies gilt auch für krautige Begleitvegetation.

<sup>27</sup> Nach Formel (5) berechnet.

<sup>28</sup> Teak nach Formel (5), restliche Plantagenbäume nach Formel (1) berechnet.

**Tab. 16: Lineare Regressionsmodelle für kurzlebige Vegetationsformen**

Vegetationstyp	Lineares Regressionsmodell	R <sup>2</sup>	p-Wert
Krautige Vegetation	<b>TM=28085,517*Vb+107,009*Ve - 9,248</b>	0,64	0,00
n=36, H:27-75cm, D:1,5-13cm			
Kulturen	<b>TM=155424,5*Vb+54,116*Ve+36,605</b>	0,45	0,00
n=103, H:20-300cm, D:0,9-5cm			
Baumwolle	<b>TM=157152,6*Vb+22,623*Ve+13,421</b>	0,82	0,00
n=11, H:90-180cm, D:3,2-5,8cm			
Volumenangaben in m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> , Biomasseausgabe in g/m <sup>2</sup>			

Quelle: eigene Berechnung

Inwieweit diese Gleichungen eine Relevanz für die Anwendung in der Praxis besitzen ist fraglich. Zu gering ist die Fallzahl und zu speziell der Erhebungsort, als dass von einer allgemeingültigen Regel gesprochen werden kann. Interessant bleibt jedoch, dass sich die Gewichtparameter bis zu einem gewissen Grad anhand von Volumenangaben darstellen lassen.

#### 5.4.4 Bewertung ökologischer Funktionen

Als ökologische Funktionen (*environmental services*) bezeichnet man Ökosystemleistungen, die für Mensch und Umwelt vorteilig sind. Das Verständnis dieses Begriffs wurde bereits im Theoriekapitel umfassend beleuchtet. In diesem Abschnitt sollen die zuvor ermittelten Indikatoren Biomasse, Ökovolumen und Biovolumen auf dessen Aussagekräftigkeit bezüglich ihrer Umweltleistungen geprüft werden: Inwieweit können sie hilfreiche Informationen über die Systemstabilität oder auch Resilienz der Ökosysteme, die Fähigkeit der Landnutzungssysteme Kohlenstoff zu binden, und den Einfluss der Vegetationen auf das Mikroklima liefern?

##### 5.4.4.1 Resilienz

Die Fähigkeit eines Ökosystems sich nach externen Störungen wieder in ein stabiles Gleichgewicht zu finden kann anhand des Resilienz-Index beschrieben werden. Dieser errechnet sich aus dem Verhältnis von aktuellem Ökovolumen zu potentiell möglichem V<sub>pot</sub>:

$$R_i = V_e / V_{pot} \quad (\text{TORRICO, 2006})$$

Als potentielles Ökovolumen (Referenzwert) wird das Volumen des Waldes in *Ketou* betrachtet. Hier ist es empfehlenswert, das Ökovolumen berechnet als Summe der Einzelvolumina (V<sub>e1</sub>) aller Bäume heranzuziehen, da nur so das gesamte Ausmaß von

Ökosystemstörungen erfasst werden kann. Sowohl vertikale als auch horizontale selektive Eingriffe in ein Ökosystem beeinflussen dessen Stabilität und müssen deshalb berücksichtigt werden.

Alle dem Wald verschiedenen Landnutzungssysteme weisen ein Volumenverlust auf, der als **Vloss** bezeichnet wird:

$$\mathbf{Vloss} = \mathbf{Vpot} - \mathbf{Ve} \quad (\text{TORRICO, 2006})$$

Anhand des Wertes kann der Qualitätsverlust eines Ökosystems quantifiziert werden. Je größer der Verlust an Ökovolumen in einem System ist, desto geringer ist dessen Resilienz.

**Tab. 17: Resilienz und Ökovolumenverlust der Landnutzungssysteme in Ketou**

	Ri	Vloss	Vpot
<b>Wald</b>	1	0	166561
<b>Plantage</b>	0,3	110773	
<b>Savanne</b>	0,2	141088	
<b>Brache</b>	0,1	147144	
<b>Kulturen</b>	0,07	154923	
<b>Ketou</b>		104258	

Quelle: eigene Berechnung

Es wird deutlich, dass anhand des Resilienz-Index eindeutige Differenzierungen der Landnutzungssysteme hinsichtlich derer Stabilität erfolgen können. Systeme mit einem Ri-Index zwischen 0,3 und 0,5 (Plantagen) werden als hoch resilient bezeichnet. Über 0,5 bewegen sich die Systeme auf einen Klimax-Zustand zu, in dem Umwelt und System in einem Fließgleichgewicht stehen. Indices zwischen 0,1 und 0,2 (Brache, Savanne) werden als Durchschnitt bezeichnet und alle darunter befindlichen Systeme sind als hoch empfindlich auf Schockwirkungen einzustufen (TORRICO, 2006). Agrarökosysteme geprägt von annuellen Kulturen und einem hohen Maß an Fremdregulation sind demnach äußerst labile Systeme, die sich kaum Selbstregulieren können und sich in einer Abwärtsschraube der Degradation befinden.

#### **5.4.4.2 Kohlenstoffbindungspotential**

Kohlenstoff ist ein wesentlicher Teil der Biomasse und liegt somit in der überirdischen lebenden Pflanzenmasse, der Nekromasse, der Wurzelmasse und der organischen Bodensubstanz vor. Dabei kann ein Kohlenstoff- Biomasse- Verhältnis von 0,5 angenommen werden (BROWN, 1997). Während der Wachstumsphase wird Kohlenstoff aufgenommen und in Biomasse inkorporiert bis das Gleichgewicht einer Vegetation (Klimaxvegetation) erreicht ist und die Kohlenstoffaufnahme der Abgabe entspricht. So zeichnet sich ein

Agrarökosystem, das sich aufgrund von wiederholenden Eingriffen in einem Initialstadium befindet, durch hohe Produktivität und einer positiven Kohlenstoffbilanz aus. Vor allem junge Wälder und Sekundärvegetation haben ein hohes Senkenpotential und auch geplante selektive Holzentnahme aus Wäldern kann dessen Produktivität steigern (DENICH, GEHRING in PUIG, 2005). Am effizientesten ist die Kohlenstoffbindung, wenn sich die Vegetation im *Agro-klimax*, in dem externe Eingriffe mit der Regenerationsfähigkeit des Systems im Gleichgewicht stehen, befindet (JANSSENS, 2003).

Als Maß, inwieweit Eingriffe in ein System erfolgen können bei gleichzeitiger Erhöhung des Senkenpotentials, könnte der Schichtungs-Index dienen. Dies würde der Annahme folgen, dass solange Überlappungen ( $S_i > 100$ ) in einer Vegetation vorhanden sind, Biomasse aus dem System entfernt werden kann ohne die Stabilität kritisch herabzusetzen. Im Falle des Waldes ( $S_i = 130$ ) könnten demnach 30% der Biomasse entfernt werden. Aufgrund der hohen Resilienz ( $R_i = 0,8$  nach Biomasseentnahme) würde das System weiterhin einen Klimax anstreben und es könnte sich ein produktives Fließgleichgewicht von Zunahme durch Wachstum und Entnahme durch selektive Eingriffe entwickeln. Übertragen auf die Plantagen bedeutet der Schichtungs-Index 100, dass das *Agro-klimax* mit maximaler Produktivität bereits erreicht wurde und die externen Eingriffe mit der internen Regenerationsfähigkeit im Gleichgewicht stehen. Im Falle der annuellen Kulturen ist das Senkenpotential insgesamt sehr klein und mit einer flächendeckenden Bepflanzung ( $S_i = 100$  anstatt  $S_i = 55$ ) könnte dieses auch nur geringfügig angehoben werden. Jedoch würde sich die Systemstabilität verbessern und damit andere ökologische Funktionen (z.B. Bodenschutz) implizieren.

Einen Überblick über die Kohlenstoffgehalte in den unterschiedlichen Landnutzungssystemen gibt die Tabelle. Diese wurden aus den Biomassegehalten (s. Tab. 14) unter der Annahme, dass sie aus knapp 50% Kohlenstoff bestehen ( $C_t = TM * 0,45$  NOLTE et al., 2001 in SONWA, 2004), berechnet.

**Tab. 18: Kohlenstoffgehalt in der Biomasse/ Bodenstreu/Boden**

<b>C-Gehalte in:</b>	<b>Oberirdische Biomasse</b>	<b>Nekromasse</b>	<b>Boden</b>	<b>Gesamt</b>
	t/ha			
<b>Wald</b>	59	0,7	70	129
<b>Plantagen</b>	34	1,1	61	96
<b>Savanne</b>	21	1,8	52	75
<b>Brache</b>	5	0,8	47	53
<b>Kulturen</b>	2,2	0,2	59	61
<b>Ketou</b>				23

Biomasse incl. krautiger Pflanzen; C in t/ha; Boden in 25 cm Tiefe;

Quelle: eigene Berechnung

Der durchschnittliche Gehalt an Kohlenstoff in den ersten 25 cm des Bodens beläuft sich auf 1,5%, höhere Werte sind auf den Flächen, die nicht von Bränden betroffen sind, zu finden. Das macht sich vor allem durch hohe Kohlenstoffmengen in den Böden unter Plantagenbäumen und unter Wald bemerkbar.

Die geringen Kohlenstoffgehalte in den Böden der jungen Brachen zeigen, dass nach einer intensiven Kultivierungsperiode mehrer Jahre Ruhezeit erforderlich sind, bevor sich der Boden wieder regenerieren kann.

Auf Gemeindeebene ergibt sich ein Kohlenstoffgehalt von 23t /ha. Bei gleich bleibender Landnutzung ist abzusehen, dass sich die landwirtschaftlich genutzte Fläche ausdehnt bei gleichzeitigem Rückgang der natürlichen Vegetationsformen. Somit wird auch der Kohlenstoffgehalt auf Gemeindeebene sinken.

Aus diesen Zahlen wird außerdem deutlich, in welchem Größenbereich die Kohlenstoffemissionen, die mit Biomasseverbrennungen und Umwandlungen von natürlichen Ökosystemen in Agrarsysteme verbunden sind, liegen können.

#### 5.4.4.3 Ökoniederschlag

Zwischen Landnutzungssystemen und Niederschlag wird ein enger Rückkopplungseffekt angenommen. So führt landwirtschaftliche Produktion durch Ausdehnung der Flächen und Reduktion der Biomasse zu verstärkten Kohlenstoffemission und damit zu klimatischen Veränderungen. Rückwirkend sind Folgen einer Klimaänderung verkürzte Regenzeiten, Verringerung der Erträge und somit wiederum der Zwang zur Expansion landwirtschaftlicher Flächen (IPCC, 2001). Als Maß der gegenseitigen Beeinflussung soll der Ökoniederschlag (*Ecoprecipitation*) dienen, der als Funktion des Ökovolumens dargestellt wird.

$$P_e = f(V_e) \quad (\text{JANSSENS, 2004}).$$

Dieses Konzept folgt der Annahme, dass Veränderungen des Ökovolumens einen direkten Einfluss auf das lokale Klima in Form von Taubildung und Niederschlagsgenerierung haben (JANSSENS, 2004).

DENG entwickelte zur Schätzung des Niederschlags in seiner Arbeit ein lineares Regressionsmodell über 62 Gemeinden in Benin:

$$\text{Rain} = 1543,11 + 0,00133381 * V_e - 73,2149 * \text{LAT} + 51,7085 * \text{LON} + 0,529908 * \text{ELE} \quad (\text{DENG, 2007})$$

Der Ökoniederschlag  $P_e$  errechnet sich anschließend aus der Differenz zwischen dem errechneten aktuellen Niederschlag  $P_{ac}$  und einer geschätzten Menge  $P_{min}$  bei der Annahme, dass keine Vegetationsdecke ( $V_e=0$ ) existiert.

$$P_e = P_{ac} - P_{min}$$

Dieses Modell angewandt für die Gemeinde *Ketou* (LAT:N7 21.828, LON:E2 36.516, ELE:124 m, Ve: 57105 m<sup>3</sup>/ha) schätzt einen aktuellen Niederschlag von 1279mm/a (vgl. 1073mm/a in PDC KETOU, 2005). Abzüglich der minimalen Niederschlagsmenge  $P_{min}$  (1203mm/a) ergibt sich ein Wert von 76mm/a der ausschließlich aus der lokalen Vegetation generiert wird. Das hieße, dass 1m Ökohöhe (bei angenommenen durchschnittlichen 5m Ökohöhe) einen zusätzlichen Niederschlag von 15mm begünstigen kann. Nimmt man jedoch die vor Ort gemessene Niederschlagsmenge als Rechnungsgrundlage ( $P_e=1073-1203$ ), ergibt sich eine negative Öko-Niederschlagsmenge, die auf einen Fehler im Modell hinweisen könnte.

Wie schon in Abschnitt 2.3.1 erläutert, handelt es sich um ein Modell, das nur mit Vorsicht angewandt werden kann. Auch DENG (2007) schlägt vor, das Modell durch Hinzunahme von weiteren Parametern wie Temperaturschwankungen und Evapotranspiration zu präzisieren. JANSSENS (2004) weist darauf hin, dass eine Verfeinerung der Berechnung durch die Gewichtung des Ökovolumens nach dessen Pufferkapazität (s. Abb. 6) notwendig ist. Diese Bewertung soll in Form eines *eco-vitality* Indexes erfolgen, bei dem wiederum der Schichtungs-Index eine Rolle spielen könnte.

Eine Frage bleibt. Fällt der Niederschlag auch tatsächlich dort, wo er generiert wird. Obwohl in *Ketou* so wie auch in vielen anderen Gemeinden Benins die Biomasse und das Ökovolumen auf Gemeindeebene abnehmen, sprechen die lokalen Farmer von einer tendenziellen Zunahme des Niederschlags.

*„Il n’y a pas eu de petite période sèche cette année, mais plutôt une grande période pluvieuse.“*

*(Dieses Jahr gab es keine kurze Trockenperiode, sondern eine große Regenperiode.)*

*„La pluie est arrivée très tard et elle ne s’est pas arrêtée. Cela a détruit de nombreuses cultures. »*

*(Der Regen kam sehr spät und hörte dann nicht mehr auf. Viele Kulturen haben dadurch Schaden genommen.)*

Natürlich kann durch diese Aussagen auf ein Jahr bezogen nicht auf einen generellen Klimawandel geschlossen werden, jedoch sollte die Problematik des Ökoniederschlag-Ansatzes deutlich werden.

#### **5.4.5 Zusammenfassung und Diskussion**

Öko- und Biovolumen sind leicht zu ermittelnde Parameter und ermöglichen eine eindeutige Diskriminierung zwischen natürlichen und landwirtschaftlichen Systemen. Außerdem lassen sich aus deren Verhältnis zueinander weitere Indikatoren ( $W_b$ ,  $C_i$ ,  $H_i$ ,  $S_i$ ) ermitteln, die aufschlussreiche Informationen über die genaue Ausbildung der Ökosysteme geben. Biomasse eignet sich besonders für die Abbildung der Produktionskapazität eines Ökosystems. Jedoch muss sowohl bei den nach der direkten als auch nach der indirekten

Methode berechneten Werten von Fehlern ausgegangen werden. So beginnen die Fehlerquellen bereits bei den Messungen im Feld und der Auswahl der allometrischen Funktionsform und führen sich bei der endgültigen Anwendung der Gleichung fort (KETTERINGS, 2001).

Mess-Schwierigkeiten im Feld, die vor allem bei den einjährigen Kulturpflanzen und der krautigen Begleitvegetation auf traten, machen sich bei der Berechnung der Indikatoren bemerkbar. Die Notwendigkeit besserer Schätzungsmethoden für die Biomasse und das Volumen von krautigen Pflanzen und holziger Vegetation mit einem Durchmesser kleiner als 10cm betonte auch JANSSENS (2004).

Als Indikatoren von ökologischen Funktionen leisten die Größen Ökovolumen, Biovolumen und Biomasse gute Arbeit. So können durch Kombination von Resilienz und Schichtungs-Index wertvolle Informationen über die Stabilität eines Systems gewonnen werden. Unter Einführung des Begriffes *Agro-klimax* wird außerdem die Möglichkeit, Systeme ökonomisch zu nutzen bei gleichzeitiger Erhöhung derer Kohlenstoffsinkenpotentiale, deutlich.

Die Indikatoren am Beispiel *Ketou* angewandt, zeigen die ökologische Bedeutung der Plantagen auf. So zeichnen sich diese Systeme durch eine hohe Stabilität und Produktivität aus. Auch konnte demonstriert werden, dass eine nachhaltige Waldnutzung sowohl ökologisches als auch ökonomisches Potential besitzt. Die Bewertung der landwirtschaftlichen Kulturen fiel währenddessen schlecht aus. Geringe Resilienz ( $R_i=0,07$ ), inhomogene Bestände ( $H_i=0,6$ ), schlechte Flächenbedeckung ( $S_i=55$ ), geringe Öko- und Biovolumina pro Hektar deuten auf einen kritischen Ökosystemzustand hin. Trotz vergleichsweise hoher Bodenfruchtbarkeit (s. Abschnitt 5.3.3.1) ist die Produktivität der Pflanzen sehr gering und es ist abzusehen, dass diese bei gleich bleibender Produktionstechnik weiter abnehmen wird. Insgesamt wird die Produktionskapazität des Standortes nicht ausgeschöpft.

Biomasse bleibt der wichtigste Indikator zur Quantifizierung von Kohlenstoffgehalten in den Landnutzungssystemen, dessen Ermittlung sowohl für die Bewertung des Kohlenstoffbindungspotentials, als auch der möglichen Emissionen unumgänglich ist. Zur Beschreibung der Qualität eines Ökosystems eignen sich jedoch maßgeblich die räumlichen Parameter. Das entspricht der Hypothese JANSSENS (2004), dass Pflanzen stärker darum bemüht sind, Raum einzunehmen, als Gewicht zu gewinnen

Unter Annahme des Modells Dengs, lässt sich feststellen, dass jeder zusätzlich von Vegetation eingenommene Raum, einen zusätzlichen Niederschlag (*Ecoprecipitation*) erzeugen kann. Die Theorie, dass das Ökovolumen einen direkten Einfluss auf das lokale Klima ausübt, konnte im Rahmen dieser Forschung jedoch nicht bestätigt werden.

## Landwirte als Akteure im Spannungsfeld von ökonomischer Effizienz und ökologischer Nachhaltigkeit

Wie Landnutzungspraktiken erfolgen hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, die sich untereinander beeinflussen und in Wechselwirkung mit den Landnutzungssystemen selber stehen. Ein Einblick in die Komplexität dieses Wirkungsgefüges und der Schwierigkeit dieses klar darzustellen, wurde in Abschnitt 2.3 gegeben. Eine vollständige Beleuchtung der Umwelt-System Interaktionen war im Rahmen dieser Forschung nicht möglich und hätte den Umfang der Arbeit gesprengt. Somit soll anhand einer Auswahl von Faktoren das Spannungsfeld, in dem die Landwirte in *Ketou* handeln, beschrieben und mögliche Lösungsvorschläge zur Umsetzung verbesserter Landnutzungspraktiken abgeleitet werden. Die Ergebnisse stammen aus folgenden Quellen: - informelle Gespräche und partizipative Gruppeninterviews mit den Bauern, Experteninterviews mit CARDER Mitarbeitern und dem Direktor des Kreditinstitutes CLCAM.

Das Ziel, das verfolgt wurde und die dabei zu überprüfende Hypothese seien hier nochmals genannt:

**Zielsetzung 3:** Erfassung des Landwirten in seiner Umwelt, seine Handlungsentscheidungen, Ursachen und Wirkungen.

**Hypothese 3:** Die Landwirte in *Ketou* sind durch sozioökonomische Rahmenbedingungen stark in ihrer Handlungsfähigkeit eingeschränkt und tragen somit maßgeblich zum *trade-off* zwischen Ökosystemfunktionen und Nahrungsmittelproduktion bei.

Bei der mit den Landwirten durchgeführten Problemanalyse ergab sich als Hauptproblem der Mangel an Geld. Erst nach längeren Diskussionen wurden weitere Probleme identifiziert, die sich zumeist alle gegenseitig bedingen und verstärken. Eine Differenzierung in Ursache und Wirkung einzelner Probleme war kaum möglich. Es handelt sich hier um einen typischen Armutskreislauf, der sich auf Kosten der Menschen und der Umwelt verfestigt. Wie ein solcher Kreislauf durchbrochen werden kann, wurde mit den Landwirten vor Ort diskutiert.

### 5.4.6 Armutskreislauf

Bevölkerungswachstum führt dazu, dass die traditionelle Landnutzung in Form von Rotationslandbau aufgrund des Zwangs zur Verkürzung der Brachezeit aus dem Gleichgewicht zwischen Produktion und Regeneration gerät. Folge ist die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit, der Erträge und des Verkaufserlöses. Aufgrund mangelnden Kapitals kann nicht in Ertrag steigernde Maßnahmen investiert werden. Der Kapitalmangel wird wiederum verstärkt durch niedrige Produktpreise, verursacht durch schwache Nachfrage auf

den Märkten und Abhängigkeit von den Großkäufern. Die Armut und der Zwang Geld verdienen zu müssen, führt zu einer Produktion auf Kosten der natürlichen Ressourcen.



**Bild 3: Problembaum in Kpankoun**

Quelle: eigene Aufnahme

Normalerweise stellen die Wurzeln des Baumes die Ursachen und das Geäst die Folgen dar. Im Falle der Untersuchungsdörfer wurden die Ursachen auch als Folgen und umgekehrt identifiziert, was typisch für einen Armutskreislauf ist. Im Mittelpunkt der Diskussionen stand häufig das Thema Geld, von dem aus weitere Ursachen und Folgen abgeleitet wurden.

### 5.4.7 Natürliche Umwelt der Landwirte

Aus den problemzentrierten Gesprächen wurde deutlich, dass die Landwirte in *Ketou* eine ausgeprägte Wahrnehmung ihrer Umwelt haben. So konnten sie nicht nur Vorgänge beschreiben, sondern auch vielfältige Gründe und Interaktionen identifizieren:

*« Le forêt est en pleine dégradation. »*  
(Der Wald wird vollkommen zerstört.)

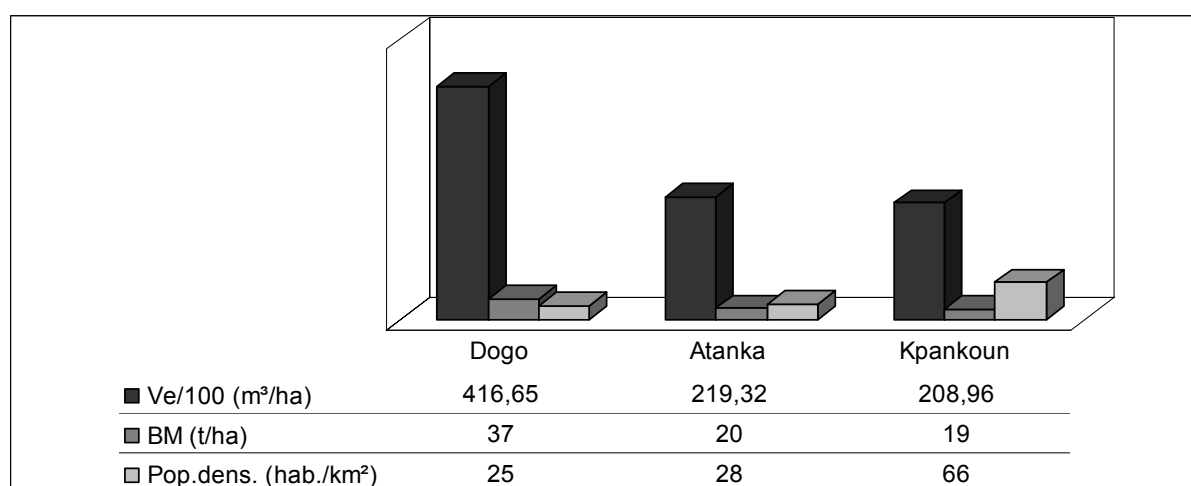
So bezeichnen sie die unkontrollierte Holzkohleproduktion als treibenden Faktor der Waldrodung. Auch wird beklagt, dass es sich in dem Forstsektor um ein höchst korruptes System handelt und es keine monetären Rückflüsse in die Dörfern selber (in diesem Fall *Dogo*) durch die Holzextraktion gibt. Der Zwang Geld zu verdienen und fehlende alternative Einkommensquellen treibt die Menschen zu einer nicht-nachhaltigen Waldnutzung.

*« La saison des pluies se modifie. Cette année, il a beaucoup plu. La saison pluvieuse a commencé très tard mais elle ne s'est pas arrêtée pour laisser place à la petite saison sèche. »*  
(Der Regen ändert sich. Dieses Jahr fiel viel zu viel Regen. Die Regenzeit hat zwar spät angefangen aber nicht zur kleinen Trockenzeit aufgehört.)

Die Konsequenzen, die durch die Veränderung des Niederschlagsverhaltens entstehen, bekommen die Landwirte empfindlich zu spüren. So brachte der Tomatenanbau dieses Jahr aufgrund von starken Regenfällen kaum Ertrag. Auch die Baumwolle, die gerade in der

Reifephase auf trockene Wetterverhältnisse angewiesen ist, wurde in ihrer Qualität deklassiert. Dass diese klimatischen Veränderungen mit der Abnahme der Biomasse und der Degradation der Ökosysteme zusammenhängt, ist den Landwirten bewusst.

Als Grund für die abnehmende Bodenfruchtbarkeit nennen die Farmer die steigende Bevölkerungszahl und die Landknappheit. Durch fehlenden Zugang zu Düngermitteln bzw. zu Krediten, um diese erwerben zu können, kann dem Problem nicht angemessen begegnet werden. Innovative Techniken, wie *Agroforestry* und Biomassewirtschaft sind den Landwirten in *Ketou* bekannt, können aufgrund von Kapital- und Landmangel jedoch nur unzureichend umgesetzt werden. Die negative Korrelation zwischen steigender Bevölkerungszahl und abnehmendem Ökovolumen wird in folgender Abbildung illustriert.



**Abb. 16: Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte und Ökovolumen/Biomasse**

Quelle: eigene Berechnung, PDC KETOU 2005

Das Bevölkerungswachstum über die letzten 14 Jahre gemittelt beträgt in *Ketou*, 4,77% (PDC KETOU, 2005). Eine weitere Abnahme der Biomasse ist abzusehen, die von MULINDABIGWI (2005) in Benin auf 2-3% geschätzt wird.

#### 5.4.8 Institutionelle Umwelt der Landwirte

Der selbst empfundene Leidensdruck der Landwirte in *Ketou* war in allen Dörfern deutlich spürbar und wurde häufig auf fehlendes Kapital zurückgeführt.

Als Grund für den Kapitalmangel nennen sie fehlende Absatzmöglichkeiten ihrer landwirtschaftlichen Produkte, was sie wiederum auf verschärfte Handelsreglungen an der nigerianischen Grenze zurückführen.

„*Je n'ai pas récolté mon manioc cette année à cause des méventes.* »  
(Dieses Jahr habe ich meinen Maniok nicht geerntet, weil der Absatz zu schlecht ist)

« *Les acheteurs ne viennent plus.* »  
(Die Käufer kommen nicht mehr.)

Ein Hauptgrund kann zusätzlich darin gesehen werden, dass die Märkte in Benin gesättigt sind, da in der Landwirtschaft hauptsächlich die gleichen Kulturen (Mais, Maniok, Yam) angebaut werden. Einer Diversifizierung der landwirtschaftlichen Produkte steht auf der Angebotsseite die Risikoaversion der Farmer im Wege und der Mangel an Investitionskapital. Aber auch die wenig abwechslungsreiche Diät des Großteils der Bevölkerung, sowie die fehlende Industrie zur Weiterverarbeitung von bestimmten landwirtschaftlichen Produkten, verhindern die Bildung eines diversifizierten Marktes. Die einzige Transformation findet mit Maniok statt, der wegen seiner geringen Lagerfähigkeit zu *Tapioka* und *Gari* umgewandelt wird.

Die Absatzschwierigkeiten werden außerdem durch die Abhängigkeit der Landwirte von Großabnehmern verstärkt. Aufgrund von nicht existenten Transportmöglichkeiten sind die Landwirte darauf angewiesen, dass die Käufer aus den größeren Städten zu ihnen ins Dorf kommen und dort die Ernte aufkaufen. Die Preisbildung wird so ausschließlich von den Käufern vorgegeben.

Dem Geldmangel durch die Aufnahme eines Kredites zu entkommen, ist den Landwirten eine bekannte Idee, nur scheitert die Umsetzung am Zugang zu den entsprechenden Krediten. So klagen die Bauern in *Kpankoun* über generell unzureichende Kredite, die Landwirte in *Dogo* sind bedingt durch ihrer Abgeschlossenheit erst gar nicht in der Lage, zu den Institutionen zu gelangen.

Die größte Institution in Ketou ist die *Fédération des Caisses d'Épargne et de Crédit Agricole Mutuel du Bénin* (CLCAM). In einem Gespräch mit dem leitenden Direktor wurde bekannt, dass, um einen Kredit aufnehmen zu können, ein Konto mit mindestens 13.000CFA eröffnet, ein Passbild in dreifacher Anfertigung abgegeben und die nötigen Formulare ausgefüllt werden müssen. Diese nötigen Voraussetzungen führen bereits dazu, dass nur 0,1 % der Landwirte als Kreditnehmer bei der Institution verzeichnet sind. Ihrem Namen wird diese Institution somit nicht gerecht. Anstrengungen seitens des Instituts, vermehrt die ländliche Bevölkerung zu erreichen, fehlen gänzlich. Bekannt ist, dass die Kreditvergabe an Landwirte ein riskantes Geschäft ist, da aufgrund von Ernteaussfällen die Rückzahlung nicht erfolgen kann. Dies liegt nach eigenen Aussagen der Landwirte wiederum an ungünstigen Bedingungen der Kreditnahme, wie zu kurze Laufzeit des Kredits, monatlicher Rückzahlungsmodus und zu hohe Zinsen.

Eine weitere Institution, die der Entwicklung des ländlichen Raumes durch Verbreitung von praktischem Wissen und Informationen dienlich sein sollte, stellt das CARDER -wie schon in Abschnitt 3.2.1 beschrieben- dar. Das Verhältnis zwischen landwirtschaftlichen Beratern des CARDERs und den Landwirten kann auch in *Ketou* als sehr gespannt beschrieben werden. Ratschläge der Experten werden selten angenommen, da die Farmer schlechte

Erfahrungen machen mussten, wie zum Beispiel, dass Versprechen nicht gehalten wurden und die übermittelten Materialien (Saatgut, Dünger) schlechter Qualität waren. Auf die Frage, wie die Landwirte die Dienstleistung der Berater nutzen und ob sie wissen, wer für ihr Dorf zuständig sei, folgt häufig die Aussage, dass sie das nicht interessiere, da der CARDER sowieso nur für die Verbreitung von Baumwolle zuständig sei. Die Experten wiederum bezeichnen die Farmer als „stur“ und „nicht in der Lage, Geld innovativ zu investieren“. Dass somit eine fruchtbare Kollaboration nicht zustande kommt, liegt auf der Hand.

Die Stärkung des Baumwollsektors, der für die Wirtschaft Benins essentiell ist, funktioniert nur bedingt. In der Gemeinde *Ketou* betreiben ausschließlich diejenigen Baumwollanbau, die über genügend Land verfügen, um sowohl *cash* als auch *food crops* anbauen zu können. Landwirte mit wenig Land können von dem Baumwollanbau nicht profitieren und lehnen ihn deshalb ab. Erst durch ergänzende komplementäre Maßnahmen zur Erhöhung der Erträge von *food crops* kann eine vermehrte Produktion von *cash crops* erfolgen.

In allen durchgeführten Gesprächen wurde mangelnde Fähigkeit zur Organisation als eine der Ursachen für die Gefangenheit in dem Armutskreislauf identifiziert. Durch fehlende Organisation, ist z.B. einzelnen Personen der Raum für Betrug gegeben. So kann sowohl in *Dogo* als auch in *Atanka* beobachtet werden, dass der Baumwollanbau zurückgeht, da das vom Staat gezahlte Geld nicht bei den Landwirten ankommt. Erst durch den Zusammenschluss der Dorfbewohner kann gemeinsam investiert werden, können Informationen hinsichtlich Kreditnahme, neuer Landnutzungspraktiken und Marktbedingungen beschaffen werden. In *Dogo* wurde sogar der ethnische Konflikt zwischen *Yoruba* und *Fon*, der sich vor allem im Streit um Land manifestiert, auf die Ursache der fehlenden Organisation und Interessenvertretung zurückgeführt. Andererseits kann die Unfähigkeit zur Bildung einer Kooperation wiederum durch fehlende Information, wie man ein solches Vorhaben umsetzt, entstehen.

Insgesamt wurden zwischen den drei Untersuchungsdörfern keine großen Unterschiede hinsichtlich der Teilnahme an ihrer institutionellen Umwelt festgestellt. *Dogo* kann von den meisten Institutionen nicht profitieren, da in erster Linie Informationen fehlen. In *Kpankoun* liegen zwar Informationen vor, der Zugang zu Institutionen scheitert jedoch an finanziellen Beschränkungen. Das größte Problem stellt somit der Zugang<sup>29</sup> zu entsprechenden Institutionen dar.

---

<sup>29</sup> Dieser Ansatz entspricht der *Entitlement-Theory* von Amartya Sen (1981: *Poverty and Famines. An Essay on Entitlement and Deprivation*), wird in dieser Arbeit jedoch nicht weiter vertieft.

### 5.4.9 Zusammenfassung und Diskussion

In *Ketou* handelt es sich um einen typischen Armutskreislauf, der gleichzeitig einen Kreislauf der Umweltdegradation impliziert. Der Durchbruch einer dieser Kreisläufe würde die Auflösung des anderen bedingen:

*„Nachhaltige Landwirtschaft erfüllt die menschlichen Bedürfnisse, verbessert die Lebensqualität, Schützt die Umwelt und ist ökonomisch profitabel“ (TORRICO, 2006a).*

Die Bauern reagieren auf Bevölkerungswachstum und der damit einhergehenden steigenden Nachfrage nach Lebensmitteln in einem durch institutionelle Rahmenbedingungen eingeschränkte Art und Weise, beeinflussen damit die Ökosysteme und verändern deren ökologische Leistungen. Diese Änderungen wirken sich direkt z.B. durch die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit aus, langfristig nehmen sie durch Klimawandel rückwirkend auf die natürliche Umwelt der Landnutzungssysteme Einfluss.

Die Landwirte in *Ketou* sind sich dessen bewusst. Sie sind vor dem Hintergrund der sich verändernden natürlichen Bedingungen bereit, neue Technologien und Innovationen anzunehmen, brauchen für die Adaption jedoch einen direkten ökonomischen Anreiz. Die Schaffung von Markt- und Kreditzugang, so dass schnellere Gewinne erzielt werden können, würde die Investition in Landnutzungstechniken, die eine langfristige Wirkung haben, erhöhen. So könnte das Startproblem bei der Etablierung von *Agroforestry* behoben, die Korruption im Forstbereich bekämpft und ein arbeitsintensives Biomassemanagement gefördert werden. Das Problem des Zugangs zu Institutionen, Märkten und Infrastruktur lässt sich durch einen organisierten Zusammenschluss der Farmer überwinden. So könnten sie geschlossen auftreten, Rechte einfordern, Risiken teilen und Informationen erlangen. Doch ist auch bei bestehender Bereitschaft zum Zusammenschluss zu bezweifeln, dass diese Bewegung aus Eigeninitiative erfolgen kann. Externe Unterstützung, zur Vermittlung von Kenntnissen und Informationen, wie sich ein Dorf organisiert kann, ist nötig, um diesen Schritt gehen zu können.

Die Aussage CORNWALLS (1994) und RUTHENBERGS (1976), dass Landwirte rationale Entscheidungen treffen und diese sich nur aus dem komplexen sozialen, ökonomischen und natürlichen Umfeld, in dem sie produzieren, erklären lässt, ist für *Ketous* Landwirte zutreffend. Auch kann bestätigt werden, dass diese Umwelt stark beschränkend auf den Handlungsspielraum der Kleinbauern wirkt und sie somit häufig zur Durchführung von nichtnachhaltigen Landnutzungspraktiken gezwungen sind.

## 6 Schlussfolgerung und Empfehlung

In diesem Kapitel soll anhand einer Zusammenschau von Erkenntnisinteresse, Hypothesen, theoretischem Hintergrund und Ergebnissen eine abschließende Bewertung des Inhalts der vorliegenden Arbeit erfolgen und kurze Empfehlungen für zukünftige Tätigkeiten gegeben werden.

Die Charakterisierung der agrarischen Landnutzungssysteme in *Ketou* erfolgte anhand einiger ausgewählter Indikatoren und Beobachtungen mit dem Ziel, den Zusammenhang zwischen Landnutzung und Landbedeckung, deren ökologische Folgen und den sie steuernden Ursachen abbilden zu können.

Deutlich wurde, dass eine fortschreitende Intensivierung der Bodennutzung zu verzeichnen ist, die sich ausschließlich durch eine erhöhte Nutzung der natürlichen Ressourcen trägt und vor allem von steigender Bevölkerungsdichte getrieben wird. Anhand des Ruthenberg-Indexes wurde gezeigt, dass die Landnutzung aus ihrem ursprünglichen „Beharrungspunkt“ (V. WULFFEN, 1809 in BAEUMER, 1992), in dem Regeneration und Produktion (Kultivierungs- und Brachezeit) im Gleichgewicht stehen, in einen nicht nachhaltigen Zustand gewechselt hat. Auch das von JANSSENS (2004) angestrebte *Agro-klimax* wird nicht erreicht, da mit der Intensivierung in *Ketou* keine Innovationen in der Anbautechnik und auch keine steigende Inputintensität einhergehen.

Die Anbauschemata bleiben vom Mais und die Bodenbearbeitung von der Biomasseverbrennung gekennzeichnet. Somit ist abzusehen, dass diese Art der Landwirtschaft sich ihrer Produktionsgrundlage immer weiter berauben und die optimistische Annahme, der steigenden Nahrungsmittelnachfrage durch erhöhte Produktivität nachzukommen (WELTBANK, 1993), durch fortschreitende Degradation der Ökosysteme anzweifelbar wird. Veränderungen der natürlichen Umwelt in *Ketou* machen sich besonders durch sinkende Erträge und vermehrten Krankheitsbefall vor allem im Mais, schwindende Waldflächen, erhöhte Niederschlagsmengen und Verschiebung der Regenzeiten bemerkbar.

Die erste Hypothese kann vor dem Hintergrund der in *Ketou* gewonnenen Erkenntnisse angenommen und durch das theoretische Fundament getragen werden:

**Hypothese 1:** Bei den Landnutzungssystemen in *Ketou* handelt es sich um eine wenig technologisierte Landnutzung, die aufgrund des Bevölkerungswachstums und dem einhergehenden Zwang zur Intensivierung in der Degradation der Ökosysteme mündet.

Durch die Degradation der Ökosysteme und die Vernichtung von Vegetation werden klimaregulative Leistungen wie CO<sub>2</sub> Bindung und Wasserrecycling herabgesetzt. Wie schon im Theorieteil erwähnt, leistet Afrika den größten Beitrag zur THG Emission durch

Biomasseverbrennung und Waldkonversion zu ackerbaulich genutztem Land (US-EPA, 2006 in BELLARBY et al., 2008). Auch in *Ketou* spielen diese beiden Faktoren eine große Rolle, doch variiert deren Bedeutung innerhalb der Landnutzungssysteme sehr. So können Anbausysteme identifiziert werden, die dem Anspruch der ökologischen Nachhaltigkeit und ökonomischen Effizienz gerecht werden. Die Bewertung der Landnutzungssysteme und ihrer ökologischen Funktionen erfolgte hierbei anhand einiger Indikatoren, die gleichzeitig auf ihre Aussagekraft hin geprüft wurden.

Für die Indikatoren Biomasse, Öko- und Biovolumen kann bestätigt werden, dass sie wichtige Informationen über die Stabilität eines Ökosystems liefern. Diese Feststellung ist von entscheidender Relevanz, da die Resilienz letztendlich der ausschlaggebende Faktor ist, wie lange ein Ökosystem auf Schockwirkungen (Eingriffe durch den Menschen) reagieren kann bevor es zu einer irreversiblen Änderung der Systemfunktionen (*regime shifts*) kommt (HOLLING, 1973 in FOLKE et al., 2004). Liegt ausreichend Wissen über die Resilienz von Ökosystemen vor ist eine ökologisch nachhaltige und ökonomisch profitable Landnutzung möglich.

Der Ansatz des Volumenkonzeptes (JANSSENS, 2004) hat sich in dieser Arbeit in vielfacher Weise bewährt. So können wichtige Informationen über die sowohl vertikale als auch horizontale Struktur eines Ökosystems und daraus folgend dessen Qualität erlangt werden, die einem rein biomasseorientierten Ansatz verborgen bleiben. Zudem können aus den Werten weitere wichtige Indikatoren (Homogenitäts-, Schichtungs-, Resilienz-Index, Wesenbergfaktor) abgeleitet werden, die für eine genauere Beschreibung und Bewertung der Landnutzungssysteme unumgänglich sind. Grenzen des Volumenansatzes liegen bei der Indikation von Niederschlagsgenerierung und in der Methodik zur Volumenbestimmung von krautiger Vegetation. Hier ist die Entwicklung besserer Modelle und Methodiken erforderlich.

Räumliche Parameter ersetzen dennoch keineswegs Gewichtparameter; Biomasse bleibt für die Schätzung von Kohlenstoffbindung die wichtigste Größe. Erst durch die genaue Ermittlung der Biomasse können Aussagen über die klimaregulativen Leistungen eines Ökosystems getroffen werden. Probleme bei diesem Ansatz traten vor allem in der indirekten Biomassebestimmung auf, da die in der Literatur vorhandenen allometrischen Funktionen meist nur auf sehr spezifische Umgebungen anzuwenden sind. Anhand einer vergleichenden Gegenüberstellung der unterschiedlichen Funktionen konnten dennoch verlässliche Biomassewerte identifiziert werden. Auch hier gilt, dass die Entwicklung von allometrischen Funktionen, die auf weitere Bereiche angewandt werden können, wünschenswert ist. Insbesondere die Biomasseermittlung von Vegetationskomponenten, die einen Stammdurchmesser  $< 10$  cm haben muss verbessert werden. Die Erstellung von

allometrischen Zusammenhängen für annuelle Kulturen konnte in dieser Arbeit aufgrund von zu geringer Fallzahl nicht befriedigend durchgeführt werden.

Trotz der aufgezeigten Grenzen der Indikatoren wird die zweite Arbeitshypothese angenommen.

**Hypothese 2:** Die Kenngrößen Ökovolumen, Biovolumen und Biomasse zeigen deutliche Unterschiede zwischen den Landnutzungssystemen auf und liefern Information über deren Beschaffenheit und Qualität. Aus diesen Informationen lassen sich Aussagen über die Funktionsleistung der Ökosysteme ableiten.

Für *Ketou* konnte anhand der Indikatoren bestätigt werden, dass Wald und Plantagen zu den stabilsten Ökosystemen zählen und durch eine hohe Biomasseakkumulation klimaregulative Relevanz haben. Außerdem wurde festgestellt, dass es sich bei den Produktionssystemen annueller Kulturen um außerordentlich ertragsschwache Systeme handelt, was durch die Beobachtungen in den Dörfern und den Gesprächen mit den Landwirten bestätigt werden konnte.

Nach SMITH et. al. (2007 in BELLARBY et al., 2008) bieten gerade diese Systeme das größte Kohlenstoffsenkenpotential. Auch nach MULINDABIGWI (2005) kann eine Intensivierung der Landwirtschaft zur signifikanten Reduktion der Kohlenstoffemission -durch Flächenexpansion verursacht- führen. Die einfache Forderung nach einer inputintensiven Landnutzung birgt allerdings das Risiko, dass durch gesteigerten Input mehr Energie verbraucht und THG Emissionen erzeugt werden, als durch den Erhalt von natürlicher Vegetation eingespart werden kann. Auskunft über den tatsächlichen Umweltbeitrag können Energiebilanzen einzelner Systeme geben (TORRICO, 2006a). Letztendlich entscheidet die Landnutzungspraxis darüber, ob eine positive oder negative Bilanz vorliegt.

In diesem Sinne konnten für *Ketou* neben der Steigerung der Inputintensität einige direkt umzusetzende Landnutzungspraktiken identifiziert werden, die zu einer verbesserten Ausnutzung der Produktionskapazität führen würden:

**Mulchtechnik anstatt Biomasseverbrennung:** Durch das oberflächliche Einarbeiten von Biomasse können Nährstoffe der Folgekultur zur Verfügung gestellt, organische Bodensubstanz akkumuliert und THG Emissionen reduziert werden.

**Fruchtfolge:** Eine diversifizierte Fruchtfolge, in der die Kulturen derart aufeinander folgen, dass deren positive Effekte von der Folgekultur genutzt werden können, sollte angestrebt werden.

**Agroforestry:** Durch die Kombination von Bäumen und Kulturen auf einer Fläche können Synergien genutzt werden. Der Blattfall der Bäume und die lange Bodenruhe führen zu

hohen Gehalten an organischer Substanz in den Böden, die ein großes Ertragspotential bergen. Dieses Anbausystem stellt eine wichtige Kohlenstoffsенке dar.

**Waldmanagement:** Tropische Wälder sind die größten Kohlenstoffspeicher und von nicht zu unterschätzender ökonomischer Relevanz. Damit diese Potentiale nachhaltig genutzt werden, muss durch gezieltes Management die Waldnutzung in ein Gleichgewicht von Holzentnahme und Aufforstung gelenkt werden.

Es wurde jedoch festgestellt, dass obwohl das Wissen über nachhaltige Landnutzungstechniken bei den meisten Landwirten vorhanden ist, die Umsetzung an institutionellen Hindernissen scheitert.

So ist trotz der Gefahr einer negativen Energiebilanz bei verstärkter Anwendung von Dünger die Steigerung der Flächenproduktivität über eine Intensivierung der Bodenbearbeitung und der Düngeanwendung in *Ketou* notwendig. Nicht nur vor dem Hintergrund der Prognosen, dass Benin ohne eine Anpassung an das Problem der Landknappheit und Niederschlagsvariabilität auf eine Nahrungsmittelkrise hinsteuert (M'BAREK et al., 2005; MULINDABIGWI, 2005) wird die Dringlichkeit untermauert, sondern auch durch die Tatsache, dass der geringe Ertrag und die ausbleibenden Verkaufserlöse als zentrale Bestandteile des Armutskreislaufes in *Ketou* identifiziert wurden. Wird hier die Situation durch den Einsatz von Dünger verbessert, kann die gesamte Handlungsfähigkeit und somit die Wahlfreiheit der Landwirte gesteigert werden und damit langfristig zu verbesserten Landnutzungspraktiken führen.

An diesem Punkt knüpft die dritte Arbeitshypothese an:

**Hypothese 3:** Die Landwirte in *Ketou* sind durch sozioökonomische Rahmenbedingungen stark in ihrer Handlungsfähigkeit eingeschränkt und tragen somit maßgeblich zum *trade-off* zwischen Ökosystemfunktionen und Nahrungsmittelproduktion bei.

Die Landwirte in *Ketou* haben sich von einer rein subsistenzorientierten Landwirtschaft entfernt hin zu einer kommerzialisierten Produktion. Dadurch kommt es wie von RUTHENBERG (1976) beschrieben zu steigender Abhängigkeit von der ökonomischen Umwelt. Nachhaltige Landnutzung kann an diesem Punkt nicht mehr ausschließlich durch traditionelle Praktiken gewährleistet werden, sondern bedarf externer unterstützender Maßnahmen. Handlungsblockaden werden dadurch zementiert, dass die Umwelt -in diesem Fall die politische Umwelt- nicht angemessen auf die Bedürfnisse der Landwirte reagiert und diese sich wiederum nur an ihre Umwelt anpassen, wenn ein direkter ökonomischer Gewinn entsteht und ihre aktuelle Situation wesentlich verbessert wird.

Die in der Literatur genannten treibenden Faktoren der Landnutzungsänderung wie Infrastruktur, demographischer Druck, Technologie, Institutionen etc. sind auch in *Ketou* zu

identifizieren. Doch steht in *Ketou* die Frage im Vordergrund, wie z.B. bestehende Infrastruktur genutzt werden kann, wenn kein Auto zur Verfügung steht oder neue Technologie angewandt werden soll, wenn keine Informationen über diese existieren. Die institutionelle Umwelt ist in *Ketou* vorhanden, doch muss durch komplementäre Maßnahmen auch den Kleinbauern aus entlegenen Dörfern die Nutzung dieser ermöglicht werden.

Für *Ketou* bedeutet das, eine staatlich unterstützte Mobilisierung der Landwirte einzuleiten, so dass sie die Fähigkeit erwerben, bestehende Angebote zu nutzen und andere einzufordern. Hier wären folgende Punkte zu nennen:

**Dienstleistung und Informationsvermittlung** durch den CARDER in den Dörfern.

**Finanzielle Anschubhilfe** in Form von Krediten (Etablierung von Plantagen, Erwerb von Düngern, Tätigung von Investitionen) zu angepassten Konditionen.

**Organisation** von Produktionsgemeinschaften in den Dörfern, damit in geschlossener Gemeinschaft Interessen vertreten werden können.

**Beteiligung der Dörfer** an den Gewinnen, die durch Waldnutzung (Holzkohle, Konstruktionsholz) erwirtschaftet werden, um einen Anreiz für den Schutz des Waldes zu schaffen.

Ist den Landwirten Handlungsfreiheit geboten und die Durchführung nachhaltiger Landnutzungspraktiken ökonomisch profitabel, ist die Durchbrechung des Armutskreislaufes, der sich auf Kosten der Menschen und der Umwelt vollzieht, möglich.

Weiterhin ist die Analyse von Landnutzungssystemen, um die Zusammenhänge zwischen Landnutzung und Ökosystemleistungen detaillierter erfassen zu können und bessere Handlungsempfehlungen geben zu können, wichtig. Hierbei wäre eine Anknüpfung an die zuvor genannten methodischen Verbesserungsvorschläge wünschenswert.

Um die Müdigkeit der Landwirte in Benin, erforscht zu werden, nicht weiter auszureizen, sollte in Zukunft primär an der Umsetzung von Forschungserkenntnissen in die Praxis gearbeitet werden. Wiederholte Fragen der Dorfbewohner, was ihnen denn durch die Forschung zu Gute komme und der steigende Unwille, mit Forschern zu kollaborieren, unterstreichen den Handlungsbedarf der besteht, die Lücke zwischen Forschung und Praxis zu schließen.

## Literaturverzeichnis

Akker van den, E., 2000. Market patterns in Benin. In: Graef, F., Lawrence, P., Von Oppen, M., (Eds.), *Adapted Farming in West Africa: Issues, Potentials and Perspectives*. Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart.

Auswärtiges Amt, 2008. Länderinformationen Benin. <http://www.auswaertiges-amt.de/diplo/de/Laenderinformationen/Benin/Wirtschaft.html> (2.4.2008).

Baeumer, K., 1992. *Allgemeiner Pflanzenbau*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Bala, G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T.J., Lobell, D.B., Delire, C., Mirin, A., 2007. Combining climate and carbon-cycle effects of large-scale deforestation. *PNAS* 104, 6550-6555.

Beets, W.C., 1990. *Raising and Sustaining Productivity of Smallholder Farming Systems in the Tropics*. AgBé Publishing, Alkmaar.

Behle, C., 2006. *Ländliche Trinkwasserversorgung in Benin unter besonderer Berücksichtigung der nationalen Versorgungsstrategie "Alimentation en eau potable et assainissement en milieu rural"*. Landwirtschaftliche Fakultät, Bonn.

Bellarby, J., Foereid, B., Hasrings, A., Smith, P., 2008. *Cool Farming: Climate impacts of agriculture and mitigation potential*. Greenpeace International, Amsterdam.

Boserup, E., 1965. *The conditions of agricultural growth*. Earthscan Publication Ltd, London.

Brown, S., 1997. *Estimating biomass and biomass change of tropical forests*. FAO Forestry Paper, Rome.

Brüntrup-Seidemann, S., Floquet, A., Le Meur, P.-Y., 2000. Political and development arenas in rural Benin. In: Graef, F., Lawrence, P., Von Oppen, M. (Eds.), *Adapted Farming in West Africa: Issues, Potentials and Perspectives*. Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart.

Cornwall, A., Guijt, I., Welbourn, A., 1994. Acknowledging process: methodological challenges for agricultural research and extension. In: Scoones, I., Thompson, J. (Eds.), *Beyond Farmer First. Rural people's knowledge, agriculture research and extension practice*. London.

DeFries, R., Asner, G., P., Foley, J., 2006. A Glimpse Out the Window, Landscapes, Livelihoods, and the Environment. *Environment* 48, 22-36.

DeLaethauwer, B., 2004. *Estimation de la biomasse et de l'indice foliaire du manguier dans le bassin du Haut-Ouémé au Bénin*. Département Biotechnologische Wetenschappen, Landschapsbeheer en Landbouw. Hogeschool Gent.

- Deng, Z., Janssens, M.J.J., 2006. Litter Fall production in West-African Forests and Plantations. Tropentag, Bonn.
- Deng, Z., 2007a. Vegetation Dynamics in Ouémé Basin, Benin, West-Africa. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Deng, Z., 2007b. Intensität der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung, Vegetationsdynamik und Niederschlagsvariabilität. Ökovolumendynamik und Anpassung der Anbausysteme an die Klimaänderung im Ouémé-Einzugsgebiet. IMPETUS Abschlussbericht, Bonn.
- Denich, M., 2007. Forest-based Agroforestry Systems and Alternatives to Slash-and-Burn, Powerpoint Presentation, Universität Bonn.
- Engels, J.N., 2004. Der Baumwollsektor in Benin: Armutsfalle oder Entwicklungsmotor? Kurzberichte aus der internationalen Entwicklungszusammenarbeit. Friedrich-Ebert Stiftung, Bonn.
- Enquist, B., J., 2002. Universal scaling in tree and vascular plant allometry: toward a general quantitative theory linking plant form and function from cells to ecosystems. *Tree Physiology* 22, 1045-1064.
- FAO, 1978. Report on the agro-ecological zones project. Vol.1: Results for Africa. World Soil Resources Report. FAO, Rome.
- FAO, 1984. Improved Production Systems as an Alternative to Shifting Cultivation. Soils Bulletin No.53, Rome.
- FAO, 2008. Climpag: The Franquin method and the different types of growing season. [http://www.fao.org/nr/climpag/nri/gsbkfl\\_en.asp](http://www.fao.org/nr/climpag/nri/gsbkfl_en.asp) (2.4.2008).
- Faß, T., 2004. Hydrogeologie im Aguima Einzugsgebiet in Benin/Westafrika. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Universität Bonn.
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S., 2004. Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management. *Annual Review of Ecology, and Systematics* 35.
- Gebert, N., 2006. Teilhabe oder Ausgrenzung? Akteure im Spannungsfeld zwischen AIDS und Projekt gesteuerten Maßnahmen (GTZ) zur optimierten Nutzung von Subsistenzressourcen (Feuerholz, Nahrungsmittel). Geographisches Institut. Universität Bonn.
- Gehring, C., Denich, M., Vlek, P.L.G., 2005. Resilience of secondary forest regrowth after slash-and-burn agriculture in central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology* 21, 529-540.

- Gommes, R., 1998. Climate-Related Risk in Agriculture. IPCC Expert Meeting on Risk Management Methods, Toronto.
- Greenland, D.J., Nebhan, H., 2001. Soil Fertility Management in support of Food Security in Sub-Saharan Africa. FAO, Rome.
- Hairiah, K., 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. ASB Lecture Note 4B. International Centre for Research in Agroforestry ICRAF, Bogor, Indonesia.
- Hermann, L., 2000. Effects of production factor gradients on agro-ecology and land use. In: Graef, F., Lawrence, P., Von Oppen, M. (Eds.), Adapted Farming in West Africa: Issues, Potentials and Perspectives. Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart.
- ICRAF, 2008. Wood Density Database.  
<http://www.worldagroforestry.org/sea/products/afdbases/wd/index.htm> (2.4.2008).
- Igue, A., M., Stahr, K., Weller, U., 2000a. Land evaluation analysis in humid and subhumid Benin. In: Graef, F., Lawrence, P., Von Oppen, M. (Eds.), Adapted Farming in West Africa: Issues, Potentials and Perspectives. Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart.
- Igue, A., M., Floquet, A., Stahr, K., 2000b. Land use and farming systems in Benin. In: Graef, F., Lawrence, P., Von Oppen, M. (Eds.), Adapted Farming in West Africa: Issues, Potentials and Perspectives. Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart.
- IMPETUS Westafrikaprojekt, 2006. Second Final Report; Period: 1.05.2003 - 31.07.2005.
- Innes, J., L., 2000. Biomass burning and climate: an introduction. In: Innes, J., L., Benistan, M., Verstraete, M., M. (Eds.), Biomass burning and its interrelationship with the climate system. Kluwer Academic Publishers, London.
- International Fertilizer Industry Association IFA, 2006. Total fertilizer nutrient consumption.  
<http://www.fertilizer.org/ifa/statistics/indicators/tablenpk.asp> (2.4.2008).
- IPCC, 2007. Agriculture. In: Bosch, P.R., Dave, R., Meyer, L.A. (Eds.), Climate Change 2007: Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- Janssens, M.J.J., Denich, M., Pohlen, J. (Eds.), 2003. Allometric relations in tropical agroforestry. Student Seminar Work, Bonn.
- Janssens, M.J.J., Mulindabigwi, V., Pohlen, J., Torrico, J.C., 2004. Eco-Volume and bio-surface interplay with the universal scaling laws both in biology and in the Mata Atlantica. Seminario A Cooperacao Brasil-Alemanha no Programa mata Atlantica., Teresopolis, 29 November, 3 December 2004.

- Janssens, M.J.J., Deng, Z., Sonwa, D., Torrico, J.C., Mulindabigwi, V., Pohlen, J., 2006. Relating agro-climax of orchards to eco-climax of natural vegetation. 7th International Symposium on Modelling in Fruit Research and Orchard Management, Copenhagen, 20-24 June, 2004.
- Judex, M., 2003. Analyse und Erklärung der Landbedeckung- und Landnutzungsänderung im Upper Ouémé Catchment (Benin, Westafrika) durch die Verknüpfung von LANDSAT-Daten mit sozioökonomischen Daten. Geographisches Institut. Universität Bonn.
- Keeling, H.C., Phillips, O.L., 2007. The global relationship between forest productivity and biomass. *Global Ecology and Biogeography* 16, 618-631.
- Ketterings, Q.M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau, Y., Palm, C., A., 2001. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for preciding above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146, 199-209.
- Kunstmann, H., Jung, G., Knoche, R., 2003. Rückkopplungseffekte zwischen Bodenfeuchte, Landnutzung und Niederschlag im Voltabecken (Westafrika).
- M'barek, R., Behle, C., Mulindabigwi, V., Schopp, M., Singer, U., 2005. Sustainable resource management in Benin embedded in the process of decentralisation. *Physics and Chemistry of the Earth* 30, 365-371.
- McElhinny, C., Gibbons, P., Brack, C., Bauhus, J., 2005. Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. *Forest Ecology and Management* 218, 1-24.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being Synthesis*. Island Press, Washington, DC.
- Ministère de l'Intérieur de la Sécurité et de la Décentralisation, 2005. *Plan de Developpement Communal (PDC)*. Département du Plateau, Ketou.
- Mosango, M., 1991. Contribution à l'étude botanique et biogéochimique de l'écosystème forêt en région équatoriale. *Belgian Journal of Botany* 124, 167-194.
- Mückenhausen, E., 1985. *Die Bodenkunde*. DLG-Verlag, Frankfurt a.M.
- Mulindabigwi, V., 2005. Influence des systèmes agraires sur l'utilisation des terroirs, la séquestration du carbone et la sécurité alimentaire dans le bassin versant de l'Ouémé supérieur au Bénin. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Nair, P., K., R., 2007. *Agroecosystem Management in the 21th Century: Back to the Future?* Powerpoint Presentation, ZEF Bonn.

- Palm, C., A., Vosti, S., A., Sanchez, P., A., Ericksen, P., J. (Eds.), 2005. *Slash-and-Burn Agriculture*. Columbia University Press, New York.
- Preuss, H., J., A., 1994. *Zielgruppenorientierte Agrarforschung in Entwicklungsländern: Fallstudie Benin*. Studien zur ländlichen Entwicklung 42.
- Puig, C.J., 2005. Carbon sequestration potential of land-cover types in the agricultural landscape of eastern Amazonia, Brazil. In: Vlek, P.L.G. (Ed.), *Ecology and Development Series No.33*. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Ruthenberg, H., 1976. *Farming Systems in the Tropics*. Oxford University Press, Oxford.
- Sachs, J.D., 2005a. Foreword. In: Palm, C., A., Vosti, S., A., Sanchez, P., A., Ericksen, P., J. (Eds.), *Slash-and-Burn Agriculture*. Columbia University Press, New York.
- Sachs, J.D., 2005b. *The end of poverty*. Penguin Books Ltd., London.
- Sanchez, P.A., Palm, C., A., 2005. Alternatives to Slash and Burn, Challenge and Approaches of an International Consortium. In: Palm, C., A., Vosti, S., A., Sanchez, P., A., Ericksen, P., J. (Eds.), *Slash-and-Burn Agriculture*. Columbia University Press, New York.
- Schlauderer, R., 2000. Socio-economic conditions for the introduction of agricultural innovations in farm households in Southern Benin. In: Graef, F., Lawrence, P., Von Oppen, M. (Eds.), *Adapted Farming in West Africa: Issues, Potentials and Perspectives*. Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart.
- Siebert, U., Elwert, G., 2002. *Potentials and Recommendations for Combating Corruption and Illegal Logging in the Forest Sector of Benin, West Africa*. *Illegal Logging in the Tropics*, Yale University.
- Sonwa, D.J., 2004. *Biomass management and diversification within cocoa agroforests in the humid forest zone of Southern Cameroon*. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, 2006. *Sustainable Land Management: Challenges, Opportunities, and Trade-Offs*. The World Bank, Washington, DC.
- The World Bank Group, 2007a. *Benin at a glance*.  
[http://devdata.worldbank.org/AAG/ben\\_aag.pdf](http://devdata.worldbank.org/AAG/ben_aag.pdf) (2.4.2008).
- The World Bank Group, 2007b. *Benin Data Profile*.  
<http://devdata.worldbank.org/external/CPProfile.asp?PTYPE=CP&CCODE=BEN> (2.4.2008).
- Torrice, J.C., 2006a. *Balancing natural and agricultural systems in the Atlantic rainforest of Brazil*. Landwirtschaftliche Fakultät. Universität Bonn.

Torrice, J.C., Janssens, M.J.J., 2006b. Agriculture as consumer and producer of energy. Bonn.

Umweltdatenbank: <http://www.umweltdatenbank.de/lexikon/oekosystem.htm> (2.4.2008)

Upadhyay, K., P., 1995. Shifting Cultivation in Bhutan: A Gradual Approach to Modifying Land Use Patterns. FAO, Rome.

Vermeersch, H., 2005. Estimation of Biomass and Leaf Area Index for *P. biglobosa* (Néré) in Central Benin. Hogeschool Gent.

Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Allometrie> (2.4.2008)

Wuppertal Institute (Ed), 2005. Fair Future: Begrenzte Ressourcen und globale Gerechtigkeit. Bundeszentrale für politische Bildung, Bonn.

Yunus, M., 2007. Für eine Welt ohne Armut. Bastei Lübbe Taschenbuch, Bergisch Gladbach.

# Anhang

## Anhang A: Interviewleitfäden für semistrukturierte Interviews mit Landwirten

Date:

Start of Interview:

End of Interview:

Number of Participants:

### 1. Family and Labour

<b>Householder</b>	<b>Name</b>		
	Gender		
	Age / Religion	/	
	Number of Wives		
	Number of Sons		
	Number of Girls		
Number of Family member			
Number of persons in household			
Labour		Female	Male
Number of regular labour	under 16 years		
	16-55		
	older than 55		
Number of season labour			

### 2. Location

Name of Village			
Name of Arrondissement			
GPS-Village	Elevation (feet)	E.:	N.:
Distance from Village to:	City (km)	Main Road (km)	Local Market (km)
Population size:			
Land size (ha):			
Property Rights (owned/ non-owned)			

### 3. How much land areas have you used for the last small rainy season? For which crops?

**4. How much land areas have you used for the last big rainy season? For which crops?**

**5. How much land do you use for perennial crops? For which crops?**

**6. Fallow**

Land area:	
Age:	
After how many years of cultivation:	
For how long in total:	

**7. Do you have access to forest (Yes/Now)? How do you use it (Wood, Medicinal Plants...)?**

**8. Which additive new cultures are you going to plant in the following 1 –5 years? Why?**

**9. Which cultures are principal for you? Why?**

(Price on the Market, For Self-Consumption)

**10. Which mixing culture patterns do you use?**

1	
2	
3	
4	
5	

**11. Which rotations of crops do you use?**

## 12. When do you usually sow and harvest the following cultures?

Cultures		January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Mais	Sowing												
	Harvest												
Manioc	Sowing												
	Harvest												
Haricot	Sowing												
	Harvest												
Arachide	Sowing												
	Harvest												
Goussi	Sowing												
	Harvest												
Coton	Sowing												
	Harvest												
Ignam	Sowing												
	Harvest												
Piment	Sowing												
	Harvest												
Tomato	Sowing												
	Harvest												
Cacaotier	Harvest												
Anacardier	Harvest												
Oranger	Harvest												

**13. What are the major constraints and problems for agricultural production?**

1.
2.
3.
4.
5.
6.

**14. Access**

<b>Market access</b>	
How would you describe your market access?	
What could improve your selling power?	
Transport to the Market:	
Market days:	
How do you get Information about	
Time:	
Place:	
Price: (seasonal alternation)	
<b>Input access</b>	
Where do you get your seeds from:	
Do you use fertilizer, pesticides (Yes/No):	

Where do you get it from?	
For which crops? Why?	
Do you have an Extension Officer:  Cooperation: (for selling, buying)	

**15. Which off-farm activities concerning income have you done during the last year?**

**Anhang B: Quantitativ erhobene Daten**

Code	Date	Lat/Lon	Elevation	BA_soil	BA_crown	H	Vb	Ve	PD	TM	Litter	$\rho_s$
				m <sup>2</sup> /ha	m <sup>2</sup> /ha	cm	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha		t/ha	t/ha	kg/m <sup>3</sup>
1	Dogo	15-OCT-07	N7 32.511 E2 36.835	172 m								
2	Atanka	17-OCT-07	N7 14.375 E2 43.155	102 m								
3	Kpankoun	07. Nov 07	N7 20.074 E2 35.366	79 m								
4	Adakplame	16-OCT-07	N7 26.983 E2 34.010	150m								
5	Ketou	18-OCT-07	N7 21.828 E2 36.516	124 m								
11	Cacaotier	15-OCT-07	N7 32.797 E2 36.671	158 m	12,7	6818,5	476,1	62,1	33586,9	366,7	4,3	553,1
12	Teck	15-OCT-07	N7 32.523 E2 37.683	181 m	52,9	10000,0	1000,0	529,1	100000,0	4000,0	4,2	726,7
22	Teck	17-OCT-07	N7 15.927 E2 38.664	99 m	105,0	31415,9	880,0	300,1	100000,0	4444,4	1,3	726,7
32	Teck	18-OCT-07	N7 18.970 E2 35.452	80 m	35,6	12189,7	890,0	176,8	103153,7	666,7	2,0	726,7
14	Oranger	15-OCT-07	N7 32.848 E2 36.532	153 m	6,4	1418,6	489,5	31,5	7063,8	277,8	0,7	864,6
34	Oranger	07. Nov 07	N7 19.637 E2 35.243	90 m	10,9	3240,3	586,7	63,7	18115,0	155,6	3,4	864,6
15	Anacardier	15-OCT-07	N7 32.637 E2 36.527	178 m	15,4	13273,2	944,4	148,5	87080,7	100,0	2,8	683,2
25	Anacardier	17-OCT-07	N7 14.338 E2 43.588	96 m	7,3	10788,5	500,0	39,4	33064,3	133,3	3,7	683,2
35	Anacardier	18-OCT-07	N7 18.965 E2 36.350	91 m	4,5	5922,0	456,5	24,6	18296,9	144,4	2,9	683,2
36	Palmier	18-OCT-07	N7 18.991 E2 35.660	70 m	155,7	7261,0	414,0	685,7	22454,0	500,0	1,0	
17	Fôret	15-OCT-07	N7 33.766 E2 35.281	193 m	24,2	13559,1	6,0	216,6	122469,6	577,0	2,3	
47	Fôret	16-OCT-07	N7 27.921 E2 33.564	173 m	24,2	13700,1	9,8	407,4	210651,6	145,0	0,7	
131	Jachère	15-OCT-07	N7 32.084 E2 36.597	188 m	18,4	8077,1	846,0	202,8	80598,0	144,4	2,4	
23	Jachère	17-OCT-07	N7 15.131 E2 42.848	101 m	107,7	10000,0	156,7	185,8	15666,7	10000,0	2,8	1,5
132	Jachère	13. Nov 07	N7 32.841 E2 36.357	160 m	284,4	10000,0	231,7	787,9	23166,7	10000,0	16,3	2,2
191	Manioc	08. Nov 07	N7 32.440 E2 36.289	184 m	4,4	11813,4	230,6	10,4	27660,8	6400,0	18,7	0,8
192	Manioc	09. Nov 07	N7 32.299 E2 37.855	214 m	5,4	15241,3	265,0	14,9	41055,7	7200,0	21,4	1,0
281	Haricot	05-DEC-07	N7 13.811 E2 43.270	98 m	2,0	7399,6	48,8	1,0	3594,3	15500,0	1,0	0,0
291	Manioc	12. Nov 07	N7 16.593 E2 39.295	113 m	4,8	24453,6	191,0	9,2	47541,4	9300,0	13,8	1,4
292	Manioc	12. Nov 07	N7 14.621 E2 43.070	97 m	4,6	7982,8	194,2	9,2	15502,6	8400,0	18,2	0,1

Code	Date	Lat/Lon	Elevation	BA_soil	BA_crown	H	Vb	Ve	PD	TM	Litter	
				m <sup>2</sup> /ha	m <sup>2</sup> /ha	cm	m <sup>3</sup> /ha	m <sup>3</sup> /ha		t/ha	t/ha	
381	Haricot	07. Nov 07	N7 19.049 E2 35.680	67 m	1,6	1099,6	20,0	1,3	219,9	35000,0	1,2	0,9
391	Manioc	14. Nov 07	N7 18.869 E2 35.429	80 m	4,2	7703,2	223,8	9,5	17239,7	4933,3	21,6	0,6
392	Manioc	16. Nov 07	N7 19.087 E2 35.494	86 m	8,5	7863,8	220,8	19,2	17363,2	10864,2	13,8	1,2
1101	Piment	08. Nov 07	N7 32.532 E2 36.306	179 m	1,1	2360,3	61,0	0,6	1790,3	8100,0	0,3	0,0
1102	Piment	09. Nov 07	N7 32.283 E2 37.856	195 m	2,4	6617,6	104,4	2,6	7065,0	7200,0	2,5	1,8
2101	Piment	22. Nov 07	N7 14.016 E2 43.312	102 m	5,9	10017,4	128,4	4,6	7388,2	20250,0	3,0	1,2
2102	Piment	22. Nov 07	N7 13.811 E2 43.201	109 m	3,3	8715,5	46,7	1,6	4239,6	19250,0	1,6	0,0
3101	Piment	14. Nov 07	N7 18.848 E2 35.438	89 m	2,1	7324,9	70,6	1,6	5498,1	12800,0	1,3	1,1
3102	Piment	16. Nov 07	N7 19.088 E2 35.503	88 m	1,6	2398,5	54,2	0,9	1378,7	14000,0	0,6	0,9
1111	Mais	23. Nov 07	N7 32.966 E2 36.394	153 m	4,7	3635,4	216,2	10,3	7839,6	11500,0	4,0	2,3
1112	Mais	23. Nov 07	N7 32.717 E2 36.630	162 m	6,9	14156,9	220,6	15,5	31525,2	14222,2	5,2	0,4
2111	Mais	21. Nov 07	N7 14.617 E2 43.069	120 m	5,3	1753,6	196,3	10,7	3535,7	17066,7	3,2	0,0
2112	Mais	22. Nov 07	N7 13.998 E2 43.808	109 m	5,9	10626,2	196,3	12,0	22329,6	14175,0	3,7	0,0
3111	Mais	21. Nov 07	N7 18.601 E2 35.816	74 m	3,6	11912,2	229,6	8,0	26951,0	14355,6	2,6	0,6
3112	Mais	02-DEC-07	N7 19.015 E2 35.677	59 m	6,7	5729,5	225,2	15,2	13234,9	17250,0	4,2	0,7
1121	Goussi	03-DEC-07	N7 32.559 E2 36.271	170 m	1,6	8835,7	24,3	1,6	2150,0	20000,0	0,6	1,6
1122	Goussi	03-DEC-07	N7 32.633 E2 36.881	183 m	2,2	8835,7	27,7	3,5	2444,6	20000,0	2,0	2,0
3121	Goussi	04-DEC-07	N7 19.637 E2 35.206	108 m	0,5	8835,7	25,0	0,2	759,2	20000,0	3,0	0,0
3122	Goussi	06-DEC-07	N7 19.300 E2 35.456	87 m	3,3	7854,0	9,7	4,4	2208,9	10000,0	2,9	0,2
2121	Goussi	05-DEC-07	N7 13.812 E2 43.272	96 m	0,9	7854,0	33,2	1,0	1466,1	10000,0	1,7	0,0
1131	Coton	03-DEC-07	N7 33.415 E2 36.790	183 m	6,1	13341,2	138,0	9,3	20547,3	16500,0	4,3	1,7
2131	Coton	05-DEC-07	N7 13.756 E2 43.122	93 m	5,0	10112,9	96,0	5,0	10097,7	18750,0	2,0	2,8
3131	Coton	04-DEC-07	N7 18.847 E2 35.446	85 m	7,5	13848,5	142,3	8,2	15113,8	17600,0	4,4	1,7
3132	Coton	04-DEC-07	N7 20.183 E2 35.392	91 m	8,0	12018,9	107,3	11,7	17192,5	15600,0	5,6	1,9

**Anhang C: Bodenanalyse**

Code	C	M.O.	pHeau	pHkcl	Refus				
	%	%			0-2 $\mu$	2-10 $\mu$	20-50 $\mu$	50-200 $\mu$	200-2000 $\mu$
2112	1,93	3,33	6,9	6,5	15,55	15,29	11,01	40,51	18,24
1111	1,62	2,79	7,8	7	18,89	8,8	4,47	21,6	47,82
3112	1,48	2,55	6,6	5,6	28,87	20,44	9,57	23,88	18,39
11	2,21	3,81	7,5	7,1					
12	1,04	1,8	7,3	6,4					
22	1,9	3,27	6,7	5,7					
32	1,76	3,04	6,8	6					
131	1,41	1,96	6,7	5,9					
132	1,28	2,21	7,4	6,4					
23	1,07	1,85	6,8	5,9					
14	1,08	1,87	6,9	6,3					
34	1,25	2,15	6,8	6					
15	1,44	2,49	7	6,2					
25	1,3	2,24	6,9	5,8					
35	2,89	4,98	6,8	5,8					
36	1,67	2,87	6,8	5,7					
17	1,51	2,6	6,6	5,8					
47	2,23	3,85	6,4	5,5					
281	1,59	2,74	6,6	6					
381	1,63	2,81	6,7	5,9					
192	1,64	2,83	6,7	5,9					
292	1,77	3,05	6,8	6					
391	1,95	3,36	6,6	5,7					
1101	0,91	1,57	6,6	6,1					
2102	1,4	2,41	6,7	5,8					
3102	2,04	3,52	6,7	5,8					
1122	0,89	1,54	6,7	6,4					
2121	1,21	2,08	7	6					
3121	2,03	3,5	6,6	5,8					
1131	1	1,73	6,9	6,2					
2131	1,49	2,57	6,9	5,9					

---

## **Erklärung**

**Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe, keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt und die Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, kenntlich gemacht habe.**

**Bonn, den 25.4.2008**