

Knowledge-Based Monitoring and Evaluation System of Land Use

Assessing the Ecosystem Conservation Status in the Influence Area of a Gas Pipeline in Bolivia

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten
der Georg-August-Universität Göttingen
vorgelegt von

Arnélida Gorrín Manzuli

aus Barquisimeto, Venezuela

Göttingen, 2005

D7

Referent: Prof. Dr. Gerhard Gerold

Koreferent: Prof. Dr. Pierre Ibisch

Tag der mündlichen Prüfung: 07.11.2005

EcoRegio

herausgegeben von
Prof. Dr. Gerhard Gerold
Geographisches Institut
der Universität Göttingen

Band 20

Arnélida Gorrín Manzuli

**Knowledge-Based Monitoring and
Evaluation System of Land Use**

Assessing the Ecosystem Conservation Status
in the Influence Area of a Gas Pipeline in Bolivia

D 7 (Diss. Universität Göttingen)

Shaker Verlag
Aachen 2006

Bibliographic information published by Die Deutsche Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data is available in the internet at <http://dnb.ddb.de>.

Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 2005

Copyright Shaker Verlag 2006

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN-10: 3-8322-5409-9

ISBN-13: 978-3-8322-5409-4

ISSN 1612-5894

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: www.shaker.de • e-mail: info@shaker.de

A mis padres, Danila y Arnaldo

a la memoria de Esther Essayag y Fidelina de Hernandez

Vorwort

Waldkonversion in den tropischen Ökosystemen durch Landnutzungseingriffe tragen maßgeblich zur weltweiten jährlichen Waldzerstörung bei. Neben den direkten Rodungsmaßnahmen sind in jüngerer Zeit vermehrt die indirekten Auswirkungen von Infrastrukturerschließungen auch in den Tropen in das wissenschaftliche Blickfeld in Zusammenhang mit dem Schutz der Biodiversität und Erhalt wertvoller Ökosysteme geraten. Indirekte Ursachen und Folgen der Waldzerstörung umfassen dabei die regionale und nationale Dimension und sind z.T. sogar international gesteuert. Klare wissenschaftsmethodische Leitlinien zur Erfassung und Bewertung der Auswirkungen von Infrastrukturmaßnahmen fehlen jedoch vielfach in den tropischen Entwicklungsländern. Am Beispiel von Ostbolivien werden in der Dissertation die regionalen Auswirkungen einer in 2000 fertiggestellten Gaspipeline nach Brasilien (San Miguel-Cuiabá) untersucht. Die Gaspipeline führt durch eine endemische Ökoregion mit weltweit einmaligem Erhaltungszustand eines Trockenwaldökosystems. Weltweite Bedeutung dieses Waldökosystems und Verhandlungen zwischen Bolivien und den Gasfirmen führten zu umfangreichen Ausgleichszahlungen und Gründung einer Stiftung in Santa Cruz (FCBC), die sich um den Biodiversitätsschutz und Erhalt kümmern soll. Voraussetzung ist jedoch die wissenschaftliche Kenntnis der indirekten Auswirkungen der Gaspipeline, wofür ein Monitoring- und Bewertungssystem (M&E) zu erstellen war.

Mit dieser Arbeit wurde ein M&E-System entwickelt, dass von den Entscheidungsträgern wie der Fundación para la Conservación del Bosque Seco Chiquitano (FCBC) zur Bewertung der Veränderungen im Schutzstatus des Chiquitano-Trockenwaldes zukünftig eingesetzt werden kann. Bestandteil der Untersuchung waren daher Erhebungen zum gegenwärtigen Stand der Nutzung und des Waldzustandes im Umkreis der Gaspipeline, die Erfassung und methodische Gruppierung der indirekten Auswirkungen, die Ableitung von Schlüsselindikatoren zum Monitoring der Umweltauswirkungen und die Erstellung eines effektiven und kostengünstigen M&E-Systems für weitflächige Ökosysteme.

Methodisch wurden geoökologische und sozioökonomische Parameter mit unterschiedlichsten Datenquellen und –Erhebungen eingesetzt und über Bewertungspfade miteinander verknüpft. Methodisch innovativ und in andere tropische Waldökosysteme übertragbar war die Ableitung der Erfassungs- bzw. Verknüpfungsregeln, die in ein hierarchisches Netzwerk (NetWeaver software, fuzzy Regeln) eingebettet sind. Damit wurde neu ein auf Dorfebene und ein auf Regionalebene anzuwendendes Bewertungsmodell entwickelt.

Eines der interessanten Ergebnisse ist, dass die Dorfkompensationsprogramme, gedacht auch zum langfristigen Schutz des Waldökosystems, indirekt zur schleichenden Erweiterung der Nutzung (insbesondere Holzausbeutung und Viehhaltung) beitragen und damit in den Randbereichen den Erhaltungszustand des Trockenwaldökosystems gefährden. Andererseits können ökonomische Erfolge mit Verringerung der Armutsproblematik und Ansätzen einer nachhaltigeren Nutzung mit Landtitelsicherheit in den Dörfern konstatiert werden. – Erstmalig wurde mit der Dissertation ein an Entwicklungslandbedingungen angepasstes Bewertungs- und Monitoringssystem für den Waldökosystemschutz entwickelt und getestet. Es bleibt zu hoffen, dass die Monitoringmethodik sowohl von der Fundación wie den staatlichen Stellen zukünftig eingesetzt wird, um eine naturverträgliche Regionalentwicklung im Oriente von Bolivien umzusetzen und mögliche negative Auswirkungen von Infrastrukturmaßnahmen in den Ökosystemen der Chiquitania rechtzeitig abzuschätzen.

Gerhard Gerold
Göttingen, Juli 2006

Summary

This dissertation develops a monitoring and evaluation (M&E) system to assess the conservation status of the forest located in the influence area of the gas-pipeline San Miguel-Cuiabá in eastern Bolivia. The M&E system sets up the basis for a prospective decision system to support local adapted management and conservation strategies. The Chiquitano dry forest is an ecosystem still close to natural conditions. In December 2000 an underground pipeline came into operation to export gas to Brazil. The gas pipeline cut through the forest and its direct impact on the vegetation cover was discernible. Less obvious are its indirect impacts, which are related to: (a) the village level compensation program (PDI), and (b) the use of the right of way as route of access into new forest areas, especially for hunting and logging activities.

The most important human activities involving the use of land in the area of influence of the gas-pipeline San Miguel-Cuiabá are: extensive farming, selective logging, hunting and fuel wood extraction, which are practiced by small villages. These activities are characterized by low levels of return, technology and commercialization. If the level of technology remains constant but demand increases, deforestation and forest degradation will grow. Indirect impacts of the gas pipeline San Miguel-Cuiabá on the Chiquitano Dry Forest are related to (a) the village level compensation program and (b) the use of the right of way as route of access into new forest areas, especially for hunting and logging activities. The combination of the gas pipeline issues with aspects of the endogenous land use forced a joint M&E program.

The M&E system was built using a combination of conventional and novel methods in six interactive phases. Both scientific knowledge and local issues of land use were integrated using knowledge engineering, fuzzy logic, and Geographic Information System (GIS) techniques. The M&E system evaluates land cover information derived from remote sensing data and land use data obtained from village-level surveys. Four components make up the system: (a) final set of conceptual factors and indicators, (b) fuzzy logic knowledge-based models for spatial evaluation, (c) validation of the system and baseline M&E, and (d) brief M&E protocol.

- (a) The *final set of conceptual factors and indicators* constitutes a relevant and validated set of 17 indicators and 11 sub-indicators derived from scientific knowledge and local issues of land use obtained from village surveys.

- (b) Two *fuzzy logic knowledge-based models for spatial evaluation* organize the indicators based on their interrelationships and areas of influence. The village-level knowledge-based model includes all indicators and sub-indicators that have influence within villages. The evaluation criterion of the village-level model is: “pressure on forestlands due to extensive agriculture is maintained within acceptable limits”. The meso-level knowledge-based model includes all indicators and sub-indicators with influence on the area outside the villages’ limits. The evaluation criterion of the meso-level model is: “Change in conservation status of ecosystems as a result of land use, is maintained within acceptable limits”.
- (c) The *validation of the system and baseline M&E* shows the evaluation results. Where land cover information (2002) derived from remote sensing data is integrated with data from village-level surveys (2003). Both are evaluated by the models. The baseline results show that at village level, there is either a moderate to strong pressure on the surrounding forest due to the agricultural practices of fully extensive farming. At meso-level, quite healthy ecosystems predominate in the research area. 82.96% of the total area under research has very good conservation status and 3.67% correspond to deforested areas. 12.66% of the area shows either good (11.33%) or moderate (1.84%) conservation status, and only 0.19% shows a poor level;
- (d) Brief M&E protocol describing the most important issues to consider when performing M&E tasks. The execution of the M&E process takes around 5 months and is divided in three phases: (a) general organization, (b) data collection and (c) results reporting. The minimum staff required is 4: a coordinator (environmental scientist), two field consultants (one agronomist and one person from the villages) and one office consultant (specialist in geo-informatics). For Bolivia, the total costs (without considering software) amount to approximately 8000 Euros.

The results of this dissertation provide a structured program for monitoring and evaluating the conservation status of the ecosystem in the research area. The M&E system is an understandable and logic output that considers and documents lessons learned on the field, which facilitate a successful acceptability and implementation by the end-user (FCBC). The modularity of the *knowledge-based models* enables: (a) a separate assessment of the level of pressure from each factor, identifying which human activity is causing higher impact on the ecosystem; and (b) its adaptation or expansion if (e.g.) new human activities take place within the research area. Moreover, single parts of each model can be transferred to other models in order to evaluate other forest ecosystems exposed to similar human pressures.

Zusammenfassung

Die vorliegende Dissertation entwickelt ein Monitoring- und Evaluierungs (M&E) System um den Erhaltungszustand des Waldes im Einflussbereich der San Miguel-Cuiabá Gaspipeline im Osten Boliviens abzuschätzen. Das M&E-System bildet die Basis für ein zukünftiges Entscheidungssystem für lokal angepasste Management- und Naturschutzstrategien. Der Chiquitano Trockenwald ist (noch) naturnah, doch im Dezember 2000 wurde eine unterirdische Pipeline für den Gasexport nach Brasilien in Betrieb genommen. Die Gaspipeline verläuft durch den Wald. Ihre direkten Auswirkungen auf die Vegetationsbedeckung sind deutlich wahrnehmbar. Weniger offensichtlich sind ihre indirekten Auswirkungen, die (a) auf Dorfebene das Entschädigungsprogramm der Gaspipeline (PDI) und (b) die Nutzung der Schneise der Gaspipeline als Zugangsweg in neue Waldbereiche für den Jagd und Holzgewinnung betreffen.

Die wichtigsten anthropogene Tätigkeiten, im Einflussbereich der Gaspipeline San Miguel-Cuiabá sind: extensive Landwirtschaft, selektive Abholzung, Jagd und Brennholzentnahme, welche von kleinen Dörfern ausgeübt werden. Diese Tätigkeiten sind durch ein niedriges Gewinn-, Technologie- und Kommerzialisierungs- Niveau charakterisiert. Bei gleichbleibendem Technologieniveau und zunehmendem Bedarf, werden Entwaldung und Walddegradierung zunehmen. Im Zusammenhang mit der San Miguel- Cuiabá Gaspipeline ist auf Dorfebene Entschädigungsprogramm aufgelegt worden. Weiterhin ist durch die Pipeline die Nutzung der Schneise als Zugangsweg in neue Waldbereiche für den Jagd und Holzgewinnung verbunden. Da der Bau der pipeline Veränderungen der endogenen Landnutzung mit sich bringt, ist das M&E- Programm notwendig.

Das M&E System wurde aus einer Kombination von herkömmlichen und innovativen Methoden in sechs interaktiven Phasen entwickelt. Expertenwissen sowie Information über die lokale Landnutzung wurden mit Hilfe von Wissensverarbeitung, Fuzzy-Logik und Geographischen Informationssystemen (GIS) integriert. Das M&E System wertet Vegetationsabdeckungsinformation und Landnutzungsdaten aus, die jeweils von Fernerkundungsdaten und Dorf- Ebene Interviews abgeleitet wurden. Vier Komponenten bauen das System auf: (a) ein finales Set von konzeptuellen Faktoren und Indikatoren, (b) fuzzy logic wissensbasierte Modelle für räumliche Evaluierung, (c) die Validierung des Systems und Grundüberwachung, und (d) ein kurzes M&E- Protokoll.

- (e) Das *finale Set von konzeptuellen Faktoren und Indikatoren* bildet ein relevantes und validiertes Set von 17 Indikatoren und 11 Sub-Indikatoren, die von Expertenwissen und Information über die lokale Landnutzung abgeleitet wurden.
- (f) Zwei *fuzzy logic* *wissensbasierte Modelle für räumliche Evaluierung* gliedern die Indikatoren auf Basis ihrer Zusammenhänge und Einflussbereiche: Das Dorf-Ebene wissensbasierte Modell beinhaltet sämtliche Indikatoren und Sub- Indikatoren, die innerhalb der Dörfern Einfluss ausüben. Das Evaluierungskriterium des Dorf-Ebene Modells lautet: „Der Nutzungsdruck auf die Wälder durch die extensive Landwirtschaft bleibt innerhalb akzeptabler Grenzen“. Das Meso- Ebene wissensbasierte Modell beinhaltet sämtliche Indikatoren und Sub- Indikatoren, die außerhalb der Dorfränder Einfluss ausüben. Das Evaluierungskriterium des Modell lautet: „Die Änderung des Erhaltungszustandes des Ökosystems auf Grund der Landnutzung bleibt innerhalb akzeptabler Grenzen“.
- (g) Die *Validierung des Systems und die Grundüberwachung* stellen die Evaluierungsergebnisse dar. In dieser Komponente werden Lanbedeckungsinformationen (2002) -abgeleitet von Fernerkundungsdaten- und Landnutzungsdaten (2003) erhalten aus Dorf- Ebene Interviews- integriert. Beide werden durch die Modelle evaluiert. Die Grundüberwachungsergebnisse zeigen, dass auf Dorf- Ebene der Nutzungsdruck auf die Wälder durch extensive Landwirtschaft entweder gemäßigt oder stark ist. Auf Meso- Ebene herrschen im Untersuchungsgebiet ziemlich intakte Ökosysteme vor. 82,96% des gesamten Untersuchungsgebietes hat einen sehr guten Erhaltungszustand und 3,67% sind abgeholzt. 12,66% des Untersuchungsgebietes zeigt einen entweder guten (11,33%) oder gemäßigten (1.84%) Erhaltungszustand, und knapp 0,19% sind stark geschädigt.
- (h) Das kurze *M&E- Protokoll* beschreibt die wichtigsten Aspekte, die bei der Durchführung von M&E- Tätigkeiten betrachten werden müssen. Die Durchführung des gesamten M&E- Prozess benötigt ca. 5 Monate und ist in drei Phasen aufgeteilt:
 - (a) Allgemeine Organisation, (b) Datensammlung und (c) Berichterstattung der Ergebnisse. Erforderlich sind mindestens vier Mitarbeiter: ein Koordinator (Umweltwissenschaftler/in), zwei FeldmitarbeiterInnen (ein Landwirt/in und ein Bewohner/in der Dörfern) und ein Büromitarbeiter/in (Spezialist in Geo- Informatik). Für Bolivien beziffern sich die gesamte Kosten (ohne Softwareaufgaben) auf ca. 8000 Euros.

Die Ergebnisse dieser Doktorarbeit bieten ein strukturiertes Programm für Monitoring und Evaluierung des Ökosystemerhaltungszustandes im Untersuchungsgebiet an. Das M&E-

System ist ein verständlicher und logisches Output, der die im Feld gesammelten Erfahrungen betrachtet und dokumentiert, und dadurch die Akzeptanz und Implementierung bei dem Endnutzer (FCBC) ermöglicht. Die Modularität der *wissensbasierten Modelle* erlaubt: (a) eine unabhängige Einschätzung des Drucks auf jeden einzelnen Faktor, sodass eine Identifizierung der anthropogenen Tätigkeit, die die höchsten Auswirkungen auf das Ökosystem hat, möglich ist. Außerdem erlaubt die Modularität (b) eine Anpassung oder Erweiterung im Falle von neuartigen anthropogenen Tätigkeiten Einzelne Teile jedes Modells können auf andere Modelle übertragen werden um andere Waldökosysteme zu evaluieren, die vergleichbarem anthropogenem Druck ausgesetzt sind.

Resumen

La presente tesis doctoral desarrolla un sistema de monitoreo y evaluación (M&E) para estimar el estado de conservación del bosque ubicado en el área de influencia del gasoducto San Miguel-Cuiabá al oeste de Bolivia. El sistema de M&E establece la base para un futuro sistema de apoyo a la toma de decisiones para alcanzar la implementación de estrategias de manejo y conservación adoptadas a las condiciones locales. El Bosque Seco Chiquitano es un ecosistema que conserva aún sus características de un bosque natural. En Diciembre del 2000 un gasoducto subterráneo entró en operaciones para exportar gas a Brasil. El gasoducto atraviesa el bosque y su impacto directo en la cobertura vegetal fue perceptible. Menos obvios son sus impactos indirectos, que están relacionados con (a): el programa de compensación ejecutado a nivel de comunidades (PDI), y (b) el uso del derecho de vía como ruta de acceso hacia nuevas áreas de bosque, especialmente para caza y extracción de madera.

Las actividades humanas más importantes que involucran el uso del suelo en el área de influencia del gasoducto San Miguel-Cuiabá son: agricultura extensiva, extracción selectiva de madera, caza y extracción de leña, y son practicadas por los habitantes de pequeñas comunidades. Estas actividades están caracterizadas por bajos niveles de tecnología, comercialización y retorno. Si el nivel de tecnología permanece constante pero la demanda aumenta, la deforestación y la degradación del bosque se incrementarán. La combinación de aspectos del gasoducto y las características endógenas del uso del suelo forzan un programa de M&E conjunto.

El sistema de M&E se desarrolló usando una combinación de métodos convencionales y novedosos en 6 fases interactivas. Conocimiento científico y conocimiento sobre los aspectos locales del uso del suelo fueron integrados usando técnicas de ingeniería del conocimiento, lógica difusa y sistemas de información geográfica. El sistema de M&E evalúa información sobre la cobertura vegetal derivada de datos de sensores remotos y datos de uso del suelo obtenidos de levantamientos de campo y encuestas. El sistema está conformado por cuatro componentes: (a) grupo final de factores e indicadores conceptuales, (b) modelos para evaluación espacial basados en el conocimiento y el lógica difusa, (c) validación del sistema y línea de base del M&E, (d) breve protocolo de M&E.

- (i) El *grupo final de factores e indicadores conceptuales* constituye un grupo relevante y validado de 17 indicadores y 11 sub-indicadores derivados de conocimiento científico y aspectos locales del uso del suelo obtenidos de levantamientos de campo y encuestas en las comunidades.

- (j) Los dos modelos para evaluación espacial basados en el conocimiento y el lógica difusa, organizan los indicadores de acuerdo con sus interrelaciones y sus áreas de influencia. El modelo a escala comunal incluye todos los indicadores que tienen influencia dentro de las comunidades. El criterio de evaluación del modelo comunal es: “La presión en el bosque debida a la agricultura extensiva se mantiene dentro de límites aceptables”. El modelo a meso-escala incluye los indicadores y sub-indicadores que ejercen influencia fuera de los límites de las comunidades. El criterio de evaluación del modelo a meso-escala es: “Cambios en el estado de conservación de ecosistemas como resultado del uso del suelo, es mantenido en límites aceptables”.
- (k) La validación del sistema y línea de base del M&E, muestra los resultados de evaluación. Información sobre la cobertura vegetal (2002) derivada de datos de sensores remotos es integrada con los datos de uso del suelo obtenidos de levantamientos de campo y encuestas (2003). Ambas fuentes de información son evaluadas por los modelos. Los resultados de línea de base muestran que a escala comunal, existe presión moderada y fuerte en el bosque alrededor de las comunidades. Esto es debido a la agricultura totalmente extensiva que se practica. A meso-escala, se observa que el área de investigación está dominada por ecosistemas naturales. 82,96 % del area total presenta muy buen estado de conservación y un 3,67 % corresponde a areas deforestadas. 11,33 % del área presenta un buen estado de conservación, mientras que 1,84 % presenta un estado moderado y solo un 0,19% muestra un nivel pobre.
- (l) El breve protocolo de M&E describe los puntos más importantes a considerar a la hora de ejecutar las actividades de M&E. El proceso de M&E toma un aproximado de 5 meses de trabajo y se divide en tres fases: (a) organización general, (b) colección de datos, reporte de resultados. El personal mínimo requerido es conformado por 4 miembros: un coordinador (científico ambiental), dos consultores de campo (un agrónomo y un miembro de las comunidades) y un consultor de oficina (especialista en geo-informática). Los costos totales para Bolivia (sin considerar gastos en software) corresponden a unos 8000 Euros.

Los resultados suministran un programa estructurado para el monitoreo y la evaluación del estado de conservación del ecosistema en el área de investigación. El sistema M&E es un producto claro y lógico que considera y documenta lecciones aprendidas en el campo, y facilitan la implementación y aceptación por el usuario final (FCBC). La modularidad de los modelos permite: (a) una estimación individual del nivel de presión de cada factor, mediante la identificación de cuál actividad humana está causando mayor impacto en el ecosistema y (b) su adaptación o expansión sí (p. ej.) nuevas actividades humanas se presentan en el área de investigación. Además, partes individuales pueden transferirse a otros modelos para evaluar otros ecosistemas expuestos a presiones similares.

Acknowledgements

I am especially grateful to Prof. Gerhard Gerold, head of the Department of Landscape Ecology of the Georg-August-University Goettingen for his supervision, assistance and open-mindedness.

I am deeply grateful to Prof. Pierre Ibisch, of the Faculty of Forestry of the University of Applied Sciences Eberswalde, for suggesting - during his former activities as Director of Science Department of FAN-Bolivia Foundation - the initial topic that originated the present research project, as well as for his support and trust in the development of my own ideas.

At the beginning of this research project I also received important support by Prof. Manfred Zeller and Dr. Daniel Müller, of the Institute of Rural Development of the Georg-August-University Goettingen, especially concerning the selection of indicators - many thanks to them, too.

I am deeply grateful to Dr. Jasivia Gonzales for bringing me in contact with both Prof. Pierre Ibisch and her country (Bolivia).

Special thanks to the FAN-Bolivia Foundation for its technical and scientific cooperation, as well as for the particularly enjoyable atmosphere in this institution. I am especially grateful to Mrs. Natalia Araujo, Mr. Juan Carlos Chivé, Dr. Jorge Choquehuanca, Mr. Saúl Cuéllar, Mrs. Sara Espinoza, Mr. Jaime Quispe, Mrs. Teresa Gutiérrez, Ms. Silvia Añez, and as well as to the whole team of the Science Department that made me feel welcome while working there.

I would like to express my gratitude to Dr. Roberto Vides, Mr. Steffen Reichle and Mr. Hermes Justiniano, from the Chiquitano Forest Conservation Foundation (FCBC), for the technical and economic support that played an eminent role in accomplishing my research activities in Bolivia.

The collaboration of Mr. David Lozano and his team of GasOriente Boliviano was an invaluable input for the accomplishment of this dissertation.

Acknowledgements

My various visits to Bolivia would not have been equally nice without sharing work and free time with Birgit Gerkmann, Juan Carlos Chivé, Stefan Kreft, Carola Sierra, Alexandra Ley, Christoph Nowicki, Monika Bodiroza and Jens-Peter Krüger.

Mr. Mario Catari and Mrs. Fabiola Pérez were an essential help in carrying out village surveys. Also, to the numerous people in the villages who were involved in the research project and their hospitality, particularly in San Juan de Chiquitos. Without their collaboration this research project could not have been carried out!

I would like to thank Mr. Juan Carlos Chivé, Mrs. Liliana Soria, Mrs. Ana Guerra, Mr. André Twele, Dr. Stefan Erasmi and Dr. Jens Nieschulze for their advice regarding remote sensing and GIS. And to Mihai Alevra for his help regarding fuzzy logic.

I highly appreciate the cooperation of my colleagues at the Institute of Geography Dr. Heyko Faust, Mr. André Twele, Dr. Stefan Erasmi, and particularly that of colleagues at the Department of Landscape Ecology: Mrs. Constanze Leemhuis, Dr. Elke Fischer, Mr. Jens-Peter Krüger, Dr. Beate Michalzik, Dr. Stefan Glatzel, and Mrs. Anne le Mellec.

Several people read parts of the manuscript. I am deeply grateful to Gabriela Alcaraz for her critical and constructive observations with respect to almost the entire document. Many thanks for important suggestions go to Stefan Kreft, Ada Garcia and Constanze Leemhuis.

I am deeply grateful to Maria Auxiliadora Perdomo, Gabriela Alcaraz, Ada Garcia, Ana Moguel and Leopoldo Alvares for their friendship and support during this stage in my life.

CONTENTS

VORWORT	V
SUMMARY	VI
ZUSAMMENFASSUNG	VIII
RESUMEN	XI
ACKNOWLEDGEMENTS	XIII
CONTENTS	XV
LIST OF TABLES	XVII
LIST OF FIGURES	XVIII
1 INTRODUCTION	1
1.1 PROBLEM STATEMENT AND BACKGROUND	1
1.1.1 OBJECTIVES	5
1.2 BOLIVIA AND ITS NATURAL GAS SECTOR	5
1.2.1 THE COUNTRY: A BRIEF OVERVIEW	5
1.2.2 THE NATURAL GAS SECTOR	6
1.2.3 THE CHIQUITANO FOREST CONSERVATION FOUNDATION	12
1.3 THE RESEARCH AREA	13
1.3.1 LOCATION	13
1.3.2 NATURAL CONDITIONS	14
1.4 BRIEF OUTLINE OF KNOWLEDGE-BASED MODELS AND FUZZY LOGIC: TOWARDS OPERATIONAL SYSTEMS	23
2 METHODS	27
2.1 IDENTIFICATION OF CHARACTERISTICS OF THE PROBLEM	29
2.1.1 INTERVIEWS WITH EXTERNAL STAKEHOLDERS	29
2.1.2 INTERVIEWS WITH DIRECT STAKEHOLDERS	30
2.2 CONCEPTUALIZATION OF ACQUIRED KNOWLEDGE	33
2.3 DESIGNING STRUCTURE TO ORGANIZED KNOWLEDGE	33
2.3.1 DEVELOPMENT OF A PRELIMINARY SET OF CONCEPTUAL FACTORS AND INDICATORS	33
2.4 DATA COLLECTION AND PROCESSING FOR VALIDATION OF KNOWLEDGE STRUCTURE	35
2.4.1 DATA COLLECTION	35
2.4.2 DATA PROCESSING	39
2.5 CODIFICATION AND IMPLEMENTATION, FORMULATION OF RULES TO EMBODY KNOWLEDGE	41
2.5.1 ADJUSTMENT OF FACTORS AND INDICATORS	41
2.5.2 DEVELOPMENT OF KNOWLEDGE-BASED MODELS	42
2.6 VALIDATION OF RULES THAT ORGANIZE KNOWLEDGE	49
2.6.1 INTEGRATION OF DATA LAYERS AND PERFORMANCE ANALYSIS OF KNOWLEDGE-BASED MODELS	49

3	RESULTS AND DISCUSSION	53
3.1	COMPREHENSIVE AND DESCRIPTIVE ANALYSIS OF VILLAGES AND GAS PIPELINE CHARACTERISTICS	53
3.1.1	THE RIGHT OF WAY	53
3.1.2	GAS COMPANY COMPENSATION PROGRAMS	56
3.1.3	VILLAGE FEATURES VS. PDI AND RIGHT OF WAY ISSUES	57
3.2	STRUCTURE OF MONITORING AND EVALUATION SYSTEM	72
3.2.1	FINAL SET OF CONCEPTUAL FACTORS AND INDICATORS	72
3.2.2	KNOWLEDGE-BASED MODELS FOR SPATIAL EVALUATION	87
3.2.3	VALIDATION OF THE SYSTEM AND BASELINE M&E	106
3.2.4	BRIEF MONITORING AND EVALUATION PROTOCOL	124
4	FINAL CONSIDERATIONS, CONCLUSIONS AND OUTLOOK	131
	BIBLIOGRAPHY	137
	APPENDIX	149
	GLOSSARY	157
	LEBENS LAUF	159

List of Tables

TABLE 1. STAKEHOLDERS AT NATIONAL LEVEL.....	29
TABLE 2. STAKEHOLDERS AT REGIONAL LEVEL.....	30
TABLE 3. STAKEHOLDERS AT LOCAL LEVEL.....	30
TABLE 4. VARIABLES CONSIDERED IN THE QUESTIONNAIRE FOR INTERVIEWS WITH DIRECT STAKEHOLDERS	31
TABLE 5. PRELIMINARY SET OF FACTORS AND INDICATORS	34
TABLE 6. NUMBER OF INTERVIEWED HOUSEHOLDS PER VILLAGE.....	35
TABLE 7. VARIABLES CONSIDERED FOR VALIDATION OF THE PRELIMINARY SET OF FACTORS AND INDICATORS IN THE HOUSEHOLDS' INTERVIEWS.....	36
TABLE 8. VARIABLES CONSIDERED FOR VALIDATION OF THE PRELIMINARY SET OF FACTORS AND INDICATORS IN THE LEADERS OF PDI'S CATTLE GROUPS' INTERVIEWS	37
TABLE 9. SPECIFICATIONS OF LANDSAT 7 (ETM+).....	38
TABLE 10. RADIOMETRIC CHARACTERISTICS OF ENHANCED THEMATIC MAPPER (ETM+).....	38
TABLE 11. ERROR MATRIX OF SUPERVISED CLASSIFICATION.....	40
TABLE 12. COMPARISON OF BOTH THE PRELIMINARY AND VALIDATED SET OF FACTORS AND INDICATORS	41
TABLE 13. CONCEPTUAL FACTORS THEIR INDICATORS AND SUB-INDICATORS WITH INFLUENCE AT VILLAGE-LEVEL TABLE 14. VILLAGE-LEVEL KNOWLEDGE-BASED MODEL STRUCTURE	46
TABLE 15. CONCEPTUAL FACTORS THEIR INDICATORS AND SUB-INDICATORS WITH INFLUENCE AT MESO-LEVEL TABLE. 16 MESO-LEVEL KNOWLEDGE-BASED MODEL STRUCTURE	48
TABLE 17. ORIGIN OF MALE HOUSEHOLDS' HEADS	59
TABLE 18. HOUSEHOLD SIZE AND AGE STRUCTURE.....	60
TABLE 19. INVOLVEMENT IN OFF-FARM EMPLOYMENT.....	60
TABLE 20. LIVESTOCK OWNED PER HOUSEHOLD.....	65
TABLE 21. CHANGES IN LIVESTOCK PER VILLAGE: BEFORE AND AFTER PDI.....	66
TABLE 22. CHARACTERISTICS OF HUNTING.....	66
TABLE 23. CHARACTERISTICS OF FUEL WOOD COLLECTION.....	69
TABLE 24. OVERVIEW OF VILLAGES AND GAS PIPELINE FEATURES.....	71
TABLE 25. WEIGHT'S SCALE FOR LAND COVER RELATED TO FUEL WOOD PRESSURE.....	100
TABLE 26. WEIGHT'S SCALE FOR LAND COVER TYPE RELATED TO CATTLE PRESSURE.....	103
TABLE 27. INDICATOR 1 TECHNOLOGICAL LEVEL	107
TABLE 28. INDICATOR 2 PERCENTAGE OF HOUSEHOLDS NOT PRACTICING FALLOW	107
TABLE 29. INDICATOR 3 MEAN LAND AREA USED PER HOUSEHOLD AND DISTRIBUTION OF VILLAGES' LAND USE	108
TABLE 30. INDICATOR 4 PROPORTION OF COMMERCIALIZED FARM PRODUCE.....	109
TABLE 31. LAND COVER AREAS IN YEAR 2002.....	111
TABLE 32. DATA RELATING TO FUEL WOOD PRESSURE IN YEAR 2003	115
TABLE 33. DATA CONCERNING CATTLE PRESSURE IN YEAR 2003	117
TABLE 34. INDICATORS CONCERNING TO LOGGING PRESSURE IN YEAR 2003	120
TABLE 35. M&E PERSONNEL REQUIREMENTS	124
TABLE 36. STAFF SCHEDULE	125
TABLE 37. MAIN EQUIPMENT REQUIRED	126
TABLE 38. QUESTIONNAIRE FOR INTERVIEWS WITH LEADERS OF PDI CATTLE GROUPS.....	127
TABLE 39. QUESTIONNAIRE FOR HOUSEHOLD INTERVIEWS.....	128

List of Figures

FIGURE 1. EVOLUTION OF BOLIVIA'S NATURAL GAS RESERVES BETWEEN 1997 AND 2004	8
FIGURE 2. MAP OF DOMESTIC NATURAL GAS PIPELINE NETWORK	9
FIGURE 3. MAP OF CROSS-BORDER GAS PIPELINES IN SOUTH AMERICA (2002)	10
FIGURE 4. BOLIVIAN PIPELINES THAT EXPORT GAS TO BRAZIL	11
FIGURE 5. RESEARCH AREA LOCATION	13
FIGURE 6. MONTHLY AVERAGE PRECIPITATION ⁹	14
FIGURE 7. MONTHLY AVERAGE TEMPERATURE ⁹	14
FIGURE 8. TOPOGRAPHY, HYDROGRAPHY, AND PHYSIOGRAPHY OF THE RESEARCH AREA	17
FIGURE 9. ECOREGIONS IDENTIFIED IN THE RESEARCH AREA	19
FIGURE 10. VEGETATION UNITS	22
FIGURE 11. HIERARCHY OF DATA, INFORMATION, AND KNOWLEDGE STRUCTURE	23
FIGURE 12. BASIC COMPONENTS OF DECISION SUPPORT SYSTEMS	26
FIGURE 13. OVERVIEW OF METHODOLOGICAL APPROACH	28
FIGURE 14. EXAMPLE OF HIERARCHICAL ARRANGEMENT OF DEPENDENCY NETWORKS	44
FIGURE 15. RESCALING SCHEME	49
FIGURE 16. DATA LAYERS USED FOR THE PERFORMANCE ANALYSIS OF THE MESO-LEVEL KNOWLEDGE BASE MODEL	51
FIGURE 17. TYPES OF LAND COVER CROSSED BY THE BOLIVIAN SEGMENT OF SAN MIGUEL CUIABÁ GAS PIPELINE	55
FIGURE 18. COMPARISON BETWEEN CULTIVATED AREA PER HOUSEHOLD BEFORE AND AFTER PDI IMPLEMENTATION (HA)	62
FIGURE 19. SAN JUAN DE CHIQUITOS DIAGRAM (2002)	62
FIGURE 20. RAMADA DIAGRAM (2002)	63
FIGURE 21. TOTAL OF FRUIT TREES PER VILLAGE	64
FIGURE 22. HOUSEHOLDS PER VILLAGE OWNING LIVESTOCK	64
FIGURE 23. GAME SPECIES	67
FIGURE 24. USE GIVEN TO GAME	68
FIGURE 25. FUEL WOOD SPECIES	69
FIGURE 26. OVERVIEW OF THE EVALUATION COMPONENT OF THE M&E SYSTEM	88
FIGURE 27. OVERVIEW OF VILLAGE-LEVEL MODEL STRUCTURE	89
FIGURE 28. AGRICULTURAL PRESSURE DEPENDENCY NETWORK	90
FIGURE 29. CALCULATION FOR USE OF AGROCHEMICAL INPUTS	91
FIGURE 30. CALCULATION FOR USE OF IMPROVED SEEDS	92
FIGURE 31. CALCULATION FOR NO FALLOW LANDS	93
FIGURE 32. CALCULATION FOR PASTURE AREA PER HOUSEHOLD	94
FIGURE 33. CALCULATION FOR HOUSING & CROP AREA PER HOUSEHOLD	95
FIGURE 34. OVERVIEW OF MESO-LEVEL MODEL STRUCTURE	96
FIGURE 35. CONSERVATION STATUS DEPENDENCY NETWORK	97
FIGURE 36. DEFORESTED AREAS TOPIC	97
FIGURE 37. FUEL WOOD PRESSURE DATA LINK	98
FIGURE 38. FUEL WOOD PRESSURE CALCULATED DATA LINK	99
FIGURE 39. BROWSING CATTLE PRESSURE TOPIC	100
FIGURE 40. PRESSURE OF BROWSING CATTLE, CALCULATED DATA LINK	102
FIGURE 41. LOGGING PRESSURE TOPIC	103
FIGURE 42. CALCULATION OF MANPOWER WITH POTENTIAL EMPLOYMENT IN LOGGING	104
FIGURE 43. CALCULATION OF NUMBER OF LOGGED TREES	105
FIGURE 44. INDICATOR 3 MEAN LAND AREA USED PER HOUSEHOLD	108
FIGURE 45. LEVEL OF AGRICULTURAL PRESSURE IN THE RESEARCH VILLAGES	110
FIGURE 46. LAND COVER MAP YEAR 2002	112
FIGURE 47. DEFORESTED AREAS MAP YEAR 2002	114
FIGURE 48. AREAS INFLUENCED BY FUEL WOOD COLLECTION AND ITS LEVEL OF USE PRESSURE	116
FIGURE 49. AREAS INFLUENCED BY CATTLE BROWSING AND ITS LEVEL OF PRESSURE	119
FIGURE 50. AREAS INFLUENCED BY LOGGING AND ITS LEVEL OF PRESSURE	121
FIGURE 51. HECTARES OF CONSERVATION STATUS CATEGORIES	122
FIGURE 52. CONSERVATION STATUS MAP	123