Potenziale des *Jatropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

–

Am Beispiel einer Fallstudie in der bolivianischen Region El Gran Chaco des Departamentos Santa Cruz

Von der Fakultät für Architektur und Landschaft
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades

DOKTORIN DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.- Ing.)

genehmigte Dissertation
von M.Sc. Ing. Bauingenieurin Nirza Fabiola Castro Gonzáles
geboren am 5. September 1972, in Potosí, Bolivien

2015

Referent: Prof. Dr. rer. nat. Michael Rode

Koreferent: Prof. Dr. Ing. Manfred Fischedick

Tag der Promotion: 20. August 2015

Schriftenreihe der Reiner Lemoine-Stiftung

Nirza Fabiola Castro Gonzáles

Potenziale des *Jatropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

Am Beispiel einer Fallstudie in der bolivianischen Region El Gran Chaco des Departamentos Santa Cruz

Shaker Verlag
Aachen 2015

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Zugl.: Hannover, Leibniz Univ., Diss., 2015

Copyright Shaker Verlag 2015
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4049-4
ISSN 2193-7575

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Danksagung

Die vorliegende Dissertation wurde durch Promotionsstipendien des Katholischen Akademischen Ausländer-Dienstes (KAAD) (erste Phase der Doktorarbeit 2008) und vor allem von der Reiner Lemoine-Stiftung (RLS, 2009-2011) gefördert. Die letzten Monate der Arbeit wurden durch ein Abschlussförderungsprogramm der Leibniz Universität Hannover gefördert. Ich möchte mich sehr bei den genannten Stiftungen und der Leibniz Universität Hannover für die finanzielle Unterstützung im Rahmen ihrer Stipendienprogramme bedanken. Ein besonderes Dankeschön geht an meinen Doktorvater Prof. Dr. Michael Rode für die vielen hilfreichen Hinweise und die geduldige Betreuung. Ein herzliches Dankeschön geht auch an meinen zweiten Betreuer Prof. Dr. Manfred Fischedick vom Wuppertal Institut (WI) für seine fachliche Unterstützung und die Möglichkeit, meine Arbeit im Doktoranden-Kolloquium des WI vorstellen und diskutieren zu können.

Es war ein langer Prozess von der ersten Idee bis zur Fertigstellung dieser Dissertation und dabei haben Kollegen, Familie und Freunde mich in vielfältiger Weise unterstützt. Ein Dankeschön geht insbesondere an Rosa Contreras, Jesús Serrano und Katharina Steinkraus für ihre Ermutigung, Motivation, und Unterstützung speziell in der Anfangsphase der Arbeit. Hervorheben möchte ich ferner Dr. Nina Buhr, die mir nicht nur mit ihrer fachlichen Kompetenz, sondern auch mit Korrekturlesen und Freundschaft sehr geholfen hat. Kristina Korus hat mich bei der Bearbeitung der ArcGIS-Datenbank, beim Korrekturlesen und bei der Erstellung der Karten mit viel Einsatz unterstützt. Ein großes Dankeschön geht an Robert Wittkuhn und insbesondere an Dr. Claudia Leskien für das Korrekturlesen der Arbeit. Ein weiteres Dankschön von mir geht an Prof. Dr. Peter Schaumann des Instituts für Stahlbau der Leibniz Universität Hannover für seine Kontakte an der Leibniz Universität Hannover.

Ich bedanke mich beim Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) für die Gewährleistung eines Auslandsstipendiums, das die Forschungsaufenthalte im Untersuchungsgebiet in Santa Cruz, Oruro und La Paz in Bolivien ermöglichte. Ich möchte Prof. Dr. Silverio Marquez der Universidad Nacional Ecológica in Santa Cruz und Gonzalo Villegas (Petrobras-Bolivia) danken, weil sie mir viele Kontakte und technische Informationen ermöglichten. Mein Dank geht auch an das technische Personal vom Forschungsprojekt Biodieselproduktion des Centro de Investigación Agrícola (CIAT, Forschungszentrum für Tropenlandwirtschaft), mir Einblicke in das Projekt zu gewähren. Ich möchte mich darüber hinaus bei Prof. Dr. Antonio Salas und seinen

Kollegen der Technischen Universität Oruro in Bolivien für die wertvollen fachlichen Diskussionen, Kontakte sowie Gastfreundschaft während meines Aufenthaltes am Carrera de Metalurgia y Ciencia de Materiales (Institut für Metallurgie und Materialwissenschaft und Werkstofftechnik) als Gastforscherin bedanken. Weitere Dankeschöns nach Bolivien gehen an Luis Goitia (Instituto de Desarrollo Regional de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz), der sich immer für mich Zeit genommen und mir großzügig fachliche Informationen zur Verfügung gestellt hat sowie Prof. Dr. Milton Salas (wissenschaftliche und technologische Forschungsabteilung der Technischen Universität Oruro), der mich in der Anfangsphase der Arbeit sehr unterstützt hat.

Zum Schluss möchte ich mich bei meinen Eltern Emma und Agricio, meinen Geschwistern Nelson, Paul, Lenny und Jorge für den liebevollen Zuspruch ganz herzlich bedanken. Last but not least bedanke ich mich sehr bei meinem Ehemann Prof. Dr. Danyel Reiche für seine stetige Unterstützung, Motivation und Korrekturlesen.

Ich widme diese Arbeit meinem Sohn Johan-Fabio, der während der Erstellung dieser Arbeit geboren wurde. Johan-Fabio stellte sich bravurös verschiedener Betreuungssituationen in Bolivien, Deutschland, den U.S.A. und dem Libanon, wo mein Mann als Professor tätig ist, und entpuppte sich als unkompliziertes Kind.

Zusammenfassung

Bolivien muss mehr als die Hälfte seines Diesel-Bedarfs (2014 52,7 %) aus Venezuela und Argentinien importieren. Zugleich weist das südamerikanische Land großes Potenzial zur Biokraftstoffgewinnung aus Ölpflanzen wie *Jatropha curcas* (*J. curcas*) auf. Bolivien verfügt über ausreichend Land und geeigneten Boden zum Anbau von Ölpflanzen. Im Inland produzierter Biodiesel kann für das Land eine umweltfreundliche Möglichkeit für eine partielle Deckung seines steigenden Diesel-Bedarfs sein. Insbesondere die Nutzung von fortgeschritten erodierten Böden zum Anbau von *J. curcas* könnte eine gute Möglichkeit für eine nachhaltige Biodieselproduktion in Bolivien bieten. Das Hauptziel der Arbeit liegt daher in der Abschätzung des Anbaupotenzials von *J. curcas* auf erodierten Böden. Als Untersuchungsgebiet (UG) wurde El Gran Chaco im Departamento Santa Cruz in Bolivien ausgewählt. Dort sind rd. 7 Mio. ha Boden fortgeschritten erodiert, dies entspricht 86 % der Gesamtoberfläche des Untersuchungsgebiets. Zur Ermittlung des Anbaupotenzials werden aktuelle klimatische Bedingungen des Untersuchungsgebiets wie niedriger Niederschlag und Dürre-Anfälligkeit in Bezug auf die Grundbedürfnisse und Eigenschaften der *J. curcas*-Pflanze wie geringer Wasserbedarf, hoher Öl-Gehalt, Dürreresistenz und Wachstumsfähigkeit auf unfruchtbaren Böden, Anpassungsfähigkeit an klimatische Bedingungen wie Niederschlag und lange Trockenzeiten untersucht. Neben ökologischen werden auch sozioökonomische Kriterien in die Abschätzung des Anbaupotenzials mit einbezogen.

Um der Zielsetzung der Arbeit gerecht zu werden, wurden vier Forschungsfragen formuliert:

Wie groß ist das nutzbare Potenzial von *J. curcas* zur Biodieselproduktion in der bolivianischen Region El Gran Chaco des Departamentos Santa Cruz bei den derzeitigen standörtlichen Bedingungen?

Wie müssen der Anbau von *J. curcas* und die Produktion von Biodiesel aus *J. curcas* gestaltet werden, damit sie ökologisch nachhaltig betrieben und zur Entwicklung der Region beitragen werden?

Welche sozioökonomischen Auswirkungen auf die Untersuchungsregion sind mit dem Anbau von *J. curcas* verbunden?

Welche Handlungsempfehlungen für einen nachhaltigen Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion im industriellen Maßstab können für Bolivien nach ökologischen und sozioökonomischen Kriterien gegeben werden?

Zur Beantwortung der Forschungsfragen werden Standortkriterien von *J. curcas* (Temperatur, Frostrisiko, jährlicher Niederschlag, Nähe zu Flüssen bzw. Bewässerungsmöglichkeiten, Grundwasser, Hangneigung, Versickerungsrate des Bodens, Überschwemmungsrisiko und Dürregefahr) sowie ökologische Gesichtspunkte (Landbedeckung, erodierte Böden und Schutzgebiete im UG) sowie sozioökonomische Gesichtspunkte (landwirtschaftliche Nutzfläche, Infrastruktur und Nähe zu Siedlungsgebieten im UG) herausgearbeitet. Diese gründen auf einem Grundlagenteil mit der Recherche von Informationen zum *J. curcas*-Anbau und internationalen *J. curcas*-Untersuchungen zu Praxis-Erfahrungen sowie Informationen zum Untersuchungsgebiet basierend auf einer ArcGIS-Datenbank. Eine GIS-Analyse des Gesamtgebietes wird auf Basis der abgeleiteten ökologischen, sozioökonomischen und Standortkriterien durchgeführt. Dabei werden insbesondere die klimatische Faktoren des UG, Auftreten von Naturphänomenen bzw. Extremereignisse (Überschwemmung und Dürregefahr), Vegetationsbedeckung im Hinblick auf die Erosionsgefährdung und Flächennutzung, Anteil landwirtschaftlicher Nutzflächen und erodierter Böden nach ihrem Erosionstyp (Winderosion, Wasser- und Winderosion, Wassererosion) und Erosionsgrad (stark, mittel, leicht und keine Erosion), Flächenumfang, Schutzgebiete, vorhandene Infrastruktur und Siedlungsgebiete berücksichtigt.

Für die GIS-Analyse werden als Bestandteil der ArcGIS Datenbank auch Karten verwendet, die auf Basis technischer Informationen bzw. Grunddaten und digitaler Sachdaten bzw. Geodaten aus einer Studie der bolivianischen Regierung und dem Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen aus dem Jahr 2006 erstellt wurden.

Auf Grund der unterschiedlichen Charakteristiken des Bodens (Erosionstyp und -grad) und einer ungleichen Verteilung auf verschiedene Landgemeinden des UG ist eine Gesamtabschätzung des Anbaupotenzials von *J. curcas* auf erodierten Böden des gesamten Untersuchungsgebietes sehr aufwändig. Daher wird die Landgemeinde Charagua als konkretisiertes UG zur Abschätzung des Anbaupotenzials für *J. curcas* ausgewählt. Sie ist einerseits die größte Landgemeinde des Untersuchungsgebietes (ca. 85 % des UG) und besitzt andererseits den größten Anteil an erodierten Böden (rd. 6 Mio. ha). Für eine erste grobe Auswahl potenzieller Standorte für den *J. curcas*-Anbau wurden

zunächst folgende Faktoren in Betracht gezogen: Zustand des erodierten Bodens (Grad der Erosion), Bewässerungsmöglichkeiten für *J. curcas*-Plantagen sowie Berücksichtigung von Schutzgebieten, Ackerbauflächen und Land für Viehzucht. Dazu werden zwei kleinere Beispielflächen (BF1: 438.337 ha und BF2: 58.504 ha) festgelegt, die verschiedene Teilaspekte des gesamten Untersuchungsgebietes repräsentieren sollen. Die GIS-Analyse und Bewertung der Beispielflächen (BF1 und BF2) werden auf Basis der positiven, neutralen oder negativen Beurteilung der o. g. Kriterien für den möglichen Anbau von *J. curcas* durchgeführt.

Aus der ArcGIS-Analyse ergibt sich die Identifikation von Einschränkungen anhand nicht nur ökologischer, sondern auch sozioökonomischer Auswirkungen des *J. curcas*-Anbaus im industriellen Maßstab und für eine potenzielle Biodieselproduktion im UG. Eine hypothetische Gestaltung des *J. curcas*-Anbaus auf den Beispielflächen basiert auf der generellen Prozesskette (Vermehrung, Anbau, Pflege und Ernte, Transport, Lagerung, Pressung, Umesterung), der Verbindung der sozioökonomischen Auswirkungen des Anbaus von *J. curcas* in der Untersuchungsregion wie die Wirtschaftlichkeit und Produktionskosten von Biodiesel aus *J. curcas*, den Einflussfaktoren Regierung, Bauern bzw. Investoren und Ressourcen (Land und Wasser).

Die Ergebnisse lassen deutlich einschätzen, dass die bolivianische Region El Gran Chaco des Departamentos Santa Cruz aus ökologischer und sozioökonomischer Sicht ein großes nutzbares Potenzial zum Anbau von *J. curcas* zu einer nachhaltigen Biodieselproduktion hat. Diese Nachhaltigkeit basiert insbesondere auf der Nutzung erodierter Böden bei ihren derzeitigen standörtlichen Bedingungen (geringe Niederschläge, trockene Luft, Nährstoffarmut, etc.). Der Anbau von J. *curcas* stellt darüber hinaus eine große Chance für die Verbesserung der Qualität des erodierten Bodens dar. Er kann daher dazu beitragen, das landwirtschaftliche Potenzial der Untersuchungsregion zu erhöhen. Grundsätzlich ist *J. curcas* sehr gut an die klimatischen Bedingungen und den aktuellen ökologischen Zustand des Untersuchungsgebietes angepasst.

Aus den Ergebnissen werden Handlungsempfehlungen für die nationale und regionale Regierung, für Bauern und Investoren zur Ableitung von ökologischen und sozioökonomischen Förderungsstrategien zur Biodieselproduktion aus *J. curcas* im UG entwickelt. Die 22 Handlungsempfehlungen leiten sich dabei sowohl von den identifizierten Auswirkungen des *J. curcas*-Anbaus in Bolivien, als auch von verschiedenen *J. curcas*-Anbau-Erfahrungen weltweit ab.

Für Länder wie Bolivien mit entsprechenden klimatischen Bedingungen, genügend Ackerfläche, geringer Bevölkerungsdichte (Bolivien: 10,3 Einwohner pro km²) und damit ausreichender Flächen-Verfügbarkeit, sowie Anfälligkeit für Krisen wie Nahrungsmittel- und Energieknappheit, kann der Anbau von Biokraftstoffpflanzen ein Beitrag für wirtschaftliches Wachstum sein und regionale Probleme, etwa den steigenden Dieselbedarf teilweise zu decken, lösen helfen. Der Vorteil des *J. curcas*-Anbaus auf erodierten Böden besteht darin, dass keine direkte Konkurrenz zum Lebensmittelanbau besteht und dass die Pflanze heimisch im UG ist. Auch steht der *J. curcas*-Anbau wegen der Toxizität der Pflanze nicht in direkter Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion.

Schlagworte

Biokraftstoffe, Biodiesel, Jatropha curcas, Bolivien, erodierte Böden.

Abstract

Bolivia must import more than half of its fuel (52.7 % in 2014) from Venezuela and Argentina. At the same time the South-American country has a large potential for biofuel production from oil plants such as *Jatropha curcas* (*J. curcas*). Bolivia possesses sufficient land and suitable soil to cultivate oil plants. Thus, domestically produced biofuel can pose an environmentally friendly alternative for Bolivia's ever increasing fuel demand. The development of *J. curcas* cultivation on Bolivia's highly degraded soils could make sustainable biofuel production possible. The main target of this thesis is to estimate yields for *J. curcas* from degraded soils. El Gran Chaco in the Departamento Santa Cruz was chosen as investigation area as it features around 7m ha vastly degraded land surface, which is about 86% of the total land surface in this area. To determine yield potentials, current climate conditions of the investigation area such low precipitation and drought occurrence were explored in relation to plant demand and characteristics of *Jatropha curcas* namely water requirement, high oil content, drought resistance and growth potential on meager soils, adaptability to low rainfall and long droughts. Apart from ecological criteria socio-economic criteria were included in determining the yield potential.

4 research questions were developed for the research objective:

How big is the utilizable potential of *J. curcas* for biofuel production in the Bolivian region of El Gran Chaco in the Departamento Santa Cruz at the current local conditions?

How does cultivation of *J. curcas* and production of biofuel have to be developed so that they become ecologically sustainable and help advance the region.

Which socio-economic effects will the cultivation of *J. curcas* have on the investigation area?

Which recommended procedures for a sustainable biofuel production from *J. curcas* in Bolivia could be phrased considering ecological and socio-economic criteria?

To answer these questions, site criteria of *J. curcas* (temperature, frost probability, annual rainfall, distance to rivers or irrigation, ground water, gradient, soil percolation rate, flood risk and drought risk) as well as ecological aspects (surface coverage, de-

graded soils, and sanctuaries in the investigation area) and socio-economic considerations (farmland, infrastructure, and distance to settlements in the investigation area) were investigated. Background information are based on research regarding *J. curcas* cultivation and international *J. curcas* studies concerned with practical experience; information about the investigation area draws from an ArcGIS database. A GIS analysis of the entire territory is conducted on the basis of the derived ecological, socio-economic, and site criteria. The climate conditions of the investigation area namely natural phenomena (floods, droughts), vegetation coverage with regard to erosion risk and land utilization, ratio of agricultural land and degraded soils according to their type of erosion (high, medium, low, and no erosion), total area, sanctuaries, existing infrastructure, and settlement area were considered especially.

The GIS analysis is using maps from the ArcGIS database; these maps are based on technical information, digital data and geodata respectively from a 2006 study co-conducted by the Bolivian government and the development program of the United Nations.

Due to different characteristics of the soils (type of erosion and erosion degree) and an uneven allocation to different communities it is very difficult to determine the yield potential of *J. curcas* on degraded soils in the total investigation area. Therefore, the community of Charagua was chosen concretized investigation area to estimate yield potential for *J. curcas*. Charagua is, firstly, the community with the largest land area in the investigation area (about 85% of the investigation area) and, secondly, features the largest part of degraded land (about 6m ha). For a first selection of potential locations for a *J. curcas* cultivation the following aspects were considered: soil status (degree of erosion), irrigation possibilities for *J. curcas* plantations as well as presence of sanctuaries, farmland, and pasture land. For that two smaller mock sites (BF1: 438.337 ha and BF2: 58.504 ha) were chosen to represent different aspects of the total investigation area. The GIS analysis and evaluation of the mock sites (BF1 and BF2) result in a positive, neutral, or negative assessment of the above mentioned criteria with respect to a possible *J. curcas* cultivation.

The ArcGIS analysis identifies not only ecological but also socio-economic effects of an industrial *J. curcas* cultivation that limits a potential biofuel production in the investigation area. The design of a mock *J. curcas* cultivation on BF1 and BF2 is based on the general process chain (reproduction, cultivation, nursing and harvest, transport,

storage, extraction, transesterification), the connection of socio-economic effects of the *J. curcas* cultivation with the investigation area like profitability and production costs of biofuel from *J. curcas*, and other factors such as government, farmers, investors and resources (land and water) respectively.

The research results, considering ecological and socio-economic aspects, suggest that the Bolivian region El Gran Chaco in the Departamento Santa Cruz shows a large utilizable potential for the cultivation of *J. curcas* for a sustainable biofuel production. Sustainability is given due to the utilization of degraded land and current local conditions (low rainfall, very low humidity, low soil nutrients etc). A cultivation of *J. curcas* also enhances the quality of the degraded soil and can thus increase the agricultural potential of the investigation area. *J. curcas* is well adjusted to the climate conditions and current ecological state of the investigation area.

Recommended procedures have been developed from the results of the study for the national and regional governments, for farmers, and investors in order to derive ecological and socio-economic strategies that support biofuel production from *J. curcas* in the investigation area. Those 22 recommended procedures were deduced from the identified effects of a *J. curcas* cultivation in Bolivia as well as from various experiences with the cultivation of *J. curcas* worldwide.

A cultivation of biofuel plants can contribute to economic growth and help to partly solve regional challenges such as growing fuel demand for countries like Bolivia; that means countries with corresponding climate conditions, sufficient agricultural land, scarce population (Bolivia: 10.3 inhabitants/km²) thus enough land, and susceptibility to food and energy shortage. The advantage of a cultivation of *J. curcas* on degraded land lies in the fact that it is an endemic plant and there is no direct competition to food plant cultivation. Also, there is no direct competition to food production as *J. curcas* is toxic.

Keywords

Biofuels, Biodiesel, Jatropha curcas, Bolivia, eroded soils.

Inhaltverzeichnis

Zusammenfasung…………………………………………………………………………III

Abstract…………………………………………………………………………………..VII

Abbildungsverzeicnis…………………………………………………………………..XIV

Tabellenverzeicnis………………………………………………………………....XVI

Abkürzungsverzeicnis……………………………………………………………..…XIX

1 Einleitung……………………………………………………………………..…..1

1.1 Hintergrund…………………………………………………………………..…1

1.2 Problemstellung in Bolivien…………………………………………………........5

1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen……………..…………………………………9

1.4 Untersuchungsrahmen ………..…………………………………………..……..10

1.5 Vorgehen…..……..…………………………………………………..……..11

2 Grundlagen ………………………………………………………………..……........18

2.1 *Jatropha curcas* ……………………………………………………...............18

2.1.1 Eigenschaften ……………………………………………………………..…25

2.2 Biodieselproduktion aus *Jatropha curcas*……………………………..…………..34

2.2.1 Anbau …………………………………………………………………………...41

2.2.1.1 Vermehrung ………………………………..………………………42

2.2.1.2 Pflege ………………………………………..……………..46

2.2.1.3 Ernte …………………………………...…………..………51

2.2.2. Trocknung, Transport und Lagerung …………………..……..…………………..52

2.2.3 Ölgewinnung ……...……………………………………………..................53

2.2.4 Umesterung ……………..…………………………………………..................56

2.3 Weitere Nutzungsmöglichkeiten ………………………………………..………58

2.4 Standortvoraussetzungen zum Anbau von *Jatropha curcas* in Bolivien …….69

2.4.1 Mögliche Anbaugebiete für die *Jatropha curcas*-Pflanze in Bolivien...70

2.4.1.1 Untersuchung vom *Jatropha curcas*-Anbau in der

Agrarversuchsstation Saavedra……...…….....71

3 Bolivien als Fallstudie – Ergebnisse der Situationsanalyse des

Untersuchungsgebietes El Gran Chaco in Santa Cruz……...……..79

3.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes: El Gran Chaco in Santa

Cruz …….....80

3.2 Ökologische und sozioökonomische Probleme …..…….…….....82

3.2.1 Geomorphologie ……..…….87

3.2.2 Klima ……88

3.2.3 Boden und Erosion im Gran Chaco …….88

4 Methodik der Abschätzung des Anbaupotenzials von *Jatropha curcas*

in der bolivianischen Region ……..……..……..…97

4.1 Abschätzung des Potenzials zum *Jatropha curcas*-Anbau auf erodierten

Böden im Untersuchungsgebiet für Biodieselproduktion ……..…….....97

4.1.1 Ableitung von Standortkriterien zum *Jatropha curcas*-Anbau

Sowie von ökologischen und sozioökonomischen Kriterien für

die Standortfindung zur Biodieselproduktion……..……...97

4.1.2 GIS-Analyse ……..…….……..100

4.1.2.1 GIS-Analyse des Gesamtgebietes ……....……..…101

4.1.2.2 GIS-Analyse des konkretisierten Untersuchungsgebietes

(Charagua)…….…….…….....105

4.1.3 Analyse und Bewertung der Beispielflächen …..…….....105

4.2 Identifikation von Einschränkungen anhand von sozioökonomischer Auswirkungen für den Anbau von *Jatropha curcas* im industriellen Maßstab und für eine potenzielle Biodieselproduktion im Untersuchungsgebiet……109

5 Darstellung der Ergebnisse ……111

5.1 Abschätzung des Potenzials zum *Jatropha curcas*-Anbau auf erodierten Böden im Untersuchungsgebiet - Ergebnisse der GIS-Analyse zur Erosion……111

5.2 Bewertung des Anbaupotenziales der Beispielflächen……124

5.2.1 Zusammenfassung der ökologischen Eigenschaften von *Jatropha curcas* als Basis zur Potenzialabschätzung auf den Beispielflächen……124

5.2.2 Anwendung der Bewertungskriterien an den zwei Beispielflächen……125

5.2.3 Bedeutung des *Jatropha curcas*-Anbaus in den Landgemeinden und im Untersuchungsgebiet……141

5.3 Optimierung des *Jatropha curcas*-Anbaus auf den Beispielflächen und im Untersuchungsgebiet……144

5.4 Welche sozioökonomischen Auswirkungen auf das Untersuchungsgebiet sind mit dem Anbau von *Jatropha curcas* verbunden?……148

5.5 Identifizierung von Hemmnissen einer Biodieselproduktion aus *Jatropha curcas* in Bolivien……153

6 Diskussion……160

6.1 Ergänzende Aspekte zu den Ergebnissen der Arbeit……174

7 Welche Handlungsempfehlungen für einen nachhaltigen Anbau von *Jatropha curcas* zur Biodieselproduktion im industriellen Maßstab können für Bolivien nach ökologischen und sozioökonomischen Kriterien gegeben werden?…..……..…….....183

7.1 Handlungsempfehlungen zur Biodieselproduktion aus *Jatropha curcas* in Bolivien im Allgemeinen……..…..184

7.1.1 Handlungsempfehlungen für die nationale Regierung…..…….....185

7.1.2 Handlungsempfehlungen für die Bauern bzw. Investoren….……...…....193

7.2 Handlungsempfehlungen für Biodieselproduktion aus Jatropha curcas im Untersuchungsgebiet……..…….…….…...195

7.2.1 Handlungsempfehlungen für die regionale Regierung……..…….…….....196

7.2.2 Handlungsempfehlungen für die Bauern bzw. Investore..…….……202

8 Fazit und Ausblick ……..…….....…….....205

9 Quellenverzeichnis ……..…….....207

10 Kartenanhang……..……...…….....225

Karte 1/10: Übersichtskarte

Karte 2/10: Erosionsgrad

Karte 3/10: Erosionstyp

Karte 4/10: Vegetation

Karte 5/10: Nutzung

Karte 6/10: Nutzung und Erosion

Karte 7/10: Lage der Beispielflächen

Karte 8/10: Details Beispielfläche 1

Karte 9/10: Details Beispielfläche 2

Karte 10/10: Mögliche Anbindung der Beispielflächen an Infrastruktur

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Erdgasproduktion (2010) und Erdgasreserven (2011) in Südamerika (EIA 2011)…….....6

Abbildung 1.2: Anteile unterschiedlicher Energiequellen am Primär-Energieverbrauch in Bolivien 2011 (Auf Basis von EIA 2012)…...…….…..7

Abbildung 1.3: Vorgehen zur Abschätzung des Anbaupotenzials von *J. curcas* in der bolivianischen Region El Gran Chaco und zur Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Biodieselproduktion ……..…….…12

Abbildung 2.1: Die *J. curcas*-Pflanze in der Agrarversuchsstation Saavedra des Forschungszentrums für Tropenlandwirtschaft CIAT (Centro de Investigación Agrícola Tropical) in Santa Cruz-Bolivien (eigene Fotos)……..20

Abbildung 2.2: Bestandteile und Nebenprodukte von *J. curcas*-Früchten als Energieträger (Singh et. al. 2008: 1869)……..…….……..21

Abbildung 2.3: Früchte und Samen der *J. curcas*-Pflanze (eigene Fotos; *Pfahler 2011)…….……23

Abbildung 2.4: *J. curcas*-Pflanze in der Versuchsstation Saavedra des Bezirks Santa Cruz (eigenes Foto)……..…..……..24

Abbildung 2.5: Anteil der globalen Biodieselproduktion nach Rohstoffen (OECD-FAO 2011)…….....34

Abbildung 2.6: Schematische Darstellung der allgemeinen Prozesskette zur Biodieselproduktion aus *J. curcas*……..……41

Abbildung 2.7: Nutzungsmöglichkeiten von *J. curcas*…….……..…...59

Abbildung 2.8: Potentielle Anbauflächen für Biokraftstoffpflanzen (Pfahler 2011)…….....71

Abbildung 2.9: Klimadiagramm Santa Cruz (Pfahler 2011)……....72
Abbildung 2.10: Feldversuch von *J. curcas* (zum Zeitpunkt der Aufnahme ein Jahr alt) in der Versuchsstation Saavedra des Bezirks Santa Cruz (eigene Fotos)…..73
Abbildung 2.11: Pilotprojekt von der *J. curcas*-Plantage und ihre Schädlinge in Der Versuchsstation Saavedra des Bezirks Santa Cruz (eigene Fotos)……...75
Abbildung 2.12: *J. curcas*-Biodieselanlage in der Versuchsstation Saavedra des Bezirks Santa Cruz (eigene Fotos)……..…….…76
Abbildung 2.13: Feldversuch von *J. curcas* (zum Zeitpunkt der Aufnahme 2 Jahre alt) in der Versuchsstation Saavedra des Bezirks Santa Cruz (Pfahler 2011…….....78

Abbildung 3.1: Geographische Lage der Region El Gran Chaco und des Untersuchungsgebietes (TNC FVSA DeSdelChaco WCS 2005) ……..81
Abbildung 3.2: Unterschiedliche Landschaften des El Gran Chaco……...……...82
Abbildung 3.3: Das Leben in der Region El Gran Chaco Boliviano (Photos Gonzales V. F.)…….....85

Abbildung 5.1: Anteil erodierter Böden jeder Landgemeinde an der Gesamtfläche erodierter Böden des Gesamtuntersuchungsgebietes……113
Abbildung 5.2: Anteil der erodierten Böden nach Erosionsgrad am UG……..…114
Abbildung 5.3: Anteil der erodierten Böden nach Erosionstyp am UG…..…….117
Abbildung 5.4: Koppel-, Neben- und Reststoffnutzung der unterschiedlichen Bestandteile der *J. curcas*-Pflanze……...…..…...152
Abbildung 5.5: Einflussfaktoren zur Produktion von Biodiesel aus *J. curcas* im UG……155

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Morphologische Charakteristika von *J. curcas* …….…….....24

Tabelle 2.2: Ölertrag unterschiedlicher Kulturen……...26

Tabelle 2.3: Toxische Inhaltstoffe von *J. curcas* ……....33

Tabelle 2.4: Anbauuntersuchungen von *J. curcas* in Mittelamerika - Teil I-III

Teil I/III…….……..…….....…38

Teil II/III……..…….…....…….…...39

Teil III/III…….…….....40

Tabelle 2.5: Nährstoffgehalt von Presskuchen aus Samen von *J. curcas*…....….....49

Tabelle 2.6: Mineralstoffgehalte von *J. curcas*-Presskuchen im Vergleich

zu Niembaum-Presskuchen und Kuhdung……..…….49

Tabelle 2.7: Vergleich von dezentraler Kaltpressung mit industrieller

Gewinnung durch Lösungsmittel zur Gewinnung von Öl aus *J. curcas*-Samen….....54

Tabelle 2.8: Energiewerte unterschiedlicher Energieträgeroptionen von *J. curcas*….63

Tabelle 2.9: Energieträgermöglichkeiten von *J. curcas*…….....64

Tabelle 2.10: Nutzungsmöglichkeiten von *J. curcas* und ihrer Bestandteile-Teil I- II

Teil I/II……...…...65

Teil II/II……..……..….66

Tabelle 2. 11: Statistische Parameter der Klimastation im Departmento

Santa Cruz …….……...72

Tabelle 3.1: Landgemeinden des Bezirks Santa Cruz im El Gran Chaco

Boliviano…….....81

Tabelle 3.2: Bevölkerungsdichte im El Gran Chaco Santa Cruz……..…...86

Tabelle 3.3: Anteil der Bevölkerung mit Grundversorgung im UG El Gran Chaco in Santa Cruz ……..…….....87

Tabelle 3.4: Geomorphologie des Untersuchungsgebietes El Gran Chaco in Santa Cruz…….88

Tabelle 3.5: Bodenchemische Parameter im Gran Chaco ….…….……89

Tabelle 3.6. Anteile aktueller Nutzung von Böden in der Region El Gran Chaco Boliviano ……..……91

Tabelle 3.7: Chemische Analyse des nicht-devastierten und des devastierten Bodens in der Region El Gran Chaco ……..……..……..92

Tabelle 3.8 Boden des Untersuchungsgebietes El Gran Chaco in Santa Cruz – Teil I und II

Teil I/II…….....……..95

Teil II/II……..……...…...96

Tabelle 4.1: Analyse des Anbaupotenzials der BF 1 und BF2 zum *J. curcas*-Anbau in Charagua jeweils auf starken und mittel erodierten Böden – Teil I und II (Kriterien vgl. Unterkapitel 4.1.1)

Teil I/II……..……...……..……..…...107

Teil II/II……..……...….108

Tabelle 5.1: Erodierte Böden in den Landgemeinden und im UG……...…..112

Tabelle 5.2: Erodierte Böden im UG nach Erosionsgrad……..…….114

Tabelle 5.3: Flächenanteile der Erosionsgrade in den Landgemeinden……...…..115

Tabelle 5.4: Erodierte Böden im UG nach Erosionstyp…….…116

Tabelle 5.5: Flächenanteile der Erosionstypen in den Landgemeinden……118

Tabelle 5.6: Flächennutzung des Untersuchungsgebietes…….…….....120

Tabelle 5.7: Anteil erodierter Böden bezogen auf die Nutzungstypen in Abhängigkeit vom Erosionsgrad……..……..……..……121

Tabelle 5.8: Kriterienbezogene Charakteristiken der Beispielflächen……..……..126

Tabelle 5.9: Analyse und Bewertung der Beispielflächen - Teil Ia, Ib und II

Teil Ia: Im Hinblick auf die Standortkriterien von *J. curcas*……..…..128

Teil Ib: Im Hinblick auf die Standortkriterien von *J. curcas*….……...…....129

Teil II: Im Hinblick auf ökologische und sozioökonomische Kriterien……....130

Tabelle 5.10: Bewertung des Potenzials der BF1……..……..133

Tabelle 5.11: Bewertung des Potenzials der BF2……..…..……....137

Tabelle 5.12: Flächentypen in BF1……..……...…140

Tabelle 5.13: Flächentypen in BF2……...…..140

Abkürzungsverzeichnis

BF1	Beispielfläche 1
BF2	Beispielfläche 2
UG	Untersuchungsgebiet
MANCHABOL	Mancomunidad del Chaco Boliviano
NRO	Nichtregierungsorganisation

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Der Energiebedarf nimmt weltweit zu. Um diesen global steigenden Energiebedarf zu decken, werden erneuerbare Energiequellen wie die Nutzung von Biomasse zur Bioenergiegewinnung erforscht. „Über ein Zehntel der globalen Primärenergie stammt aus traditioneller Biomassenutzung. Das Verbrennen von Holz, Holzkohle oder Dung ist für über 2,5 Milliarden Menschen die wichtigste Energiequelle zum Kochen und zum Erhitzen von Wasser“ (Paeger 2010). Der Bedarf an Bioenergie wird zukünftig um einige Hundert Exajoule (EJ) pro Jahr steigen. Dieser Bedarf wird nicht nur vom Potenzial der Biomasseversorgung, sondern auch vom weltweiten Energiebedarf und Wettbewerb alternativer Energieversorgungsmöglichkeiten beeinflusst (Berndes et al. 2003). Im Rahmen der globalen Bioenergienutzung entfällt der Großteil von 90 % (ca. 47 EJ pro Jahr) auf traditionelle Bioenergienutzungen und nur ein Anteil von 10 % wird für moderne Bioenergiegenutzt. Davon haben die Biokraftstoffe derzeit einen Anteil von lediglich >2 % (WBGU 2009).

Zurzeit werden Mais, Zuckerrohr und Rapsöl nicht nur als Rohstoffe für die Produktion von Biokraftstoffen zur Deckung des steigenden Biokraftstoffbedarfs angebaut, sondern auch wegen des steigenden Nahrungsmittelbedarfs (Fraiture et al. 2008). Steigende Ölpreise, der Abbau von fossilen Ölreserven, der Klimawandel, geopolitische und militärische Auseinandersetzungen geben der Erzeugung von Bioenergie einen enormen Schub. Österreich war ein Pionier in der Forschung zur Biodieselproduktion, der technischen Verträglichkeit von Biodiesel mit Dieselmotoren und Qualitätsstandards für Biodiesel. So wurde im Jahr 1982 die erste Pilotanlage zur Methanolproduktion aus Rapsöl in Österreich gebaut und 1991 ging in Aschach die erste industrielle Anlage zur Biodieselproduktion in Betrieb (ELOBIO 2008: 39). Hiermit beginnend hat sich die Biodieselproduktion bis heute in der ganzen Welt verbreitet und weiterentwickelt. Dies belegt beispielsweise die schnelle Steigerung der Produktion von Biokraftstoffen während der letzten fünf Jahre. Das durchschnittliche jährliche weltweite Wachstum der Ethanolproduktion betrug in diesem Zeitraum 17 % sowie 27 % bei der Biodieselproduktion (REN21 2012). In Lateinamerika sind zurzeit Kolumbien, Venezuela, Costa Rica und Guatemala auf die **Ethanolproduktion** aus Zuckerrohr fokussiert (Janssen & Rutz 2011). Nach der Prognose der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) im Agricultural Outlook 2011-2020, wird die

Produktion von Biodiesel aus verschiedenen Rohstoffen steigen. Es wird erwartet, dass im Jahr 2020 mehr als 75 % der globalen Produktion von Biodiesel aus Pflanzenölen stammen wird. Dabei soll der Anteil von *Jatropha curcas* (*J. curcas*) bei 7 % liegen. In Industrieländern soll der Anteil des produzierten Biodiesels aus Pflanzenöl von durchschnittlich 85 % im Zeitraum 2008-2010 auf 75 % im Jahr 2020 sinken. Produziertes Biodiesel aus nicht-agrarischer Herkunft wie Fett, Schmiere, Altöl oder aus den Nebenprodukten der Ethanol-produktion wird laut FAO 15 % des gesamten produzierten Biodiesels betragen und es wird erwartet, dass der Anteil der zweiten Generation der Biodieselproduktion - die Produktion von Biokraftstoff aus Agrar- und Waldabfall sowie nicht-essbaren pflanzlichen Rohstoffen (IEA Bioenergy 2008: 6) - in den Industrieländern auf 10 % des gesamten produzierten Biodiesels im Jahr 2020 ansteigen wird (OECD-FAO 2011).

Das leicht verfügbare Speiseöl aus der Agrarindustrie ist weltweit am Bedeutendsten für die Biodieselproduktion. Auf diese Weise kommen über 95 % der weltweiten Biodieselproduktion aus Speiseöl. Diese Art der Biodieselproduktion im großen Maßstab kann sich wegen der Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion sehr negativ auf das weltweite Nahrungsmittelangebot auswirken (Gui et al. 2008). In diesem Zusammenhang kommt der Biodieselproduktion in Südamerika eine besondere Bedeutung zu. Nach Angaben von OECD-FAO wird Palm- und Sojaöl wichtigster Biodieselrohstoff in Entwicklungsländern bleiben, weil die steigende Biodieselproduktion in Argentinien und Brasilien vorwiegend auf Sojaöl basiert (OECD-FAO 2011). Gleichzeitig wird von der FAO erwartet, dass der Anteil des produzierten Biodiesels in den Entwicklungsländern aus *J. curcas*-Öl im Jahr 2020 ungefähr 10 % beträgt und sogar 19 %, wenn Brasilien und Argentinien ausgenommen werden (OECD-FAO 2011). Dabei ist Argentinien in 2008 einer der weltweit fünf größten Biodieselproduzenten (Janssen & Rutz 2011). Argentinien fördert die Produktion von Biodiesel aus Soja im großen Maßstab für den Export nach Europa durch entsprechende gesetzliche Rahmenbedingungen (Cabral da Costa 2010, Interview). In Chile, wo die klimatischen Bedingungen für den Anbau von Raps geeignet sind, wird Biodiesel aus Rapsöl produziert. In Paraguay und Uruguay erfolgt die Produktion von Biodiesel aus Talg, weil diese Länder einen großen Tierbestand haben (OECD-FAO 2011). Nicht nur in Brasilien und Argentinien, sondern auch in Kolumbien, Chile, Paraguay und Uruguay bestehen schon Märkte für Biokraftstoffe. In allen anderen lateinamerikanischen Ländern ist der Bio-

kraftstoffmarkt bislang demgegenüber jedoch unterentwickelt (Janssen & Rutz 2011, OECD-FAO 2011).

Die Produktion von Biokraftstoffen kann dazu beitragen, den global steigenden Energiebedarf teilweise zu decken (REN21 2011). Aber aus Sicht der Sicherung der Nahrungsmittelversorgung ist die Biokraftstoffproduktion ein sehr umstrittenes Thema, weil für ihre Produktion begrenzte Ressourcen wie Süßwasser und Anbaufläche/Boden benötigt werden. Damit konkurriert sie mit der Nahrungsmittelproduktion und viele Akteure, die sich um Nahrungssicherheit sorgen, sehen das Thema äußerst kritisch. Das stetige Bevölkerungswachstum ist mit einem steigenden Nahrungs- und Biokraftstoffbedarf verbunden (Koerber et al. 2009; BMZ 2011). Andererseits bedeutet Ernährungssicherheit nicht nur die Produktion von Lebensmitteln; auch die Schaffung von Einkommen durch die Erzeugung von Biokraftstoffen könnte einen Beitrag leisten (Richter 2008; Asif & Muneer 2007), Kaufkraft für den Erwerb von Nahrungsmitteln zu generieren.

Eine Lösung des Problems könnte darin liegen, Energiepflanzen auf degradierten Flächen anzubauen. Wenn nur rund 25 % der degradierten Fläche zur Erzeugung von Biokraftstoffen genutzt würden, könnte dies 50 % des globalen Kraftstoffverbrauchs decken. So beträgt die gesamte degradierte Fläche 3,5 Milliarden (Mrd.) ha von insgesamt 12,9 Mrd. ha weltweiter Landfläche. Die weltweite Landfläche setzt sich zusammen aus 1,5 Mrd. ha Acker, 3,4 Mrd. ha Weide, 4,0 Mrd. ha Wald, 1,5 Mrd. ha Steppe und 2,6 Mrd. ha Wüste. „Zudem werden auf nur 30 Mio. ha der 1,5 Mrd. ha Ackerfläche weltweit Energiepflanzen für die Bioenergieproduktion angebaut. Das sind insgesamt nur 2 %“ (FNR 2011; Metzger & Hüttermann 2009).

Die Nahrungsmitteldefizite sind daher nur wenig in der steigenden Biokraftstoffproduktion begründet. Vielmehr sind sie mit der Senkung von Agraraktivität zu erklären, die durch den Klimawandel und mehr noch durch Schädigungen der Umwelt bedingt ist (Castro-Gonzáles 2012). Die Reduktion der Agraraktivitätsentwicklung durch Schäden der Umwelt wegen menschlicher Aktivitäten (z. B. Bodenverlust durch Erosion und Bodenübernutzung, Gewässerverschmutzung, höhere Kohlendioxidemissionen, Abholzung natürlicher Wälder und exzessive Abfallproduktion) ist ein Umweltproblem, das vor allem die Entwicklungsländer betrifft (The World Bank 2007; Schwermer 2007). So wird davon ausgegangen, dass sich die globale landwirtschaftliche Produktivität bis zum Jahr 2080 um 3 bis 16 % reduziert (The World Bank 2007).

„Derzeit werden global insgesamt genügend Lebensmittel produziert, um die Gesamtbevölkerung ernähren zu können. Dass Menschen mangel- oder fehlernährt sind, liegt überwiegend daran, dass sie aufgrund fehlender Kaufkraft keinen gesicherten Zugang zu vorhandenen Lebensmitteln haben. Ernährungssicherheit ist derzeit ein Verteilungs- und kein Produktionsproblem“ (SRU 2007). Aber der Biomasseanbau kann zur Verschärfung bestehender Ernährungsprobleme sowie zu Preissteigerungen von Agrarprodukten bei Verstärkung der Nachfrage beitragen. Sicherlich ist der Biomasseanbau nicht die Kernursache für Unsicherheiten in der Nahrungsmittelversorgung (SRU 2007). Vielmehr sind der Mangel an Süßwasser und mit ihm die Desertifikation weiter Landstriche sowie die Bodenerosion in vielen Entwicklungsländern die größten Hindernisse für eine nachhaltige Nahrungsmittelproduktion und Bioenergieproduktion. Für die Zukunft wird „die globale Nahrungssicherheit davon abhängig sein, wie schnell die Erträge (Beschleunigung des Ertrages) von Energiepflanzen- und Nahrungsmittelproduktion im lokalen und globalen Maßstab gesteigert werden können“ (Cassman, 2007).

Aus den genannten Gründen kann sich der Anbau nicht-essbarer Ölpflanzen (z. B. *J. curcas*) auf degradierten Flächen als eine attraktive Alternative zur Biodieselproduktion anbieten. Damit eine derartige Biodieselproduktion nachhaltig ist, müssen auch andere Faktoren bzw. Aspekte berücksichtigt werden: die Zusammensetzung und der Ertrag des Öls, die Wirtschaftlichkeit, die Anbaubedingungen, die Verfügbarkeit von Flächen und Ressourcen (Land und Wasser), die Auswirkungen auf die Umwelt und die sozialen Konsequenzen. Die Organisation FAO betont (FAO 2013: 93), dass die Programme zur Biodieselproduktion eine gute Chance zur ökonomischen Entwicklung insbesondere in Entwicklungsländern sein können, wenn sie auf kleine Bauern mit geringem Marktzugang ausgerichtet sind. Die Schaffung von neuen Märkten und die Integration von Kleinbauern in die Biodieselproduktionskette können für die Familien auf dem Land bessere und stabile Einkommen schaffen. Dafür sollten jene Regierungen, die die Biodieselproduktion nicht fördern, politische Maßnahmen einleiten (Castro et al. 2008). Auf diese Weise kann die Biodieselproduktion nicht nur zum Wirtschaftswachstum des jeweiligen Landes beitragen, sondern auch weltweit für eine Umverteilung der Einkommen sorgen, Arbeitsplätze in ländlichen Gebieten schaffen und den Bauern zu höheren Einkünften verhelfen. Darüber hinaus gibt es genügend Anbaufläche auf der Erde, um die nachhaltige Herstellung von Biodiesel aus Ölpflanzen für viele Jahre sicherzustellen (Buikema et al. 2009).

Eine nachhaltige Energieversorgung aus erneuerbaren Energien kann damit eine wichtige Rolle für die Zukunft der südamerikanischen und der globalen Energieversorgung spielen, woraus neue Entwicklungschancen für die Entwicklungsländer in Südamerika entstehen könnten. Diese Chancen ergeben sich zunächst ganz wesentlich aus dem Anbau der Pflanzen zur Biokraftstoffproduktion. So könnten die Grundlagen sowohl für eine eigenständige Kraftstoffversorgung eines Landes wie z. B. Bolivien gelegt, als auch Möglichkeiten zum Export eröffnet werden. Für Entwicklungsländer mit entsprechenden klimatischen Bedingungen, genügend Ackerflächen, geringer Bevölkerungsdichte und Anfälligkeit für Krisen sowie Nahrungsmittel- und Dieselknappheit wie Bolivien, kann der Anbau von Ölpflanzen ein Faktor für wirtschaftliches Wachstum sein. Allerdings muss dabei die dazu erforderliche große Ausweitung des Energiepflanzenausbaus und der Produktion von Biokraftstoffen ökologisch nachhaltig und sozial verträglich gestaltet werden und darf nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion treten (Castro-Gonzáles 2012).

1.2 Problemstellung in Bolivien

Bolivien hat einen ständig steigenden Dieselbedarf (Villegas-Gonzáles 2011, Interview). Diesel in Bolivien ist der Hauptkraftstoff, der für Personenfahrzeuge, Lastkraftwagen und landwirtschaftliche Maschinen genutzt wird. Deswegen ist Boliviens wirtschaftliche Entwicklung auf eine ausreichende Dieselversorgung bzw. -produktion angewiesen. Nach Angaben von YPFB (staatliches Erdöl- und Erdgasunternehmen Boliviens) wurden im Durchschnitt rd. 3,4 Mio. Liter Diesel pro Tag im Jahr 2010 in Bolivien verbraucht. Davon wurden ca. 1,4 Mio. Liter Diesel pro Tag allein in einer der wichtigsten bolivianischen Provinzen (Departamentos), Santa Cruz, verbraucht. Dies entspricht 40 % des Gesamtverbrauchs der Dieselkraftstoffe Boliviens. Die bolivianische Dieselproduktion pro Tag betrug 1,6 Mio. Liter im Jahr 2010. Folglich gibt es ein tägliches Defizit von 1,8 Mio. Liter Diesel. Das Defizit zwischen Dieselangebot und -verbrauch betrug damit im Jahr 2010 ungefähr 54 % - mehr als die Hälfte des bolivianischen fossilen Dieselbedarfs musste aus Argentinien und Venezuela importiert werden (YPFB 2010). Der aktuelle zu importierende Dieselbedarf bleibt bei mehr als der Hälfte des bolivianischen fossilen Dieselbedarfs: im Jahr 2012 waren es 54 %, 2013 53,7 % und 2014 52,7 % (ANHa 2015).

Die Erdgasreserve Boliviens betrug im Jahr 2011 0,3 Billionen Kubikmeter (9.9 trillion cubic feet), womit Bolivien in Südamerika auf dem fünften Rang rangiert (vgl. Abbildung 1.1) (EIA 2011; Hidrocarburos Boliva.com 2013). Bislang wird das Erdgas allerdings kaum für den Verkehr und für landwirtschaftliche Maschinen genutzt. Zurzeit sind lediglich einige private Erdgas-Pkws in Betrieb. Erdgas wird auch in öffentlichen Verkehrsmitteln genutzt, die aus ökonomischem Gründen von Benzin- und Diesel- in Erdgas-betriebene Fahrzeuge umgewandelt wurden. Es gibt jedoch keine offiziellen Statistiken über den Umfang der Nutzung. Bolivien exportiert Erdgas nach Brasilien und Argentinien. Trotzdem ist Bolivien von anderen Staaten wie Argentinien und Venezuela abhängig (EIA 2010), weil es zurzeit im Land nicht möglich ist, Erdgas in Kraftstoffe (Benzin oder Diesel) umzuwandeln und hohe Diesel-Importe damit weiterhin notwendig sind. Probleme bei der Erdgasnutzung ergeben sich daraus, dass es noch nicht genügend Erfahrung mit Flüssiggasverfahren (liquefaction process of natural gas, LNG) wie z. B. das Fischer Tropsch-Verfahren gibt und die Verfahren noch nicht ausgereift sind. Wegen der hohen technischen Anforderungen ist es auch fraglich, in welchem Umfang Nutzungschancen für Entwicklungsländer bestehen. Hinzu kommt, dass der Rohstoffpreis von Erdgas wegen des hohen Exportpreises ebenfalls hoch ist (Villegas-Gonzáles 2011, Interview). Einerseits ist Bolivien damit potenzieller Erdgaslieferant Südamerikas und anderseits ist es im Rahmen der Deckung seines Dieselbedarfs ein extrem abhängiges Binnenland.

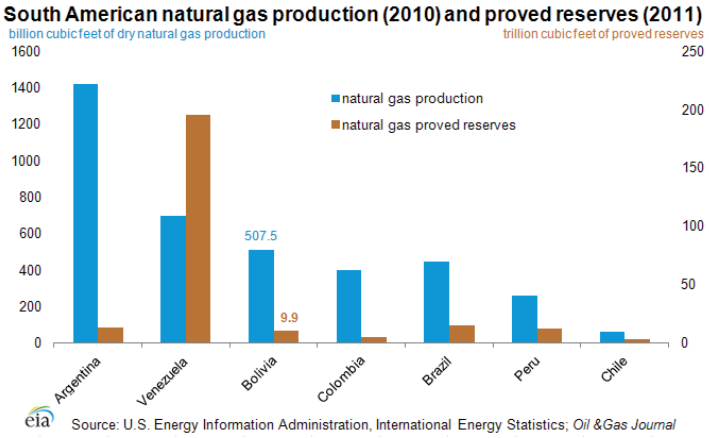


Abbildung 1.1: Erdgasproduktion (2010) und Erdgasreserven (2011) in Südamerika (EIA 2011)

45 % von Boliviens Energie wird durch traditionelle fossile Brennstoffe und 34 % durch Erdgas gedeckt. Weitere Formen der Energieproduktion in Bolivien sind Wasserkraft (6 %), Biomasse 14 % und andere erneuerbare Energien 1% (EIA 2010, EIA 2012) (vgl. Abbildung 1.2). Es gibt keine offiziellen Statistiken über erneuerbare Energien aus Bioenergie, Solar- oder Windkraft, aber in den ländlichen Regionen werden Sonnenenergie und vor allem Holz zur Energiebereitstellung genutzt. Hinzu kommt die Nutzung von Gas und Kerosin. Der Elektrifizierungsgrad betrug in den ländlichen Regionen gerade einmal >28 % im Jahr 2003 (Canedo 2005). Die Stromversorgung der Bevölkerung geschieht daher, falls sie überhaupt vorhanden ist, im Wesentlichen über Kleinaggregate, die mit Erdölprodukten, v. a. Kerosin, betrieben werden (Koel 2001). Angesichts der dadurch bedingten geringen Stromproduktion, die zudem vom Ölmarkt abhängt, ist eine wirtschaftliche Entwicklung dieser Räume kaum möglich. Die Folge ist eine seit Jahren anhaltende Landflucht. Noch leben >37,5 % der Bevölkerung Boliviens auf dem Land (INE 2012), aber die überwiegend indigene ländliche Bevölkerung sucht ein besseres Leben in den Städten. Sie geben ihre landwirtschaftlichen Produktionsflächen auf. Konsequenterweise sinkt die Bevölkerungsdichte auf dem Land stetig. Hierdurch kommt es zu einer andauernden Verschärfung der sozialen und ökonomischen Spannungen im ländlichen Raum (GTZ o. J.).

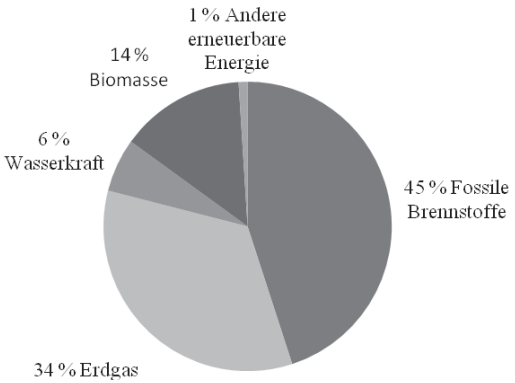


Abbildung 1.2: Anteile unterschiedlicher Energiequellen am Primär-Energieverbrauch in Bolivien 2011 (Auf Basis von EIA 2012)

Aus den genannten Gründen muss Bolivien Strategien entwickeln, um seinen steigenden Import von fossilem Kraftstoff und hier insbesondere von Diesel zu reduzieren. Doch ist Bolivien auf Grund politischer, finanzieller und technologischer Restriktionen bislang nicht befähigt, Strategien für eine effektive Nutzung seines Landes und seiner Ressourcen zu entwickeln. So ist unter anderem die Agrarindustrie Boliviens rückständig, obwohl Bolivien eine Vielzahl von Landschaften und klimatischen Regionen mit guten Bedingungen zur Agrarproduktion besitzt. „Die gesamte anbaufähige Fläche Boliviens beträgt nach Schätzungen 30 Mio. ha, von denen aktuell nur 3 Mio. ha genutzt werden“ (Pfahler 2011). So muss Bolivien selbst unverzichtbare Grundnahrungsmittel importieren, obwohl es über ausreichend Produktionsfläche verfügt. Die importierten Hauptprodukte sind Zucker, Mais und Weizen (FAO 2009a).

Eine Möglichkeit, die Importe von Diesel und Kerosin zu verringern, ist die Produktion von Biokraftstoffen. Dazu wurde im Jahr 2005 in Bolivien das Gesetz N° 3207 verabschiedet, um die Biokraftstoffproduktion zu fördern. Ein Jahr später wurde das Gesetz N° 3546 erlassen, um das Complejo Agroindustrial von San Buenaventura in der Provinz (Departamento) von La Paz (Hochland) zu gründen. Das Gesetz wurde erlassen, um den Anbau von Rohrzucker zur Zucker- und Ethanolproduktion und die Palmölproduktion für die Biodieselproduktion zu fördern (FOBOMADE 2007). Eine der wenigen bolivianischen Untersuchungen zur Biodieselproduktion wurde von 2007 bis 2008 im Departamento Santa Cruz durchgeführt. Dabei wurde Biodiesel aus degummiertem Sojaöl durch eine kleine Biodieselanlage von der Agrarfirma Agroinco S.A. produziert. Der Biodiesel wurde nur als Pestizid getestet (Stambuk 2011, Interview). Trotz dieser ersten Untersuchungen findet derzeit kaum Biokraftstoffproduktion in Bolivien statt. Als Hauptgründe dafür sind der Mangel an politischer Bereitschaft zur Definition der spezifischen Regeln im Biokraftstoffbereich, fehlende Langzeitstrategien und keine vergleichbaren Subventionen wie in der Vergangenheit für fossile Brennstoffe zu nennen. Zudem ist der Preis für fossilen Diesel in Bolivien subventioniert.

Der Preis betrug daher im März 2015 nur etwa 0,53 US$ pro Liter Diesel (inklusive Steuer) (ANHb 2015). Demgegenüber betrugen zum Vergleich die Produktionskosten von einem Liter *J. curcas*-Biodiesel mit Steuer 0,74 US$ in Tansania im Oktober 2008 (Romijn & Caniels 2011).

Im Departamento Santa Cruz, wo größtenteils die wirtschaftlichen und landwirtschaftlichen Aktivitäten Boliviens stattfinden, hat die regionale Regierung im Jahr 2008 ein Pilotprojekt zur Biodieselproduktion aus heimischen Ölpflanzen angestoßen. Dabei werden die Pflanzen Macororó (Ricinus), Palme (Cusi und Totaí) und Piñón (*J. curcas*) untersucht. Das Forschungsprojekt wird vom Forschungszentrum für Tropenlandwirtschaft (Centro de Investigación Agrícola Tropical, CIAT) durchgeführt und wurde im Jahr 2012 beendet (FOBOMADE 2007). Allerdings blieb es bislang bei dem Pilotprojekt und eine Markteinführung von Biodiesel aus *J. curcas* fand noch nicht statt, da die Biokraftstoffproduktion bzw. Biodieselproduktion in Bolivien noch nicht geregelt ist (Pfahler 2011).

Im Rahmen des nationalen Entwicklungsplans (PND: Plan de Desarrollo Nacional) der aktuellen Regierung, besteht jedoch die Chance, den *J. curcas*-Anbau für eine nachhaltige Biodieselproduktion an die Ziele der politischen Umweltstrategie und nachhaltigen Nutzung der Biodiversität und natürlichen Ressourcen anzupassen. Im Mittelpunkt der PND-Ziele steht neben dem Schutz der Natur die nachhaltige Verbesserung der Lebensbedingungen der Bevölkerung durch die Erschließung alternativer Einkommensquellen (Ernst & Schmalz 2009). Bolivien könnte mit seinen natürlichen Ressourcen bei dem aktuellen weltweiten Boom der Biokraftstoffproduktion durch die eigene Produktion von Biokraftstoffen nicht nur eine bessere wirtschaftliche Entwicklung, sondern auch ein höheres Wirtschaftswachstum und eine ausreichende Dieselbedarfsdeckung erreichen.

1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen

Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Landnutzung und der Erhaltung der natürlichen Ressourcen Boliviens, soll die vorliegende Arbeit einen Beitrag zu einer unabhängigen und nachhaltigen Biokraftstoffproduktion (Biodiesel) leisten.

Die übergeordnete Zielsetzung dieser Arbeit ist eine Abschätzung von Potenzialen und Grenzen der nutzbaren Fläche und der natürlichen Ressourcen in der Untersuchungsregion El Gran Chaco Boliviano des Departamentos Santa Cruz zum industriellen Anbau von *J. curcas* für eine nachhaltige Biodieselproduktion nach ökologischen und sozioökonomischen Kriterien. Hierzu zählen die Nutzung von erodierten Böden, die

Flächenkonkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion, die Auswirkungen auf Schutzgebiete und die Bedeutung der Infrastruktur.

Hieraus abgeleitet werden folgende Forschungsfragen mit den entsprechenden Unterzielen bearbeitet:

1. **Wie groß ist das nutzbare Potenzial von J. curcas zur Biodieselproduktion in der bolivianischen Region El Gran Chaco des Departamentos Santa Cruz bei den derzeitigen standörtlichen Bedingungen?**

- Abschätzung des Potenzials zum *J. curcas*-Anbau auf erodierten Böden in der Untersuchungsregion für eine nachhaltige Biodieselproduktion

2. **Wie müssen der Anbau von J. curcas und die Produktion von Biodiesel aus J. curcas gestaltet werden, damit sie ökologisch nachhaltig betrieben werden und zur Entwicklung der Region beitragen können?**

- Identifikation von Einschränkungen anhand ökologischer Kriterien für den Anbau von *J. curcas* und für eine potenzielle Biokraftstoffpflanzenproduktion aus *J. curcas* in der Untersuchungsregion

3. **Welche sozioökonomischen Auswirkungen auf die Untersuchungsregion sind mit dem Anbau von J. curcas verbunden?**

- Identifikation von positiven oder negativen sozioökonomischen Auswirkungen beim Anbau von *J. curcas*

4. **Welche Handlungsempfehlungen für einen nachhaltigen Anbau von J. curcas zur Biodieselproduktion im industriellen Maßstab können für Bolivien nach ökologischen und sozioökonomischen Kriterien gegeben werden?**

- Ableitung von ökologischen und sozioökonomischen Förderungsstrategien für einen nachhaltigen Anbau von *J. curcas*

1.4 Untersuchungsrahmen

Die Energiepflanzen sind neue Antriebskräfte im bolivianischen Landnutzungssektor. Jedoch müssen die Auswirkungen auf die Landnutzung und den Naturhaushalt beim Energiepflanzenanbau untersucht werden, um eine nachhaltige Biodieselproduktion und eine richtige Ressourcenverwaltung sicherzustellen.

Eine ökologische und sozioökonomische Produktion von Biodiesel aus *J. curcas* ist ein sehr komplexes Thema, das verschiedene Fachdisziplinen tangiert und daher im Rahmen dieser Dissertation nicht vollständig abgebildet werden kann. Deswegen ist es notwendig, diese Untersuchung einzugrenzen. Die Arbeit konzentriert sich im Wesentlichen auf den Anbau von *J. curcas* und seine Wechselwirkungen mit dem abiotischen Naturhaushalt (u.a. Boden und Wasser). Hierzu werden Analysen zur Land- und Wassernutzung, zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, zur Restaurierung degradierter Flächen und zu den agroökologischen Bedingungen für den *J. curcas*-Anbau untersucht. Im weiteren Verlauf der Prozesskette der Biodieselproduktion aus *J. curcas* werden Koppel-, Neben- und Reststoffnutzungsmöglichkeiten für eine wirtschaftliche Biodieselproduktion in der Region und für die Bevölkerung geprüft.

Aspekte wie Landnutzungskonzepte, Bodenversiegelung oder Treibhausgasbilanzen werden bei der Arbeit nicht betrachtet.

1.5 Vorgehen

Die Abbildung 1.3 zeigt den Aufbau und das Vorgehen der Arbeit in der Untersuchungsregion El Gran Chaco Boliviano im Departamento Santa Cruz.

Die Bearbeitung des Promotionsvorhabens gliedert sich in zwei Teile:

1) In einen Grundlagenteil mit der Recherche von **Informationen zum *J. curcas*-Anbau** und
2) einen anwendungsbezogen bzw. analytischen Teil basierend auf einer ArcGIS-Datenbank (**Informationen zum Untersuchungsgebiet (UG)**) zur Abschätzung des Potenzials der Biodieselproduktion aus *J. curcas* in der bolivianischen Region El Gran Chaco Boliviano.

Zur **Abschätzung des Anbaupotenzials von *J. curcas* zur Biodieselproduktion** in der Untersuchungsregion für eine nachhaltige Biodieselproduktion wird **im ersten Teil** als Basis der Bewertungsmethodik des Potenzials des *J. curcas*-Anbaus (Methodik der Analyse - Unterkapitel 4.1.1) *J. curcas* sowohl als Wildpflanze als auch Ölpflanze (Energiepflanze) vorgestellt. Es geht vor allem um Herkunft und Eigenschaften von *J. curcas* sowie um ihren Öl- und Proteingehalt, ihre Toxizität und

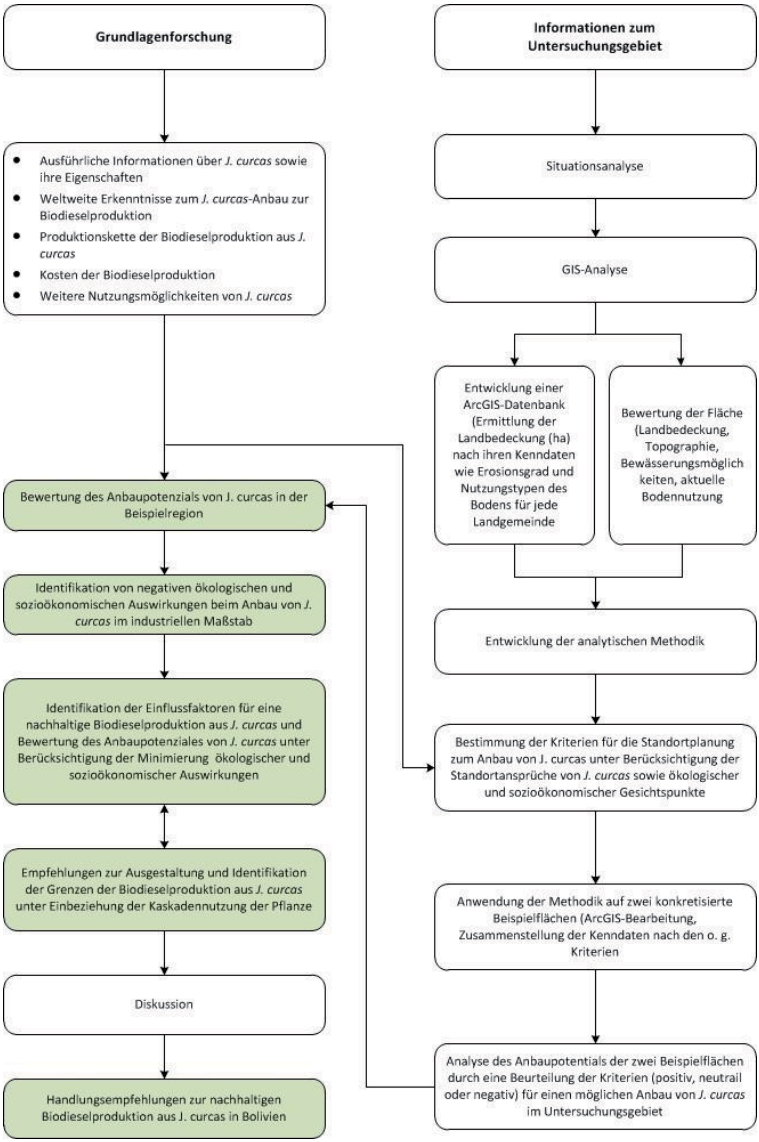


Abbildung 1.3: Vorgehen zur Abschätzung des Anbaupotenzials von *J. curcas* in der bolivianischen Region El Gran Chaco und zur Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Biodieselproduktion

Krankheiten, ihren Wasserbedarf, um die Anbauverfahren, weltweite Erkenntnisse zu ihrem Anbau zur Biodieselproduktion, Produktionskette und Kosten der Biodieselproduktion aus *J. curcas* (vgl. Kapitel 2.1). Ein Überblick über die bisherigen weltweiten Untersuchungen mit dem *J. curcas*-Anbau wird auch für andere Nutzungen gegeben (vgl. Unterkapitel 2.2; Tabelle 2.4 Teil I-III).

Um die Rahmenbedingungen für eine ökologisch und sozioökonomisch nachhaltige Biodieselproduktion zu identifizieren, wurde eine **Situationsanalyse** der Untersuchungsregion El Gran Chaco in Santa Cruz unter besonderer Berücksichtigung der ökologischen und sozioökonomischen Probleme der Region durchgeführt (Kapitel 3). Hierzu wird die Beschreibung des Untersuchungsgebietes vorangestellt. Dabei werden die geographische Lage der Region El Gran Chaco und des Untersuchungsgebietes sowie ihre unterschiedlichen geographischen Regionen dargestellt. Nebenbei werden die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes sowie die Fläche jeder Landegemeinde, ihre Anteile am UG und ihre Geomorphologie dargelegt. Ein genereller Überblick wird auch zu Erosion und Boden, Grundwasser, Vegetation, Landwirtschaft und Extremereignisse des Untersuchungsgebietes gegeben (vgl. Kapitel 3). Die Analyse basiert auf Literaturrecherchen und vor allem auf Interviews mit Experten, die im Rahmen eines Forschungsaufenthaltes in Bolivien geführt wurden. Im Rahmen des Forschungsaufenthaltes gelang zudem der Zugang zu Quellen, die (noch) nicht öffentlich zugänglich sind. So konnten *J. curcas*-Versuchsflächen besucht und auf Basis von Gesprächen und unveröffentlichten Materialien erste Anbauergebnisse fachlich ausgewertet und in die Situationsanalyse und die im Folgenden dargestellte **GIS-Analyse** (s. u.) des Untersuchungsgebietes einbezogen werden.

Im Zusammenhang mit der Beschreibung des Untersuchungsgebietes wird eine räumliche Abbildung und Analyse des Gesamtuntersuchungsgebietes mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (GIS) unter Verwendung der Software ESRI ArcGIS 10.0 im Hinblick auf die Anbaueignung vorgenommen (vgl. Kapitel 4). Hierzu werden eine Datenbank entwickelt (vgl. Unterkapitel 5.1) und Karten erstellt: Übersichtskarte, Erosionskarte mit Erosionsgraden, Erosionskartemit Erosionstyp, Landbedeckungskarte, Landnutzungskarte und Landnutzungskarte mit erodierten Böden (vgl. Karte 1/10-6/10, s. Kartenanhang S. 225). Eine Übersicht des Untersuchungsgebietes wird vorgenommen, um die Grenzen und Lage der Landgemeinden, die Topographie, lokale Infrastruktur, Straßen, Flüsse (als Bewässerungsmöglichkeiten), Siedlungsgebiete, Schutzgebiete, Zustand der Böden (Erosionsgrad und -typ), Landbedeckung (Vegetati-

on) und Bodennutzung im UG darzustellen. Da die Landgemeinde Charagua mit ca. 7,2 Mio. ha die größte Landgemeinde des Untersuchungsgebietes (ca. 85 % des Untersuchungsgebietes; vgl. Tabelle 3.1 S. 81) ist und den größten Anteil an erodierten Böden (ca. 71 % an der Gesamtfläche) (vgl. Abbildung 5.1) aufweist, wird diese Analyse beispielhaft auf diese Landgemeinde des Untersuchungsgebietes fokussiert.

Als weiterer Schritt werden **Beurteilungskriterien** zum Anbaupotenzial von *J. curcas* auf erodierten Böden des Untersuchungsgebietes entwickelt (vgl. Unterkapitel 4.1.1), damit die Standortplanung zum *J. curcas*-Anbau vorgenommen werden kann. Die Standortplanung wird unter **Berücksichtigung der Standortkriterien von** *J. curcas* (Temperatur, Frostrisiko, jährlicher Niederschlag, Nähe zu Flüssen als Bewässerungsmöglichkeit, Grundwassernachlieferung, Hangneigung, Versickerungsrate, Überschwemmungsrisiko und Dürregefahr) sowie **ökologischer** bzw. **sonstiger Umweltfaktoren** (Landbedeckung, erodierte Böden, Schutzgebiete) und **sozioökonomischer Gesichtspunkte** (landwirtschaftliche Nutzflächen, Infrastruktur, Nähe zu Siedlungsgebieten) vorgenommen. Diese Kriterien werden in einem späteren Schritt zur Bewertung des Anbaupotenzials von *J. curcas* bei der Analyse dienen.

Wegen der Verbreitung erodierten Bodens und unterschiedlicher Topographie in der betrachteten Landgemeinde Charagua sowie im ganzen UG werden kleinere konkretisierte Untersuchungsflächen (**Beispielflächen**) analysiert, die über einen kleinteiligen Wechsel unterschiedlicher Charakteristika (Landbedeckung, Infrastruktur, Klima, Zustand des Bodens u. a.) verfügen. So können eine detaillierte Abschätzung des Anbaupotenzials von *J. curcas* vorgenommen und Fehler sowie Anbaurisiken für *J. curcas* verhindert werden. Als Beispielflächen werden in der **Landgemeinde Charagua zwei Flächen** (**BF1 und BF2**) ausgewählt, die jeweils einen hohen Anteil an stark und mittel erodierten Böden besitzen (vgl. Karte 7/10,) (s. Kartenanhang S. 225). In den Beispielflächen werden unter anderem die räumliche Verteilung des Frost-, Dürre- und Hochwasserrisikos sowie Temperatur, Niederschlag und Versickerungsrate im Hinblick auf das Anbaupotenzial von *J. curcas* erfasst. Auch die Anbindung der Beispielflächen an Infrastruktur wird analysiert. Zur Auswahl potenzieller Standorte für den *J. curcas*-Anbau werden darüber hinaus der Zustand des erodierten Bodens, Bewässerungsmöglichkeiten für die *J. curcas*-Plantagen sowie das Risiko von Extremereignissen, Arten von Vegetationsbedeckung, touristische Orte u. a. herangezogen (vgl. Unterkapitel 4.1.2.2).

Darauf aufbauend wird das **Anbaupotenzial der zwei Beispielflächen** über eine Bewertung mit Hilfe der entwickelten Kriterien für einen möglichen nachhaltigen Anbau von *J. curcas* im UG analysiert. Dabei wird im Wesentlichen die Eignung der potenziellen Anbauflächen von *J. curcas* auf erodierten Böden für eine nachhaltige Biodieselproduktion im UG bewertet (vgl. Kapitel 4).

Zur **Identifikation von Einschränkungen anhand ökologischer und sozioökonomischen Auswirkungen** für den Anbau von *J. curcas* im industriellen Maßstab und für eine potenzielle Biokraftstoffpflanzenproduktion aus *J. curcas* in der Untersuchungsregion werden zuerst die ökologischen und sozioökonomischen Probleme des Untersuchungsgebietes identifiziert. Darauf aufbauendwerden die identifizierten potenziellen ökologischen Auswirkungen des Anbaus von *J. curcas* auf Natur, Fauna und die Nutzung der natürlichen Ressourcen (Wasser und Land) analysiert. Basis dieser Analyse sind die Beschreibung des Untersuchungsgebietes und seiner ökologischen Probleme (vgl. Unterkapitel 3.2; Abbildung 3.3) und eine Literaturanalyse weltweiter Forschungsprojekte, die sich mit der Erfassung ökologischer Auswirkungen des *J. curcas*-Anbaus befassen (vgl. Unterkapitel 2.2). Die identifizierten ökologischen Einschränkungen fließen in die Erarbeitung der **Handlungsempfehlungen** zum *J. curcas*-Anbau zu einer nachhaltigen Biodieselproduktion in Bolivien ein (vgl. Kapitel 7). Ziel dieses Untersuchungsschrittes ist es, die ermittelten ökologischen und sozioökonomischen Probleme bei einem Anbau von *J. curcas* in Bolivien zu vermeiden.

Im Hinblick auf die Identifikation **sozioökonomischer Einschränkungen** des Anbaus von *J. curcas* zur Biodieselproduktion, wird eine ähnliche Analyse durchgeführt. Hierzu werden die sozioökonomische Probleme (z.B. Emigration, Arbeitslosigkeit) des Untersuchungsgebietes ebenso untersucht wie die aktuelle Landnutzung, Stromversorgung, Trinkwasser und Entwässerung von Abwasser (Grundversorgung), lokale Infrastruktur (Straßen) und Kraftstoffverbrauch (vgl. Unterkapitel 3.2; Tabelle 3.3). Neben der Darstellung der aktuellen Landnutzung ist die Identifikation möglicher negativer Auswirkungen von *J. curcas*-Plantagen auf die Gesundheit der Menschen auf Grund der Toxizität von *J. curcas* (vgl. Unterkapitel 2.1.1) ein Schwerpunkt. Auch werden die wichtigsten sozioökonomischen Einschränkungen identifiziert wie Mangel an Arbeitskräften, Produktionskosten von Biodiesel aus *J. curcas* u. a.

Die herausgearbeiteten **ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen beim *J. curcas*-Anbau** dienen als Grundkriterien für die generelle Abschätzung des Anbau-

potenzials von *J. curcas* und möglicher Einschränkungen. Dabei gilt es herauszufinden, ob nicht sowohl die ökologische, als auch die sozioökonomische Situation der Untersuchungsregion prinzipiell geeignet sind für einen nachhaltigen industriellen Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion. So kann zunächst ein vorläufiges Anbaupotenzial von *J. curcas* in der bolivianischen Region El Gran Chaco des Departamentos Santa Cruz eingeschätzt werden.

Auf Basis der **Identifikation von ökologischen undsozioökonomischen Einschränkungen** zum Anbau von *J. curcas* werden **die Einflussfaktoren und Akteure für eine nachhaltige Biodieselproduktion aus** *J. curcas***-Samen im UG** ermittelt. Beispiele für Einflussfaktoren sind die **Regierung**, die **Bauern** bzw. **Investoren** und die **Ressourcen Wasser und Land** (vgl. Abbildung 5.5). Danach wird einzeln beschrieben und analysiert, inwieweit die genannten Einflussfaktoren in den einzelnen Teilen der Produktionskette involviert sind und welche Mittel zur Realisierung der Produktion von *J. curcas* benötigt werden (vgl. Unterkapitel 5.5). Auch sollen so Wege aufgezeigt werden wie der Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion zur Lösung **ökologischer** Probleme wie unkontrollierter Abholzung, Luft- und Wasserverschmutzung, Erosion der Böden und insbesondere der Schutz gegen ein mögliches Fortschreiten der Erosion in der Untersuchungsregion sowie zur Lösung **sozioökonomischer** Probleme wie Arbeitslosigkeit und steigender ungedeckter Dieselbedarf der Region beitragen kann. Außerdem wird das Anbaupotenzial von *J. curcas* **unter Berücksichtigung der Minimierung ökologischer und sozioökonomischer Auswirkungen** bewertet, um eine geeignete Ausstattung und Limitierungen des Anbaus von *J. curcas* zu einer nachhaltige Biodieselproduktion im UG darzulegen (vgl. Kapitel 5).

Die **Entwicklung** der **Handlungsempfehlungen** gehört zum vierten Unterziel der Arbeit (vgl. Kapitel 7). Sie sollen in Bezug auf mögliche Konflikte Lösungen von Problemen und die dabei zu involvierenden, in der Arbeit identifizierten Einflussfaktoren bzw. Akteure für eine unter ökologischen und sozioökonomischen Gesichtspunkten nachhaltige Biodieselproduktion aufzeigen. Hierzu schließen die **Empfehlungen** die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten der *J. curcas*-Pflanze mit ein und sie skizzieren **eine mögliche Ausgestaltung der Biodieselproduktion aus** *J. curcas* **unter Einbeziehung der Koppel-, Neben und Reststoffnutzung** (vgl. Abbildung 5.4).

Die Handlungsempfehlungen werden auf zwei Ebenen ausgerichtet: 1. auf die Biodieselproduktion aus *J. curcas* in Bolivien im Allgemeinen (vgl. Unterkapitel 7.1) und 2.

speziell im UG (vgl. Unterkapitel 7.2). Dabei werden sie differenziert für die Akteure der Regierung, für Bauern bzw. Investoren in Bolivien dargestellt. Die formulierten Handlungsempfehlungen sollen für alle Akteure, insbesondere aber für die Regierung, eine Basis sein, um Nachhaltigkeitskonzepte für die Biodieselproduktion in großem Maßstab zu entwickeln. Diese Nachhaltigkeitskonzepte schließen den Umwelt-, Wirtschafts- und Sozialbereich ein, um ökologische und sozioökonomische Förderungsstrategien für einen nachhaltigen Anbau von *J. curcas* anzuleiten.

2 Grundlagen

Zunächst werden die morphologischen und ökologischen Eigenschaften von *J. curcas* und ihre Nutzungsmöglichkeiten dargestellt, die als eine wesentliche Grundlage für die Potenzialabschätzung des *J. curcas*-Anbaus in der Untersuchungsregion Santa Cruz dienen werden. Zudem wird zwischen möglichen Auswirkungen des Anbaus auf die Umwelt und der Biodieselproduktion auf regionale soziale Faktoren unterschieden. Hierzu werden in der Literatur dargestellte Ergebnisse von Untersuchungen verschiedener Anbau-Varianten sowie zur Produktion von Biodiesel aus dem Öl ihrer Samen und zu den Produktionskosten des Biodiesels herausgearbeitet (vgl. Unterkapitel 2.1 und 2.2).

2.1 *Jatropha curcas*

Die *J. curcas*-Pflanze als Rohstoff zur Biodieselproduktion hat das Interesse von Investoren, Entscheidungsträgern und Initiatoren von Entwicklungshilfeprojekten geweckt, um mit dem Öl der Pflanze fossilen Diesel zu ersetzen und damit zur Verminderung von Treibhausgasemissionen sowie zum Schutz des Klimas beizutragen (Achten et. al. 2008; Kofi & Ertel 2005). Doch *J. curcas* kann nicht nur zur Biodieselproduktion angebaut werden, sondern auch der Rekultivierung degradierter Ackerflächen dienen. Damit kann sie gleichzeitig zur Schaffung von Arbeitsplätzen beitragen. So wurde zum Beispiel im Jahr 2005 von der indischen Regierung eine umfassende Untersuchung mit dem Ziel gestartet, den *J. curcas*-Anbau in Indien bis zum Jahr 2020 auf 10 Mio. ha auszuweiten, um 7,5 Mio. Tonnen Biodiesel jährlich zu produzieren. Dies entspricht 20 % des Dieselbedarfs Indiens. Dies soll zur Schaffung von ca. 5 Mio. neuen Arbeitsplätzen und zur Rekultivierung von Brachland führen (Medina-Ovando et. al. 2009: 1037).

EINORDNUNG IN DIE SYSTEMATIK DER PFLANZEN

J. curcas ist eine Ölpflanze. Sie wird in Deutschland als Purgiernuss und in Bolivien als piñón bezeichnet (USDA 2007). *J. curcas* gehört zur Familie der Euphorbiaceae, die aus 321 zugehörigen Gattungen mit ca. 8.000 Pflanzenarten besteht (USDA 2007). Weltweit gibt es 175 Arten von *Jatropha* (Ye et al. 2009: 488).

HERKUNFT UND VERBREITUNG

J. curcas ist in den Tropen Amerikas heimisch (Lachner-Eitzenberger 2006). Ihr natürlicher Lebensraum ist Nordamerika (Mexiko), Mesoamerika bzw. Mittelamerika (Be-

lize, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua) und Südamerika (Tiefland von Bolivien, Brasilien, Peru, Argentinien und Paraguay) (Lachner-Eitzenberger 2006: 13-14; Seckinger 2010). Es ist sehr wahrscheinlich, dass *J. curcas* aus der Karibik über die Kapverdischen Inseln und Guinea-Bissau mit portugiesischen Schiffen in andere afrikanische und asiatische Länder verbreitet wurde (Jongschaap et al. 2007: 1). Dort wurde sie in der Vergangenheit wie in der neuen Welt seit langem gelegentlich angebaut (USDA 2007). Heutzutage wächst daher weltweit in mehreren tropischen und subtropischen Regionen (Openshaw 2000: 1).

STANDORTANSPRÜCHE

Tropisches Klima, Feuchtigkeit, dränierter Boden und Sonnenlicht stellen günstige Standortbedingungen von *J. curcas* dar. Unter diesen Bedingungen kann sie sich ohne Probleme in ihrem natürlichen Habitat vermehren und wachsen (Stambuk 2009, Interview; Jongschaap et al. 2007: 5). Darüber hinaus ist sie eine sehr widerstandsfähige Pflanze, die selbst unter widrigen klimatischen Bedingungen wie geringer Fruchtbarkeit des Bodens, niedrigem Niederschlag (200 mm pro Jahr) und damit in aridem und semi-aridem Klima wächst und lange Trockenzeiten überleben kann (Buikema et al. 2009: 2; Gübitz et al. 1999: 73; Jongschaap et al. 2007: 5; Jain & Sharma 2010: 765). Da der Wasserbedarf von *J. curcas* niedrig ist, sie aber auch mit einer hohen Wasserversorgung zurechtkommt, ist sie in einem weiten Klimabereich in Regionen mit geringen bis hohen Niederschlägen verbreitet (Buikema et al. 2009: 2; Openshaw 2000: 1; Jain & Sharma 2010: 765).

Die Fähigkeit von *J. curcas*, selbst bei ungünstigen Standortbedingungen wie geschädigten und unfruchtbaren Böden, auf Brachland, unter lichtem Wald, in Agroforstsystemen, in trockenen und Dürre gefährdeten Gebieten, in Ackerlandgebieten auf marginalen Böden und sogar auf alkalischen Böden zu wachsen, prädestiniert sie für einen Anbau in derartigen Gebieten. Dabei kann *J. curcas* nicht nur für die unterschiedlichsten Zwecke genutzt werden (s. u.), sondern ist gleichzeitig eine gut geeignete Kulturart für die Rekultivierung devastierter Ackerflächen und für das Anfangsstadium von Aufforstungsflächen auf den unterschiedlichsten Böden und auf Ödland (Jain & Sharma 2010: 765).

MORPHOLOGIE UND ENTWICKLUNG DER PFLANZE

Die Wildform von *J. curcas* ist ein kleiner Baum (vgl. Abbildung 2.1), der bis zu 6 m hoch wächst und eine Lebenserwartung von mehr als 50 Jahren besitzt (Rijssenbeek et al. 2007).

a) Einjährige *J. curcas*-Pflanze

b) Blütenstand

c) Reife schwarze Früchte

Abbildung 2.1: Die J. curcas-Pflanze in der Agrarversuchsstation Saavedra des Forschungszentrums für Tropenlandwirtschaft CIAT (Centro de Investigación Agrícola Tropical) in Santa Cruz-Bolivien (eigene Fotos)

Die adulte Pflanze von *J. curcas* hat getrennte weibliche und männliche Blüten (Buikema et al. 2009). Im Fruchtstand der Rispe sitzen weibliche (10-20 %) und männliche (80-90 %) Blüten, wobei die weiblichen die Spitzen der Haupt- und Nebenäste des Fruchtstandes und die männlichen Blüten die inneren Positionen besetzen. Es besteht ein Zusammenhang zwischen Reproduktion und vegetativem Wachstum: Die

Anzahl der Blüten ist abhängig von der Länge der Zweige, an denen die Blütenstände wachsen (Jongschaap et al. 2007: 16).

Die Phase der Blüte ist für die Ölproduktion aus *J. curcas* die wichtigste Phase, weil hier die Anzahl der weiblichen Blüten und deren Befruchtung ebenso festgelegt werden wie die Entwicklung der Früchte und Samen. Die Blüte setzt normalerweise nach einer trockenen Ruheperiode ein und wird durch eine nach der Trockenphase beginnende, anhaltende Verfügbarkeit von Wasser entweder durch einsetzenden Regen oder durch Bewässerung ausgelöst. Männliche Blüten öffnen sich ca. 8-10 Tage lang, während weibliche Blüten nur ca. 2-4 Tage geöffnet bleiben. Durch kontinuierliche Blütenbildung gibt es immer mehrere Fruchtentwicklungsstadien an einer Pflanze bzw. an einem Zweig: reife Früchte an der Zweigbasis, grüne Früchte in der Mitte und Blüten am Ende des Zweiges (*Jatropha* Africa 2006).

Alle Bestandteile der *J. curcas*-Frucht können für die Energiegewinnung effizient genutzt werden: die Fruchtschale zum Verbrennen, Samenschale für Vergasung, Öl und Biodiesel für Dieselmotorbetrieb, Presskuchen für Biogasproduktion und Schlempe bzw. Gülle als Dünger (Singh et. al. 2008: 1868). So wurde die *J. curcas*-Samenschale als Rohstoff zur Gasgewinnung mittels „Open Core Downdraft" im Labor getestet. Die *J. curcas*-Fruchtschale kann auch entweder direkt oder in Brikettform zum Verbrennen im Haushalt und in der Industrie verwendet werden. Auch sind nicht nur *J. curcas*-Samenpresskuchen sondern auch Briketts ein guter Rohstoff für die Biogasproduktion (Singh et. al. 2008: 1869, 1872). So zeigt Abbildung 2.2 die Bestandteile der *J. curcas*-Frucht und ihrer Nebenprodukte als Energieträger.

Abbildung 2.2: Bestandteile und Nebenprodukte von *J. curcas*-Früchten als Energieträger (Singh et. al. 2008: 1869)

Die Früchte entwickeln sich als Büschel-Form und werden mit der Hand geerntet, wenn sie reif sind (braune Farbe; offene Fruchtschale) (vgl. Abbildung 2.3 a; b). Sie haben zwei bis drei Samen, die eine dunkelbraune Farbe haben (vgl. Abbildung 2.3 c; d). Die Samen ohne Samenschale sind weiß (vgl. Abbildung 2.3 e).

Die *J. curcas*-Frucht besteht aus drei Teilen: Kernen (zwei bis drei), einer weichen Samenschale um jeden Kern und einer harten Fruchtschale. Als Samen werden hier die Kerne mit ihrer weichen Samenschale aber ohne die harte Fruchthülle (harte Schale) verstanden. Synonyme im Text für die harte Fruchtschale sind Hülse, Hülle bzw. Mantel. Folglich werden Kerne (ohne die weiche Samenschale) von Samen unterschieden. Zur besseren Vorstellung siehe Abbildung 2.2 und 2.3.

Auf Foto 2.4 kann beobachtet werden, dass eine Pflanze von *J. curcas*-Blüten, unreife sowie reife Früchte gleichzeitig haben kann.

Durch Wasser- oder Nährstoffmangel während der Blühphase und des Heranreifens der Früchte kann es zum Abstoßen und zum Verlust von bis zu 60 % der Blüten und Früchte kommen. In Indien ist Blütenabstoßung ein typisches Problem, wenn z. B. nach der Ruheperiode auf Grund dieses Ressourcenmangels nicht genügend Kohlenhydrate produziert werden (Jongschaap et al. 2007: 17).

a) Fruchtbüschel von *J. curcas*

b) Reife-Zustand von *J. curcas*-Früchten

c) Samen von *J. curcas*

d)* Früchte (ca. >2 cm), Samen von *J. curcas*

e) Kerne von *J. curcas*

Abbildung 2.3: Früchte und Samen der *J. curcas*-Pflanze (eigene Fotos; *Pfahler 2011)

J. curcas-Pflanze im Blütezustand und mit unreifen und reifen Früchten

Abbildung 2.4: *J. curcas*-Pflanze in der Versuchsstation Saavedra des Bezirks Santa Cruz (eigenes Foto)

In Tabelle 2.1 sind die morphologischen Charakteristika von *J. curcas* zusammengefasst.

Tabelle 2.1: Morphologische Charakteristika von *J. curcas*

Bestandteil	Beschreibung
Samen	Ca. 3,9 cm lang (a)
Frucht	Grün, in reifem Zustand gelb und als trockene Frucht schwarz bis dunkelbraun, eine Frucht beinhaltet normalerweise zwei Samen (b, c)
Blüten	Grünlich weiß, nektarreich, süß, mit leichtem Duft in der Nacht (b)
Blätter	Flach, gelappt und 6-15 cm lang und breit (b)
Zweige	Enthalten Milchsaft (b)
Wurzeltiefe	Tiefwurzelnd, ausgreifendes Wurzelwerk: wenn *J. curcas* 18-25 cm groß ist, kann die Pfahlwurzel bereits 40-50 cm lang sein und ihre 6-10 Seitenwurzeln können 30-45 cm Länge erreichen (d)
Eigene Darstellung auf Basis von (a) Jongschaap et al. 2007: 6 (b) Heller 1996: 10 (c) Henning 2003 (d) Ye et al. 2009: 489	

2.1.1 Eigenschaften

ÖL- UND PROTEINGEHALT

Die Samen von *J. curcas* haben einen hohen Öl- und Proteingehalt (Divakara 2010; FAO 2008). Allerdings zeigen Studien aus Indien, dass sowohl genetische Faktoren als auch Umweltfaktoren nicht nur signifikante Wirkung auf das Pflanzenwachstum (Samengewicht, Stammdurchmesser, Blattfläche), sondern auch auf den Ölertrag des Samens von *J. curcas* haben (Jongschaap et al. 2007: 18).

Unter normalen Produktionsbedingungen enthält jeder Samen Öl im Bereich von 30-40 %. Von diesem Ölanteil fallen 99 % im Kern an (Jongschaap et al. 2007: 15; Buikema et al. 2009: 2; Rijssenbeek et al. 2007). Die Ölproduktion von *J. curcas* ist mit ca. 1.800 Liter Öl pro ha vergleichsweise hoch. Sie wird allerdings von der Ölpalme, der Macuba-Palme und der Kokosnuss übertroffen, während viele andere Kulturen wie Raps oder Sojabohne deutlich geringere Ölerträge liefern (vgl. Tabelle 2.2; Kurki et al. 2010). Im Gegensatz zum Öl der genannten Arten ist das Öl von *J. curcas* nicht zum Verzehr geeignet. Der Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion hat daher ein großes Potenzial, weil keine direkte Konkurrenz mit der Nutzung als Nahrungsmittel vorliegt.

Das Öl aus den *J. curcas*-Samen ist das wertvollste Endprodukt ihrer verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten. Dieses Öl hat Eigenschaften wie einen niedrigen Säuregehalt, gute Oxidationsstabilität im Vergleich zum Sojaöl, niedrige Dickflüssigkeit im Vergleich zum Castoröl und bessere Kältefließfähigkeit im Vergleich zum Palmöl (Om et al. 2008: 2286), die es für die direkte Nutzung als Treibstoff besonders geeignet machen (vgl. Unterkapitel 2.2.3). So wurde es als ein Treibstoff für einfache Dieselmotoren erfolgreich getestet (Jain & Sharma 2010: 765). Auch für die Biodieselproduktion als Ersatz für fossilen Diesel ist das Öl von *J. curcas* auf Grund dieser Eigenschaften geeigneter als das anderer Ölpflanzen (Abou Kheira & Atta 2009: 1347). Ebenfalls haben Öl und Biodiesel aus *J. curcas* auf Grund ihrer Viskosität, ihrer Dichte und dem Gehalt an freien Fettsäuren eine lange Lagerzeit (Om et al. 2008: 2286).

Tabelle 2.2: Ölertrag unterschiedlicher Kulturen

Pflanze	Botanischer Name	l Öl/ ha	Anmerkung
Palmöl	*Elaeis guineensis*	5706	essbar
Macauba-Palme	*Acrocomia aculeata*	4312	essbar
Kokosnuss	*Cocos nucifera*	2582	essbar
Jatropha	*J. curcas*	1815	nicht essbar
Olivenbaum	*Olea europaea*	1160	essbar
Raps	*Brassica napus*	1141	essbar
Kakao	*Theobroma cacao*	982	essbar
Sonnenblume	*Helianthus annuus*	917	essbar
Verändert nach Kurki et al. 2006			

Pflanze	Botanischer Name	l Öl/ ha	Anmerkung
Reis	*Oriza sativa L.*	795	essbar
Safloröl	*Carthamus tinctorius*	748	essbar
Sesam	*Sesamum indicum*	664	essbar
Haselnuss	*Corylus avellana*	458	essbar
Leinsamenöl	*Linum usitatissimum*	458	essbar
Kaffee	*Coffea arabica*	440	essbar
Sojabohne	*Glycine max*	430	essbar
Palme	*Erythea salvadorensis*	215	essbar
Verändert nach Kurki et al. 2006			

TOXIZITÄT

Es gibt verschiedene Sorten von *J. curcas*-Pflanzen. Die meisten von ihnen sind toxisch, einige wenige sind nicht toxisch (Makkar et al. 1997: 3156). Die Toxizität der Pflanze ist von ihrer Herkunft abhängig. Dabei kann die Menge und Zusammensetzung der giftigen Inhalts- und Baustoffe von *J. curcas* sowohl von genetischen Unterschieden als auch von der Umwelt erheblich beeinflusst werden (Makkar 1997: 3152; Martinez-Herrera et al. 2006). Der Spross, die Blätter, die Frucht, die Samen, ihr Öl und der nach einer Pressung zurückbleibende Presskuchen von *J. curcas* sind toxisch und deswegen nicht als Lebens- und Futtermittel geeignet (Jongschaap et al. 2007; Gübitz et al. 1999: 75). Lediglich in den drei ersten Monaten nach der Keimung sind die Pflanzen essbar, da die toxischen Inhaltstoffe sich bis dahin noch nicht entwickelt haben. Insbesondere die jungen Blätter dürfen bis zu diesem Zeitpunkt ohne Problem gedämpft oder geschmort gegessen werden (Misra & Misra 2010).

Durch ihre Toxizität konkurrieren die *J. curcas*-Produkte einerseits nicht direkt mit Nahrungsmitteln. Andererseits hat *J. curcas* auf Grund ihres hohen Öl- und Proteingehalts aber ein hohes Nutzungspotenzial. Doch einer entsprechenden Nutzung stehen die giftigen Inhaltsstoffe entgegen. Daher ist es unter anderem für einen Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion notwendig, das Gefährdungspotenzial für Men-

schen, die ständigen Kontakt mit der Pflanze haben, einzuschätzen. Ein wirksames Entgiftungsverfahren zu finden, ist von besonderer Bedeutung, um das hohe Nutzungspotenzial von *J. curcas* zu erschließen, um sie als Biokraftstoff und als Tierfutter nutzen zu können (Haas & Mittelbach 2000: 117).

Toxische Hauptinhaltsstoffe von *J. curcas*-Samen sind Phorbolester1, die Krebs auslösen können. Zwar induziert der in *J. curcas* enthaltene Phorbolester in der Regel selbst keine Tumore, da er in einer subkarzinogenen Menge vorliegt. Dennoch kann er auch in subkarzinogener Dosis bei vorliegenden Krebserkrankungen das Tumorwachstum fördern (Goel et al. 2007: 284, 286). Da die ganze Pflanze, und mit ihr auch die Früchte, deren Samen und das daraus gepresste Öl den Tumorpromoter Phorbolester enthalten, kann ihre vermehrte Nutzung bei intensivem und häufigem Kontakt je nach Exposition Tumore verursachen (Hirota et al. 1988: 5800). Andererseits wirkt Phorbolester in geringerer Dosis anti-leukämisch und kann die HIV-Replikation (Humane Immundefizienz-Virus) hemmen (Goel et al. 2007: 284, 286).

Die genaue Zusammensetzung verschiedener Phorbolderivate ist von Sorte zu Sorte unterschiedlich. Innerhalb der Nahrungskette können die giftigen Phorbolester angereichert werden, so dass es beim Verzehr von damit belastetem Honig, Fisch oder Fleisch zu Gesundheitsproblemen kommt (Goel et al. 2007: 279). Zu entsprechenden Belastungen kommt es unter anderem dadurch, dass zum Beispiel Tauben wie die Weißflügeltauben (Zenaida asiatica), die üblicherweise Samen von *J. curcas* fressen, verzehrt werden. Auch über Hähnchen und Schweine, die mit *J. curcas*-Früchten gefüttert werden, können die Schadstoffe in die Nahrungskette gelangen, wie in Mexiko belegt (Gübitz et al. 1999: 75).

Um die Toxizität und die Anreicherung in der Nahrungskette zu untersuchen, wurden zahlreiche Fütterungsversuche von *J. curcas*-Samen mit unterschiedlichen Tierarten durchgeführt. Dabei sind Ratten nach dem Verzehr von rohen, gekochten oder gerösteten Samen gestorben. Auch bei anderen Nage- und bei Haustieren, die mit Samen von *J. curcas* gefüttert wurden, trat eine hohe Sterblichkeitsrate auf (Makkar et al. 1997: 3155). Schafe, Ziegen und Kälber zeigten Durchfall, Atemwegserkrankungen, Gleichgewichtsstörungen, histopathologische Veränderungen, Entzündungen des Magen-

[1] Phorbolester sind die tetracyclischen Diterpenoide, die in der Regel wegen ihrer Karzinogenität bekannt sind (Goel et. al. 2007).

darmtrakts, Lebernekrosen, Herz- und Nierenschädigungen sowie Leberblutungen als Toxizitätssymptome.

Über Toxizitätserscheinungen beim Menschen durch Verzehr von *J. curcas*-Samen wurde bei mehr als 30 Kindern im Jahr 1853 in England berichtet (Gübitz et al. 1999: 75). Auch auf Hawaii, in Florida und auf den Philippinen wurden Vergiftungen von Menschen bei zufälligem Verzehr von *J. curcas*-Öl oder -Samen gemeldet. Es traten die folgenden Symptome auf: Brennen, Schmerzen im Mund und Hals, Erbrechen, Delirium, Muskel-Schock, Verringerung der Sehfähigkeit und eine hohe Pulsfrequenz (Makkar et al. 1997). Andererseits gibt es Erfahrungen von Einheimischen mit dem Verzehr des dann ungiftigen Samens von *J. curcas* nach dem Rösten sowie mit dem Verzehr eines traditionellen Gerichts mit abgekochten oder gerösteten Samen von *J. curcas* in Mexiko (Martínez-Herrera et al. 2006: 81, 86; Gübitz et al. 1999: 75). Grund hierfür könnte sein, dass Phorbolester hitzeunbeständig sind (vgl. Tabelle 2.3).

Der Gehalt an Phorbolestern bestimmt den Grad der Toxizität von *J. curcas*. Dabei kann der Phorbolestergehalt bei einer toxisch wirkenden Sorte hoch sein, während bei einer ungiftigen Sorte nur wenige bis keine Phorbolester gefunden werden (Makkar et al. 1997; Goel et al. 2007: 284; Martínez-Herrera et al. 2006). Je nach Sorte ist damit auch der Phorbolestergehalt des *J. curcas*-Öls unterschiedlich. So beträgt der Phorbolestergehalt im Öl aus einer toxischen Sorte 2,49 mg/ml Öl. Im Gegensatz dazu war der Phorbolestergehalt des Öls einer schwach giftigen Sorte nur gering (0,27 mg/ml Öl). Obwohl der Phorbolestergehalt in manchen Sorten niedrig ist, kann er durch Akkumulation doch schädliche Konzentrationen erreichen. So wurden zum Beispiel toxikologische Erscheinungsformen bei Tieren nachgewiesen, die mit *J. curcas* mit geringem Phorbolestergehalt gefüttert wurden. Ursache ist, dass Phorbolester eine biologisch nicht abbaubare feste Struktur haben. Aus diesem Grund empfehlen Forscher, Methoden für die Inaktivierung des Phorbolesters zu entwickeln oder die zulässigen Toxizitätsgrenzwerte für *J. curcas*-Produkte herabzusetzen, unterhalb derer *J. curcas* in der Industrie sowie zur Biodieselproduktion genutzt werden kann (Goel et al. 2007: 284, 279, 286).

Neben dem Phorbolester besitzt *J. curcas* eine Reihe weiterer toxischer Substanzen, die im Folgenden kurz aufgeführt werden:

DHPB[2] ist eine Variante des Phorbolesters, die ebenfalls ein Tumorpromotor ist und im Samenöl von *J. curcas* gefunden wurde (Hirota et al. 1988: 5800).

Ein anderer und ebenfalls giftiger Inhaltsstoff von *J. curcas* ist **Blausäure**[3] (Goel et al. 2007: 279). Hinzu kommen weitere giftige Inhaltsstoffe wie freie Säuren und ein sehr giftiges **Toxalbumin**[4] (Lachner-Eitzenberger 2006: 255, 256). Ebenso sind Lektine und Curcin als giftige Inhaltsstoffe von *J. curcas* bekannt. In einer Studie wurden Lektine auch bei ansonsten ungiftigen *Jatropha*-Pflanzen gefunden, wenn auch etwas weniger als bei einer giftigeren Sorte von *J. curcas* (Makkar et al. 1997: 3155-3156; Gübitz et al. 1999: 77). Zwar sind **Lektine**[5] und Curcin viel weniger giftig als die gut bekannten Toxalbumine wie **Ricin**[6] und **Abrin**[7]. Jedoch ist nicht genau bekannt, welche biologischen oder enzymatischen Aktivitäten Curcin tatsächlich entfaltet (Martínez-Herrera et al. 2005: 86).

---

[2] DHPB: intramolekulare Diester der 12-Desoxy-16-hydroxyphorbol (Hirota et al. 1988: 5800).

[3] Blausäure: „Farblose, äußerst giftige Flüssigkeit, charakteristischer Geruch, Schmelzpunkt -14 °C, Sdp. 26 °C, mit Wasser u. Ethanol beliebig mischbar, in Ether wenig löslich, bildet mit Luft in den Grenzen 6-40 % explosive Gemische“ (Falbe & Regitz 1989-1993: 446).

[4] Toxalbumin ist ein giftiges Eiweiß (Alt 1893: 127).

[5] „Lektine sind in allen lebenden Organismen weit verbreitet. Hauptlieferanten sind Bohnen u. Schnecken“ (Falbe & Regitz 1989-1993: 2483).

[6] Ricin: „Äußerst giftiges Protein aus den Samen der Ricinusstaude bzw. Castorbohne“ (Falbe & Regitz 1989-1993: 3885).

[7] Abrin: „Schmelzpunkt 296° (Zersetzung), opt. aktiv, mäßig löslich in Methanol u. Wasser, unlöslich in Ether, mit Methanol aus den Samen von Abrus precatorius extrahierbar“ (Falbe & Regitz 1989-1993: 11).

Weitere giftige und antinutritive Inhaltstoffe, die die Samen und Kerne von *J. curcas* beinhalten, sind **Trypsin Inhibitoren**[8], Lektine, **Saponine**[9] und Phytat (Phytinsäure) (Haas & Mittelbach 2000: 112). Dabei können ungiftige Sorten von *J. curcas* (Samen mit unwesentlichem Phorbolestergehalt) ähnliche Gehalte eines Trypsin-Inhibitors sowie an Lektinen und **Phytinsäuren**[10] besitzen wie giftige Sorten (Martínez-Herrera 2005: 81, 86).

Die Samen von *J. curcas* haben auch antinutritive Inhaltsstoffe, die nachteilige Effekte auf Menschen und Tiere verursachen, aber diese antinutritiven Inhaltsstoffe erreichen den Grenzwert der Giftigkeit nicht. Die Toxizität von *J. curcas* wird daher vor allem durch ihren Phorbolestergehalt bestimmt (Makkar et al. 1997: 3156).

Um Phorbolester aus *J. curcas*-Öl zu entfernen, wurde in einem Forschungsvorhaben im Labor ein Verfahren zur Herstellung von Speiseöl wie bei einer traditionellen Ölraffinerie durchgeführt. Doch damit wurden nur ca. 50 % des Phorbolestergehaltes des Öls reduziert. Auch mit anderen technischen Verfahren wurde keine vollständige Entgiftung von *J. curcas*-Öl erreicht (Haas & Mittelbach 2000: 117). Bei einem anderen experimentellen Entgiftungsversuch wurde das *J. curcas*-Öl durch Phorbolesterextraktion entgiftet. Die Entfernung des Phorbolesters wurde durch die Extraktion mit Ethanol durchgeführt. Doch in der industriellen Praxis hätte dieses Entgiftungsverfahren nicht nur einen großen technischen und ökonomischen Aufwand, sondern auch einen sehr hohen Lösungsmittelverbrauch zur Folge (Haas & Mittelbach 2000: 112).

---

[8] Trypsin-Inhibitoren stören das menschliche Verdauungssystem (BMBF, Online Lexikon).

[9] Zu den Saponinen gehören die Stachelhäuter-Saponine, z. B. die Holothurine der Seegurken. Bei Pflanzen findet man Saponine u. a. in Seifenkraut, Kastanien (ca. 10 %), Efeu, Primeln, Ringelblumen, Kornraden, Rüben, Sojabohnen, Seifenbohnenbaum, Ruscus, Ginseng (Falbe & Regitz 1989-1993: 3991).

[10] „Phytinsäure reduziert die Aufnahme von wertvollen Vitaminen und Mineralstoffen wie Niacin, Kalzium, Eisen, Magnesium und Zink. Es ist eine sirupöse Flüssigkeit mit saurer Reaktion, Zersetzung bei Erhitzen“ (Falbe & Regitz 1989-1993: 3431).

Einige der toxischen Inhaltstoffe von *J. curcas* sind hitzebeständig und andere unter hohen Temperaturen hitzeunbeständig. Phorbolester ist dabei nicht nur unter hohen Temperaturen unbeständig (volatil), sondern auch bei Exposition mit Sonnenlicht oder Luftsauerstoff. Innerhalb von sechs Tagen konnten sie in Versuchen ganz abgebaut werden (Jongschaap et al. 2007; Goel et al. 2007). Der toxische Inhaltstoff Curcin wurde bei einem Versuch durch Erhitzen über 50 °C unwirksam gemacht (Lachner-Eitzenberger 2006: 255, 256). Bei einem weiteren Entgiftungsversuch im Labor wurde Phytinsäure von Mehl aus *J. curcas*-Samen durch eine Solvent-Extraktion (Lösungsmittelextraktion) entfernt. Danach wurde ihre Toxizität bei Ratten getestet. Es wurde kein Toxizitätsbild nachgewiesen (Martínez-Herrera et al. 2005: 81). Mehrfach wurde versucht, die antimetabolischen Faktoren (Metall-Chelat) und giftigen Grundbestandteile (Phorbolester, Blausäure, Lektine) vom entfetteten Kernmehl aus ungiftigen und giftigen Sorten von *J. curcas* durch verschiedene Verfahren vollständig zu entfernen. Bisher gibt es kein erfolgreiches Verfahren (Martínez-Herrera et al. 2005: 81). Daher bleibt es eine Herausforderung für die Wissenschaft, eine Vollentgiftungsmethode von Öl aus *J. curcas* zu finden. Aber eine teilweise Entgiftung von *J. curcas*-Öl ist möglich. So lassen sich zur Reduzierung des Phorbolestergehalts Verfahren zur **Entschleimung**[11] und zur Desodorierung einsetzen. Dadurch ist es möglich bis zu 55 % des Phorbolestergehalts zu reduzieren (Haas & Mittelbach 2000: 111). Sollte es zu Vergiftungserscheinungen kommen, gibt es zwei traditionelle Gegenmittel: In Mexiko werden die Achiote-Samen als Antidote gegen Vergiftungen durch *J. curcas* verwendet und in Südafrika nutzen traditionelle Heiler einen wässrigen Extrakt aus der Peltrophorum-Africanumpflanze (Gübitz et al. 1999: 75).

[11] Entschleimung: Nach destillativer Abtrennung des Lösemittels wird das gewonnene Rohöl durch spezielle Entschleimungsverfahren und physikalische Raffination zu Speiseöl aufgearbeitet oder dient als Ausgangsstoff zur Herstellung von Fettsäuren und Methylester. Aber auch Trocken- oder Nasssäureentschleimung reichen nicht immer aus, um den Schleimstoffgehalt im Öl vor der kombinierten Desodorierung und destillativen Entsäuerung auf den erforderlichen Wert zu reduzieren. (Linguee, Online-Wörterbuch).

Einige giftige Inhaltstoffe wie die Trypsin-Inhibitoren und Lektine können durch eine Erhitzungsbehandlung abgeschwächt werden, da sie hitzeunbeständig sind (Makkar et al. 1997: 3156).

Tabelle 2.3 fasst die Informationen sowohl über die toxischen Inhaltstoffe von *J. curcas* als auch über ihre Auswirkungen und die Möglichkeit ihrer Entfernung zusammen.

Auf Grund ihrer Toxizität und dichten Wuchses kann *J. curcas* als Hecke oder natürlicher Schutzgürtel genutzt werden, um viele kommerzielle bzw. wertvolle Pflanzen wie Kaffee, Gemüseanbau, Viehwirtschaft, Tabak u. a. zu schützen (Openshaw 2000: 4). So können diese Pflanzen ohne Schaden durch Äsen von Wild und frei laufenden Haustieren wachsen und gleichzeitig kann *J. curcas* aus der Hecke genutzt werden.

KRANKHEITEN

Bei *J. curcas* sind nur wenige Schädlinge (Insekten, Pilze, etc.) bekannt. Im Vergleich zu anderen landwirtschaftlichen Kulturen ist sie daher sehr wenig krankheitsanfällig (Jain & Sharma 2010: 765). Zu den wenigen Insektenschädlingen, die *J. curcas* trotz ihrer Giftigkeit befallen, zählen Wanzen, die die Früchte befallen. Die Wanzen (Heteroptera) schädigen die Entwicklung der Früchte (Samenabbruch und -fehlbildung). Weitere Insektenschädlinge sind Stängelbohrer wie Maiszünsler (Ostrinia nubilalis), Grashüpfer (Gomphocerinae), Blattkäfer (Chrysomelidae), Raupen und Zikaden (Auchenorrhyncha) (Gübitz et al. 1999: 75).

Da *J. curcas* kaum von Insekten- und Pilzkrankheiten betroffen ist, ist sie ist kein Empfänger für viele Krankheiten, die Ackerfrüchte befallen. In einigen simbabwischen Regionen wurde *J. curcas* jedoch vom Golden Flea Beetle (Podagrica spp) geschädigt und infolgedessen war sie, verursacht von Pilzen (Fungi), von der Krankheit "Frog-eye leaf spot" (Cercospera spp) betroffen. Insofern könnte *Jatropha* in diesem speziellen Fall nicht als Heckenschutz für Tabak genutzt werden (Openshaw 2000: 4).

Tabelle 2.3: Toxische Inhaltstoffe von *J. curcas*

Inhaltsstoff	Enthalten in	Toxizität	Effekt	Entfernungsmöglichkeit
Phorbolester (a, c)	Kern	Toxisch	Förderung zum Tumorwachstum, aber der Phorbol-Inhaltsstoff induziert selbst nicht Tumore	Hitzeunbeständig bei erhöhter Temperatur, Licht und Luftsauerstoff
Phorbolester (a)	Kern	Toxisch	Anti-leukämische Aktivität	In der Untersuchung nicht angegeben
Phorbolester (a)	Kern	Toxisch	Hemmt die HIV-Replikation	In der Untersuchung nicht angegeben
Phorbolester (e)	Kern	Toxisch	Abführmittel und Haut-Reizmittel	In der Untersuchung nicht angegeben
Phorbolester (f)	Kern	Toxisch	Durchfall, Schwindelgefühl, Übelkeit	In der Untersuchung nicht angegeben
Phytinsäure (f)	Mehl*	Toxisch	Effekt wurde nicht untersucht	Hitzebeständig
Blausäure (a)		Sehr toxisch	Effekt wurde nicht untersucht	In der Untersuchung nicht angegeben
Freie Säure (d)		Toxisch	Effekt wurde nicht untersucht	In der Untersuchung nicht angegeben
Lektine/Curcin (d)	Kern	Sehr toxisch	Effekt wurde nicht untersucht	Erhitzen über 50° Celsius
Lektine/Curcin (f)	Kern	Viel weniger toxisch als Risin u. Abrin	Effekt wurde nicht untersucht	Hitzeunbeständig
Lektine/Curcin (f)	Kern	Toxisch	Effekt wurde nicht untersucht	Hitzeunbeständig, Erhitzen
Resinosterolkomplex (d)		Toxisch	Effekt wurde nicht untersucht	In der Untersuchung nicht angegeben
Trypsin Inhibitors (f,g)	Kern	Toxisch	Effekt wurde nicht untersucht	Hohes Erhitzen
Saponine (b)	Kern	Toxisch	Effekt wurde nicht untersucht	In der Untersuchung nicht angegeben
Phytat (b,e, g)	Kern	Toxisch	Effekt wurde nicht untersucht	Ca_2+ und Fe_2+
Metal-Chelating (f)	Mehl	Antimetabolisch	Effekt wurde nicht untersucht	In der Untersuchung nicht angegeben

Note: Kern ist ohne Samenhülle.
*Mehl aus gepresste Kern von ***J. curcas***
Eigene Darstellung auf Basis von (a) Goel et al. 2007: 284
(b) Haas & Mittelbach 2000: 112
(c) Jongschaap et al. 2007: 25
(d) Lachner-Eitzenberger 2006: 255
(e) Makkar et al. 1997: 3156
(f) Martínez-Herrera et al. 2006: 87
(g) Gübitz et al. 1999: 75

STICKSTOFFVERSORGUNG

J. curcas geht keine Symbiose mit stickstofffixierenden Organismen ein (E+Z 2008). Bei intensivem Anbau und landwirtschaftlicher Nutzung von *J. curcas* können Böden daher an Stickstoff verarmen. Deswegen sollten Pflanzen, die eine Symbiose mit stickstofffixierenden Organismen eingehen, als Unterwuchs unter *J. curcas* angesät werden (Schneider & Müller 1999: 43-49).

2.2 Biodieselproduktion aus *Jatropha curcas*

Das Öl aus *J. curcas* wurde schon während des zweiten Weltkriegs in Madagaskar, Kap Verde und Benin als Treibstoff genutzt (Gübitz et al. 1999: 79). Heutzutage wird Biodiesel aus *J. curcas* insbesondere in Entwicklungsländern produziert. Abbildung 2.5 zeigt den Anteil der Gesamtbiodieselproduktion aus *J. curcas* in den Jahren 2008 bis 2010. Es ist davon auszugehen, dass diese sich auf ca. 10 % (19 % wenn die brasilianische und argentinische Biodieselproduktion aus *J. curcas* eingerechnet wird) der Biodieselproduktion in Entwicklungsländern im Jahr 2020 beläuft. Dabei wächst der

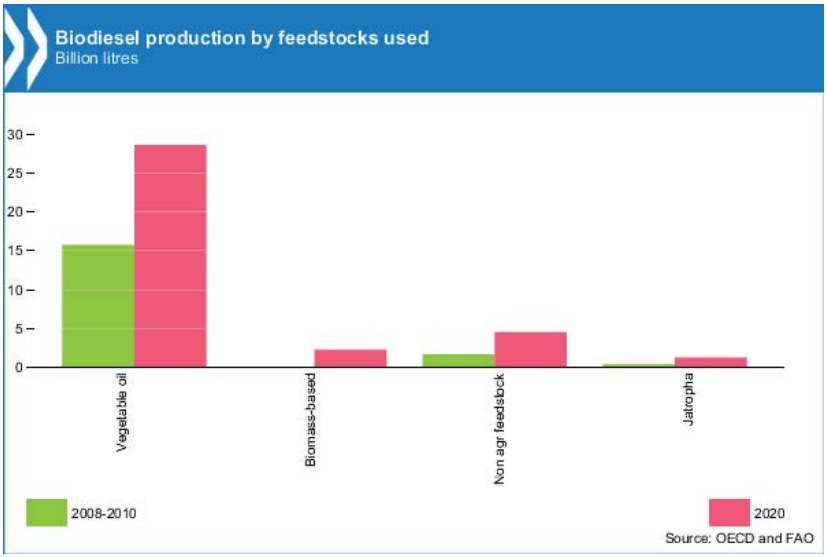


Abbildung 2.5: Anteil der globalen Biodieselproduktion nach Rohstoffen (OECD-FAO 2011)

Anbau zurzeit nur gering (OECD-FAO 2011). Bis 2008 wurde *J. curcas* weltweit auf einer Fläche von 900.000 ha angebaut, davon ca. 85 % in Asien, 13 % in Afrika und 2 % in Lateinamerika. Bis 2015 wird ein *J. curcas*-Anbau von 12,8 Mio. ha erwartet (Kant & Wu 2011).

Das Öl aus *J. curcas* ist ein potenzieller Brennstoffersatz, aber *J. curcas*-Öl ist dickflüssiger und hat eine niedrigere Zündungseigenschaft als fossiler Diesel. Trotzdem ist es möglich durch die Nutzung von Alkohol und Hydroxid bei der Umesterung des Öls von Ölpflanzen die Dickflüssigkeit von Biodiesel zu reduzieren. Damit werden die Eigenschaften von Biodiesel fossilem Diesel angepasst. Dieses Verfahren kommt in Europa zum Einsatz (Openshaw 2000: 6).

Das *J. curcas*-Öl stellt damit eine Perspektive für die Reduzierung des CO2-Ausstoßes dar (Kofi & Ertel 2005; Jain & Sharma 2010). Es kann nicht nur direkt als Kraftstoff, sondern auch gemischt mit Methanol als Kraftstoff bei Dieselmotoren genutzt werden (Kumar & Sharma 2008). Auch durch den chemischen Prozess der Umesterung kann Biodiesel produziert werden (Parawira 2010:1797, 1802).

Das Öl aus *J. curcas* ist ökonomisch sehr attraktiv sowohl als Rohstoff zur Biodieselproduktion aufgrund des hohen Ölgehalts ihres Samens als auch als Mulch-Biogas (Schale). Aus diesem Grund sind zurzeit viele Länder an ihrem Anbau interessiert: in **Afrika** Ägypten, Ghana, Kenia, Madagaskar, Mali, Mosambik, Nigeria, Senegal, Tansania und Togo; in **Asien** China, Kambodscha, Indien, Indonesien und Thailand; in **Lateinamerika** Argentinien, Belize, Brasilien, Costa Rica, die Dominikanische Republik, El Salvador, Guatemala, Honduras, Kolumbien, Mexiko, Nicaragua, Peru, u. a. (Castro-Gonzáles 2012).

Eines der bedeutsamsten Beispiele des *J. curcas*-Anbaus zur Biodieselproduktion in Afrika ist Tansania, obwohl die tansanische Regierung keine Förderungsstrategie hierfür eingesetzt hat. *J. curcas* wurde im Jahr 2008 auf 17.600 ha angebaut. Bis zum Jahr 2015 wird der Anbau voraussichtlich auf ca. 166.000 ha ausgeweitet. 80 % des *J. curcas*-Anbaus entstammen privaten Initiativen durch ausländische Unternehmen und Nichtregierungsorganisationen. Restriktionen für die Entwicklung des *J. curcas*-Anbaus zur Biodieselproduktion in Tansania sind nicht nur strukturelle, infrastrukturelle und logistische Probleme, sondern auch der Mangel an technischem Wissen, kulturelle Einschätzungen in Bezug auf traditionelle Nutzungen von *J. curcas*, ihre Toxizität und die hohen Produktionskosten von *J. curcas*-Öl. Außerdem fördert die Regie-

rung die Biodieselproduktion aus *J. curcas*-Öl nicht ausreichend (Achten 2010: 127). Bei Minimierung dieser Probleme könnte Tansania zur Reduzierung seiner Importabhängigkeit von fossilen Kraftstoffen mehr *J. curcas* zur Biodieselproduktion anbauen (Caniëls & Romijn 2010).

Zur Abschätzung der agronomischen und ökonomischen Realisierbarkeit des Anbaus von *J. curcas* und anderen Ölpflanzen wurden in Kenia Untersuchungen durchgeführt. Dabei erfolgte ein differenzierter Ansatz mit drei verschiedenen Modellrechnungen: Jatropha-Anbau als Monokultur, als gemischter Anbau und als Hecke. Bei diesen kenianischen Erprobungen mit *Jatropha*-Plantagen stellten die Bauern fest, dass die Ernteerträge extrem niedrig sind und die Produktion nicht wirtschaftlich ist. Kleinbauern wurde daher empfohlen, *J. curcas* nicht als Monokultur oder als Mischkultur anzubauen, sondern als Hecke. Dies hat den zusätzlichen Vorteil, damit Plantagen vor Menschen und wilden Tiere schützen zu können (GTZ Studie 2010).

Indien hat das weltweit größte Projekt des *J. curcas*-Anbaus (400.000 ha) im Jahr 2003 begonnen. Ziel der indischen Regierung ist es, 20 % ihres Dieselbedarfs bis 2012 durch Biodiesel zu ersetzen (FAO 2008; Siddharth & Sharma 2010). Demnach soll *J. curcas* auf 11 bis 13,5 Mio. ha angebaut werden. Bis 2010 wurde jedoch nur eine halbe Million ha mit *J. curcas* bepflanzt, wovon ein Großteil nicht in der Erntephase ist. Es wird geschätzt, dass das Ziel, 20 % des indischen Dieselbedarfs zu decken, >18,5 Mio. ha bei einem *Jatropha*-Anbau auf Brachland erfordert (HLPE Report 5 2013: 34). Bislang liegen allerdings noch keine Berichte darüber vor, ob dieses Ziel erreicht wurde. Im Jahr 2007 verfügte Indien über insgesamt 1,72 Mio. ha *J. curcas*-Anbaufläche zur Biodieselproduktion, aber nur eine geringe Menge von Biodiesel aus *J. curcas* wurde bereits im öffentlichen Sektor von Ölfirmen verkauft (Gui et al. 2008: 1642).

Neben Indien sind Brasilien und Kuba Länder, in denen eine gezielte Sortenwahl und Züchtung von *J. curcas* durchgeführt werden, um Pflanzen mit höherem Ölgehalt und besserer Qualität anbauen zu können. Die In-Vitro-Vermehrung der Pflanze bietet sich dabei als eine geeignete Vermehrungsmethode an, damit *J. curcas* nicht nur schnell vermehrt, sondern auch Sorten mit höherem Ernteertrag und Resistenz zum Beispiel gegen Wetterextreme entwickelt werden können. Durch genetische Manipulation können auch die toxischen und nicht toxischen Inhaltstoffe von *J. curcas*-Samen für ihre

Verwendung verändert werden (Kalimuthu et. al. 2007; López Hernández et. al. o. J.; Misra & Misra 2010).

Als weiteres Bespiel für Forschungen zur besseren Nutzung von *J. curcas* als Biodieselliefernant kann ein Projekt in Peru genannt werden. Dabei wurde Biodiesel nicht nur aus *J. curcas*, sondern auch aus anderen Ölpflanzen (Sonnenblume und Raps) produziert, um mit Hilfe von Generatoren (10 und 500 kW) Strom aus erneuerbaren Energien zu erzeugen. Davon können mehr als 100 Dörfer profitieren (Gruber 2007).

In Mittelamerika haben bisher viele Länder wie Belize, Costa Rica, die Dominikanische Republik, El Salvador, Guatemala, Honduras und Nicaragua zahlreiche experimentelle Untersuchungen über *J. curcas* und ihren Anbau zur Biodieselproduktion als Pilotprojekte durchgeführt und so wichtige Informationen sammeln können. In Tabelle 2.4, Teile I-III, wurden diese Informationen zusammengestellt, um die im Verlauf der Pilotprojekte aufgetretenen Probleme und Hindernisse für eine erfolgreiche Biodieselproduktion aus *J. curcas* zu identifizieren. Die Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica (AEA) (Energie- und Umweltpartnerschaft mit Mittelamerika) hat *J. curcas* im Vergleich mit mehreren Ölpflanzen (wie Sonnenblume, Palmöl, Soja) im Hinblick auf ihre Eignung zur Biodieselproduktion betrachtet. Dabei stellte sich heraus, dass *J. curcas* wegen ihrer positiven Eigenschaften die geeignetste Ölpflanze ist. In diesem Zusammenhang formuliert die AEA das Ziel, nicht nur unabhängig von fossilem Diesel zu werden, sondern auch die wirtschaftliche Entwicklung ländlicher Regionen durch die Produktionskette des Biokraftstoffes mit der Integration von kleinen Bauern und großen Unternehmen und ihrer Agrarindustrie gleichzeitig zu fördern (Mittelbach et al. 2010). Entlang der Entwicklung der Projekte wurden jedoch zahlreiche Fehler im Management nicht nur bei der Behandlung von *J. curcas* und dem Handel ihrer Nebenprodukte, sondern auch im organisatorischen und technischen Bereich von den Regierungen und den Unternehmern gemacht. Hierzu zählt der Mangel an technischen Berichten und an Informationen zur Übertragung der experimentell ermittelten Erkenntnisse zum *J. curcas*-Anbau in die landwirtschaftliche Praxis (AEA 2006; Mittelbach et al. 2010).

Tabelle 2.4: Anbauuntersuchungen von *J. curcas* in Mittelamerika - Teil I-III
Teil I/III

Land	Jahr	Anbaugröße (ha)	Ziel des Pilotprojektes	Informationen über das Projekt	Bewertung des Projektes
Nicaragua (a)	1989	1000	Erreichung einer genetischen Verbesserung von *J. curcas*: Leistung, Vitalität und Steuerung ihrer Krankheiten.	Es dauerte zehn Jahre (1989-1999) bis das Projekt zur Biodieselproduktion führte und es war eine Untersuchung im Bereich Genetik (zur Erhöhung ihrer Leistung und Vitalität, zur Steuerung ihrer Krankheiten), experimenteller Anbau (Verhalten in unterschiedlichen Böden und Klima, Vermehrungs- und Beschneidungsmethoden, Verwendung von Pfropfungsmethoden), Einrichtung der Industrieanlage und ihrer Nutzung.	Das Projekt hatte aus folgenden Gründen keinen Erfolg: - Unklare Ziele und Rahmenbedingungen. - Undeutliche Aufgabenzuweisung an die Akteure in den unterschiedlichen Phasen des Projekts. - Mangel an einer effizienten Führung, an einer lang andauernden technischen Beratung und an einer kontinuierlichen Teilnahme der Akteure entlang des Projekts. - Kein gemeinsames Interesse am Erfolg des Projekts von den Bauern, weil das Projekt kein geteiltes Risiko zwischen Investor und Bauern hatte.
Nicaragua (a)	2007	Nur 30 ha von 1000 ha (erstes Projekt) übrig.	Ölgewinnung durch manuelle Pressung und zur Verwendung in modifizierten Dieselmotoren.	Keine Angabe	Kein Erfolg
Nicaragua (a)	Keine Angabe	40	Nutzung von Flächen, die ungeeignet für Erdnuss-Anbau sind. Produktion von Öl und Biodiesel.	Es wurden vier Phasen bei dem Projekt etabliert: - Ausschalten aller institutionellen und staatlichen Hindernisse durch die Entwicklung von erneuerbaren Energie-Alternativen in kleinem Maße. - Förderung für die Entwicklung von erneuerbaren Energien und sinnvolle Nutzung von bioenergetischen Ressourcen. - Förderungsprogramm für die Menschen, die interessiert an der Entwicklung von erneuerbaren Energien sind. Förderung für nachhaltige experimentelle Projekte im Bereich erneuerbare Energien und Förderung ihrer sinnvollen Nutzung.	Probleme: - Keine ausreichende Förderung durch Alianza en Energia y Ambiente con Centroamerica (AEA). - Keine Mechanismen zum Informationsaustausch über Anbauerfahrungen von *J. curcas*. - Mangel an guter fachlicher und technischer Beratung. - Fehlendes nachhaltiges Entwicklungskonzept in allen Phasen der Biodieselproduktion. - Keine Märkte für *J. curcas*-Öl und seine zahlreichen Nebenprodukte. - Die Information und Erfahrung der vergangenen Anbauuntersuchungen von *J. curcas* wurden für dieses Projekt nicht berücksichtigt. - Keine Politik von der Regierung für die Entwicklung der Biodieselproduktion aus *J. curcas*, obwohl die Region großes Potential dafür aufweist.

Eigene Darstellung auf Basis von (a) AEA 2006

Land	Jahr	Anbaugröße (ha)	Ziel des Pilotprojektes	Informationen über das Projekt	Bewertung des Projektes
Belize (a)	Keine Angabe	Keine Angabe	Biodieselproduktion für lokale Nutzung und zum Export in Nachbarländer, Landrückgewinnung und nachhaltiger Handel ihrer Nebenprodukte. Entwicklung von Entgiftungsverfahren für die Presskuchen.	Das verwendete Saatgut hatte eine gute Qualität und kam aus Kap Verde. Aber die *J. curcas*-Plantagen wurden nicht richtig gepflegt, beispielweise wurden die kleinen Pflanzen nicht von Unkraut befreit. Als Folge hatten sie nicht genügend Sonnenlicht, um zu wachsen. Andere kleine *J. curcas*-Pflanzen haben sich gut entwickelt, aber die Höhe ihres Hauptstammes war sehr hoch ohne Verzweigung und damit negativ für den Ernteertrag.	Der Ernteertrag von der Pflanze wurde nicht bestimmt. Es gibt keinen Bericht über die Projekte und deswegen keine Möglichkeit, Erfahrungen darüber zu sammeln. Zum Anbau in großem Maßstab gibt es zahlreiche unfruchtbare Böden, aber es mangelt an Arbeitskräften. Deswegen ist es nicht wirtschaftlich. Nachteile: Feuchte Tropen, Klima mit exzessivem Regen. Lehmige und saure Böden und Bereiche mit großen Überschwemmungsmöglichkeiten.
Costa Rica (a)	Keine Angabe	40	Das zweijährige Forschungsprojekt diente der Biodieselproduktion für die lokale Nutzung und der Förderung der sozioökonomischen Entwicklung der Region.	Die Bauern achteten auf die ökonomische Bilanz im Verhältnis von Input und Output entlang des Anbaus. Im Vergleich zu anderen mittelamerikanischen Ländern verfügen die Kleinbauern über mehr landwirtschaftliche Erfahrung und Informationen.	Am Anfang war der Ernteertrag nicht hoch. Dabei wurden lokale Samen von *J. curcas* in den Bauernhöfen von Bauern gesät. Dann wurden Samen mit der besten Qualität importiert (der Ernteertrag war deutlich höher), aber wegen finanziellen und organisatorischen Problemen hatte dieses Projekt keinen Erfolg. Außerdem war die Anbaufläche von *J. curcas* über mehrere Orte verstreut.
Guatemala (b)	Keine Angabe	ca. 70	Hauptziel des Projektes war die Ölgewinnung für handwerkliche Nutzung und Biodieselproduktion (Betriebsanlage zur Biodieselproduktion mit 600 Liter pro Tag). Dazu gibt es ein Integralprojekt zur Biodieselproduktion und zur Tilapia (Fisch)-Aufzucht. Die Erhöhung des Ernteertrags und die Reduktion der Betriebskosten Standen im Vordergrund.	Der Flächenanbau (15 ha) wird mit dem Abwasser aus vier Fischteichen bewässert.	Kein Bericht über den Ernteertrag.

Eigene Darstellung auf Basis von (a) AEA 2006
(b) Mittelbach et al. 2010

Teil III/III

Land	Jahr	Anbaugröße (ha)	Ziel des Pilotprojektes	Informationen über das Projekt	Bewertung des Projektes
Guatemala (a)	2004	600	Wissenschaftliche Untersuchung zur Anwendung des Reifmittels für eine homogene Entwicklung und Reifung der Frucht sowie zur Optimierung der Ernte durch Mechanisierung.	Permanente Pflege des Anbaus. Empfehlungen: Geneitkstudien, um die optimale Sorte für einen höheren Ernteertrag zu finden. Um einen lukrativen Anbau von *J. curcas* zu schaffen, ist eine Marktanalyse für die *J. curcas*-Pflanze durchzuführen.	Kein Bericht über den Ernteertrag.
Dominikanische Republik (a)	Keine Angabe	50	Biodieselproduktion	Es wurde in unfruchtbarem Boden auf kleinen Plantagen angebaut.	Kein Bericht über den Ernteertrag.
Dominikanische Republik (a)	Keine Angabe	Mehr als 70	- Biodieselproduktion zum Export. - Förderung der lokalen Entwicklung durch Nutzung von Nebenprodukten.	Es gibt sieben Projekte, die in unfruchtbaren Böden an der Grenze zu Haiti auf kleinen Plantagen durchgeführt werden. Zur Pflege des Anbaus kommen die Arbeitskräfte aus Haiti.	Kein Bericht über den Ernteertrag.
Honduras (b)	2005	Mehr als 1000	- Biodieselproduktion. - Pelletsproduktion aus Presskuchen. - Durchführung weiterer experimenteller Untersuchungen.	Die wissenschaftlichen Informationen von Erfahrungen Nicaraguas werden genutzt. Die Region hat erodierten und flachen Boden und semiarides Klima. Es wurde ein Dränagesystem installiert.	- Guter Ernteertrag. - Ein Teil des Ernteertrages wurde als Samen verwendet, andere Teile wurden verkauft.
El Salvador (b)	Keine Angabe	Ca. 90	Öl- und Biodieselproduktion.	- Vermehrung durch lokalen Samen. - Keine klassifizierten Samen. Pflege war nicht optimal. - Kein gemeinsames Interesse am Erfolg des Projekts seitens der Bauern, weil das Projekt kein geteiltes Risiko zwischen Investor und Bauern hatte. - Kombinierter Anbau (Mais).	- Ernteertrag war nicht hoch. Das Hauptproblem war die fehlende technische Beratung der Bauern. Die Maispflanzen werden von den positiven Effekten von *J. curcas* (Verbesserung des Bodens) profitieren. - Kein Bericht über den Ernteertrag.

Eigene Darstellung auf Basis von (a) AEA 2006

(b) Mittelbach et al. 2010

PROZESSKETTE ZUR BIODIESELPRODUKTION

Abbildung 2.6 zeigt die allgemeine Prozesskette zur Biodieselproduktion aus *J. curcas*. Die erste Phase der Prozesskette (**Anbau**) besteht aus der **Vermehrung**, der **Pflege** und der **Ernte**. Vor der Ölgewinnung müssen die Samen **transportiert** und **gelagert** werden. Zur Ölgewinnung werden die Samen **gepresst**. Das *J. curcas*-Öl kann dann direkt als Kraftstoff genutzt werden oder durch den chemischen Prozess der **Umesterung** zu Biodiesel umgewandelt werden. Als Rückstand der Pressung verbleibt Presskuchen als Rest des Samens, der für die Düngung des Bodens oder als Biomasse zur Biogasgewinnung (vgl. Unterkapitel 2.3) und Briketherstellung genutzt werden kann. Die einzelnen Phasen der Prozesskette werden im Folgenden vertieft betrachtet.

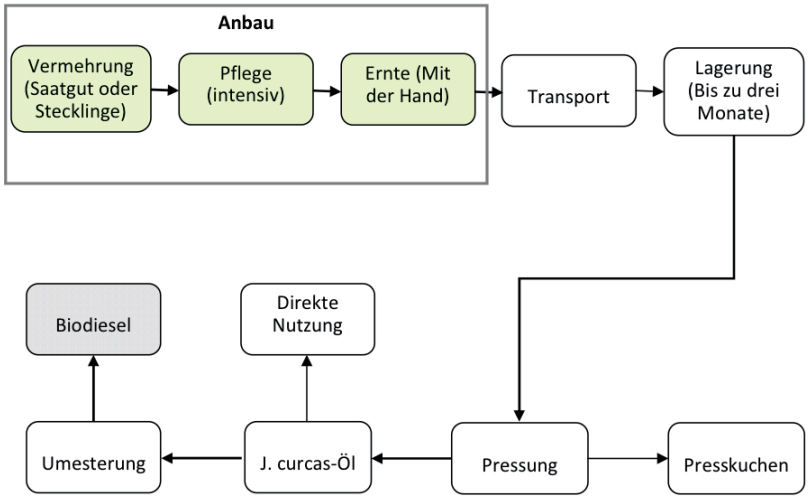


Abbildung 2.6: Schematische Darstellung der allgemeinen Prozesskette zur Biodieselproduktion aus *J. curcas*

2.2.1 Anbau

GRUNDANFORDERUNG

Für den Anbau der *J. curcas*-Pflanze werden zahlreiche Arbeitskräfte benötigt, da der Einsatz von Maschinen für die unterschiedlichen Arbeiten im Feld (Aussaat, Bewässerung, Unkrautentfernung, Düngung, Pflege, Beschneiden, Ernte) nicht möglich ist

(Rijssenbeek 2007). Beispielsweise sollte das Beschneiden der kleinen Pflanzen regelmäßig stattfinden, um buschige Bäume zu entwickeln, weil sich die Früchte an der Spitze der Äste bilden. Zudem hat eine Pflanze von *J. curcas* nicht nur reife, sondern auch grüne Früchte und Blüten gleichzeitig, da ihre Früchte ungleichmäßig reifen. Deswegen muss die Ernte mit der Hand erfolgen. Nachfolgend wird das Kulturverfahren beschrieben (Ardaya 2010, Interview; Egüez 2010, Interview).

2.2.1.1 Vermehrung

J. curcas kann nicht nur durch Samen, sondern auch durch Stecklinge vermehrt werden. Zur Kulturbegründung wird entweder gesät oder es werden Keimlinge (plantulas), Pflänzlinge oder Stecklinge gepflanzt (Openshaw 2000: 4; Gübitz et al. 1999: 73). Bei der Kulturbegründung müssen einige Aspekte beachtet werden, um eine erfolgreiche Entwicklung der *J. curcas*-Pflanze zu gewährleisten. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: In einem Versuch wurde in Guatemala eine 45 ha große Fläche mit *J. curcas*-Keimlingen angelegt. Zur Anzucht der Keimlinge wurden Samen aus einer ersten *J. curcas*-Plantage des Ortes genutzt. Die ursprüngliche Herkunft der Pflanzen war die Insel Kap Verde (AEA 2006: 3):

- Die Keimung der größeren und schweren Samen war besser als von kleineren Samen. Aus diesem Grund sollten die Saatsamen gut klassifiziert werden.

- Der Keimungsanteil des Samens ohne vorheriges Einweichen war viel höher als der der Samen, die eingeweicht wurden. Unter anderem wurde bei einer Einweichungszeit des Samens von 96 Stunden nur eine Keimrate von ca. 1 % erreicht. Im Gegenteil dazu wurde ohne Einweichen eine Keimrate von ca. 94 % ermittelt.

- Die Keimungsfähigkeit des Samens wird höher, wenn die Lagerzeit des Samens nach der Ernte so kurz wie möglich ist, da die Samen ihre Keimungsfähigkeit wegen ihres hohen Ölgehaltes schnell verlieren.

- Die Empfindlichkeit von *J. curcas* gegenüber Pilzkrankheiten im Keimlingsstadium ist hoch. Aus diesem Grund sollte die Aussaat und die Keimlingsauspflanzung möglichst in der Trockenzeit durchgeführt werden. Um gute Bedingungen für die Entwicklung der Keimlinge zu schaffen, sollte die Aussaat und Pflanzung am besten so frühzeitig vor der Regenzeit geschehen, dass einerseits das Pilzrisiko der jungen Pflanzen minimiert und andererseits ein gutes Heranwachsen mit der Feuchtigkeit der Regenzeit

ermöglicht wird (Openshaw 2000: 4). Allerdings ist es in jeder Jahreszeit möglich zu säen.

Bei anderen Versuchen mit der Vermehrung von *J. curcas* wurde beobachtet, dass durch eine Voranzucht ihre Wurzelstruktur beeinflusst werden kann. Pflanzen, die aus Samen entstanden sind, die direkt in den Boden gesät wurden, entwickeln ein Wurzelsystem nicht nur mit dicker primärer Pfahlwurzel, sondern auch mit vier seitlichen Wurzeln und mit reichlich geraden Sekundärwurzeln (Openshaw 2000: 4). Die Anzucht von *J. curcas* in Behältern vermindert hingegen das Wurzelwachstum wegen Platzmangels. Pflanzen, die durch Stecklinge vermehrt wurden, entwickeln gar nur Sekundärwurzeln und keine Hauptwurzel als Pfahlwurzel (Jongschaap et al. 2007: 5; Openshaw 2000: 4). Bei Untersuchungen der Entwicklung in aus Stecklingsvermehrung hervorgegangenen Pflanzen in Feldern in El Salvador, Guatemala und Kolumbien wurde beobachtet, dass durch das Fehlen der Hauptwurzel die Resistenz der Pflanze gegen Wind gering ist. Auch haben diese Pflanzen eine kürzere Lebensdauer sowie eine niedrigere Dürre- und Krankheitsresistenz als die durch Samen vermehrten Pflanzen (Divakara 2010). Daher wird das Vermehrungsverfahren durch Samen mit einer direkten Aussaat oder mit Keimlingsauspflanzung empfohlen (Stambuk 2009, Interview). Bei dieser Anbauuntersuchung wurde die Aussaat mit der Hand durchgeführt. Die Samen kamen aus der Region. Vorzugsweise sollten die Samen aus den besten *J. curcas*-Pflanzen der Region, die eine gute Entwicklung aufweisen, ausgewählt werden. Sie können auch importiert werden, jedoch ist das nicht zu empfehlen, weil ein großes Risiko besteht, keine gute Entwicklung der Pflanzen zu erreichen aufgrund möglicher neuer Krankheiten und keiner guten Adaptation der Pflanzen an die fremden Böden (Stambuk 2009, Interview).

Für tropische Pflanzen wie *J. curcas* sind neue Vermehrungsmethoden wie Zellen- und Gewebeverfahren für Vermehrung und Lagerung von ausgewählten Genotypen entwickelt worden. Diese Vermehrungsverfahren verfügen über Vorteile im Vergleich mit dem üblichen Vermehrungsverfahren. Beispielsweise gibt es eine hohe **Vermehrungsrate** und ein minimales Infektionsrisiko durch Insektenschädlinge. Darüber hinaus reduziert sich so die **Generosion**. Die **räumlichen Anforderungen** und der Aufwand bei **Laborkosten** sind gering. Die Vermehrungsphase und die Initiierung von aseptischen Kulturen aus *J. curcas*-Samen wurden optimiert durch unterschiedliche Genotypen aus verschiedener geographischer Herkunft wie Kap Verde, Madagaskar, Mexiko und Nicaragua (Gübitz et al. 1999: 75).

ANBAUDESIGN UND BESTANDSBEGRÜNDUNG

Die Pflanzung bei dem Anbau von *J. curcas* ist ein entscheidender Schritt für die erfolgreiche Entwicklung der kleinen Pflanzen. Dabei gibt es einige Faktoren zu berücksichtigen wie z. B. einen geeigneten Transport der Pflanzen von der Baumschule zu der vorbereiteten Anbaufläche zur Verpflanzung. Die Keimlinge dürfen nicht vom Wind geschädigt werden (AEA 2006: 3).

Der Pflanzen- und Reihenabstand bei der Pflanzung und bei der Saat können sowohl den Ernteertrag als auch die Kosten des Anbaus sehr beeinflussen. Wenn die Pflanzen- und Reihenabstände größer sind, sinkt der Aufwand für die Kulturbegründung. Durch weniger Pflanzen pro Quadratmeter kann einerseits der Ernteertrag niedriger ausfallen. Andererseits ist aber der Ernteertrag je Pflanze höher, wenn die Pflanzenabstände größer sind (AEA 2006: 3; Openshaw 2000: 4-5). Als optimal werden 2 bis 3 m Reihenabstand und 1,5 bis 3 m Pflanzabstand und damit ca. 1.100 bis 3.300 Bäume pro ha empfohlen (Openshaw 2000: 4-5). Nach dem Ergebnis eines Feldversuchs zum *J. curcas*-Anbau in Ägypten ist der jährliche Ernteertrag bei breiteren Pflanzenabständen von 1.600 bis 2.200 Bäumen pro ha mit 794 kg pro ha und 318 g pro Baum besonders hoch (Abou & Atta 2009: 1344).

Die Kosten für die Bestandsbegründung und den Anbau von *J. curcas* sind relativ hoch. In Ländern, in denen Arbeitskräfte teuer sind, könnten daher Maschinen für die Feldarbeit eingesetzt werden. Doch dafür müssen die Reihenabstände an den Arbeitsbreiten der Maschinen ausgerichtet sein. In Guatemala werden auf maschinell bewirtschafteten Flächen daher 4 m Reihenabstand und 1 m Pflanzabstand empfohlen (AEA 2006: 3). Die genannten Pflanzabstände gelten allerdings nur für Plantagen, auf denen ein möglichst hoher Ertrag das Ziel des Anbaus ist. Andere Pflanzabstände müssen gewählt werden, wenn (gleichzeitig) andere Anbauziele erreicht werden sollen. Wenn *J. curcas* z. B. als Hecke benutzt wird, müssen die Pflanzabstände kleiner sein, damit sie die Funktion einer effektiven Hecke zum Schutz der Fläche wahrnehmen kann.

STANDORTVORAUSSETZUNGEN

Im Hinblick auf die Bodenart weist *J. curcas* eine weite Standortamplitude auf. Gut dränierte Böden wie sandiger Boden oder Schotterboden sind dabei grundsätzlich die optimalen Bodenarten für *J. curcas*, da die Pflanze in Böden mit guter Durchlüftung am besten wächst (Holl et al. 2007; Saverys et. al. 2008). Andererseits wurde bei vergleichenden Untersuchungen zum *J. curcas*-Anbau in Kambodscha nachgewiesen,

dass das Wachstum von *J. curcas* in tonigen Böden (> 30 % Tonanteil mit ungünstigen physikalischen Eigenschaften) bei guter Nährstoffversorgung besser sein kann als in nährstoff- und humushaltigen Sandböden (GFU GTZ 2004).

Die Entwicklung der *J. curcas*-Pflanze ist damit abhängig von der Bodenfruchtbarkeit und insbesondere vom Niederschlag. Vor allem die Blüten- und Fruchtbildung reagieren auf den Niederschlag und die Nährstoffverfügbarkeit. Bei einer Regenzeit pro Jahr wird es nur eine jährliche Fruchtbildung geben. Mit zusätzlicher künstlicher Bewässerung kann die Fruchtbildung auf dreimal im Jahr gesteigert werden (Openshaw 2000: 5). Je nach Sorte werden auch hohe Niederschläge von *J. curcas* vertragen wie die Ergebnisse von Untersuchungen in Puerto Barrios/Guatemala belegen (Stambuk 2009, Interview).

Da *J. curcas* nur geringe Ansprüche an die Nährstoffversorgung stellt, kann sie neben dem Anbau auf fruchtbarem Ackerboden auch auf marginalen Böden (mit geringem Nährstoffinhalt) wie bspw. auf Kalkböden, auf steinigen oder flachgründigen Böden und auch auf degradierten Böden mit niedriger Fruchtbarkeit und Feuchtigkeit gut wachsen (Holl et al. 2007; Misra & Misra 2010). *J. curcas* kann damit auch auf Brachland angebaut werden und zufriedenstellende Erträge liefern. Voraussetzung hierfür ist, dass die Pflanzen die schwierige erste Wachstumsphase gut überstehen und die Nährstoffversorgung durch Düngung verbessert wird (Jongschaap et al. 2007: 6). Auch besitzt *J. curcas* eine gewisse Anpassungsfähigkeit an Salinität. Jedoch haben vergleichende Untersuchungen zur Dürre- und Salzverträglichkeit gezeigt, dass sie in Hinblick auf die Salztoleranz nicht toleranter ist als z. B. Sojabohnen oder Weizen. Eine erhöhte Salinität des Bodens kann zur Verringerung der Biomasseentwicklung von *J. curcas* führen (Misra & Misra 2010).

Neben der Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit setzt die Temperatur eine wichtige klimatische Rahmenbedingung für den Anbau von *J. curcas*. Bei einer durchschnittlichen Temperatur von mehr als 20 °C kann *J. curcas* auf einer Vielzahl von Böden in tropischen und subtropischen Regionen der Welt wachsen. Dabei werden von *J. curcas* noch Durchschnittstemperaturen von 18 bis 28,5 °C toleriert, aber ideal gedeiht sie bei Durchschnittstemperaturen von 20 bis 23 °C (Integrated Crop Management 2010: 28). *J. curcas* wächst hauptsächlich in Regionen, die in niedriger Höhe (0-500 m ü. N.N.) liegen und Jahresdurchschnittstemperaturen von über ca. 20° C haben. Es kommt aber auch vor, dass die Pflanze in höheren Höhen wächst und sogar leichten

Frost toleriert (Misra & Misra 2010). In Höhen zwischen 400 bis 1.000 m ü. N.N. ist die Temperatur von Bedeutung. So kann prinzipiell die Anbauhöhe einen positiven Effekt auf die verschiedenen Komponenten der Ölproduktion sowie die Anzahl von Zweigen pro Baum, Anzahl von Früchten pro Zweig, Anzahl von Früchten pro Baum und Anzahl von Samen pro Baum haben (Jongschaap et al. 2007: 18). Für das Pflanzenwachstum ist es wichtig, dass die Temperatur von 3 °C nicht unterschritten wird. Wird die Pflanze jedoch vorher abgehärtet, kann sie sogar Temperaturen unterhalb des Minimums tolerieren und in seltenen Fällen auch geringen Frost überstehen (Münch & Kiefer 1989: 39; Misra & Misra 2010). Insbesondere während ihrer Keimphase reagiert sie empfindlich auf niedrige Temperaturen (Kühlungsbelastung) (Misra & Misra 2010: 14).

2.2.1.2 Pflege

WASSERBEDARF

Der Wasserbedarf von *J. curcas* ist extrem niedrig und die Pflanze kann Trockenzeiträume bis zu zwei Jahren ohne Wasser überstehen. Ihre Dürretoleranz ist hoch (Misra & Misra 2010). Während der Trockenzeit lässt *J. curcas* die Mehrzahl ihrer Blätter fallen (Gübitz et al. 1999: 73; Abou & Atta 2009: 1344; Openshaw 2000: 2), um die Verdunstung (Transpiration) zu reduzieren und die Feuchtigkeit zu erhalten (Abou & Atta 2009: 1344). In solchen Trockenphasen stellt sie ihr Wachstum ein und wächst erst weiter, sobald wieder Niederschlag fällt (Abou & Atta 2009: 1344). Durch diese Eigenschaften kann sie sich optimal an aride und semiaride Verhältnisse anpassen (Heller 1996: 35).

Bei guter Nährstoffversorgung ist das Wachstum von *J. curcas* abhängig von der Wasserverfügbarkeit und der Verdunstungsrate (Openshaw 2000: 4-5). So kann *J. curcas* auf Kap Verde bei nur 250 mm jährlichem Niederschlag aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit und der damit reduzierten Verdunstung gut gedeihen (Wiesenhütter 2003: 1-10). Da sie auch unter feuchteren Bedingungen gute Wachstumsraten aufweist, kann sie in einem weiten Niederschlagsbereich angebaut werden. Nach Untersuchungen von Misra & Misra (2010) hat der *J. curcas*-Anbau den besten Erfolg in den trockeneren Regionen der Tropen und kann unter einer Spannbreite von jährlichem Niederschlag von 250 bis 1.200 mm (und sogar darüber) wachsen. Allerdings liegen in der Literatur unterschiedliche Angaben über optimale Niederschlagsmengen für *J. curcas* vor. So

wurden von Abou & Atta (2009: 1344) optimale Niederschlagsmengen von 600-1.380 mm genannt. Nach Openshaw (2000: 2) liegt der optimale Niederschlagsbereich zwischen 200-1.500 mm pro Jahr. Mehrere Quellen geben einen Bereich zwischen 300-1.000 mm pro Jahr an (FAO 2008).

Bei einem Feldversuch wurde das Verhalten von jüngeren *J. curcas*-Pflanzen in Ägypten unter Wassermangel beobachtet (Abou & Atta 2009). Im zweiten Jahr nach der Auspflanzung haben die Pflanzen unterschiedliche Wassermengen erhalten. Das zugeführte Wasser entsprach 125 %, 100 %, 75 % und 50 % der potenziellen Verdunstungsmenge. Das Ziel der Studie war es, den Einsatz von *J. curcas*-Pflanzen im ägyptischen Klima, in schwierig kultivierbaren Böden (bei der Untersuchung handelte es sich um Sandboden) und unter Wassermangel zu untersuchen. Es wurde auch erprobt, ob *J. curcas* einen hohen Ernteertrag (Früchte mit hohen Eigenschaften wie hohen Ölgehalt) unter minimaler bzw. optimaler Wasserversorgung im Vergleich zu anderen Pflanzen haben kann. Das Ergebnis war, dass der durchschnittliche Wasserverbrauch von *J. curcas* sechs Liter pro Pflanze wöchentlich in der Vegetationsperiode betrug. Es bedeutet, dass *J. curcas* unter minimalen Wasserbedarf wachsen und Früchte mit guter Qualität produzieren kann im Vergleich zu anderen Pflanzen. Für die Untersuchung wurde die Vegetationsperiode von *J. curcas* in vier Phasen eingeteilt: Keimung, Wachstum, Blüte und Ernte. Der größte Wasserverbrauch erfolgte während der Erntephase. Wegen des Wachstums der *J. curcas*-Früchte wurde eine größere Menge Wasser (36 %) benötigt als in den ersten drei Phasen (21 %; 29 %; 14 %) (Abou & Atta 2009: 1347).

Der Wasserbedarf von *J. curcas* während ihrer Vegetationsperiode ist nicht nur von den klimatischen Bedingungen abhängig, sondern auch von der Qualität des Bodens und dem Verhältnis von *J. curcas*-Wachstum (Abou & Atta 2009: 1347-1348).

Bei dem Feldversuch von Abou & Atta (2009) wurden die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Öls aus *J. curcas*-Samen von Pflanzen, die unter Wassermangelbedingungen angezogen wurden, untersucht. Dadurch wurde die Wirkung von Wassermangel auf den Ertrag und die Wassernutzungseffizienz von *J. curcas* erfasst. Im Ergebnis konnte nachgewiesen werden, dass *J. curcas* fähig ist, in den ariden Böden Ägyptens unter Wassermangelbedingungen bei gleichzeitig eingeschränkter Nährstoffversorgung erfolgreich zu wachsen.

Um das Wachstum von *J. curcas* zu fördern und einen hohen Ertrag zu sichern, ist jedoch in der Wachstumsphase von *J. curcas* eine Bewässerung vorteilhaft. Wenn *J. curcas* gut gewässert wird oder es ausreichend Niederschlag gibt, kann die Pflanze bis zu drei Mal pro Jahr blühen (Openshaw 2000: 9). Es ist daher zu empfehlen, die Pflanze während der Trockenzeit nach Bedarf, d. h. im Abstand von 7 (bis zu 15) Tagen, zu bewässern. Tropfbewässerung ist dabei aber nicht geeignet, weil sie zu einem zu hohen vegetativen Wachstum führen kann (Abou & Atta 2009: 1344).

NÄHRSTOFFBEDARF UND DÜNGUNG

Bislang gibt es nur wenige Informationen über den Nährstoffbedarf von *J. curcas*. Es wird jedoch vermutet, dass *J. curcas* eine Pflanze mit im Vergleich zu anderen Kulturpflanzen niedrigem Nährstoffbedarf ist. Normalerweise ist eine Bodenverbesserung zum Setzen oder zur Pflanzung von *J. curcas* daher nicht notwendig. Der Boden kann jedoch mit Kuhmist als organischem Dünger alle drei Monate gedüngt werden (Stambuk 2009, Interview).

Vor allem wenn das Ziel des *J. curcas*-Anbaus darin besteht, schnell eine hohe Produktionsleistung zu erreichen, sollte die Anbaufläche sofern notwendig gedüngt werden (Openshaw 2000: 6). Für diesen Fall kann NPK-Dünger jeweils ein und zwei Monate nach der Pflanzung gegeben werden (Misra & Misra 2010). Bei einem *J. curcas*-Pilotprojekt in Guatemala wurde drei Mal in einen Abstand von vier Monaten von der Pflanzung bis zur ersten Blütezeit gedüngt. Das erste Mal wurde die Anbaufläche 20-25 Tage nach der Pflanzung gedüngt, damit die jungen Pflanzen eine gute Wurzelentwicklung haben. Dafür wurde eine Düngung mit hohem Phosphorgehalt benutzt. Die zweite Düngung erfolgte 40-50 Tage danach, um die oberirdische Entwicklung der Pflanzen zu fördern, damit die jungen Pflanzen bereits innerhalb von vier Monaten die Größe erreichen, ab der die Blütenbildung einsetzt. Entscheidend in dieser Phase ist dazu eine ausreichende Stickstoffdüngung. Die dritte Düngung fand in der Blütezeit mit Blattdünger statt, um der Pflanze die benötigen Nährstoffe zur Bildung der Früchte und Samen zu liefern (AEA 2006: 3). Die Erfahrungen zeigen, dass in dieser Phase die Gabe von Hormonen den Umfang der Biomasse steigerte und die Blüte induzierte (Jongschaap et al. 2007: 17).

Nach der Jugend- und Strukturbildungsphase ist eine Nährstoffzufuhr saisonal zur Bildung von Zweigen, Blättern, Blüten, Früchten und Samen erforderlich. Die benötigten

Nährstoffe sind Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) (Jongschaap et al. 2007: 11).

Andererseits sind der Presskuchen (nach der Ölgewinnung aus den Samen von *J. curcas* verbleiben als Reststoffe die Presskuchen), der Fruchtmantel und die Schale aus Samen von *J. curcas* stickstoff-, phosphor- und kaliumreich (vgl. Tabelle 2.5).

Tabelle 2.5: Nährstoffgehalt von Presskuchen aus Samen von *J. curcas*

Stickstoff (N)	Phosphor (P)	Kalium (K)
6 %	3 %	1 %
Nach Openshaw 2000: 6		

So können sie zur organischen Düngung und zur Bodenverbesserung (vgl. Unterkapitel 2.3) verwendet werden, wobei die Samenschalen zur Energiegewinnung vor der Düngung zunächst vergärt werden sollten (Jongschaap et al. 2007: 16). Unter anderem wurde der Presskuchen aus *J. curcas*-Samen bereits beim Kartoffelanbau in Lissabon als Düngemittel verwendet (Gübitz et al. 1999: 73). Eine vergleichende Darstellung zum Mineralstoffgehalt von Presskuchen aus *J. curcas* mit Niembaumpresskuchen und Kuhdung ist Tabelle 2.6 zu entnehmen. Der Mineralstoffgehalt von *J. curcas*-Presskuchen ist deutlich höher als der von Kuhdung.

Tabelle 2.6: Mineralstoffgehalte von *J. curcas*-Presskuchen im Vergleich zu Niembaum-Presskuchen und Kuhdung

Eigenschaft	*J. curcas*-Presskuchen	Niembaum-Presskuchen	Kuhdung
Stickstoff	3,2-4,44	5,0	0,97
Phosphor	1,4-2,09	1,0	0,69
Kalium	1,2-1,68	1,5	1,66
Nach Kumar & Sharma 2008: 5			

Für eine gute Samenproduktion benötigt *J. curcas* einen stickstoffreichen Boden (Openshaw 2000: 6). Die *J. curcas*-Pflanze besitzt jedoch keine symbiontische N2-Fixierung. Daher muss bei ihrem Anbau gedüngt werden, um ihre Ertragsfähigkeit zu erhalten (Openshaw 2000: 6). Eine kostengünstige Lösung, die Stickstoffversorgung von *J. curcas* sicherzustellen, könnte der Mischkulturanbau mit Stickstoff-fixierenden Kulturen sein. Insbesondere bei der Biodieselproduktion kann jedoch optimalerweise

der Presskuchen wieder auf der *J. curcas*-Anbaufläche ausgebracht und ein mehr oder weniger geschlossener Nährstoffkreislauf eingerichtet werden (Openshaw 2000: 4). Zur nachhaltigen Sicherung des Nährstoffbedarfs der *J. curcas*-Kultur sollten auch alle nicht für die Biodieselproduktion genutzten Pflanzenteile wie Blätter, Blüten, abgeschnittene Zweige im Feld belassen und ggf. in den Boden eingearbeitet werden. Dann kompostieren sie in der Erde und setzen damit ihre Nährstoffe im Boden frei, wo sie der Pflanze wieder zur Nährstoffaufnahme zur Verfügung stehen (Jongschaap et al. 2007: 12). Durch diese Maßnahmen lassen sich zum einen die Anbaukosten deutlich verringern, da keine teuren Mineraldünger zugekauft werden müssen. Zum anderen sorgen sie für eine Nährstoffversorgung der Kultur und für eine nachhaltige Bodenverbesserung.

PFLEGEMAßNAHMEN

Da die Blüten der *J. curcas*-Pflanze an den Spitzen der Zweige wachsen (Saverys et al. 2008), müssen Jungpflanzen von *J. curcas* regelmäßig beschnitten werden. So bilden sie mehr neue Zweige, die Blüten bekommen können, wodurch der Ernteertrag erhöht wird. Auch ist es wichtig den Rückschnitt vorzunehmen, damit die Pflanze nicht zu groß für die manuelle Ernte wird (Rijssenbeek et al. 2007). Eine andere Pflegemaßnahme ist der Erziehungsschnitt. Wie alle perennierenden Pflanzen wächst *J. curcas* in der Jugendzeit kräftig und mit der Zeit der Reife lässt das Höhenwachstum nach. Insbesondere in den ersten 2-3 Jahren müssen die Pflanzen intensiv und periodisch (in der Regel alle 6-8 Wochen) geschnitten werden, um eine buschige Pflanze zu ziehen (Openshaw 2000: 5; Rijssenbeek et al.). Um Zweigbildung zu induzieren sollten zwei Drittel der Zweiglänge in der Wachstumsruhephase, wenn die Pflanze keine Blätter trägt, eingekürzt werden. In Indien erwies es sich zudem als notwendig, im Alter von sechs Monaten bei einer Länge von 30 cm der Zweige die Spitzen der Äste zu schneiden, um die Zweigbildung zu induzieren. Langsamer wachsende Sorten konnten bei 45 cm zurückgeschnitten werden (Jongschaap et al. 2007: 16).

Obwohl vermutet wurde, dass *J. curcas* wegen ihrer Toxizität nur von wenigen Schädlingen befallen wird (Openshaw 2000: 4; Gübitz et al. 1999: 75), wurde bislang sowohl das Auftreten von Insektenschädlingen wie Fransenflügler (Ordnung Thysanoptera), Chicharrita und Zompopo (Ordnung Hymenoptera), Heuschrecken (Ordnung Orthoptera), Ameisen und Blattläusen als auch von Pilzschädlingen (u.a. Fusarium, Stemphyllium, Rhizoctonia, Phytophthora) an *J. curcas*-Pflanzen beobach-

tet. Gegen die Insektenschädlinge wurden chemische Pflanzenschutzmittel und Biopestizide (auf Basis von Knoblauch und Neem) eingesetzt. Für die Pilz-Schädlingsbekämpfung wurden Fungizide verwendet.

Wenn die *J. curcas*-Plantagen nicht von Unkraut frei sind, kann es zur Ausbreitung von Feldratten kommen. Diese können die kleinen Pflanzen fressen, da junge und kleine *J. curcas*-Pflanzen keine hohe Giftigkeit haben. So müssen sowohl Unkraut als auch Ratten bekämpft werden (AEA 2006: 8).

J. curcas sollte möglichst konkurrenzfrei angebaut werden, da sie hohe Ansprüche an die Lichtverfügbarkeit stellt, sollen hohe Erträge erzielt werden. Deswegen muss für einen guten Ertrag die Anbaufläche für *J. curcas* vor allem in ihrer Anfangsphase frei von Bäumen und frei von Unkraut sein, damit die kleinen Pflanzen optimal wachsen können. Das Unkraut zwischen den jungen Pflanzen bedeutet neben der Lichtkonkurrenz auch Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe für die *J. curcas*-Pflanzen (AEA 2006: 8). Bäume und auch Unkräuter müssen daher sowohl bei der Flächenvorbereitung zum Anbau von *J. curcas* als auch in der Jugendphase der *J. curcas*-Pflanzen entfernt werden. Dafür sollten aber keine Unkrautbekämpfungsmittel benutzt werden. Vielmehr sollte das Unkraut manuell entfernt werden (AEA 2006: 3; Stambuk 2009, Interview).

2.2.1.3 Ernte

Der optimale Zustand der Früchte zum Ernten ist gegeben, bevor ihre Farbe von gelb zu dunkelbraun wechselt (ungefähr zwei oder drei Monate nach der Blüte) (Jongschaap et al. 2007: 28; Mistra & Misra 2010). Die reifen (gelben) Früchte werden mit der Hand gepflückt. Es ist ein ähnlicher Vorgang wie beim Apfelpflücken (Henning 2003). Über toxische Wirkungen der giftigen Pflanze *J. curcas* auf Erntearbeiter durch die manuelle Ernte liegen bislang keine Informationen vor. Auch fehlen Vorgaben zum Schutz der Arbeiter vor der *J. curcas*-Toxizität. Für eine optimale bzw. effiziente Ernte der Früchte von *J. curcas* ist es sehr wichtig, dass die Pflanzen nicht höher als ein Meter sind, damit die Pflücker sie einfach ernten können (Buikema et al. 2009) (vgl. oben S. 50).

Die *J. curcas*-Pflanze kann ab ihrem ersten Lebensjahr Früchte produzieren. Ab dem zweiten oder dritten Jahr ist die Ernte rentabel. Im Lauf der Zeit steigert sich die Pro-

duktion von Früchten. Unter günstigen Bedingungen kann *J. curcas* ihre optimale Produktionsreife bereits 3-4 Jahre nach ihrer Anpflanzung erreichen und ihre Produktivität mehr als 20 Jahre behalten (Buikema et al. 2009; Jongschaap et al. 2007: 28).

Wie oben bereits dargelegt sind die Verfügbarkeit von Wasser und Nährstoffen im Boden, eine optimale Pflege und die Abwesenheit von Schädlingen und Krankheitserregern entscheidend für einen hohen Ernteertrag. Unter guten Wachstumsbedingungen können maximal 7,8 t Samen pro ha erreicht werden, während bei schlechteren Wuchsbedingungen nur 0,6 - 4,1 t Samen pro ha geerntet werden können (Jongschaap et al. 2007: 28).

2.2.2 Trocknung, Transport und Lagerung

Direkt nach der Ernte werden die Früchte in einer dünnen Schicht auf eine Kunststofffolie oder auf eine Betonfläche gelegt, damit sie in der Sonne trocknen können. Die Zeitdauer dieser Trocknung ist in der Literatur nicht genau bestimmt. Sie soll solange dauern, bis die Fruchtschalen problemlos gelöst werden können. Nach der Entfernung der Schale der Früchte werden die Samen von der Sonne auf einer schwarzen Kunststofffolie weiter getrocknet. Danach werden auch die Samenhüllen von den Samen abgelöst. Dazu werden sie mit der Hand abgeschält (es ist ein zeitaufwändiges Verfahren) (Stambuk 2009, Interview) oder die Entfernung der getrockneten Hülle des Samens wird mithilfe eines Holzbretts vorgenommen. So kann man damit auf die dünne Schicht des getrockneten Samens drücken. Die Hülle der Früchte und die Samen können dann durch Wind oder Sieben getrennt werden, sofern sie zur Ölgewinnung genutzt werden sollen. Um Probleme bei der Ölgewinnung zu vermeiden, müssen die Samen von Steinen und Fremdstoffen frei sein (Henning 2003). Wenn die Samen als Saatgut verwendet werden, sollten sie nicht von direktem Sonnenlicht getrocknet werden, weil dies ihre Keimfähigkeit reduzieren kann (Misra & Misra 2010; Henning 2003).

Nach der Auslösung werden die Samen zu einem Lager transportiert. Die Samen sollten nur gelagert werden, wenn sie trocken sind (Henning 2003). Zum Lagern müssen optimale Bedingungen herrschen. Dazu wird ein trockener, gelüfteter und schattiger Raum benötigt, damit die Qualität des Samens sich nicht verändert. Aus logistischen und wirtschaftlichen Gründen sollte die Entfernung zwischen Anbaufläche und Lager möglichst gering sein. Aus den gleichen Gründen ist es vorteilhaft, wenn das Lager

zugleich in der Nähe einer Ölfabrik ist (Stambuk 2009, Interview; Henning 2003). Dann können sie bis zu einem Jahr bei Raumtemperatur eingelagert werden (Misra & Misra 2010). Andere Empfehlungen geben an, die Samen nur bis zu drei Monate zu lagern.

Auch das aus den *J. curcas*-Samen gewonnene Rohöl (vgl. Unterkapitel 2.2.3) erfordert Lagerungs-bedingungen, die die Rohölqualität erhalten. So kann sich bei unsachgemäßem Umgang mit dem Rohöl und bei unsachgemäßer Lagerung der Wassergehalt des Rohöls erhöhen. Außerdem darf das Rohöl aus *J. curcas*-Samen nicht lange Zeit der Luft und dem Sonnenlicht ausgesetzt werden, weil dies zu einer erhöhten Konzentration an Fettsäure führen würde (Berchmans & Hirata 2008: 1716).

2.2.3 Ölgewinnung

Nach der Lagerung und dem Transport ist die Ölgewinnung der nächste Schritt in der Prozesskette zur Biodieselproduktion. Das Öl aus den Samen von *J. curcas* kann entweder durch **mechanische Pressung** bzw. **Kaltpressung**, durch ein **Ultraschallbad** oder durch **Lösungsmittel** gewonnen werden. Von diesen drei Gewinnungsverfahren ist die Extraktion durch Ultraschall nicht effizient. Die Kaltpressung (mechanisches Verfahren) und die Extraktion durch Lösungsmittel (chemisches Verfahren) sind hingegen übliche Alternativen für die Ölgewinnung aus *J. curcas*-Samen. In Tabelle 2.7 sind die Vorteile und Nachteile von Kaltpressungs- und Lösungsmittelverfahren zur Pflanzenölgewinnung zusammenfassend dargestellt.

Die Extraktion des Öls durch Lösungsmittel ist attraktiv, weil sie eine höhere Produktionseffizienz bewirkt und die Samen in großer Masse verarbeitet werden könnten (mindestens 200 t pro Tag bei einem Dauerbetrieb) (Adriaans 2006: 1). Auch könnte die Pflanzenölgewinnung durch Kohlenwasserstofflösemittel (z. B. Hexan, Heptan, Pentan), halogenierte Lösungsmittel (z. B. Trichlorethylene, Dichlormethan), Wasser mit und ohne Enzymen, Alkohol (z. B. Ethanol, Isopropylalkohol) und Azeton die Menge an extrahiertem Öl pro Tonne Samen erhöhen und mehr Öl als bei der Kaltpressung gewonnen werden (Adriaans 2006: 1-9). Das Vorhandensein von Wasser, Energie, Lösungsmitteln und Personal sind damit wesentliche Anforderungen für die Gewinnung von Pflanzenöl durch Lösungsmittel (Adriaans 2006: 7).

Unter den Lösungsmitteln ist vor allem Hexan für die Ölgewinnung aus Samen von *J. curcas* geeignet (Buikema et al. 2009: 5). Zum einen ist es ein kostengünstiges Verfahren. Zum anderen liegt der Ölgewinnungsgrad zwischen 48 und 98 %. Bei einer industriellen Extraktion können sogar fast 100 % des Ölgehalts der Samen gewonnen werden. Große Nachteile der Ölextraktion mit Hexan sind jedoch zum einen die hohe Entzündlichkeit der farblosen Flüssigkeit und zum anderen eine hohe toxische Wirkung. Eine Langzeitexposition gegenüber diesem toxischen Luftschadstoff kann eine permanente Nervenschädigung beim Menschen bewirken (Buikema et al. 2009: 11). Daher bietet sich in vielen Fällen als Alternative die Extraktion auf Wasserbasis an, mit der 65-97 % des Öls aus den Samen extrahiert werden können (Jongschaap et al. 2007: 28).

Tabelle 2.7: Vergleich von dezentraler Kaltpressung mit industrieller Gewinnung durch Lösungsmittel zur Gewinnung von Öl aus *J. curcas*-Samen

Dezentrale Kaltpressung	Industrielle Gewinnung durch Lösungsmittel
In mittlerem oder kleinem Umfang, Genossenschaft oder private Unternehmen	In großem Umfang, vor allem durch transnationale Konzerne
Lage in der Nähe der landwirtschaftlichen Anbauflächen	Lage an einem Verkehrsknotenpunkt
Kleine Kapazität (normalerweise bis zu 25 t pro Tag)	Große Kapazität (möglicherweise über 500 t pro Tag)
Hoher Futtermittelwert und Energiewert des verbleibenden Presskuchens (12-17 % Restölgehalt)	Niedriger Futtermittelwert und Energiewert des verbleibenden Extraktionskuchens, Restölgehalt (<1 %)
Niedrige Investitionskosten	Hohe Investitionskosten
Niedriger Energieverbrauch (80 kWh/t Samen, ohne Wasserdampf)	Hoher Energieverbrauch (470 kWh/t Samen, teilweise Wasserdampf)
Keine Nutzung von chemischen Lösungsmitteln oder Zusatzstoffen	Ölgewinnung durch chemische Lösungsmittel z. B. Hexan
Keine thermische Aufbereitung von Samen	Thermische Vorbehandlung von Samen notwendig
Keine Abwasser	Anfallendes Abwasser aus der Raffinerie (ca. 50 l pro l Öl)
Niedrige Sicherheitsanforderungen	Hohe Sicherheitsanforderungen
Wenige Maßnahmen für den Umweltschutz erforderlich	Hohe Maßnahmen für den Umweltschutz erforderlich
Nach Adriaans 2006	

Im Gegensatz zur Ölextraktion durch Lösungsmittel ist das Kaltpressungsverfahren einfach und erfordert relativ geringe Investitionskosten (Kumar & Sharma 2008). Die üblichste Pressmethode für *J. curcas*-Samen ist die Bielenberg-Ram-Presse. Sie erfordert eine manuelle Arbeitsweise. Für eine kleine, dezentrale Ölfabrik kann dieses Verfahren optimal sein. Die Kapazität der Bielenberg-Ram-Handpresse beträgt 7-10 kg Samen pro Stunde. Handelsübliche Presssysteme können bis zu 500 kg Samen pro Stunde verarbeiten. Dabei ist die bei der Ölpressung gewonnene Quote an Öl abhängig von der Technologie der Presse. So könnte man durch ein Hektar *J. curcas*-Anbau ca. 1.900 Liter Biodiesel produzieren (Buikema et al. 2009: 2, 19). Bei einer kleinen Ölfabrik erbringt eine handtragbare Presse (z. B. die Bielenberg-Ram-Presse) einen Ölertrag von 60 % der potenziell extrahierbaren Ölmenge (Ölertrag der Trockenmasse des Samens: 19 %; Ölertrag des Kerns: 30 %). Pressmaschinen erbringen einen höheren Ölertrag (75 % der extrahierbaren Menge). Diese handelsüblichen Presssysteme können im großen Maße in einer Ölmühle eingesetzt werden. Doch muss das Design der Pressen für *J. curcas*-Samen noch optimiert werden. Bei der Ölgewinnung aus Sojabohnen und Rapssamen wird beispielsweise ein Gewinnungsgrad von bis zu 90 % erreicht (Jongschaap et al. 2007: 28).

Zur Ölgewinnung aus Samen von *J. curcas* ist bei Anbau im kleinen Maßstab das dezentrale Kaltpressungsverfahren günstiger als die industrielle Ölgewinnung durch Lösungsmittel. Auch zeigen aktuelle Untersuchungen, dass die Qualität von nichtraffiniertem, kalt gepresstem *J. curcas*-Öl ausreichend ist, um es als Rohstoff für die Biodieselproduktion zu verwenden (Adriaans 2006: 8-9). Daher spielt der lokale und regionale Umfang des *J. curcas*-Anbaus für die Auswahl des geeigneten Verfahrens zur Pflanzenölgewinnung eine wesentliche Rolle.

Der Ölanteil des Kernes von *J. curcas* kann von der Anbaulage beeinflusst werden. So wurde ein signifikant geringerer Ölanteil des Kernes in hohen Anbaulagen beobachtet: ca. 43 % in geringen Höhen gegenüber 34 % in höheren Anbaulagen (Jongschaap et al. 2007: 18).

2.2.4 Umesterung

Die chemische Reaktion der Umesterung[12] ist nach der Ölgewinnung aus den Samen von *J. curcas* der nächste Schritt zur Biodieselproduktion. Umesterung bzw. Alkoholyse ist die Reaktion von Triglycerid mit Alkohol, um Biodiesel und Methyl- oder Ethylester und Glycerol als Nebenprodukt zu produzieren (Om et al. 2008). Der Biodiesel kann als eine Kraftstoffalternative in Dieselmotoren eingesetzt werden. Daher kann das Öl aus *J. curcas* als ein potentieller Ersatz für fossilen Diesel fungieren (Gübitz et al. 1999; Openshaw 2000; Soumano & Bornscheuer 2003).

Als Ergebnis mehrerer Forschungen ist die Umesterung das beste Verfahren zur Biodieselproduktion aus Pflanzenöl (Gui et al. 2008: 1650). Doch um den Leistungsgrad ihrer Umesterung zu erhöhen, braucht diese chemische Reaktion Alkohol im Übermaß. Auf Grund der großen Fettproduktion durch die Erhöhung der Umesterung bzw. Trennung der Fettinhalte von dem Öl (Biodieselproduktion) ist dieser Prozess nicht umweltfreundlich (Soumano & Bornscheuer 2003). So wird Glyzerin, auch Glycerol genannt, produziert. Bei der Biodieselproduktion in großen Maßstab wird daher auch viel Fett produziert. Dieses entstehende Fett könnte als Nebenprodukt weiter verwendet und z. B. in einer Biogasanlage genutzt werden. So könnte zusätzliche Energie gewonnen werden.

Zu einer industriellen Biodieselproduktion kann ein Katalysator bei dem Verfahren genutzt werden, um Reaktionsgeschwindigkeit zu erhöhen und den Ertrag der Reaktion zu verbessern (Om et al. 2008; Gui et al. 2008; Kumar et al. 2007). Diese basekatalysierte Umesterung ist das gewöhnliche Verfahren, um Biodiesel als Kraftstoff für die Märkte von Nord- und Südamerika (Brasilien) sowie in Europa (vor allem Deutschland und Frankreich) zu produzieren (Om et al. 2008).

---

[12] Umesterung bzw. Transeterification ist die Reaktion eines Triglyzerid (Fett bzw. Öl) mit Alkohol durch die Zugabe eines Säure- oder eines Base-Katalysators, um z. B. Methyl- oder Ethylester und Glycerin als ein Nebenprodukt zu produzieren bzw. zu bilden (Om et al. 2008: 2287). Für die Umesterung (chemische Reaktion) kann z. B. Ethanol und ein entsprechender Katalysator (Auslöser) benutzt werden: Öl + Ethanol (Alkohol)+ Katalysator = Biodiesel + Glycerol.

Die Fettsäurezusammensetzung des Rohöls aus *J. curcas*-Samen ist ähnlich hoch wie bei Speiseöl (Haas & Mittelbach 2000: 111). Der hohe Fettsäureanteil wirkt sich negativ auf den Prozess der Biodieselproduktion aus. Er verursacht Verseifung. Dieser Prozess nutzt den Katalysator ab (dessen Kosten hoch sind) und es kann Glyzerol produziert werden statt Biodiesel. Aus diesem Grund sind der Umesterung vorgeschaltete zusätzliche Schritte bei der Biodieselproduktion notwendig, um das Pflanzenöl zu entfetten. So wird dazu in einem Zweischrittverfahren der freie Fettsäuregehalt (FFA) (Berchmans & Hirata 2008: 1716) des Rohöls von *J. curcas* (CJCO - „crude *Jatropha curcas* seed oil“) reduziert (Berchmans & Hirata 2008: 1717). Dabei werden die üblichen 10-20 Gewichtsprozente der freien Fettsäure von dem gerade extrahierten Öl aus *J. curcas*-Samen entfernt Bei dieser Vorbehandlung wird Schwefelsäure benutzt, um die freie Fettsäure zu neutralisieren und den unnötigen Verbrauch des teureren Katalysators zu verhindern. Dadurch kann man nicht nur einen optimalen Gehalt von freier Fettsäure im Öl erreichen, sondern auch den Ertrag der Biodieselproduktion steigern, um die Materialkosten zu reduzieren (Buikema et al. 2009: 4-5). Der freie Fettsäuregehalt ist abhängig vom Alter der *J. curcas*-Pflanze, zu dem sie geerntet wird und von den Wachstumsbedingungen der Pflanze (Buikema et al. 2009: 5). Die Reduktion des Gehalts an freien Fettsäuren im Rohöl kann die Kosten bei der Produktion von Biodiesel positiv beeinflussen. Deswegen ist die Reduzierung der Fettsäure im Rohöl aus *J. curcas* ein wesentlicher Schritt zur Biodieselproduktion (Berchmans & Hirata 2008: 1716).

Der Cetan-Wert von *J. curcas*-Öl (16-18 carbon atoms per molecule) ist verglichen mit dem Cetan-Wert von fossilem Diesel (8-10) niedriger und deswegen ist das Öl ein guter Alternativkraftstoff zur Verbrennung. Zur Verwendung von *J. curcas*-Öl ist daher keine Veränderung an den Motoren notwendig (Jain & Sharma 2010: 765). Darüber hinaus muss der Biodiesel aus *J. curcas* bei einer möglichen internationalen Nutzung in Motoren als Brennstoff einige Standardeigenschaften erfüllen. In Tabelle 2.8 sind daher die hierzu einzuhaltenden Grenzwerte von technischen Parametern des Biodiesels dargestellt. Die Dichtigkeit und Dickflüssigkeit bzw. Viskosität von Biodiesel sind abhängig von der Temperatur. Daher spielen klimatische Bedingungen eine wesentliche Rolle bei der Verwendung von Biodiesel. In Ländern mit niedrigen Temperaturen könnten die Fahrzeuge wahrscheinlich schlecht starten (Buikema et al. 2009: 6). Ebenfalls sind die Kältefließfähigkeiten (Fließpunkt und Kristallisationspunkt) bei Biodiesel zu beachten. Prinzipiell sind Kältefließfähigkeiten von Temperaturschwan-

kungen beeinflusst wie Kristallbildung, Gelieren und Viskosität. Diese Eigenschaften werden in den Werten vom Kristallisationspunkt und Fließpunkt angezeigt und werden durch Temperaturschwankungen erhöht. Deswegen kann sich eine Temperaturänderung negativ auf die Funktionsfähigkeit der Fahrzeuge auswirken. Auf diese Weise sind diese Eigenschaften entscheidende Faktoren zur Verwendung von Biodiesel in Ländern mit kaltem Klima. Die Kältefließfähigkeiten von Biodiesel sind durch die Art der Fettsäure in dem Rohstofföl bestimmt.

2.3 Weitere Nutzungsmöglichkeiten

J. curcas hat nicht nur giftige und antinutritive Stoffe, sondern neben einem hohen Ölgehalt auch einen hohen Proteingehalt (vgl. Unterkapitel 2.1.1). Die Inhaltsstoffe des Samens sind 30-48 % fettes Öl, ein sehr giftiges Toxalbumin und Curcin, das beim Erhitzen über 50 Grad unwirksam wird. Weitere Inhaltsstoffe sind Stärke, Zucker, Harz, etwas freie Säure und 16,2 % Eiweiß (Lachner-Eitzenberger 2006: 255). Die Pflanze kann damit eine Vielfalt an Nutzungsmöglichkeiten als Energieträger, in der Industrie, in der Landwirtschaft und im Naturschutz bieten, beispielsweise zur Biodieselproduktion, zur Landgewinnung bzw. Bodenverbesserung, als Düngemittel, Biopestizid, Insektizid, natürliche Schutzhecke für Ackerflächen, zur Seifen- und Kerzenherstellung, zur Honigproduktion, zur menschlichen Ernährung oder aber als Protein- und energiereiches Futter für Fische (nach Entgiftung des Samens). Die klassischen Nutzungsmöglichkeiten von *J. curcas* sind die Herstellung traditioneller Medizin und Kosmetik, sowie die Pestizid- und Heckenverwendung. Somit ist sie eine sehr vielseitige Ölpflanze. Abbildung 2.7 fasst die unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten von *J. curcas*, die nach ihren Eigenschaften beschrieben werden, zusammen.

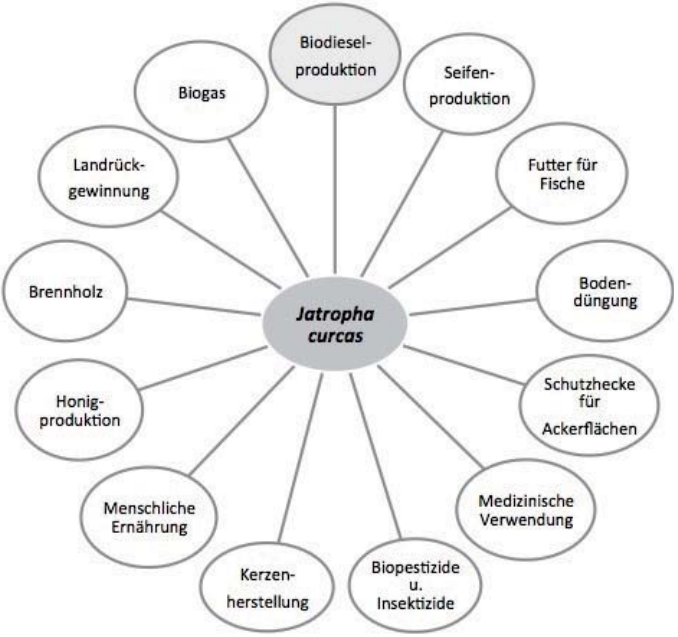


Abbildung 2.7: Nutzungsmöglichkeiten von *J. curcas*

Über die traditionellen Nutzungsmöglichkeiten hinaus wird *J. curcas* über biotechnische Prozesse zur biologischen Schädlingsbekämpfung von Entomopathogenous-Pilzen eingesetzt (Gübitz et al. 1999: 74; Winkler et. al. 1997). Doch bevor *J. curcas*-Produkte in großem Umfang eingesetzt werden, sollten die Auswirkungen der Phorbolester auf Wasser, auf Boden, auf Tiere und Pflanzen und auf den Menschen auf potenziale Umweltrisiken hin untersucht werden (Goel et al. 2007: 279, 286).

LANDWIRTSCHAFT UND INDUSTRIE

Das Mehl aus Samen ungiftiger *J. curcas*-Sorten (d. h. Samen ohne Phorbolestergehalt; vgl. Kap. 2.1.1) kann als Nahrungsmittel für Menschen und Haustiere genutzt werden. Hierzu müssen jedoch die antinutritiven Inhaltsstoffe sowie die Trypsin-Inhibitoren und Lektine durch Erhitzungsbehandlung zerstört werden (Makkar et al. 1997: 3156; vgl. Tabelle 2.3; Unterkapitel 2.1.1).

Die landwirtschaftliche Nutzung von Phorbolesterhaltigen *J. curcas*-Sorten und von Presskuchen, die bei der Rohölgewinnung aus Samen von *J. curcas* übrig bleiben, ist

wegen der toxischen Komponenten (v. a. Phorbolester) sehr problematisch. Für eine Nutzung innerhalb der Landwirtschaft müssen die Phorbolester durch physiochemische Methoden inaktiviert werden. Das könnte entweder durch eine biochemische Modifikation der Struktur des Phorbolesters, durch seine vollständige Entfernung, oder durch die Identifikation und Entwicklung von Mikroorganismen oder Enzymen, die die Phorbolesterverbindungen im Futter abbauen können, geschehen. Andererseits kann *J. curcas* auf Grund seiner Toxizität in der Landwirtschaft als Biopestizid und Insektizid (Phorbolester oder im Gesundheitswesen als Antimikrobium oder Antitumormittel eingesetzt werden (Holl et al. 2007).

Neben der Gewinnung von Biodiesel ist die Seifenproduktion eine weitere Verwendungsmöglichkeit von Öl aus *J. curcas*. Hierfür wurde es bereits vor langer Zeit aus Kap Verde nach Lissabon importiert (Gübitz et al. 1999; Kumar & Sharma 2008; Jain & Sharma 2010; Abou Kheira & Atta 2009; Jongschaap et al. 2007; Openshaw 2000). Die Seifenherstellung aus Öl von *J. curcas* ist damit eine alte Nutzungsart der Pflanze in der Kosmetikindustrie. Beispielsweise wurde es vor Jahrzehnten bei großen (Hindustan Lever) und kleinen industriellen Herstellern in Indien eingesetzt. In ländlichen Regionen Simbabwes wird Seife aus *J. curcas*-Öl in kleinem Maßstab hergestellt. Große Unternehmen sind daran interessiert, um das produzierte Glyzerin (Reststoff) bei der Biodieselproduktion zu nutzen (Openshaw 2000: 9).

Auch Kerzen werden aus Öl von *J. curcas* hergestellt. Andere Verwendungsformen für das Öl stellen die Klarlackherstellung und die traditionelle Medizin und Tiermedizin (s.o.) dar (Jongschaap et al. 2007; Openshaw 2000: 9). So werden schon lange die verschiedenen Bestandteile von *J. curcas* für traditionelle Medikamente in Indien, Afrika und auch in Lateinamerika genutzt. Beispielsweise werden die Blätter gegen Malaria in Mali eingesetzt (Gübitz et al. 1999: 75).

Die Blätter und Zweige von *J. curcas* sind farbstoffhaltig und der Rindensaft wird als Gerbstoff verwendet (Lachner-Eitzenberger 2006: 255-257).

J. curcas eignet sich auch zur Produktion von Blütenhonig (Kumar & Sharma 2008). Ihre Baumrinde besitzt Bitterstoffe, die Bienen anziehen. Daher könnte die Pflanze großes Potenzial zur Honigproduktion bieten (Openshaw 2000: 2). Detaillierte Informationen darüber stehen nicht zur Verfügung.

BODENVERBESSERUNG

Auf Grund seiner geringen Standortansprüche und bodenverbessernden Eigenschaften (vgl. Unterkapitel 2.1) eignet sich *J. curcas* gut zum Einsatz gegen Bodenerosion und zur Rekultivierung degradierter Böden. Beispielsweise kann sie für die **Ackerrückgewinnung auf marginalen Böden** sogar unter semiariden Klimabedingungen eingesetzt werden. Ihr gut entwickeltes Wurzelsystem schützt den Boden vor fortschreitender Bodenerosion (Jongschaap et al. 2007: 5; Openshaw 2000: 3-4). Insbesondere wenn sich die Ernte auf die Früchte beschränkt, und mehr noch, wenn der bei der Biodieselproduktion anfallende Presskuchen (Reststoffe der Ölproduktion aus *J. curcas*-Samen) zur organischen Düngung eingesetzt wird, verbessern sich die Bodeneigenschaften und das Wachstum von *J. curcas* deutlich und nachhaltig (vgl. Unterkapitel 2.1).

Auch wird die Pflanze oft als Hecke angepflanzt, um Felder vor Tieren zu schützen. So wird die *J. curcas* z. B. nicht von Rindern gefressen und kann dadurch ihre Schutzfunktion voll entfalten (Gübitz et al. 1999: 73; Openshaw 2000: 1). Aus diesem Grund wurde zum Beispiel in Mali die *J. curcas* als Hecke angebaut, weil dieses für Ackerflächen kosteneffektiver ist als ein Drahtzaun.

Bei der Verjüngung von Pflanzungen oder bei der Umnutzung von *J. curcas*-Kulturen kann der Stamm (das Holz) der alten Pflanzen als Pfahl nicht nur bei Zäunen, sondern auch bei der Anlage von Bahnstrecken genutzt werden. Auch die Äste und Zweige von *J. curcas* können genutzt werden. Zwar bleiben sie relativ lange frisch und es ist langwierig sie zu trocknen und dann zu verfeuern. Wenn sie jedoch als Pfahl genutzt werden, haben sie die Tendenz zu sprossen. Deswegen können sie immer noch als Pfähle für Kletterpflanzen verwendet werden (Openshaw 2000: 9).

FUTTER- UND NAHRUNGSMITTEL

Neben der Verwendung als Dünger könnte Presskuchen als **Futter** lukrativ sein, wenn der Kuchen aus einer ungiftigen Sorte von *J. curcas* stammt. Bei dem giftigen Presskuchen ist es möglich, diesen zu entgiften (Openshaw 2000: 4, s.o. Landwirtschaft und Industrie). Bereits heute gibt es Untersuchungen mit der Verwendung der Samen von toxischen und weniger toxischen *J. curcas*-Sorten als **Viehfutter** (Holl et al. 2007). Da der Presskuchen aus *J. curcas*-Samen zahlreiche Proteine enthält, ist er ein gut geeignetes Eiweißfuttermittel. So ist der Wert des Proteingehalts höher als der empfohlene FAO-Proteinreferenzwert für Vorschulkinder (Makkar et al. 1997: 3152-3155;

Martínez-Herrera et al. 2005: 81; Haas & Mittelbach 2000: 111). Dies bedeutet auch, dass aus dem Presskuchen der Samen von *J. curcas* Rohprotein gewonnen werden kann. Trotzdem werden, bevor es als Ernährung für Menschen genutzt werden kann, zahlreiche toxikologische Untersuchungen insbesondere zu Rückständen von Phorbolester und antinutritiven Stoffen empfohlen (Makkar et al. 1997: 3155).

Wegen des hohen Proteingehalts ist *J. curcas* ebenso interessant für die **Fischfutterproduktion**. Doch auch hierzu muss erst eine Entgiftung stattfinden (Becker 2005). Als Futter für Fische müssen die Samen von *J. curcas* nicht nur frei von Phorbolester, sondern auch von allen gefährlichen antinutritiven Inhaltsstoffen (Trypsin-Inhibitoren, Lektine bzw. Curcin, Phytine) sein. In Laborexperimenten wurden dazu bereits Samen von *J. curcas* entgiftet, um dann Mehl als Fischfutter aus den Samen zu gewinnen (Universität Hohenheim 2005). Samen aus ungiftigen Sorten von *J. curcas* (ohne Phorbolester) können in geringeren Dosen auch direkt als Futter für Fische verwendet werden (Martínez-Herrera et al. 2005: 85).

ENERGIETRÄGER

Das Öl ist wahrscheinlich das wertvollste Nebenprodukt von *J. curcas*. Bereits lange vor der Nutzung zur Biodieselproduktion (vgl. Unterkapitel 2.2.3) wurde *J. curcas*-Öl als Lampenöl verwendet. Es war die erste kommerzielle Verwendung der Pflanze.

Neben dem Öl können auch die verholzten Teile von *J. curcas*, ihre Äste und der Baumstamm, als Energieträger verwendet werden. Dabei ist die Menge ihrer produzierten Holzbiomasse vom Pflanzen- und Holzwachstum abhängig, die wiederum vom Alter der Pflanze, von deren Pflege und vom Niederschlag abhängen (Openshaw 2000: 9).

Ebenso kann die Samen-Schale von *J. curcas* ein idealer Rohstoff für die Vergasung sein, wie eine vergleichende Untersuchung zur Vergasung von Holz, Briketts aus Biomasse (Rohstoff wurde nicht spezifiziert) und aus *Jatropha* Samenschalen ergab. Das Ergebnis lautet, dass *Jatropha* „ein exzellenter Rohstoff zur Vergasung ist“ und über gleich gute Vergasungseigenschaften wie Holz und Briketts aus Biomasse verfügt (Vyas & Singh 2007: 516-517).

Die *J. curcas*-Ölpflanze gehört damit zu den Energiepflanzen, die ein großes Potenzial als Energieträger hat (Singh et. al. 2008). In Tabelle 2.8 sind die Energiewerte von

einzelnen Bestandteilen von *J. curcas* dargestellt, die als energetisch nutzbare Biomasse verwertet werden können.

Tabelle 2.8: Energiewerte unterschiedlicher Energieträgeroptionen von *J. curcas*

Energieträger	Feuchtigkeitsgehalt[a]	Energiewert (MJ/kg)[b]	Bestandteile der Frucht (%)		
			Fruchthülle	Samenhülle	Kern
Holz[c]	15	15,5	---	---	--
Ganze Frucht[d]	8	21,2	30	24	46
Ganze Samen	5	25,5	0	34	66
Fruchthülle	15	11,1	100	0	0
Samenhülle	10	17,2	0	100	0
Kern	3	29,8	---	---	100
Holzkohle	5	30,0[f]	---	---	--
Fruchtschalen-kohle	5	26,3[f]	---	---	--
Öl aus *J. curcas*[e]	0	40,7[g]	---	---	--
Presskuchen[e]	3	25,1[h]	---	---	--

Anmerkung: (a) Feuchtigkeitsgehalt ist der Wasseranteil des Nassgewichts

(b) Heizwert. Es ist die Energie, die praktisch verfügbar ist. Die Differenz zwischen dem oberen und dem unteren Heizwert für sauerstoffhaltigen Biomassekraftstoff ist rd. 1,3 MJ/kg bei 0 % Feuchtigkeit.

(c) Energiewert von frischem Holz (50 % mcwb); 8,2 MJ/kg.

(d) Energiewert von ganzer Frucht (43 % mcwb); 12.8 MJ/kg.

(e) Das Öl aus *J. curcas* und der Presskuchen stammen aus dem Kern

(ohne Samenhülle.)

(f) Vollkarbonisierte Kohle.

(g) Energiewert pro Liter; 37,4 MJ (spezifische Dichte 0,92).

(h) Vorausgesetzt wurden 70 % Presskuchen und 30 % Öl aus dem Kern.

Nach Openshaw 2000: 7

In Tabelle 2.9 sind die unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten von *J. curcas*-Bestanteilen als Energieträger sowie ihre Wirtschaftlichkeit (ob kostenlos oder zum Verkauf geeignet), zusammengefasst (Openshaw 2000: 6).

Tabelle 2.9: Energieträgermöglichkeiten von *J. curcas*

Als Energielieferant nutzbare Pflanzenteile	Kostenlos (K) oder zum Verkauf (V)	Art der Energienutzung
Kleine Zweige und Ästchen	K	Ländliche Haushalte zum Kochen (bleibt lange Zeit frisch, was die Nutzung als Brennmaterial erschwert).
Große Zweige und Stämme	K & V	Ländliche und städtische Haushalte zum Kochen Servicesektor und industrielle Nutzung: Trocknung von Tabak, Klinkerherstellung, Heißwasserzubereitung, zum Kochen in den Schulen, etc.
Ganze Frucht	K & V	Ländliche und städtische Haushalte zum Kochen Servicesektor und industrielle Nutzung: Trocknung von Tabak, Klinkerherstellung Bäckerei, Betriebskessel, Schulen, etc.
Ganze Nuss	K & V	Ländliche und städtische Haushalte zum Kochen Servicesektor und industrielle Nutzung: Trocknung von Tabak, Klinkerherstellung Bäckerei, Betriebskessel, Schulen, etc.
Exokarp (Mantel)	K	Ländliche Haushalte zum Kochen
Hülle	K & V	Ländliche Haushalte zum Kochen industrielle Nutzung: Trocknung von Tabak, Klinkerherstellung, Heißwasserzubereitung, etc.
Kern	K & V	Ländliche Haushalte zum Kochen industrielle Nutzung: Trocknung von Tabak, Klinkerherstellung, Heißwasserzubereitung, etc.
Holzkohle	V	Städtische Haushalte
Hüllenkohle	V	Städtische Haushalte
Pflanzenöl	V	Zum städtischen Kochen, zur städtischen und ländlichen Beleuchtung Servicesektor und industrielle Nutzungen, Diesel und Kerosinersatz oder Streckmittel.
Samenkuchen	K & V	Städtische Haushalte, Heißwasserzubereitung
Nach Openshaw 2000: 8		

Tabelle 2.10 (Teil I-II) stellt die unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten der *J. curcas*-Pflanze bzw. ihrer Bestanteile und ihren Gebrauchsformen dar, die auf Basis mehrerer Quellen zusammengestellt wurden.

Tabelle 2.10: Nutzungsmöglichkeiten von *J. curcas* und ihrer Bestandteilen - Teil I-II

Teil I/II

Referenz	Bestandteil	Produkt	Nutzungs-möglichkeit	Gebrauchsform	Nutzung (für)
(a)	Samen	Öl	Energieträger	Direkt oder durch Umesterung zu Biodiesel	Kraftstoff bzw. Biodiesel
(b)	Samen	Samenkuchen	Energieträger	Gepresste Samen werden verbrannt	Biomasse
(b)	Frucht	Fruchtmantel	Energieträger	Keine Angabe	Biomasse
(b)	Samen	Samenschale	Energieträger	Verbrennung	Biomasse
(b)	Samen	Samenkuchen	Energieträger	Anaerobe Vergärung	Biogas
(b)	Frucht	Fruchtfleisch	Energieträger	Anaerober Vergärung	Biogas
(b)	Baumstamm	Holz	Energieträger	Brennholz	Keine Angabe
(c, d)	Samen	Öl	Industrierohstoff	Kosmetik	Seifenherstellung
(d, e)	Samen	Keine Angabe	Futter für Fische	Entgiftete gepresste Samen	Keine Angabe
(d)	Samen	Samenkuchen	Futtermittel	Entgiftete gepresste Samen	Keine Angabe
(d)	Samen	Öl	Industrierohstoff	Keine Angabe	Klarlackherstellung
(b)	Samen	Öl	Industrierohstoff	Keine Angabe	Kerzen
(d)	Baumrinde	Tannin aus Baumrinde	Industrierohstoff	Keine Angabe	Lederbearbeitung
(d)	Frucht	Tannin aus der Frucht	Industrierohstoff	Keine Angabe	Lederbearbeitung
(b)	Blätter	Keine Angabe	Industrierohstoff	Keine Angabe	Farbstoffhaltig
(b)	Zweige	Industrierohstoff	Keine Angabe	Keine Angabe	Farbstoffhaltig
(b)	Baumrinde	Rindensaft	Industrierohstoff	Keine Angabe	Gerbstoff

Eigene Darstellung auf Basis von (a) Kumar & Sharma 2008
(b) Jongschaap et al. 2007: 16
(c) Gübitz et al. 1999: 74
(d) Openshaw 2000: 4
(e) Martínez-Herrera et al. 2005: 81

Teil II/II

Referenz	Bestandteil	Produkt	Nutzungsmöglichkeit	Gebrauchsform	Nutzung (für)
(c, b)	Samen	Samenkuchen	Düngemittel	Presskuchen	Düngung
(b, d)	Frucht	Fruchtmantel	Düngemittel	Keine Angabe	Düngung
(b, d)	Samen	Samenschale	Düngemittel	Keine Angabe	Düngung
(b)	Blätter	Abgefallene Blätter	Düngemittel	Humusbildner	Düngung
(b)	Blüten	Abgefallene Blüten	Düngemittel	Humusbildner	Düngung
(b)	Zweige	Abgefallene bzw. abgeschnittene Zweige	Düngemittel	Humusbildner	Düngung
(c)	Pflanze	Keine Angabe	Umweltschutz	Angepflanzt	Erosionsschutz
(c)	Pflanze	Hecke	Umweltschutz	Angepflanzt	Ackerlandschutz
(b)	Pflanze	Keine Angabe	Angepflanzt	Keine Angabe	Rückgewinnung von marginalen Böden bzw. Ackerlandgewinnung
(b, d, f)	Pflanze	Toxische Bestandteile	Biopestizid	Keine Angabe	Molluskizide, Insektiziden und Fungizid (pilztötender Effekt)
(c)	Samen und Blätter	Extrakt	Pestizidverwendung	Keine Angabe	Keine Angabe
(c)	Latex	Keine Angabe	Landwirtschaft	Keine Angabe	Hemmt Wassermelone Mosaic Viruskrankheit
(g, e, h)	Samen	Presskuchen	Menschliche Ernährung	Entgiftete gepresste Samen	Keine Angabe
(g, e ,h)	Frucht bzw. Samen	Fruchtfleisch	Menschliche Ernährung	Entgiftete Samen	Keine Angabe
(c, i)	Samen, Blätter, Baumrinde, Wurzel, Latex, Äste	Traditionelles medizinisches Mittel	Traditionelle Medizin	Abkochung oder als Öl, Ethanol-Extrakt, Extrakt, abgekochte Blätter äußerliche Nutzung, gekaute Stäbchen	Abführmittel, Hautkrankheit, Husten, Blutstillend, Antiseptikum nach der Geburt, Wundheilung, Abortivum, Wurmmittel, Pilzentzündung im Mund, Bienen- und Insektenstich und Verdauungsbeschwerden, Schmerzmittel, etc.
(c)	Samen	Öl	Tiermedizin	Keine Angabe	Abführmittel
(d , a)	Baumrinde	Bitter-Stoff aus Baumrinde	Honigproduktion	Keine Angabe	Blütenhonig
(d)	Blätter	Keine Angabe	Industrierohstoff	Rohstoff für die Seidenraupen	Aufzucht für die Seidenraupen

Eigene Darstellung auf Basis von (a) Kumar & Sharma 2008
(b) Jongschaap et al. 2007: 16
(c) Gübitz et al. 1999: 74
(d) Openshaw 2000: 4
(e) Martínez-Herrera et al. 2005: 81
(f) Goel et al. 2007: 279, 286
(g) Makkar et al. 1997: 3155
(h) Haas & Mittelbach 2000: 111
(i) Lachner-Eitzenberger 2006: 364

WIRTSCHAFTLICHKEIT DER BIODIESELPRODUKTION

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit des *J. curcas*-Anbaus zur Biodieselproduktion müssen der INPUT (Einsatz) und der OUTPUT (Ertrag) entlang der ganzen Prozesskette der Biokraftstoffproduktion analysiert werden. Die Analyse muss für jede Region vorgenommen werden, in der *J. curcas* angebaut wird. Jede Region hat für den *J. curcas*-Anbau einen eigenen ökologischen (geographischen, klimatischen) und sozioökonomischen Charakter. Verschiedene Faktoren können die Realisierbarkeit der Biodieselproduktion in kleinem und großem Umfang beeinflussen, wie lokale und zentrale strukturelle Probleme (z. B. Verfügbarkeit von Arbeitskräften insbesondere zur Pflege der *J. curcas*-Plantagen und Ernte, bestimmte Arbeitsbedingungen, Regulierung zur Biodieselproduktion u.a.). Dazu zählen die Eigenschaften des Bodens, die genetische Herkunft der Pflanze, die natürlichen Eigenschaften von *J. curcas* (ihr Öl- und Proteingehalt, Toxizität, Krankheiten, Stickstoffversorgung), ihre natürlichen Standortansprüche und klimatischen Wachstumsbedingungen, ideale Wasserversorgung, ihr Nährstoffbedarf und Düngung, Pflegebedarf, geeignete Bedingungen zur Trocknung, zum Transport und zur Lagerung des Samens (vgl. Unterkapitel 2.2.1 und 2.2.2) sowie die Ölgewinnungsverfahren aus ihren Samen und die Umesterungsphase zur Biodieselproduktion (vgl. Unterkapitel 2.2.3 und 2.2.4).

Prinzipiell erfordert der Anbau von *J. curcas* einen großen Arbeitsaufwand. Deswegen sind die Verfügbarkeit von Arbeitskräften und die Arbeitskosten bei der Planung des *J. curcas*-Anbaus unbedingt zu berücksichtigen. Im ersten Jahr wird die Arbeitskraft vor allem für die Aussaat, Bewässerung, Unkrautentfernung und Düngung benötigt. In den folgenden Jahren vergrößert sich der Arbeitsaufwand für die Pflege der Pflanzen und die Ernte unter anderem durch die Ernte und Verarbeitung der Samen zur Ölproduktion (Ardaya 2010, Interview; Egüez 2010, Interview).

Der Öl-Gehalt von *J. curcas* bezieht sich auf den Ernteertrag und die Leistung der *J. curcas*-Pflanzen, die eine wesentliche Rolle für die Wirtschaftlichkeit der Biodieselproduktion von *J. curcas* spielen (Misra & Misra 2010). Gleichzeitig beeinflussen die klimatischen Bedingungen (Höhe, Niederschlag, Verfügbarkeit von Wasser zur Bewässerung u. a.) die Leistung von *J. curcas*. So wurde beispielsweise mit einer experimentellen Studie in Indien bewiesen, dass die Höhenlage (zwischen 400-1.000 m ü. N.N.) eines Anbaus von *J. curcas* im Zusammenhang mit der Temperatur ein Umweltfaktor ist, der sich auf verschiedene Ertragskomponenten positiv auswirken kann, wie

die Zweiganzahl pro Baum (2 Zweige pro Baum), Früchteanzahl pro Zweig (12 Früchte pro Zweig), Früchteanzahl pro Baum (100 Früchte pro Baum), und Samen-Anzahl pro Baum (300 Samen pro Baum). Anbauversuche mit *J. curcas* ergaben unterschiedliche Ernteertragswerte zwischen 0,6-4,1 t Samen pro ha bei 1-2 jährigen Plantagen (Jongschaap et al. 2007: 28). Je nach Niederschlag schwankt bei fünfjährigen Pflanzen der Ernteertrag an Samen von ca. 0,4 t bis über 12 t pro ha pro Jahr. In einem anderen Projekt wurde *J. curcas* als Hecke in Mali angepflanzt. Dabei betrug der Ernteertrag an Samen 0,8-1,0 kg pro m Hecke, dies entspricht 2,5-3,5 t pro ha pro Jahr. Für die Leistung von *J. curcas* sind die Anzahl der Regenzeiten und der Nährstoffgehalt des Bodens Variablen (Openshaw 2000: 5). So kann die Produktion eines Busches von *J. curcas*-Pflanzenmit nur 1–1,25 kg Samen in Gebieten mit Regenknappheit (Wasserversorgung für die Pflanzen ohne künstliche Bewässerung) erfolgen (Singh et. al. 2008). Das bedeutet, dass die Produktion von Blüten und Samen auf Niederschlag und Nährstoffe reagiert (Misra & Misra 2010; Falasca & Ulberich 2008). Unter anderem gibt es unterschiedliche Ernteertragsberichte bzw. Schwankungen des Ernteertrags von *J. curcas*, die nicht damit übereinstimmen (z. B. Wiesenhütter 2003:2; Vries 2008: 4; Achten et al. 2007: 289). Dabei wurde auch nicht spezifisch genannt, unten welchen klimatischen Bedingungen *J. curcas* angebaut wurde.

Die Kosten von Biodiesel aus *J. curcas* müssen wettbewerbsfähig mit anderen fossilen Brennstoffen (Diesel, Kerosin u.a.) sein, damit die Biodieselproduktion wirtschaftlich ist. Zurzeit sind in der Mehrheit der Entwicklungsländer jedoch die Kosten der Anpflanzung und Ölproduktion aus *J. curcas* drei bis zehn Mal höher als der Verkaufspreis von Diesel und Kerosin. Beispielsweise betrugen in Tansania im Jahr 2008 die Kosten zur Produktion eines Liter Biodiesels aus *J. curcas* ohne Steuern 0,74 US$ im Vergleich zum fossilen Diesel mit Steuern und Abgaben 0,80 US$ pro Liter (Romijn & Caniels 2011). Dies weist darauf hin, dass 2008 auch die Produktionskosten von Öl aus *J. curcas* nicht wettbewerbsfähig mit Kerosin oder Diesel waren. Dabei sind die Kosten der Biodieselproduktion aus *J. curcas* je nach Anbaugebiet und Ölgewinnungsverfahren sehr unterschiedlich hoch. So wurden die Produktionskosten bei drei unterschiedlichen Methoden bzw. Fertigungsverfahren (industriell, Handpresse und Motorpresse) in zwei Ländern (Indien und Simbabwe) bei einer Studie zur Wirtschaftlichkeit der Biodieselproduktion aus *J. curcas*-Öl im Jahr 2000 ermittelt. Das indische Beispiel hatte die höchsten Kosten (72,89 US Cents per Liter Öl), obwohl die Maschinenkosten dabei nicht berücksichtigt wurden und das Fertigungsverfahren industriell

war. Im simbabwischen Fall bei der Produktion mit der Handpresse betrugen die Kosten 68,18 US Cents per Liter Öl. Das Beispiel der Biodieselproduktion mit der Motorpresse als Fertigungsverfahren wies die niedrigsten Kosten (65,45 US Cents per Liter Öl) auf. Die drei Beispiele belegen, dass die Kosten der Ölproduktion aus *J. curcas* mit den Kosten von Kerosin und Diesel noch nicht konkurrenzfähig sind (Kerosin: 7,10 US Cents per Liter in Indien und 11,37 US Cents per Liter in Simbabwe sowie fossiler Diesel 16,57 US Cents per Liter in Indien und 25,03 US Cents per Liter in Simbabwe) (Openshaw 2000: 13).

Die großen Kostenunterschiede zwischen Biodiesel aus *J. curcas* und fossilen Brennstoffen sind ein Entwicklungshemmnis für die Nutzung von *J. curcas* zur Biodieselproduktion. Offenbar ist Biodiesel aus *J. curcas* noch nicht wirtschaftlich. Gleichwohl berücksichtigen ältere Untersuchungen nicht, dass der Dieselpreis von der Regierung in Entwicklungsländern normalerweise subventioniert wird und der Ölpreis in den letzten Jahren stetig angestiegen ist – ein weiterer Anstieg könnte auch *J. curcas* wirtschaftlicher machen. Für die Wirtschaftlichkeit von Biodiesel aus *J. curcas* sind ihre verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten zu berücksichtigen. Aber es muss dabei geprüft werden, ob sie in die Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einbezogen werden können, um zu einem rentablen Anbau beizutragen. Laut Openshaw gibt es bislang jedoch keine Strategien, um die wertvollen Potenziale und die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten von *J. curcas* zu fördern und der Markt für die unterschiedlichen Produkte von *J. curcas* ist noch nicht bestimmt (Openshaw 2000: 2).

2.4 Standortvoraussetzungen zum Anbau von *Jatropha curcas* in Bolivien

J. curcas ist in der tropischen Region der Chiquitania[13] einheimisch (Lachner-Eitzenberger 2006). Daher kann die bolivianische tropische Region der Chiquitania

[13] Die Chiquitanos gehören zu „der Nation der Chiquitos“, die Ende des 17. Jahrhunderts in den Missionsstationen der gleichnamigen Provinz im nordostbolivianischen Tiefland lokalisiert wurde. Traditionell wird die *Jatropha curcas*-Pflanze von den Ureinwohnern „Chiquitanos“ als medizinisches Mittel benutzt (Lachner- Eitzenberger 2006).

als natürlicher Standort von *J. curcas* angesehen werden. Dort beträgt der Jahresdurchschnitt des Niederschlages 1.200 mm und die Jahresdurschnitts-Temperatur liegt bei 25 °C. In dieser Region ist *J. curcas* nicht nur als wilde Pflanze gefunden worden, sondern auch in privaten Gärten. Sie wird von Kleinbauern angebaut, die Früchte werden per Hand geerntet und gehandelt (Pfahler 2011).

In den Dörfern der Region wird *J. curcas*, von der bolivianischen Bevölkerung Piñon genannt, hauptsächlich als Medizinpflanze verwendet. So wird der Saft der Pflanze für Wundbehandlung und als Insektizid, das Öl als Abführmittel und die ganze Pflanze als Zaun zum Schutz von Feldern sowie Gärten genutzt (Lachner-Eitzenberger 2006).

2.4.1 Mögliche Anbaugebiete für die *Jatropha curcas*-Pflanze in Bolivien

Die Daten-Sammlung für diese Studie basiert auf einem Forschungsaufenthalt der Autorin in Bolivien im Jahr 2010 und basiert ferner auf Informationen von Pfahler, der im Jahr 2011 in Bolivien forschte (und im Vorfeld seiner Datenerhebung im Kontakt und Austausch mit der Autorin stand) Beim zweiten Forschungsaufenthalt lagen schon mehr Erfahrungen vor, weil die Entwicklung der *J. curcas*-Plantagen in der Agrarversuchsstation des Departamentos Santa Cruz zwei Jahre nachfolgend untersucht wurde.

Im Bezirk Santa Cruz wird seit 2008 ein Forschungsprojekt zur Biodieselproduktion aus heimischen Ölpflanzen, vor allem mit *J. curcas*, vom Forschungszentrum für Tropenlandwirtschaft (Centro de Investigación Agrícola Tropical, CIAT) durchgeführt (Castro-Gonzáles 2012). Im Projekt werden mögliche Gebiete zum Anbau von nativen Ölpflanzen für die Biodieselproduktion identifiziert (vgl. Abbildung 2.8). Dafür wird nach klimatischen Charakteristiken die bolivianische Landfläche in vier Makroregionen (Ökoregionen) unterteilt: Tropisch humid, Chaco, Täler der Ostabdachung der Anden und Hochland des Altiplano. Das Ergebnis der Untersuchung zeigt, dass die tropisch humide Region, der Chaco und die Täler Potenzial für den Anbau von *J. curcas* aufweisen (Pfahler 2011). Das Forschungszentrum für Tropenlandwirtschaft betreibt in Bolivien *J. curcas*-Plantagen auf rund 1.500 ha, die sich jedoch im Experimentalstadium befinden und noch nicht kommerziell genutzt werden (Pfahler 2011). Die Forschungsplantagen des CIAT zu *J. curcas* befinden sich alle innerhalb des Departamentos Santa Cruz im tropischen bis subtropischen Bereich (General Augustin

Saavedra, Okinawa und Montero) und im Gebiet des Chaco (Landgemeinde: Cabezas, Charagua und Camiri).

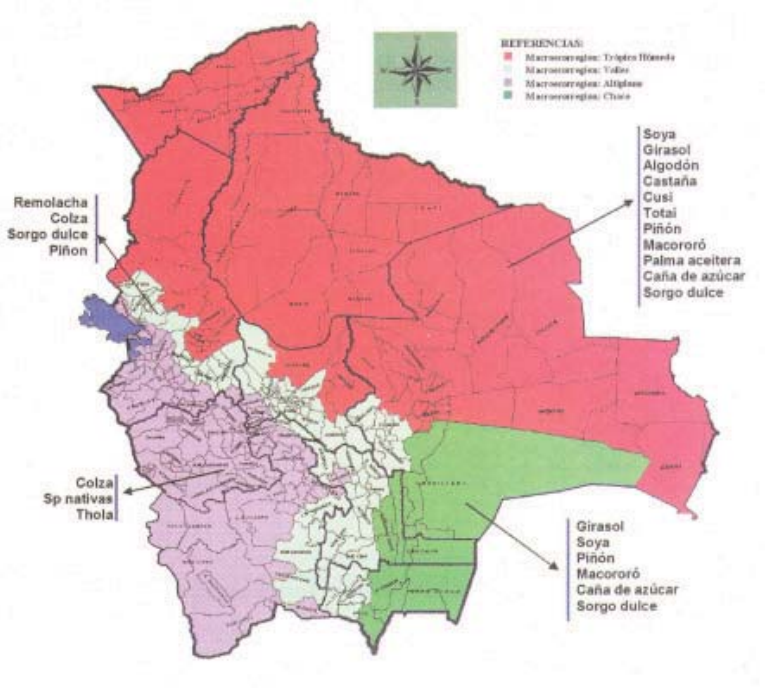


Abbildung 2.8: Potentielle Anbauflächen für Biokraftstoffpflanzen (Pfahler 2011)

2.4.1.1 Untersuchung von *Jatropha curcas*-Anbau in der Agrarversuchsstation Saavedra

Für die Recherche zu dieser Arbeit erhielt die Autorin dieser Arbeit nur die Genehmigung, die Forschungsplantage der Agrarversuchsstation Saavedra zu besuchen. Die Agrarversuchsstation Saavedra von CIAT liegt 75 Kilometer von der Stadt Santa Cruz entfernt und ca. 373 m ü. N.N. Die Größe des Feldversuchs von *J. curcas* ist 1 ha. Zum Anbau von *J. curcas* wurden Samen aus Brasilien und Indonesien importiert und dann vor Ort zum Keimen gebracht (vgl. Abbildung 2.10 b). Die aus den Samen gezogenen Keimlinge wurden vor 2 Jahren auf das Feld verpflanzt.

Auf Grund des gleichmäßig feuchten Klimas der Region Santa Cruz werden die Pflanzen von *J. curcas* nicht bewässert. Tabelle 2.11 und Abbildung 2.9 zeigen durchschnittliche, minimale und maximale Temperatur und Niederschlag von der Region Santa Cruz.

Tabelle 2. 11: Statistische Parameter der Klimastation im Departmento Santa Cruz

Monat	D T (°C)	Min T (°C)	Max T (°C)	Niederschlag (mm)
Jan	26,7	21,8	31,7	199
Feb	26,7	21,7	31,8	133
Mar	26,0	20,9	31,3	114
Apr	24,3	18,9	29,8	90
Mai	22,2	17,3	27,2	81
Jun	20,4	15,6	25,2	70
Jul	21,0	15,6	26,4	50
Aug	22,5	16,5	28,6	48
Sep	24,8	18,8	30,9	60
Okt	26,0	20,1	31,1	97
Nov	26,8	21,2	32,5	139
Dez	26,8	21,6	31,5	180
Nach Pfahler 2011: 65				

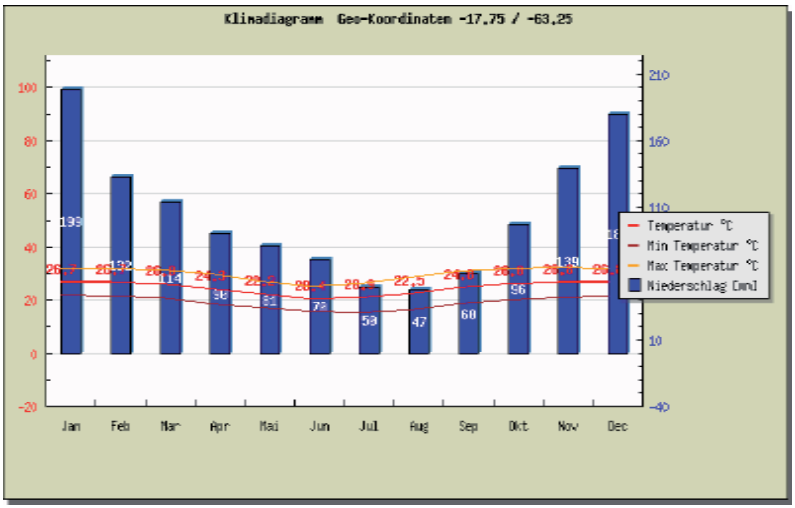


Abbildung 2.9: Klimadiagramm Santa Cruz (Pfahler 2011)

Der Boden in General Augustin Saavedra ist lehmig (vgl. Abbildung 2.10 d; 2.11 a) und tiefgründig. Das kann ein großes Problem für die Pflanzen bei starkem Niederschlag sein. Deswegen muss er für den Anbau von *J. curcas* drainiert werden, um Staunässe zu vermeiden. Der Nährstoffgehalt des Bodens ist hingegen sehr gut, so dass sich die *J. curcas*-Pflanzen gut entwickeln können und auf eine Düngung des Bodens verzichtet werden kann (Pfahler 2011).

a) Agrarversuchsstation Saavedra von CIAT

b) Keimlinge (plántulas) der *J. curcas*-Pflanze

c) Feldversuch von *J. curcas*

d) Entwicklung der *J. curcas*-Pflanze

Abbildung 2.10: Feldversuch von *J. curcas* (zum Zeitpunkt der Aufnahme ein Jahr alt) in der Versuchsstation Saavedra des Bezirks Santa Cruz (eigene Fotos)

Auf dem Foto 2.10 d ist zu erkennen, dass einige Pflanzen es nicht geschafft haben, sich zu entwickeln, aber die Mehrheit von ihnen hat ein homogenes Wachstum (ca. 110 cm) in ersten Jahr des Feldversuches erreicht. Es zeigen sich keine großen Unterschiede bei der Entwicklung der kleinen *J. curcas*-Pflanzen aus brasilianischer Her-

kunft sowie aus indonesischer Herkunft (Castro-Gonzáles 2012; Pfahler 2011). Die Biomasse der Pflanzen hat innerhalb dieses Zeitraums stark zugenommen (vgl. Abbildung 2.10 a-d). Damit sind die Pflanzen von *J. curcas* nach einem Jahr gut gewachsen, obwohl sie durch Insekten geschädigt wurden.

Ein mögliches Problem, das auf die *J. curcas*-Entwicklung negativ wirken kann, ist Frost. In der Agrarversuchsstation Saavedra wird er durch den Surazo[14] verursacht (Pfahler 2011). Die Surazos dauern in der Regel wenige Tage, können aber auch bis zu zwei Wochen das Wetter bestimmen (Krüger 2005). Entlang dieser Tage können die Temperaturen deutlich sinken (ungefähr auf 10 °C) und sie könnten die Entwicklung der Pflanzen negativ beeinflussen. Surazos finden normalerweise im Winter (21. Juni - 21. September) statt.

Zwar können die Pflanzen von *J. curcas* die Surazos überleben, aber ihre Blüten sterben ab, was zu einem Ertragsausfall führt. Deshalb eignen sich lediglich frostfreie Gebiete zum Anbau von *J. curcas*. Beispielsweise waren in Jahr 2010 in den südlichen *J. curcas*-Plantagen (Region des Chacos) Probleme mit Frost und Trockenheit zu verzeichnen, obwohl sich die Plantagen nicht im klimatischen Risikogebiet des Chacos befinden (Pfahler 2011). Fröste sind in dieser Region aufgrund der Höhe unüblich und *J. curcas* ist an die Trockenzeit dieser Region angepasst und trotzdem kam es zu Schäden an den Pflanzen kommen (Pfahler 2011).

Auftretende Krankheiten und Insektenbefall an den Früchten (vgl. Abbildung 2.11 b-c) haben nur geringe Auswirkungen auf den Ertrag und das Wachstum der *J. curcas*-Pflanzen. Eine Schädlingsbekämpfung ist daher nicht nötig (Pfahler 2011). Krankheiten und Insektenbefall stellen somit auf der Anbaufläche kein Problem dar. Die einzigen eingesetzten Pestizide sind daher Herbizide zur Beikrautunterdrückung (Pfahler 2011).

[14] Verdrängung der feucht-warmen Luft durch Kaltluftfronten aus dem Süden Boliviens (vom Südpol). Dieser Effekt drückt sich in kurzfristigen, deutlichen Temperaturabfällen begleitet von Niederschlägen und starken Winden aus (Krüger 2005).

a) *J. curcas*-Plantage

b) Käfer als Schädlinge der *J. curcas*-Pflanze

c) Pilz als Schädling der *J. curcas*-Pflanze

Abbildung 2.11: Pilotprojekt von der *J. curcas*-Plantage und ihre Schädlinge in der Versuchsstation Saavedra des Bezirks Santa Cruz (eigene Fotos)

Neben Versuchen zum Anbau soll in einer weiteren Phase des Pilotprojekts die Gewinnung von Öl aus den *J. curcas*-Samen zur Biodieselproduktion durch das CIAT untersucht werden. Allerdings ist die Montage der Anlage zur Ölgewinnung noch nicht erfolgt und daher war die Presse im Jahr 2011 immer noch nicht im Betrieb. Lediglich das Gebäude wurde bislang errichtet (vgl. Abbildung 2.12 a; b). Detaillierte technische Informationen über die Anlage stehen daher nicht zur Verfügung.

a) Anlage für experimentelle Produktion von Biodiesel

b) Innenraum für die mechanische Presse zur Ölgewinnung von *J. curcas*-Samen

Abbildung 2.12: *J. curcas*-Biodieselanlage in der Versuchsstation Saavedra des Bezirks Santa Cruz (eigene Fotos)

Erste Ergebnisse von Untersuchungen zum Ölgehalt der Samen beider Herkünfte belegen, dass der Ölgehalt des brasilianischen Samens mit 40 % leicht höher ist als der des indonesischen. Dies bedeutet, dass die Leistung der Pflanzen nicht optimal ist. Die jungen Pflanzen weisen dabei noch keinen hohen Ertrag des Samens auf. Normalerweise wird sich aber die Produktion von *J. curcas*-Pflanze im Lauf der Zeit steigern (vgl. Unterkapitel 2.2.1.3).

Die Pflanzen von *J. curcas* sind nach einem Jahr relativ gut gewachsen, obwohl sie von kleinen Tieren geschädigt sind. Die Biomasse der Pflanzen hat innerhalb dieses Zeitraums stark zugenommen (vgl. Abbildung 2.13 a-d).

Schwerpunkte der Forschung des CIAT sind damit die **Wirtschaftlichkeit des Anbaus von** *J. curcas* **und die Nutzung der Pflanzen**. Dabei spielen die Vermarktung und vor allem der Umgang mit *J. curcas* eine wichtige Rolle. Da die Pflanzen von *J. curcas* über das ganze Jahr blühen und es verschiedene Reifegrade einer Pflanze gibt (vgl. Abbildung 2.4), ist der Einsatz von Maschinen stark erschwert. Aus diesem Grund muss eine ganzjährige Ernte erfolgen und entsprechende Arbeitskraft zur Verfügung stehen. Aber die Ernte per Hand kann unwirtschaftlich sein (Castro-Gonzáles 2012). Daher ist es bei dem aktuellen Forschungsstand nur dann wirtschaftlich sinnvoll, *J. curcas* anzubauen, wenn die Pflanze im Rahmen eines Familienbetriebes kultiviert wird und die Größe der *J. curcas*-Plantage maximal zwischen 3-5 ha beträgt (Pfahler 2011).

Eine bislang unerledigte Aufgabe des Pilotprojekts bei der Prozesskette der Biodieselproduktion aus *J. curcas* ist in diesem Zusammenhang auch die Nutzung der Presskuchen, die die Rentabilität steigern könnte. Es wird überlegt, ob sich der Presskuchen als Viehfutter eignet oder als Dünger auf der Plantage zu verwenden ist. Doch ist dazu wahrscheinlich die **Toxizität der Pflanzen** ein Hindernis. Deswegen wird bei dem Ölgewinnungsprozess versucht, das gesamte Öl des Samens zu extrahieren, um die Öl-Reste möglichst gering zu halten (Pfahler 2011). Zur Verhinderung der Toxizität des Öls und Presskuchens werden von CIAT zwei Alternativen in Betracht gezogen: Die erste wäre Pflanzen zu züchten, die nicht toxisch sind (z. B. auf Basis einer existierenden ungiftigen *J. curcas*-Sorte in Mexiko). Die zweite Alternative wäre, den Presskuchen zu entgiften. Aber die Forschung in Bolivien in diesem Bereich ist noch nicht weit fortgeschritten und es ist nur bekannt, dass die toxischen Inhaltstoffe von *J. curcas*-Samen durch eine Hitzebehandlung reduziert bzw. entfernt werden können, ähnlich wie bei Macadamia-Nüssen (Proteaceae) (Pfahler 2011).

Ein offizieller Endbericht des Pilotprojekts mit technischen Informationen und Ergebnissen zum Verhältnis von *J. curcas* zu den klimatischen Bedingungen der Region sowie eine Abschätzung des Potenzials der Region zum *J. curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion im großen Maßstab und den Standortbedingungen zum Anbau von *J. curcas* stehen bislang nicht zur Verfügung.

a) *J. curcas*-Plantage des CIAT

b) Früchte verschiedener Reifegrade an einer *J. curcas*-Pflanze

c) Schädling

d) *J. curcas*-Strauch

Abbildung 2.13: Feldversuch von *J. curcas* (zum Zeitpunkt der Aufnahme 2 Jahre alt) in der Versuchsstation Saavedra des Bezirks Santa Cruz (Pfahler 2011)

3 Bolivien als Fallstudie - Ergebnisse der Situationsanalyse des Untersuchungsgebietes El Gran Chaco in Santa Cruz

Bolivien (plurinationaler Staat seit 2009) liegt in zentraler Lage in Südamerika und breitet sich von den Anden bis zum Amazonas-Regenwald aus. Bolivien gliedert sich naturräumlich in drei Regionen: Hoch-, Tal- und Tiefland, und verfügt damit über eine Vielfalt von klimatischen Regionen. Die Landesfläche beträgt 1.083.300 km². Bolivien hat eine geringe Bevölkerungsdichte (10,3 Einwohner pro km^2) (INE Censo2012 2014). Seine geographische Lage als Nachbarland des weltweit größten Ethanolproduzenten Brasilien könnte ein besonderer strategischer Vorteil vor allem im Bereich der Wirtschaftlichkeit bei der Biokraftstoffproduktion sein.

Etwa 3,5 % der Gesamtfläche Boliviens ist Ackerfläche (rd. 4 Mio. ha) (The World Bank 2010). Davon liegen 1,83 Mio. ha im Bezirk Santa Cruz. Dies entspricht ca. 69 % der bolivianischen Gesamtackerfläche. Der Rest der Ackerfläche (ca. 31 %) gehört zu den anderen acht Bezirken Boliviens (Cochabamba (ca. 9 %), Chuquisaca (>7 %), Tarija (>3,5 %), Potosí (ca. 5 %), Oruro (ca. 3 %), Beni (>2,5 %), La Paz (ca. 1 %) und Pando (ca. 1 %)) (CAO 2006; FAO 2009b; Pfahler 2011). Santa Cruz ist der Motor der Wirtschaft Boliviens wegen der dort liegenden Erdgasvorkommen und der hohen landwirtschaftlichen Produktion und Verarbeitung der landwirtschaftlichen Produkte (tropische Erzeugnisse wie Zuckerrohr, Tabak, Soja). Andererseits verfügt Santa Cruz über ein großes Gebiet, in dem die Böden durch Erosion unfruchtbar geworden sind und wo die Landwirtschaft nicht entwickelt wurde (z. T. El Gran Chaco) (UNO 2006).

Für die hier dargestellte Arbeit wurde die zum Bezirk Santa Cruz gehörende Region El Gran Chaco im Tiefland Boliviens als UG ausgewählt, weil sie eine große erodierte Fläche aufweist. Das Tiefland erstreckt sich vom ostbolivianischen Bergland bis an die Landesgrenzen nach Brasilien und Paraguay. Dieses, nur äußerst dünn besiedelte, tropisch heiße Gebiet untergliedert sich in die trockenen Savannen des Gran Chaco und die tropischen Regenwaldgebiete Amazoniens. Die Höchsttemperatur liegt zwischen 30 und 33 °C und die Tiefsttemperatur zwischen 19 und 21 °C (INE Bolivia 2006). Im Tiefland Boliviens ist die Abholzung ein kritisches Umweltproblem. Größtenteils ist sie Folge der Sojabohnenproduktion und Viehhaltung. So wurden z. B. 3,6 Mio. ha Wald von Mitte der 1970er-Jahre bis zum Jahr 2000 abgeholzt (Pacheco 2006).

3.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes: El Gran Chaco in Santa Cruz

EL GRAN CHACO SUDAMERICANO

Der Gran Chaco Boliviens liegt auf einer Höhe zwischen 125 und 2.194 m ü. N.N. (vgl. Karte 1/10, s. Kartenanhang S. 225), die jährliche Niederschlagsmenge liegt zwischen 800 und 900 mm und die Jahrestemperatur liegt bei 22 bis 24 °C. Eine Besonderheit sind die für das Tiefland stark ausgeprägte Trockenzeit und die starken Schwankungen zwischen der Tages- und Nachttemperatur. Da nur wenige ausschließlich in der Trockenzeit befahrbare Straßen existieren, ist das Gebiet des Chacos eher schlecht an das Verkehrsnetz angebunden (UNO 2006).

Ähnlich der Tiefebene des Beni spielt der Ackerbau im Gran Chaco keine wesentliche Rolle, jedoch ist die extensive Haltung und Zucht von Rindern und Pferden stark ausgeprägt. So ist der Gran Chaco das drittwichtigste Viehzuchtgebiet Boliviens (Pfahler 2011). Zudem ist El Gran Chaco Sudamericano das zweitgrößte Waldgebiet Südamerikas nach dem Amazonas.

Das Gebiet El Gran Chaco erstreckt sich über vier Länder mit ca. 1.000.000 km², von denen 13 % zu Bolivien gehören. Der bolivianische Anteil des El Gran Chaco Sudamericano liegt in der südöstlichen Region Boliviens und nimmt 12 % der Bodenfläche Boliviens ein (vgl. Abbildung 3.1).

Das 127.667 km^2 große Gebiet erstreckt sich über drei Bezirke: Santa Cruz, Tarija und Chuquisaca. Von dem gesamten Gebiet El Gran Chaco Boliviens gehören 67 % zu Santa Cruz (84.825 km^2), 18 % zu Tarija (23.776 km^2) und 15 % zu Chuquisaca (19.066 km^2). In dem Gebiet gibt es insgesamt 16 Landgemeinden (Municipios), die das Mancomunidad del Chaco Bolivano (MANCHABOL) bilden (UNO 2006). Von den 16 Landgemeinden gehören sieben (Camiri, Lagunillas, Cabezas, Gutierrez, Cuevo, Charagua, Boyuibe) zu Santa Cruz (vgl. Tabelle 3.1).

Geographische Lage von El Gran Chaco Sudamericano

Geographische Lage von El Gran Chaco Boliviano

Abbildung 3.1: Geographische Lage der Region El Gran Chaco und des Untersuchungsgebietes (TNC FVSA DeSdelChaco WCS 2005)

Die Landgemeinde Charagua ist die größte von ihnen und verfügt über einen Großteil des Untersuchungsgebietes (>85.5 %). Dies entspricht 7.175.238 ha (71.752 km^2). Den Rest der Fläche von 1.307.636 ha (13.076 km^2; <15,5 %) haben die sechs Landgemeinden (Cabezas, Gutierrez, Boyuibe, Lagunillas, Camiri und Cuevo).

Tabelle 3.1: Landgemeinden des Bezirks Santa Cruz im El Gran Chaco Boliviano

N°	Landgemeinde	Fläche (km^2)	Fläche (ha)	Anteil am UG (%)
1	Charagua	71.752	7.175.238	84,6
2	Cabezas	5.530	553.040	6,5
3	Gutiérrez	2.839	283.983	3,3
4	Boyuibe	1.823	182.370	2,1
5	Lagunillas	1.149	114.949	1,4
6	Camiri	989	98.944	1,2
7	Cuevo	743	74.350	,9
Gesamte UG-Fläche		84.825	8.482.874	100,0
Nach UNO 2006				

3.2 Ökologische und sozioökonomische Probleme

Das UG El Gran Chaco verfügt über unterschiedliche Topographien. Einerseits bietet es damit eine Vielfalt an Natur, Klima und unterschiedlichen geographischen Regionen sowohl mit feuchten und trockenen Bereichen als auch Bergwald (vgl. Abbildung 3.2 a-c) mit einer großen Diversität an Pflanzen- und Tierarten. Andererseits hat diese

a) National- und Naturpark Kaa-Iya del Gran Chaco in Bolivien
Quelle: Stiftung Simón Patiño

b) Landschaft mit erodierten Böden
Photo: Gonzales V. F.

c) Beweidete Trockenlandschaft mit erodierten Böden
Quelle: GTZ& BMZ o. J.

d) Erodierte Weidelandschaft
Photo: Gonzales V. F.

Abbildung 3.2: Unterschiedliche Landschaften des El Gran Chaco

Region viele ökologische Probleme wie die Abholzung von Wäldern und die Kontamination von Grund- und Oberflächenwasser (TNC FVSA DeSdelChaco WCS 2005: 4).

So liegt in der Region der National- und Naturpark Kaa-Iya del Gran Chaco (ursprüngliche Regenwälder), der nicht nur die wichtigste geschützte Fläche Boliviens, sondern auch Südamerikas ist (General Books LLC 2010: 1-50). Seine Fläche umfasst 3.441.115 ha (SERNAP o. J.). Im Kontrast zu diesem Park, gibt es großflächig erodierte Flächen, auf Grund derer das UG ausgewählt wurde (vgl. Abbildung 3.2 b-d).

Insgesamt befinden sich im UG Teile von drei Schutzgebieten: Neben dem größten und zentral im UG gelegenen Teil, dem National- und Naturpark Kaa-Iya del Gran Chaco, liegt im Osten des UG der Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Otuquis. Ein kleiner Bereich des Parque Regional Lomas de Arena ist im nordwestlichsten Bereich des UG zu finden (vgl. Karte 1/10, s. Kartenanhang S. 225). Die Schutzgebiete sind Naturreservate und Regenwälder, die schon bei der Studie der bolivianischen Regierung und beim Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (Plan de ordenamiento territorial Macroregional del Chaco Boliviano) analysiert wurden (UNO 2006).

Karte 1/10 (s. Kartenanhang S. 225) zeigt in der Übersicht die wichtigsten topographischen Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes. Die sechs westlichen Landgemeinden (Cabezas, Gutierrez, Boyuibe, Lagunillas, Camiri und Cuevo) und der westliche Teil Charaguas sind in ihrem Relief vor allem von Ausläufern der Vorgebirgsketten der südlichen Cordillera Central geprägt, während das Relief in Richtung Osten immer weiter abflacht. Karte 4/10 zeigt die Vegetationsbedeckung des Untersuchungsgebietes. Charaguas Oberfläche wird hauptsächlich von Wald und Gebüsch bedeckt, mit kleineren "Einsprengseln" von Ackerflächen und Weideland sowie krautigen Pflanzen. Die westlichen Landgemeinden sind größtenteils von Wald, aber auch von etwas Gebüsch bedeckt. Ackerfläche und Weideland befinden sich insbesondere im nordwestlichen Teil des UG in der Landgemeinde Cabezas. Stehende Gewässer finden sich vor allem zentral im Kaa-Iya-Schutzgebiet.

Insgesamt hat das UG keine günstigen klimatischen Bedingungen für den Anbau von Nahrungsmitteln und Pflanzen im großen Maßstab. Bislang wird dort Gemüse auf kleinen Flächen primär für die Ernährung der eigenen Familie angebaut. Diese kleinen Flächen sind von fortgeschrittener Erosion bedroht (UNO 2006).

Ein weiteres Umweltproblem stellt die **Verschmutzung der Flüsse** durch Abfall und Abwässer dar. Damit ist die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser im UG stark bedroht und die Möglichkeiten zum Anbau von Nahrungsmitteln mit Hilfe von Bewässerung sind eingeschränkt. So haben insgesamt nur 59 % der Bewohner des ganzen bolivianischen Chacos Zugang zu einem Wasserversorgungssystem in MANCHABOL (Mancomunidad del Chaco Boliviano). 41 % der Bevölkerung müssen sich selbst entweder mit Regenwasser durch kleine Stauseen, Behälter bzw. Zisternen, mit Grundwasser durch Brunnen oder mit Wasser aus den Flüssen versorgen. Beispielhaft zeigt Abbildung 3.3 eine Zisterne aus Asbestzement (Kapazität: 2.000 Liter für 130 Familien) und einen Stausee, der benutzt wird, um das Regenwasser für menschlichen Verzehr und für die Viehhaltung in dem kleinen Dorf Ivitipona der Landgemeinde Charagua zu sammeln (UNO 2006).

Große Umweltkonflikte ergeben sich in der Region darüber hinaus durch die **Abholzung** und die **Übernutzung** und **Zerstörung des Bodens**. So verursacht die Abholzung von Bäumen zur Nutzung vor allem von Edelhölzern und damit die Zerstörung der natürlichen Vegetation Bodenerosionen. Daneben gibt es das Phänomen der Brandrodung **Chaqueo**: Chaqueo ist ein traditionelles Verfahren, um die Qualität des Bodens für die landwirtschaftliche Aktivität und Viehhaltung zu verbessern. Das Chaqueo-Feuer kann nicht kontrolliert werden, weil die Flächen zur Brandzeit trocken sind. Dies führt zu einer schnellen Brandausbreitung und zur extremen, großflächigen Vernichtung der Vegetation (FOBOMADE o. J.). Starke Belastungen für die Umwelt gehen im UG auch von der **unkontrollierten Ausbreitung der landwirtschaftlichen Flächennutzung** aus. Insbesondere nimmt die **Zahl der landwirtschaftlichen Betriebe** für die Viehhaltung zu. Darüber hinaus findet ein stetiger Ausbau von **Infrastruktur für die Ölindustrie** statt (Casal 2010: 1-2; GTZ & BMZ o. J; TNC FVSA DeSdelChaco WCS 2005: 12; UDAPE 2010).

Alle genannten Umweltprobleme führen gleichzeitig zu **sozialen Konflikten** und starker Auswanderung. Grund dafür sind die schlechten Grundlebensbedingungen für die Einwohner. Junge Einwohner der Region müssen auswandern, um bessere Lebensmöglichkeiten zu erhalten. Mehr als 50 % der Bevölkerung, laut UDAPE sogar 78 % der Bevölkerung, leben in Armut (UDAPE 2010).

Die **Bevölkerungsdichte** der Landgemeinden, die zum Bezirk Santa Cruz gehören, ist sehr unterschiedlich: Charagua ist die am Wenigsten besiedelte Landgemeinde des

Zisterne im Dorf Ivitipona (Charagua)

Typische Wohnung auf dem Land in El Gran Chaco

Ipatimiri del municipio de Gutierrez

Stauseen für die Viehhaltung

Maisanbau

Abbildung 3.3: Das Leben in der Region El Gran Chaco Boliviano (Photos Gonzales V. F.)

Untersuchungsgebietes (0,34 Einwohner pro km²), weil der Wassermangel dort ein akutes Problem ist und sowohl die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser als auch landwirtschaftliche Nutzungen sehr eingeschränkt sind. In Gegenteil dazu ist Camiri viel dichter besiedelt (31,2 Einwohner pro km²) (vgl. Tabelle 3.2). Ursache hierfür ist die bisherige Nutzung der größten Erdölvorkommen Boliviens, die sich in Camiri finden. Doch geht der Arbeitskräftebedarf in Bezug auf die Erdölindustrie zurück. Auch verschlechtern sich in Camiri zunehmend die Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Flächennutzung. Ursache hierfür ist eine zunehmende Degradierung des Bodens, die durch starke Viehhaltungsaktivität verursacht ist. Einige Landgemeinden der Region El Gran Chaco wie Yacuiba, Villamontes, Machareti, Cuevo* und Cabezas* (*Landgemeinden, die zum UG gehören) sind für die Einwohner zur Einwanderung attraktiver geworden, weil die Wirtschaft dieser Landgemeinden durch Agrar- und Handelsaktivitäten und fossile Energieindustrie belebt wird (UNO 2006: 25, 29, 30).

Tabelle 3.2: Bevölkerungsdichte im El Gran Chaco Santa Cruz

Landgemeinde	Bevölkerung	Bevölkerungsdichte
Charagua	24.427	0,34
Cabezas	22.296	4,03
Gutiérrez	11.393	4,01
Boyuibe	4.031	2,21
Lagunillas	5.283	4,59
Camiri	30.897	31,2
Cuevo	3.406	4,58
Nach UNO 2006		

Im Zusammenhang mit der geringen Bevölkerungsdichte und der damit verbundenen verstreut lebenden Bevölkerung, ist die Strom- und Wassergrundversorgung aller Bewohner im UG nicht realisierbar. Dabei ist der Anteil der Bevölkerung, der bisher Zugang zu Elektrizität, Trinkwasser und Entwässerung von Abwasser hat, in den Landgemeinden des Untersuchungsgebietes sehr unterschiedlich (vgl. Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3: Anteil der Bevölkerung mit Grundversorgung im UG El Gran Chaco in Santa Cruz

Landgemeinde	Elektrizität (%)	Trinkwasser (%)	Entwässerung von Abwasser (%)
Charagua	23	53	59
Cabezas	8	36	87
Gutiérrez	11	51	31
Boyuibe	44	68	75
Lagunillas	21	60	41
Camiri	71 (10)*	89	87
Cuevo	37	63	57

Anmerkung: (*) 71 % Elektrizität in der Stadt Camiri und 10 % auf dem Land. Dort nutzen die Menschen Holz zum Kochen.

Eigene Darstellung auf Basis von UNO 2006: 36

3.2.1 Geomorphologie

El Gran Chaco Boliviano hat verschiedene Landschaften wie Bergländer (Serrania), Berge (Montaña), Hügelland (Colina), Sukzessionswälder (Piedemonte), Täler (Valle) und überwiegend Flachland (Llanura). Wegen der Verschiedenheit an physiographischen Merkmalen, Höhen, Klimazonen und Vegetationen von El Gran Chaco Boliviano, umfasst das Gebiet drei unterschiedliche Naturräume (physiographische Provinzen): Subandino (72 % ihrer Fläche), Llanura Chaco-Beniana (27 % ihrer Fläche) und Cordillera Oriental (östliche Gebirgskette) (1 % ihrer Fläche, es handelt sich dabei um ein Flussbett) (UNO 2006). Das Letztere umfasst die Region Chacos des Bezirks Santa Cruz (UG) nicht. Aus diesem Grund werden sich die folgenden Beschreibungen auf die zwei physiographischen Provinzen Subandino und Llanura Chaco-Beniana fokussieren.

Tabelle 3.4 fasst die geomorphologische Beschreibung des Untersuchungsgebietes zusammen (UNO 2006).

Tabelle 3.4: Geomorphologie des Untersuchungsgebietes El Gran Chaco in Santa Cruz

Physiographische Provinz	Landgemeinde	Landschaft	Höhe (m ü. N.N.)	Beschreibung
Subandino	Cuevo, Lagunillas, Gutierrez, Camiri, östliche Seite von Boyuibe, Charagua, Cabezas	Bergland, Hügelland, Tal-Ebene, Flachland und Sukzes-sions-wald	Hügelland: 600-2.500, Bergland: 650-2.900, Tal: 600-1.880	Topografie: 66 % der Fläche ist Bergland, 20,5 % Hügelland, 9 % Sukzessionswald, ca. 3 % Tal, 1 % Flachland und 0,5 % Ebene.
Llanura Chaco-Beniana	Cabezas, Charagua, Boyuibe	Ebene, Bergland, Tal	Keine Angabe*	Es liegt östlich und südöstlich von El Gran Chaco Bolviano. Die Topografie breitet sich vom mittel- -und östlichen Bereich der Landgemeinde von Charagua aus. Das Tal ist im Osten von Charagua.
Anmerkung: *Keine weitere Information zur Verfügung Eigene Darstellung auf Basis von UNO 2006: 56				

3.2.2 Klima

Das Klima ist im Gran Chaco nicht gleichartig wegen seiner unterschiedlichen Naturräume (vgl. Unterkapitel 3.1). Zum größten Teil hat der Chaco trocken-heiße klimatische Bedingungen. Im Tiefland des Chacos gibt es Regionen mit subtropisch-semiariden Bedingungen. Im Gran Chaco gibt es starke Hitze in den Sommermonaten und die relative Luftfeuchte schwankt im Jahr zwischen 55 % und 80 %, wobei niedrige Werte ausschließlich im Chaco-Tiefland auftreten (Krüger 2005: 15-17).

Die Regenzeit im Gran Chaco ist von Oktober bis April und die Trockenzeit bzw. Niedrigwasserperiode von Mai bis September. Der jährliche Niederschlag schwankt von 1.500 bis <238 mm. Dabei beträgt die Verdunstung >1.500 mm in der Landgemeinde Cabezas (UNO 2006: 93).

3.2.3 Boden und Erosion im Gran Chaco

BODEN

Der Boden des Chacos ist zu großen Teilen salzhaltig (UNO 2006: 66). Im Gran Chaco sind zunehmend Aridisole ausgebildet. Als Bodenart dominiert schluffiger Lehm. Dieser ist gekennzeichnet durch mittlere Austauschkapazitäten, hohe

Basensättigungen (BS) und schwach saure bis schwach alkalische Bodenreaktionen (Krüger 2005). Entsprechend einer Analyse des Bodens schwankt der pH-Wert des Bodens im Subandino zwischen 6,1 bis 7,2 (schwach sauer bis neutral) sowie im Llanura Chaco-Beniana von 7,2 bis 8,6 (neutraler bis mäßig basischer Boden) (UNO 2006: 66). Die Nährstoffversorgung mit N (Stickstoff), P (Phosphor) und K (Kalium) ist allgemein hoch und die Gehalte an organischer Substanz im Boden (SOM: Soil Organic Matter) sind niedrig. Die schwach sauren Böden weisen eine geringe Kationenaustauschkapazität (KAK), hohe Basensättigung (BS), mäßige Nährstoffversorgung mit N (Stickstoff), P (Phosphor) und K (Kalium) und einem niedrigen Gehalt an organischer Substanz auf (vgl. Tabelle 3.5) (Krüger 2005).

Tabelle 3.5: Bodenchemische Parameter im Gran Chaco

	pH *	K (cmol/kg)	KAK (cmol/ kg)	BS (%)	P** (mg/kg)	SOM (%)	Nt (%)
n	55	51	52	40	38	28	22
MW	6,84	0,67	12,9	93,2	15,9	2,1	0,18
Min	5,00	0,15	2,8	47,6	2,5	1,2	0,12
Max	8,25	1,20	25,8	100,0	39,5	3,8	0,27
Stabw	0,71	0,28	5,0	10,9	9,4	0,7	0,05

Anmerkung:* gemessen in H2O. ** Methode Olsen
pH: negativer dekadischer Logarithmus der H3O+-Ionenkonzentration
K: Kalium
KAK: Kationenaustauschkapazität
BS: Basensättigung
P: Phosphor
SOM: Gehalte an organischer Substanz
Nt: Gesamtstickstoff
MW: arithmetischer Mittelwert
Min: Minimum
Max: Maximum
Stabw: Standardabweichung

Verändert nach Krüger 2005: 20

VEGETATION

El Gran Chaco Boliviano hat zwei divergierende Vegetationszeiten: Die Regen- und die Trockenzeit bzw. Niedrigwasserperiode (UNO 2006). Die typische Vegetation des Chacos besteht daher aus xerophytischen Trockenwäldern (Krüger 2005; Riveros o. J.). Diese natürliche Vegetation im Gran Chaco ist von Pflanzengesellschaften der

Dornbuschwälder gekennzeichnet (Krüger 2005). Im Subandino sind die Wälder zum Teil dicht, im Großteil der Zeit grün, aber laubabwerfend in der Trockenzeit. Llanura Chaco-Beniana beheimatet nicht nur xeromorphe und in der Trockenheit laubabwerfende Wälder, sondern auch Trockengebüsche (UNO 2006). Eine Ausnahme in den Waldformationen des Chaco sind die überschwemmten Wälder der Bañados del Izozog. Diese sind durch ein dichtes Kronendach und mittlere Wuchshöhen von 15-18 m gekennzeichnet. Charakteristische Baumart ist Albizia inundata (Krüger 2005).

LANDWIRTSCHAFTLICHE NUTZUNG DES BODENS

Die Böden im Gran Chaco werden zum Teil landwirtschaftlich genutzt. Doch wird diese Nutzung durch natürliche Faktoren wie das stellenweise steile Relief (und der damit verbundenen Anfälligkeit gegenüber Wassererosion), die ungünstige Nährstoffausstattung und die geringe Wasserspeicherkapazität der sandigen Böden limitiert (Krüger 2005: 18). Nutzungseinschränkungen liegen auch in dem mit zunehmender Breitenlage steigenden hydrologischen Defizit und dem häufigen Auftreten längerer Trockenperioden. Die Sandböden der Dünenbereiche (Arenales de Guanaco) sind wegen ihrer ungünstigen Nährstoffausstattung und dem schlechtem Wasserspeichervermögen nicht anbaugeeignet, werden aber für weidewirtschaftliche Zwecke genutzt. Das Schutzgebiet Bañados del Izozog (Izozog Sumpf) im Südwesten bildet einen großen Überschwemmungskom Überschwemmungskomplex, dessen tonige Böden hydromorphe Eigenschaften besitzen und aufgrund hoher Verdunstungsraten zu Versalzung und Alkalisierung neigen (Krüger 2005: 21-22).

„Die Nutzung des Bodens in den natürlichen Graslandschaften des Chaco im Süden überwiegt für weidewirtschaftliche Zwecke“ (Krüger 2005: 2, 14). Tabelle 3.6 zeigt die unterschiedliche aktuelle Nutzung des Bodens (uso actual) des Chacos, die aus der intensiven und extensiven Landwirtschaft mit Anbau von einjährigen Pflanzen und Viehzucht, Silvopastoral und Agrosilvopastoral besteht (UNO 2006). Die Verteilung der Landnutzung ist im UG nicht gleichmäßig: Beispielwiese finden sich Schutzgebiete mit beschränkter Nutzung (z. T. mit Weidewirtschaft) meistens im südwestlichen und nordöstlichen Teil des UG. Schutzgebiete bzw. Naturschutzgebiete konzentrieren sich im zentralen und südöstlichen Bereich des UG. Landwirtschaft und Nutzung durch Viehzucht finden sich meistens im nordwestlichen Teil des UG vor. Agrosilvopastoral-Landnutzung wird auf >11 % der Fläche des Untersuchungsgebietes, meistens im westlichen Teil, betrieben. Stadtgebiete sowie Flussbette befinden

Tabelle 3.6. Anteile aktueller Nutzung von Böden in der Region El Gran Chaco Boliviano

Landnutzung	Fläche (%)
Intensive Landwirtschaft mit Anbau von einjährigen Pflanzen und Viehzucht (Rinder)	4,0
Extensive Landwirtschaft und Viehzucht	15,6
Agrosilvopastoral	11,4
Silvopastoral und Agrosilvopasotral	2,3
Schutzgebiete mit beschränkter Nutzung	37,7
Schutzgebiete bzw. Naturschutzgebiete	28,3
Stadtgebiet, Flussbett etc.	0,7
Gesamt	100,0
Nach UNO 2006: 14	

sich im Süden und nordwestlichen Teil des UG (vgl. Karte 1/10; Karte 5/10, s. Kartenanhang S. 225).

Intensiver landwirtschaftlicher Anbau im Chaco wird vor allem von den Mennoniten durchgeführt. Einige Kolonien von ihnen liegen in den Landgemeinden des Untersuchungsgebietes Charagua und Cabezas (die eingewanderten Mennoniten haben ihre Kolonien in trockeneren Gebieten östlich und südlich von Santa Cruz gegründet) (Krüger 2005). „Mennoniten leisten einen sehr hohen Beitrag zur bolivianischen Ökonomie. Allein ihr Beitrag zum bolivianischen Sojaexport betrug Mitte bis Ende der 1990er Jahre knapp 30 %“ (Krüger 2005). In der Region El Gran Chaco werden Wolle, Reis, Süßkartoffeln, Kartoffeln, Mais, Zitrusfrüchte, Bohnen, Soja, Sonnenblumen, Maniok und Erdnüsse angebaut. Mais wird am meisten in der untersuchten Landgemeinde der MANCHABOL angebaut (UNO 2006).

Ausführliche Informationen über die Standorte von extensiver Landwirtschaft sowie über Formen der agrosilvopastoralen und silvopastoralen Nutzung stehen nicht zur Verfügung. Die Viehwirtschaft konzentriert sich auf die Naturweiden des Chacos im Süden. In diesen natürlichen Graslandschaften des Chacos findet extensive Weidewirtschaft mit durchschnittlichen Betriebsgrößen von 2.500 bis 20.000 ha statt. „In den natürlichen Weideregionen determiniert sich die Viehhaltung über die Verfügbarkeit von Wasser und natürlichen Futterpflanzen, wobei die sehr großen Weideflächen im Chaco die geringste Bestockungsdichte (von Bäumen) pro Hektar aufweisen“ (Krüger 2005: 29-30). Wegen der langen Trockenperiode gibt es dort ein Problem mit der

Trinkwasser- und Wasserversorgung für die Bewässerung von Feldern und die Viehhaltung.

BODENEROSION IM GRAN CHACO

Unsachgemäße landwirtschaftliche Nutzungen führen zur fortschreitenden Degradation tropischer und subtropischer Böden im Gran Chaco. Beispielhaft ist die Nutzung von Techniken, die nicht an die speziellen örtlichen Bedingungen angepasst sind. Eine weitere Ursache der Degradation des Bodens ist die intensive Bodenbearbeitung, die in Kombination mit warm-feuchten Bedingungen zu einer schnellen Mineralisierung im Boden führen kann. Insbesondere die ariden, semiariden und sub-humiden Tropen sind vom Verlust organischer Substanz im Boden durch landwirtschaftliche Aktivitäten betroffen. Gleichzeitig verursachen die abnehmenden Humusgehalte des Bodens eine Verringerung der Wasserspeicherkapazität und Nährstoffsorption sowie eine Verschlechterung der Bodenstruktur (Krüger 2005). An einem Beispiel wurde der Verlust bzw. die Abnahme von Nährstoffen des Bodens im Chaco durch intensive Anbauaktivität untersucht. Die Ergebnisse der Analyse sind in Tabelle 3.7 dargestellt (UNO 2006).

Tabelle 3.7: Chemische Analyse des nicht-devastierten und des devastierten Bodens in der Region El Gran Chaco

Parameter	Boden: Nicht-devastiert Stichprobe: 109	Boden: Devastiert Stichprobe: 112
SOM (%)	2,00	1,10
N (%)	0,16	0,07
P (mg/kg)	321,00	66,00
K (cmolc/kg)	0,54	0,25
CIC (cmolc/kg)	5,30	3,50
Anmerkung: CIC: Kationenaustauschkapazität des Bodens (Zentimol pro Kilogramm) Nach UNO 2006: 66		

Mehr noch als der Humusschwund ist die Erosion (Wind- und Wassererosion) ein großes Problem, das sich in der MANCHABOL heutzutage vorfindet (UNO 2006: 69-70). Insgesamt ist die Chaco-Region am stärksten von möglicher Winderosion betroffen. Beispielsweise treten häufiger starke Winde mit Geschwindigkeiten von mehr als 10 m/s in der Chaco-Region (Huarirenda) auf (Krüger 2005: 120, 138; UNO 2006: 112).

Die Intensität der Wassererosion wird durch die Häufigkeit und Intensität des Niederschlages in den Teilregionen bestimmt (UNO 2006: 69-70).

Die Intensität von Bodenerosionen wird folgenderweise unterschieden in keine, leichte, moderate, starke, sehr starke und extreme Erosion. Diese Erosionsgrade werden definiert als Menge des Bodens, der von der Oberfläche erodiert wird. Der Grad der Erosion hat einen Bezug insbesondere zur Hangneigung der Fläche, zur Bodentextur, zur Landbedeckung, zur Nutzung als intensive Viehweide, Brennen und Abholzung (UNO 2006).

In Tabelle 3.8 Teil I-II sind die Charakteristika des Bodens des Untersuchungsgebietes aufgeführt, so dass die Beziehungen zwischen den Eigenschaften des Bodenwasserhaushalts, der Erosionsanfälligkeit und der tatsächlichen Erosion sowie deren Konsequenzen für die Bodenfruchtbarkeit und die Nutzung deutlich werden. Die Eigenschaften des Bodens wie Fruchtbarkeit, Hangneigung, Tiefe und Grad der Erosion könnten prinzipiell eine große Bedeutung für den Anbau von *J. curcas* haben.

GRUNDWASSER

Ein großer Teil des El Gran Chaco Boliviano-Gebietes verfügt über Grundwasser. Der Aquifer befindet sich in einer Tiefe von 130 bis 150 m. Das Grundwasser kann süß oder salzig sein. Es ist abhängig von der Grundwasserquelle. Weitere Grundwasservorkommen gibt es 350-400 m unter der Erdoberfläche. Diese tieferen Aquifere speisen sich aus Wasser aus dem Bergland der physiographischen Subandino-Provinz oder durch die Infiltration von Regenwasser.

Mit Ausnahme von salzhaltigem Wasser ist das Grundwasser des Chacos normalerweise geeignet zur Wasserversorgung des Viehbestandes. Als Wasser für den menschlichen Verzehr und die Bewässerung ist es oft nur eingeschränkt nutzbar, weil die Qualität nicht gut ist. Aufgrund unzureichender Informationen (piezometrischer Stand und lithologisches Profil) gibt es keine genauen Darstellungen der potenziellen Grundwasserleiter (Aquifer) (UNO 2006).

EXTREMEREIGNISSE UND DEREN FOLGE

Einige Bereiche in El Gran Chaco Boliviano, so auch das UG, sind bedroht von Extremereignissen wie Dürre, Frost, Überschwemmung, Erdrutsch oder Erdbeben. Die Erdbebenwahrscheinlichkeit in der Region ist niedrig und auf Grund der langen Trockenzeit (von Mai bis September) ist die Region dürreempfindlich (UNO 2006). Diese

Extremereignisse bedrohen die Landgemeinden im UG. Ihre Intensitätsstufen (sehr hoch, hoch, mittel, niedrig, sehr niedrig) können in unterschiedliche Bereiche oder Flächenanteile der jeweiligen Landgemeinden nicht angegeben werden, da die Flächenteile der Extremereignisse in der ganzen Region El Chaco Boliviano (Mancomunidad del Chaco Boliviano) und nicht als Prozentsatz vom UG angegeben werden (UNO 2006: 125-141). Beispielwiese ist die Landgemeinde Charagua im hohen Ausmaß von Dürre und in Bereichen, die sich in der Nähe von Flüssen befinden, von Überschwemmung bedroht (UNO 2006). Auf Karte 8/10 und 9/10 (s. Kartenanhang S. 225) werden die Flächenteile von Frost-, Dürre- und Hochwasserrisiko der Beispielflächen BF1 und BF2 jeweilig gezeigt.

Tabelle 3.8: Boden des Untersuchungsgebietes El Gran Chaco in Santa Cruz - Teil I/II

Physiographische Provinz	Landschaft	Beschreibung der Landschaft	Eigenschaften des Bodenwasserhaushalts	Fruchtbarkeit	Art der Nutzung des Bodens	Neigung des Bodens *	Erosion
Subandino. Dort liegen die folgenden Landegemeinden des Untersuchungsgebiets: Cuevo, Lagunillas, Gutierrez, Camiri und westliche Teile von Boyube, Charagua und Cabezas.	Bergland. 66 % von Subandino	Zwischen Bergen bilden sich kleine Täler. Dort ist die Agraraktivität konzentriert und die Böden sind tief. Die Bodentextur ist wechselhaft (sandiger Lehm bis zu sandigem Lehm-Schluff). Aber es gibt kleine Bereiche, wo die Fruchtbarkeit des Bodens moderat bis gut ist und der Boden gut drainiert ist.	Gut drainierter Boden mit geringer und moderater Tiefe	Gering	Agrosilvopastoral: Viehweide, Maisanbau, selektiver Holzeinschlag	Stark	Moderater Bodenabtrag, aber stark bei Schluchten und Spurillen
	Hügel. 20,5 % von Subandino. Ihre Höhen schwanken zwischen 600-2.500 m ü. N.N.	Zwischen Hügeln gibt es Täler, die Wälder am Bergfuß und Flussterrasen bilden. Dort sind die Böden gut drainiert und die Bodentiefe ist moderat bis scharf. Bodentextur: Sandiger Lehm bis Lehm.	Gut drainierter Boden mit geringer Tiefe. Bodentextur: sandiger Lehm bis Lehm	Gering	Landwirtschaftliche und agrosilvopastorale Nutzung: Vieh- und Ziegenweide, Mais- und Bohnenanbau.	Stark	Moderate Erosion
	Tal. 3 % von Subandino. Ihre Höhen schwanken zwischen 600-1.880 m ü. N.N.	Die Täler sind von flachen Flussterrassen und Wälder am Bergfuß gebildet.	Gut drainierter Boden mit moderater Tiefe	Moderat	Landwirtschaftliche und silvopastorale Nutzung: Vieh- und Ziegenweide, Maisanbau	Leicht	Keine oder sehr leicht
	Ebene. 0,1 % von Subandino. Ihre Höhen (m ü. N.N.) wurden nicht angegeben	Bodentextur: Toniger Lehm bis Ton	Gut drainierter Boden. Boden mit moderater Tiefe	Niedrig	Extensive Landwirtschaft, agrosilvopastorale und silvopastorale Nutzung: Viehweide, Mais-, Soja- und Bohnenanbau	Stark	Starker Bodenabtrag
	Flachland. >1 % von Subandino. Höhen (m ü. N.N.) wurden nicht angegeben.	Bodentextur: Toniger Lehm bis sandiger Lehm.	Gut drainierter Boden mit scharfer Tiefe	Moderat	Landwirtschaftliche, agrosilvopastorile und silvopastorile Nutzung: Vieh- und Ziegenweide, Mais-, Soja- und Bohnenanbau.	Leicht	Keine
	Wälder am Bergfuß. >9 % von Subandino. Ihre Höhen (m ü. N.N.) wurde nicht angegeben.	Bodentextur: Toniger Lehm bis sandiger Lehm	Gut drainierter Boden mit scharfer Tiefe	Moderat	Landwitschaftliche und silvopastorale Nutzung: Viehweide, Maisanbau und Waldweide	2-15 %	Leichte Erosion

Note: * % Werte wurden nicht in der Quelle angegeben.

Eigene Darstellung auf Basis von UNO 2006: 56-65

Teil II/II

Physiographische Provinz	Landschaft**	Beschreibung der Landschaft	Eigenschaften des Bodenwasserhaushalts	Fruchtbarkeit	Art der Nutzung des Bodens	Neigung des Bodens *	Erosion
Llanura Chaco-Beniana. Da liegen die folgende Landgemeinde des Untersuchungsgebiets: Cabezas Charagua und Boyuibe	Flachland. 56 % von Llanura Chaco-Beniana.	Z. T. gibt es Sandhügel mit großer Tiefe. Bodentextur: Sand bis sandiger Lehm.	Gut dränierter Boden mit großer Tiefe.	Moderat	Silvopastorale Nutzung: Vieh- und Ziegenweide.	<2 %	Keine Angabe
	Wälder am Bergfuß (14 %)	Keine Angabe	Gut dränierter Boden mit großer bis sehr großer Tiefe	Moderat	Landwirtschaftliche und agrosilvopastorale Nutzung: Vieh- und Ziegenweide, Mais-, Soja- und Bohnenanbau.	Keine Angabe	Keine Angabe
	Ebene (11 %). Ein Großteil der Ebene (8 %) liegt in der Mitte und im Osten von der Landgemeinde Charagua.	Keine Angabe	Moderat dränierter Boden mit großer Tiefe	Moderat	Viehweide, Waldweide	Sehr leicht	Keine Angabe
	Bergland. 6 % von Llanura Chaco-Beniana. Ein Großteil von Bergland (4 %) liegt in der Mitte und im Osten von der Landgemeinde Charagua.	Keine Angabe	Gut dränierter Boden mit großer Tiefe	Moderat	Extensive Vieh-weiden-Nutzung	Sehr steil	Moderate Erosion
	Disektierte Oberfläche (8 %). Diese Landschaft hat die Landgemeinde Charagua.	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
	Tal. 2 % von Llanura Chaco-Beniana, bereitet sich in der Landgemeinde Charagua aus.	Bodentextur: Lehm bis sandiger Lehm.	Gut dränierter Boden mit moderater Tiefe.	Moderat	Viehzucht	Keine Angabe	Keine Angabe

Note: * % Werte wurden nicht in der Quelle angegeben.
** 3 % der Landschaft ist Hügel, aber es gehört nicht zum UG, sondern zu den Bezirken Chuquisaca und Tarija.

Eigene Darstellung auf Basis von UNO 2006: 65-66

4 Methodik der Abschätzung des Anbaupotenzials von *Jatropha curcas* in der bolivianischen Region

4.1 Abschätzung des Potenzials zum *Jatropha curcas*-Anbau auf erodierten Böden im Untersuchungsgebiet für Biodieselproduktion

4.1.1 Ableitung von Standortkriterien zum *Jatropha curcas*-Anbau sowie von ökologischen und sozioökonomischen Kriterien für die Standortfindung zur Biodieselproduktion

Um geeignete Standorte zur Biodieselproduktion aus *J. curcas* in dem UG identifizieren zu können, werden zunächst Kriterien zum Anbau von *J. curcas*, v. a. unter Berücksichtigung der Standortkriterien, sowie zur Charakterisierung der ökologischen (Umweltfaktoren, Naturschutzansprüche) und sozioökonomischen Gegebenheiten herausgearbeitet. Dabei werden wissenschaftliche Grundlagen, internationale *J. curcas*-Untersuchungen zu Praxiserfahrungen und die verfügbaren digitalen Grunddaten (Sachdaten) miteinander kombiniert. Als Ausgangspunkt für die Analyse der Anbaumöglichkeiten werden die Grundbedürfnisse und Eigenschaften der *J. curcas*-Pflanze herangezogen, wie sie in Kapitel 2 dargestellt sind: geringer Wasserbedarf, hoher Ölgehalt, Toxizität, Dürreresistenz und Wachstumsfähigkeit auf unfruchtbaren Böden, Anpassungsfähigkeit an klimatische Bedingungen wie Niederschlag und lange Trockenzeiten. Auf Basis der genannten Aspekte werden die Kriterien für die Analyse des Untersuchungsgebietes im nächsten Unterkapitel entwickelt.

KRITERIEN ZUR ANBAUEIGNUNG VON FLÄCHEN NACH STANDORTSKRITERIEN VON *J. CURCAS*

Temperatur: eine der wichtigsten Grundvorrausetzungen für optimales Wachstum. Der Idealbereich für *J. curcas* liegt bei tropischen bis subtropischen Temperaturen um 20-23 °C (vgl. Unterkapitel 2.2.1).

Frostrisiko: Abrupte Temperaturschwankungen könnten die Pflanze schädigen oder sogar töten, und somit den Ertrag mindern.

Jährlicher Niederschlag: *J. curcas* ist eine kräftige Ölpflanze, die auch bei niedriger jährlicher Niederschlagsmenge wachsen kann (200 mm pro Jahr) (vgl. Unterkapitel 2.1).

Nähe zu Flüssen: Bewässerungsmöglichkeiten sind sehr wichtig für das optimale Wachstum von *J. curcas*, obwohl ihr Wasserbedarf niedrig ist (vgl. Unterkapitel 2.2.1.2).

Grundwassernachlieferung: stellt in Verbindung mit dem Bau von Brunnen eine zusätzliche Bewässerungsmöglichkeit dar, um die *J. curcas*-Plantagen mit Wasser zu versorgen, wenn kein anderes Wasser zur Verfügung steht (keine Flüsse, Niederschlagsmangel).

Hangneigung: Starke Hangneigung bewirkt einen relativ schnellen Abfluss von Regenwasser und beeinflusst deutlich die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens. Das kann für *J. curcas*-Plantagen sowohl von Vorteil als auch von Nachteil sein. Einerseits unterstützt Bewässerung das Wachstum, andererseits wächst die Pflanze besser auf dränierten Böden. Deswegen soll dieses Kriterium zur Bestimmung des Standortes der Plantagen einbezogen werden, insbesondere wenn die Topografie eines Ortes so wechselhaft ist (unterschiedliche Höhe) wie die Oberfläche des Untersuchungsgebietes (vgl. Unterkapitel 3.1; Karte 1/10, s. Kartenanhang S. 225).

Versickerungsrate: Böden mit niedriger Versickerungsrate können sich nachteilig auf den Ernteertrag von *J. curcas*-Plantagen auswirken, da Wachstum und Ertrag auf eher dränierten Böden gesteigert werden (vgl. Unterkapitel 2.2.1.1).

Überschwemmungsrisiko: Überschwemmungen verursachen zusätzliche Kosten, z. B durch Schäden an Plantagen oder Verlust der Bodenqualität. Außerdem wirkt sich zu viel Wasser negativ auf Wachstum und Ertrag aus. Bei hohem Überschwemmungsrisiko sollte daher die Anbaufläche geschützt werden, um negative Folgen für die Plantagen zu verhindern.

Dürregefahr: Obwohl *J. curcas* auch lange Trockenzeiten überleben kann, sollte zur Verringerung der Ertragsminderung ihre Anpflanzung in Regionen mit Dürregefahr vermieden werden. Allerdings wurde die Dürregefahr bei der Studie der bolivianischen Regierung und beim Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (Plan de ordenamiento territorial Macroregional del Chaco Boliviano) (UNO 2006) nicht definiert. Andere Literaturquellen geben für *J. curcas* eine Trockenresistenz von zwei Jah-

ren und einen niedrigen Wasserbedarf ab 200 mm Niederschlag im Jahr an (Buikema et al. 2009: 2; Gübitz et al. 1999: 73; Jongschaap et al. 2007: 5; Jain & Sharma 2010: 765) (vgl. Unterkapitel 2.2.1.2).

Die ökologischen und sozioökonomischen Kriterien werden insbesondere unter Berücksichtigung der Schutzgebiete und einem möglichen Flächenbedarf für den Nahrungsmittelanbau bestimmt. Sie werden im Folgenden dargestellt und begründet:

ÖKOLOGISCHE KRITERIEN

Landbedeckung: In die Analyse wird prinzipiell die Veränderung der nicht nutzbaren Landfläche für die Agrarwirtschaft mit einbezogen. Denn zurzeit verändert sich die nutzbare Landfläche des Untersuchungsgebietes wegen Abholzung, Trockenzeit, Wassermangel, Devastierung, Desertifikation und Erosion des Bodens. Die Abnahme der Landbedeckung kann durch den Anbau von *J. curcas* auf erodierten Böden gestoppt werden. So kann der Anbau von *J. curcas* dazu beitragen, die Böden wieder nutzbarer zum Anbau anderer Kulturen zu machen.

Erodierte Böden: *J. curcas* benötigt nicht unbedingt fruchtbare Böden, sondern kann sich auch auf erodierten Böden entwickeln. Das Hauptaugenmerkt der vorliegenden Arbeit liegt auf dem potenziellen *J. curcas*-Anbau auf erodierten Böden - vgl. Unterkapitel 2.1.

Schutzgebiete: Ein wichtiger in der Analyse zu berücksichtigender Aspekt ist der Naturschutz. Schutzgebiete werden nicht als mögliche Anbauflächen in Betracht gezogen und gelten daher als Ausschlussflächen. Das UG besitzt Regenwälder, die als Naturreservate geschützt sind (vgl. Karte 1/10: Übersichtskarte, s. Kartenanhang S. 225).

SOZIOÖKONOMISCHE KRITERIEN

Landwirtschaftliche Nutzflächen: stellen nur einen kleinen Teil des Untersuchungsgebietes dar (vgl. Tabelle 5.6). Die landwirtschaftliche Fläche des Untersuchungsgebietes wird über verschiedene Nutzungstypen bewirtschaftet wie Ackerbau, Viehzucht, silvopastorale Nutzung oder kom kombinierte Nutzung. Da die landwirtschaftlichen Flächen eine große Bedeutung für die Nahrungsversorgung und als Einkommensquelle der Einwohner haben, sollten sie nicht für den Anbau von *J. curcas* genutzt werden.

Infrastruktur: Es ist einer der wichtigsten Faktoren für einen wirtschaftlichen Anbau von *J. curcas* und die Biodieselproduktion. Mit guter Infrastruktur in der Nähe von *J. curcas*-Anbaugebieten kann der regionale Einkauf bzw. die Vermarktung des Bio-

diesels effizienter gestaltet und unnötiger Aufwand verhindert werden. Dann kann die Logistik entlang der Anbau- und Biodieselproduktionskette aus *J. curcas* - vgl. Unterkapitel 2.2.2 - wirtschaftlich nicht nur für eine dezentrale, sondern auch eine zentrale Ölgewinnungsanlage sein.

Nähe zu Siedlungsgebieten: Die Größe einer Plantage wird von ihrem Standort bestimmt, im Sinne von Verfügbarkeit potenzieller Flächen und natürlicher Ressourcen wie Wasser. Der Abstand zwischen Siedlungsgebiet und Plantage bzw. Anlage zur Ölgewinnung bestimmt unter anderem die Transportkosten und die Erreichbarkeit der Plantagen für im Siedlungsgebiet wohnende Arbeitskräfte. Er kann damit eine wichtige Rolle zur Biodieselproduktion aus *J. curcas* im sozioökonomischen Bereich spielen.

4.1.2 GIS-Analyse

Basierend auf den abgeleiteten Standortkriterien zum *J. curcas* Anbau sowie den ökologischen und sozioökonomischen Kriterien wird eine GIS-Analyse durchgeführt. Für die Abschätzung des Anbaupotenzials im UG wird zuerst eine Beschreibung des Untersuchungsgebietes durchgeführt. Hierzu beruht die Beschreibung auf einer Studie im UG El Gran Chaco Boliviano, die von der bolivianischen Regierung und dem Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen unter dem Titel Plan de ordenamiento territorial Macroregional del Chaco Boliviano im Jahr 2006 durchgeführt wurde (vgl. Kapitel 3). Um eine Übersicht über das UG zu bekommen, wird es mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) übersichtsartig erfasst.

Mit der Erfassung sollen folgenden Informationen erhöht werden:

- klimatische Faktoren (Daten aus UNO 2006)
- Wie oft treten Extremereignisse (Überschwemmung und Dürregefahr) auf (Daten aus UNO 2006)?
- Wie ist die Vegetationsbedeckung im Hinblick auf die Erosionsgefährdung und Flächennutzung?
- Wie hoch ist der Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche?
- Wie hoch ist die Fläche erodierter Böden?
- Welche Schutzgebiete sind in welchem Flächenumfang vorhanden?

- Welche Infrastruktur und Siedlungsgebiete sind vorhanden?

Für die GIS-Analyse wird zunächst einen Datenbank aufgebaut. Dafür werden die vorhandenen digitalen Sachdaten bzw. Geodaten (zu Grundwasser, Flüssen, Niederschlag, Topografie wie Gebirge und Vegetation, Landnutzung, Schutzgebiet, Erosion, Bevölkerungsverteilung, Infrastruktur, Verdunstung, Dürre- und Hochwasserkarte, Risiken verschiedener Umweltfaktoren) verwendet, um folgende **Karten** zu erstellen: Übersichtskarte (inkl. der Provinzgrenzen, Siedlungsgebiete, Relief (Topographie), Flüsse und Schutzgebiete), Erosionskarte mit Darstellung des Erosionsgrades, Erosionskarte mit Darstellung des Erosionstyps, Karte der vorherrschenden Landbedeckung bzw. Vegetation, Karte der vorherrschenden Landnutzungen und Karte der Landnutzung und Erosion (vgl. Karte 1/10-6/10, s. Kartenanhang S. 225). Insgesamt sollen so sowohl das nutzbare Anbaupotenzial des Untersuchungsgebietes grob erfasst als auch mögliche ökologisch und sozioökonomisch begründete Konfliktpotenziale identifiziert werden (vgl. Unterkapitel 5.1; Unterkapitel 5.4).

Als weiterer Schritt wird die Landgemeinde Charagua mit Hilfe des GIS-Programms als Teilfläche des Gesamtuntersuchungsgebietes spezifischer analysiert (vgl. Unterkapitel 4.1.2.1). Hierzu werden die Übersichtskarte, die Erosionskarte mit Grad der Erosion und die Erosionskarte mit Typ der Erosion verwendet.

In einem dritten Arbeitsschritt werden in der Landgemeinde Charagua zwei Beispielflächen (BF1 und BF2) für eine noch detailliertere Analyse des Anbaupotenzials von *J. curcas* ausgewählt (vgl. Unterkapitel 4.1.2.2).

4.1.2.1 GIS-Analyse des Gesamtgebietes

Die GIS-Analyse wird mit technischen Informationen bzw. Grunddaten und digitalen Sachdaten bzw. Geodaten aus der Studie vom Jahr 2006 durchgeführt, die von der bolivianischen Regierung und dem Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (Plan de ordenamiento territorial Macroregional del Chaco Boliviano) zur Trinkwasserversorgung in der bolivianischen Region El Gran Chaco bzw. Mancomunidad de Municipios del Chaco Boliviano MANCHABOL zur Verfügung gestellt wurden. Aktuellere digitale Sachdaten standen nicht zur Verfügung. Zentrale Ziele der räumlichen Analyse des Untersuchungsgebietes sind die Quantifizierung und die Zustandserfassung des erodierten Bodens. Daneben werden die Agraraktivität, Bewässerungsmög-

lichkeiten, die Landbedeckung und die Nutzung des Bodens erfasst. Die Erfassung bildet die Grundlage zur Abschätzung des Anbaupotenzials für *J. curcas*-Anbau unter Berücksichtigung ökologischer und sozioökonomischer Kriterien im Zusammenhang mit den Standortkriterien der Pflanze.

Die vorhandenen Geodaten zu Grundwasser, Flüssen, Niederschlag, Erosion, Bevölkerungsverteilung, Infrastruktur, Verdunstung und zu den Risiken verschiedener Umweltfaktoren, die bei der Studie der bolivianischen Regierung und dem Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen zur Trinkwasser-Versorgung in der bolivianischen Region El Gran Chaco bzw. Mancomunidad de Municipios del Chaco Boliviano (MANCHABOL) gemacht wurden, werden in einem Geographischen Informationssystem (GIS) unter Verwendung der Software ESRI ArcGIS 10.0 analysiert, bearbeitet und in den folgenden Karten zur visuellen Analyse dargestellt:

- Eine Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes. Damit werden die Begrenzung des Gesamtuntersuchungsgebietes (El Gran Chaco des Bezirks Santa Cruz), seine geographische Lage, Provinzgrenzen, Bevölkerungsverteilung, Infrastruktur und Siedlungsgebiete der sieben Landgemeinden des Untersuchungsgebietes dargestellt sowie die Schutzgebiete, Flüsse und die wechselhafte Topografie (Relief) mit Höhen von 125 bis zu 2.194 m ü. N.N. (vgl. Karte 1/10, s. Kartenanhang S. 225). Grund dafür ist das UG so real wie möglich zu präsentieren als Basis für die GIS-Analyse des Gesamtuntersuchungsgebietes. Hierzu werden Geodaten der bolivianischen Region El Gran Chaco zu Flüssen, Topografie wie Gebirge und Vegetation, und Schutzgebieten verwendet, die übereinander gelegt werden.
- Eine Erosionskarte mit Darstellung des Erosionsgrades. Die in den Grunddaten aus der Literatur (UNO 2006, Studie der bolivianischen Regierung und des Entwicklungsprogramms der Vereinten Nationen „Plan de ordenamiento territorial Macroregional del Chaco Boliviano“) verwendeten 6 Erosionsgrade (Keine – Leicht – Mittel – Stark – Sehr Stark – Extrem) wurden aus Übersichtsgründen auf 4 (Keine – Leicht – Mittel – Stark) zusammengefasst (vgl. Karte 2/10, s. Kartenanhang S. 225). Die sehr starken und extremen Erosionsgrade aus der UNO-Studie aus dem Jahr 2006 finden sich im Begriff des „starken Erosionsgrads“ in der vorliegenden Arbeit wieder. Damit wird die Verbreitung der erodierten Böden über mehrere Orte im UG und der Erosionsgrad des Bo-

dens dargestellt. Darauf folgend wird der Anteil der erodierten Böden nach Grad der Erosion für einzelne Landgemeinden im UG bestimmt. Hierzu werden die Geodaten zur Erosion mit ihrem unterschiedlichen Grad der Erosion und Karte 1/10 (Übersichtskarte, s. Kartenanhang S. 225) überlagert.

- Eine Erosionskarte mit Darstellung des Erosionstyps: Wasser, Wind und Wasser sowie Wind (vgl. Karte 3/10, s. Kartenanhang S. 225). Damit werden die Verbreitung der erodierten Böden und der Erosionstyp über mehrere Orte bzw. Gemeinden im UG dargestellt. Dann wird der Anteil der erodierten Böden nach Typ der Erosion für einzelne Landgemeinden im UG bestimmt. Dabei werden auch Böden dargestellt, die nicht erodiert sind. Hierzu werden die Geodaten zum Erosionstyp (Winderosion, Wassererosion, Wind- und Wassererosion) und Karte 1/10 (Übersichtskarte, s. Kartenanhang S. 225) überlagert.
- Eine Karte der vorherrschenden Landbedeckung (vgl. Karte 4/10, s. Kartenanhang S. 225). Damit wird die Vegetation des Untersuchungsgebietes dargestellt wie Ackerfläche und Weideland, Wald, krautige Pflanzen, und Gebüsch sowie stehende Gewässer und Flussbett. Dabei werden nicht nur die Vegetationsverteilung im UG sondern auch oberflächliche Gewässer erfasst. Hierzu werden die vorhandenen Geodaten zur Landnutzung und Karte 1/10 (Übersichtskarte, s. Kartenanhang S. 225) miteinander kombiniert.
- Eine Karte der vorherrschenden Landnutzungen (vgl. Karte 5/10, s. Kartenanhang S. 225). Damit werden die Flächen der im Gebiet vorhandenen Nutzungstypen dargestellt: silvopastorale Nutzung, Viehzucht, agrosilvopastorale Nutzung, Einzelstammnutzung, Ackerbau und Viehzucht, Ackerbau, Flussbett, stehende Gewässer, keine Nutzung, städtische Siedlungen. Flussbett und stehende Gewässer werden auch als Bewässerungsmöglichkeiten beachtet. Hierzu werden die Geodaten zur Nutzung des Bodens und Karte 1/10 (Übersichtskarte) überlagert.
- Karten 1/10 (Übersichtskarte, s. Kartenanhang S. 225), 4/10 (Landbedeckungskarte, s. Kartenanhang S. 225) und 5/10 (Landnutzungskarte, s. Kartenanhang S. 225) werden kombiniert, um eine Karte zur Überlagerung der Landnutzungstypen mit dem Erosionstyp zu erstellen (vgl. Karte 6/10, s. Kartenanhang S. 225). Damit wird der Erosionsgrad der genutzten Böden dargestellt und so der Anteil der erodierten Böden nach Erosionsgrad und Erosionstyp im UG ermit-

telt, um eine genauere Bewertung des *J. curcas*-Anbaupotenzials auf erodierten Böden im UG vornehmen zu können. Durch die Überlagerung der Karten kann eine räumliche Darstellung der potentiellen Anbaueignungsverteilung des Untersuchungsgebietes vorgenommen werden.

Auf Grundlage der Karten werden die folgenden Informationen extrahiert, um insbesondere den Zustand des erodierten Bodens und dessen räumliche Verteilung ausführlicher zu charakterisieren:

- erodierte Böden des Gesamtuntersuchungsgebietes (vgl. Tabelle 5.1) als Übersichtstabelle der erodierten und nicht-erodierten Böden der einzelnen Landgemeinden. Daraus werden mögliche Unterschiede im Anteil erodierter Flächen zwischen den einzelnen Landgemeinden sichtbar,
- erodierte Böden des Untersuchungsgebietes nach Erosionsgrad (vgl. Tabelle 5.2),
- Flächenanteile der Erosionsgrade in den einzelnen Landgemeinden (vgl. Tabelle 5.3),
- Anteil der erodierten Böden nach Erosionstyp bezogen auf das UG (Winderosion, Wasser- und Winderosion, Wassererosion und keine Erosion) (vgl. Tabelle 5.4),
- Flächenanteile der Erosionstypen in den einzelnen Landgemeinden (vgl. Tabelle 5.5),
- Flächennutzung des Untersuchungsgebietes (Vegetations- bzw. Landnutzungstypen) (vgl. Tabelle 5.6),
- Anteil erodierter Böden (mit ihrem Erosionsgrad) bezogen auf Nutzungstypen in Abhängigkeit vom Erosionsgrad (vgl. Tabelle 5.7).

Die in den Tabellen als Teil der Ergebnisse zusammengefassten Daten bilden die Grundlage für die Potenzialermittlung im UG.

4.1.2.2 GIS-Analyse des konkretisierten Untersuchungsgebietes (Charagua)

Vor dem Hintergrund, dass erodierte Böden im UG mit unterschiedlichen Charakteristiken (Erosionstyp und -grad) sowie die Vegetation sehr ungleich verteilt sind, ist eine Gesamtabschätzung des Anbaupotenzials von *J. curcas* auf erodierten Böden des gesamten Untersuchungsgebietes sehr aufwändig. Zur Abschätzung des Anbaupotenzials für *J. curcas* wird daher die **Landgemeinde Charagua** als **konkretisiertes UG** ausgewählt. Sie ist einerseits die größte Landgemeinde des Untersuchungsgebietes (ca. 85 % des Untersuchungsgebietes) (vgl. Tabelle 3.1) und weist andererseits den größten Anteil an erodierten Böden auf. Für eine erste grobe Auswahl potenzieller Standorte für den *J. curcas*-Anbau innerhalb des konkretisierten UG wurden zunächst folgende Faktoren in Betracht gezogen:

- Zustand des erodierten Bodens (Grad der Erosion)
- Bewässerungsmöglichkeiten für die *J. curcas*-Plantagen.
- Vorkommen von Schutzgebieten und Ackerflächen und Land für Viehzucht.

Auf dieser Grundlage und im Hinblick auf den Erosionsgrad wurden zwei kleinere Beispielflächen festgelegt, die verschiedene Teilaspekte des gesamten Untersuchungsgebietes repräsentieren sollen (Karte 7/10: Lagekarte der Beispielflächen BF1 und BF2, s. Kartenanhang S. 225), u. a. die vorwiegenden Erosionsgrade stark bis mittel erodierter Boden, die Bewässerungsmöglichkeiten für die *J. curcas*-Plantagen, regionstypischer Ackerbau und Landnutzung für die Viehzucht sowie das Vorhandensein von Schutzgebieten und Regenwäldern.

Mit Hilfe des GIS und den Geodaten des Plan de Ordenamiento Territorial Macroregional del Chaco Boliviano (2006) konnten die Beispielflächen wie folgt charakterisiert werden: Die **BF1** (438.337 ha) liegt im Südwesten Charaguas und ist vor allem von stark erodierten Böden geprägt, während sich die **BF2** (58.504 ha) im Nordosten Charaguas hauptsächlich durch mittel und stark erodierte Böden auszeichnet.

4.1.3 Analyse und Bewertung der Beispielflächen

Die Charakteristiken der der beiden im konkretisierten UG ausgewählten Beispielflächen werden in Detailkarten dargestellt (Frost-, Dürre- und Hochwasserrisiko sowie

Versickerungsrate) (vgl. Tabelle 5.8). Auf dieser Basis werden die Teilflächen BF1 und BF2 in Hinblick auf die aufgestellten Kriterien bewertet (vgl. Unterkapitel 4.1.3; Tabelle 5.10 und Tabelle 5.11). Im Ergebnis wird herausgearbeitet, welche Kriterien beim Anbau von *J. curcas* in diesen Beispielflächen eine vorteilhafte oder unvorteilhafte Rolle spielen (vgl. Tabelle 4.1 Teil I-II). Hierauf aufbauend werden für jede Beispielfläche das Auftreten der identifizierten Vor- und Nachteile aggregiert zur Angabe **spezifischer Vorteile und Nachteile** bei einem möglichen Anbau von *J. curcas* auf den **jeweiligen Beispielflächen** (**BF1 und BF2**) (vgl. Unterkapitel 5.2.2; Tabelle 5.9 Teil Ia, I-b, Tabelle II). So wird sich die Beurteilung des Potenzials der Beispielflächen für den Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion im Hinblick auf die Standortkriterien von *J. curcas* sowie ökologischen und sozioökonomische Kriterien ergeben.

Die Tabellen 4.1 Teil I-II stellen die analysierten Kriterien für beide Beispielflächen dar. Zunächst werden das Vorkommen der besprochenen Faktoren festgestellt und mögliche vor- bzw. nachteilige Auswirkungen für den *J. curcas*-Anbau umrissen. Die Bewertung erfolgt nach **positiver, neutraler oder negativer Beurteilung eines möglichen Anbaus von** *J. curcas* **im UG**. Die erzielten Ergebnisse können für die Standortplanung von *J. curcas*-Plantagen insofern hilfreich sein, als bei ihrer Berücksichtigung der Anbau der Pflanze zur Biodieselproduktion im UG aus ökologischer und sozioökonomischer Sicht nachhaltig sein kann.

Tabelle 4.1: Analyse des Anbaupotenzials der BF1 und BF2 zum *J. curcas*-Anbau in Charagua jeweils auf starken und mittel erodierten Böden – Teil I und II (Kriterien vgl. Unterkapitel 4.1.1)

Teil I/II

N°	Kriterien	Vorteil	Nachteil
Standortskriterien von *J. curcas*			
1	Temperatur	Tropische bis subtropische Temperaturen wirken sich positiv auf das Wachstum aus.	Starke Temperaturschwankungen können sich negativ auf das Wachstum von ***J. curcas*** ausüben.
2	Frost	----------	Als tropische Pflanze hat ***J. curcas*** nur eine geringe Frostresistenz.
3	Flüsse	Bewässerungsmöglichkeit für ***J. curcas*** -Plantagen um optimales Wachstum zu fördern.	In heißen Sommern ist ein zeitweises Austrocknen der Flüsse nicht auszuschließen. In den vorhandenen Sachdaten sind jedoch keine Angaben dazu zu finden.
4	Grundwassernachlieferung	Hoch anstehendes (gut erreichbares) Grundwasser kann den Aufbau eines effizienten Bewässerungssystems mit Brunnen rechtfertigen**.**	Wenn das Grundwasser nicht effizient bei der Bewässerung der ***J. curcas***-Plantagen genutzt wird.
5	Jährlicher Niederschlag	***J. curcas*** hat ein großes ökologisches Spektrum bezüglich des Niederschlags: 200-1.500 mm/Jahr.	Bei zu niedrigem (< 200 mm/Jahr) oder zu hohem (> 1.500 mm/Jahr) Niederschlag nur eingeschränktes Wachstum der ***J. curcas***-Pflanzen.
6	Hangneigung	Mittlere Hangneigungen können sich wegen der Dränierwirkung positiv auf das Wachstum auswirken.	Geringe Hangneigung kann sich wegen des verminderten Abflusses negativ auf das Wachstum auswirken.
7	Versickerungsrate	Eine hohe Versickerungsrate kann sich (in Verbindung mit anderen Faktoren wie Topographie, Böden, Geologie, Klima, Hydrogeologie u.a.) positiv auf die Grundwasserbildung auswirken.	Bei flachem Gelände negative Auswirkungen möglich, da ***Jatropha*** besser auf dränierten Böden wächst.
8	Überschwemmungsrisiko	Bei niedrigem Risiko.	Bei hohem Risiko erhöhte Kosten durch Schaden an Plantagen, Pflanzen, Maschinen; Bodenerosion; etc. zu erwarten.
9	Dürregefahr	Bevorzugter Anbau in nicht Dürre-gefährdeten Gebieten	Bei ***Jatropha***-Anbau in Dürregebieten sollten die Pflanzen regelmäßig bewässert werden.

N°	Kriterien	Vorteil	Nachteil
Ökologische Kriterien			
10	Landbedeckung	Gebüsch und krautige Pflanzen können von Vorteil sein, da hier wenig konkurrierende Nutzungen zu erwarten sind.	Stark konkurrierende Nutzungen sind z. B.: Landwirtschaftliche Nutzung und Siedlungen.
11	Schutzgebiete	Eventuell positive Wirkung von ***J. curcas*** als Erosionsschutz bei Anbau am Rand von Schutzgebieten.	Schutzgebiete werden für den ***J. curcas***-Anbau nicht in Betracht gezogen.
12	Erodierte Böden	Der Anbau von ***J. curcas*** kann sich positiv auf die Böden auswirken	Auf stark erodierten Böden ist wahrscheinlich ein vermindertes Wachstum der Pflanzen zu erwarten.
Sozioökonomische Kriterien			
13	Landwirtschaftliche Nutzflächen	***Jatropha***-Pflanzungen in der Nähe landwirtschaftlicher Nutzflächen können zum Erosionsschutz beitragen und Flora und Fauna schützen.	Weidetiere sollten von den Plantagen von ***J. curcas*** ausgeschlossen werden.
14	Infrastruktur	Zu Beginn des ***J. curcas***-Anbaus ist wichtig, dass es überhaupt Transportwege gibt, die später evtl. noch ausgebaut werden können.	Straßenqualität nicht optimal, d.h. erhöhte Investitionskosten.
15	Siedlungsgebiet	Möglicher positiver Einfluss des ***Jatropha***-Anbaus auf Entwicklung der Gemeinden (z.B. durch Schaffung von Arbeitsplätzen).	Weder negative Einflüsse des ***J. curcas***- Anbaus auf Siedlungsgebiete noch negative Einflusse von Siedlungsgebieten auf ***J. curcas***-Anbau.

4.2 Identifikation von Einschränkungen anhand von sozioökonomischen Auswirkungen für den Anbau von *Jatropha curcas* im industriellen Maßstab und für eine potenzielle Biodieselproduktion im Untersuchungsgebiet

Zur Identifikation von **Einschränkungen** beim Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion werden neben den **ökologischen (vgl. Unterkapitel 4.1) die sozioökonomischen Auswirkungen des *J. curcas*-Anbaus** bestimmt. Hierzu werden zuerst ökologische und sozioökonomische Probleme identifiziert und die Charakteristiken des Untersuchungsgebietes (lokale Infrastruktur, Straßen und der lokale Kraftstoffverbrauch, Wasserversorgung für die Bevölkerung) untersucht (vgl. Übersichtskarte 1/10, s. Kartenanhang S. 225; Kapitel 3). Dabei werden die verschiedenen Erfahrungen bzw. Untersuchungen zum *J. curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion in anderen Ländern berücksichtigt. Sie bilden eine wesentliche Basis, um nicht nur die ökologischen, sondern auch die sozioökonomischen Auswirkungen von *J. curcas* zu identifizieren (vgl. Unterkapitel 2.2; Tabelle 2.4 Teil I-III). Danach werden die relevanten Konflikte analysiert, um Einschränkungen und Grenzen zum Anbau darzustellen. Im Ergebnis können ökologische Probleme im UG wie der Bodenzustand (erodierte Böden, Brachland), Luft- und Wasserverschmutzung sowie Extremereignisse (Dürre-, Frost-, Überschwemmung und Erdrutschgefahr) und sozioökonomische Probleme wie der Ausschluss von Ackerflächen zur Viehzucht, Arbeitslosigkeit und infolgedessen starke Emigration der Menschen die Realisierbarkeit vom *J. curcas*-Anbau im industriellen Maßstab begrenzen.

Die Toxizität der Pflanze (vgl. Unterkapitel 2.1.1; Tabelle 2.3) und die Produktionskosten des Biodiesels können weitere sozioökomische Einschränkungen für den Anbau von *J. curcas* im industriellen Maßstab zur Biodieselproduktion mit sich bringen. Auf Grund der Komplexität und fehlenden Daten werden die **Kosten bei der Produktion** von Biodiesel aus *J. curcas* in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht vertieft. Es wird aber betrachtet, ob der Anbau von *J. curcas* mit anderen Nutzungsmöglichkeiten im UG verbunden werden kann, damit ihr Anbau wirtschaftlicher wird. Für eine wirtschaftliche Biodieselproduktion aus *J. curcas* wird dazu die mögliche weitere Verwendung von Nebenprodukten, die im Verlauf der Prozesskette anfallen, betrachtet. So werden die relevanten Nutzungsmöglichkeiten der Pflanze insgesamt analysiert,

beispielsweise für die Ackerlandgewinnung, sowie die Verbesserung des Bodens bei erodierten und unfruchtbaren Böden (vgl. Abbildung 5.4). Auch die Möglichkeit der Schaffung von Arbeitsplätzen durch den *J. curcas*-Anbau wird in die Untersuchung mit einbezogen.

Die im Verlauf der Arbeit identifizierten Einschränkungen für das Anbaupotenzial von *J. curcas* zur Biodieselproduktion im UG können sich auf die Realisierbarkeit der Biodieselproduktion aus *J. curcas* auswirken. Daher werden Einflussfaktoren zur Bewertung dieses Anbaupotenzials unter Berücksichtigung der Minimierung ökologischer und sozioökonomischer Auswirkungen identifiziert.

Zur **Identifikation der Einflussfaktoren** für den Aufbau der Biodieselproduktion aus *J. curcas*-Samen werden folgende Schritte der Prozesskette der Biodieselproduktion aus *J. curcas* berücksichtigt: Anbau, Transport, Lagerung, Pressung bzw. Ölgewinnung. Die Implikation zwischen einzelnen Prozessschritten und die Einflussfaktoren werden beschrieben und analysiert (Zuordnung der Tätigkeit zu den entsprechenden Einflussfaktoren, Tätigkeit, Beschreibung der berücksichtigten Tätigkeit und benötigte Mittel zur Realisierbarkeit der Tätigkeit) (vgl. Unterkapitel 5.5).

5 Darstellung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Arbeit dargestellt wie die Abschätzung des Anbaupotenziales der Beispielflächen und das Anbaupotenzial von *J. curcas* auf erodierten Böden im UG, die Gestaltung des *J. curcas*-Anbaus auf den Beispielflächen und im UG, die Verbindung der sozioökonomischen Auswirkungen auf die Untersuchungsregion mit dem Anbau von *J. curcas* sowie die Identifikation von Begrenzungen einer möglichen Biodieselproduktion aus *J. curcas* in Bolivien. Auf dieser Basis kann das real nutzbare Potenzial von *J. curcas* zur Biodieselproduktion und seine Verteilung in der bolivianischen Region El Gran Chaco des Departamentos Santa Cruz abgeschätzt werden.

5.1 Abschätzung des Potenzials zum *Jatropha curcas*-Anbau auf erodierten Böden im Untersuchungsgebiet - Ergebnisse der GIS-Analyse zur Erosion

Die Erosion des Bodens ist ein sehr kritisches ökologisches Problem, das im UG vorherrscht. Mehr als drei Viertel der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes sind erodierter Boden und die Bodenerosion schreitet jedes Jahr fort. Die verfügbaren Daten zur Erosion im UG, auf die sich die im Folgenden dargestellten Ergebnisse beziehen, sind von 2006 (vgl. Karten 2/10 und 3/9, s. Kartenanhang S. 225). Aktuellere Zahlen zu den erodierten Böden sind nicht verfügbar. Dennoch ist auf Grund der fortschreitenden Erosion davon auszugehen, dass die aktuelle erodierte Fläche um einiges größer ist als 2006 ermittelt und auch der Grad der Erosion auf vielen Flächen bis heute zugenommen hat.

Die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes beträgt ca. 8.500.000 ha (84.829 km²). Davon sind im Jahr 2006 7.282.137 ha (ca. 86 %) erodiert. Damit ist der Anteil des nicht-erodierten Bodens mit 1.200.737 ha (14 %) sechsmal kleiner als der Anteil mit erodiertem Boden (vgl. Tabelle 5.1). Betrachtet man die einzelnen Gemeinden, so sind in der mit 7.175.238 ha Gesamtfläche weitaus flächenmäßig größten Landgemeinde Charagua 83,8 % der Böden erodiert, während 16,2 % der Gemeindefläche nicht erodiert sind. Andere Landgemeinden wie Gutierrez, Lagunillas und Camiri besitzen noch höhere Anteile an erodierten Böden. Besonders kritisch ist der Bodenzustand in den Landgemeinden Cuevo und Boyuibe, deren Gemeindeflächen zu 100 % erodiert sind (vgl. Tabelle 5.1).

Tabelle 5.1: Erodierte Böden in den Landgemeinden und im UG

Landgemeinde	Gesamtfläche (ha)	Anteil an der Gesamtfläche des UG (%)	Summe erodierter Böden (ha)	Anteil erodierter Böden an der Gesamtfläche für jede Landgemeinde (%)	Anteil erodierter Böden in jedem Gemeindegebiet (%)	Fläche nicht-erodierter Böden (ha)	Anteil nicht-erodierter Böden an der Gesamtfläche (%)
Charagua	7.175.238	84,6	6.015.035	70,9	83,8	1.160.203	16,2
Cabezas	553.040	6,5	513.030	6,0	92,8	40.010	7,2
Gutierrez	283.983	3,3	283.791	3,3	99,9	192	0,1
Boyuibe	182.370	2,1	182.370	2,1	100,0	0	0,0
Lagunillas	114.949	1,4	114.752	1,4	99,8	197	0,2
Camiri	98.944	1,2	98.809	1,2	99,9	135	0,1
Cuevo	74.350	0,9	74.350	0,9	100,0	0	0,0
Gesamt-UG	8.482.874	100,0	7.282.137	85,8	85,8	1.200.737	14,2

Abbildung 5.1 zeigt den Anteil des erodierten Bodens jeder Landgemeinde an der gesamten Erosionsfläche des ganzen UG. Aufgrund ihres hohen Anteils an der Gesamtfläche des UG verfügt die Landgemeinde Charagua trotz der niedrigsten prozentualen Anteile an erodierter Fläche in ihrem Gemeindegebiet über den weitaus größten Teil des erodiertes Bodens des UG (ca. 71 %), während nur jeweils rd. 1 % des erodierten Bodens des UG in den flächenmäßig kleinsten Gemeinden des UG Camiri sowie Cuevo vorkommen (Berechnung der Autorin auf Basis von UNO 2006).

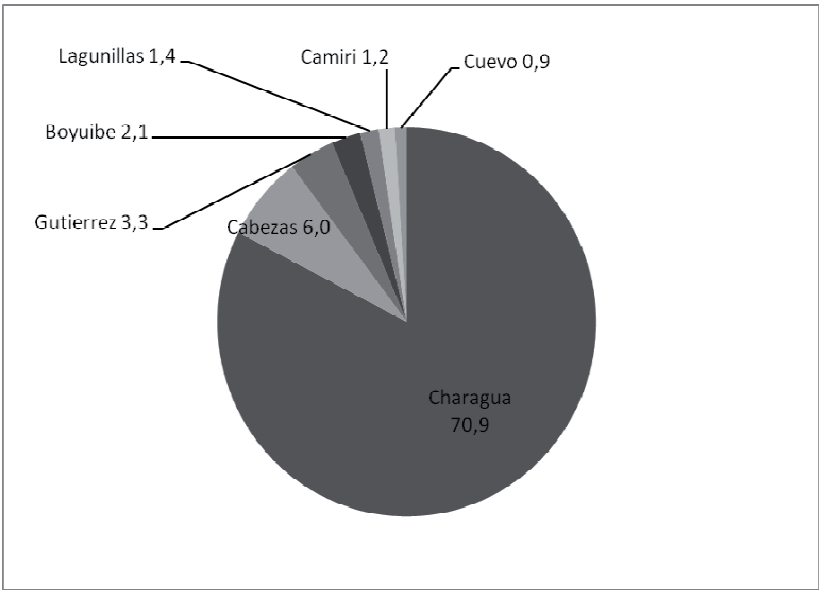


Abbildung 5.1: Anteil erodierter Böden jeder Landgemeinde an der Gesamtfläche erodierter Böden des Gesamtuntersuchungsgebietes

In Bezug auf den Erosionsgrad der Böden herrschen im UG eindeutig die mittel erodierten Böden mit ca. 45 % Anteil an der Gesamtfläche vor. Danach folgt der stark erodierte Boden mit einem Anteil von 35 %, 14 % ist nicht-erodierter Boden. Leicht erodierte Böden nehmen ca. 6 % des Untersuchungsgebietes ein (vgl. Tabelle 5.2 und Abbildung 5.2) (Berechnung der Autorin auf Basis von UNO 2006).

Tabelle 5.2: Erodierte Böden im UG nach Erosionsgrad

Erosionsgrad	Fläche (ha)	Anteil (%)
Stark	2.989.047	35
Mittel	3.781.282	45
Leicht	511.808	6
Keine	1.200.737	14

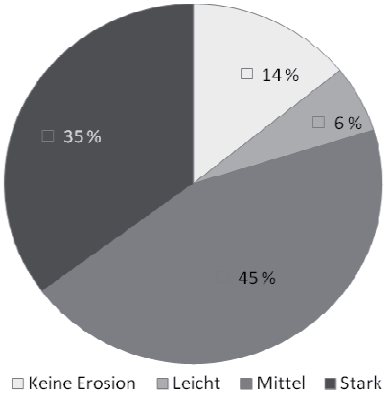


Abbildung 5.2: Anteil der erodierten Böden nach Erosionsgrad am UG

Ein Vergleich der Landgemeinden des UG ergibt, dass in Charagua ca. 71 % der Böden erodiert sind (vgl. Tabelle 5.1). Davon weisen ca. 41 % einen mittleren Erosionsgrad auf, ca. 38 % sind stark und rd. 5 % leicht erodiert (vgl. Tabelle 5.3). Die Landgemeinde Cabezas besitzt 6 % der erodierten Böden an der erodierten Fläche des gesamten Untersuchungsgebietes, dies entspricht ca. 513.030 ha (vgl. Tabelle 5.1). Von der betroffenen Fläche ist stark erodierter Boden auf rd. 11 % der Landgemeinde vorhanden. Den höchsten Anteil haben mittel erodierte Böden mit 74 %, ein kleiner Teil des erodierten Bodens (ca. 9 %) ist leicht erodiert. Keine erodierten Böden befinden sich auf 40.010 ha. Etwas über 3 % des erodierten Bodens der gesamten erodierten Fläche der UG findet sich in der Landgemeinde Gutierrez. Das entspricht ca. 283.791 ha, die vor allem mittel, aber auch stark und leicht erodiert sind. Nur 192 ha in Gutierrez sind nicht erodiert. In der Landgemeinde Boyuibe (182.370 ha) ist die gesamte Fläche erodiert. Im Vergleich zu Charagua nimmt Boyuibe jedoch einen unbedeuten-

den Anteil an der gesamten erodierten Fläche des Untersuchungsgebietes (>2 %) ein, da sie innerhalb des Gesamtgebietes nur mit geringen Flächenanteilen vertreten ist. 62,5 % der Gesamtfläche Boyuibes ist mittel erodiert, absolut betrachtet sind dies jedoch nur 113.978 ha. 47.039 ha sind stark erodiert und 21.354 ha leicht erodiert.

Tabelle 5.3: Flächenanteile der Erosionsgrade in den Landgemeinden

Erosionsgrad	Fläche (ha)	Anteil am erodierten Boden der jeweiligen Landgemeinde (%)	Anteil am erodierten Boden der Gesamtfläche des UG (%)
Charagua			
Stark	2.751.977	38,3	32,5
Mittel	2.933.689	40,9	34,6
Leicht	329.369	4,6	3,9
Keine	1.160.203	16,2	13,7
Cabezas			
Stark	58.929	10,7	0,7
Mittel	406.511	73,5	4,8
Leicht	47.590	8,6	0,6
Keine	40.010	7,2	0,5
Gutierrez			
Stark	43.462	15,2	0,5
Mittel	181.091	63,8	2,1
Leicht	59.237	20,9	0,7
Keine	192	0,1	0,002
Boyuibe			
Stark	47.039	25,8	0,6
Mittel	113.978	62,5	1,3
Leicht	21.354	11,7	0,3
Keine	0	0,0	0,0
Lagunillas			
Stark	12.158	10,6	0,1
Mittel	59.357	51,6	0,7
Leicht	43.237	37,6	0,5
Keine	197	0,2	0,002
Camiri			
Stark	31.829	32,3	0,4
Mittel	58.423	59,0	0,7
Leicht	8.557	8,6	0,1
Keine	135	0,1	0,002
Cuevo			
Stark	43.653	58,7	0,5
Mittel	28.233	38,0	0,3
Leicht	2.464	3,3	0,0
Keine	0	0,0	0,0

Ein kleiner Anteil des erodierten Bodens an der gesamten erodierten Fläche des Untersuchungsgebietes ist auf ca. <1,5 % in der Landgemeinde **Lagunillas** anzufinden. Es entspricht 114.752 ha, die stark, mittel und leicht erodiert sind. Die nicht erodierte Bodenfläche beträgt 197 ha. Der Anteil der erodierten Fläche an der gesamten erodierten Fläche des Untersuchungsgebietes der Landgemeinde Camiri beträgt >1 %, da hier 98.809 ha erodiert sind. 135 ha bleiben dabei ohne Erosion. Die Landgemeinde Cuevo besitzt den kleinsten Anteil (ca. 1 %) der erodierten Böden an der gesamten erodierten Fläche des Untersuchungsgebietes - dies entspricht 74.350 ha. Ein Großteil der Fläche in Cuevo ist stark erodierter Boden (ca. 59 %). Dies entspricht jedoch nur 43.653 ha.

Die Ursachen für die Erosion im UG liegen sowohl in der Winderosion als auch in der Wassererosion. In Tabelle 5.4 und in Abbildung 5.3 wird der Anteil dieser Erosionstypen bezogen auf das Gesamtgebiet dargestellt. Die größte Erosionswirkung im UG geht danach vom Wind aus, der auf 61 % der Gesamtfläche zu Bodenerosion geführt hat (Berechnung der Autorin auf Basis von UNO 2006).

Tabelle 5.4: Erodierte Böden im UG nach Erosionstyp

Erosionstyp	Fläche (ha)	Anteil (%)
Winderosion	5.174.553	61
Wasser- und Winderosion	1.272.431	15
Wassererosion	835.153	10
Keine	1.200.737	14

Insgesamt wurden damit im UG 5.174.553 ha (61 %) durch Wind, 835.153 ha (ca. 10 %) durch Wasser und 1.272.431 ha (15 %) durch Wasser und Wind erodiert. Nur 1.200.737 ha sind nicht erodiert. Dies entspricht knapp 14 % der Gesamtfläche (vgl. Tabelle 5.4). In Karte 3/10 (s. Kartenanhang S. 225) ist die räumliche Verteilung dieser drei Erosionstypen im UG dargestellt. Hier zeigt sich zwar auch, dass die Winderosion insgesamt vorherrscht, jedoch auch, dass die Böden der westlichen Landgemeinden vor allem von Wasser- bzw. Wind- und Wasser-Erosion geprägt sind. Im Nordosten gibt es einen Bereich, wo hauptsächlich Wasser erodierend auf die Böden wirkt. Damit decken sich die Gebiete, in denen Wassererosion auftritt, im Wesentlichen mit den Bereichen des UG, die von Berg- und Hügelland geprägt sind.

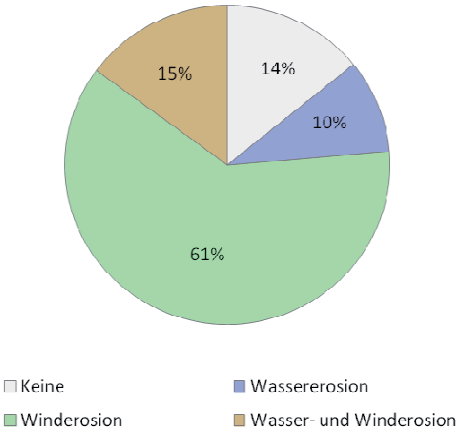


Abbildung 5.3: Anteil der erodierten Böden nach Erosionstyp am UG

In der Landgemeinde Charagua mit den weitaus meisten erodierten Flächen, wird der flächenmäßig größte Erosionsschaden (72 % der Fläche der Gesamtgemeinde) durch Wind verursacht (vgl. Tabelle 5.5). Dieser Anteil entspricht mehr als fünf Mio. ha. Danach folgt der Anteil der nicht-erodierten Böden mit 16 % (> 1 Mio. ha). Nur von Wassererosion und von Wasser- und Winderosion gleichzeitig betroffen sind lediglich je 6 % der Flächen. Mehr als drei Viertel der Fläche (84 %) sind damit entweder von Wind- oder Wassererosion oder beiden Gefährdungen gleichzeitig bedroht.

Verglichen mit **Charagua** besitzen die anderen **sechs Landgemeinden** zusammen nur einen kleinen Teil der Fläche des Untersuchungsgebietes (15 %). Von den 1.307.635 ha ihrer Fläche ist nahezu alles (97 %) ebenfalls durch Wind und Wasser erodiert und nur 40.534 ha sind nicht-erodierte Böden. Dabei dominiert im Gegensatz zu Charagua die Wassererosion deutlich.

Tabelle 5.5: Flächenanteile der Erosionstypen in den Landgemeinden

Erosionstyp	Fläche (ha)	Anteil der jeweiligen Erosionsfläche an der Gesamtfläche der jeweilige Landgemeinde (%)	Anteil an der gesamten erodierten Fläche (7.282.137 ha) des UG (%)
Charagua			
Wasser	408.266	5,7	5,6
Wind	5.183.043	72,2	71,2
Wasser und Wind	423.727	5,9	6,0
Cabezas			
Wasser	102.164	18,5	1,5
Wind	273	0,0	0,1
Wasser und Wind	410.593	74,2	5,6
Gutierrez			
Wasser	127.570	44,9	2,0
Wind	745	0,2	0,2
Wasser und Wind	155.476	54,7	0,2
Boyuibe			
Wasser	31.434	17,2	0,5
Wind	26.840	14,7	0,5
Wasser und Wind	124.096	68,0	2,0
Lagunillas			
Wasser	59.917	52,1	1,0
Wasser und Wind	54.834	47,7	1,0
Camiri			
Wasser	32.291	32,6	0,5
Wasser und Wind	66.517	67,2	1,0
Cuevo			
Wasser	45.463	61,2	0,6
Wasser und Wind	28.887	38,8	0,5

LANDBEDECKUNG UND NUTZUNG DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES

Im UG werden die weitaus meisten Flächen von der silvopastoralen Nutzung beansprucht (5.456.558 ha) (vgl. Tabelle 5.6). Der Prozentanteil dieser Flächennutzung an der Gesamtfläche beträgt rd. 64 %. Danach folgt Viehzucht mit einem Wert von 1.777.271 ha (ca. 21%). Im Vergleich zur silvopastoralen Nutzung und der für die Viehzucht genutzten Flächen nehmen die agrosilvopastorale Nutzung mit 499.113 ha (<6 %), die Einzelstammnutzung (316.808 ha; <4 %), Ackerbau- und Viehzucht (255.011 ha; 3 %) sowie die reine Ackerbaunutzung (117.474 ha; <1,5 %) deutlich kleinerer Flächenanteile ein. Den Rest der Landfläche des Untersuchungsgebietes bilden Flüsse, stehende Gewässer, Brachflächen (keine Nutzung) und städtische Siedlungen. In Tabelle 5.6 wird auch zwischen extensiven und intensiven Nutzungen (z. B. im

Ackerbau von ein- und mehrjährigen Pflanzen) unterschieden, da diese die Erosion unterschiedlich beeinflussen. Insgesamt ist die Summe der zwei flächenstärksten Nutzungstypen, silvopastorale Nutzung und Viehzucht, deutlich größer als die Summe aller übrigen Nutzungstypen. Betrachtet man die räumliche Verteilung im UG (Karte 5/10, s. Kartenanhang S. 225) so finden sich vor allem in Westen und Osten Charaguas große Gebiete mit Viehzucht. Ackerbau wird hauptsächlich am nordwestlichen Rand von Charagua betrieben, ein Mix aus Ackerbau und Viehzucht ist vor allem im Norden Cabezas verbreitet. Ein großer Bereich mit Einzelstammnutzung ist westlich des Kaa-Iya-Nationalparkes zu finden, ein kleinerer Bereich im Westen von Cabezas. Kaa-Iya und Otuquis sind extensiv bewirtschaftete Bereiche, die vor allem silvopastoral und durch Viehzucht genutzt werden.

Tabelle 5.7 gibt den Anteil erodierter Böden bezogen auf die verschiedenen Nutzungstypen wieder. Dabei wird auch nach dem Grad ihrer Erosion unterschieden (vgl. Karte 6/10, s. Kartenanhang S. 225). Je nach Erosionsgrad werden die erodierten Böden unterschiedlich genutzt. Damit prägt die Erosion die landwirtschaftliche Nutzung im UG maßgeblich. Auf den erodierten Böden findet **silvopastorale Nutzung** auf 4.939.838 ha (>58 %) statt, **Viehzucht** auf 1.508.298 ha (rd. 18 %), **agrosilvopastorale Nutzung** auf 374.416 ha (4,5 %), **Einzelstammnutzung** auf 117.335 ha (<1,5 %) und **Ackerbau** und **Viehzucht**-Nutzung auf 249.491 ha (rd. 3 %) (vgl. Tabelle 5.7).

Die silvopastorale Nutzung auf erodierten Böden bezogen auf die Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes herrscht damit vor. Dabei werden vor allem mittel (2.618.184 ha; 48 %) und stark erodierte Böden (1.940.679 ha; >35 %) silvopastoral genutzt. Dann folgt die Fläche für Viehzucht-Nutzung (1.777.295 ha; 21 %), bei der ebenfalls die stark und mittel erodierten Böden überwiegen (813.599 ha; <46 %; 629.495 ha; <35,5 %). Die agrosilvopastorale Nutzung geschieht vorwiegend auf mittel erodierten Böden (209.591 ha; 42 %). Sie kommt auch auf stark (123.640 ha; <25 %) und leicht (41.186 ha; >8 %) erodierten Böden vor. Ein Viertel der Fläche (124.696 ha; 25 %) ist bei dieser Nutzung nicht erodiert. Die Einzelstammnutzung findet bevorzugt auf nicht-erodierten Böden (199.473 ha; 63 %) statt, darauf folgend auf mittel erodierten Böden (98.244 ha; 31 %).

Tabelle 5.6: Flächennutzung des Untersuchungsgebietes

Nutzung	Untergliederung und Beschreibung	Fläche (ha)	Anteil an der Gesamtfläche des UG (8.482.874) (%)
Silvopastoral	Silvopastoral mit Nutzung von Nichtholzprodukten des Waldes, Rinder- und Ziegenzucht	1.581.827	18,6
	Silvopastoral mit Nutzung von Nichtholzprodukten des Waldes, Einzelstammnutzung und Rinderzucht	2.411.307	28,4
	Silvopastoral mit Einzelstammnutzung, Rinder- und Ziegenzucht	1.463.424	17,2
	Gesamtsumme	5.456.558	64,3
Viehzucht	Extensive Viehhaltung (Rinder, Ziegen, Schafe)	1.777.271	20,9
Agrosilvopastoral	Agrosilvopastoral mit Rinder-, Ziegen- und Schafzucht, Einzelstammnutzung und Anbau von einjährigen Pflanzen	499.113	5,9
Einzelstamm	Einzelstammnutzung	316.808	3,7
Ackerbau und Viehzucht	Extensive Landwirtschaft mit Anbau von einjährigen Pflanzen und Viehzucht (Rinder, Ziegen, Schafe)	238.532	2,8
	Extensive Landwirtschaft mit Anbau von einjährigen und mehrjährigen Pflanzen und Viehzucht (Rinder, Ziegen)	16.479	0,2
	Gesamtsumme	255.011	3,0
Ackerbau	Extensiver Ackerbau mit Anbau von einjährigen Pflanzen	37.054	0,4
	Extensiver Ackerbau mit Anbau von ein- und mehrjährigen Pflanzen	1.920	0,1
	Intensiver Ackerbau mit Anbau von einjährigen Pflanzen	77.812	0,9
	Intensiver Ackerbau mit Anbau von ein- und mehrjährigen Pflanzen	688	0,1
	Gesamtsumme	117.474	1,4
Flussbett	Flussbett	45.607	0,5
Stehende Gewässer	Stehende Gewässer	8.020	0,1
Keine Nutzung	Keine Nutzung	5.439	0,1
Städtische Siedlungen	Stadtgebiet	1.537	0,1

Tabelle 5.7: Anteil erodierter Böden bezogen auf die Nutzungstypen in Abhängigkeit vom Erosionsgrad

Nutzungstyp	Erosions-grad	Fläche (ha)	Anteil des Erosionsgrads nach Nutzungstyp (%)	Anteil (%) von der Gesamt-fläche (8.482.874 ha)
Silvopastorale Nutzung	Stark	1.940.679	35,6	22,9
	Mittel	2.618.184	48,0	30,9
	Leicht	380.977	7,0	4,5
	Keine	516.730	9,4	6,1
Gesamtsumme		5.456.568	100,0	64,4
Viehzucht	Stark	813.599	45,8	9,6
	Mittel	629.495	35,4	7,4
	Leicht	65.203	3,7	0,8
	Keine	268.997	15,1	3,2
Gesamtsumme		1.777.295	100,0	21,0
Agrosilvopastorale Nutzung	Stark	123.640	24,8	1,5
	Mittel	209.591	42,0	2,5
	Leicht	41.186	8,2	0,5
	Keine	124.696	25,0	1,5
Gesamtsumme		499.112	100,0	6,0
Einzelstammnutzung	Stark	18.758	5,9	0,2
	Mittel	98.244	31,0	1,2
	Leicht	334	0,1	0,0
	Keine	199.473	63,0	2,4
Gesamtsumme		316.808	100,0	3,8
Ackerbau und Viehzucht	Stark	40.207	15,8	0,5
	Mittel	96.596	77,1	2,3
	Leicht	12.689	5,0	0,1
	Keine	5.520	2,1	0,1
Gesamtsumme		255.011	100,0	3,0
Ackerbau	Stark	28.290	24,1	0,3
	Mittel	15.530	13,2	0,2
	Leicht	9.859	8,4	0,1
	Keine	63.796	54,3	0,8
Gesamtsumme		117.475	100,0	1,4
Flussbett	Stark	17.767	39,0	0,2
	Mittel	7.214	15,8	0,1
	Leicht	299	0,7	0,0
	Keine	20.328	44,5	0,2
Gesamtsumme		45.607	100,0	0,5
Stehende Gewässer	Stark	5.594	69,8	0,1
	Mittel	630	7,8	0,0
	Leicht	599	7,5	0,0
	Keine	1.197	14,9	0,0
Gesamtsumme		8.020	100,0	0,1
Keine Nutzung	Mittel	5.439	100,0	0,1
Städtische Siedlungen	Stark	513	33,4	0,0
	Mittel	360	23,4	0,0
	Leicht	664	43,2	0,0
Gesamtsumme		1.537	100,0	0,0

Gemeinsame Ackerbau- und Viehzucht-Nutzung finden überwiegend auf mittel erodierten Böden (96.596 ha; 77 %) statt. Ackerbau-Nutzung kommt bevorzugt auf nicht-erodierten Böden (63.796 ha; >54 %) vor. Der Rest der Fläche für Flussbett, stehende Gewässer, keine Nutzung und städtische Siedlungen beträgt ca. 60.603 ha der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes (8.482.874 ha). Dies entspricht < 1 %. Davon sind 23.874 ha (0,3 %) stark erodierte und 13.643 ha (0,2 %) mittel erodierte Böden, 1.562 ha (< 0,1 %) sind leicht erodiert und 21.525 ha (0,2 %) nicht erodiert (vgl. Tabelle 5.7).

Karte 6/10 zeigt die räumliche Verteilung der Nutzungstypen (vgl. auch Tabelle 5.7) in Abhängigkeit vom Erosionsgrad der Böden (Nutzung auf stark, mittel, leicht und nicht-erodierten Böden). Der Karte kann man entnehmen, dass auf allen Erosionsgraden silvopastorale Nutzung und Viehzucht die am häufigsten vertretenen Nutzungstypen sind und auch auf allen Erosionsgraden in der Landgemeinde Charagua stattfinden. Ackerbau wird hauptsächlich auf nicht-erodierten Böden, alleinige Viehzucht auf stark erodierten Böden betrieben. Alle Nutzungstypen, die Viehzucht umfassen (Ackerbau und Viehzucht, silvopastorale bzw. agrosilvopastorale Nutzung) finden vor allem auf mittelstark erodierten Böden statt. Der größte Anteil des Nutzungstyps Ackerbau und Viehzucht ist auf mittel, leicht und nicht-erodierten Böden in westlichen Landgemeinden zu finden.

Ein Großteil der silvopastoralen Nutzung (92,0 %) und der Viehzucht (ca. 96 %) findet auf den **stark erodierten Böden in Charagua** statt. Der Rest des silvopastoralen Nutzungsteils ist auf die anderen 6 westlichen Landgemeinden verteilt. 91,4 % der Einzelstammnutzung ist in **Charagua** zu finden und die restlichen >8,5 % finden in **Cabezas** statt. Der Großteil der agrosilvopastoralen Nutzung (>85,5 %) liegt in Charagua und der Rest befindet sich vor allem in **Gutierrez** (8,5 %) und **Boyuibe** (6 %). Auf stark erodierten Böden in Charagua findet auch ein Großteil der Ackerbau und Viehzucht-Nutzung (>59 %) statt. Der Rest ist in den westlichen Landgemeinden **Cuevo** (15 %) und **Cabezas** (11 %) zu finden.

Der Großteil der silvopastoralen Nutzung (>86,5 %) sowie der Viehzucht (>85,5 %) findet auf **mittel erodierten Böden** in **Charagua** statt. Der Rest der silvopastoralen Nutzung verteilt sich auf alle 6 westlichen Landgemeinden. Der Rest von Viehzucht erfolgt vor allem in **Gutierrez** (6 %) und den anderen westlichen Landgemeinden. Fast die gesamte Einzelstammnutzung (ca. 99 %) erfolgt auf mittelstark erodierten

Böden der Landgemeinde **Cabezas** und der Rest in **Charagua** (>1 %). Fast die Hälfte (ca. 43 %) der verwendeten Fläche für agrosilvopastorale Nutzung findet auf mittelstark erodierten Böden in **Charagua** statt. Ein Viertel (>25,5 %) verteilt sich auf die Landgemeinden **Gutierrez** und **Cabezas** und der Rest verteilt sich mit ca. 4 % auf **Boyuibe** und **Camiri**. Auf mittelstark erodierten Böden in Cabezas liegen ca. 74 % des Nutzungstyps Ackerbau und Viehzucht sowie 13,5 % in **Charagua**. Der Rest ist auf die anderen westlichen Landgemeinden verteilt.

In **Charagua** befinden sich ca. 72 % der silvopastoralen Nutzung und rd. 82 % der Viehzucht-Nutzung auf **leicht erodierten Böden**. Der Rest der silvopastoralen Nutzung ist in **Gutierrez** und **Lagunillas** zu finden (11 bzw. rd. 10 %) und der Rest der Viehzucht-Nutzung (12 %) ist vor allem in Gutierrez vorzufinden. Die Einzelstammnutzung auf leicht erodierten Böden verteilt sich auf **Charagua** (ca. 57,3 %) und Cabezas (ca. 42,7 %). Die agrosilvopastorale Nutzung teilt sich zwischen den westlichen Landgemeinden **Cabezas** (ca. 61 %), Boyuibe (27 %) und **Gutierrez** (rd. 12 %) auf. Auf leicht erodierten Böden in den westlichen Landgemeinden **Lagunillas**, **Camiri** und **Cabezas** kommt es zur Ackerbau- und Viehzucht-Nutzung, hauptsächlich in **Lagunillas** (40 %) und ein kleiner Teil in Camiri (>14 %) und Cabezas (11,5 %). Etwa 11 % dieses Nutzungstyps kommt auf leicht erodierten Böden in **Charagua** vor.

Ein Großteil der silvopastoralen Nutzung (>99,5 %) sowie der Viehzucht und agrosilvopastoralen Nutzung (>98 % bzw. >83,5 %) und ein Gesamtteil der Einzelstammnutzung (100 %) finden auf den **nicht-erodierten Böden** in **Charagua** statt. Der Rest der silvopastoralen Nutzung (<0,5 %) sowie der Viehzucht und agrosilvopastoralen Nutzung (1,7 % bzw. 16,4 %) befindet sich auf den nicht-erodierten Böden in der Landgemeinde **Cabezas**. Ackerbau und Viehzucht verteilen sich vor allem auf die nicht-erodierten Böden von **Cabezas** (90,5 %).

5.2 Bewertung des Anbaupotenziales der Beispielflächen

5.2.1 Zusammenfassung der ökologischen Eigenschaften von *Jatropha curcas* als Basis zur Potenzialabschätzung auf den Beispielflächen

Wesentliche Eigenschaften von *J. curcas* (vgl. Kapitel 2) haben eine große Bedeutung für die Bewertung des Potenzials zum *J. curcas*-Anbau auf erodierten Böden unter ökologischen und sozioökonomischen Gesichtspunkten im UG:

Niedriger Wasserbedarf von *J. curcas* (vgl. Unterkapitel 2.2.1)

Der Wasserbedarf von *J. curcas* ist gering, so dass sie lange Trockenzeiten bis zu zwei Jahre überleben kann. Das bedeutet jedoch nicht, dass *J. curcas* ohne Wasser wachsen kann. Für einen erfolgreichen, großflächigen Anbau von *J. curcas* in trockenem Gebiet wird ein Bewässerungssystem benötigt, um die Pflanzen optimal mit Wasser zu versorgen.

Belastbarkeit von *J. curcas* gegenüber strengen klimatischen Bedingungen

Entsprechend ihrem **natürlichen Habitat** - *J. curcas* ist in der Untersuchungsregion heimisch (vgl. Unterkapitel 2.1 und 3.2) – hat *J. curcas* die Fähigkeit, sich an Orte mit strengen klimatischen Bedingungen anzupassen und sie kann auf unfruchtbaren Böden wachsen. Daher kann *J. curcas* auf den erodierten und unfruchtbaren Böden der Region El Gran Chaco Boliviano angebaut werden. Hier könnte die Anpflanzung von *J. curcas* auf erodierten Böden eine optimale Maßnahme gegen weitere Erosion im UG sein.

J. curcas hat einen hohen Proteingehalt und kann dadurch zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit beitragen, wenn Erntereste auf der Fläche verbleiben oder bei der Biodieselproduktion anfallende Reststoffe wieder auf den Anbauflächen ausgebracht werden. Zum Beispiel können in der Praxis die Samen- und Fruchtschalen sowie das Laub von *J. curcas* als Düngungsmittel und Humuslieferanten zur Verbesserung der Bodenqualität beitragen. Auf diese Weise könnte der Anbau von *J. curcas* als Ölpflanze in Verbindung mit dem Erosionsschutz den Bodenzustand im UG El Gran Chaco in Santa Cruz nachhaltig verbessern.

Toxizität von *J. curcas* (vgl. Unterkapitel 2.2.1).

Die Pflanze und die Früchte von *J. curcas* sind toxisch. Deswegen konkurriert ihr Anbau prinzipiell nicht direkt mit der Nahrungsmittelproduktion. Auch indirekte Konkurrenzen mit der Nahrungsmittelproduktion lassen sich vermeiden, wenn *J. curcas* an für die Nahrungsmittelproduktion aufgrund der gegebenen klimatischen Bedingungen und einem ungünstigem Bodenzustand nicht geeigneten Standorten angebaut werden kann. Auf diese Weise werden keine anderen Nutzpflanzen verdrängt. Vielmehr könnte *J. curcas* aufgrund ihres hohen Proteingehaltes und ihrer Fähigkeit zur Verbesserung des Bodens zur Ackerlandgewinnung und Rekultivierung degradierter Flächen im UG beitragen (siehe nächster Abschnitt). So kann ihr Anbau auf Landwirtschaft und Bodenschutz positiv wirken.

5.2.2 Anwendung der Bewertungskriterien an den zwei Beispielflächen

In Verbindung mit den Anbaueigenschaften von *J. curcas* werden die in Kap. 4.1.1 abgeleiteten Kriterien zum *Jatropha curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion sowie die weiteren ökologischen und sozioökonomischen Kriterien auf zwei Beispielflächen der Landgemeinde Charagua angewandt. Die Landgemeinde Charagua ist als konkretisiertes UG zur Analyse des Potenzials des *J. curcas*-Anbaus ausgewählt worden, weil sie am meisten von Dürre und Erosion (Winderosion) bedroht ist und es infolgedessen zu einer starken Emigration der Bevölkerung kommt. In der Landgemeinde Charagua liegen die ausgewählten Beispielflächen (BF1 und BF2). In Karte 7/10 (s. Kartenanhang S. 225) ist die Lage der BF1 und BF2 gekennzeichnet.

BF1 befindet sich im südwestlichen Teil Charaguas und ist ca. 438.000 ha groß. Sie ist vor allem von stark erodierten Böden geprägt. Sie wird im Nordwesten vom Flusslauf des Río Parapetí durchzogen. Im Südosten überschneidet sie sich mit einem kleinen Teil des Kaa-Iya-Schutzgebietes.

BF2 befindet sich im Osten des Untersuchungsgebietes und ist mit ca. 58.500 ha wesentlich kleiner als BF1. Sie ist hauptsächlich von mittel erodierten Böden geprägt und wird ebenfalls von einem Flusslauf (Name ist nicht bekannt) durchzogen.

Tabelle 5.8: Kriterienbezogene Charakteristiken der Beispielflächen

N°	Kriterien	Beschreibung	
		Beispielfläche 1: 438.337 ha	Beispielfläche 2: 58.504 ha
Standortkriterien von *J. curcas*			
1	Temperatur	Min: 7,5-8°C, Max: 37-38°C (Keine Zeitraumangabe)	Min: 8-9°C, Max: 38-39°C (Keine Zeitraumangabe)
2	Frostrisiko	Sehr niedrig und niedrig	Hauptsächlich sehr niedrig
3	Flüsse	Bewässerungsmöglichkeit gegeben (keine Wasserfluss-Angabe)	Bewässerungsmöglichkeit gegeben (Keine Wasserfluss-Angabe)
4	Grundwassernachlieferung	0,5-1 und 3-5 l /sec/ha	0,5-1 und 2-3 l /sec/ha
5	Jährlicher Niederschlag	500-800 mm	1100-1200 mm
6	Hangneigung	Hauptsächlich flach bis leicht ansteigend	Flach
7	Versickerungsrate	Hoch, mittel und niedrig	Mittel bis hoch
8	Überschwemmungsrisiko	Sehr niedrig bis sehr hoch. Hauptsächlich niedrig bis sehr niedrig	Sehr niedrig und hoch
9	Dürregefahr	Hauptsächlich sehr hoch. Im Norden und Südwesten einzelne Flächen mittel bis hoch	Hauptsächlich niedrig
Ökologische Kriterien bzw. sonstige Umweltfaktoren			
10	Landbedeckung	Vegetationstyp: Ackerfläche und Weideland (23.093 ha), Flussbett (6.321 ha), Gebüsch (227.466 ha), Krautige Pflanzen (300 ha), Wald (158.249 ha)	Vegetationstyp: Gebüsch (22.260 ha), Wald (36.244 ha)
11	Schutzgebiete	Die Beispielfläche umfasst 22.908 ha des Schutzgebietes Kaa-Iya del Gran Chaco	Keine
12	Erodierte Böden	Mittel bis stark Mittel: 83.861 ha, stark: 354.476 ha	Leicht bis stark Leicht: 4.297 ha, mittel: 53.832 ha, stark: 374 ha
Sozioökonomische Kriterien			
13	Landwirtschaftliche Nutzfläche	Kleinere Einsprengsel mit den Nutzungstypen: Einzelstammnutzung (669 ha), silvopastorale Nutzung (583 ha), Viehzucht (57.251).14	Kleinere Einsprengsel mit den Nutzungstypen: Ackerbau (753 ha), Ackerbau und Viehzucht (22.341 ha), agrosilvopastorale Nutzung (39.633 ha), Flussbett (6.317 ha), silvopastorale Nutzung (157.029 ha), Viehzucht (212.264 ha)
14	Infrastruktur	Unasphaltierter Gemeindeweg	Unasphaltierter Gemeindeweg
15	Siedlungsgebiet	Vier Gemeinden (Floresta: 195 Einwohner, Isiporenda: 300 Einwohner, Karapari: 149 Einwohner, Tarenda: 302 Einwohner)	Es gibt keine Ortschaft

Im Folgenden wird die Analyse im Hinblick auf die ökologischen und sozioökonomischen Kriterien zum *J. curcas*-Anbau durchgeführt, um eine Bewertung des Anbaupotenzials für jede Beispielfläche vornehmen zu können. Mögliche Konfliktpotenziale (Vor- bzw. Nachteile) zur Verfügbarkeit von Anbauflächen für *J. curcas* können durch die Analyse identifiziert werden.

Die Tabellen 5.9 Teile I-a, I-b und II zeigen die möglichen vor- bzw. nachteiligen Auswirkungen der Standortgegebenheiten auf den *J. curcas*-Anbau und mögliche ökologische und sozioökonomische Konsequenzen (vgl. Tabellen 4.1 Teil I-II) für beide Beispielflächen bezogen auf die in Tabelle 5.8 dargestellten kriterienbezogenen Daten (hierzu auch die Tabellen 4.1 Teil I-a, I-b und II). Die Spalten 4 „Vorteil" und 5 „Nachteil" zeigen kriterienspezifisch die Vorteile und Nachteile entsprechend der Standortkriterien von *J. curcas* sowie im Hinblick auf mögliche ökologische und sozioökonomische Folgen in der jeweiligen Beispielfläche auf. Nach den Ergebnissen sind bei der Standortplanung von *J. curcas*-Plantagen in beiden Beispielflächen insbesondere folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- Verhinderung eines möglichen Regenwasserstaus auf Böden mit schlechten Drain-Eigenschaften durch ein effektives Dräniersystem. Das ist umso wichtiger als dass die Hangneigung der Oberfläche der Beispielflächen nur sehr flach ist (Standortkriterien von *J. curcas*).
- Effektive Bewässerungssysteme durch den Aufbau von Brunnen in BF1 sowie BF2 als Notfallbewässerungsalternative für die *J. curcas*-Plantagen (Standortkriterien von *J. curcas*).
- Bilanz zwischen Eintrag (INPUT) und Ertrag (OUTPUT) beim *J. curcas*-Anbau auf stark erodierten Böden, weil der Anbau von *J. curcas* auf erodierten Böden mehr Arbeit für einen zufriedenstellenden Ertrag und daher mehr Investitionskosten benötigen könnte. In BF1 und BF2 ist der Boden hauptsächlich stark erodiert, so dass eine Humusverbesserung des Bodens, eine vermehrte Unkrautbekämpfung, ein häufigeres Beschneiden und eine intensivere Bewässerung notwendig sein könnten (ökologische und sozioökonomische Kriterien).
- Erhöhte Investitionskosten durch den Aufbau von Straßen und der Verbesserung des Zustands von nicht-asphaltierten Gemeindewegen in BF1 sowie BF2. Das Verbindungssystem in beiden Beispielflächen ist schlecht (sozioökonomische Kriterien).

Tabelle 5.9: Analyse und Bewertung der Beispielflächen – Teil Ia, Ib und II

Teil Ia: Im Hinblick auf die Standortkriterien von *J. curcas*

N°	Kriterien	Auftreten	Vorteil	Nachteil
Standortansprüchen von *J. curcas*				
1	Temperatur	----------	Prinzipiell treten Temperaturen unter 0° in BF1 sowie in BF2 nicht auf.	Durch den Surazo (regionales Phänomen) können Temperaturabfälle verursacht werden und als Folge können starke Temperaturschwankungen auftreten, die für die Entwicklung von ***J. curcas***-Plantagen nachteilig sind.
2	Frost	----------	Auftreten von Frost in BF1 sowie in BF2 ist sehr gering bis gering.	Ein Frostereignis kann für das Wachstum von ***J. curcas***-Plantagen nachteilig sein.
3	Flüsse	Vorhanden	BF1 ist im Nordwesten durchzogen vom Flusslauf des Río Parapetí. In BF2 befindet sich ein kleiner Fluss, doch der Name des Flusses wurde bei den vorhandenen Sachdaten nicht genannt. Der Flüsse könnten zur Bewässerung der ***J. curcas***-Plantagen nutzbar sein.	Zum Wasserfluss der Flüsse in BF1 sowie in BF2 sind in den vorhandenen Sachdaten keine Angaben zu finden. Außerdem wurde dabei nicht spezifisch beschrieben, ob die Flüsse in heißen Sommern zeitweise ausgetrocknet sind.
4	Grundwassernachlieferung	Vorhanden	In BF1 und BF2 befindet sich Grundwasser in einer Tiefe von 350-400 Meter unterhalb der Bodenoberfläche. Im Fall einer Trockenzeit könnten Brunnen zur Bewässerung der ***J. curcas***-Plantagen dienen.	Bei ineffizientem Bewässerungssystem durch Brunnen gibt es das Risiko, dass der Grundwasserspiegel der Beispielflächen sinken wird.
5	Jährlicher Niederschlag	Vorhanden	Grundsätzlich ist der Wasserbedarf von ***J. curcas*** gering. Daher sollte die Pflanze problemlos bei dem durchschnittlichen jährlichen Niederschlag von 500-800 mm in BF1 sowie von 1100-1200 mm in BF2 wachsen.	Extreme Niederschlagereignisse in beiden Beispielflächen (zu niedriger < 200 mm/Jahr oder zu hoher Niederschlag > 1.500 mm/Jahr) können negativ auf die Entwicklung von ***J. curcas*** wirken.

N°	Kriterien	Auftreten	Vorteil	Nachteil
Standortansprüchen von *J. curcas*				
6	Hangneigung	Vorhanden	----------	Die flache Neigung der Oberfläche in BF1 sowie in BF2 wirkt auf eine gute Dränage des stehenden Regenwassers negativ.
7	Versickerungsrate	Vorhanden	In BF1 ist die Versickerungsrate hoch, mittel und niedrig bestimmt; in BF2 mittel bis hoch (keine genauen Werte sind dazu in den vorhandenen Sachdaten zu finden). Die Topographie, Charakteristiken des Bodens, Geologie, Klima, Hydrogeologie u.a. im Zusammenhang mit einer hohen Versickerungsrate können sich positiv auf die Grundwasserbildung und Dränierwirkung des Bodens auswirken.	Bei schlechter Durchlässigkeitsfähigkeit des Bodens und flacher Neigung der Oberflächen in beiden Beispielflächen kann es nachteilig für die Dränierwirkung des Regenwassers sein, weil ***J. curcas*** besser auf dränierten Böden wächst.
8	Überschwemmungs-risiko	----------	In BF1 ist das Risiko sehr niedrig bis hoch, aber hauptsächlich niedrig bis sehr niedrig und in BF2 sehr niedrig und hoch. Trotzdem sind keine Überschwemmungen in beiden Beispielflächen aufgetreten.	----------
9	Dürregefahr	Vorhanden	In BF2 ist die Dürregefahr hauptsächlich niedrig.	Im Gegenteil zu BF2 ist in BF1 die Dürregefahr hauptsächlich sehr hoch. Bei dieser Situation sollten die ***J. curcas***-Plantagen regelmäßig durch effiziente Bewässerungssysteme bewässert werden.

N°	Kriterien	Auftreten	Vorteil	Nachteil
Ökologische Kriterien				
10	Landbedeckung	Vorhanden	Zwischen den unterschiedlichen Vegetationstypen in BF1 gibt es Gelände mit Gebüsch und krautige Pflanzen. Darauf kann ***J. curcas*** angebaut werden ohne konkurrierende Nutzungen. Der Vegetationstyp der BF2 ist nur von Gebüsch und Wald gebildet. ***J. curcas***-Anbau sollte auf den Böden mit Gebüsch erfolgen.	----------
11	Schutzgebiete	Vorhanden	In BF1 gibt es rd. 22.908 ha vom Schutzgebiet Kaa-Iya. Der Anbau von ***J. curcas*** kann darauf positiv wirken (als Erosionsschutz am Rand von Schutzgebieten). In BF2 liegt kein Schutzgebiet.	---------
12	Erodierte Böden	Vorhanden	Der Anbau von ***J. curcas*** auf den vorhandenen erodierten Böden in BF1 und BF2 kann zur Verbesserung des Bodens und damit zur Landgewinnung beitragen.	In BF1 sowie BF2 ist der Boden hauptsächlich stark erodiert. Dadurch ist wahrscheinlich ein vermindertes Wachstum der Pflanzen zu erwarten oder ein großer Aufwand bzw. Eintrag (INPUT wie Düngung, Arbeitsaufwand zur Bodenvorbereitung u. a.) wird benötigt, um einen guten Ertrag (OUTPUT) zu haben.
Sozioökonomische Kriterien				
13	Landwirtschaftliche Nutzflächen	Vorhanden	***J. curcas***-Anbau in BF1 sowie in BF2 kann zum Erosionsschutz für die landwirtschaftlichen Nutzflächen beitragen sowie Flora und Fauna fördern.	Die Tiere der Umgebung dürfen nicht zu den Plantagen von ***J. curcas*** in BF1 und in BF2 gelangen.
14	Infrastruktur	Vorhanden	Für die Umsetzung von ***J. curcas***-Projekten in BF1 sowie in BF2 müssen Straßen gebaut werden. Dadurch werden die Infrastruktur bzw. der Zustand des aktuellen Gemeindewegesystems nicht nur der BF1 und BF2, sondern auch im UG verbessert.	Zur Verbesserung des nicht-asphaltierten Gemeindewegs und zum Aufbau von Straßen in BF1 sowie in BF2 ist mit erhöhten Investitionskosten zu rechnen.
15	Siedlungsgebiet	Vorhanden	In BF1 gibt es vier Gemeinden, die aber von Auswanderung betroffen sind. Dadurch könnte es es einen Mangel an Arbeitskräften auf den ***J. curcas***-Plantagen geben. In BF2 ist keine Ortschaft. Der ***Jatropha***-Anbau kann die Entwicklung der Gemeinden durch die Schaffung von Arbeitsplätzen positv beeinflussen.	---------

Aber bei der Analyse und Bewertung der beiden Beispielflächen sind auch positive Wirkungen zu erwarten:

- Verbesserung des Bodenzustandes auf erodierten und unfruchtbaren Böden durch den Anbau von *J. curcas* (ökologische Kriterien).
- Erosionsschutz für Schutzgebiete und Ackerland sowie Flora und Fauna im UG (ökologische Kriterien).
- Schaffung von Arbeitsplätzen in der Region u. a. (sozioökonomische Kriterien).

In den Karten 8 und 9 (s. Kartenanhang S. 225) ist die räumliche Verteilung von Frost-, Dürre- und Hochwasserrisiko, Versickerungsrate, Flüssen und Siedlungsgebieten der BF1 und BF2 dargestellt. BF2 ist im Durchschnitt geringfügig wärmer als BF1 und weist eine größere durchschnittliche Niederschlagsmenge auf. Das Frostrisiko ist auf beiden Flächen gering, wobei es in BF2 noch etwas geringer ausfällt als in BF1. Einen großen Unterschied gibt es in der Bewertung des Dürrerisikos. Dieses fällt in BF1 hauptsächlich sehr hoch aus, während es in BF2 in einem Großteil der Fläche als sehr niedrig bis mittel eingeschätzt wird. Im Gegenzug ist das Hochwasserrisiko in BF2 ausgeprägter als in BF1.

Im Folgenden werden die Beispielflächen anhand der erarbeiteten Kriterien (vgl. Unterkapitel 4.1.1) bewertet. Jedes Kriterium wird daraufhin untersucht, ob auf potentiellen Anbauflächen eine positive, neutrale oder negative Wirkung auf die Entwicklung bzw. auf das Wachstum und die Produktion von *J. curcas* auftritt. Im Ergebnis werden Standorte zum *J. curcas*-Anbau identifiziert und in der Summe eine Beurteilung des Gesamtpotenzials der Beispielflächen für den Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion ermittelt. Die Bewertung anhand der Kriterien ist für die Beispielflächen in den Tabellen 5.10 und 5.11 dargestellt.

BEISPIELFLÄCHE 1

Der Tabelle 5.10 lässt sich entnehmen, dass das Anbaupotenzial der BF1 vielversprechend ist. Die bewerteten Kriterien Flüsse, Grundwassernachlieferung und jährlicher Niederschlag zu den **Standortkriterien** von *J. curcas*, bieten grundsätzlich günstige Bedingungen für den Anbau von *J. curcas*. Die Bewertung der Hangneigung, der Versickerungsrate und des Überschwemmungsrisikos sind neutral. Dies bedeutet, dass diese Bedingungen zum *J. curcas*-Anbau sich durch geeignete Maßnahmen verbessern

können. Allerdings können extreme Situationen durch klimatische Phänomene wie Dürre oder Frostrisiko auftreten.

Für eine optimale Produktion von *J. curcas* müssen daher einige Standortbedingungen verbessert werden. So fallen in der kalten Jahreszeit die **Temperaturen** unter 0° C und **Frostereignisse**, insbesondere verbunden mit dem regionalen Phänomen **Surazo** (vgl. Fußnote 14, S. 74), treten auf. Daher sollten die Pflanzen mit Stroh oder Rindenmulch geschützt werden. Diese Aufgabe sollte in die Pflege der Flächen eingebunden sein und erfordert Arbeitskräfte.

Die Nutzung von Wasser aus den **Flüssen** und / oder aus dem Grundwasser zur Bewässerung der *J. curcas*-Plantagen kann erheblich zur Erhöhung der *J. curcas*-Produktion beitragen, auch wenn der Wasserbedarf von *J. curcas* grundsätzlich niedrig ist und die jährliche Niederschlagsmenge den grundlegenden Bedarf von *J. curcas* an Wasser deckt. Durch das Vorhalten von Bewässerung können auch gelegentliche Dürreperioden überbrückt werden. Dabei ist die Nutzung von **Grundwasser** zur Bewässerung der *J. curcas*-Plantagen zu bevorzugen, weil das Grundwasser in einer Tiefe vorkommt, die den Anbau von Brunnen rechtfertigen würde. Trotz des niedrigen, den Ertrag limitierenden **jährlichen Niederschlags** auf der BF1 (500-800 mm), können die *J. curcas*-Plantagen daher für eine optimale Ernte gut mit Wasser versorgt werden. Künstliche Bewässerungssysteme zur optimalen Wasserversorgung sollten daher bei der Anlage der Plantagen mit installiert werden. Dies erhöht jedoch die Kosten der Biodieselproduktion.

Die Hangneigung des Bodens in BF1 ist flach und die Versickerungsrate hoch bis niedrig; beide Kriterien spielen bei dem Abfließen des exzessiven Regenwassers von den *J. curcas*-Plantagen eine nachteilige Rolle. So zeigt die Bewertung anhand der Hangneigungs- und Versickerungsrate-Kriterien die Notwendigkeit, in kritischen Bereichen, wo die Oberflächenneigung flach und die Versickerungsrate des Bodens niedrig ist, Maßnahmen zu ergreifen, um stehendes Regenwasser in *J. curcas*-Plantagen zu verhindern. *J. curcas* kann besser auf dränierten Böden wachsen. Mögliche Maßnahmen reichen von einem Bodenaustausch vor der Anlage der Kultur bis zur einfachen Anlage von Rillen und flachen Gräben zur Förderung des Oberflächenabflusses.

Nach ökologischen Kriterien ist die BF1 ebenfalls grundsätzlich als vorteilhaft für den Anbau von *J. curcas* anzusehen, insbesondere wenn der Anbau nur auf erodierter Fläche oder auf unfruchtbarem Boden stattfindet (vgl. Tabelle 5.10). Die Vegetationskarte

Tabelle 5.10: Bewertung des Potenzials der BF1

N°	Kriterien	Bewertung
Standortkriterien von *J. curcas*		
1	Temperatur	Positiv und neutral: Sogar in der kalten Jahreszeit treten hauptsächlich keine Temperaturen unter 0 °C auf. Aber es könnte Temperaturabfälle durch das regionale Phänomen Surazo geben.
2	Frostrisiko	Positiv und neutral: Mit Frost ist hauptsächlich nicht zu rechnen, aber ein Frostrisiko ist vorhanden wegen des regionalen Phänomens Surazo.
3	Flüsse	Positiv: Grundwasser ist vorhanden und kommt in einer Tiefe vor, die den Bau von Brunnen rechtfertigen würde. Somit steht eine weitere mögliche Wasserversorgung zur Verfügung.
4	Grundwassernachlieferung	Positiv: Grundwasser ist vorhanden und kommt in einer Tiefe vor, die den Bau von Brunnen rechtfertigen würde. Somit steht eine weitere mögliche Wasserversorgung zur Verfügung.
5	Jährlicher Niederschlag	Positiv: Der jährliche Niederschlag deckt den Wasserbedarf von ***J. curcas***.
6	Hangneigung	Neutral: Dräniermaßnahmen erforderlich (z. B. Aufbau von üblichen Rillen zur Verdrängung des stehenden Regenwassers).
7	Versickerungsrate	Neutral: je nach Boden-/Untergrundbeschaffenheit Maßnahmen nötig (z. B. Verbesserung der Durchlässigkeit des Bodens durch Bodenaustausch).
8	Überschwemmungsrisiko	Neutral: Detailinformationen zu Wasserfluss und Wassermaßen werden benötigt.
9	Dürregefahr	Negativ: Der Ort ist empfindlich in Bezug auf Dürregefahr und extreme Situationen von klimatischen Phänomenen wie Dürre können sich negativ auf die ***J. curcas***-Plantagen auswirken.
Ökologische Kriterien bzw. sonstige Umweltfaktoren		
10	Landbedeckung	Positiv: Ein Großteil der Beispielfläche ist stark erodiert und mit Gebüsch und krautigen Pflanzen bedeckt und könnte für den ***J. curcas***-Anbau genutzt werden, daher sind wenige konkurrierende Nutzungen zu erwarten.
11	Schutzgebiete	Positiv: Schutzgebiete kommen für den Anbau von ***J. curcas*** nicht in Frage.
12	Erodierte Böden	Positiv: ***J. curcas*** soll nur auf unfruchtbaren Böden angebaut werden (vgl. Bewertung vom 10. Kriterium).
Sozioökonomische Kriterien		
13	Landwirtschaftliche Nutzflächen	Neutral: Flächen stehen nicht für ***J. curcas***-Anbau zur Verfügung, dennoch positive Auswirkungen des ***J. curcas***-Anbaus auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen möglich.
14	Infrastruktur	Negativ und neutral: Die Infrastruktur vor Ort muss verbessert werden, um ***J. curcas*** im großen Maßstab anzubauen und die Plantagen und weiterverarbeitenden Betriebe zu verbinden.
15	Siedlungsgebiet	Positiv: Durch die geringe Besiedlung besteht kaum Konkurrenz mit menschlicher Besiedlung, dennoch sind potenzielle Arbeitskräfte vorhanden.

(Karte 4/10, s. Kartenanhang S. 225) und die Erosionskarte (Karte 2/10, s. Kartenanhang S. 225) zeigen die Verfügbarkeit geeigneter Flächen zum Anbau von *J. curcas* im großen Maßstab ohne Nutzung von Schutzgebieten oder Ackerfläche.

So ist der Boden im südöstlichen, zentralen und nördlichen Teil der BF1 stark erodiert (354.476 ha). Aber in einem kleinen Teil im südöstlichen Bereich liegen 22.908 ha, die geschützt sind als Teil des Kaa-Iya del Gran Chaco-Schutzgebietes im UG. Diese Fläche soll nicht zum *J. curcas*-Anbau genutzt werden. BF1 besitzt auch mittel erodierten Boden (83.861 ha), der insbesondere im süd- und nordwestlichen Teil der BF1 liegt (vgl. Karte 7/10, s. Kartenanhang S. 225) und ebenfalls zum Anbau geeignet ist.

Auch die Bewertung der **sozioökonomischen Kriterien** (landwirtschaftliche Nutzflächen, Infrastruktur und Siedlungsgebiet) ist in BF1 generell positiv, weil es positive Auswirkungen des *J. curcas*-Anbaus auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen geben kann (vgl. Tabelle 5.10). Außerdem gibt es kaum Konkurrenz mit menschlicher Besiedlung, da die Besiedlung sehr gering ist. Allerdings gibt es einen Mangel an Infrastruktur in BF1, was gleichwohl durch den Aufbau von Straßen verbessert werden kann.

BEISPIELFLÄCHE 2

Die Gesamtbewertung von der BF2 zeigt, dass auch hier Potenzial für den Anbau von *J. curcas* vorhanden ist (vgl. Tabelle 5.11). Die Bewertungen der Standortkriterien sind zum größten Teil positiv: Temperatur, Frostrisiko, Flüsse, Grundwassernachlieferung, jährlicher Niederschlag, Versickerungsrate, Überschwemmungsrisiko und Dürregefahr. Negativ und neutral bewertete Standortkriterien lassen sich mit geeigneten Maßnahmen für den *J. curcas*-Anbau verbessern. Beispielsweise ist die Wahrscheinlichkeit des **Frostrisikos** im Gebiet der BF2 mittel bis hoch und wenn Frost insbesondere in der Blütezeit von *J. curcas* auftritt, könnte sich dies negativ auf den Ernteertrag der Pflanze auswirken. Deswegen sollten auch hier die Pflanzen mit Stroh oder Rindenmulch geschützt werden, wodurch zwar nicht das Absterben von Blüten, wohl aber der Ausfall ganzer Pflanzen verhindert werden kann (Ardaya 2010, Interview).

Aufgrund der hohen Jahresniederschläge (1.150 mm) sind die *J. curcas*-Plantagen in BF2 kaum von Dürre bedroht (vgl. Karte 9/10: Detailkarte der BF2, s. Kartenanhang S. 225). Sollte auf Teilflächen der BF2 dennoch eine Bewässerung von Plantagen, z.B. zur Ertragssteigerung, notwendig sein, ist die Verfügbarkeit von Wasser zur Bewässerung von *J. curcas* in der Umgebung der Beispielfläche über einen Fluss prinzipiell

gegeben. Allerdings fehlen Informationen zu seiner Wasserführung und eventueller temporärer Austrocknung. Im Fall der temporären Austrocknung des Flusses sollte Wasser dafür in einem Reservoir gespeichert werden. Die Nutzung von **Grundwasser** durch den Bau von Brunnen kann eine andere Bewässerungsmöglichkeit für die Plantagen auf der BF2 sein.

Demgegenüber schwankt das **Überschwemmungsrisiko** in der BF2 zwischen niedrig bis hoch. Damit gibt es innerhalb der BF2 Bereiche, in denen das Risiko sehr niedrig ist, wie insbesondere im nordwestlichen Teil, in einem kleinen Bereich im südlichen Teil, und andere Bereiche, in denen das Überschwemmungsrisiko hoch ist (vgl. Karte 9/10, s. Kartenanhang S. 225). Bei hohem Überschwemmungsrisiko sollten die Plantagen durch einen Damm geschützt werden.

Die **Versickerungsrate** des Bodens und die sehr leichte **Hangneigung** der Oberfläche in BF2 verhindern einen schnellen Wasserabfluss aus der Fläche, wodurch es zu Staunässe kommen kann. Daher sind in den betroffenen Bereichen Dräniermaßnahmen erforderlich, um exzessives Wasser bzw. Regenwasser schneller abzuführen. *J. curcas* wächst besser auf dränierten Böden (Stambuck 2009, Interview). Vor der Anlage einer *J. curcas*-Plantage sollte aber in jedem Fall vor Ort geprüft werden, wie schlecht oder akzeptabel die Versickerungsrate und die Abflussrate sind, da beides sehr von der spezifischen Durchlässigkeit des Bodens und seiner Topographie abhängig ist. Wie bereits für die BF1 ausgeführt, könnte auch in BF2 die Durchlässigkeit des Bodens durch Bodenaustausch erhöht werden und die Anlage von Rillen und flachen Gräben zur geregelten Wasserabfuhr führen und so Staunässe auf der Anbaufläche vermieden werden.

Auch im Hinblick auf die insgesamt positiv bewerteten ökologischen Kriterien, insbesondere die Vegetationstypen (Landbedeckung) und die Verfügbarkeit erodierter Böden, weist die BF2 Potenzial zum *J. curcas*-Anbau auf. So kann *J. curcas* auf **erodierten Böden** ebenso angebaut werden wie auf Flächen mit Gebüsch. Auf der BF2 überwiegt mittel erodierter Boden (53.832 ha) und nur kleine Teilflächen sind leicht erodierter (4.297 ha) und stark erodierter Boden (374 ha). Diese Teilflächen liegen im südöstlichen Teil der BF2 (vgl. Karte 7/10, s. Kartenanhang S. 225). Zudem sind in der ganzen Fläche nur wenige konkurrierende Nutzungen mit Schutzgebieten und dem Ackerbau zu erwarten. Beispielsweise gibt es in der BF2 keine Schutzgebiete (vgl.

Karte 7/10, s. Kartenanhang S. 225) und nur wenige kleine Flächen auf denen Ackerbau betrieben wird. Außerdem gibt es in BF2 keine Schutzgebiete.

Auch nach der Bewertung der sozioökonomischen Situation kann die BF2 zum *J. curcas*-Anbau genutzt werden, da die Charakteristiken der sozioökonomischen Kriterien (landwirtschaftliche Nutzflächen, Infrastruktur und Siedlungsgebiet) grundsätzlich positive Bedingungen in BF2 zum Anbau von *J. curcas* zeigen (vgl. Tabelle 5.11). Die Auswirkungen und Wechselwirkungen auf und mit den **landwirtschaftlichen Nutzflächen** sind die gleichen wie schon oben für BF1 beschrieben. Auch gibt es wie auf BF1 einen **Mangel an Infrastruktur**. Der Aufbau von *J. curcas*-Plantagen und Biodieselproduktionen macht jedoch eine einfache Infrastruktur erforderlich. Insbesondere gilt es die Infrastruktur durch den Aufbau von Straßen zu verbessern. Das ist einerseits mit Kosten verbunden, andererseits würde sich dadurch die Infrastruktursituation der Gebiete, in denen Plantagen und Straßen angelegt werden, verbessern.

Auf beiden Beispielflächen ist die Siedlungsdichte nur gering, so dass kaum Konkurrenz mit menschlicher Besiedlung besteht. Vielmehr kann der Anbau von *J. curcas* eine potenzielle Beschäftigungsmöglichkeit für die lokale Bevölkerung sein, die bislang auswandern muss, um Arbeitsmöglichkeiten zu finden.

Tabelle 5.11: Bewertung des Potenzials der BF2

N°	Kriterien	Bewertung
Standortkriterien von *J. curcas*		
1	Temperatur	Positiv: Sogar in der kalten Jahreszeit treten keine Temperaturen unter 0 °C auf.
2	Frostrisiko	Positiv: Mit Frost ist nicht zu rechnen. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Frost in dem Ort ist hauptsächlich niedrig.
3	Flüsse	Positiv und neutral: In der Nähe der Beispielfläche gibt es einen Fluss. Damit ist Bewässerung zum idealen Wachstum der Pflanzen sichergestellt, Details zu seiner Wasserführung und eventueller temporärer Austrocknung fehlen jedoch.
4	Grundwassernachlieferung	Positiv: Grundwasser ist vorhanden und kommt in einer Tiefe vor, die den Bau von Brunnen rechtfertigen würde. Somit steht eine weitere mögliche Wasserversorgung zur Verfügung.
5	Jährlicher Niederschlag	Positiv: Der jährliche Niederschlag deckt den Wasserbedarf von ***J. curcas***.
6	Hangneigung	Neutral: Dräniermaßnahmen erforderlich (z. B. Aufbau von üblichen Rillen zur Verdrängung des stehenden Regenwassers).
7	Versickerungsrate	Positiv: Die Versickerungsrate des Bodens am Ort ist mittel bis hoch und daher könnten Maßnahmen bzgl. Boden-/Untergrundbeschaffenheit nicht unbedingt benötigt werden.
8	Überschwemmungsrisiko	Positiv und neutral: Das Auftreten einer Überschwemmung an dem Ort ist sehr niedrig und hoch (es ist in einigen Bereichen niedrig und in anderen Bereichen hoch). Für den Fall, dass es eine große Bedrohung von Überschwemmung gibt, sollten Maßnahmen vorgenommen werden, um die ***J. curcas***-Plantagen besser zu schützen. Aber es kann zur Zunahme der Kosten des Anbaus führen.
9	Dürregefahr	Positiv: Mit Dürre ist nicht zu rechnen.
Ökologische Kriterien bzw. sonstige Umweltfaktoren		
10	Landbedeckung	Positiv: Das kleine Gebiet hat zwei Vegetationstypen: Gebüsch und Wald. Aber nur für die Fläche, die mit Gebüsch bedeckt ist, sind wenige konkurrierende Nutzungen zu erwarten.
11	Schutzgebiete	Positiv: Es gibt keine Schutzgebiete an dem Ort.
12	Erodierte Böden	Positiv: ***J. curcas*** soll nur auf unfruchtbaren Böden angebaut werden (vgl. Bewertung vom 10. Kriterium).
Sozioökonomische Kriterien		
13	Landwirtschaftliche Nutzflächen	Neutral: Flächen stehen nicht für ***J. curcas***-Anbau zur Verfügung, dennoch sind positive Auswirkungen des ***J. curcas***-Anbaus auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen möglich.
14	Infrastruktur	Negativ und neutral: Die Infrastruktur vor Ort muss verbessert werden, um ***J. curcas*** im großen Maßstab anzubauen und die Plantagen und weiterverarbeitenden Betriebe zu verbinden.
15	Siedlungsgebiet	Positiv: Durch die geringe Besiedlung besteht kaum Konkurrenz zu menschlicher Besiedlung, dennoch sind potenzielle Arbeitskräfte vorhanden.

BEWERTUNG IM HINBLICK AUF EINEN NACHHALTIGEN *J. CURCAS*-ANBAU IN BF1 UND BF2

Über die bisher beschriebenen Aspekte hinaus sind beim Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion in BF1 sowie in BF2 weitere Aspekte zu berücksichtigen, damit er ökologisch nachhaltig betrieben werden und zur Entwicklung der Region beitragen kann.

Die unterschiedlichen Bestandteile von *J. curcas* wie ihre Blätter und Früchte haben einen hohen Proteingehalt. Nach der Ölextraktion aus ihren Samen verbleibt ein proteinreicher Presskuchen, der zur Verbesserung des Bodens oder als Energieträger weiter genutzt werden kann (vgl. Unterkapitel 2.3). Mit der Verbesserung des Bodens kann *J. curcas* als Energiepflanze prinzipiell eine Lösung für das kritischste ökologische Problem der Beispielflächen und des Untersuchungsgebietes sein: die Aufwertung devastierter Böden und die Erosion des Bodens.

In beiden Beispielflächen gilt es dabei vor allem die fortschreitende **Erosion des Bodens** zu stoppen: In BF1 ist ein großer Teil der Oberfläche stark erodiert (ca. 81 %) und 19 % sind mittel erodiert. Karte 7/10 kann entnommen werden, dass diese starke Erosion der Oberfläche auch im Schutzgebiet Kaa-Iya del Gran Chaco fortschreitet. Den gleichen Prozess der fortschreitenden Erosion weist BF2 auf, wo ein kleiner Teil der Oberfläche leicht erodiert ist (7 %), überwiegend eine mittlere Erosion stattfindet (>92 %) und starke Erosion des Bodens bislang nur auf sehr wenigen Flächen zu beobachten ist (<1 %) (vgl. Karte 7/10, s. Kartenanhang S. 225).

J. curcas ist fähig, auf unfruchtbaren, erodierten Böden zu wachsen (vgl. Unterkapitel 2.1). Wenn *J. curcas* auf erodierten Böden (insbesondere auf mittel und stark erodierten Böden) in den Beispielflächen angebaut wird, kann sie in Bereichen gedeihen, wo weder der Bodenzustand noch die klimatischen Bedingungen vorteilhaft für andere Arten des Pflanzenanbaus sind. Wegen des hohen Proteingehalts von *J. curcas* können abgefallenes Laub und Blüten- und nicht geerntete Früchte und Fruchtbestandteile zur Bodenverbesserung beitragen. Gleiches gilt bei der Rückführung des proteinreichen Presskuchens, der Samenschalen und weitere bei der Biodieselproduktion anfallende Reststoffe enthält. Die *J. curcas*-Pflanze selbst und die Ausbringung von Reststoffen schützen damit vor weiterer Erosion und reichern den Boden mit Nährstoffen und Humus an. Dadurch wird neue landwirtschaftliche Kulturfläche gewonnen. So wird der Anbau zu einer Maßnahme gegen fortgeschrittene Erosion. Dies könnte dazu bei-

tragen, die noch vorhandenen Regenwälder zu schonen, in dem mittelfristig Flächen wieder landwirtschaftlich nutzbar gemacht werden.

Da *J. curcas* in beiden Beispielflächen auch auf stark erodierten Böden angebaut werden kann, könnte prinzipiell *J. curcas* in einem Flächengesamtumfang von ca. 438.337 ha auf der BF1 und von ca. 58.504 ha auf der BF2 zur Biodieselproduktion verwendet werden (vgl. Karte 10/10, s. Kartenanhang S. 225). Die Oberfläche von BF1 wird hauptsächlich von stark erodierten Böden eingenommen. Gleichzeitig werden große Teile der Landbedeckung von Ackerbau und Weideland, Flussbett, krautigen Pflanzen (mehrjährige heimische Pflanzen), Wald und Schutzgebiet geprägt. Diese sollen für einen Anbau von *J. curcas* nicht genutzt werden, weil Ackerbau und Weidefläche für die Nahrungsmittelproduktion genutzt werden und das Schutzgebiet und der Wald dem Naturschutz vorbehalten sind. Die Erosion findet auch auf dieser Fläche statt, was zu verstreuten, fortgeschritten erodierten Flächen führt (vgl. Karte 7/10, s. Kartenanhang S. 225). *J. curcas* könnte insbesondere auf stark erodierten Böden und am Rand des Schutzgebietes zum Stopp der Erosion angebaut werden. Diese Flächen sind im Wesentlichen durch Gebüsch geprägt. Es sollten vor allem die Gebüschflächen für den Anbau von *J. curcas* genutzt werden, weil sie nicht nur stark erodiert und mit trockener Vegetation bestanden sind, sondern auch nicht anders genutzt werden können. Hier kann eine bodenverbessernde Wirkung besonders wertvoll sein.

Die verfügbare Fläche zum Anbau von *J. curcas* wird damit folgenderweise bestimmt: Gesamtfläche der BF1 minus Ackerfläche und Weideland, Flussbett, krautige Pflanzen, Wald und Schutzgebiet (vgl. Tabelle 5.12). Es sind Flächen für Biodieselanlagen sowie zum Aufbau von Straßen und Infrastruktur (z. B. Lagerflächen) zu berücksichtigen (ca. 20 % der potenziellen Anbaufläche). So können die potenziellen Anbauflächen insgesamt ca. 187.802 ha in BF1 umfassen (vgl. Karte 10/10, s. Kartenanhang S. 225).

Die BF2 besteht aus erodierten Böden in unterschiedlichem Grad (stark, leicht und hauptsächlich mittel). Die Oberfläche ist von Gebüsch und Wald bedeckt. Die Erosion findet sich damit auch auf dieser Fläche verstreut und ist meist fortgeschritten. Auch hier sollten aus den für BF1 bereits genannten Gründen die mit Gebüsch bestandenen stark und mittel erodierten Flächen für den *J. curcas*-Anbau genutzt werden. Die von Wald bedeckte Fläche kommt damit nicht zum *J. curcas*-Anbau in Frage, obwohl die

Tabelle 5.12: Flächentypen in BF1

Gesamtfläche BF1: 438.337 ha						
Flächentypen		Landbedeckung		Anmerkung	Potenzielle Anbaufläche	
Stark erodierte Böden	354.476 ha	Ackerfläche und Weideland	23.093 ha	N/A zum ***J. curcas***-Anbau	X	0 ha
		Flussbett	6.320 ha	N/A zum ***J. curcas***-Anbau	X	0 ha
		Gebüsch	227.466 ha	Hauptsächlich erodierter Boden	V	227.466 ha
Mittel erodierte Böden	83.861 ha	Krautige Pflanzen	300 ha	N/A zum ***J. curcas***-Anbau	X	0 ha
		Wald	158.250 ha	N/A zum ***J. curcas***-Anbau	X	0 ha
		Schutzgebiet	22.908 ha	N/A zum ***J. curcas***-Anbau	X	0 ha
Minus ca. 20 % der potenziellen Anbaufläche zum Aufbau von Straßen und Infrastruktur, Lagerflächen, Biodieselanlage						45.493 ha
Zur Verfügung stehende potenzielle Anbaufläche						187.802 ha

Erosion auch auf dieser Fläche stattfindet in Form verstreuter, fortgeschritten erodierter Flächen wie auf BF1 (vgl. Karte 7/10, s. Kartenanhang S. 225). Es sind demnach von 58.504 ha 36.244 ha abzuziehen. Zusätzlich sind ca. 22 % zum Aufbau von Straßen und Infrastruktur (z. B. Lagerflächen) sowie Biodieselanlagen vorzuhalten (vgl. Tabelle 5.13). So ergibt sich eine potenzielle Anbaufläche von insgesamt ca. 17.278 ha auf BF2 (vgl. Karte 10/10, s. Kartenanhang S. 225).

Tabelle 5.13 Flächentypen in BF2

Gesamtfläche BF1: 58.504 ha						
Flächentypen		Landbedeckung		Anmerkung	Potenzielle Anbaufläche	
Stark erodierte Böden	374 ha	Gebüsch	22.260 ha	Hauptsächlich erodierter Boden	V	22.260 ha
Mittel erodierte Böden	53.832 ha					
Leicht erodierte Böden	4.297 ha	Wald	36.244 ha	N/A zum ***J. curcas***-Anbau	X	0 ha
Minus ca. 22 % der potenziellen Anbaufläche zum Aufbau von Straßen und Infrastruktur, Lagerflächen, Biodieselanlage						4.982 ha
Zur Verfügung stehende potenzielle Anbaufläche						17.278 ha

5.2.3 Bedeutung des *Jatropha curcas*-Anbaus in den Landgemeinden und im Untersuchungsgebiet

Wie in den beiden Beispielflächen bietet der Anbau von *J. curcas* im gesamten UG gute Potenziale nicht nur für die Rückgewinnung bzw. Rekultivierung von Ackerland, sondern auch für eine effiziente und sinnvolle Nutzung von Ressourcen (Wasser und Land) bei gleichzeitiger Bekämpfung der fortschreitenden Erosion. Der Anbau von *J. curcas* auf den erodierten Böden im UG zur Biodieselproduktion könnte daher nicht nur die negativen Entwicklungen der Umweltqualität aufhalten, sondern vielmehr zu einer positiven Entwicklung der Region unter den folgenden Voraussetzungen beitragen: Anbau von *J. curcas* auf erodierten Böden; effiziente Nutzung von Wasser, wenn die *J. curcas*-Plantagen bewässert werden; Schonung von Regenwäldern und Schonung von Ackerflächen.

Für die Gestaltung des *J. curcas*-Anbaus zur Biodieselproduktion im ganzen UG lassen sich die in den Beispielflächen gewonnen Erkenntnisse zur Identifikation möglicher Auswirkungen und Einschränkungen des *J. curcas*-Anbaus anhand standortspezifischer, ökologischer und sozioökonomischer Kriterien übertragen und für eine potenzielle Biokraftstoffpflanzenproduktion aus *J. curcas* zusammenfassen.

Zur **Verhinderung von Bodenerosion** sollte *J. curcas* insbesondere auf stark und mittel erodierten Böden angebaut werden. Im gesamten UG sind ca. 86 % der Böden erodiert (vgl. Karte 2/10, s. Kartenanhang S. 225). Vor allem der Westen Charaguas ist hierbei von stark erodierten Böden betroffen. Das Kaa-Iya-Schutzgebiet wird ebenfalls vor allem von mittel und stark erodierten Böden geprägt, die sich bis in den östlichen Teil des UG hinziehen. Auf Grund des Schutzgebietscharakters sollten diese Flächen, trotz ihres Erosionszustandes vom *J. curcas*-Anbau ausgenommen werden. In den sechs westlichen Landgemeinden des Untersuchungsgebietes herrscht vor allem der mittlere Erosionsgrad vor. Der Großteil nicht-erodierter Böden ist im Norden zu finden, so dass hier weniger Potenzial für einen Anbau von *J. curcas* vorliegt. Insgesamt gelten ca. 14 % der Böden als nicht-erodiert. Von diesen Flächen abgesehen bietet sich für weite Bereiche des UG die Möglichkeit die fortgeschrittene Erosion zu bekämpfen. Unterstützt werden die positiven Auswirkungen des *J. curcas*-Anbaus auf den Boden durch ihren niedrigen Wasserbedarf (effiziente Wassernutzung, vgl. Unterkapitel 2.2.1), der eine Nutzung insbesondere in den trockeneren Bereichen des UG wie in BF1 erst möglich macht.

So wie der Anbau von *J. curcas* auf den Beispielflächen möglich ist, kann *J. curcas* damit auch auf vergleichbaren Flächen im UG angebaut werden. Dabei ist jedoch auf einen ausgewogenen Umfang des *J. curcas*-Anbaus im UG zu achten. Denn wenn alle erodierten Flächen - im UG gibt es rd. 7 Mio. ha erodierte Böden (vgl. Tabelle 5; Karte 2/10, s. Kartenanhang S. 225) - zum Anbau von *J. curcas* genutzt würden, könnte es zum Problem einer Monokultur kommen. So könnte bspw. die Biodiversität durch die dann gleichartige Landschaftsnutzung stark abnehmen (Verlust von Flora und Fauna). Auch könnte es zu einer Übernutzung der vorhandenen Wasserressourcen zur Bewässerung der *J. curcas*-Plantagen kommen mit sehr wahrscheinlich starken negativen Auswirkungen auf Grund- und Oberflächenwasser und zu Konkurrenzen der Wassernutzung mit der Viehwirtschaft und der Bewässerung der Ackerflächen für die Lebensmittelproduktion. Auch könnten sich Pflanzenkrankheiten und Schädlinge zwischen den dann sehr dicht stehenden Plantagen schnell und stark verbreiten, was einen vermehrten Einsatz von Pflanzenschutzmitteln mit allen negativen Folgen für die Umwelt mit sich bringen würde. Besser ist eine kombinierte Landnutzung, die zur **Verhinderung der Monokultur** sowie zur **effizienten Nutzung von Ressourcen** (Wasser) beitragen kann (vgl. Tabelle 2.4 Teil II/III).

Ein weiterer Aspekt, der hinsichtlich der Auswirkungen des Anbaus von *J. curcas* auf den devastierten Böden des UG beachtet werden muss, ist die sehr **geringe Fähigkeit** von *J. curcas*, **Stickstoff** im Boden zu fixieren. Bei intensivem Anbau kann daher die Qualität des Bodens im Laufe der Zeit abnehmen. Um das zu vermeiden, muss Stickstoff nachgedüngt werden, da *J. curcas* für eine ergiebige Samenproduktion einen stickstoffreichen Boden benötigt. Stickstoff ist damit einer der wichtigsten Nährstoffe für die Fruchtbarkeit des Bodens (vgl. Unterkapitel 2.1.1). Es besteht die Möglichkeit, die Presskuchen aus den Samen von *J. curcas* zur Düngung zu verwenden, da sie über einen hohen Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumgehalt (vgl. Tabelle 2.5) verfügen. Eine andere oder ergänzende Möglichkeit eine gute Stickstoffversorgung für *J. curcas* sicher zu stellen, ist der Kombinationsanbau mit stickstofffixierenden Kulturen (z. B. der Pongamia-Baum) (E+Z 2008). Ein Kombinationsanbau könnte eine ökologische Lösung sein, um die Fruchtbarkeit des Bodens langfristig und nachhaltig zu erhalten und sogar zu steigern. Andere Maßnahmen zur Pflege des Bodens wie die Nutzung von Kunstdünger können nicht nur unökologisch, sondern auch unwirtschaftlich sein. Deswegen bietet sich der kombinierte Anbau im UG unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten als eine sinnvolle Alternative an (vgl. Unterkapitel 2.1.1). Der

Kombinationsanbau der *J. curcas*-Pflanze mit einer stickstofffixierenden Art kann auf diesem Weg auch die Stickstoffanreicherung im Boden fördern, so dass der Boden sich erholen kann. So kann sich die Qualität des Bodens durch den *J. curcas*-Anbau verbessern.

Unter sozioökologischen Gesichtspunkten muss die Toxizität von *J. curcas* berücksichtigt werden, insbesondere wenn die Arbeiter direkten Kontakt mit der Pflanze haben. Die Toxizität von *J. curcas* kann eine weitere Einschränkung ihres Anbaus sein. Daher ergibt sich als eine wesentliche Frage für die Realisierbarkeit ihres Anbaus, inwieweit sich die Toxizität von *J. curcas* bei großmaßstäblichem Anbau negativ auf die Menschen, das Land und die Natur bzw. Umwelt des Untersuchungsgebietes auswirken kann. Dabei sollte geklärt werden, ob und wenn ja welche Schutzmaßnahmen ergriffen werden können (vgl. Unterkapitel 2.1.1).

In der Untersuchungsregion gibt es keine Erfahrungen zum *J. curcas*-Anbau und zu möglichen toxischen Wirkungen beim Umgang mit den anzubauenden Pflanzen und ihren Ernteprodukten. Es können aber Erfahrungen von Versuchen aus anderen Regionen übertragen und davon gelernt werden. So werden z.B. in einigen Gebieten bereits nicht-toxische bzw. Sorten mit nur geringen Gehalten an Toxinen angebaut (vgl. Unterkapitel 2.1.1). Somit gäbe es die Möglichkeit, die nicht-toxischen Sorten von *J. curcas* zur Produktion von Biodiesel in großen Maßstab anzubauen, sofern die entsprechenden Sorten unter den Standortbedingungen des UG gute Erträge liefern.

Um einen (ergänzenden) Anbau außerhalb von Plantagen zu ermöglichen, könnte *J. curcas* auch als Landschaftselement und Schutzpflanze von den Bauern im UG angebaut werden. Bereits vor langer Zeit wurde die *J. curcas*-Pflanze von Ureinwohnern Südamerikas als Schutzpflanze für Feldfrüchte verwendet, weil ihre Toxizität Fressfeinde fernhielt (vgl. Unterkapitel 2.1.1).

Zusammenfassend bieten sich in den BF1 und BF2 und mit ihnen im UG insgesamt gute Möglichkeiten mit dem Anbau von *J. curcas* und der darauf aufbauenden Produktion von Biodiesel Synergie-Effekte zwischen einer gleichzeitig positiven Wirkung auf die Umwelt und die Wirtschaftlichkeit zu erzielen. Infolgedessen kann die Biodieselproduktion aus *J. curcas* im UG sowohl aus ökologischer als auch aus sozioökonomischer Sicht nachhaltig sein. Die Biodieselproduktion aus *J. curcas*-Samen im Zusammenhang mit der Entwicklung landwirtschaftlicher Anbaumöglichkeiten, der Schaffung von Arbeitsplätzen und der Verhinderung einer weiteren Bodenerosion, könnte

sowohl zur Lösung lokaler Probleme als auch zur teilweisen Deckung des Dieselbedarfs vor Ort beitragen.

5.3 Optimierung des *Jatropha curcas*-Anbaus auf den Beispielflächen und im Untersuchungsgebiet

Die Empfehlungen zum Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion auf beidem Beispielflächen sowie im UG folgen den einzelnen Schritten der Prozesskette zur Biodieselproduktion: Anbau (Saatgut, Pflege und Ernte) - Transport - Lagerung – Pressung – Umesterung (vgl. Abbildung 2.6). Sie ergeben sich aus den Erhebungen im UG (vgl. Unterkapitel 5.2) und der Literaturrecherche in Kapitel 2.

Anbau (Saatgut, Pflege und Ernte): Bei der Auswahl der Flächen zur Anlage von Plantagen sollte neben den geeigneten Standortbedingungen und neben der eventuell notwendigen Anlage von Bewässerungseinrichtungen die vorhandene oder zu schaffende Infrastruktur berücksichtigt werden. Karte 10/10 stellt als Szenario dar, wo **hypothetische Standorte der *J. curcas*-Plantagen im Zusammenhang mit Biodieselanlagen** in den **BF1** und **BF2** liegen könnten und wie sie an das vorhandene Wegenetz angeschlossen werden könnten. Auf BF1 umfassen die potenziellen Anbauflächen insgesamt ca. 187.802,4 ha, auf BF2 insgesamt 17.277,9 ha. Alle Anbauflächen sind mit einer Produktionsanlage für Biodiesel auf möglichst kurzen Strecken verbunden, um die Transportkosten möglichst gering zu halten.

Vor der Anlage der ersten Plantagen im Gebiet sollte zunächst eine ein- bis zweijährige Versuchsphase zur **Auswahl optimaler Sorten** durch Kurzzeitversuche mit Samen aus lokaler sowie fremder Herkunft zur Überprüfung des Keimlings- und Jungpflanzenwachstums der Pflanze unter den lokalen klimatischen und edaphischen Bedingungen durchgeführt werden, um diese zu beobachten. Damit kann das Verhalten von *J. curcas* auf den erodierten Böden vor Ort besser eingeschätzt und die Wahrscheinlichkeit der Anpflanzung gut wachsender Varianten der Art erhöht werden.

Die **Begründung der Kultur** wird durch Samen durchgeführt, die direkt gesät werden oder durch Auspflanzung von Keimlingen, Pflänzlingen oder Stecklingen. Um Erfahrungen mit den unterschiedlichen Sorten und Begründungsverfahren zu sammeln, sollte bei der Anlage der ersten Plantagen die Kulturbegründung auf Teilstücken mit jeweils anderen Sorten und Begründungsverfahren angelegt werden. Die Entwicklung

der Pflanzen und ihrer Produktivität kann dann vergleichend erfasst werden, so dass später anzulegende Plantagen im UG und darüber hinaus von diesen ersten Erfahrungen profitieren können. Zudem kann dadurch für die ersten Plantagen das Ausfallrisiko breiter gestreut und damit verringert werden.

Zur optimalen Entwicklung der Pflanzen sollte ein Reihenabstand von 2 bis 3 m und ein Pflanzabstand innerhalb der Reihen von 1,5 bis 3 m eingehalten werden (vgl. Unterkapitel 2.2.1.1). Außerdem sollte dabei ein Labor für einfache Boden- und Pflanzenanalysen sowie eine Wetterstation eingerichtet werden, damit das lokale Klima durch die Messung der für das Wachstum von *J. curcas* relevanten meteorologischen Größen bestimmt und extreme klimatische Ereignisse (Frost, Dürre, extremen Niederschlag), die auf die Entwicklung von *J. curcas*-Plantagen starken Einfluss ausüben können, erfasst werden können. Damit soll das Wissen generiert werden, rechtzeitige Maßnahmen zur durchgehenden Pflege und zum Schutz der Pflanzen bei Extremereignissen ergreifen zu können (vgl. Tabelle 5.10; 5.11).

Die **Pflege der Pflanzen** ist arbeitsintensiv. Das gilt insbesondere für das regelmäßige Beschneiden, eine regelmäßige Bewässerung bei jährlichen Niederschlägen unter 238 mm, und das Jäten zur Unkrautunterdrückung. Eine regelmäßige Pflege spielt für eine erfolgreiche Entwicklung und den Ernteertrag von *J. curcas* eine große Rolle. Weil diese Tätigkeiten mit der Hand verrichtet werden müssen, müssen dafür ausreichend Arbeitskräfte zur Verfügung stehen. Je nach notwendiger Pflegeintensität kann dies die Produktionskosten stark beeinflussen. Allerdings dürften in den meisten Bereichen der Beispielflächen und des Untersuchungsgebietes diese Kosten relativ niedrig sein, da es für den *J. curcas*-Anbau ausreichend mäßige bis gute Jahresniederschläge gibt, eine Bewässerung auf die Trockenphase im Jahr beschränkt werden kann und über Fluss- und Grundwasser gut erschließbare Bewässerungsquellen zur Verfügung stehen.

Wenn *J. curcas* gut gepflegt wird, kann die Pflanze bereits ab dem ersten Lebensjahr anfangen Samen zu produzieren. In den dann folgenden Jahren wird sich im Laufe der Zeit ihr Ernteertrag steigern, bevor eine Phase optimaler Produktion erreicht wird. Die **Ernte der reifen Früchte** muss ebenfalls mit der Hand erfolgen, weil *J. curcas* gleichzeitig reife und nicht reife Früchte sowie Blüten haben kann, so dass Maschinen für die Ernte nicht eingesetzt werden können. Nach der Ernte werden die Früchte in einer dünnen Schicht auf eine Betonfläche gelegt, damit sie in der Sonne trocknen. Die

Früchte werden so lange getrocknet bis die Fruchtschalen problemlos gelöst werden können. Der nächste Schritt ist die weitere **Trocknung der Samen** (schon ohne Fruchtschale) durch die Sonne auf einer schwarzen Kunststofffolie. Danach werden die Samenschalen mit der Hand abgeschält und die Kerne gewonnen. Es ist ein zeitaufwändiges Verfahren und infolgedessen bedarf auch dieser Arbeitsschritt einer ausreichenden Anzahl von Arbeitskräften. Um Arbeitskräfte zu sparen, sollte die Entfernung der getrockneten Samenschale mithilfe eines Holzbretts vorgenommen werden, das auf die dünne Schicht der ausgebreiteten getrockneten Samen gedrückt wird. Zu einer völligen Entfernung von Frucht- sowie Samenschale kann beides dann durch Wind oder Sieben getrennt werden. Im Anschluss sind die Kerne bereit zu ihrem Transport zum Lager und zur Ölgewinnung (Samen, die als Saatgut verwendet werden, sollten nicht von direktem Sonnenlicht getrocknet werden, weil dies ihre Keimfähigkeit reduzieren kann).

Die Frucht- und Samenschalen werden zu einer Kompostlage transportiert. Das Kompostmaterial wird zur Verbesserung der Bodeneigenschaften auf den Beispielflächen sowie im UG genutzt. Wichtig ist es auch, alle Informationen in Bezug auf die Entwicklung, den Ernteertrag von *J. curcas* sowie die benötigen Arbeitskräfte und -zeiten für alle Tätigkeiten im Detail zu registrieren. Dies ist notwendig zur Produktionskostenberechnung und zur Durchführung der nächsten Anbauphase auf den Beispielflächen und im UG im größeren Maßstab.

Transport: Die Entscheidung, ob der *J. curcas*-Anbau sowie die Biodieselproduktion zentral oder dezentral erfolgen, wird insbesondere auf der Basis von Kenntnissen der Infrastruktur der Beispielflächen bzw. des UG entschieden. Dabei wird auch die Topografie am Ort eine Rolle spielen.

Das UG hat eine ungewöhnlich ungleichartige Geographie bzw. Geomorphologie (Berge, Hügelland, Sukzessionswald, Tal etc.), die abrupte Änderungen in der Landschaft bedingen. Ebenso ist das Vorkommen von Erdölgewinnung, Regenwald und Flüssen ungleichmäßig verteilt und die Bevölkerung lebt sehr verstreut (vgl. Unterkapitel 3.1; Übersichtskarte 1/10, s. Kartenanhang S. 225). BF1 sowie BF2 haben keine richtigen Straßen. Es gibt nur Fußwege, die auch nicht in gutem Zustand sind. Deswegen muss die Infrastruktur in den Gebieten verbessert werden und es müssen Straßen gebaut werden, um gute Verbindungsmöglichkeiten für die Durchführung unterschiedlicher Tätigkeiten entlang der Prozesskette der Biodieselproduktion wie Transport der

Samen, Pflanzen, Früchte, Biodiesel u.a. zu schaffen. Dadurch kann ein Beitrag zu einer effizienten Logistik der Biodieselproduktion geleistet werden (vgl. Unterkapitel 5.4). Dies wird die Produktionskosten von Biodiesel senken helfen. Zur Reduktion der Kosten für den Straßenbau könnte ein kombinierter *J. curcas*-Anbau aus zentralem und dezentralem Anbau vorgenommen werden. Dafür können eine zentrale Straße und sekundäre, weniger befestigte Straßen gebaut werden (vgl. Karte 10/10, s. Kartenanhang S. 225).

Lagerung: Nach der Ernte werden Früchte bzw. Samen bis zu drei Monate gelagert. Dabei müssen optimale Bedingungen zur Lagerung der Früchte, Samen sowie des Saatguts von *J. curcas* auf den Beispielflächen bzw. im UG vorliegen, damit ihre Qualität bis zur Pressung des Öls nicht leidet. Zur optimalen Lagerung müssen dichte Lagergefäße, kühle und dunkle Lagerung sowie der Schutz vor Mäusen beim Bau der Lagerräume beachtet werden. Die Lage der Räume sollte in der Nähe der *J. curcas*-Plantagen sein sowie in der Nähe von Straßen für eine einfache Zugänglichkeit zu den Biodieselanlagen.

Pressung: Das Öl aus den Samen von *J. curcas* wird durch mechanische Pressung bzw. Kaltpressung gewonnen. Die Technik hierzu ist ausgereift und die Investitions- und Betriebskosten sind niedrig. Damit es keine Probleme bei der Ölgewinnung gibt, sollten die Samen im besten Fall frei von Steinen, Fremdstoffen und von Samenschalen sein. Für die Ölgewinnung werden Arbeitskräfte benötigt. Die Ölproduktion von *J. curcas* (Liter Öl pro kg Samenkerne und pro Hektar) muss bei dieser Phase ausführlich registriert werden, um die Anbaukosten vs. des Ernteertrags bilanzieren zu können und so eine Produktionskostenanalyse insgesamt durchführen zu können.

Die **Umesterung** ist eine kritische Phase im Prozess zur Biodieselproduktion, da es einen engen Zusammenhang zwischen dem Prozess der Umesterung, Fettinhalt des Öls (Rohstoff) und der Qualität des Biodiesels und seiner technischen Eigenschaften gibt. Beispielsweise sind die Dichte und mit ihr die Viskosität von Biodiesel abhängig von der Temperatur sowie dem Fließ- und Kristallisationspunkt des Biodiesels. Deswegen haben die klimatischen Bedingungen bei der Verwendung von Biodiesel aus *J. curcas* eine große Bedeutung und das Klima eines Landes kann ein entscheidender Faktor bei der Nutzungseignung von Biodiesel aus *J. curcas* sein. So ist das warme Klima des Untersuchungsgebietes und der Region Santa Cruz (durchschnittliche jähr-

liche Temperatur: 22 bis 24 °C) gut für die Nutzung von Biodiesel aus *J. curcas* z. B. in Kraftfahrzeugen geeignet.

Der Prozess der Umesterung benötigt, um den Leistungsgrad dieser chemischen Reaktion zu erhöhen, Alkohol im Übermaß. Dabei wird Glyzerin (Fett) im großen Maßstab produziert. Dieses entstehende Fett könnte als Nebenprodukt in der Region weiter verwendet werden etwa zur Biogasproduktion und damit zu einer kostengünstigen Stromgewinnung für die Biodieselanlage.

5.4 Welche sozioökonomischen Auswirkungen auf das Untersuchungsgebiet sind mit dem Anbau von *Jatropha curcas* verbunden?

Obwohl Bolivien bisher keine Erfahrung mit einer industriellen Biodieselproduktion aus *J. curcas* gesammelt hat, könnte das Departamento Santa Cruz erste Schritte in diese Richtung unternehmen und fördern. Sind sie erfolgreich, könnte die ganze Region in seiner sozioökonomischen Entwicklung durch den Anbau von *J. curcas* und die Biodieselproduktion profitieren. So ist die Bewertung des Anbaus von *J. curcas* in den Beispielflächen unter sozioökonomischen Gesichtspunkten positiv, weil der Anbau mit der **Nahrungsmittelproduktion nicht direkt konkurriert**. *J. curcas* wird prinzipiell nur auf erodierten Böden angebaut werden, worauf Nahrungsmittel nicht wachsen können, aber es kann auch ein Kombinationsanbau von *J. curcas* mit essbaren Kulturen auf erodierten Böden erfolgen. So kann der Anbau von *J. curcas* auf den erodierten Flächen sich auch positiv auf die wenigen vorhandenen Ackerflächen auswirken. Durch den Stopp der aktuell fortschreitenden Erosion sowie eine Bodenverbesserung durch den Anbau von *J. curcas* auf devastierten Böden können mittel- bis langfristig neue Ackerflächen in den Beispielflächen und im UG insgesamt entwickelt werden. Dabei wird die Produktion von Lebens- und Futtermitteln von der Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch den hohen Proteingehalt von *J. curcas* profitieren. Diese optimale Nutzung des Bodens sollte bei der Biodieselproduktion aus *J. curcas* von der nationalen und lokalen Regierung angestrebt und geregelt werden.

Eine weitere positive Wirkung des *J. curcas*-Anbaus ist die **Verbesserung der schlechten sozioökonomischen Situation**. Kritische Probleme des Untersuchungsgebietes sind eine hohe Arbeitslosigkeit und der damit verbundene Auswanderungsdruck

zur Suche nach Arbeitsmöglichkeiten, die schlechte Infrastruktur für die wenigen kleinen Ortschaften, die ungünstige Agrarentwicklung und die abnehmende Agraraktivität auf Grund der Erosion des Bodens und ungeeigneten klimatischen Bedingungen. So sind Ackerbau-, Viehzucht-, agrosilvopastorale und silvopastorale Nutzung nur als kleine Einsprengsel in der Fläche vorhanden. Die wenigen verstreuten landwirtschaftlichen Flächen im UG sind nicht groß und liegen im nordöstlichen Teil von Cabezas und im nordwestlichen Teil von Charagua (vgl. Karte 4/10; Karte 5/10, s. Kartenanhang S. 225).

Durch den Bedarf an Infrastruktur für die gesamte Prozesskette der Biodieselproduktion aus *J. curcas* können Straßen gebaut werden, um die Plantagen und weiterverarbeitenden Betriebe zu verbinden. Das Siedlungsgebiet im UG ist konzentriert an einem bestimmten Ort (Westen), wo die Wirtschaftsbedingungen attraktiv für die Bevölkerung sind, wie in der Landgemeinde Camiri (vgl. Karte 1/10, s. Kartenanhang S. 225). Andere Landgemeinden wie Charagua haben eine sehr geringe Bevölkerungsdichte (0,9 Einwohner pro km2) u.a. wegen fehlender Agraraktivitäten. So gibt es keine Konkurrenz mit menschlicher Besiedlung und der Anbau von *J. curcas* in großem Maßstab könnte für die Bevölkerung zur **Schaffung von Arbeitsplätzen** beitragen. Beginnend mit dem Anbau von *J. curcas* werden zahlreiche Arbeitskräfte entlang der gesamten Prozesskette der Biodieselproduktion, insbesondere zur Pflege und Ernte der Plantagen, benötigt (vgl. Unterkapitel 5.4). Außerdem könnten die Einführung dieser für das UG neuen Technologie der Ölgewinnung (vgl. Unterkapitel 2.2.3) und Absatzmöglichkeiten auch für Nebenprodukte von *J. curcas* (vgl. Unterkapitel 2.3) zur Schaffung von Arbeitsplätzen beitragen. So ist die Verfügbarkeit von Arbeitskräften wichtiger Bestandteil sowohl eines erfolgreichen *J. curcas*-Anbaus als auch einer nachhaltigen Biodieselproduktion.

Die in Kapitel 2.3 aufgezeigten vielen **Nutzungsmöglichkeiten** von *J . curcas* belegen die Vielseitigkeit der Pflanze. Sie ist damit eine ungewöhnlich vielseitig nutzbare Ölpflanze (vgl. Unterkapitel 2.3), obwohl sie toxisch ist (vgl. Tabelle 2.10 Teil I-II). Da der Erfolg eines Anbaus von verschiedenen Faktoren abhängig ist, die sich zum Teil, wie die klimatischen Bedingungen und Extremereignisse, nicht gänzlich in ihren Auswirkungen auf den Anbau und die Produktivität von *J. curcas* kontrollieren lassen, sind die *J. curcas* anbauenden Bauern immer einem wirtschaftlichen Risiko ausgesetzt. Um diese Risiken zu mindern und den Anbau von *J. curcas* sowie die darauf aufbau-

ende Biodieselproduktion in der Region wirtschaftlicher zu machen, sollte der *J. curcas*-Anbau mit anderen Nutzungsmöglichkeiten der Ölpflanze gekoppelt werden.

Abbildung 5.4 zeigt detailliert die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten für *J. curcas* und ihre Bestandteile. Im UG könnte die Pflanze als **Energieträger** neben der Nutzung von Biodiesel auch **Holz**, das bei der Pflege der Plantagen und bei einer Verjüngung der Kultur anfällt, zur **Verbrennung** liefern. In der **Landwirtschaft** können die bei der Biodieselproduktion anfallenden Presskuchen und reifer Kompost von abgefallenen Blüten, Blättern, kleinen Zweigen sowie die Frucht- und Samenschalen als Düngemittel eingesetzt werden und zur **Verbesserung der Bodeneigenschaften** beitragen. Auch in den Plantagen können diese Reststoffe von Anbau und Biodieselproduktion in den Plantagen auf der Baumscheibe der einzelnen *J. curcas*-Pflanzen als vermischtes Düngemittel zur Verbesserung der Bodeneigenschaften verteilt werden (ca. 100 g pro Baum). Des Weiteren bietet die Eigenschaft von *J. curcas*, von Honigbienen bestäubt zu werden, gute Synergien für die Bauern, da sie sich zum einen über die Produktion von Blütenhonig eine ergänzende Einnahmequelle erschließen und zum anderen die Bestäubung zur Fruchtbildung sicherstellen. Das bei der Biodieselproduktion als Reststoff bei der Umesterung anfallende Glyzerin kann – soweit es nicht zur Stromgewinnung über Biogas genutzt wird (s. o.) - in der **Industrie für Kerzen- und Seifenherstellung** zum Einsatz kommen.

Auch die weitere Verwendung von Restmaterial aus dem *J. curcas*-Anbau und aus der Biodieselproduktion sollte unter Beachtung ökologischer und sozioökonomischer Nachhaltigkeit durchgeführt werden. Alle genannten und in Abbildung 5.4 aufgeführten weiteren möglichen Nutzungen von *J. curcas* benötigen keine größeren zusätzlichen Investitionen. Im Gegenteil würde durch die Nutzung der Reststoffe aus der Biodieselproduktion die Schaffung weiterer Arbeitsplätze erreicht.

PRODUKTIONSKOSTEN VON BIODIESEL AUS *J. CURCAS*-SAMEN

Die Einschätzung der Gesamtkosten der Biodieselproduktion aus *J. curcas* in den Beispielflächen sowie im UG ist sehr komplex, weil die o. g. aufwändigen Tätigkeiten sehr vom hohen Arbeitsaufwand und der Errichtung der notwendigen Infrastruktur abhängig sind. Die ökonomische Analyse der Realisierbarkeit der Biodieselproduktion aus *J. curcas* auf den Beispielflächen und im UG wird auf Grund dieser Komplexität und auf Grund fehlender Daten in dieser Arbeit nicht vertieft. Dennoch sollen an die-

ser Stelle Hinweise für eine zukünftige ökonomische Betrachtung der Biodieselproduktion aus *J. curcas* im UG und der Region Santa Cruz gegeben werden.

Sobald genauere Daten für eine Berechnung der **Produktionskosten** in der Region vorhanden sind, lassen sich ökonomische Analysen zur Realisierbarkeit der Biodieselproduktion aus *J. curcas* auf den Beispielflächen und im UG im großen Umfang durchführen. Die dazu benötigten Daten müssen aus der Praxis kommen wie die Stundenzahl der Arbeitskräfte, die Nutzung von optimaler Technologie bei der Umesterung u. a. Außerdem könnte der Bau von benötigen Straßen auf den Beispielflächen sowie im UG enorm die Kosten beeinflussen (s. u.). Grundlegend für ökonomische Analysen ist eine Bilanzierung von Ertrag (Output) vs. Aufwand (Input) beim *J. curcas*-Anbau. Dabei sollte jedoch berücksichtigt werden, dass der in dieser Arbeit favorisierte Ansatz auf dem Konzept der Nutzung der zahlreichen erodierten Flächen (ca. 7 Mio. ha) basiert, die derzeit nicht genutzt sind.

Im Ergebnis müssen die Kosten des Biodiesels mit denen des fossilen Diesels wettbewerbsfähig sein, so dass eine konkurrenzfähige Preisfestsetzung für Biodiesel aus *J. curcas* gegeben sein muss. Auf Grund der Produktionskosten von Biodiesel aus *J. curcas* einerseits und der subventionierten Preise von fossilem Diesel im bolivianischen Markt andererseits (Preis im März 2015: ca. 0,53 US$ pro Liter Diesel inklusive Steuer) (ANH 2015), könnte der Einsatz von Biodiesel ein umstrittenes Thema in Bolivien sein, wenn er mit Kostensteigerungen assoziiert wird. Darauf wird im Diskussionskapitel noch näher eingegangen (vgl. Kapitel 6).

Der Bau eines Straßennetzes ist notwendig, um einen effizienten Transport von Pflanzen, Öl, Biodiesel u. a. entlang der Prozesskette der Biodieselproduktion von *J. curcas* zu ermöglichen. Dabei kann ein optimaler Logistikansatz zur Kostenreduktion deutlich beitragen. Beispielsweise benötigen große zentrale Anlagen zur Biodieselproduktion viel Anbaufläche zur Sicherung des Rohstoffnachschubs. Da die Transportkosten mit zunehmender Entfernung steigen, ist es ökonomischer, die Anbauflächen möglichst nah an den Biodieselanlagen zu haben. Aber dies kann zu einer Konzentration des *J. curcas*-Anbaus im Umfeld der Anlagen führen und die Nahrungsmittelproduktion dort zurückdrängen sowie zu ökologischen Problemen führen. Deswegen müssen der Standort von *J. curcas*-Plantagen sowie die Biodieselanlagen optimal geplant werden (z. B. eine Kombination von zentraler und dezentraler Biodieselproduktion) (vgl. Karte 10/10, s. Kartenanhang S. 225; Unterkapitel 5.1.3).

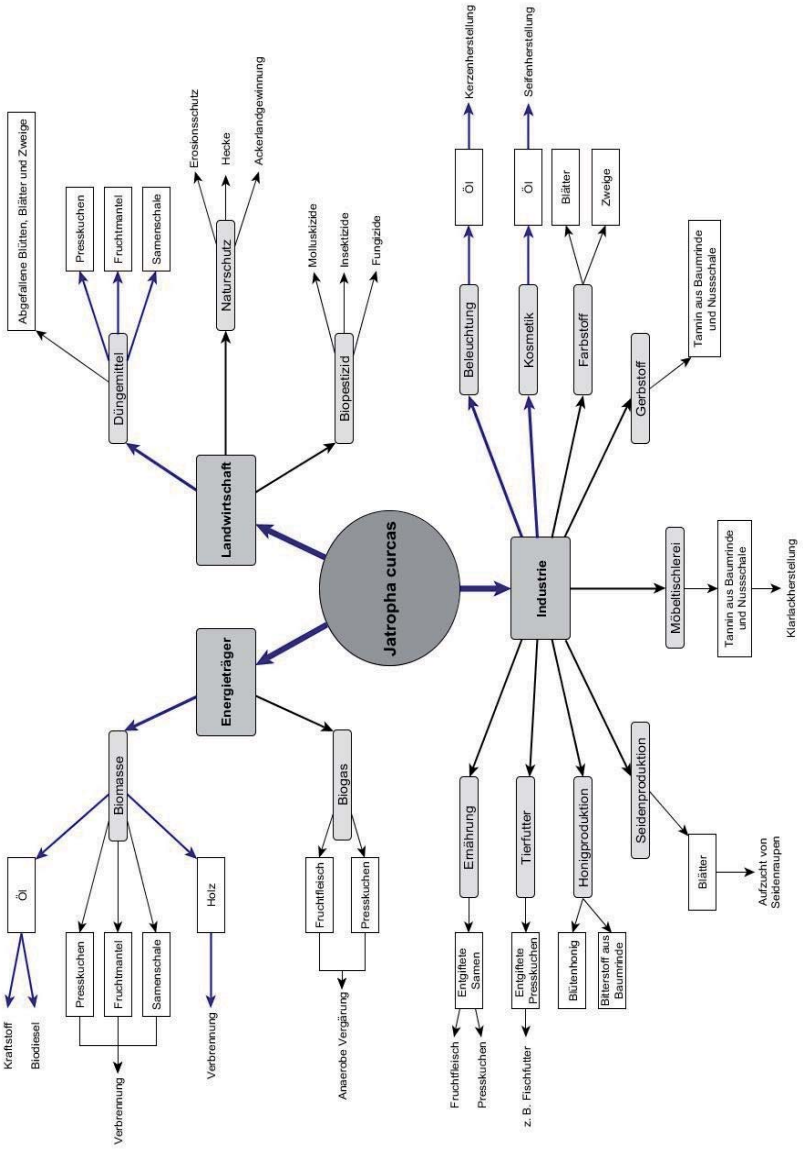


Abbildung 5.4: Koppel-, Neben- und Reststoffnutzung der unterschiedlichen Bestandteile der *J. curcas*-Pflanze

5.5 Identifizierung von Hemmnissen einer Biodieselproduktion aus *Jatropha curcas* in Bolivien

In Bolivien wird Biodiesel aus *J. curcas*-Samen derzeit deshalb nicht im großen Maßstab produziert, weil es keine Förderung dafür gibt, obwohl Bolivien prinzipiell sowohl geeignete klimatische Bedingungen als auch eine hohe Verfügbarkeit von Flächen für den Anbau der Pflanze hat. Es gibt weitere hemmende Faktoren, die für die Realisierbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Biodieselproduktion aus *J. curcas* auf den Beispielflächen und im UG eine wichtige Rolle spielen:

Die Hauptbegrenzung für eine potenzielle Biodieselproduktion aus *J. curcas* in den Beispielflächen sowie im UG anhand sozioökonomischer Kriterien ergibt sich durch das **Fehlen eines Marktes von Biodiesel** aus *J. curcas* und **ihren Nebenprodukten**. Ein weiterer fehlender Aspekt bei der Förderung der Biodieselproduktion ist eine fehlende **Reglementierung der *J. curcas*-Biodieselkosten**, die direkte Verbindung mit ihrer Vermarktung hat.

Geringe Kenntnisse über die Toxizität von *J. curcas* und den Umgang damit bei Arbeiten mit der Pflanze und ihren Produkten stellen ebenfalls ein wesentliches Hemmnis für die Entwicklung des *J. curcas*-Anbaus in Bolivien dar. Die Toxizität von *J. curcas* wird insbesondere durch den Gehalt an Phorbolester bestimmt, die aber hitzeunbeständig gegenüber hohen Temperaturen, Licht und Luftsauerstoff sind und damit durch Sonnenexposition volatil sind (vgl. Unterkapitel 2.1.1; Tabelle 2.3). Die Temperaturen im UG schwanken zwischen 33 und 19 °C (vgl. Unterkapitel 3). Wahrscheinlich könnte Phorbolester bei diesen Temperaturen volatil sein und die Gesundheit der Bauern bzw. Arbeiter nicht gefährdet sein, wenn sie regelmäßigen Kontakt mit der toxischen Pflanze haben. Aber wegen der Toxizität von *J. curcas* könnten immer noch sowohl der Anbau als auch die Nutzung als Rohstoff für die Biodieselproduktion und andere Verwendungsmöglichkeiten entscheidend behindert werden. Da es ungiftige und weniger giftige Sorten von *J. curcas* gibt (vgl. Unterkapitel 2.1.1), besteht allerdings eine gute Möglichkeit, diese ungiftigen Sorten von *J. curcas* anzubauen und damit die Gefährdung von Bauern und Arbeitern zu vermindern.

Informationen über bisherige Erfahrungen im UG in Bezug auf den *J. curcas*-Anbau würden die Neuanlage von Plantagen und deren Bewirtschaftung sehr erleichtern und helfen Fehler zu vermeiden, die sich erheblich auf die Wirtschaftlichkeit des für die

meisten Bauern bislang unbekannten *J. curcas*-Anbaus negativ auswirken würden. Die bisherige stark **eingeschränkte öffentliche Zugänglichkeit zu Ergebnissen von *J. curcas*-Feldversuchen** ist damit ein weiterer bedeutender Hemmnisfaktor für die Biodieselproduktion aus *J. curcas* in der Untersuchungsregion. So liegt z. B. kein öffentlicher Bericht vom *J. curcas*-Feldversuch und den damit verbundenen experimentellen Untersuchungen vom *J. curcas*-Anbau in der Agrarversuchsstation Saavedra im UG vor (vgl. Unterkapitel 2.4.1). Deswegen konnten unter anderem in dieser Arbeit als Referenz für die Abschätzung des Potenzials auf den Beispielflächen und im UG nur der weltweite *J. curcas*-Anbau, insbesondere die zahlreichen mittelamerikanischen Erfahrungen, genutzt werden. Dass eine derartige mangelnde Informationsweitergabe in Bolivien kein Einzelfall ist, wird an zahlreichen mittelamerikanischen Untersuchungen deutlich. Einer der Hauptgründe für die Erfolglosigkeit mittelamerikanischer Pilotprojekte ist der Mangel an Berichten über die Erfahrungen zum Anbau und zur Verarbeitung von *J. curcas*-Produkten und folgenderweise die dadurch fehlende Information für zukünftige *J. curcas*-Projekte (vgl. Tabelle 2.4 Teil I-III).

Zu den genannten Hemmnisfaktoren kommt hinzu, dass die Produktion von Biodiesel in Bolivien maßgeblich von den beteiligten Akteuren und deren Stellung in der Prozesskette der Biodieselproduktion sowie bei der Gestaltung der Rahmenbedingungen abhängig ist, was in dieser Arbeit als „Einflussfaktoren" zusammengefasst wird. Die Einflussfaktoren werden auf Basis der Information unterschiedlicher *J. curcas*-Untersuchungen (inklusive der bolivianischen Erfahrung bei CIAT) und auf Basis ihrer Bewertungen (insbesondere Probleme, die Hindernisse für den Erfolg der Projekte waren) identifiziert. Tabelle 2.4 (Teil I-III) zeigt eine Bewertung der Pionierprojekte vom *J. curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion in Mittelamerika (Nicaragua, Belize, Costa Rica, Guatemala, Dominikanische Republik, Honduras, El Salvador). Obwohl diese Projekte eine lange Periode von 1989 bis 2007 umfassen, hat sich die Produktion von Biodiesel im größeren Maßstab in Mittel- und Südamerika bisher nicht gut entwickelt. Gründe dafür sind u. a. eine fehlende oder nur unzureichende Förderung der Biodieselproduktion von lokalen, regionalen und nationalen Regierungen, die fehlende Verfügbarkeit von Arbeitskräften sowie ungünstige Standortbedingungen zum *J. curcas*-Anbau (vgl. Tabelle 2.4 Teil I-III).

Für zukünftige Projekte zum *J. curcas*-Anbau und zur darauf aufbauenden Biodieselproduktion kann viel von den bisherigen Erfahrungen all dieser Projekte gelernt werden. Im Wesentlichen lassen sich aus den Ergebnissen der Projekte und dieser Arbeit

drei Einflussfaktoren identifizieren, die bei der Realisierbarkeit des *J. curcas*-Anbaus auf den Beispielflächen sowie im UG eine große Bedeutung haben: Die **Regierung**, die **Bauern** bzw. **Investoren** sowie die **Ressourcen Wasser und Land**.

Als weiterer externer Faktor zur Bereitstellung des notwendigen Kapitals können auch Förderprogramme von internationalen Organisationen in Anspruch genommen werden, die weltweit zur Entwicklung und Durchführung von Projekten im Bereich erneuerbarer Energie Finanzmittel bereitstellen (z. B. FAO).

Abbildung 5.5 zeigt die organisatorisch enge Verbindung zwischen den genannten Einflussfaktoren. Jedem Faktor sollte die gleiche Bedeutung zukommen. In intensiven Absprachen sollten die gemeinsamen Interessen und Ziele aller in die gesamte Prozesskette der Biodieselproduktion (Anbau, Transport, Lagerung, Pressung bzw. Ölgewinnung, Umesterung) beteiligten Akteure zur nachhaltigen Realisierung von Biodieselproduktionsprojekten einbezogen werden. Um optimale Synergie-Effekte zwischen den wirtschaftlichen Interessen der Bauern und Investoren auf der einen Seite und der ökologischen und sozioökonomischen Entwicklung im UG im großen bzw. kleinen Maßstab andererseits zu erzielen, ist die harmonische Beteiligung und Berücksichtigung aller Einflussfaktoren und ihre Einbindung in die einzelnen Phasen der Prozesskette unabdingbar.

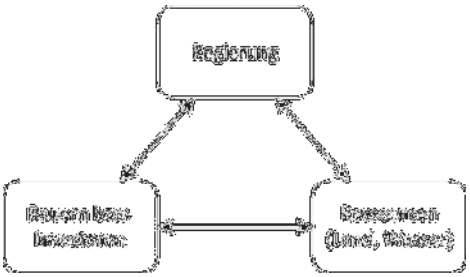


Abbildung 5.5: Einflussfaktoren zur Produktion von Biodiesel aus *J. curcas* im UG

Im Folgenden wird bezogen auf die einzelnen Phasen der Prozesskette beschrieben, inwieweit die genannten Einflusselemente in den einzelnen Teilen der Produktionskette involviert sind. Dabei wird auf die ökologischen und sozioökonomischen Kriterien Bezug genommen.

ANBAU

Einflussfaktoren: Bauern und Ressourcen wie Wasser und Land

Tätigkeit: Fläche, Vermehrung, Pflege und Ernte

Beschreibung der berücksichtigten Tätigkeit: Für den Anbau muss genügend Fläche zur Deckung des Rohstoffbedarfs, für eine Biodieselproduktionsanlage und für die benötigte Infrastruktur zur Verfügung stehen (**Land als Ressource – idealerweise mit erodiertem Boden**). Für eine gute Entwicklung muss die *J. curcas*-Pflanze regelmäßig von Hand gepflegt werden, so dass zahlreiche Arbeitskräfte (**Bauern**) nötig sind. Dies beginnt mit der Aussaat oder Auspflanzung, die mit der Hand gemacht werden muss. Pflege (**Bauern**) ist auch zur Vermeidung von Insekten- oder Krankheitsbefall nötig. So ist *J. curcas* bspw. gegen Pilzkrankheiten empfindlich. Des Weiteren muss standortbezogen eine erforderliche Bewässerung (**Wasser als Ressource**) von *J. curcas* berücksichtigt werden. Ihr Wasserbedarf ist zwar extrem niedrig, so dass sie längere Trockenperioden aushalten könnte. Zum optimalen Wachstum sollten die Pflanzen jedoch einmal pro Woche mit der empfohlenen idealen Wassermenge versorgt werden. Bei einer Untersuchung betrug der durchschnittliche Wasserverbrauch von *J. curcas* sechs Liter pro Pflanze wöchentlich in der Vegetationsperiode im ägyptischen Klima (Abou & Atta 2009: 1347). Der Wasserbedarf von *J. curcas* während ihrer vier Entwicklungsphasen (Anfangsperiode, Wachstum, Blütenbildung und Fruchtreife mit Ernte) bei 100 % der Verdunstung beträgt 445 m3 pro ha. Das entspricht nur 44,5 mm pro ha und Vegetationsperiode (Abou & Atta 2009: 1347). So könnte der entsprechende Wasserbedarf (5.000 und 11.000 m3 pro ha) von *J. curcas* für den jährlichen Niederschlag von 500 mm an BF1 und 1.100 mm an BF2 direkt verglichen werden. Wenn die zur Bewässerung zur Verfügung stehenden Wassermengen vor Ort nur gering sind, müsste eine individuelle Bewässerungsmethode für jede Pflanze (**Bauern**) angewendet werden, die arbeitsaufwändig ist. Ein Tropfbewässerungssystem ist nicht geeignet, da es zu übermäßigem vegetativem Wachstum führt. Die Plantagen von *J. curcas* müssen frei von Unkraut sein (**Bauern**), damit die *J. curcas*-Pflanzen nicht mit anderen Pflanzen um Wasser, Nährstoffe und Sonnenlicht konkurrieren. Zudem bilden sich die Blüten von *J. curcas* in der Spitze der Zweige, so dass Erziehungsschnitte vorgenommen werden müssen (**Bauern**), um die Entwicklung mehrerer Zweige zu fördern. Auch aufgrund der manuell vorzunehmenden Ernte (**Bauern**) sollten die Bäume nicht zu hoch werden und daher geschnitten werden. Die *J. curcas*-Pflanzen haben gleichzeitig

reife und grüne Früchte sowie Blüten (ungleichmäßig reifende Früchte). Aus diesem Grund werden permanent Arbeitskräfte (**Bauern**) benötigt, um die Früchte nach Bedarf zu ernten. Bei geeigneter Bewässerung sind bis zu drei Fruchtbildungen jedes Jahr möglich. Die geernteten Früchte werden in einem zeitintensiven Vorgang von Hand (**Bauern**) und mit Hilfe eines Holzbrettes abgeschält, um sie ohne Hülle weiterverarbeiten zu können.

Benötige Mittel: Zahlreiche Arbeitskräfte, die zur Verfügung stehen sollten.

TRANSPORT

Einflussfaktoren: Regierung, Bauern bzw. Investoren und Ressourcen (Land und Wasser).

Tätigkeit: Transport von kleinen Pflanzen für die Vermehrung und Transport von getrockneten Samen nach der Ernte

Beschreibung der berücksichtigten Tätigkeit: Zur Anlage der Plantage müssen die auszusäenden Samen oder die zu pflanzenden Setzlinge von *J. curcas* von der Baumschule zur vorbereiteten Anbaufläche transportiert werden (**Bauern**). Auch für den Transport von getrockneten Samen zur Lagerung nach der Ernte in kurzer Zeit (**Bauern**) wird eine gute Infrastruktur benötigt. Für eine gute logistische Bearbeitung beim Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion muss entschieden werden, ob angesichts des Infrastrukturzustandes ein zentraler oder dezentraler Anbau erfolgt. Die Plantagen sollten in jedem Fall miteinander verbunden sein, damit der Prozess der Biodieselproduktion logistisch problemlos ablaufen kann. Hierbei werden Straßen permanent gebraucht. Das UG besitzt kein Verbindungsnetz durch Straßen. Vor Ort gibt es lediglich Gemeindewege, die weder asphaltiert noch in gutem Zustand sind. Neue Transportwege müssten daher gebaut werden (**Förderung des Baus von Straßen durch die Regierung, die Ressource Land für die Straßen**).

Benötige Mittel: Landfläche für den Aufbau von Straßen, Arbeitskräfte für den Transport.

LAGERUNG

Einflussfaktoren: Bauern, Ressourcen

Tätigkeit: Lagerung von getrockneten Samen von *J. curcas* und von Biodiesel .

Beschreibung der berücksichtigten Tätigkeit: Die Lager für die getrockneten Samen und für Rohöl bzw. Biodiesel aus *J. curcas* sollten trockene, gut durchlüftete und schattige Räume (**Land für den Bau von Lagerräumen**) sein, damit die Qualität des Samens und Rohöls bzw. Biodiesels nicht verändert wird. Die Samen sollten nur gelagert werden (**Bauern**), wenn sie trocken sind. Sie können bis zu drei Monate gelagert werden. Insbesondere das Rohöl aus *J. curcas*-Samen braucht geeignete Lagerungsbedingungen zur Sicherung seiner Qualität: Das Rohöl aus *J. curcas*-Samen sollte weder der Luft noch dem Sonnenlicht längere Zeit ausgesetzt sein, um eine unerwünschte Erhöhung des Wassergehalts und der Fettsäurekonzentration zu verhindern. Auch die Degradation des Biodiesels kann durch einen ansteigenden Wassergehalt, den Kontakt mit Sauerstoff und der Lagerung bei Licht verursacht werden. Aus logistischen und wirtschaftlichen Gründen wird empfohlen, die Entfernung zwischen Anbaufläche, Lager und Ölfabrik möglichst gering zu halten.

Benötige Mittel: Land für den Aufbau von geeigneten Lagern für die *J. curcas*-Samen, das Rohöl und den Biodiesel.

PRESSUNG

Einflussfaktoren: Bauern (Anlagenbetreiber), Investor

Tätigkeit: Ölgewinnung.

Beschreibung der berücksichtigten Tätigkeit: Prinzipiell wird für die Ölgewinnung aus *J. curcas*-Samen eine sog. Bielenberg-Ram-Presse verwendet. Das Verfahren ist manuell zu betreiben und erfordert Arbeitskräfte (**Bauern**).

Benötige Mittel: Bielenberg-Ram-Presse für Ölgewinnung durch mechanische Pressung bzw. Kaltpressung in kleinem Maßstab, Arbeitskräfte.

UMESTERUNG

Einflussfaktoren: Bauern (Anlagenbetreiber), Investor

Tätigkeit: Biodieselproduktion.

Beschreibung der berücksichtigten Tätigkeit: Nutzung eines geeigneten Katalysators. Es erfordert Arbeitskräfte (**Bauern**).

Benötige Mittel: Katalysator, Arbeitskräfte.

6 Diskussion

Die in Kapitel 5 dargestellten Ergebnisse werden im Folgenden aufgegriffen und im Hinblick auf die in Unterkapitel 1.3 gestellten Forschungsfragen diskutiert.

> Wie groß ist das nutzbare Potenzial von *J. curcas* zur Biodieselproduktion in der bolivianischen Region El Gran Chaco des Departamentos Santa Cruz bei den derzeitigen standörtlichen Bedingungen?

Abschätzung des Potenzials zum J. curcas-Anbau auf erodierten Böden in der Untersuchungsregion für eine nachhaltige Biodieselproduktion

Die durch die Bewertung der Standortbedingungen sowie der ökologischen und sozioökonomischen Gegebenheiten in den beiden Beispielflächen ermittelte Fläche zum *J. curcas*-Anbau auf erodierten Böden (konkretisierte Fläche) hat einen Umfang von rd. 205.080 ha (BF1: 187.802 ha und BF2: 17.278 ha) (vgl. Karte 10/10, s. Kartenanhang S. 225). Allerdings kann eine genaue Angabe zum Ernteertrag von *J. curcas* zur Biodieselproduktion in dieser Arbeit nicht vorgenommen werden, weil der Ölertrag des Samens von *J. curcas* von verschiedenen Faktoren abhängig ist wie den Anbaubedingungen jeder einzelnen Anbaufläche und dem dort vorherrschenden Lokalklima (Qualität des Bodens, Temperatur, Niederschlag u. a.) (z. B. Parawira 2010; Openshaw 2000; Misra & Misra 2010; Abou & Atta 2009; Stambuk 2009, Interview; Misra & Misra 2010), von der letztendlich durchgeführten Art und Intensität der Pflege der *J. curcas*-Kulturen sowie von den zu installierenden Verfahren zur Ölgewinnung (vgl. Unterkapitel 2.2.3) (Adriaans 2006). Grundsätzlich kann *J. curcas* einen höheren Ölertrag pro ha liefern als Erdnuss, Sonnenblume, Sojabohne, Mais oder Baumwolle. Voraussetzung dafür ist, dass sie unter optimalen Bedingungen wächst (Parawira 2010: 1797). Diese Anbaubedingungen von *J. curcas* werden im Unterkapitel 2.2. 1 diskutiert. Das Anbaupotenzial von *J. curcas* im gesamten UG ist damit im Wesentlichen zunächst im Vorhandensein von mehr als 7 Mio. ha erodierter Böden begründet (vgl. Tabelle 5.1), auf denen *J. curcas* zur Biodieselproduktion angebaut werden könnte.

Um im Vorfeld eines *J. curcas*-Anbaus das Anbau- und Produktionsrisiko besser abschätzen zu können, ist in dieser Arbeit eine Methodik zur Bewertung des Anbaupotenzials von *J. curcas* entwickelt worden (vgl. Kapitel 4 und 5). Diese Methodik basiert auf einer Kombination von experimentellen *J. curcas*-Untersuchungen (weltweite Erfahrungen), wissenschaftlichen Informationen zu *J. curcas* sowie digitalen Grunddaten (Sachdaten) des Untersuchungsgebiets zum Aufbau einer Datenbank. Die ange-

wandte Methode in dieser Arbeit ist eine generelle Methodik zur Potenzialermittlung, die zur Analyse auch in anderen Regionen eingesetzt werden kann. Sie bildet damit ein Modell, das prinzipiell auf andere Regionen in Bolivien sowie Südamerika und weltweit übertragen werden kann, die über die identifizierten Standortfaktoren von *J. curcas* verfügen. Dabei müssen jedoch in jedem Fall zum Aufbau einer regionsspezifischen Datenbank die in der betreffenden Region vorhandenen digitalen Grunddaten (Sachdaten) und alle Faktoren und Gegebenheiten individuell berücksichtig werden. Dazu zählen Informationen über Bodenzustand, klimatische Bedingungen, Topographie, Landbedeckung, Landnutzung, Flora, Fauna, Infrastruktur, Bewässerungsmöglichkeiten, Naturkatastrophen u.a. sowie die Kenntnis über die dort vorherrschenden ökologischen und sozioökonomischen Probleme (vgl. Unterkapitel 4.1.1). Dabei können weitere Kriterien für die Analyse hinzugefügt oder hier entwickelte, aber für die Übertragungsregion nicht relevante Kriterien beiseitegelassen werden. So kann es erforderlich sein, die Anwendung der Methodik für die Analyse von großen Flächen einzuschränken, wenn Charakteristiken des Ortes bzw. berücksichtige Kriterien wie Standortfaktoren von *J. curcas* sowie ökologische und sozioökonomische Kriterien nicht im ganzen zu untersuchenden Gebiet gleich sind. Im Falle einer größeren Heterogenität der Flächen wären die Ergebnisse der Analyse sonst nicht aussagekräftig. Beispielsweise ist die Bodenerosion ein Faktor, der sich im Lauf der Zeit ändern kann, wenn es auf der Fläche zu fortschreitender Erosion kommt (Symader 2004; Helming & Frielinghaus 1999). Deswegen sollten nach Möglichkeit ausführliche und aktuelle Informationen zu den Standortbedingungen Boden, Klima und Wasser sowie zur Infrastruktur und Landnutzung vorhanden sein oder sie müssen im Vorfeld einer Analyse erhoben werden.

Seit 1989 hat der *J. curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion insbesondere das Interesse von mittelamerikanischen Ländern geweckt (AEA 2006; Mittelbach et al. 2010) und bisher gibt es zahlreiche *J. curcas*-Untersuchungen weltweit (vgl. Unterkapitel 2.2). Doch bis heute ist die Entwicklung bei weitem noch nicht so weit fortgeschritten wie bei der Produktion von Zuckerrohr und der Verwendung von Ethanol in Brasilien als Antriebsstoff von Autos (REN21 2013; AEA 2006; Jain & Sharma 2010; Siddharth & Sharma 2010; Gruber 2007). Der im Vergleich zur Ethanolproduktion aus Zuckerrohr und zur Biodieselproduktion aus Soja und Raps geringe Entwicklungsstand einer *J. curcas*-Biodieselindustrie ist auf Basis der internationalen und lokalen Erfahrungen vor allem mit einem Mangel an technischer Beratung für die Bauern, fehlenden Ar-

beitskräften zur Pflege der *J. curcas*-Plantagen, unzureichender Förderung seitens der Regierungen, einem fehlenden Markt für *J. curcas*-Samen, Biodiesel und ihre Nebenprodukte, sowie unzureichender Übertragung von Information in die Praxis zu erklären (vgl. Tabelle 2.4 Teil I-III).

Drei Einflussfaktoren spielen für die Realisierbarkeit vom *J. curcas*-Anbau eine wesentliche Rolle: die Regierung, die Bauern bzw. Investoren und die vorhandenen Ressourcen (Land und Wasser). Diese haben eine gegenseitige Abhängigkeit und Bedeutung (vgl. Abbildung 5.5). Eine enge Zusammenarbeit und Koordination zwischen ihnen fehlt in der Regel bislang beim *J. curcas*-Anbau. Daher ist die *J. curcas*-Biodieselindustrie kaum entwickelt, obwohl *J. curcas* über ein großes Potenzial als Energieträger verfügt (Openshaw 2000) (vgl. Tabelle 2.8) und einige Länder gute klimatische Bedingungen zu ihrem Anbau haben wie das in dieser Arbeit untersuchte Bolivien. Ein großes Hemmnis für den großflächigen *J. curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion ist die fehlende Förderung der Regierung durch Gesetze und politische Strategien (AEA 2006). Auch sollten bei zukünftigen *J. curcas*-Projekten die im Rahmen dieser Arbeit identifizierten standortbezogenen, ökologischen und sozioökonomischen Einflussfaktoren für eine erfolgreiche Durchführung von *J. curcas*-Projekten berücksichtigt werden.

In diesem Zusammenhang ist für eine erfolgreiche Implementierung von *J. curcas*-Projekten die Entwicklung einer lokalen Datenbank mit Informationen zum *J. curcas*-Anbau erforderlich, die allen am *J. curcas*-Anbau Interessierten zur Verfügung steht. In diese Datenbank sollten neben allgemein gültigen Empfehlungen, die für einen erfolgreichen Anbau von *J. curcas* Bedeutung haben, das lokal und regional erworbene Know-how über die guten und negativen Erfahrungen zum *J. curcas*-Anbau sowie die Ergebnisse in der Region gewonnener wissenschaftlicher Untersuchungen integriert werden. Für die Entwicklung und Qualität der Datenbank ist damit die Teilnahme der Bauern bzw. Investoren und Unternehmer sowie der regional forschenden Wissenschaftler entscheidend. Daher sollte ihnen bei ihren Projekten die Vorgabe gemacht werden, Informationen über das Wachstum und die Entwicklung von *J. curcas* sowie über die beides steuernden abiotischen edaphischen und klimatischen Standortparameter für die Datenbank zu liefern. In eine entsprechende Datenbank können auch Anbauerfahrungen und -empfehlungen, die in Forschungsprojekten anderer Regionen Süd-,Mittel- und Nordamerikas, Afrikas und Asiens gewonnen wurden (z. B. GTZ Studie 2010; Gruber 2007; AEA 2006; Mittelbach et al. 2010; Biodiversity Institute

Oxford 2014; Nielsen 2009; Martínez-Herrera 2006; Abou & Atta 2009, Foidl et al. 1996), übernommen werden, so dass neben den lokalen Informationen auch internationale Erkenntnisse zum *J. curcas*-Anbau bereitgestellt werden. Im Ergebnis könnte so der Anbau von *J. curcas* auch in anderen Ländern mit geeigneten klimatischen Bedingungen in Süd-, Mittelamerika und darüber hinaus gestärkt werden.

Im UG erscheint *J. curcas* als die beste Ölpflanzenalternative zur Biodieselproduktion, weil sie sowohl produktiv als auch trockenheitsresistent und beständig gegen Schädlinge und Krankheiten ist. Auch ihr Wasserbedarf ist gering. Vor allem aber ist sie zur Anpflanzung auf erodiertem Boden geeignet, da sie auf Grund ihrer guten Anpassungsfähigkeit auf schlechten Böden und bei schlechten klimatischen Standortbedingungen, wie sie z. B. in trockenen Regionen vorherrschen, wachsen kann (z. B. Buikema et al. 2009; Gübitz et al. 1999; Jongschaap et al. 2007; Jain & Sharma 2010; Openshaw 2000) (vgl. Unterkapitel 2.1). Dabei eignet sich ein leicht erodierter Boden zum *J. curcas*-Anbau besser als mittel oder stark erodierte Böden. Hier kann die Pflanze besser als andere Anbaukulturen wie Sonnenblume, Sojabohne oder Baumwolle wachsen (Parawira 2010), bei gleichzeitig höherer Produktivität als auf mittel oder gar stark erodierten Böden. Die Qualität bzw. der Zustand des Bodens spielt damit für die Höhe des Ernteertrages von *J. curcas* eine wichtige Rolle. Da aber die nicht und leicht erodierten Böden im Wesentlichen zur Produktion von Lebens- und Futtermitteln genutzt werden (s. Unterkapitel 5.2.2), sollten trotz niedrigerer Produktivität stärker erodierte Böden zum Anbau von *J. curcas* genutzt werden. Im UG sind mittel erodierte Böden (rd. 3.781.282 ha) gegenüber stark erodierten Böden (rd. 2.989.047 ha) sehr zahlreich vorhanden (vgl. Tabelle 5.2). Daher und auf Grund der zu erwartenden höheren Ertragsleistung bieten sich zum Anbau von *J. curcas* im UG vor allem die Flächen mit mittel erodierten Böden an.

Auf die Nutzung devastierter, für die Produktion von Lebens- und Futtermitteln nicht mehr nutzbarer Böden zielte auch ein *J. curcas*-Projekt in Indien ab. Bis zum Jahr 2010 sollte *J. curcas* auf 10 Mio. ha Brachland angebaut werden. Ziel war es zum einen, devastierte Böden zu rekultivieren, und zum anderen, ca. 5 Mio. Arbeitsplätze zu schaffen und bis zum Jahr 2020 20 % des Dieselbedarfs Indiens durch Biodieselproduktion aus *J. curcas* zu decken (Medina-Ovando- et. al. 2009; The World Bank 2013). Ein abschließender Bericht über die partiellen Ergebnisse dieses weltweit größten *J. curcas*-Projektes ist bislang aber noch nicht bekannt. Einerseits es ist noch zu früh zu einem endgültigen Ergebnis zu kommen und weitergehende Schlussfolgerun-

gen aus den Untersuchungsergebnissen zu ziehen. Andererseits gibt es zwar erste optimistische Berichte über das Indien-Projekt (German et al. 2011), aber es liegen auch skeptische Berichte über den Erfolg des Projekts vor, da das Erreichen des Anbauziels hinsichtlich des Umfangs an Anbauflächen sich offenbar verzögert (HLPE 5 Report 2013).

Über die Standortbedingungen beim Anbau von *J. curcas* hinaus gibt es entlang der Prozesskette der Biodieselproduktion aus *J. curcas* noch weitere Faktoren, die auf einen höheren Öl-Ernteertrag Einfluss haben könnten. Hierzu zählen die geeignete Vermehrung, das Anbaudesign, die Plantagen-Pflege, und die Verfahren zur Ölgewinnung (z. B. Openshaw 2000; Jongschaap et al. 2007, Divakara 2010; Stambuk 2009, Interview; Holl et al. 2007; Saverys et. al. 2008; Rijssenbeek et al. 2007) (vgl. Unterkapitel 2.2.1). Deswegen ist die Wirtschaftlichkeit von Biodiesel aus *J. curcas* ein sehr komplexes Thema.

Beispielsweise ist die ökonomische Eignung von Energiepflanzen zur Biodieselproduktion maßgeblich von ihrem Ölertrag abhängig, da die Kosten für das Rohmaterial ca. 70 – 80 % der Gesamtproduktionskosten von Biodiesel betragen (Yusuf et al. 2011). Werden daher Öl-Energiepflanzen mit hohem Ölertrag für die Biodieselindustrie verwendet, lassen sich die Produktionskosten deutlich reduzieren.

Im Verlauf der gesamten Prozesskette der Produktion von Biodiesel aus *J. curcas* müssen viele Arbeiten manuell ausgeführt werden. Daher müssen zahlreiche Arbeitskräfte zur Verfügung stehen, um die Produktionsleistung von *J. curcas* zu erhöhen, insbesondere für die Pflege der Plantagen und die Ernte der Samen. Damit können die Kosten für die Arbeitskräfte die Produktionskosten von *J. curcas*-Biodiesel deutlich beeinflussen. Insbesondere in Regionen mit niedrigen Kosten für Arbeitskräfte wie in den hier untersuchten Gebieten, ist dieser Einfluss im Vergleich zum Ölertrag relativ gering (Yusuf et al. 2011), so dass viele neue Arbeitsstellen geschaffen werden können (s. u.).

Die Wirtschaftlichkeit von *J. curcas* kann sich durch die Nutzung von Neben-, Koppel- und Restprodukten erhöhen. Möglichkeiten hierzu werden in Unterkapitel 5.3 entlang der Prozesskette der Biodieselproduktion aus *J. curcas* anhand der Beispielflächen BF1 und BF2 sowie des UG beschrieben (vgl.). Prinzipiell können Frucht- und Samenschalen sowie die Presskuchen der Samen nach Ölgewinnung als Kompostmaterial zur Verbesserung der Bodeneigenschaften und als Dünger verwendet werden

(vgl. Abbildung 5.4). Auch kann das Holz von *J. curcas* als Energieträger zur Verbrennung genutzt werden. Darüber hinaus gibt es für *J. curcas* zahlreiche weitere Nutzungsmöglichkeiten (vgl. Unterkapitel 2.3 und s. u.). Damit ist ihre Vielseitigkeit als Energiepflanze grundsätzlich positiv einzuschätzen, um zukünftige *J. curcas*-Projekte durchzuführen. Aktuell stellt sich allerdings die Frage, in welchem Umfang sich nachteilige Konsequenzen im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit von *J. curcas*-Biodiesel ergeben, wenn der Ölpreis dauerhaft so niedrig bleibt wie Anfang 2015, als er teilweise unter 50 $US fiel.

Der Erfolg des *J. curcas*-Anbaus und der darauf aufbauenden Biodieselproduktion ist nicht nur von seiner direkten Wirtschaftlichkeit abhängig, sondern zugleich auch von den ökologischen und sozioökonomischen Vorteilen für eine Anbauregion. Ein gutes Beispiel dafür kann das o. g. indische *J. curcas*-Projekt sein. Die indische Regierung hat es im Jahr 2005 initiiert zur Rekultivierung großer Flächen von Brachland, zur Schaffung von Arbeitsplätzen und zu einer teilweisen Deckung des indischen Dieselbedarfs (Medina-Ovando et. al. 2009). So könnten mit dem Anbau von *J. curcas* auf erodiertem Boden verschiedene weitere Ziele für eine Anbauregion verbunden werden: die Rekultivierung erodierter und devastierter Flächen, die Schaffung von Arbeitsplätzen und eine Reduzierung der Abhängigkeit von Diesellieferländern und hohen Importkosten. So gibt es einen steigenden Dieselbedarf in Bolivien, das im Jahr 2014 mehr als 53 % seines Dieselbedarfs importieren musste (ANH 2015a).

Im Bereich der Biodieselproduktion ist Bolivien im internationalen Vergleich im Rückstand. Zugleich weist das Land großes Potenzial zum Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion in industriellem Maßstab auf und es gibt Interesse daran von kleinen und großen sowie lokalen und ausländischen Unternehmern, NRO und regionalen Regierungen. Andererseits aber gibt es einen Mangel an Strategien und Politiken zur Förderung der Biodieselproduktion aus *J. curcas*. Daher und wegen seiner geringen Wirtschaftsleistung muss Bolivien den Kontakt zu internationalen Institutionen, anderen Staaten und insbesondere seinen Nachbarländern intensivieren, um an der Biodieselproduktion interessiertes Kapital anzuziehen. Gleichzeitig muss Bolivien diese Investitionen steuern, damit das Land von der Biodieselproduktion aus *J. curcas* profitieren kann (Castro-Gonzáles 2012; Cabral Da Costa 2010, Interview).

Wie müssen der Anbau von *J. curcas* und die Produktion von Biodiesel aus *J. curcas* gestaltet werden, damit sie ökologisch nachhaltig betrieben werden und zur Entwicklung der Region beitragen können?

Identifikation von Einschränkungen anhand ökologischer Kriterien für den Anbau von J. curcas und für eine potenzielle Biokraftstoffpflanzenproduktion aus J. curcas in der Untersuchungsregion

J. curcas erträgt längere Trockenzeiten. Daher kann der Anbau von *J. curcas* auf erodierten Böden des Untersuchungsgebietes El Gran Chaco im Departamento Santa Cruz und weiterer Gebiete zur industriellen Biodieselproduktion für Bolivien eine gute Alternative sein kann, um die Dieselversorgung zumindest teilweise zu decken sowie gleichzeitig lokale ökologische Probleme (Wind- und Wassererosion) zu lösen. Damit dieser Anbau nachhaltig für die Region ist, sollte er aber unter bestimmten ökologischen Bedingungen erfolgen. Im Umweltbereich sind die Abholzung, Luft- und Wasserverschmutzung sowie Wüstenbildung des Bodens als akute Probleme der Untersuchungsregion zu nennen. Der Anbau von *J. curcas* im UG im großen Maßstab kann einen Beitrag nicht nur zur Verbesserung des Bodens, sondern auch zum Naturschutz leisten. Das in dieser Arbeit erarbeitete Szenario ergibt, basierend auf den Standortansprüchen der *J. curcas*-Pflanze, die Möglichkeit für eine Minderung der fortgeschrittenen Bodenerosion (mehr als 86 % der Gesamtfläche im UG ist erodiert, ca. 7 Mio. ha), zumal kleine Ackerflächen und Schutzgebiete dort besonders von Erosion bedroht sind (vgl. Karten 2/10 und 3/10, s. Kartenanhang S. 225).

Ein wesentlicher Gesichtspunkt zur Nachhaltigkeit des *J. curcas*-Anbaus im UG ist damit die Priorität der Nutzung von devastiertem, für die herkömmliche Landwirtschaft nicht nutzbarem Boden. Grund für die Devastierung dieser Böden ist ihre Übernutzung durch die Agrarwirtschaft, die zum Brachfallen führte. Diese übernutzten sowie erodierten Böden sind nicht fruchtbar. Wenn *J. curcas* darauf angebaut würde, müssten die Böden daher durch Düngung aufgewertet werden (Jongschaap et al. 2007; Stambuk 2009, Interview; Openshaw 2000; Misra & Misra 2010). Dabei müssen aber keine chemischen Düngemittel verwendet werden. Der Mischfruchtanbau mit stickstofffixierenden Leguminosen bietet hier ebenso eine kostengünstige, umweltschonende Möglichkeit wie die Verwendung von Rückständen der Biodieselproduktion (E+Z 2008; Schneider & Müller 1999). Damit würde gleichzeitig auch der Humuszustand der Flächen verbessert, was zum einen eine höhere Produktionsleistung von *J. curcas*

ermöglicht und zum anderen zur Rekultivierung der devastierten Flächen beiträgt (Jongschaap et al. 2007; Openshaw 2000).

Ein wichtiger Teil zu einer nachhaltigen Realisierung des *J. curcas*-Anbaus im großen Maßstab ist die Reglementierung ihres Anbaus auf erodierten Flächen (z. B. Größe der Plantagen, Vorgaben zum Düngemittel- und Pestizideinsatz u. a.). Neben gesetzlichen Vorgaben könnten dazu Förderungsprogramme für die Bauern bzw. Investoren seitens nationaler und lokaler Regierungen entwickelt werden.

Ansätze für einen entsprechenden nachhaltigen Anbau von *J. curcas* finden sich in einem Modellansatz aus Kenia, das als ein interessantes Muster auch für Bolivien dienen kann. Innerhalb der entwickelten Biokraftstoffproduktionsprogramme des Landes wurde ein differenzierter Ansatz mit drei verschiedenen Szenarien zum *J. curcas*-Anbau als Monokultur, als Hecke und als gemischter Anbau geprüft. Letzteres könnte Monokulturen verhindern und bietet zudem die Möglichkeit, gleichzeitig *J. curcas* in Mischkulturen z. B. mit stickstofffixierenden Organismen anzubauen (s. o.). So könnte der Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion im großen Maßstab erfolgen, ohne dass dies zu einer Monokultur führt (GTZ 2010). Wegen der noch unbekannten Folgen von *J. curcas*-Monokulturen könnte *J. curcas* darüber hinaus zunächst vor allem eine Lösung zur dezentralen Energieproduktion für Landwirte und kleine Dörfer zur Selbstversorgung in kleinem Maßstab sein, solange nicht erfolgreiche Erfahrungen für größere Projekte und deren Folgen vorliegen. Dabei gilt es jedoch überhöhte Erwartungen - *J. curcas* wird als ein Heilsbringer zur Lösung für verschiedene Probleme wie steigender Energiebedarf, Rücklandgewinnung und Arbeitslosigkeit angepriesen (GTZ 2010) -, die in der weltweiten Diskussion um *J. curcas* zur Biodieselproduktion geweckt werden, zu vermeiden. *J. curcas* kann zur Lösung dieser Probleme teilweise beitragen, aber eben nur als einer unter verschiedenen Ansätzen.

Der Auswahl geeigneten Pflanzmaterials für den *J. curcas*-Anbau ist komplizierter als gemeinhin angenommen wird. Wenn die anzupflanzenden Sorten nicht standortgerecht sind (Wasserbedarf, geeignete Bodeneigenschaften und Klimabedingungen etc.), können ihre Pflege- bzw. Anbaukosten hoch sein und in keinem angemessenen Verhältnis zu ihrem Ertrag stehen (Castro-Gonzáles 2012). So können *J. curcas*-Sorten aus Mexiko und Brasilien völlig andere Eigenschaften als solche aus Kenia oder Bolivien haben. Es gibt mehr als hundert Sorten von *J. curcas* (Castro-Gonzáles 2012), insofern

ist es schwierig, Aussagen zu verallgemeinern, die aus Pilotstudien in anderen Regionen wie dem Projekt in Kenia gewonnen wurden.

Im kenianischen Fall war der Anbau erst nach dem 7. Jahr wirtschaftlich (und das nur beim Heckenanbau, die anderen beiden Anbauformen waren überhaupt nicht wirtschaftlich im Untersuchungszeitraum von zehn Jahren) (GTZ 2010) – zu lang für Kleinbauern. Daher sollten Anbauprojekten in Bolivien zunächst Anbauversuche mit verschiedenen Sorten unter verschiedenen regionalen Standortbedingungen vorausgehen, um optimale Sorten für einen großflächigen Anbau herauszufinden. Entsprechende Versuche sollten von lokalen, regionalen und nationalen Regierungen gefördert werden (von Ländern wie Bolivien etwa aus Erlösen der Öl- und Gaswirtschaft). Entsprechend erfolgreiche *J. curcas*-Anbauerfahrungen gibt es in Indien und Mali. Auch kann der Anbau von *J. curcas* mit traditionellen Landwirtschaftsformen verbunden werden, wenn es geeignete finanzielle und technische Förderung gibt (German et al. 2011).

Prinzipiell ist Biodiesel als eine gute Alternative zur Substitution von fossilem Diesel anzusehen, weil es umweltfreundlicher ist. Biodiesel hat weniger GHG-Emissionen als das fossile Diesel und Schadstoffemissionen aus fossilen Kraftstoffen können durch die Beimischung von Biodiesel zu fossilem Diesel reduziert werden. Ferner kann Biodiesel dezentral produziert werden (Yusuf et al. 2011).

Ob das so ist hängt jedoch sehr von den ausgewählten Anbaustandorten und Kulturverfahren ab. So geht die Produktion von Biodiesel aus Palmöl oder Soja oft mit der Abholzung und Zerstörung von naturnahen Ökosystemen wie in Malaysia, Indonesien und Brasilien einher (Yusuf et al. 2011). Beispielsweise ist die Palmöl-Produktion mit einer Zerstörung von Regenwäldern und einem Verlust an Biodiversität in Indonesien und Malaysia (größte Palmöl-Produzenten weltweit) eng verknüpft (Wuppertal Institut 2007). Palmöl als Energieträger hat zwar ein großes Potenzial, um fossile Energie und Treibhausgase einzusparen, aber die meisten Ölpalmen werden auch heute noch auf Flächen angebaut, die durch die Rodung tropischer Naturwälder anbaufähig gemacht werden. Als Folge werden nicht nur die einzigartige biologische Vielfalt dieser Wälder, sondern auch deren unschätzbar wertvollen weiteren Ökosystemfunktionen irreversibel geschädigt. Durch die (Brand-)Rodung von Regenwäldern zur Anlage von Palmölplantagen kommt es zur Erhöhung der Emissionen von Kohlendioxid. In Indonesien und Malaysia gibt es darüber hinaus spezielle Arten von Sumpfregenwäldern,

die über Torfbildung als CO2-Senke fungieren. „Nach der Trockenlegung dieser Wälder führen die Zersetzung des Torfes sowie bei Brandrodung sich im Boden ausbreitende Schwelbrände zu deutlich größeren Kohlendioxidemissionen. Neben mangelnden Praktiken zur Eingrenzung der gelegten Brände begünstigen die unterirdisch schwelenden Torfschichten die Ausbreitung der Feuer über die für neue Plantagen vorgesehenen Flächen hinaus“, heißt es in einer Studie des Wuppertal Instituts (Wuppertal Institut 2007:183). Aus all diesen Gründen sollte durch politische Rahmenbedingungen der Einsatz von Palmöl als Energieträger verhindert werden, solange kein nachweislich nachhaltig produziertes Palmöl auf dem Markt verfügbar ist (Wuppertal Institut 2007).

Auch der Anbau von Soja (Biodiesel) und Zuckerohr (Ethanol) in Brasilien verursacht direkt und indirekt Landnutzungsänderungen bzw. Landnutzungswechsel. Soja und Zuckerohr tragen zur Hälfte zur bis 2020 projizierten Abholzung von Regenwald in Brasilien im Umfang von 121.970 km2 bei (Lapola et al. 2010).

Es wurde nachgewiesen, dass die Ethanolproduktion aus Mais nach ökologischen Gesichtspunkten nicht nachhaltig ist (Solomon 2010). Mais kann auch zur Vergärung in Biogasanlagen verwendet werden. Großflächiger Maisanbau kann sich auf die Biodiversität und Bodenfruchtbarkeit negativ auswirken. Mais kann zum Bodenerosionsrisiko erheblich beitragen. Die Qualitätsanforderungen an den Mais zur Vergärung sind ähnlich hoch wie beim Anbau als Futtermittel, insbesondere durch einen erheblichen Bedarf an Dünger und Pflanzenschutzmitteln (Plieninger et al. 2009), mit entsprechendem Risiko des Austrages von Stoffen ins Grund- und Oberflächenwasser. Eine ähnliche Gefährdung geht in Deutschland von der Biodieselproduktion aus Raps aus. Zum Rapsanbau wird in der Regel Bodenvorbereitung, Aussaat, zweifache Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, Düngung u. a. benötigt. Aber Rapsanbau beinhaltet ein relativ geringes Risiko von Bodenverdichtung, Bodenerosion und Phosphataustrag in Oberflächengewässer (Plieninger et al. 2009). Diese anbaubedingten ökologischen Probleme der Biodiesel- und Ethanolproduktion könnten durch bessere landwirtschaftliche Praxis gelöst werden (Dunkelberg et al. 2011; Solomon 2010).

Auch der Anbau von *J. curcas* könnte in Monokultur negative Auswirkungen auf Boden, Wasser und Biodiversität haben, so wie dies bei jedem Anbau in Monokultur bzw. Reinkultur vorkommt. Insbesondere ist die Gefahr durch Nitratauswaschung aus den Böden hoch (Plieninger et al. 2009). Deswegen wäre der Anbau als Mischkultur

optimal (s. o.). *J. curcas* kann in einem Anbaugebiet auch im Flächenmix mit anderen Kulturen angebaut werden, um so eine Monokultur zu verhindern. Verbindet man diese Anbauvarianten mit einem Anbau auf erodierten Böden kann die Kultur von *J. curcas* deutlich umweltfreundlicher sein als der Anbau anderer Energiepflanzen.

> Welche sozioökonomischen Auswirkungen auf die Untersuchungsregion sind mit dem Anbau von *J. curcas* verbunden?

Identifikation von positiven oder negativen sozioökonomischen Auswirkungen beim Anbau von J. curcas

Ein Nachteil von Biodiesel aus Palmöl sind seine schlechten Verbrennungseigenschaften bei niedrigen Temperaturen. Deswegen ist Biodiesel aus Palmöl für die Luftfahrtindustrie nicht geeignet, aber diese Eigenschaften könnten durch Beimischung von Biodiesel mit einem hohen Anteil ungesättigter Fettsäuren verbessert werden (Yusuf et al. 2011). Im Gegenteil dazu gibt es in Deutschland und Mexiko eine neue Entwicklung zur Verwendung von *J. curcas*-Öl als Rohstoff zur Produktion einer BioSPK/Jet A-1 Mischung für eine **nachhaltige Luftfahrtindustrie**. In Mexiko fand sogar schon der erste erfolgreiche Testflug statt (Saval 2012). Sollten sich diese positiven Entwicklungen zur Nutzung von Biodiesel von *J. curcas* durchsetzen, könnten sich neue Einkommensquellen im UG und benachbarten Regionen in Bolivien ergeben.

Die beste Eigenschaft von *J. curcas* als Energiepflanze ist, dass sie auf Grund ihrer Toxizität mit der Nahrungsmittelproduktion **nicht direkt** konkurriert. Andere Rohstoffe zur Biodieselproduktion sind Rapsöl und Sojaöl in den U.S.A., Palmöl in Malaysia, und Rapsöl in Europa (Yusuf et al. 2011). Öl aus diesen Energiepflanzen ist aber essbar und steht damit in einer direkten Konkurrenz zwischen Nahrungsmittel und Bioenergie. Damit werden mehr als 95 % des weltweit produzierten Biodiesels aus essbarem Öl hergestellt. So kann die Produktion von Biodiesel im großen Maßstab zu einem globalen Ungleichgewicht bei der Nahrungsmittelsicherheit führen (Yusuf et al. 2011).

Palmöl kann nicht nur als Energieträger (Biodiesel) verwendet werden, sondern auch als Kosmetikmittel, Waschmittel und für die Herstellung anderer chemischer Produkte genutzt werden. Es wird auch als Zutat zu anderen Nahrungsmitteln verwendet. Da es essbares Öl ist, kann seine energetische Nutzung in direkte Konkurrenz mit seiner Nutzung als Lebensmittel treten und diese für wirtschaftlich schwache Haushalte verteuern (**Ernährungssicherheit**) (Wuppertal Institut 2007). Deswegen sollte die Produktion von Biodiesel aus nicht-essbarem Pflanzenöl wie Pongamia pinnata (Karanja

bzw. Honge), *J. curcas* und Madhuca iondica (Mahua) in Betracht gezogen werden (Yusuf et al. 2011).

Die expandierende Biodieselproduktion im großen Maßstab führt zu **Landbesitzkonflikten** (z. B. widerrechtliche Aneignung der Fläche der Nativen durch Großunternehmer). Beispielsweise sind 630 Landkonfliktfälle zwischen Palmöl-Firmen und Gemeinden mit Anbaugebieten bekannt. Zahlreiche weitere Landkonflikte (rd. 3.500) ergeben sich in Bezug auf Entschädigungen, die mangels eines eindeutigen Landrechts auftreten. Dies ist beispielsweise bei der expandierenden Soja-Industrie in Bolivien passiert, die zum Teil Flächen von Ureinwohnern nutzt und damit lokale Gemeinschaften zerstört (German et al. 2011; Lapola et al. 2010).

Die Arbeitsbedingungen auf den Palmölplantagen in Indonesien und Malaysia sind als hart bekannt. Dabei ist auch **Kinderarbeit** verbreitet. Daher ist die sozioökonomische Nachhaltigkeit beim Palmanbau in Frage zu stellen (Wuppertal Institut 2007). Beim Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion ist daher auf eine strikte Einhaltung von Arbeitsstandards zu achten. Hierzu sind entsprechende gesetzliche Vorgaben der nationalen und regionalen Regierungen zu erlassen.

Zu den größten **Arbeitsmöglichkeiten** Brasiliens zählt der Zuckerrohr-Anbau zur Ethanolproduktion. Doch die Verwendung von Erntemaschinen hat die Anzahl von direkten Arbeitsplätzen in den letzten Jahren reduziert (REN21 2013; REN21 2011). Die Anzahl der Arbeitsplätze bei der Zuckerrohrproduktion ist durch die **Mechanisierung** um 62 % gesunken (German et al. 2011). Insgesamt ist die Anzahl der Arbeitsplätze bei der Biokraftstoffproduktion abhängig von Faktoren wie politischen Strategien, Rohstoffpreisen, Abnahmen der Ernteerträge wegen Dürre, abnehmenden Bedarfs wegen Mechanisierung (REN21 2013: 96). Eine ähnliche Tendenz wie beim Zuckerrohranbau gibt es in der Sojaindustrie. Da diese Industrie in Regionen mit relativ geringer Bevölkerungsdichte angesiedelt ist, wird damit eine wesentliche Einkommensmöglichkeit für die ländliche Existenz reduziert (Gasparatos & Stromberg 2012; German et al. 2011; Spiegel-Online 2009). Für die Arbeitskräfte gibt es keine Ausbildung in Form von technischer Beratung, um auf den Plantagen zu arbeiten. Auch sind die Arbeitsplätze in aller Regel zeitlich befristet und ohne soziale Absicherung (German et al. 2011).

Solche sozialen Probleme im Umfeld der Biodieselproduktion sollten im Fall von *J. curcas* nicht wiederholt werden. Dazu müssen der *J. curcas*-Anbau von der Regie-

rung durch entsprechende Rahmenbedingungen zur Biodieselproduktion gefördert und die Arbeitsbedingungen geregelt werden.

Gleichzeitig ist es aber beim Anbau von *J. curcas* möglich, die Arbeitslosigkeit zu bekämpfen. Das oben genannte indische *J. curcas*-Projekt ist ein gutes Beispiel dafür: 5 Mio. Menschen sollen in den Plantagen auf ca. 10 ha Brachland arbeiten (Medina-Ovando et. al. 2009). Diese große Möglichkeit zur **Schaffung von neuen Arbeitsplätzen** ergibt sich, weil *J. curcas* entlang der Prozesskette zahlreiche Arbeitskräfte für eine optimale Pflege der *J. curcas*-Plantagen (Jäten, Schneiden, Bewässerung u.a.) sowie für die Ernte benötigt, die manuell vorgenommen werden muss, weil die *J. curcas*-Pflanze gleichzeitig Blüten, unreife und reife Früchte trägt (Holl et al. 2007).

Als Einflussfaktoren für eine nachhaltige Biodieselproduktion in Kombination mit einer effektiven Nutzung von Ressourcen (Land und Wasser), spielen neben der lokalen, regionalen und nationalen Politik die Bauern und Investoren bzw. Unternehmer eine wichtige Rolle. Als aktive Akteure beim Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion sind sie unbedingt nötig bei Anbau, Pflege, und Ernte der *J. curcas*-Plantagen sowie zur Ölgewinnung (vgl. Abbildung 5.4). Ebenfalls von Bedeutung zur Umsetzung einer sozioökonomisch nachhaltigen Entwicklung der Biodieselproduktion aus *J. curcas* ist der Einsatz (INPUT) einfacher Biodieselproduktionsverfahren, um die Biodieselproduktion für Kleinbauern zugänglich zu machen - z. B. die Nutzung von einfacher Technologie zur Ölgewinnung aus *J. curcas*-Samen wie die Verwendung von Handpressen (Adriaans 2006).

Neben diesen direkten soziökonomischen Auswirkungen müssen für eine nachhaltige Biodieselproduktion aus *J. curcas* negative indirekte Auswirkungen vermieden und positive Auswirkungen gefördert werden. Im UG gibt es große Probleme mit der Versorgung von Trinkwasser für die Bevölkerung und Wasser für die Landwirtschaft und Viehhaltung. Die Bevölkerung im UG (41 %) deckt selbst ihren Wasserbedarf mit Grundwasser durch den Bau von Brunnen sowie mit aufgefangenem Regenwasser oder auch aus Flüssen (kleine Stauseen, Wasserbehälter, Zisternen etc.) (vgl. Unterkapitel 3.2; Abbildung 3.3) (UNO 2006). Deswegen müssen Konzepte für eine effektive Nutzung von Wasser zur Bewässerung der *J. curcas*-Plantagen entwickelt werden, die nicht in Konkurrenz mit der Wasserversorgung der Bevölkerung, dem Wasserbedarf für das Vieh und der Bewässerung der wenigen vorhandenen Äcker treten. Da der Wasserbedarf von *J. curcas* sehr niedrig ist (Misra & Misra 2010; Buikema et al.

2009), könnte diese Eigenschaft ein großer Vorteil sein, um Konflikte bei der Wasserentnahme zur Bewässerung von *J. curcas*-Plantagen zu vermeiden. Die Bewässerung für *J. curcas* muss den genannten drei anderen Wassernutzungen nachgeordnet sein. Dafür muss die Wassernutzung zur Biodieselproduktion von der nationalen und lokalen Regierung geregelt werden.

Darüber hinaus könnte der *J. curcas*-Anbau zur **Verbesserung der Infrastruktur** und zum **Zugang zu Strom** im UG beitragen. Zurzeit hat das UG einen Mangel an Infrastruktur für den Transport sowie die Lagerung der Samen, des Öls und des produzierten Biodiesels aus *J. curcas*. Dort gibt es zumeist nur Gemeindewege, die in keinem guten Zustand sind (UNO 2006). Im UG gibt es auch einen Mangel an Strom. So betrug der Elektrifizierungsanteil auf dem Land in Bolivien im Jahr 2011 nur 38 % (EIA 2012). Daher sollten die entsprechenden Projekte von *J. curcas* zunächst hauptsächlich eine Lösung zur **dezentralen Energieproduktion** für Landwirte und kleine Dörfer zur Selbstversorgung sein. Dies bedeutet, dass produzierter Biodiesel aus *J. curcas* nicht nur zur Stromgewinnung durch Dieselgeneratoren für die kleinen Dörfer, sondern auch für die lokalen Agrarmaschinen verwendet werden könnte, damit der Lebensstandard der Einwohner durch Zugang zu Strom und selbst produziertem Treibstoff auf dem Land verbessert werden kann. Hierzu ist es jedoch erforderlich, dass die nationale und die lokale Regierung den Bau von Straßen und die Verbesserung der Infrastruktur initiieren, um eine unnötige Erhöhung der Kosten bei der Biodieselproduktion zu verhindern. Vor diesem Hintergrund sollte der Anbau von *J. curcas* im ländlichen Raum der Untersuchungsregion vor allem im Hinblick auf die ländliche Entwicklung der Region mit Synergieeffekten auf die lokale Wirtschaft gefördert werden.

Letztendlich ist die Wirtschaftlichkeit von Biodiesel aus *J. curcas* ein entscheidender Faktor für die Realisierbarkeit von auf *J. curcas* basierten Biodieselprojekten. Sie steht neben ihren Produktionskosten in einem engen Zusammenhang mit externen Faktoren wie dem Preis von fossilem Öl. Die Kosten von Biodiesel aus *J. curcas* sollten kompetitiv mit den Kosten von fossilem Diesel sein. Andererseits ist der Preis von fossilem Öl von externen Faktoren bestimmt wie dem Angebot von anderen Energiealternativen (Stalder 2013). Unabhängig davon fördert die Biodieselproduktion jedoch grundsätzlich die **ökonomische Entwicklung** auf dem Land. Beispiele sind die Palmölindustrie in Indonesien und Malaysia (zwischen 0,08 und 0,5 Jobs pro ha) (German et al. 2011) sowie die Zuckerrohrindustrie in Brasilien (REN21 2013).

Obwohl die Biodieselproduktion zu einigen ökologischen und sozioökonomische Konflikten führt (Forschungsfrage 2 und 3), steigt global die Biodieselproduktion weiter (22,5 Milliarden Liter im Jahr 2012 und 22,4 Milliarden Liter in 2011), mit aber langsameren Wachstumsraten im Vergleich zu den vorhergehenden Jahren. Die Top Fünf Biodieselproduzenten in der Welt waren im Jahr 2012 die U.S.A, Argentinien, Deutschland, Brasilien und Frankreich (REN21 2013: 96).

Auch die Produktion von Ethanol hat zu erheblichen sozioökonomischen Problemen geführt wie Einschränkungen der **Nahrungsmittelsicherheit und Verteilungskonflikte** (Dunkelberg et al. 2011; Solomon 2010). Infolgedessen steigen bei der Produktion von Ethanol und Biodiesel die ökologischen Herausforderungen erheblich (Solomon 2010).

6.1 Ergänzende Aspekte zu den Ergebnissen der Arbeit

Welche Handlungsempfehlungen für einen nachhaltigen Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion im industriellen Maßstab können für Bolivien nach ökologischen und sozioökonomischen Kriterien gegeben werden?

Ableitung von ökologischen und sozioökonomischen Förderungsstrategien für einen nachhaltigen Anbau von J. curcas

Ergänzend zu Handlungsempfehlungen, die sich aus den Ergebnissen zu den drei ersten Forschungsfragen und deren Diskussion ergeben, werden in Kapitel 7 auch einige Handlungsempfehlungen für die nationale und regionale Regierung sowie für die Bauern bzw. Investoren formuliert, die bislang in der Arbeit nicht diskutiert wurden. Diese werden daher im Folgenden hergeleitet, begründet und diskutiert.

Derzeit wird die Produktion von Biodiesel in Bolivien nicht systematisch gefördert. Das Land hat keine Strategien für erneuerbare Energien, obwohl es eine steigende Energienachfrage gibt (REN21 2013:76, 79, 96; YPFB 2010). Beispielsweise mussten in Bolivien rund 54 % des Diesel-bedarfs im Jahr 2010 importiert werden (YPFB 2010). Aus diesem Grund muss das Land Strategien entwickeln, um seine Dieselimporte zu reduzieren bzw. sukzessive ganz vermeiden zu können. Eine von ihnen ist die detailliertere Ausgestaltung der Gesetze N° 3207 und N° 3546, um die Biokraftstoffproduktion zu fördern. Zurzeit gibt es noch keine eindeutigen Regeln für die Produktion von Biokraftstoffen (vgl. Unterkapitel 1.2) (FOBOMADE 2007), obwohl Bolivien

Potential für Energiepflanzen aufweist. Dadurch erfolgt die Biodieselproduktion in Bolivien verzögert im Vergleich mit den Nachbarländern. So kann das Land nicht von dem weltweiten Boom bei der Biodiesel- und Ethanolproduktion profitieren (Castro-Gonzáles 2012, REN21 2013). Bolivien könnte nicht nur von Ländern aus anderen Kontinenten, sondern auch von seinen direkten Nachbarländern lernen, um in die Biodieselproduktion einzusteigen.

Deutschland, das eine erfolgreiche Entwicklung seiner erneuerbaren Energieindustrie erreicht hat (Tau et al. 2007: 5693), kann auch ein gutes Modell für Bolivien sein. Das Deutsche Erneuerbare Energie Gesetz (EEG) hat die Entwicklung der erneuerbaren Energien im Strombereich sehr vorangebracht. Deutschland entwickelt kontinuierlich politische Strategien im Energie- und Klimaschutzbereich unter Berücksichtigung des Umweltschutzes (Rundblick Nord Report 2012). Die dynamische Entwicklung von erneuerbaren Energien in Deutschland basiert auf Strategien, die an die jeweiligen Marktmöglichkeiten für erneuerbare Energien angepasst wurden (Tau et al. 2007). „Die Chancen zum Aufbau einer einheimischen Wirtschaft für Komponenten und Anlagen der erneuerbaren Energieversorgung, die Förderung von Vielfalt, Wettbewerb und Demokratie (durch den Abbau von Markmacht) sind die gute Gründe, die erneuerbaren Energien mit besonderem Nachdruck zusammen mit der Energieeffizienz voranzutreiben – auch wenn es kein Klimaproblem gäbe“ (Hennicke & Fischedick 2010). Bolivien könnte bei der Förderung der Biodieselproduktion von deutschen Programmen lernen, etwa die Steuerbefreiung für Biokraftstoff, ein starkes Forschungsbudget und Fördermittel für aktive Unternehmer sowie NRO (Tau et al. 2007).

Ein für Bolivien interessantes Fallbeispiel in Bezug auf die Biodieselproduktion aus *J. curcas* ist mit Indien ein anderes Entwicklungsland. Die indische Regierung verfügt sogar über ein Ministerium für erneuerbare Energien. So ist Indien beispielsweise das Land, das das größte *J. curcas*-Projekt (400.000 ha) der letzten Zeit im Jahr 2003 mit dem Ziel begonnen hat, seinen steigenden Dieselbedarf zu decken (vgl. Kapitel 2.2) (FAO 2008; Siddharth & Sharma 2010).

In Südamerika kann **Brasilien** als ein gutes Beispiel für die Biokraftstoffproduktion dienen. Das Land ist weltweit führend bei der Ethanolproduktion aus Zuckerrohr und einer der größten Biokraftstoffproduzenten Südamerikas neben Argentinien (REN21 2013). **Argentinien** ist daran interessiert, Biodiesel aus Soja und *J. curcas* im großen Maßstab für den Export nach Europa zu produzieren (Cabral Da Costa 2010, Inter-

view). Außerdem ist auf Grund der Globalisierung, dem Klimawandel und Schwankungen vom Petroleumpreis die Biokraftstoffproduktion ein neuer Schwerpunkt für viele Länder weltweit. Nachbarländer von Bolivien wie Brasilien, Argentinien, Kolumbien zählen zu den größten Biokraftstoffproduzenten, sie sind sogar in den Top 15-Ländern der globalen Biokraftstoffproduktion aufgeführt (REN21 2013: 96).

Aus dem rasanten Anstieg der Biodieselproduktion in den Nachbarländern können sich neue Probleme für Bolivien ergeben wie unerlaubter Handel mit Sojaöl zur Biodieselproduktion in die Nachbarländer. Grund dafür ist der günstigere Preis von Sojaöl in Bolivien im Vergleich z. B. mit dem in Argentinien produzierten Sojaöl (Garcia-Bustos 2010, Interview). Diese Situation ergibt sich auf Grund fehlender Regeln zur Biokraftstoffproduktion (Rohstoffproduktion) in Bolivien. Wenn die Biodieselproduktion in Bolivien geregelt würde, könnte Bolivien von dem weltweiten Boom der Biokraftstoffproduktion als größter Sojaölproduzent Südamerikas profitieren.

Neben der bolivianischen Unfähigkeit, den steigenden Dieselbedarf im Inland zu decken, bestehen weitere Probleme, die in Verbindung mit einer wachsenden Biodieselproduktion gelöst werden könnten. Hierzu zählen eine geringe Landwirtschaftsentwicklung, soziale Probleme und Landflucht sowie Umweltprobleme durch einen Mangel an Strategien für den Naturschutz, zur Verhinderung von Regenwaldabholzung und zum Stoppen von Bodendegradation (UNO 2006). Es liegen damit zahlreiche Gründe für Bolivien vor, in die systematische Förderung der Biokraftstoffproduktion einzusteigen, zumal in den vergangenen Jahren die Biodieselproduktion aus *J. curcas*-Samen auch das Interesse von privaten Unternehmen und Forschungsinstituten für eine nachhaltige Luftfahrtindustrie in **Deutschland**, **England**, **Mexiko**, **Kuba** und für öffentliche Verkehrsmittel in Peru gewachsen ist (Traufetter 2010; Gongloff 2007; Saval 2012; Castro Pareja et al. 2008; REN21 2013). Eine Ausweitung der Biodieselproduktion aus *J. curcas* in Verbindung mit einem steigenden *J. curcas*-Biodieselbedarf im In- und Ausland könnten Exportmöglichkeiten in großem Maßstab für Bolivien eröffnen. Dafür bedarf es einer entsprechenden politischen Förderung seitens der bolivianischen Regierung etwa durch die Einrichtung eines Ministeriums für erneuerbare Energien, der Intensivierung von Beziehungen mit internationalen Institutionen für eine Zusammenarbeit bei der Entwicklung von Projekten zur Biodieselproduktion u. a.

Allerding gibt es zurzeit keine Vermarktung von Biokraftstoffen in Bolivien. Dies stellt ein großes Hindernis zur Förderung der Biodieselproduktion aus *J. curcas* dar.

Daher spielt der Aufbau eines Marktes bei der Realisierung der Biodieselproduktion eine wesentliche Rolle. So könnten neue Möglichkeiten geschaffen werden, um produzierte Samen, Öl und Biodiesel aus *J. curcas* sowie ihre Nebenprodukte zu vermarkten.

Zur Etablierung eines Markts für Biodiesel muss die Regierung Richtlinien für Nutzungskonzepte und für Samen und Öl als Rohstoffe zur Biodieselproduktion entwickeln. Dazu zählt insbesondere die Bestimmung von technischen Qualitäten des Biodiesels, damit der Biodiesel in Dieselmotoren ohne Schädigung des Motors eingesetzt werden kann (Krahl 2012, Interview; Castro-Gonzáles 2012; Achten et al. 2008). Außerdem sollten auch Steuerregelungen für das Öl und Biodiesel entwickelt und die Autoindustrieentwicklung gefördert werden. Ein weiterer Aspekt bei der Förderung der Nutzungskonzepte ist die Preisfestlegung für die Samen, das Öl und den Biodiesel zum lokalen und internationalen Handel. So kann ein Markt für Biodiesel etabliert werden. Dazu sollten zu einer Verstärkung des *J. curcas*-Anbaus auch **Finanzierungsmöglichkeiten** bzw. -programme für kleine und große Bauern bzw. Investoren durch Banken sowie lokale und ausländische Finanzdienstleister geschaffen werden.

Mit der Förderung des *J. curcas*-Anbaus zur Biodieselproduktion könnten weitere Industrien entwickelt werden wie die Seifen- und Kerzenindustrie u.a. (Gübitz et al. 1999; Kumar & Sharma 2008; Jain & Sharma 2010; Abou Kheira & Atta 2009; Jongschaap et al. 2007; Openshaw 2000) (vgl. Unterkapitel 2.3). Die Vielseitigkeit der *J. curcas*-Pflanze kann ein großer Vorteil für den Erfolg ihres Anbaus zur Biodieselproduktion sein. Auf diese Weise kann die Pflanze erhebliche Verbreitung finden (vgl. Unterkapitel 2.3, Abbildung 2.7 und Abbildung 5.4).

Der nationale Entwicklungsplan (auf Spanisch PND: Plan de Desarrollo Nacional) der aktuellen Regierung basiert auf einer Umweltstrategie für Naturschutz und nachhaltige Nutzung der Biodiversität und Ressourcen zur Verbesserung der Lebensbedingungen der Bevölkerung durch die Erschließung alternativer Einkommensquellen (vgl. Unterkapitel 1.2) (Ernst et al. 2009). Auf Basis dieses Nutzungskonzepts von Ressourcen könnte der *J. curcas*-Anbau auch ein wesentlicher Baustein im nationalen Entwicklungsplan der aktuellen Regierung sein. Aber der produzierte Biodiesel muss konkurrenzfähig mit dem fossilen Diesel sein. Allerdings wird in Bolivien der Preis des Diesels subventioniert. Beispielsweise betrug im März 2015 der Verbraucherpreis von Diesel (inklusive Steuer) ungefähr 0,53 US$ (ANHb) (vgl. Unterkapitel 1.2). Zum Jah-

reswechsel 2010/2011 versuchte die Regierung die Subventionen abzuschaffen, nahm diese Maßnahme aber nach erheblichen Bevölkerungsprotesten wieder zurück (The Economist 2011). Daher sollte die nationale Regierung Boliviens die Biodieselproduktion durch die Subvention von Biodiesel sowie die Etablierung eines Marktes für Biodiesel und der Nebenprodukte von *J. curcas* fördern und parallel zum Wachsen des Angebots an preisgünstigem Biodiesel die Subventionen für fossilen Diesel vorsichtig herunterfahren. Eine wichtige Maßnahme in diesem Zusammenhang kann die Regulierung der Verwendung von Biodiesel im Dieselmotor als gemischter Kraftstoff mit fossilem Diesel sein (ANHb 2015; Castro-Gonzáles 2012, Sarin et al. 2007; Openshaw 2000). Dazu muss jedoch der mögliche Anteil des *J. curcas*-Biodiesels bei der Beimischung insbesondere aus technischer Sicht zur optimalen Verwendung in Dieselmotoren bestimmt werden (Krahl 2012, Interview; Castro-Gonzáles 2012; Om et al. 2008; Abou Kheira & Atta 2009).

J. curcas kann in **Kombination mit anderen Kulturen** angebaut werden. Vorteilhaft ist vor allem die Kombination mit Pflanzen, die über Symbiosen Stickstoff im Boden fixieren können (vgl. Unterkapitel 2.1.1 und Unterkapitel 6.1. Beispielsweise ist der Pongamia-Baum eine gute stickstofffixierende Kultur (E+Z 2008). Aber auch dies sollte reglementiert werden: der Wasserbedarf der stickstofffixierenden Pflanze darf nicht zu einem übermäßigen Bewässerungsbedarf führen.

Basierend auf der Bewertung mittelamerikanischer *J. curcas*-Projekte und weltweiter *J. curcas*-Untersuchungen (vgl. Tabelle 2.4; Unterkapitel 2.2) (AEA 2006; Castro-Gonzáles 2012) werden fehlende Faktoren identifiziert, die sich auf die Realisierbarkeit einer erfolgsversprechenden Biodieselproduktion aus *J. curcas* in großem Maßstab auswirken: Um die Biodieselproduktion aus *J. curcas* in Bolivien sowie in Mittel-, Süd- und Nordamerika zu expandieren, sollte es die Möglichkeit geben, eine enge Kooperation zwischen den *J. curcas* anbauenden Ländern aufzubauen. Dafür könnte ein **Verband von** *J. curcas*-**Biodieselproduzenten** gegründet werden. Ein solcher Verband könnte den **Informationsaustausch** zu *J. curcas*-Untersuchungen z. B. durch Konferenzen, Tagungen und durch **koordinierte Arbeit** zwischen nationalen und regionalen Regierungen sowie Universitäten, Forschungsinstituten, privaten Firmen, Entwicklungshilfeorganisationen, internationalen Organisationen wie der FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), NRO, Klein- und Großbauern bzw. Investoren, inländischen und ausländischen Unternehmern fördern. Dabei könnten Bauern bzw. Investoren und Unternehmer eine große Bedeutung bei der Vernet-

zung von lokalen und internationalen *J. curcas*-Biodieselproduzenten zur **Ausweitung der Biodieselproduktion** haben. Dadurch könnte auch die Zusammenarbeit und Forschung mit externen und lokalen Akteuren (z. B. Universitäten, Forschungszentren im Agrarbereich, andere regionale Regierungen u. a.) gefördert werden.

Ein kritisches Thema beim Anbau und der Biodieselproduktion ist die Toxizität von *J. curcas*. Nach einigen Erfahrungen in Mittelamerika war dieses Thema ein Hauptgrund der Ablehnung von Bauern, auf *J. curcas*-Plantagen zu arbeiten (Makkar et al. 1997; AEA 2006; Mittelbach et al. 2010). Daher sollte die lokale Regierung die **Verbreitung von Informationsprogrammen** über *J. curcas* für Klein- und Großbauern bzw. Investoren und Unternehmer durch Tagungen sowie durch technische Beratung zur Förderung der Biodieselproduktion unterstützen.

Das UG ist ein idealer Ort, um *J. curcas* anzubauen (vgl. Kapitel 5) und wahrscheinlich könnte *J. curcas* auch in anderen Regionen Boliviens angebaut werden. Entwicklungsländer mit einem mangelhaften Bildungssystem auf dem Land könnten auch vom Anbau von *J. curcas* profitieren (Castro-Gonzáles 2012), wenn die Projekte mit **integrierten Bildungsprogrammen für Kinder in ländlichen Regionen** durchgeführt werden, damit die Schulen und ihre Infrastruktur verbessert werden können. Außerdem geht die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen FAO davon aus, dass Biodieselproduktion eine gute Chance zur ökonomischen Entwicklung sein kann, wenn sie an Kleinbauern bzw. Investoren mit geringem Zugang zum Markt orientiert ist (FAO 2013). Dafür sollte die Regierung politische Mechanismen zur Unterstützung entwickeln.

Für die Wirtschaftlichkeit der Biodieselproduktion aus *J. curcas* spielt bei all diesen Ansätzen die **Dauer der Förderungsprogramme** eine wesentliche Rolle. Kurzfristige Projekte zum *J. curcas*-Anbau stellen dabei ein großes Problem dar. In der Regel ist die Finanzierungslaufzeit eines Agrarprojekts abhängig davon, ab wann die Kultur beginnt zu produzieren und wie viele Jahre die Kultur nach ihrer Anlage genutzt werden kann, damit das Projekt rentabel für die Bauern bzw. Investoren ist. Die Dauer von Projekten zum *J. curcas*-Anbau sollte daher mindestens acht Jahre oder mehr sein. Beispielsweise fängt die *J. curcas*-Pflanze ab dem zweiten Jahr ihrer Anpflanzung an zu produzieren, zunächst aber in begrenzter Menge (Buikema et al. 2009; Jongschaap et al. 2007). Falls die Pflanzen richtig gepflegt werden (z. B. mit optimaler Bewässerung), kann der Ernteertrag bis zum Alter von fünf Jahren erhöht werden und die Sa-

menernte kann bis zu 40–50 Jahre andauern (Rijssenbeek et al. 2007). Deswegen wird der nationalen sowie lokalen Regierung empfohlen, Programme für die Bauern bzw. Investoren, Groß- und Kleinunternehmer, mit attraktiven Bedingungen zum Anbau von *J. curcas* als **langfristige Förderung** zu entwickeln. Auch müssen die Plantagenbetreiber (Bauern und Investoren) eine langjährige Abnahmesicherheit für ihre Produkte vor der Anlage der Plantagen zugesagt bekommen. Hierfür müssen die entsprechenden Rahmenbedingungen von der Regierung und eine enge vertragliche Bindung zwischen den Partnern der gesamten Biodieselprozesskette geschaffen werden.

Im Zusammenhang mit ökologischen Konzepten sollte die lokale Regierung die Einrichtung der Biodieselanlagen unter Berücksichtigung von Naturschutzaspekten und der effizienten Nutzung von Ressourcen im Hinblick auf die Produktionskosten von Biodiesel (z. B. Regeln zum Aufbau von Biodieselanlagen) sowie zum Bau von Straßen und zum Schutz der Natur vorgeben. Bei der Umsetzung sollte zudem eine Koordination der bolivianischen nationalen und lokalen Naturschutzorganisationen mit Bauern bzw. Investoren erfolgen. Beispielsweise benötigen große, zentrale Anlagen zur Biodieselproduktion viel Anbaufläche zur Sicherung des Rohstoffnachschubs (Nelson et al. 1994). Da die Transportkosten mit zunehmender Entfernung steigen, ist es ökonomischer die Anbauflächen möglichst nah an den Biodieselanlagen zu haben (z. B. Berücksichtigung der optimalen **Transportentfernung**) (Breuer & Holm-Müller 2007). Das kann zu einer Konzentration des *J. curcas*-Anbaus im Umfeld der Anlagen führen und die Nahrungsmittelproduktion dort zurückdrängen sowie zu ökologischen Problemen führen (Wiersbinski et al. 2007). Daher sind regions- und länderspezifische Prioritäten und Charakteristiken der lokalen Infrastruktur, Umgebung und Topographie zu berücksichtigen.

Trotz aller Umweltprobleme und strengen klimatischen Bedingungen der Untersuchungsregion könnte das UG ein großes Potenzial für eine nachhaltige Nutzung von erneuerbaren Energien wie die Produktion von Biodiesel aus *J. curcas* bieten, weil die Pflanze **sehr widerstandsfähig gegenüber klimatischen Wirkungen** wie niedrigen Temperaturen, Frost und Trockenheit ist. *J. curcas* kann sogar bis zu zwei Jahre ohne Wasser überleben (Buikema et al. 2009; Gübitz et al. 1999; Jongschaap et al. 2007; Jain & Sharma 2010). *J. curcas* verfügt damit über eine **hohe Dürretoleranz** (Misra & Misra 2010). Doch das bedeutet nicht, dass *J. curcas* ohne Bewässerung und bei schlechten klimatischen Bedingungen sehr produktiv ist (Pfahler 2011). *J. curcas* kann einen höheren Ölertrag pro ha unter optimalen Anbaubedingungen produzieren (z. B.

regelmäßige Bewässerung, Niederschlagsmenge: 200-1.500 mm pro Jahr, Böden mit guter Durchlüftung u. a.) (Parawira 2010; Holl et al. 2007; Saverys et. al. 2008; Abou & Atta 2009; Openshaw 2000). Selbst unter ansonsten optimalen Anbaubedingungen könnten sich aber Frostereignisse nachteilig auf die Produktion auswirken und einen höheren Ölertrag aus *J. curcas* verhindern (vgl. Tabelle 5.11). Deswegen ist die **effektive Nutzung der natürlichen Ressourcen** vor dem Hintergrund der lokalen klimatischen und edaphischen Standortbedingungen eine der größten Herausforderungen für die Untersuchungsregion.

Das Potenzial des *J. curcas*-Anbaus zur Biodieselproduktion kann in Verbindung mit ihren verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten genutzt werden, um teilweise die Sozial- und Umweltprobleme in der Untersuchungsregion zu bekämpfen und dabei gleichzeitig die Rückgewinnung des Brachlandes bzw. erodierten Bodens und eine förderliche Landnutzung zu erreichen. Doch braucht diese Entwicklung viel Zeit und es sollten an sie keine überhöhten Erwartungen geknüpft werden.

Auch sollte *J. curcas* nach Auffassung der Autorin nicht als Wunderpflanze angesehen werden. Sie ist zwar eine Pflanze, die viel Potenzial insbesondere zur Biodieselproduktion hat und daneben über mehrere Nutzungsmöglichkeiten verfügt, jedoch stehen der Umsetzung der Biodieselproduktion aus *J. curcas* im UG auch die bereits oben geschilderten Probleme entgegen. Gelingt aber die Umsetzung, so könnte mit ihrem Anbau auch gegen die Erosion und Desertifikation des Bodens sowie Arbeitslosigkeit und lokale Emigration angegangen werden. Durch den hohen Arbeitskräftebedarf bei der Bewirtschaftung der Plantagen und im weiteren Verlauf der Prozesskette zur Biodieselproduktion könnten die sozialen und ökonomischen Probleme des Untersuchungsgebietes wie Arbeitslosigkeit und Abwanderung teilweise gelöst werden.

Wenn Bolivien Biodiesel aus *J. curcas*-Öl industriell produzieren möchte, sollte es seine lokalen *J. curcas*-Sorten genauer untersuchen. Grund dafür sind die unterschiedlichen Charakteristiken von jeder Sorte der Pflanze, die von Herkunft und Genetik abhängig sind. Dies bedeutet, dass *J. curcas* in Mexiko und Brasilien völlig andere Eigenschaften als in Kenia oder Bolivien haben kann (Makkar 1997; Martinez-Herrera et al. 2006; Castro-Gonzáles 2012). Wahrscheinlich ist es sinnvoller, die jeweilige *J. curcas*-Sorte an ihrem heimischen Ort mit ihren natürlichen Bedingungen anzubauen, damit die Pflanzen ohne Probleme wachsen können. Hierauf basierend sollte die Züchtung neuer ertragreicher Sorten unter den Anbaubedingungen der lokal und regi-

onal verschiedenen bolivianischen Standortbedingungen vorangetrieben werden. Dazu sollten auch die in Bolivien einheimischen Genvarianten von *J. curcas* (USDA 2007; Lachner-Eitzenberger 2006; Castro-Gonzáles 2013; Seckinger 2010) in die Züchtung mit einbezogen werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Bolivien mit der Nutzung von *J. curcas* nicht nur einen Beitrag zur Dieselversorgung leisten, sondern auch Arbeitsplätze und eine Verbesserung der Infrastruktur schaffen sowie eine Rücklandgewinnung durch Biodiesel aus *J. curcas* erreichen kann. Ein richtiges bzw. effizientes Management von natürlichen Ressourcen wie Wasser und Land zum Anbau von Energiepflanzen wie *J. curcas* kann damit ein wichtiger Faktor für das wirtschaftliche Wachstum Boliviens sein. In diesem Zusammenhang spielt bei einem Anbau von *J. curcas* im großen Maßstab die **Verfügbarkeit der Ressource Land** eine große Rolle. In dünn besiedelten Ländern wie Bolivien mit 10,3 Einwohnern pro km² (INE 2012; The World Bank 2014) kann *J. curcas* daher eher als in dichter besiedelten Ländern wie Kenia mit 78 Personen pro km² oder im Libanon als Extrembeispiel mit 437 Personen pro km² (The World Bank 2014) angebaut werden. Zudem liegt in Bolivien keine innerlandwirtschaftliche Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Biodieselproduktion vor, wenn erodierte, devastierte Flächen genutzt werden. Alles in allem bietet sich *J. curcas* damit grundsätzlich als eine vielversprechende Ölpflanze für die Biodieselproduktion in Bolivien vor allem dann an, wenn ihr Anbau sowohl ökologisch als auch soziökonomisch nachhaltig betrieben wird.

7 Welche Handlungsempfehlungen für einen nachhaltigen Anbau von *Jatropha curcas* zur Biodieselproduktion im industriellen Maßstab können für Bolivien nach ökologischen und sozioökonomischen Kriterien gegeben werden?

Die folgenden Empfehlungen basieren auf der Identifizierung der Auswirkungen beim Anbau von *J. curcas* in Bolivien sowie verschiedener *J. curcas*-Anbauerfahrungen weltweit (vgl. Kapitel 2), auf den Ergebnissen der Analyse der sozioökonomischen und geografischen Situation in Bolivien und in der Region El Gran Chaco in Santa Cruz (vgl. Kapitel 1; Kapitel 3) sowie auf der entwickelten Bewertungsmethode dieser Arbeit zur Abschätzung des Potenzials vom *J. curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion (vgl. Kapitel 4) und auf ihren Ergebnissen (vgl. Kapitel 5). Diese formulierten Empfehlungen werden für die zwei Einflussfaktoren bzw. Akteure Regierung und Bauern bzw. Investoren zur Ableitung von ökologischen und sozioökonomischen Förderungsstrategien für die Biodieselproduktion aus *J. curcas* im UG entwickelt. In diesem Zusammenhang werden geeignete Nutzungskonzepte für die Biodieselproduktion erstellt, damit die Biodieselproduktion aus *J. curcas* zum partiellen Ausgleich des bestehenden Defizits an Energie und Biodiesel in Bolivien eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen darstellt.

Die in diesem Kapitel aufgeführten Handlungsempfehlungen zum *J. curcas*-Anbau für die Biodieselproduktion in Bolivien werden für jede Empfehlung nach folgenden Punkten gegliedert:

Problem: Hier werden die im Verlauf der eigenen Arbeit und über die Literaturrecherche identifizierten Probleme beim Anbau von *J. curcas* und den weiteren Phasen der Prozesskette zur Biodieselproduktion beschrieben. Zur besseren Zuordnung gilt bei allen Empfehlungen: *(1)* ergibt sich aus Kapitel 1, 3 oder 5 der Arbeit, *(2)* ergibt sich aus Kapitel 2 „Literaturrecherche“, *(3)* ist im Kapitel 6 „Diskussion“ ergänzt.

Lösung des Problems: Hier werden Strategien genannt, wie das genannte Problem gelöst werden kann.

Lösungsebene: Hier werden die politischen Ebenen und Instanzen genannt, die zur Problemlösung erforderlich sind und im Hinblick auf die Problemlösung zusammenarbeiten sollten.

7.1 Handlungsempfehlungen zur Biodieselproduktion aus *Jatropha curcas* in Bolivien im Allgemeinen

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DIE NATIONALE REGIERUNG

1. Entwicklung von Strategien bzw. Politiken zur Förderung der Biodieselproduktion aus *J. curcas*.
2. Steuerung der Umsetzung der Biodieselproduktion aus *J. curcas*.
3. Etablierung von langfristigen Förderungsprogrammen für Projekte zum Anbau von heimischen Ölpflanzen inkl. *J. curcas*.
4. Reglementierung und Förderprogramme für eine effiziente und nachhaltige Nutzung der Ressourcen, vor allem Wasser und Landfläche, bei der Biodieselproduktion aus *J. curcas*.
5. Reglementierung des Anbaus von *J. curcas* auf erodierten Flächen.
6. Reglementierung der Plantagengröße und des Anbaus von *J. curcas* zur Vermeidung von Monokulturen.
7. Förderung des Anbaus von Mischkulturen von *J. curcas* mit stickstofffixierenden Organismen.
8. Förderung des Aufbaus einer geeigneten Infrastruktur für die gesamte Prozesskette der Biodieselproduktion (Transport, Lagerung, Strom-, Wasserversorgung u. a).
9. Aufbau eines Marktes für Biodiesel aus *J. curcas*-Samen und ihren Nebenprodukten.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DIE BAUERN BZW. INVESTOREN

10. Gründung einer internationalen Gruppe der Produzenten von Biodiesel aus *J. curcas*.
11. Förderung einer engen Arbeitskoordinierung mit internationalen Organisationen bzw. NRO (Nichtregierungsorganisation).
12. Entwicklung einer Datenbank zur Zusammenfassung und Bereitstellung von Ergebnissen aus Projekten zum *J. curcas*-Anbau und zur Biodieselproduktion.

7.1.1 Handlungsempfehlungen für die nationale Regierung

1. **Entwicklung von Strategien bzw. Politiken zur Förderung der Biodieselproduktion aus *J. curcas***

Problem: Die Abhängigkeit Boliviens von Diesellieferländern steigt im Zusammenhang mit dem Defizit zwischen Dieselangebot und -bedarf an, der jährlich um 11 % zunimmt. Im Jahr 2014 musste Bolivien beispielsweise ca. 53 % seines Dieselbedarfs von Argentinien und Venezuela importieren (ANH 2015). Zudem betrug im Jahr 2003 der Elektrifizierungsgrad auf dem bolivianischen Land gerade einmal 28,3 % (Canedo 2005) und Zugang zu Energie bedeutet Wachstum bzw. Entwicklung für die Wirtschaft des Landes und die Verbesserung des Lebensstandards der Einwohner. Ein anderer kritischer Punkt liegt darin, dass Bolivien, im Gegensatz zu seinen Nachbarländern, noch nicht richtig in die Biokraftstoffproduktion eingestiegen ist, obwohl es schon seit 2005 zwei Gesetze, N° 3207 und N° 3546, gibt, um die Produktion von Biokraftstoff zu fördern. Bolivien hat bislang noch keine klaren Regeln und keine Strategien für den Anbau von Energiepflanzen zur Biokraftstoffproduktion entwickelt. Daher muss Bolivien dringend alternative Energiequellen entwickeln, um seinen Dieselbedarf selbst zu decken. Ein weiterer Schwerpunkt für Bolivien ist die Entwicklung der Agrarwirtschaft, die Rekultivierung devastierter und erodierter Böden zum Ackerbau und die bessere Nutzung von Ressourcen (Wasser und Land). Die Produktion von Biodiesel aus *J. curcas*-Samen kann eine gute Alternative zum fossilen Diesel sein und gleichzeitig helfen, ökologische und sozioökonomische Probleme teilweise zu lösen.

Lösung des Problems:

1.1 Einrichtung eines Ministeriums für erneuerbare Energien *(3)*.

1.2 Identifizierung der externen Faktoren, die die Biodieselproduktion aus *J. curcas* hemmen können, z. B. die Senkung des fossilen Ölpreises, um Maßnahmen zur Förderung der Biodieselproduktion zu ergreifen *(3)*.

1.3 Intensivierung von Beziehungen zu internationalen Institutionen für eine Zusammenarbeit zur Entwicklung von Projekten zur Biodieselproduktion aus *J. curcas (3)*.

1.4 Entwicklung von Subventionsprogrammen zur Biodieselproduktion aus *J. curcas (1)*.

1.5 Entwicklung von Vorfinanzierungsprogrammen (Kreditprogrammen) von *J. curcas*-Projekten für Groß- und Kleinbauern *(2)*.

1.6 Akquirierung internationaler Mittel zur Finanzierung von Projekten zur Biodieselproduktion aus *J. curcas (3)*.

1.7 Steuerung von Investitionen lokaler und ausländischer Unternehmen sowie NRO zur Biodieselproduktion aus *J. curcas (3)*.

1.8 Entwicklung von Nutzungskonzepten für das Öl und Biodiesel aus *J. curcas* und ihrer Nebenprodukte in der Industrie *(3)*.

1.9 Entwicklung von Konzepten für eine effektive Nutzung von Land und Wasser für einen ökologisch nachhaltigen Anbau von *J. curcas (3)*.

1.10 Entfernung möglicher Hindernisse in Gesetzen und institutioneller Restriktionen im Bereich Biodieselproduktion aus *J. curcas (2)*.

Lösungsebene: Die Entwicklung von Strategien zur Förderung von Biokraftstoffen sollte in Zusammenarbeit verschiedener Ministerien, u. a. dem Ministerium für fossile Brennstoffe und Energie (Ministerio de Hidrocarburos y Energia), dem Ministerium für Umwelt und Wasser (Ministerio de Medio Ambiente y Aguas), dem Ministerium für ländliche Entwicklung (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras) sowie dem Ministerium für produktive Entwicklung und pluralistische Wirtschaft (Ministerio de Desarrollo Productivo y Economia Plural), erfolgen.

2. Steuerung der Umsetzung der Biodieselproduktion aus *J. curcas*

Problem: Bolivien hat bislang kaum Vorgaben zur Entwicklung von Biokraftstoffen bzw. zur Biodieselproduktion geschaffen. Die Vorgaben müssen auf die Umsetzung der zu entwickelnden Strategien abzielen, so dass die Empfehlungen zur Lösung des Problems an dieser Stelle nur sehr allgemein gegeben werden können.

Lösung des Problems: Zur Steuerung der Produktion von Biodiesel bestehen u.a. folgende Handlungsoptionen:

2.1 Festsetzung klarer Rahmenbedingungen (im ökologischen und sozioökonomischen Bereich) für die Produktion von Biodiesel aus *J. curcas* bei ihren verschiedenen Phasen der Prozesskette *(1)*.

2.2 Regulierung zur effektiven Nutzung von Wasser bei Bewässerung der Plantagen von *J. curcas (1)*.

2.3 Erarbeitung von Gesetzen zur Steuerung des Handels mit dem Rohstoff (Öl) bzw. mit Biodiesel aus *J. curcas* (Steuerbelastung, Preisgestaltung u. a.) *(1)*.

2.4 Steuerung der Beimischung von *J. curcas*-Biodiesel zu fossilem Diesel (z. B. B5, B10 etc.) *(3)*.

Lösungsebene: Die Entwicklung der Steuerung sollte in Zusammenarbeit verschiedener Ministerien, dem Ministerium für fossile Brennstoffe und Energie (Ministerio de Hidrocarburos y Energia), dem Ministerium für Umwelt und Wasser (Ministerio de Medio Ambiente y Aguas), dem Ministerium für ländliche Entwicklung (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras) und dem Ministerium für produktive Entwicklung und pluralistische Wirtschaft (Ministerio de Desarrollo Productivo y Economia Plural), erfolgen.

3. Etablierung von langfristigen Förderungsprogrammen für Projekte zum Anbau von heimischen Ölpflanzen inkl. *J. curcas*

Problem: Mehrere experimentelle Projekte zum *J. curcas*-Anbau hatten keinen Erfolg, weil die Laufzeiten der Projekte kurz waren. Daher konnten die Bauern bzw. Investoren von den Ergebnissen und Erfahrungen der Projekte nicht profitieren. Grund ist, dass der Ernteertrag von *J. curcas*-Pflanzen erst im Lauf der Zeit und bei geeigneter Pflege zunimmt. Eine Überprüfung des Anbauerfolgs und der Wirtschaftlichkeit des Anbaus ist daher nur unter Einbeziehung der Entwicklungsphase optimaler Produktion der *J. curcas*-Pflanzen möglich (vgl. Kapitel 2). Die Nutzungsdauer von *J. curcas* beträgt bis zu 50 Jahre.

Lösung des Problems:

3.1 Förderung der Durchführung langfristiger Pilotprojekte(z. B. mindestens fünf Jahre Beginn der Phase optimaler Produktionsleistung) zum Anbau von *J. curcas* zur Produktion von Biodiesel *(1)*.

3.2 Förderung zum Anbau von *J. curcas* im industriellen Maßstab unter Einbeziehung einzuhaltender ökologischer und sozioökonomischer Rahmenbedingungen *(2)*.

3.3 Finanzielle Förderung zur Absicherung von Risiken beim *J. curcas*-Anbau für den Fall von Naturkatastrophen *(1)*.

3.4 Erarbeitung einer Datenbank mit Ergebnissen von *J. curcas*-Untersuchungen und Pilotprojekten und Bereitstellung der Informationen auf Landesebene *(1)*.

Lösungsebene: Die Bereitstellung von Informationen und die Entwicklung von langfristigen Förderungsprogrammen zum Anbau von heimischen Ölpflanzen kann in Zusammenarbeit vom Ministerium für Umwelt und Wasser (Ministerio de Medio Ambiente y Aguas), vom Ministerium für ländliche Entwicklung (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras), vom Ministerium für produktive Entwicklung und pluralistische Wirtschaft (Ministerio de Desarrollo Productivo y Economia Plural), von der Regierung vom Departamento Santa Cruz und der regionalen Verwaltung erfolgen.

4. Reglementierung und Förderprogramme für eine effiziente und nachhaltige Nutzung der Ressourcen, vor allem Wasser und Landfläche, bei der Biodieselproduktion aus *J. curcas*

Problem: Das Thema Nutzung von Wasser und Land zum Energiepflanzenanbau ist ein sehr kontroverses Thema, da Konkurrenzen mit anderen Nutzungen, wie Ackerbau, Wassernutzung und Landwirtschaft entstehen können. Deswegen spielt die effiziente Nutzung dieser Ressourcen eine wichtige Rolle, um Biokraftstoff bzw. Biodiesel aus *J. curcas* zu produzieren und Konkurrenzen mit anderen Landnutzungen (Ackerbau und Viehzucht, Trinkwassergewinnung etc.) zu vermeiden.

Lösung des Problems: Zu einer effizienten Nutzung von Ressourcen beim Anbau von *J. curcas* zur Biokraftstoff- bzw. Biodieselproduktion sind alle Maßnahmen geeignet, die zu einer optimalen Verwendung des Wassers und der Landfläche zum Anbau von Energiepflanzen führen:

4.1 Förderungsprogramme für die Entwicklung des Anbaupotenzials in Regionen mit geeignetem Klima (ausreichender Niederschlag mit nicht zu langen

Trockenperioden, so dass keine durchgehende Bewässerung erforderlich ist, keine Frostgefährdung) zum Anbau von Ölpflanzen bzw. *J. curcas (2)*.

4.2 Verabschiedung von Gesetzen und Verordnungen zur Steuerung der Nutzung von Land beim Anbau von *J. curcas* (z. B. Förderung des Anbaus von *J. curcas* nur auf Land, das nicht für den Anbau von Lebensmitteln geeignet ist) *(1)*.

4.3 Entwicklung einer Förderungsstrategie zum Kampf gegen die Gefährdung des Bodens bzw. Bodendegradierung (z. B. Wasser- und Winderosion) durch den Anbau von *J. curcas (1)*.

4.4 Verabschiedung von Gesetzen und Verordnungen zur Steuerung der Nutzung des Wassers beim Anbau von *J. curcas* (z. B. Vorrang anderer Nutzungen von Grund- und Oberflächenwasser vor der Nutzung zur Bewässerung von *J. curcas*-Plantagen) *(1)*.

4.5 Entwicklung von Wassereffizienznutzungskonzepten für die Biodieselproduktion *(1)*.

4.6 Förderung nur bei Nutzung effizienter Bewässerungsmethoden *(1)*.

4.7 Förderung des Anbaus von *J. curcas*-Sorten mit geringem Wasserbedarf *(1)*.

Lösungsebene: Nationale Regierung, Ministerium für Umwelt und Wasser (Ministerio de Medio Ambiente y Aguas), Ministerium für ländliche Entwicklung (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras).

5. Reglementierungen des Anbaus von *J. curcas* auf erodierten Flächen

Problem: Ein Großteil (86 %) der Oberfläche im UG ist erodiert. Das entspricht mehr als 7 Mio. ha. Die Erosion erfolgt durch Wasser und Wind und ist fortgeschritten. Der erodierte Boden findet sich im UG sogar in Schutzgebieten und im Ackerland. Eine wesentliche Ursache dieses Bodenzustandes ist die Übernutzung des fruchtbaren Bodens durch intensive Agraraktivität. Diese dadurch devastierten Böden sind jetzt brachgefallen. Der *J. curcas*-Anbau im industriellen Maßstab sollte daher so reglementiert werden, dass ökologische und sozioökonomische Probleme nicht nur vermieden, sondern verringert werden und Konkurrenzen mit der Nahrungsmittelproduktion, der Nutzung von Ackerland oder mit Schutzgebieten u. a. nicht auftreten. Der Anbau von

J. curcas im UG soll vielmehr zur Verbesserung des Bodens durch die Nutzung von Presskuchen sowie Frucht- und Samenschalen als Kompostmaterial und als Düngungsmittel auf den Plantagen beitragen.

Lösung des Problems: Zum *J. curcas*-Anbau auf erodierten Böden und zur Verhinderung von ökologischen sowie sozioökonomischen Problemen könnten folgende Maßnahmen ergriffen werden:

5.1 Etablierung von Großplantagen zum *J. curcas*-Anbau auf erodierten und brachgefallenen Böden *(1)*.

5.2 Reglementierung der Nutzung chemischer Düngemittel beim Anbau von *J. curcas* auf erodierten Böden bzw. unfruchtbaren Böden *(3)*.

Lösungsebene: Nationale Regierung, lokale Regierung, Ministerium für ländliche Entwicklung (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras).

6. Reglementierung der Plantagengröße und des Anbaus von *J. curcas* zur Vermeidung von Monokulturanbau

Problem: Auf Grund des hohen Anteils erodierter Böden im UG (mehr als 7 Mio. ha) könnte sich durch einen flächendeckenden Anbau von einer Dauerkultur wie dem *J. curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion ein Monokulturanbauproblem ergeben mit Problemen vor allem für die Biodiversität. Dazu könnte es als Monostruktur auch negativ auf das Landschaftsbild wirken, falls *J. curcas* im industriellen Maßstab nicht zusammen mit anderen Kulturen angebaut wird.

Lösung des Problems: Zur Vermeidung von die Landschaft beherrschenden Monokulturen durch den großflächigen Anbau von *J. curcas* im UG, sollten folgende Maßnahmen ergriffen werden:

6.1 Steuerung der Plantagengröße zum Anbau von *J. curcas (1)*.

6.2 Förderung eines Projektes zum kombinierten Anbau mit anderen Nutzpflanzen wie Mais, Gras, Gemüse, Obstbäume (Mischkulturen) und darauf aufbauend Vorgaben zum Anbau von *J. curcas* in Mischkultur *(1)* (vgl. auch den folgenden Punkt 7).

Lösungsebene: Die Umsetzung der Lösungsvorschläge sollte in Zusammenarbeit von der nationalen sowie lokalen Regierung, vom Ministerium für ländliche Entwicklung (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras), Ministerium für produktive Entwicklung und pluralistische Wirtschaft (Ministerio de DesarrolloProductivo y Economia Plural), Ministerium für Umwelt und Wasser (Ministerio de Medio Ambiente y Aguas), erfolgen.

7. Förderung des Anbaus von Mischkulturen von *J. curcas* mit stickstofffixierenden Organismen

Problem: Die *J. curcas*-Ölpflanze benötigt eine gute Stickstoffversorgung des Bodens und ist ein Stickstoffzehrer. Damit sich der Anbau von *J. curcas* auf die Qualität des Bodens nicht negativ auswirkt und eine hohe Stickstoffdüngung mit ihren negativen Auswirkungen auf die Umwelt vermieden wird, sollte sich der Anbau von Mischkulturen von *J. curcas* mit stickstofffixierenden Organismen etablieren.

Lösung des Problems: Zur Verhinderung negativer Auswirkungen auf die Umwelt durch den *J. curcas*-Anbau sollten unter anderem folgenden Maßnahmen ergriffen werden:

7.1 Förderung eines Projektes zum kombinierten Anbau mit stickstofffixierenden Pflanzen (Mischkulturen) *(2)*.

Lösungsebene: Nationale Regierung sowie lokale Regierung, Ministerium für Umwelt und Wasser (Ministerio de Medio Ambiente y Aguas), Ministerium für ländliche Entwicklung (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras), Ministerium für produktive Entwicklung und pluralistische Wirtschaft (Ministerio de DesarrolloProductivo y Economia Plural).

8. Förderung des Aufbaus einer geeigneten Infrastruktur für die gesamte Prozesskette der Biodieselproduktion (Transport, Lagerung, Strom- und Wasserversorgung u. a.).

Problem: Die Untersuchungsregion hat eine abwechslungsreiche Topographie und keine gute Infrastruktur für Transport, Lagerung, Strom-, Wasserversorgung u.a. Die Verfügbarkeit guter Infrastruktur spielt für die Realisierbarkeit der Biodieselprodukti-

on eine mitentscheidende Rolle. Daher muss der Aufbau geeigneter Infrastruktur für die zentralen und dezentralen Bearbeitungsanlagen bei der Produktion von Biodiesel gefördert werden.

Lösung des Problems: Zur Förderung zum Aufbau einer geeignete Infrastruktur sind folgende Maßnahmen zu eingreifen:

8.1 Verbesserung von Straßen bzw. Bau eines guten Straßennetzes (Haupt- sowie Sekundärstraßen) mit für die Ansprüche der einzelnen Prozesskettenphasen ausreichender Qualität *(1)*.

8.2 Instandhaltung der Straßen *(1)*.

Lösungsebene: Nationale Regierung sowie lokale Regierung, Ministerium für öffentliche Dienstleistungen, Service und Wohnungsbau (Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Viviendas), Ministerium für Umwelt und Wasser (Ministerio de Medio Ambiente y Aguas), Ministerium für ländliche Entwicklung (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras).

9. Aufbau eines Marktes für Biodiesel aus *J. curcas*-Samen und ihren Nebenprodukten

Problem: Ein hoher Ernteertrag von *J. curcas*-Samen ist allein nicht ausreichend für den Erfolg eines *J. curcas*-Projektes zur Biodieselproduktion. Auch die Entwicklung eines Marktes für Biodiesel von *J. curcas* und ihre möglichen Nebenprodukte ist hierfür von großer Bedeutung. Bauern und Investoren müssen die Wirtschaftlichkeit vom *J. curcas*-Anbau und bei der Biodieselproduktion beachten. Sie müssen die Sicherheit haben, dass sich ihre Investitionen mittel- und langfristig lohnen, und wie und wo sie die Produkte aus *J. curcas* absetzen können. In diesem Zusammenhang spielen auch die Preise für *J. curcas*-Öl und -Biodiesel für ihre in- sowie ausländische Vermarktung eine wichtige Rolle.

Lösung des Problems: Folgende Maßnahmen könnten zur aktiven Vermarktung von Biodiesel aus *J. curcas* und ihren Nebenprodukten beitragen:

9.1 Entwicklung einer proaktiven Politik und von Förderungsprogrammen im Bereich Biodieselproduktion *(2)*.

9.2 Schaffung eines Marktes inklusive Markenlabel für Samen, Öl und Biodieselprodukte aus *J. curcas* und zum Handel ihrer Nebenprodukte *(2* und *3)*.

9.3 Festlegung von Standards der technischen Eigenschaften von Biodiesel aus *J. curcas* als Konkurrenz zu fossilem Diesel *(2)*.

9.4 Entwicklung eines Programms, um die Verwendung von Biodiesel aus *J. curcas* zu fördern, z. B. bei der Nutzung von Dieselmaschinen *(2)*.

9.5 Reglementierung der Vermarktung und Verwendung von Biodiesel aus *J. curcas*-Samen mit Priorität auf einer lokalen Nutzung *(2)*.

9.6 Durch Steuerregelungen für die Biodieselproduktion und ihre Nebenprodukte Förderung der Vermarktung *(3)*.

9.7 Preisfestsetzung für *J. curcas*-Samen sowie für Biodiesel und ihre Nebenprodukte zu ihrer optimalen Vermarktung *(2)*.

Lösungsebene: Nationale Regierung, Ministerium für fossile Brennstoffe und Energie (Ministerio de Hidrocarburos y Energia), Ministerium für produktive Entwicklung und pluralistische Wirtschaft (Ministerio de Desarrollo Productivo y Economia Plural).

7.1.2 Handlungsempfehlungen für die Bauern bzw. Investoren

10. Gründung einer internationalen Gruppe der Produzenten von Biodiesel aus *J. curcas*

Problem: Bisher gibt es keinen etablierten *J. curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion in Bolivien, obwohl viele Untersuchungen und *J. curcas*-Projekte durchgeführt wurden. Auch in Mittelamerika werden schon seit ca. 30 Jahren Projekte zur dezentralen Produktion von Biodiesel aus *J. curcas*-Öl durchgeführt ohne dass eine selbsttragende Produktion des Biodiesels erreicht wurde.

Lösung des Problems: Folgende Maßnahmen können zu einer selbsttragenden Biodieselproduktion aus *J. curcas*-Samen im großen Maßstab beitragen:

10.1 Gründung eines *J. curcas*-Biodieselproduzentenverbandes *(3)*.

10.2 Produktionsvereinbarungen zwischen den Produzenten, die *J. curcas* zur Biodieselproduktion in Bolivien sowie in Mittel-, Süd- und Nordamerika anbauen *(3)*.

10.3 Förderung eines internationalen Informationsaustauschs zum *J. curcas*-Anbau und zur Biodieselproduktion *(3)*.

Lösungsebene: Bauern, Investoren, Unternehmer, Regierung und NRO.

11. Förderung einer engen Arbeitskoordinierung mit internationalen Organisationen bzw. NRO

Problem: Einige Pilotprojekte mit *J. curcas* in Mittelamerika waren aus verschiedenen Gründen erfolglos. Einer davon war der Mangel an Koordinierung zwischen den Projektförderern und den Bauern bzw. Investoren.

Lösung des Problems: Zu einer erfolgreichen Entwicklung zukünftiger Projekte gehören folgende Maßnahmen:

11.1 Identifizierung gemeinsamer Interessen zwischen Förderern, Bauern und Investoren für die Entwicklung eines *J. curcas*-Projektes *(1)*.

11.2 Klare Aufgabenverteilung zwischen Bauern bzw. Investoren und Förderern *(2)*.

11.3 Einbeziehung der Bauern zu einer engen Teilnahme der Bauern in allen Phasen eines Projektes *(2)*.

Lösungsebene: Bauern, Investoren, Unternehmer und Projektförderer.

12. Entwicklung einer Datenbank zur Zusammenfassung und Bereitstellung von Ergebnissen aus Projekten zum *J. curcas*-Anbau und zur Biodieselproduktion

Problem: Ein weiterer Grund für die Erfolglosigkeit von Pilotprojekten zur Etablierung des *J. curcas*-Anbaus in Mittelamerika war der Mangel an Verbreitung der aus den Ergebnissen gewonnen Informationen.

Lösung des Problems: Folgende Maßnahmen könnten dazu beitragen:

12.1 Entwicklung und Implementierung einer zentralen Datenbank zum Anbau und zur Biodieselproduktion aus *J. curcas*-Samen *(2)*.

12.2 Förderung von Konferenzen, Tagungen und Workshops zum Informationsaustausch zu den Anforderungen und Techniken des *J. curcas*-Anbaus und der Produktion von Biodiesel *(2)*.

Lösungsebene: Bauern, Investoren, Unternehmer und Regierung.

7.2 Handlungsempfehlungen für die Biodieselproduktion aus *Jatropha curcas* im Untersuchungsgebiet

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DIE REGIONALE REGIERUNG

13. Entwicklung einer regionalen Förderungsstrategie für den Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion.
14. Entwicklung einer regionalen Strategie für die Realisierbarkeit von *J. curcas*-Anbau und Biodieselproduktion.
15. Gründung einer Gruppe regionaler Produzenten von *J. curcas*-Samen.
16. Vorgaben für eine effiziente Nutzung der Ressourcen Wasser und Land bei der Biodieselproduktion aus *J. curcas* in der Region.
17. Durchführung von langfristigen *J. curcas*-Projekten in der Region.
18. Förderung zur Erforschung von *J. curcas* zur Verbesserung der Standortanpassungen und zur Züchtung ertragreicher Sorten.
19. Entwicklung einer regionalen Datenbank mit Informationen zum *J. curcas*-Anbau und zur Biodieselproduktion.

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR DIE BAUERN BZW. INVESTOREN

20. Einbeziehung von Bauern und Investoren in die Planung und Umsetzung von Biodieselprojekten zur Verbesserung der Identifikation mit dem *J. curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion.
21. Wissensvermittlung über geeignete Techniken zur Behandlung von *J. curcas*-Samen, ihrem Öl und Biodiesel.
22. Durchführung einer Bilanz von Aufwand (INPUT) und Ertrag (OUTPUT) entlang des *J. curcas*-Anbaus zur Biodieselproduktion.

7.2.1 Handlungsempfehlungen für die regionale Regierung

13. Entwicklung einer regionalen Förderungsstrategie für den Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion

Problem: Das UG leidet an ökologischen und sozioökonomischen Konflikten wie großflächige Erosion, Arbeitslosigkeit, steigender ungedeckter Dieselbedarf u.a., die durch den Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion teilweise gelöst werden könnten. Doch gibt es bei der lokalen Regierung im Bezirk Santa Cruz, wozu das UG gehört, zureichende Strategien zur Biodieselproduktion. Andererseits gibt es aber auch das Interesse einiger Institutionen und insbesondere von lokalen und ausländischen Unternehmen, *J. curcas* zur Biodieselproduktion anzubauen.

Lösung des Problems: Durch folgende Maßnahmen könnte die Biodieselproduktion im UG in die Praxis umgesetzt werden:

13.1 Entwicklung von regionalen und lokalen Förderungsprogrammen für den Anbau von *J. curcas* im großen und kleinen Maßstab zur Biodieselproduktion unter ökonomischen und sozioökologischen Kriterien *(2)*.

13.2 Durchführung von Realisierbarkeitsstudien für den Anbau von *J. curcas* im UG unter ökologischen und sozioökonomischen Kriterien *(1)*.

13.3 Koordinierung der regionalen Politik im Umwelt-, Agrar- und Biodieselproduktionsbereich *(2)*.

13.4 Implementierung regionaler Programme zur Zusammenarbeit mit externen Akteuren aus verschieden Branchen wie Universitäten, Forschungseinrichtungen im Agrarbereich, Agrarunternehmern, Banken, NRO, Regierungen u.a. *(3)*.

13.5 Förderung der regionalen Marktentwicklung für Biodiesel wie lokaler Transport u.a. *(3)*.

13.6 Förderung von Forschungsprogrammen mit lokalen Akteuren aus verschiedenen Disziplinen wie Universitäten, Forschungszentren u. a. *(3)*.

13.7 Entwicklung von Strategien zur fachlichen und technischen Beratung für die Bauern, Investoren, Unternehmer sowie NRO zum Anbau und Handel von *J. curcas* und ihren Nebenprodukten *(2)*.

13.8 Entwicklung von regionalen Informationsplattformen zum *J. curcas*-Anbau und zur Biodieselproduktion für Klein- und Großbauern bzw. Investoren *(3)*.

Lösungsebene: Die regionale sowie lokale Regierung, Universitäten und Forschungszentren für Agrikultur wie das Forschungszentrum für Tropenlandwirtschaft (Centro de Investigación Agrícola Tropical, CIAT), die landwirtschaftliche Verwaltung der Region Santa Cruz (Camara Agropecuaria del Oriente, CAO), die Verwaltung von Industrie, Handel und Service der Region Santa Cruz (Camara de Industria, Comercio, Servicios de Santa Cruz, CAINCO).

14. Entwicklung einer regionalen Strategie für die Realisierbarkeit von *J. curcas*-Anbau und Biodieselproduktion

Problem: Die Anbaubedingungen in den verschiedenen Teilen des Untersuchungsgebietes sind unterschiedlich. Daher sind die Anbaubedingungen in jedem konkreten Fall zu analysieren und zu bewerten, um sie verbessern zu können. Auch involviert die Produktion von Biodiesel aus *J. curcas*-Samen verschiedene Branchen, die je nach Region und Ort unterschiedlich zusammengesetzt sein können. Daher sollten die Anbaubedingungen, die Infrastruktur sowie die ökologischen und sozioökonomischen Situationen für jede Region und jeden Standort identifiziert werden.

Lösung des Problems: Folgende Handlungsoptionen bestehen für die Lösung des Problems:

14.1 Identifizierung der den *J. curcas*-Anbau und die Biodieselproduktion begrenzenden regionalen und lokalen sozialen, ökologischen und ökonomischen Faktoren *(1)*.

14.2 Förderung der Qualifizierung von Bauern, Arbeitern und Technikern zum Anbau und zur Biodieselproduktion aus *J. curcas (1)*.

14.3 Entwicklung integrierter Biokraftstoffstrategien in Kooperation der regionalen Umwelt-, Landwirtschafts- und Wirtschaftspolitik zur Vermarktung von Biodiesel *(2)*.

14.4 Durchführung von regionalen und lokalen Veranstaltungen, um die Kleinbauern über die Vielseitigkeit von *J. curcas* zu informieren, damit sie den Anbau von *J. curcas* als eine vielfältige Einnahmequelle betrachten *(1)*.

14.5 Durchführung von lokalen Veranstaltungen, um die Kleinbauern und Investoren über die Toxizität von *J. curcas* und dem Umgang damit zu informieren *(1)*.

Lösungsebene: Lokale Regierung, regionale Institutionen, Organisationen der landwirtschaftlichen Beratung, Universitäten und weitere Akteure, die fachlich kompetent sind.

15. Gründung einer Gruppe regionaler Produzenten von *J. curcas*-Samen

Problem: Die Etablierung des *J. curcas*-Anbaus und dessen Nutzung zur Biodieselproduktion durch Kleinbauern und Investoren wird bislang dadurch erschwert, dass es keinen regionalen Zusammenschluss der Produzenten gibt. Dadurch fehlt es an technischer und rechtlicher Beratung zum Anbau und zum Produktionsprozess.

Lösung des Problems: Folgende Maßnahmen können zu einer Etablierung der Biodieselproduktion aus *J. curcas*-Samen im UG beitragen:

15.1 Gründung eines *J. curcas* Biodieselproduzentenverbandes für die regionalen und lokalen Bauern, Investoren und Unternehmer *(2)*.

15.2 Entwicklung von Beratungsstrategien des *J. curcas*-Biodieselproduzentenverbandes für die Bauern, Investoren und Unternehmer *(2)*.

15.3 Entwicklung einer regionalen Datenbank zum *J. curcas*-Anbau und zur lokalen Biodieselproduktion basierend auf den überregionalen Datenbanken mit regionalspezifischen Informationen *(2)*.

15.4 Förderung des regionalen und lokalen Informationsaustauschs zum *J. curcas*-Anbau und zur Biodieselproduktion *(2)*.

Lösungsebene: Lokale Regierung, Bauern, Investoren und Unternehmer.

16. Vorgaben für eine effiziente Nutzung der Ressourcen Wasser und Land bei der Biodieselproduktion aus *J. curcas* in der Region

Problem: Das UG liegt in einer semiariden Region. Deswegen steht weder für die Agrarwirtschaft noch für die Viehhaltung viel Wasser zur Verfügung. Aber Grundwasser kann problemlos 350-400 m unter der Oberfläche gefunden werden. Daher spielt ein Wassereffizienznutzungskonzept für die Biodieselproduktion eine wesentliche Rolle. Allerdings ist das Thema Nutzung von Wasser zum Energiepflanzenanbau ein sehr kontroverses Thema. Gleichzeitig gibt es nur wenig Ackerbau und relativ wenig Viehzucht in der Region. Ein sehr großer Teil der Landfläche ist erodiert und devastiert. Viele dieser Flächen könnten sich aber für den Anbau von *J. curcas* eignen.

Lösung des Problems: Für eine effiziente Nutzung von Wasser und Land beim *J. curcas*-Anbau könnten folgende Maßnahmen ergriffen werden.

16.1 Regionale Förderung des Anbaus von *J. curcas* mit einem effizienten Wasser- und Landnutzungskonzept *(1)*.

16.2 Entwicklung von Nutzungskonzepten von Wasser und Land zum Anbau von *J. curcas* ohne Konkurrenz zum Anbau von Lebensmitteln *(1)*.

Lösungsebene: Regionale Regierung in Koordination mit dem Ministerium für Umwelt und Wasser (Ministerio de Medio Ambiente y Aguas), Ministerium für ländliche Entwicklung (Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras).

17. Durchführung von langfristigen *J. curcas*-Projekten in der Region

Problem: Im UG gibt es keine langfristigen Projekte zum Anbau von *J. curcas*.

Lösung des Problems: Folgende Handlungsempfehlungen könnten zu einem langfristigen Anbau von *J. curcas* beitragen:

17.1 Entwicklung von regionalen Pilotprojekten als Best-Practice-Projekte zum Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion auf Basis überregionaler Erfahrungen beim Anbau von *J. curcas* und deren Anpassung an die Rahmenbedingungen im UG *(1)*.

17.2 Entwicklung regionaler Förderprogramme für langandauernde Anbauprojekte von *J. curcas* zur Biodieselproduktion (5 Jahre oder länger) in Koordination mit Finanzinstitutionen *(2)*.

17.3 Entwicklung regionaler Förderprogramme zu einem wirtschaftlichen *J. curcas*-Anbau mit attraktiven Bedingungen für die Bauern bzw. Investoren *(3)*.

17.4 Entwicklung eines Programms zur engen regionalen und lokalen Arbeitskoordinierung zwischen Bauern bzw. Investoren, Unternehmern und NRO *(3)*.

Lösungsebene: Lokale Regierung, regionale Institutionen, Universitäten

18. Förderung zur Erforschung von *J. curcas* zur Verbesserung der Standortanpassungen und zur Züchtung ertragreicher Sorten

Problem: Um die heimischen südamerikanischen *J. curcas*-Sorten besser kennen zu lernen und in die Züchtung neuer Sorten einzubeziehen, ist es notwendig, Studien zur Charakterisierung ihrer Anpassung an die regionalen und lokalen Standorteigenschaften im UG, ihres Samens nach ihren für die Biodieselproduktion relevanten Eigenschaften und die Toxizität der Pflanze vorzunehmen. Wegen der Toxizität von *J. curcas* (Auftreten von Phorbolester) gibt es Zweifel, ob die Gesundheit bei ständiger Arbeit auf *J. curcas*-Plantagen geschädigt werden kann. Für diese Annahme müssen aber noch Belege gesammelt werden. Durch die Toxizität von *J. curcas* könnten nicht nur ihre unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten begrenzt werden, sondern auch die Gesundheit der Bauern, die die Pflanze anbauen, könnte gefährdet werden.

Lösung des Problems: Zur Förderung des Anbaus der geeignetsten *J. curcas*-Sorte gehören folgende Maßnahmen:

18.1 Untersuchung der verschiedenen bolivianischen Sorten von *J. curcas* im Hinblick auf ihre Toxizität und Forschung zur Entwicklung lokaler oder regionaler Sorten von *J. curcas* (z.B. ertragreiche, ungiftige Sorten) *(1)*.

18.2 Beobachtung und Dokumentation von Informationen im Bezug auf das Wachstum und die Entwicklung von *J. curcas* in existierenden Plantagen vor Ort *(2)*.

18.3 Untersuchung der verschiedenen bolivianischen Sorten von *J. curcas* im Hinblick auf ihre Anpassung an die lokalen Standortbedingungen und Züchtungsforschung, um die Leistung (Ernteertrag) von *J. curcas*-Sorten auf den unterschiedlichen regionalen Böden zu verbessern *(2)*.

Lösungsebene: Lokale Regierung, Universitäten, Forschungsinstitute.

19. Entwicklung einer regionalen Datenbank mit Informationen zum *J. curcas*-Anbau und zur Biodieselproduktion

Problem: Ein großes Problem für den Erfolg des Anbaus von *J. curcas* in Mittelamerika war der Mangel an Informationen von abgeschlossenen Untersuchungen, die für die Realisierbarkeit neuer *J. curcas*-Anbauprojekte zur Biodieselproduktion genutzt werden könnten.

Lösung des Problems: Zur Etablierung einer Datenbank mit Informationen zum *J. curcas*-Anbau und zu den folgenden Phasen der Biodieselproduktionsprozesskette sollten folgenden Schritte durchgeführt werden:

19.1 Entwicklung einer Datenbank über den Zustand und die Verfügbarkeit von geeigneten Anbauflächen, dessen Bodeneigenschaften und der natürlichen Wasserverfügbarkeit (Probleme, Nutzung u. a.) *(1)*.

19.2 Entwicklung einer Datenbank zu lokalen Erfahrungen mit dem *J. curcas*-Anbau *(3)*.

19.3 Entwicklung einer Datenbank über internationale Erfahrungen mit dem *J. curcas*-Anbau und zu den folgenden Phasen der Biodieselproduktionsprozesskette *(3)*.

19.4 Ermöglichung des Zugangs zur lokalen Datenbank für alle am *J. curcas*-Anbau Interessierten *(3)*.

Lösungsebene: Regionale sowie lokale Regierung, Universitäten, Forschungsinstitute.

7.2.2 Handlungsempfehlungen für die Bauern bzw. Investoren

20. Einbeziehung von Bauern und Investoren in die Planung und Umsetzung von Biodieselprojekten zur Verbesserung der Identifikation mit dem *J. curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion

Problem: Bei vielen *J. curcas*-Projekten in Mittelamerika waren die Bauern nicht hinreichend einbezogen. Deswegen wurden die Projekte nicht weiter entwickelt und verliefen im Sand.

Lösung des Problems: Folgende Maßnahmen könnten zur Entwicklung von regionalen und lokalen *J. curcas*-Projekten beitragen:

20.1 Förderung des Interesses von Bauern, Investoren und Unternehmern an agronomischen und technischen Lernprozessen beim *J. curcas*-Anbau und der Biodieselproduktion *(2)*.

20.2 Entwicklung eines Informationsprogramms über *J. curcas* und ihren Anbau für Bauern bzw. Investoren *(1)*.

20.3 Einsatz erfahrener technischer Berater zum Thema *J. curcas*-Anbau für Bauern, Investoren und Unternehmer, damit sie *J. curcas* und ihre Eigenschaften als Energiepflanze kennen lernen *(2)*.

20.4 Initiierung technischer Förderungsprogramme für Bauern, Investoren und Unternehmer zum Anbau von *J. curcas (2)*.

20.5 Förderung des Engagements und des Wissens insbesondere seitens der Bauern beim Anbau von *J. curcas* für die Anlage (z. B. Standortvoraussetzungen zum Anbau, optimale Bewässerung von Plantagen zur Steigerung der Fruchtbildung, die Pflege von Jungpflanzen und die dafür notwendige Verfügbarkeit von Arbeitskräften) und die regelmäßige Pflege der Plantagen durch Jäten, Beschneiden, Ernte u.a. durch regelmäßigen Wissensaustausch (z.B. Informationstreffen) *(2)*.

Lösungsebene: Bauern, Investoren, Groß- und Kleinunternehmer, lokale Regierung, Universitäten.

21. Wissensvermittlung über geeignete Techniken zur Behandlung von *J. curcas*-Samen, ihrem Öl und Biodiesel

Problem: Die Samen von *J. curcas* und der daraus produzierte Biodiesel benötigen eine fachgerechte Behandlung, um ihre Eigenschaften zu erhalten und damit das *J. curcas*-Öl ähnliche Eigenschaften wie fossiler Diesel und anderen, etablierten Biodieselsorten aufweist.

Lösung des Problems: Folgende Maßnahmen können zur Sicherung der Eigenschaften beitragen:

21.1 Informationsvermittlung an Transporteure zur geeigneten Behandlung von *J. curcas* in der Prozesskettenphase „Transport" der Biodieselproduktion aus *J. curcas*:

Transport (z. B. möglichst geringe Entfernung zwischen Anbauflächen und Lager aus logistischen und wirtschaftlichen Gründen, Verfügbarkeit guter Infrastruktur wie Straßen) *(2)*.

Art und Dauer der Lagerung der Samen (z. B. die Samen dürfen nicht länger als drei Monate gelagert werden und die Lager müssen trocken, schattig und gelüftet sein) *(2)*.

21.2 Informationsvermittlung an Investoren zur geeigneten Behandlung von *J. curcas* in der Prozesskettenphase der „Biodieselgewinnung" aus *J. curcas*-Samenkernen:

Pressung (z. B. Bedarf und Verfügbarkeit von Arbeitskräften) *(2)*.

Ölgewinnung (z. B. Verwendung von einfachen Verfahren wie Kaltpressung bei einer dezentralen Ölfabrik) *(2).*

Umesterung (z. B. Nutzung eines geeigneten Katalysators für den chemischen Prozess) *(2)*.

Lagerung des Öls und Biodiesels (z. B. Verfügbarkeit von trockenen und gelüfteten Räumen) *(2)*.

Lösungsebene: Bauern, Investoren, Groß- und Kleinunternehmer, lokale Regierung.

22. Durchführung einer Bilanz von Aufwand (INPUT) und Ertrag (OUTPUT) entlang des *J. curcas*-Anbaus zur Biodieselproduktion

Problem: Einer der wichtigsten Faktoren für einen erfolgreichen Anbau der Ölpflanze ist deren Wirtschaftlichkeit. Insbesondere wenn die Bauern bzw. Investoren selbst investieren und unabhängig von Großunternehmern sind, fehlen ihnen in aller Regel die Kenntnisse zu ökonomischen Beurteilungen neuer Anbaukonzepte und Kulturen.

Lösung des Problems: Folgende Maßnahmen könnten zur Information zur Wirtschaftlichkeit bzw. zur Bilanzierung von Aufwand (Input) und Ertrag (Output) beim *J. curcas*-Anbau zur Biodieselproduktion beitragen:

22.1 Analyse der Wirtschaftlichkeit des Anbaus und der unterschiedlichen Phasen der Prozesskette der Biodieselproduktion durch externe Berater (Regionalverwaltung, NRO etc.) *(2)*.

22.2 Bereitstellung einer detaillierten Datenbank zu den Kosten einzelner Arbeitsschritte für den *J. curcas*-Anbau (u.a. Saatgutbeschaffung, Anpflanzung, Pflege der Pflanzen, Düngung, Schädlingsbekämpfung, Ernte) und für die einzelnen Arbeitsschritte der weiteren Phasen der Prozesskette verbunden mit Empfehlungen zur Optimierung unter den jeweiligen lokalen Standort- und Produktionsbedingungen *(1)*.

22.3 Koordinierung der Bereitstellung von Informationen und Erfahrungen aus laufenden Vorhaben für neue Vorhaben *(2)*.

Lösungsebene: Nationale und lokale Regierung, Bauern, Investoren, Groß- und Kleinunternehmer.

8 Fazit und Ausblick

Wie in der vorliegenden Arbeit dargestellt wurde, ist die Produktion von Biodiesel ein interdisziplinäres Thema. Daher kann die Bewertung der Nachhaltigkeit von Biokraftstoffen ein sehr umfassendes Vorhaben sein. Auch die „weltweit größte Untersuchung von *J. curcas*-Projekten" am Centre for Sustainability Management (CSM) der Leuphana Universität Lüneburg ergab (Wahl et al. 2012), dass eine Nachhaltigkeitsbewertung vom Anbau von *J. curcas* bis zum Verbrauch von Biodiesel sehr komplex ist. Beispielsweise umfasst die Frage der Nachhaltigkeit des *J. curcas*-Anbaus nach ökologischen Kriterien mehrere Disziplinen, die für die Abschätzung des Anbaupotenzials von *J. curcas* zu berücksichtigen sind, wie zum Beispiel der naturwissenschaftliche Bereich (die Auswirkungen auf den Nährstoffhaushalt, den Boden und die Artenvielfalt, der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln bei *J. curcas*-Plantagen zur Erhöhung ihres Ernteertrages u.a.) (Medina-Ovando et al. 2009). Naturwissenschaftliche Kriterien sind damit gleichermaßen erforderlich bei der Analyse für das Anbaupotenzial von Energiepflanzen wie auch zu dessen Auswirkungen auf den Naturschutz (Rode et. al. 2005). Beispielsweise könnte der Anbau von *J. curcas* in Monokulturen negative Auswirkungen auf Natur und Landschaft und damit auf die biotische und abiotische Umwelt einer Region haben. Andererseits könnten **Anbauverfahren zur Integration von *J. curcas* und anderen Energiepflanzen mit dem Anbau zur Nahrungsmittelproduktion** als Kombinationsanbau mit positiven Auswirkungen auf die Umwelt entwickelt werden. Im Zusammenhang damit kann auch eine **Diversifizierung des Rohstoffes zur Biodieselproduktion** durch die Entwicklung eines Programms für den Anbau von anderen Ölpflanzen (nativen Ölpflanzen) erreicht werden.

Das Hauptproblem des *J. curcas*-Anbaus ist der hohe Input (Pflegebedarf, hoher Bedarf manueller Arbeitskraft, neu zu schaffende Infrastruktur u. a.) und der geringe Output (Ertrag an Samen, Öl und folgenderweise Biodiesel). Deswegen ist die Wirtschaftlichkeit des Anbaus immer noch zweifelhaft (Wahl et. al. 2012). Eine große Herausforderung für die zukünftige Forschung ist daher, eine **Erhöhung des Ernteertrags an *J. curcas*-**Samen so schnell wie möglich zu schaffen. Dazu sollte vor allem die Züchtung ertragreicher regionaler Sorten massiv vorangetrieben werden. Auch könnten, wie in der vorliegenden Arbeit gezeigt, über die Nutzung von Flächen, die für eine andere landwirtschaftliche Nutzung nicht verwendet werden können, und durch entsprechende Rahmenbedingungen zur Förderung der Biodieselproduktion aus *J. curcas* und der Vermarktung von Nebenprodukten, neue Wege beschritten werden. Hierzu sollten aufbauend auf den Ergebnissen dieser Arbeit und auf den Erkenntnissen

zahlreicher weltweit durchgeführter *J. curcas*-Projekte wissenschaftlich fundierte ökonomische Untersuchungen durchgeführt werden.

Ein weiteres wissenschaftlich zu bearbeitendes Thema ist die Untersuchung der Wirkung der Pflanze und seiner Produkte auf die Gesundheit des Menschen. Eine neue und dringend zu lösende Thematik ist eine mögliche toxische Wirkung der Abgasemissionen von Dieselmotoren aus der Verbrennung von Biodiesel aus *J. curcas*. Aktuell forschen Wissenschaftler über die **Mutagenität**[15] der Motoremissionen von Biodiesel und neuen Dieselkraftstoffen (Krahl 2013, Interview).

Gelingt es die in der Arbeit angesprochenen Probleme zu lösen, kann *J. curcas* in Zukunft eine bedeutsame Rolle bei der Biodieselversorgung in mehreren Ländern spielen. Länder, die stark abhängig von Dieselimporten sind und über geeignete klimatische Bedingungen, genug Fläche und Arbeitskraft zum Anbau von *J. curcas* verfügen, könnten davon wirtschaftlich sehr profitieren, insbesondere da *J. curcas* eine vielversprechende Ölpflanze als Energieträger ist. Der Anbau von *J. curcas* zur Biodieselproduktion sollte vorzugsweise zur Lösung **regionaler Probleme** eingeführt werden, dann aber auch zum Export genutzt werden. Biodieselproduktion aus *J. curcas* ist ein komplexes und multidisziplinäres Thema und ihr Erfolg hängt auch von Faktoren ab, die nicht beeinflusst oder kontrolliert werden können wie die klimatischen Faktoren. Die vorliegende Arbeit hat aber gezeigt, dass ein Einstieg in die Biodieselproduktion aus *J. curcas* nicht nur im UG, sondern in vielen Teilen der Welt ein vielversprechender Ansatz zur Lösung verschiedener regionaler ökologischer und sozioökonomischer Probleme sein kann.

[15] Mutagenität bezeichnet die Eigenschaft von bestimmten Chemikalien und energiereicher Strahlung, Veränderungen am Erbgut (Mutationen) hervorzurufen. Man unterscheidet Mutationen an Körperzellen, die Ursache von Krebs sein können, und Mutationen an Keimzellen, die sich auf die Nachkommen vererben (www.enzyklo.de).

9 Quellenverzeichnis

Achten W. (2010): **SUSTAINABILITY EVALUATION OF BIODIESEL FROM *JATROPHA CURCAS L.* A LIFE CYCLE ORIENTED STUDY**. Doctoraatsproefschrift n° 921 aan de faculteit Bio-ingenieurswetenschappen van de K. U. Leuven. S. 1-176

Achten W.M.J., Verchot L., Franken Y.J., Mathijs E., Singh V.P., Aerts R. Muys B. (2008): **REVIEW: *JATROPHA* BIO-DIESEL PRODUCTION AND USE**. Biomass and Bioenergy, Volume 32, Number 12, S. 1063-1084.

Achten W. MJ., Mathijs E., Verchot L., Singh V. P., Aerts R., Muys B. (2008): ***JATROPHA* BIODIESEL FUELING SUSTAINABILITY?** Online in Wiley InterScience, www.interscience.wiley.com, Biofuels, Bioprod. Bioref. S.283–291.

Abou Kheira A. A., Atta N. M.M. (2009): **RESPONSE OF *JATROPHA CURCAS L.* TO WATER DEFICITS: YIELD, WATER USE EFFICIENCY AND OILSEED CHARACTERISTICS**. Biomass and Bioenergy, Volume 33, Number 10, S. 1343-1350.

Adriaans T. (2006): **SUITABILITY OF SOLVENT EXTRACTION FOR *JATROPHA CURCAS***. Ingenia Consultants & Engineers, for FACT Foundation. S. 1-9.

AEA (Alianza en Energía y Ambiente con Centroamérica). (2006): ***JATROPHA CURCAS L.* SU EXPANSIÓN AGRÍCOLA PARA LA PRODUCCIÓN DE ACEITES VEGETALES CON FINES DE COMERCIALIZACIÓN ENERGÉTICA**. AEA Octagon, S.A. Biocombustibles S. 1-11.

ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos). (2015a): **COMERCIALIZACIÓN DEL DIESEL OIL**. www.anh.gob.bo/, zuletzt gesehen am 3. März 2015.

ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos). (2015b): **PRECIOS FINALES AL CONSUMIDOR MARZO DE 2015**. www.anh.gob.bo/index.php?N=dre, zuletzt gesehen am 03. März 2015.

Alt K. (1893): **TOXALBUMINE**. Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, Volume 32, Number 1, S. 127-127.

Asif M., Muneer T. (2007): **ENERGY SUPPLY, ITS DEMAND AND SECURITY ISSUES FOR DEVELOPED AND ERMENGING ECONOMIES**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 11, Number 7, S. 1388-1413.

Becker K. (2005): ***JATROPHA CURCAS*. FORSCHUNGSPROJEKT DER UNIVERSITÄT HOHENHEIM**. www.uni-hohenheim.de, zuletzt gesehen am 30. Januar 2009.

Berchmans H.J., Hirata S. (2008): **BIODIESEL PRODUCTION FROM CRUDE *JATROPHA CURCAS L.* SEED OIL WITH A HIGH CONTENT OF FREE FATTY ACIDS**. Bioresource technology, Volume 99, Number 6, S. 1716-1721.

Berndes G., Hoogwijk M., van den Broek R. (2003): **THE CONTRIBUTION OF BIOMASS IN THE FUTURE GLOBAL ENERGY SUPPLY: A REVIEW OF 17 STUDIES**. Biomass and Bioenergy, Volume 25, Number 1, S. 1-28.

Breuer T., Holm-Müller K. (2007): **ABSCHÄTZUNG DER WERTSCHÖPFUNGSPOTENZIALE IM LÄNDLICHEN RAUM DURCH BIOKRAFTSTOFFE AM BEISPIEL NORDRHEIN-WESTFALENS**. Agrarwirtschaft, Volume 56, S. 272-279.

Biodiversity Institute Oxford. Oxford Martin School, University of Oxford. (2014): **IMPACTS OF *JATROPHA* ON ECOSYSTEMS AND LOCAL COMMUNITIES**. http://vimeo.com/67382494, zuletzt gesehen am 03. März 2014.

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung). **BIOSICHERHEIT GENTECHNIK-PFLANZEN-UMWELT. ONLINE LEXIKON**. www.biosicherheit.de, zuletzt gesehen am 11. November 2011.

BMZ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung „50 Jahre“). (2011): **BIOKRAFTSTOFFE, CHANCEN UND RISIKEN FÜR ENTWICKLUNGSLÄNDER**. Strategiepapier 14, S. 1-19.

Buikema B., Gabbadon S., Lee H.-C., Workman M. (2009): **BIODIESEL PRODUCTION FROM SEED OIL OF THE *JATROPHA CURCAS* PLANT**. Final Report, Team 9, Oil from [the] Soil, S. 1-78.

CAO (Cámara Agropecuaria del Oriente, Santa Cruz-Bolivia). (2006): **EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE CULTIVADA POR RUBRO Y CAMPAÑA**. Data bank CAO.

Canedo Espinoza W. (2005): **DIAGNOSTICO DEL SECTOR ENERGETICO EN EL AREA RURAL DE BOLIVIA**. Proyecto Electrificacion Rural. S. 1-154.

Caniëls M. C.J., Romijn H. (2010): **THE *JATROPHA* BIOFUELS SECTOR IN TANZANIA 2005-9: EVOLUTION TOWARDS SUSTAINABILITY?** Eindhoven Centre for Innovation Studies (ECIS). Dutch School of Innovation Sciences, Eindhoven University of Technology, S. 1-56.

Casal S. (2010): **ENCUENTRO MUNDIAL DEL CHACO, POR EL CHACO Y PARA EL MUNDO**. http://www.redeschaco.org/index.php?view=article&catid=15:noticiasgenerales&id=212:encuentro-mundial-del-chaco&format=pdf, zuletzt gesehen am 04. März 2011.

Cassman K. (2007): **CLIMATE CHANGE, BIOFUELS, AND GLOBAL FOOD SECURITY**. **IOP PUBLISHING**. Environmental Research Letters 2, S. 1-3.

Castro-Gonzáles N. F. (2013): Biodiesel Sostenible: **LA *JATROPHA CURCAS* ES LA PLANTA QUE YA OTROS PONEN EN PRUEBA**. German-Latin-American Online Magazine YARUMO - Participation and Environmental Observatories, www.yarumo.net, Vol. 2, N° 4. S. 3 y 5.

Castro-Gonzáles N. F. (2012): Food security and biofuels: **A CASE STUDY OF *JATROPHA CURCAS* IN BOLIVIA**. Int. J. of Thermal & Environmental Engineering, Volume 4, Number 2, S. 109-116.

Castro Pareja P., Sevilla Sevilla S., Coello Guevara J. (2008): **ESTUDIO SOBRE LA SITUACIÓN DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN EL PERÚ**. Soluciones Prácticas – ITDG, para Oxfam International Confederation S. 1-68.

Divakara B.N., Upadhyaya H.D., Wani S.P., Laxmipathi Gowda C.L. (2010): **BIOLOGY AND GENETIC IMPROVEMENT OF *JATROPHA CURCAS L.*: A REVIEW**. Applied Energy, Volume 87, Number 3, S. 732-742.

Dunkelberg E., Lehnert J., Neumann A. (2011): **LCA-BASIERTE UMWELTBEWERTUNG VON BIOKRAFTSTOFFEN**. Nebenprodukte, indirekte Landnutzungsänderungen, Wasserbedarf und Biodiversität, aktuelle Forschungsschwerpunkte und der Stand der politischen Regulierung. Fair Fuels? Working Paper 1, S. 1-76

EIA (U.S. Energy Information Administration) (2012): **BOLIVIA**. http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=bl, zuletzt gesehen am 10. Februar 2015.

EIA (U.S. Energy Information Administration). (2011): **WORLD CRUDE OIL AND NATURAL GAS RESERVES JANUARY 2007**. International Energy Annual 2006. www.eia.doe.gov, zuletzt gesehen am 06. Februar 2012.

EIA (U.S. Energy Information Administration). (2010): **BOLIVIA, COUNTRY ANALYSIS BRIEF RELEASED**. Independent Statistics & Analysis, U.S. Energy Information Administration. www.eia.doe.gov, zuletzt gesehen am 29. November 2011.

ELOBIO (2008): **BIOFUELS**. www.elobio.eu, zuletzt gesehen am 10. Juni 2010.

Ernst T., Schmalz S. (2009): Die **NEUGRÜNDUNG BOLIVIENS? DIE REGIERUNG MORALES**. Die Reihe Studien zu Lateinamerika, S. 1-236.

E+Z (Entwicklung und Zusammenarbeit), D+C (Development and Cooperation). (2008): **CHANCE FÜR DIE LÄNDLICHEN ENTWICKLUNG.** Number 12, S. 463-465.

Enzyklo.de **DEUTSCHE ENZYKLOPÄDIE**, www.enzyklo.de, zuletzt gesehen am 15. April 2013.

Falasca S., Ulberich A. (2008): **LAS ESPECIES DEL GÉNERO *JATROPHA* PARA PRODUCER BIODIESEL EN ARGENTINA**. Revista Virtual REDESMA. S. 1-19.

Falbe J., Regitz M. (1989-1993): **ROMPP, CHEMIE LEXIKON**. Band 1-9.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Elbehri A, Segerstedt A, Liu P. (2013): **BIOFUELS AND THE SUSTAINABILITY CHALLENGE: A GLOBAL ASSESSMENT OF SUSTAINABILITY ISSUES, TRENDS AND POLICIES FOR BIOFUELS AND RELATED FEEDSTOCKS**. Trade and markets division food and agriculture organization of the United Nations Rome. S. 1-188.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2009a): **FAO STATISTICAL DATABASES & DATA-SETS (FAOSTAT)**. Trade, Top Imports-Bolivia (Plurinational State Of).

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2009b): **FAO COUNTRY PROFILES. BOLIVIA (PLURINATIONAL STATE OF)**. Agriculture sector.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2008): **THE STATE OF FOOD AND AGRICULTURE**. Rome 68, S. 1-138.

FOBOMADE (Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo). (2007): **BIOCOMBUSTIBLES EN BOLIVIA?** S. 1-14.

FOBOMADE (Foro Boliviano sobre Medio Ambiente y Desarrollo). (o. J.): Quemas**, CHAQUEOS E INCENDIOS FORESTALES, QUIÉN ES EL CULPABLE?** S. 1.

Foidl N., Sanchez G., Mittelbach M., Hackel S. (1996): ***JATROPHA CURCAS L.* AS A SOURCE FOR THE PRODUCTION OF BIOFUEL IN NICARAGUA**. Bioresource Technology, Volume 58, Number 1, S. 77-82.

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.). (2011): **GERINGER FLÄCHENBEDARF FÜR HOHE ANTEILE VON BIOKRAFTSTOFFEN**. http://www.nachwachsenderohstoffe.de/service/daten-und-fakten/anbau/, zuletzt gesehen am 2. Dezember 2011.

Fraiture C. d., Giordano M., Liao Y. (2008): **BIOFUELS AND IMPLICATIONS FOR AGRICULTURAL WATER USE: BLUE IMPACTS OF GREEN ENERGY**. Water Policy, Volume 10, Supplement 1, S. 67–81.

Gasparatos A., Stromberg P. (2012): **SOCIOECONOMIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF BIOFUELS. EVIDENCE FROM DEVELOPING NATIONS**. S. 1-375.

General Books LLC. (2010): **NATIONAL PARKS OF BOLIVIA: MADIDI NATIONAL PARK, KAA-IYA DEL GRAN CHACO NATIONAL PARK AND INTEGRATED MANAGEMENT NATURAL AREA**. S. 1-50.

German L., Schoneveld C. G., Pacheco P. (2011): **THE SOCIAL AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF BIOFUEL FEEDSTOCK CULTIVATION: EVIDENCE FROM MULTI-SITE RESEARCH IN THE FOREST FRONTIER**. Ecology and Society, Volume 16, Number 3, S. 1-13.

GFU (Global Facilitation Unit for Underutilized Species), GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH). (2004): **CASE STUDY *JATROPHA CURCAS***. S. 16-17.

Goel G., Makkar H.P.S., Francis G., Becker K. (2007): **PHORBOL ESTERS: STRUCTURE, BIOLOGICAL ACTIVITY, AND TOXICITY IN ANIMALS**. International Journal of Toxicology, Volume 26, Number 4, S. 279-288.

Gongloff M. (2007): **BP BETS ON THE *JATROPHA* TREE**. The Wall Street Journal, http://blogs.wsj.com/environmentalcapital/2007/06/29/bp-bets-on-the-*jatropha*-tree/, zuletzt gesehen am 22. Februar 2009.

Gruber G. (2007): **VEGETABLE OIL IN PERU FOR PUBLIC TRANSPORT**. VWP (Vereinigte Werkstätten für Pflanzenöltechnologie), DED (Deutscher Entwicklungsdienst), GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). Conference on Renewable Energies for Embassies in Germany at the KfW Bank in Berlin.

GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). (2010): ***JATROPHA* REALITY CHECK–A FIELD ASSESSMENT OF THE AGRONOMIC AND ECONOMIC VIABILITY OF *JATROPHA* AND OTHER OILSEED CROPS IN KENYA**. GTZ-Studie, S. 1-146.

GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH), BMZ (Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung). (o. J.): **MEIN LEBEN MIT DER NATUR DES CHACO**. Fotoprojekt vom Projekt zur nachhaltigen Ressourcennuntzung im Chaco Sudamericano, S. 1-73.

Gui M.M., Lee K.T., Bhatia S. (January 2008): **FEASIBILITY OF EDIBLE OIL VS. NON-EDIBLE VS. WASTE EDIBLE OIL AS BIODIESEL FEEDSTOCK**. Energy, Volume 33, Number 11, S. 1646-1653.

Gübitz G.M., Mittelbach M., Trabi M. (1999): **EXPLOITATION OF THE TROPICAL OIL SEED PLANT *JATROPHA CURCAS L.*** Journal Bioresource Technology, Volume 67, Number 1, S. 73-82.

Haas W., Mittelbach M. (2000): **DETOXIFICATION EXPERIMENTS WITH THE SEED OIL FROM *JATROPHA CURCAS L.*** Industrial Crops and Products, Volume 12, Number 2, S. 111-118.

Heller J. (1996): **PHYSIC NUT *JATROPHA CURCAS L.* PROMOTING THE CONSERVATION AND USE OF UNDERUTILIZED AND NEGLECTED CROPS.** 1. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung. S. 1-66.

Helming K., Frielinghaus M. (1999): **SKALENASPEKTE DER BODENEROSION. IN REGIONALISIERUNG IN DER LANDSCHAFTSÖKOLOGIE**. Vieweg+ Teubner Verlag. S. 221-232.

Henning R.K. (2007): ***JATROPHA CURCAS L.* IN AFRIKA. ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE DISSEMINATION OF "THE *JATROPHA* SYSTEM" ON THE ECOLOGY OF THE NATURAL AREA AND THE SOCIAL AND THE ECONOMIC**

SITUATION OF THE RURAL POPULATION (TARGET GROUP) IN SELECTED COUNTRIES IN AFRICA. Global Facilitation Unit for Underutilized Species.

Henning R. bagani GbR (2003): **THE *JATROPHA* BLOOKLET. A GUIDE TO THE *JATROPHA* SYSTEM AND ITS DISSEMINATION IN AFRICA**. S. 1-37.

Hennicke P., Fischedick M. (2010): **MIT ENERGIEEFFIZIENZ ZUR ENERGIEWENDE. ERNEUERBARE ENERGIEN**. C. H. Beck Wissen, S. 1-144.

Hidrocarburos Boliva.com (2013): **BOLIVIA ES EL SEGUNDO EXPORTADOR DE GAS NATURAL DE AMÉRICA LATINA.** Online Magazine Agosto del 2013. http://www.hidrocarburosbolivia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=63623:bolivia-es-el-segundo-exportador-de-gas-natural-de-america-latina&catid=109:downstream&Itemid=351, zuletzt gesehen am 13. August 2014.

Hirota M., Suttajit M., Suguri H., Endo Y., Shudo K., Wongchai V., Hecker E., Fujiki H. (1988): **A NEW TUMOR PROMOTER FROM THE SEED OIL OF *JATROPHA CURCAS L.*, AN INTRAMOLECULAR DIESTER OF 12-DEOXY-16-HYDROXYPHORBOL1**. Cancer Research, Volume 48, Number 20, S. 5800-5804.

HLPE Report 5 (2013): **BIOFUELS AND FOOD SECURITY**. A Report by The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition. S- 1-132.

Holl MA., Gush MB, Hallowes J., Versfeld DB. (2007): ***JATROPHA CURCAS* IN SOUTH AFRICA: AN ASSESSMENT OF ITS WATER USE AND BIO-PHYSICAL POTENTIAL**. Report to the Water Research Commission on the project "Investigation into the Impacts of Large-Scale Planting of *Jatropha curcas* on Water Resources, through Process-Based Research and Modelling, Siyaphambili Development Consulting, Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), WRC Report Number 1497, S. 1-154.

IEA Bioenegy (International Energy Agency) (2008): **FROM 1ST TO 2ND GENERATION BIOFUELTECHNOLOGIES. AN OVERVIEW OF CURRENT INDUSTRY AND RD&D ACTIVITIES**. S. 1-124.

INE (Instituto Nacional de Estadistica de Bolivia). (2012): **CENSO 2012, ESTADÍSTICAS DEMOGRÁFICAS-POBLACIÓN TOTAL PROYECTADA POR AREA Y SEXO**. www.ine.gob.bo, zuletzt gesehen am 10. März 2015.

INE (Instituto Nacional de Estadistica de Bolivia). (2006): **ESTADÍSTICAS DEL MEDIO AMBIENTE 2006: CLIMA Y ATMÓSFERA**. http://www.ine.gob.bo/indice/EstadisticaSocial.aspx?codigo=80101, zuletzt gesehen am 20. September 2010.

Integrated Crop Management. (2010): ***JATROPHA* CULTIVATION. *JATROPHA*: A SMALLHOLDER**. Bioenergy Crop, Volume 8, Chapter 3 und Chapter 4, S. 27-53.

Jain S., Sharma M.P. (2010): **PROSPECTS OF BIODIESEL FROM *JATROPHA* IN INDIA: A REVIEW**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Number 2, S. 763-771.

Janssen R., Rutz D.D. (2011): **SUSTAINABILITY OF BIOFUELS IN LATIN AMERICA: RISKS AND OPPORTUNITIES**. Energy Policy, Volume 39, Number 10, S. 5717-5725.

Jongschaap R.E.E., Corré W.J., Bindraban P.S., Brandenburg W.A. (2007): **CLAIMS AND FACTS ON *JATROPHA CURCAS L.*** Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Plant Research International, Report 158, S. 1-66.

Kalimuthu K., Paulsamy S., Senthilkumar R., Sathya M. (2007): **IN VITRO PROPAGATION OF THE BIODIESEL PLANT *JATROPHA CURCAS L.*** Plant Tissue Culture and Biotechnology, Volume 17, Numer 2, S. 137-147.

Kant P., Wu S. (2011): **THE EXTRAORDINARY COLLAPSE OF *JATROPHA* AS A GLOBAL BIOFUEL**. Environmental science & technology, Volume 45, Number 17, S. 7114-7115.

Koel (2001): **ESTUDIO SOBRE EL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA ELECTRIFICACIÓN RURAL CON ENERGIA RENOVABLE EN LA REPÚBLICA DE BOLIVIA**. International Corp, Oruro-Bolivien, Tomo II. S. 1-60

Koerber K. v., Kretschmer J., Prinz S., Dash E. (2009): **GLOBALE NAHRUNGSSICHERUNG FÜR EINE WACHSENDE WELTBEVÖLKERUNG – FLÄCHENBEDARF UND KLIMARELEVANZ SICH WANDELNDER ERNÄHRUNGSGEWOHNHEITEN**. Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Band 4, Nummer 2, S. 174-189.

Kofi E., Ertel J. (2005): **AN ALTERNATIVE ENERGY APPROACH TO COMBATING DESERTIFICATION AND PROMOTION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN DROUGHT REGIONS**. Forum der Forschung, Volume 18, S. 74-78.

Kumar A., Sharma S. (2011): **POTENTIAL NON-EDIBLE OIL RESOURCES AS BIODIESEL FEEDSTOCK: AN INDIEN PERSPECTIVE**. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, Volume 15, Number 4, S. 1791-1800

Kumar A., Sharma S. (2008): **AN EVALUATION OF MULTIPURPOSE OIL SEED CROP FOR INDUSTRIAL USES (*JATROPHA CURCAS L.*): A REVIEW**. Industrial Crops and Products, Volume 28, Number 1, S.1-10.

Kumar Tiwari A., Kumar A., Raheman H. (2007): **BIODIESEL PRODUCTION FROM *JATROPHA* OIL (*JATROPHA CURCAS*) WITH HIGH FREE FATTY ACIDS: AN OPTIMIZED PROCESS**. Biomass and Bioenergy, Volume 31, Number 8, S. 569-575.

Kurki A., Hill A., Morris M. (2010): **BIODIESEL: THE SUSTAINABILITY DIMENSIONS**. National Center for Appropriate Technology (NCAT) Program Specialists, A Publication of National Sustainable Agriculture Information Service (ATTRA) 1-800-346-9140, S. 1-12. http://attra.ncat.org/attra-pub/summaries/biodiesel_sustainable.html, zuletzt gesehen am 10. September 2009.

Krüger J-P. (2005): **WALDKONVERSION UND BODENDEGRADATION IM TROPISCHEN TIEFLAND VON OSTBOLIVIEN**. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten der Georg-August-Universität zu Göttingen. S. 1-196

Lachner-Eitzenberger U. M. (2006): **MEDICINA TRADICIONAL: ERGEBNISSE EINER ETHNOMEDIZINIESCHEN FELDSTUDIE BEI DEN CHIQUITANO IN BOLIVIEN**. Max Plank Institut für Ornithologie Gruppe Schiefenhövel (Humanethologie) und Humanwissenschaftliches Zentrum der Ludwig-Maximilians-Universität München, S. 1-415.

Lapola M. D., Schaldach R., Alcamo J., Bondeau A., Koch J., Koelking C., Priess A. J. (2010): **INDIRECT LAND-USE CHANGES CAN OVERCOME CARBON SAVINGS FROM BIOFUELS IN BRAZIL**. Proceedings of the national Academy of Sciences, Volume 107, Number 8, S. 3388-3393.

Linguee. **ONLINE-WÖRTERBUCH**. www.linguee.de, zuletzt gesehen am 1. Januar 2012.

López Hernández D., Peñate Alvariño L., Daquinta Gradaille M., Pina Morgado D., Escalona Morgado M. (o. J.): **IN-VITRO-KULTIVIERUNG VON *JATROPHA CURCAS L.* (EUPHORBIACEA)**. Vorläufige Ergebnisse und zukünftige Strategien. Laboratorio de Cultivo de Células y Tejidos. Centro de Bioplantas, Universidad de Ciego de Avila, Cuba. S. 1-11.

Martínez-Herrera J., Siddhuraju P., Francisa G., Dávila-Ortíz G., Becker K. (2006): **CHEMICAL COMPOSITION, TOXIC/ANTIMETABOLIC CONSTITUENTS, AND EFFECTS OF DIFFERENT TREATMENTS ON THEIR LEVELS, IN FOUR PROVENANCES OF *JATROPHA CURCAS L.* FROM MEXICO**. Food Chemistry, Volume 96, Number 1, S. 80-89.

Makkar H. P. S., Becker K., Sporer F., Wink M. (1997): **STUDIES ON NUTRITIVE POTENTIAL AND TOXIC CONSTITUENTS OF DIFFERENT PROVENANCES OF *JATROPHA CURCAS***. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Volume 45, Number 8, S. 3152-3157.

Medina-Ovando I., Espinosa-Garcia F., Núñez-Farfán J., Salvador-Figueroa M. (2009): **DOES BIODIESEL FROM *JATROPHA CURCAS* REPRESENT A SUSTAINABLE ALTERNATIVE ENERGY SOURCE?** Sustainability, Volume 1, Number 4, S. 1035-1041.

Metzger & Hüttermann. (2009): **SUSTAINABLE GLOBAL ENERGY SUPPLY BASED ON LIGNOCELLULOSIC BIOMASS FROM AFFORESTATION OF DEGRADED AREAS**. Naturwissenschaften, Volume 96, Number 2, S. 279-288.

Misra M., Misra A. (2010): ***JATROPHA:* THE BIODIESEL PLANT BIOLOGY, TISSUE CULTURE AND GENETIC TRANSFORMATION - A REVIEW**. Int. J. Pure Appl. Sci. Technol, Volume 1, Number 1, S. 11-24.

Mittelbach M., Danninger H., Mangas B. (2010): **ESTUDIO: SITUACIÓN DE LOS PROYECTOS ANTERIORES Y LOS EN EJECUCIÓN, EN RELACIÓN A LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL BASADA EN LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE *JATROPHA CURCAS***. Centroamérica por la Alianza en Energía y Ambiente con Centroamerica AEA. http://www.scribd.com/doc/43943103/Estudio-de-*Jatropha*-Version-Final-1-Editado-1, zuletzt gesehen am 14. Dezember 2011.

Münch & Kiefer (1989): **DIE PURGIERNUSS (*JATROPHA CURCAS L.*). MEHRZWECKPFLANZE ALS KRAFTSTOFFQUELLE DER ZUKUNFT?** Journal Schriftenreihe der GTZ 1989, Nummer 209, S. 1-32

Nelson R. G., Howell S. A., Weber J. A. (1994): **POTENTIAL FEEDSTOCK SUPPLY AND COSTS FOR BIODIESEL PRODUCTION** (No. CONF-9410176). Western Regional Biomass Energy Program, Reno, NV (United States).

Nielsen F. (2009): ***JATROPHA CURCAS* OIL PRODUCTION FOR LOCAL DEVELOPMENT IN MOZAMBIQUE**. African Crop Science Conference Proceedings 9, S. 71–75.

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (Auf Deutsch: Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung). (2011): **BIOFUELS OECD-FAO AGRICULTURAL OUTLOOK 2011-2020**. Agricultural Outlook, OECD-FAO (OECD50 & Food and Agriculture Organization of the United Nations). http://www.oecd.org/document/0/0,3746,en_36774715_36775671_47877696_1_1_1_1,00.html#analysis, zuletzt gesehen am 17. Februar 2012.

Om Tapanes N., Gomes Aranda D., De Mesquita C., Ceva Antunes O. (2008): **TRANSESTERIFICATION OF *JATROPHA CURCAS* OIL GLYCERIDES: THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF BIODIESEL REACTION**. Fuel, Volume 87, Number 10, S. 2286-2295.

Openshaw K. (2000): **A REVIEW OF *JATROPHA CURCAS*: AN OIL PLANT OF UNFULFILLED PROMISE**. Biomass and Bioenergy, Volume 19, Number 1, S. 1-15.

Pacheco P. (2006): **AGRICULTURAL EXPANSION AND DEFORESTATION IN LOWLAND BOLIVIA: THE IMPORT SUBSTITUTION VERSUS THE STRUCTURAL ADJUSTMENT MODEL**. Land Use Policy, Volume 23, Number 3, S. 205-225.

Paeger J. (2010): **NACHHALTIGKEIT MANAGEMENTSYSTEME: STRATEGIEN FÜR DIE ZUKUNFT. ENERGIE AUS BIOMASSE**. Ökosystem Erde, Paeger consulting 2006-2010. http://www.oekosystem-erde.de/html/bioenergie.html, zuletzt gesehen am 26. Februar 2012.

Pfahler C. (2011): **MÖGLICHKEITEN DES *JATROPHA CURCAS L.* ANBAUS IN BOLIVIEN UNTER DEN ASPEKTEN DES KLIMAS, DEN**

LANDWIRTSCHAFTLICHEN STANDORTFAKTOREN, DEN POLITISCHEN PROBLEMEN UND DER KONKURRENZ ZUR NAHRUNGSMITTELPRODUKTION. Abschlussarbeit. Deutsches Institut für Geographie an der Friedrich-Alexander-University Erlangen, S. 1-114.

Parawira W. (2010): **BIODIESEL PRODUCTION FROM *JATROPHA CURCAS*: A REVIEW**. Scientific Research and Essays, Volume 5, Number 14, S. 1796-1808.

Plieninger T., Bens O., Hüttl F. R. (2009): **NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, BIOENERGIE UND NATURSCHUTZ**. Landwirtschaft, VII-2.2, Handbuch Naturschutz und Landschaftspflege, S. 1-18. Erg. Lfg. 2/06

REN21 Renewable Energy, Policy Network for the 21ts Century. (2013): **RENEWABLES 2013**. Global Status Report. S. 1-178.

REN21 Renewable Energy, Policy Network for the 21ts Century. (2012): **RENEWABLES 2012**. Global Status Report. S. 1-172.

REN21 Renewable Energy, Policy Network for the 21ts Century. (2011): **RENEWABLES 2011**. Global Status Report. S. 1-116.

Richter S. (2008): **NACHHALTIGKEIT SICHERN**. E+Z Entwicklung und Zusammenarbeit 2, Bioenergie, www.dandc.eu/de/article/bioenergie-nachhaltigkeit-sichern, zuletzt gesehen am 22. Januar 2011.

Rijssenbeek W., Henning R., Jonschaap R. (2007): **THE *JATROPHA* SYSTEM.** Report: Expert Meeting *Jatropha*, Brusels 07.12.2007, Directorate–General Research, European Commission, S. 1-19.

Riveros F. (o. J.): **THE GRAN CHACO**. www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Bulletin/granchaco.htm, zuletzt gesehen am 01. April 2015.

Rode M., Schneider C., Ketelhake G., Reißhauer D. (2005): **NATURSCHUTZVERTRÄGLICHE ERZEUGUNG UND NUTZUNG VON BIOMASSE ZUR WÄRME- UND STROMGEWINNUNG**. Bonn: BfN–Volume 136, S. 1-186.

Romijn H. A, Caniels M. C .J. (2011): **THE *JATROPHA* BIOFUELS SECTOR IN TANZANIA 2005-2009: EVOLUTION TOWARDS SUSTAINABILITY?** Research Policy, Volume 40, S. 618-636.

Rundblick Nord-Report. (2012): **BIRKNER BAUT DAS UMWELTMINISTRIUM UM**. Nr. 021. S. 1-123.

Sarin R., Sharma M., Sinharay S., Malhotra R.K. (2007): ***JATROPHA*-PALM BIODIESEL BLENDS: AN OPTIMUM MIX FOR ASIA**. Fuel, Volume 86, Number 10, S. 1365-1371.

Saval S. (2012): **APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES: PASADO, PRESENTE Y FUTURO**. Revista de la Sociedad Mexicana de Biotechnologia y Bioingeniería A C, Volúmen 16, S. 14-46.

Saverys S., Toussaint A. Gueye M., Defrise L., Van Rattinghe K., Baudoin J.-P., Terren M., Jacquet de Haveskercke P., Mergeai G. (2008): **POSSIBLE CONTRIBUTIONS OF *JATROPHA CURCAS L.* TO RURAL POVERTY ALLEVIATION IN SENEGAL: VISION AND FACTS**. Tropicultura, Volume 26, Number 2, S. 125-128.

Schneider K., Müller A. (1999): **DIE BIOLOGISCHE STICKSTOFF-FIXIERUNG: DEM GEHEIMNIS EINES LEBENSNOTWENDIGEN PROZESSES AUF DER SPUR**. Fakultät für Chemie der Universität Bielefeld. S. 43-49.

Schwermer S. (2007): **ÖKONOMISCHE BEWERTUNG VON UMWELTSCHÄDEN. METHODENKONVENTION ZUR SCHÄTZUNG EXTERNER UMWELTKOSTEN**. Umwelt Bundes Amt für Mensch und Umwelt. Fachgebiet Wirtschafts- und sozialwissenschaftliche Umweltfragen. S. 1-115.

Seckinger C. (2010): **UNTERSUCHUNGEN ZUR SALZTOLERANZ VON *JATROPHA CURCAS L.*** Freie wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung der akademischen Grades Bachelor of Science. Universität Hohenheim, Fakultät für Agrarwissenschaften, Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen. S. 1-50.

SERNAP (Servicion Nacional de Areas Protegidas-Bolivia) (o. J.): **AREAS PROTEGIDAS DE INTERÉS NACIONAL. PARQUE NACIONAL Y ÁREA NATURAL DE MANEJO INTEGRADO KAA-IYA DEL GRAN CHACO**. www.sernap.gob.bo, zuletzt gesehen am 04. März 2011.

Siddharth J., Sharma M.P. (2010): **PROSPECTS OF BIODIESEL FROM *JATROPHA* IN INDIA: A REVIEW**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 14, Number 2, S. 763-771.

Singh R.N, Vyas D.K, Srivastava N.S.L, Narra M. (2008): **SPRERI EXPERIENCE ON HOLISTIC APPROACH TO UTILIZE ALL PARTS OF *JATROPHA CURCAS* FRUIT FOR ENERGY**. Renewable Energy, Volume 33, Number 8, S. 1868–1873.

Solomon D. B. (2010): **BIOFUELS AND SUSTAINABILITY**. Annals of the New York Academy of Sciences, Volume 1185, Number 1, S. 119–134.

Spiegel-Online. (2009): **ETHANOLSPRIT AUS BRASILIEN - BLUT IM TANK**. http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,602457,00.html, zuletzt gesehen am 04. Februar 2009.

Soumanou M.M., Bornscheuer U.T. (2003): **IMPROVEMENT IN LIPASE CATALYZED SYNTHESIS OF FATTY ACID METHYL ESTERS FROM SUNFLOWER OIL**. Enzyme and Microbial Technololy, Volume 33, Number 1, S. 97-103.

Stalder M. (2013): **KLIMERGIEPOLITIK: WIE EINE GROßE VERWIRRUNG DIE THEMEN KLIMA UND ENERGIE UNZERTRENNLICH MACHT**. BoD–Books on Demand, S. 1-148.

Symader W. (2004): **WAS PASSIERT, WENN DER REGEN FÄLLT**. Einführung in die Hydrologie. Stuttgart. S. 1-253.

Tau L. K., Keat T. L, Abdul R., Subhash B. (2007): **POTENTIAL OF HYDROGEN FROM OIL PALM BIOMASS AS A SOURCE OF RENEWABLE ENERGY WORLDWIDE**. Energy Policy, Volume 35, Number 11, S. 5692–5701.

The Economist (2011): **PROTESTS IN BOLIVIA: FUEL ON THE FIRE**. http://www.economist.com/node/17851429, zuletzt gesehen am 28. Januar 2011.

The World Bank. Working for a World Free of Poverty. (2014): **POPULATION DENSITY**. http://data.worldbank.org/indicator/EN.POP.DNST, zuletzt gesehen am 5. Februar 2015.

The World Bank. Working for a World Free of Poverty. (2013): **INDIA: GREEN GROWTH IS NECESSARY AND AFFORDABLE FOR INDIA, SAYS NEW WORLD BANK REPORT**. http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2013/07/17/india-green-growth-necessary-and-affordable-for-india-says-new-world-bank-report, zuletzt gesehen am 7. Juli 2013.

The World Bank. Working for a World Free of Poverty. (2007): **CLIMATE CHANGE, CLIMATE-SMART AGRICULTURE**.

http://climatechange.worldbank.org/content/climate-smart-agriculture, zuletzt gesehen am 12. März 2011.

Traufetter G. (2010): **GRÜNER FLIEGEN**. Der Spiegel-Deutsches Magazin 28, Juli, S. 109.

TNC (The Nature Conservancy), FVSA (Fundación Vida Silvestre Argentina), DeSdel Chaco (Fundación para el Desarrollo Sustentable del Chaco) y WCS (Wildife Conservation Society Bolivia), (2005): **EVALUACIÓN ECORREGIONAL DEL GRAN CHACO AMERICANO/GRAN CHACO AMERICANO ECOREGIONAL ASSESSMENT**. Buenos Aires. Fundación Vida Silvestre Argentina, S. 1-28.

UDAPE (Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas-Estado Plurinacional de Bolivia) (Auf Englisch: **ECONOMIC SOCIAL POLICY ANALISIS UNIT OF THE PLURINATIONAL STATE OF BOLIVIA)**. (2010): www.udape.gob.bo, zuletzt gesehen am 21. November 2010.

UNO (United Nations Organization). (2006): **...DONDE HAY AGUA HAY VIDA. PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MACROREGIONAL DEL CHACO BOLIVIANO**. Ministerio de Planificación del Desarrollo. Viceministerio de Planificación Territorial y Medio Ambiente. Dirección General de Planificación Territorial. Unidad de Ordenamiento Territorial. Mancomunidad de Municipios del Chaco Boliviano (MANCHABOL). Programa de Naciones Unidas para el Desarollo (United Nations Development Programme), Parte I, S. 1-249.

USDA (United States Department of Agriculture), ARS (Agricultural Research Service, Beltsville Area), GRIN (Germplasm Resources Information Network). (2007): **TAXON: *JATROPHA CURCAS L.*** http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?20692, zuletzt gesehen am 27. Mai 2008.

Vries de E. (2008): **FUTURE OF BIODIESEL? A LOOK AT THE POTENTIAL BENEFITS OF *JATROPHA***. Renewable Energy World. S. 1-5. http://www.renewable-energy-world.com/articles/article_display.cfm?ARTICLE_ID=294312&p=121, zuletzt gesehen am 02. Februar 2009.

Vyas D.K., Singh R. N. (2007): **FEASIBILITY STUDY OF *JATROPHA* SEED HUSK AS AN OPEN CORE GASIFIER FEEDSTOCK**. Renewable Energy, Volume 32, Number 3, S. 512-517.

Wahl N., Hildebrandt T., Moser C., Lüdeke-Freund F., Averdunk K., Bailis R., Barua K., Burritt R., Groeneveld J., Klein A-M., Kügemann M., Walmsley D., Schaltegger S., Zelt T. (2012): **INSIGHTS INTO *JATROPHA* PROJECTS WORLDWIDE**. Key Facts & Figures from a Global Survey. Centre for Sustainability Management (CSM) Leuphana University of Lüneburg, Inocas GmbH. S. 1-73.

WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen). 2009: **WELT IM WANDEL: ZUKUNFTSFÄHIGE BIOENERGIE UND NACHHALTIGE LANDNUTZUNG**. Zusammenfassung für Entscheidungsträger. S. 1-24.

Wiersbinski N., Ammermann K., Karfyllis N., Ott K. (2007): **8. VILMER THESEN ZUR „BIOMASSEPRODUKTION“**. Vilmer Thesen zu Grundsatzfragen des Naturschutzes 97, S. 1-154.

Wiesenhütter J. (2003): **USE OF THE PHYSIC NUT (*JATROPHA CURCAS L.*) TO COMBAT DESERTIFICATION AND REDUCE POVERTY - POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF TECHNICAL SOLUTIONS IN A PARTICULAR SOCIO-ECONOMIC ENVIRONMENT, THE CASE OF CAPE VERDE**. GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH) - Convention Project to Combat Desertification. S. 1-18

Winkler E., Foidl N., Gubitz G.M., Staubmann R., Steiner W. (1997): **ENZYME SUPPORTED OIL EXTRACTION FROM *JATROPHA CURCAS* SEEDS**. In: Biotechnology for Fuels and Chemicals. Humana Press, 1997. S. 449-456.

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (2007): **SOZIAL-ÖKOLOGISCHE BEWERTUNG DER STATIONÄREN ENERGETISCHEN NUTZUNG VON IMPORTIERTEN BIOKRAFTSTOFFEN AM BEISPIEL VON PALMÖL**. Im Zusammenarbeit mit Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH und Wilhelm Merton Zentrum für Europäische Integration und internationale Wirtschaftsordnung. S. 1-235.

Ye M., Li C., Francis G., Makkar H.P. S. (2009): **CURRENT SITUATION AND PROSPECTS OF *JATROPHA CURCAS* AS A MULTIPURPOSE TREE IN CHINA**. Agroforestry Systems, Volume 76, Number 2, S. 487-497.

Yusuf N.N.A.N., Kamarudin S.K., Yaakub Z. (2011): **OVERVIEW ON THE CURRENT TRENDS IN BIODIESEL PRODUCTION**. Energy Conversion and Management, Volume 52, Number 7, S. 2741−2751.

YPFB (Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos) (2010): **BOLETÍN ESTADÍSTICO, YACIMIENTOS PETROLÍFEROS FISCALES BOLIVIANOS JANUAR-JUNI 2010**. S. 1-39.

EXPERTEN-GESPRÄCHE

Gespräch mit Prof. Dr. Krahl J. (Vizepräsident der Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg), Hannover-Deutschland, Dezember 2012.

Gespräche mit Prof. Dr. Marquez S. (UNE (Universidad Nacional Ecologica Santa Cruz)), Santa Cruz-Bolivien, August 2010, September 2011.

Gespräche mit Prof. Dr. Salas A. (U.T.O. (Universidad Técnica de Oruro)), Oruro-Bolivien, Oktober 2010, Juli 2011.

Auskunft per E-Mail von Stambuck J. (Experte für *Jatropha curcas*-Anbau in Lateinamerika), 2009, 2011. Er ist der Pionier der Biodieselproduktion aus Sojabohnen in Santa Cruz-Bolivien und Experte für die Biodieselproduktion aus *Jatropha* in El Salvador, Kolumbien und Guatemala. Interview am 14. Juli 2009; 23. November 2011.

Gespräche mit Villegas-Gonzáles G. (stellvertretender Direktor Petrobras Bolivia), Santa Cruz-Bolivien, August 2010, September 2011.

Gespräch mit Ardaya Bernal D. Leiter Biodiesel-Projekt (CIAT (Centro de Investigación Tropical des Departamentos Santa Cruz)), Santa Cruz-Bolivien, August 2010.

Gespräch mit Prof. Dr. Ing. Agr. Cabral da Costa C. (Federal Universidad Brasil), Santa Cruz-Bolivia, August 2010.

Gespräch mit Egüez Parada D. F. Biodiesel-Projekt (CIAT (Centro de Investigación Tropical des Departamentos Santa Cruz) Auf Deutsch: Forschungszentrum für Tropenland-wirtschaft), Santa Cruz-Bolivien, August 2010.

Gespräch mit Garcia Bustos B. Biodiesel-Projekt (CIAT (Centro de Investigación Tropical des Departamentos Santa Cruz)), Santa Cruz-Bolivien, August 2010.

Gespräch mit Goitia L. (I.D.R. Instituto de Desarrollo Regional UMSA Universidad Mayor de San Andrés La Paz), La Paz-Bolivien, Oktober 2010.

Gespräch mit Holmberg B. Chairman Biomass Coordinating Council (ACORE (American Council On Renewable Energy)), Washington DC–USA, November 2010.

Gespräche mit Marquez G. (privater Unternehmer), Santa Cruz-Bolivien, August 2010.

Gespräch mit Orsag Céspedes V. (Forscher an der U.M.S.A. (Universität Mayor de San Andres in La Paz)), La Paz-Bolivien, Oktober 2010.

Kartenanhang

Karte 1/10: Übersichtskarte

Karte 2/10: Erosionsgrad

Karte 3/10: Erosionstyp

Karte 4/10: Vegetation

Karte 5/10: Nutzung

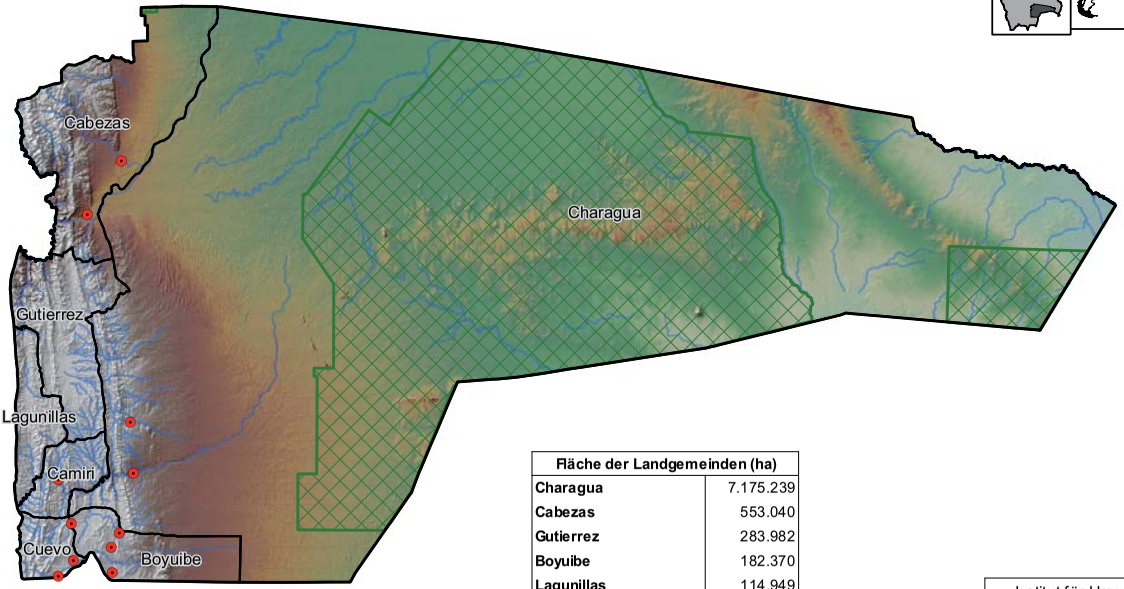
Karte 6/10: Nutzung und Erosion

Karte 7/10: Lage der Beispielflächen

Karte 8/10: Details Beispielfläche 1

Karte 9/10: Details Beispielfläche 2

Karte 10/10: Mögliche Anbindung der Beispielflächen an Infrastruktur



N

0 25 50 100 km

Untersuchungsgebiet
Schutzgebiete
Flüsse
Städtische Siedlungen

Höhen
High : 2194
Low : 125

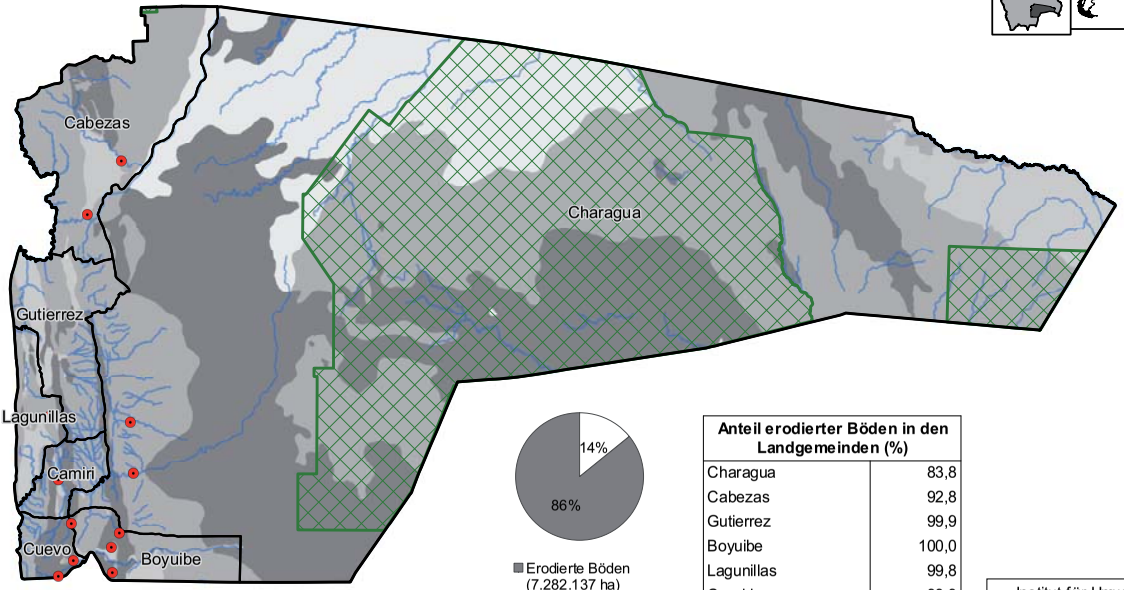
Fläche der Landgemeinden (ha)	
Charagua	7.175.239
Cabezas	553.040
Gutierrez	283.982
Boyuibe	182.370
Lagunillas	114.949
Camiri	98.944
Cuevo	74.350
Gesamt	8.482.874
- davon Schutzgebiete	3.396.227

Institut für Umw eltplanung, Leibniz Universität Hannover

Übersichtskarte

Potenziale des *Jaropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

Autorin:	M.Sc.Ing. N. Fabiola Castro G.	
Betreuung:	Prof. Dr. Michael Rode	1/10
Datum:	August 2013	



N

0 25 50 100 km

- Untersuchungsgebiet
- Schutzgebiete
- Flüsse
- Städtische Siedlungen

Erosionsgrad

- Keine
- Leicht
- Mittel
- Stark

Erodierte Böden (7.282.137 ha)

Nicht erodierte Böden (1.200.738 ha)

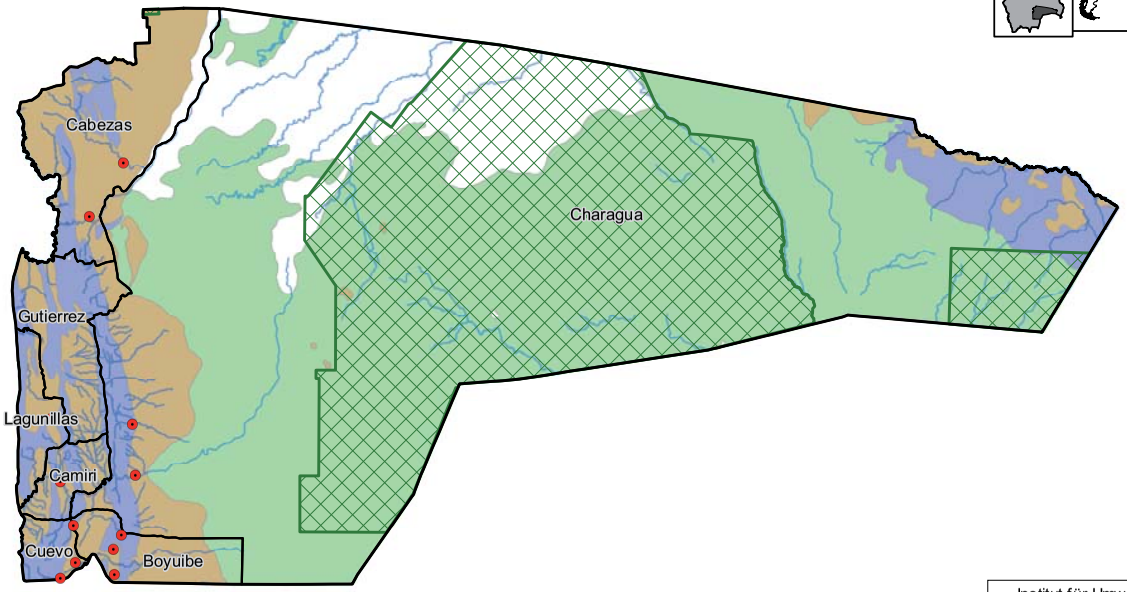
Anteil erodierter Böden in den Landgemeinden (%)	
Charagua	83,8
Cabezas	92,8
Gutierrez	99,9
Boyuibe	100,0
Lagunillas	99,8
Camiri	99,9
Cuevo	100,0

Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover

Erosionsgrad

Potenziale des *Jaropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

Autorin:	M.Sc.Ing. N. Fabiola Castro G.	
Betreuung:	Prof. Dr. Michael Rode	2/10
Datum:	August 2013	



N

0 25 50 100 km

- Städtische Siedlungen
- Untersuchungsgebiet
- Schutzgebiete
- Flüsse

Erosionstyp

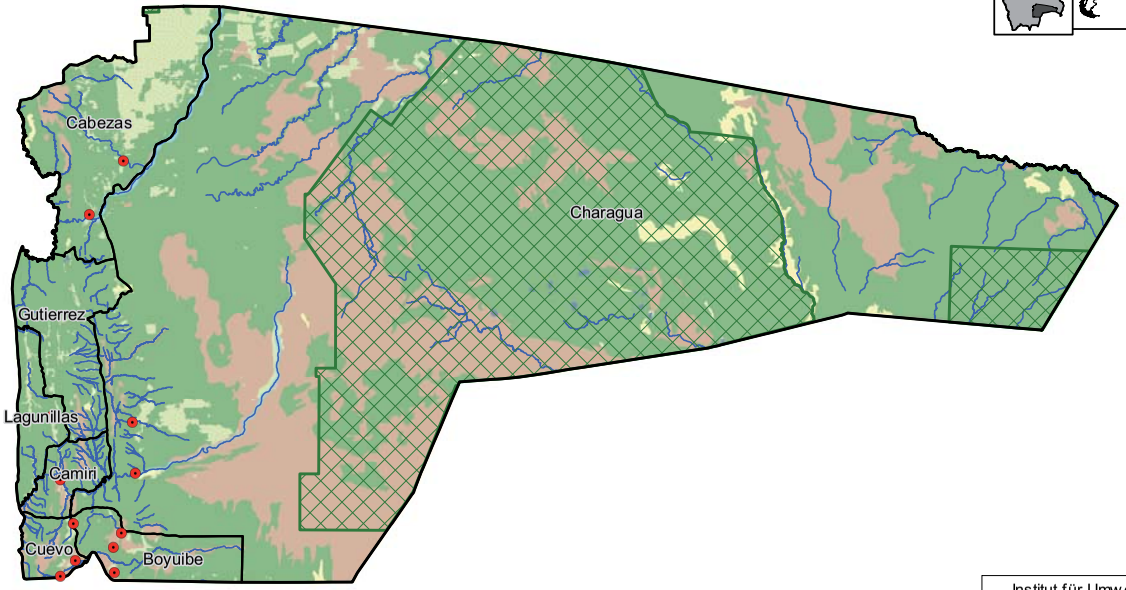
- Keine
- Wassererosion
- Winderosion
- Wasser- und Winderosion

Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover

Erosionstyp

Potenziale des *Jaropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

Autorin:	M.Sc.Ing. N. Fabiola Castro G.	
Betreuung:	Prof. Dr. Michael Rode	3/10
Datum:	August 2013	



N

0 25 50 100 km

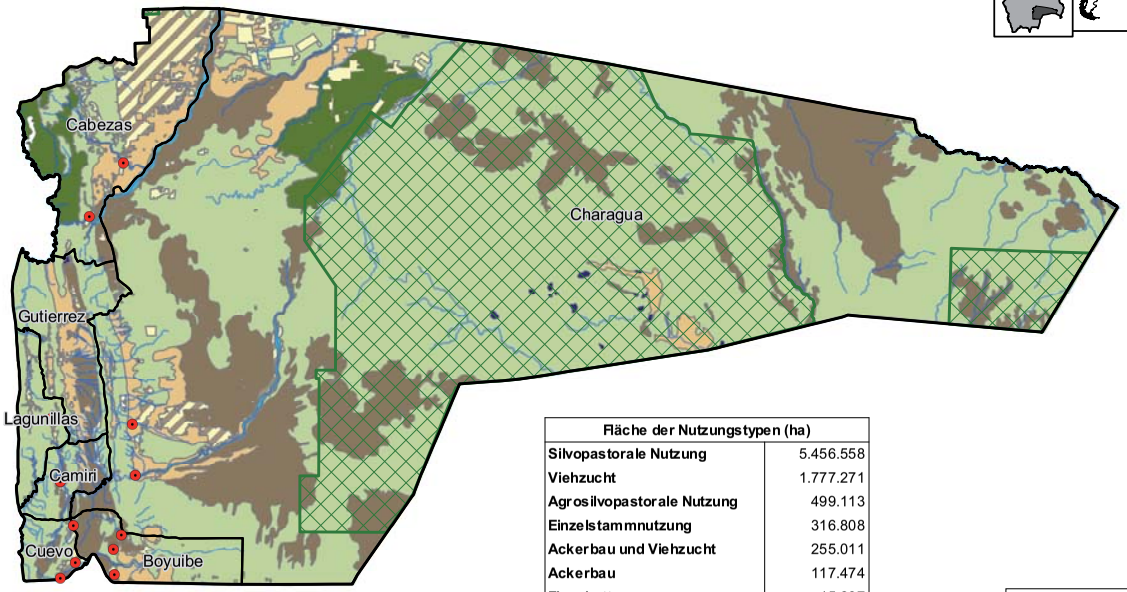
- Untersuchungsgebiet
- Schutzgebiete
- Flüsse
- Städtische Siedlungen
- Ackerfläche und Weideland
- Wald
- Stehende Gewässer
- Krautige Pflanzen
- Flussbett
- Gebüsch

Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover

Vegetation

Potenziale des *Jaropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

Autorin:	M.Sc.Ing. N. Fabiola Castro G.	
Betreuung:	Prof. Dr. Michael Rode	4/10
Datum:	August 2013	



N

0 25 50 100 km

Untersuchungsgebiet
Schutzgebiete
Flüsse
Städtische Siedlungen

Nutzung

Silvopastorale Nutzung
Viehzucht
Agrosilvopastorale Nutzung
Einzelstammnutzung
Ackerbau und Viehzucht
Ackerbau
Flussbett
Stehende Gewässer
Keine Nutzung

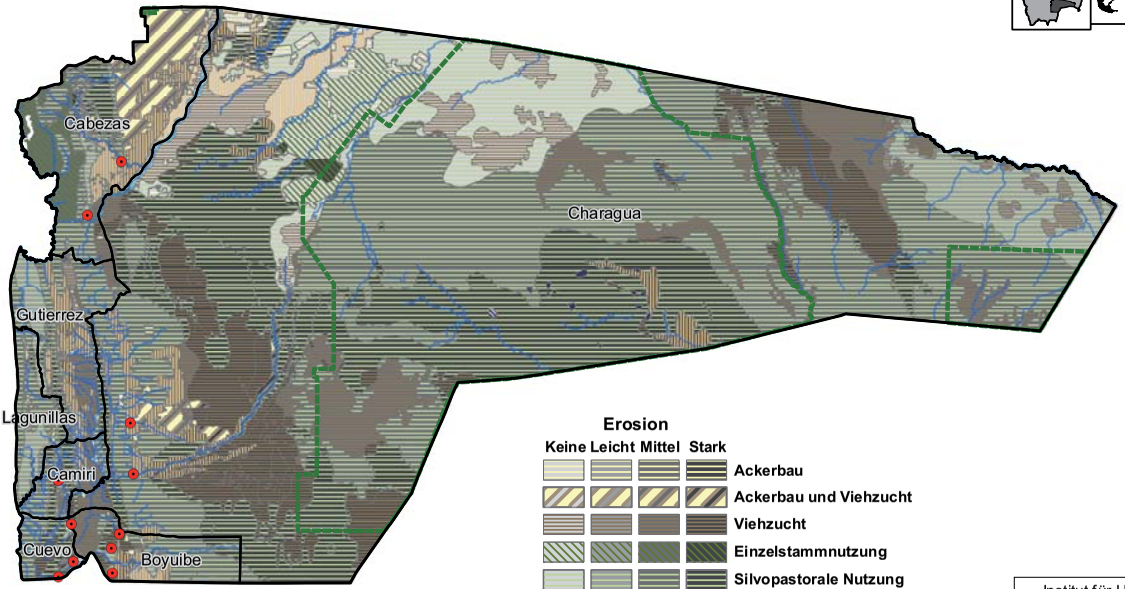
Fläche der Nutzungstypen (ha)	
Silvopastorale Nutzung	5.456.558
Viehzucht	1.777.271
Agrosilvopastorale Nutzung	499.113
Einzelstammnutzung	316.808
Ackerbau und Viehzucht	255.011
Ackerbau	117.474
Flussbett	45.607
Stehende Gewässer	8.020
Keine Nutzung	5.439
Städtische Siedlungen	1.537

Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover

Nutzung

Potenziale des *Jaropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

Autorin:	M.Sc.Ing. N. Fabiola Castro G.	
Betreuung:	Prof. Dr. Michael Rode	5/10
Datum:	August 2013	



N

0 25 50 100 km

Untersuchungsgebiet
Schutzgebiete
Flüsse
Städtische Siedlungen

Erosion

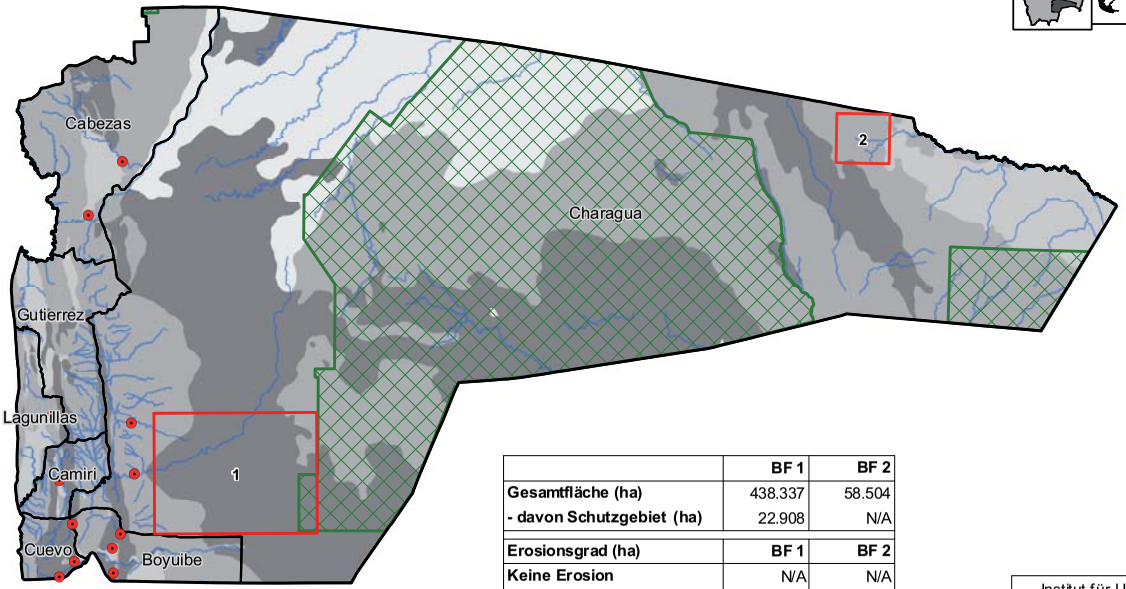
Keine	Leicht	Mittel	Stark	
				Ackerbau
				Ackerbau und Viehzucht
				Viehzucht
				Einzelstammnutzung
				Silvopastorale Nutzung
				Agrosilvopastorale Nutzung
				Städtische Siedlungen
				Flussbett
				Stehende Gewässer

Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover

Nutzung und Erosion

Potenziale des *Jaropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

Autorin:	M.Sc.Ing. N. Fabiola Castro G.	
Betreuung:	Prof. Dr. Michael Rode	6/10
Datum:	August 2013	



N

0 25 50 100 km

Untersuchungsgebiet
Schutzgebiete
Beispielflächen
Flüsse
Städtische Siedlungen

Erosionsgrad

Keine
Leicht
Mittel
Schwer

	BF 1	BF 2
Gesamtfläche (ha)	438.337	58.504
- davon Schutzgebiet (ha)	22.908	N/A

Erosionsgrad (ha)	**BF 1**	**BF 2**
Keine Erosion	N/A	N/A
Leicht	N/A	4.297
Mittel	83.861	53.832
Stark	354.476	374

Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover

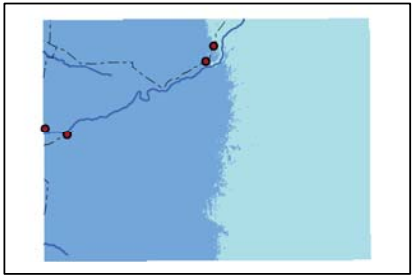
Lage der Beispielflächen

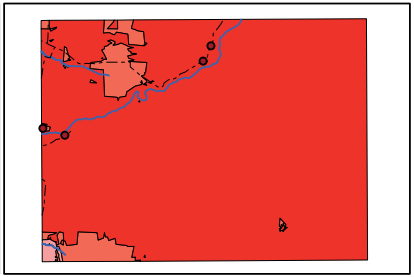
Potenziale des *Jaropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

Autorin:	M.Sc.Ing. N. Fabiola Castro G.	
Betreuung:	Prof. Dr. Michael Rode	7/10
Datum:	August 2013	

Frostrisiko

- Sehr niedrig
- Niedrig



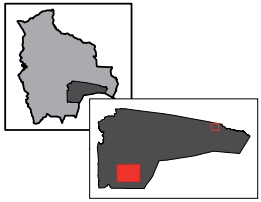


Dürrerisiko

- Sehr hoch
- Hoch
- Mittel
- Niedrig
- Sehr niedrig

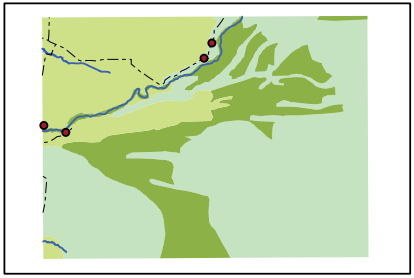
N

0 12,5 25 50 km



Versickerungsrate

- Hoch
- Mittel
- Niedrig



Hochwasserrisiko

- Sehr hoch
- Hoch
- Mittel
- Niedrig
- Sehr niedrig

- Verkehrswege
- Flüsse
- Ortschaften

Durchschnittswerte	
Temperatur Minimum (°C)	7,5 – 8
Temperatur Maximum (°C)	37 – 38
Niederschlag pro Jahr (mm)	500 – 800
Versickerungsrate (l/sec/ha)	0,5 – 1 u. 3 – 5

Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover

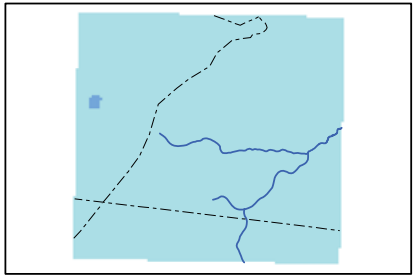
Details Beispielfläche 1

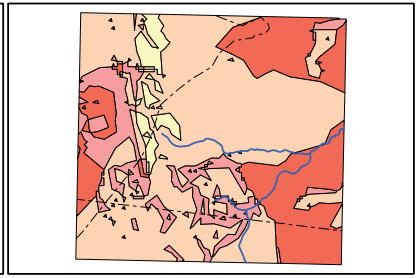
Potenziale des *Jaropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

Autorin:	M.Sc.Ing. N. Fabiola Castro G.	
Betreuung:	Prof. Dr. Michael Rode	**8/10**
Datum:	August 2013	

Frostrisiko

- Sehr niedrig
- Niedrig



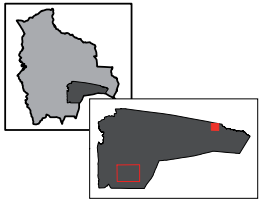


Dürrerisiko

- Sehr hoch
- Hoch
- Mittel
- Niedrig
- Sehr niedrig

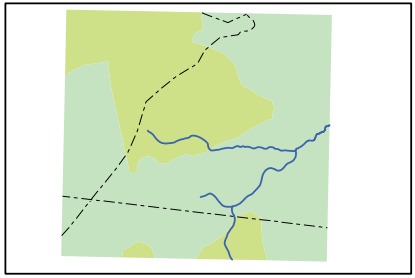
N

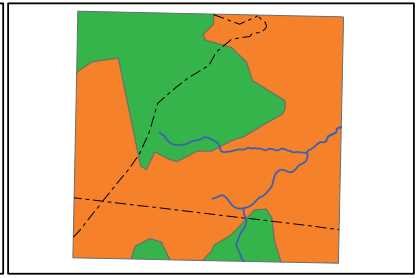
0 5 10 20 km



Versickerungsrate

- Hoch
- Mittel
- Niedrig





Hochwasserrisiko

- Sehr hoch
- Hoch
- Mittel
- Niedrig
- Sehr niedrig

- Verkehrswege
- Flüsse
- Ortschaften

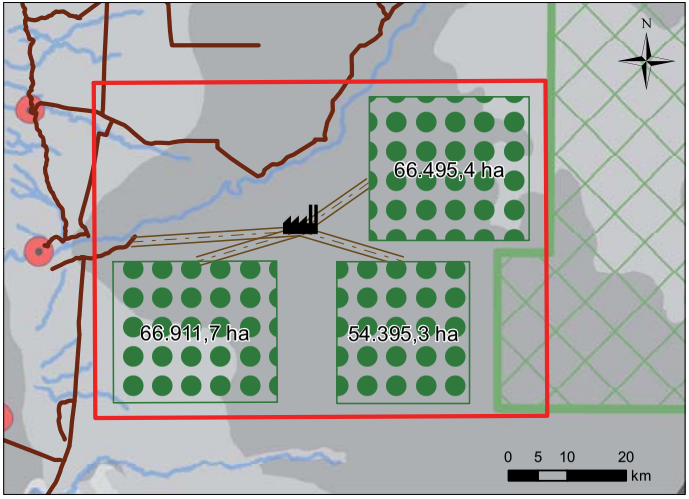
Durchschnittswerte	
Temperatur Minimum (°C)	8 – 9
Temperatur Maximum (°C)	38 – 39
Niederschlag pro Jahr (mm)	1100 – 1200
Versickerungsrate (l/sec/ha)	0,5 – 1 u. 2 – 3

Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover

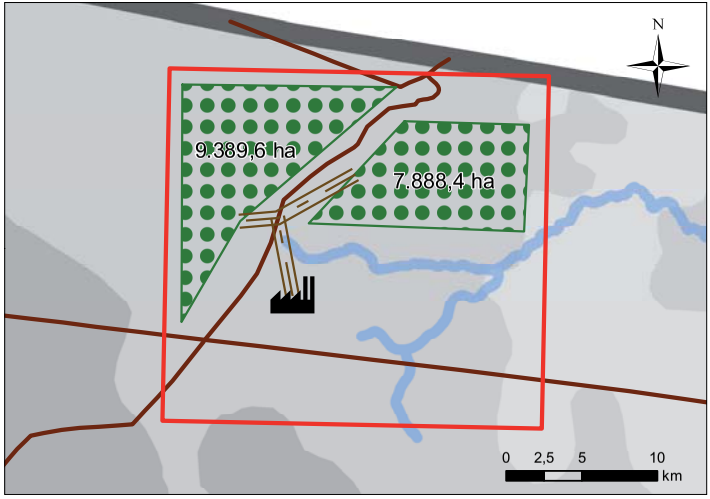
Details Beispielfläche 2

Potenziale des *Jaropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

Autorin:	M.Sc.Ing. N. Fabiola Castro G.	
Betreuung:	Prof. Dr. Michael Rode	**9/10**
Datum:	August 2013	



Beispielfläche 1



Beispielfläche 2

Szenario

- Mgl. Anlage für Biodieselproduktion
- Hypothet. Standorte für Plantagen
- Hypotheth. Transportwege

Vorhandende Verkehrswege

- Nebenweg, ungepflastert

Sonstige Gegebenheiten

- Städtische Siedlungen
- Untersuchungsgebiet
- Schutzgebiete
- Flüsse

Erosionsgrad

- Keine
- Leicht
- Mittel
- Schwer

Institut für Umw eltplanung, Leibniz Universität Hannover

Standorte möglicher Plantagen auf den Beispielflächen und ihre Anbindung an Infrastruktur

Potenziale des *Jaropha curcas*-Anbaus für eine nachhaltige Produktion von Biodiesel in Bolivien

Autorin:	M.Sc.Ing. N. Fabiola Castro G.	
Betreuung:	Prof. Dr. Michael Rode	**10/10**
Datum:	August 2013	