

Diss. ETH No. 21439

**COMPENSATING THE BIODIVERSITY IMPACTS OF LAND
USE: TOWARD ECOLOGICALLY EQUAL EXCHANGE IN THE
NORTH–SOUTH CONTEXT**

A dissertation submitted to the

ETH ZURICH

for the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

presented by

MICHAEL P. CURRAN

M.Sc., University of Basel

born August 23, 1983

citizen of the Republic of Ireland

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Stefanie Hellweg, examiner
Prof. Dr. Thomas Koellner, co-examiner
Dr. Jan Beck, co-examiner
Dr. Irmi Seidl, co-examiner

2014

Abstract

Increasing consumption and global trade of agricultural products is driving rapid declines in biodiversity in agricultural frontier regions, primarily in the Global South. Rising demand for food, fodder and biofuel in developed and emerging nations is driving displaced habitat and species impacts via trade, requiring a strengthening of consumer responsibility in the affluent Global North. Improved regulation and the strengthening of international treaties relating to biodiversity loss and environmental protection are required. At the same time, international compensation schemes for ecological damages, such as biodiversity offsets, represent one immediate option to address impacts. However, at least four methodological hurdles stand out: (1) whole-supply chain impact assessment tools, such as Life Cycle Assessment (LCA), must be improved to adequately integrate biodiversity loss; (2) the biodiversity offset methodology must be improved to reduce risks, adequately reflect ecological value and operate internationally; (3) different conservation strategies must be employed in the right context to ensure effective, fair and additional conservation gains; and (4) opaque international supply chains mean impact location is often unknown, thus impact assessment and compensation must be assessed under spatial uncertainty. This dissertation attempts to resolve some of these issues, and in the process, investigate the potential for an international application of the biodiversity offset methodology in order to compensate producing countries of the Global South for consumption-induced biodiversity loss. In the following sections, *Chapter 1* provides an overview of the issues, reviewing the literature on consumption, trade, biodiversity loss and ecological compensation. Economic justifications for conserving biodiversity are also reviewed, along with novel policy tools that have emerged in recent years to meet this goal.

Chapter 2 focuses on the impact assessment step, (hurdle 1), and reviews approaches to model biodiversity loss in Life Cycle Assessment (LCA). The chapter illustrates conceptual and methodological shortcomings of the LCA framework. Different impact categories assess loss at different scale (e.g. global warming assesses global losses of species, whereas land use assesses local and regional losses). This reduces the relevance of comparisons between impact categories and the results of single-score aggregation techniques. There is also poor taxonomic and geographic coverage. Only three of the five main drivers of biodiversity loss are represented (identified by the Millennium Ecosystem Assessment). The chapter concludes with a review of assessment techniques from ecology and conservation to help LCA researchers fill these gaps.

Chapter 3 focuses on methodological approaches to compensation (hurdle 2), critically testing the ecological validity of “biodiversity offsets”. Offsets assume that the restoration of biodiversity

is timely and predictable, justifying the use of habitat restoration to compensate impacts on old growth ecosystems. In order to ensure equitable biodiversity offsets, three criteria must be met: (i) diversity in secondary and old growth habitat must converge over time, (ii) active restoration must accelerate the process, and (iii) current offset policies must account for predicted uncertainties and time lags using appropriate “offset multipliers”. To test if these criteria are met, *Chapter 3* presents a meta-study of the restoration and secondary habitat literature. Using data from 108 studies comparing diversity in secondary and old growth habitat, statistical models of the age-diversity relationship are constructed and used to predict “recovery times” under passive and active restoration. The results indicate that full recovery of species composition may take centuries or more. Active restoration significantly accelerates the process. However, considering the uncertainties and risks involved, offset ratios are required that exceed what is currently applied in practice.

Chapter 4 focuses on conservation implementation (hurdle 3), and assesses the cost-effectiveness of two direct conservation strategies: payments for ecosystem services (PES) and land purchases or easements (LPE) in Central Kenya. Conservation costs are modelled across a case-study landscape using survey and literature data. Management costs are collected from four regional conservation organizations and use in a site selection process for conservation interventions (PES or LPE) over 30 years, favouring areas of low cost and high ecological value. The LPE strategy results in larger and less fragmented reserves, representing about 50% more species than PES. However, the legal and policy context in Kenya presents challenges to wider uptake of land purchases or voluntary easements. Because of simpler institutional requirements, PES represent a more immediate property-based conservation tool. However, where possible, conservation organizations should aim for long-term, once-off investments to secure habitat at the lowest possible cost.

Chapter 5 returns to the issue of impact assessment (hurdle 1), and develops a new assessment method for land use in LCA¹. The method is based on an index of “threat and rarity-weighted” species richness associated with different land use classes. The method is compared to two previous LCA approaches (based on local relative change in species richness, and SAR-based regional changes, respectively) using a cases study of export crops in East Africa. It demonstrates how modelled agricultural data on yield and production volumes can help localize impacts and reduce uncertainties (hurdle 4). The results show how the biodiversity impacts of different crops (tea, coffee and tobacco) vary mainly based on where they are produced. Recommendations are put forward for sourcing products or locating future agricultural land in areas that minimize risks to global mammal diversity.

Chapter 6, brings together the previous work to develop a conceptual framework for the international application of biodiversity offsets. The chapter investigates application of the framework to a hypothetical case study of improved conservation in Central Kenya (using results from *Chapter 4*) compensating land use impacts at multiple scales in East Africa depending on knowledge on the location of production (using the method from *Chapter 5*).

¹This chapter represents a contribution as co-author rather than lead author

The chapter applies the same biodiversity index to quantify land use impacts and conservation gains. Gains are corrected by applying “offset ratio multipliers” (based on *Chapter 3*) that translate uncertain, risky, and delayed conservation gains into discounted present values that can be compared to present impacts. Where the impact location is uncertain, compensation activities are targeted using a spatial conservation planning approach to align offsets with conservation priorities. Conservation cost and agricultural production data are used to assess likely compensation costs per unit area or agricultural product. The results indicate that “biodiversity neutral” production could be achieved with a conservation premium on farm-gate price of *ca.* 35%–280% (range of 25% and 75% quartiles of values), depending on the scale of impact assessment (sub-national, national, regional), costs included (e.g. pure conservation goals, public protected area support, development budget) and the type of impact compensated (occupation or transformation impacts). For final consumers in the Global North, price increases would likely be lower because production costs make up a smaller fraction of final prices (perhaps reducing premiums by a factor of 5–10). This range represents a ballpark estimate encompassing many simplifying assumptions and methodological choices. Further research is required to develop a consistent conceptual basis for valuing biodiversity (e.g. based on *ecocentric* or *anthropocentric* values), choosing an appropriate discount rate for these values, and dealing with fundamental uncertainties and data limitations. The ethical, institutional and social fairness dimensions of international offsets also need to be carefully considered before any such scheme is implemented.

Chapter 7 concludes the dissertation with a review of the main messages. A critical analysis of the research as a whole is presented, with reference to weak points and potential improvements. Finally, the practical implications of the work are discussed with respect to policy relevance and potential avenues for implementation. This includes an overview of conservation financing mechanisms (for collecting and dispersing funds internationally) and a brief review of the international policy context, such as commitments under the Convention on Biological Diversity and existing bilateral and multilateral trade agreements via the World Trade Organization.

Zusammenfassung

Steigender Konsum und globaler Handel von Agrargütern führen zu rapiden Verlusten an Biodiversität in landwirtschaftlichen Grenzgebieten, hauptsächlich im Globalen Süden. Zunehmender Bedarf an Nahrung, Futter und Biokraftstoffen in Industrie- und Schwellenländern treiben verlagerte Lebensraum- und Artenauswirkungen durch Handel an, was die Stärkung der Konsumentenverantwortung im wohlhabenden Globalen Norden erfordert. Verbesserte Regulierungen und die Stärkung von internationalen Abkommen mit Bezug auf Biodiversitätsverlust und Umweltschutz sind erforderlich. Gleichzeitig stellen internationale Ausgleichspläne für ökologische Schäden wie Ausgleichsmaßnahmen zum Erhalt der biologischen Vielfalt eine unmittelbare Option dar, um sich mit den Auswirkungen zu befassen. Jedoch stechen mindestens vier methodische Hürden hervor: (1) Methoden für die Wirkungsabschätzung vollständiger Lieferketten wie die Ökobilanz (Lebenszyklusanalyse (LCA)) müssen verbessert werden, um Biodiversitätsverluste hinreichend zu berücksichtigen; (2) Biodiversitätsausgleichsmaßnahmen müssen verbessert werden, um Risiken zu reduzieren, ökologische Werte widerzuspiegeln und international anwendbar zu sein; (3) verschiedene Umweltschutzstrategien müssen im richtigen Kontext angewandt werden, um effektive, gerechte und zusätzliche Umweltschutzerfolge zu gewährleisten; und (4) undurchsichtige internationale Lieferketten bedeuten, dass Standorte, an denen sich die Auswirkungen ereignen, oft unbekannt sind und deshalb Wirkungsabschätzungen und Ausgleichs unter räumlichen Unsicherheiten bewertet werden müssen. Diese Dissertation versucht einige dieser Probleme zu lösen und währenddessen das Potenzial für eine internationale Anwendung von Biodiversitätsausgleichsmaßnahmen zu untersuchen, um Herstellungsnationen des Global Südens für durch Konsum ausgelöste Biodiversitätsverluste zu kompensieren. In den folgenden Abschnitten liefert das Kapitel 1 einen Überblick der Fragestellungen, wobei Literatur über Konsum, Handel, Biodiversitätsverluste und ökologische Ausgleichs besprochen wird. Ökonomische Rechtfertigungen für den Erhalt biologische Vielfalt werden auch überprüft, zusammen mit neuartigen politischen Instrumenten, welche sich in den letzten Jahren herausgebildet haben, um dieses Ziel zu erreichen.

Kapitel 2 konzentriert sich auf die Wirkungsabschätzung (Hürde 1) und es werden Ansätze zur Modellierung von Biodiversitätsverlusten in Lebenszyklusanalysen (LCA) überprüft. Das Kapitel zeigt konzeptionelle und methodische Unzulänglichkeiten innerhalb der LCA-Rahmenstruktur auf. Verschiedene Wirkungskategorien bewerten Verluste unterschiedlicher Skalen (z.B. schätzt globale Erwärmung globale Artenverluste ab, während Landnutzung lokale und regionale Verluste abschätzt). Dies reduziert die Bedeutung von Vergleichen zwischen

Wirkungskategorien und Ergebnissen von Einzelwertaggregationstechniken. Auch die taxonomische und geographische Abdeckung ist schwach. Nur drei der fünf Haupteinflussfaktoren von Biodiversitätsverlusten werden dargestellt (identifiziert in der Millenniumsstudie zur Bewertung von Ökosystemen). Das Kapitel schließt mit einem Überblick über Bewertungstechniken aus der Ökologie und dem Umweltschutz, um LCA-Forschern zu helfen diese Lücken zu füllen.

Kapitel 3 konzentriert sich auf methodische Ansätze zum Ausgleich (Hürde 2), wobei die ökologische Validität von Biodiversitätsausgleichsmaßnahmen kritisch überprüft wird. Ausgleichsmaßnahmen nehmen an, dass die Wiederherstellung der biologischen Vielfalt schnell und vorhersagbar ist, was die Nutzung von Lebensraumrenaturierungen zur Kompensierung von Auswirkungen auf unberührte Ökosysteme rechtfertigt. Um angemessene Biodiversitätsausgleichsmaßnahmen sicherzustellen, müssen drei Kriterien erfüllt werden: (i) die Vielfalt in Sekundär- und Primärlebensräumen muss mit der Zeit konvergieren, (ii) aktive Renaturierung muss den Prozess beschleunigen und (iii) derzeitige Ausgleichsinstrumente müssen vorhergesagte Unsicherheiten und zeitliche Verzögerungen berücksichtigen, indem geeignete Ausgleichsmultiplikatoren verwendet werden. Um zu überprüfen, ob diese drei Kriterien erfüllt wurden, legt Kapitel 3 eine Metastudie über Literatur über Renaturierung und Sekundärlebensräume dar. Indem Daten aus 108 Studien verwendet werden, in denen die Vielfalt in sekundären und ursprünglichen Lebensräumen verglichen wird, werden statische Modelle der Alter-Vielfalt-Beziehungen erstellt und genutzt, um „Erholungszeiten“ unter passiver und aktiver Renaturierung vorherzusagen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine vollständige Erholung der Artenzusammensetzung Jahrhunderte oder länger dauern kann. Aktive Renaturierung beschleunigt den Prozess erheblich. Werden jedoch die damit verbundenen Unsicherheiten und Risiken berücksichtigt, werden Ausgleichsraten benötigt, die das übertreffen, was derzeit in der Praxis angewandt wird.

Kapitel 4 konzentriert sich auf die Umsetzung des Umweltschutzes (Hürde 3) und bewertet die Kosteneffizienz zweier direkter Umweltschutzstrategien: Zahlungen für Ökosystemdienstleistungen (engl. payments for ecosystem services (PES)) und Landkauf und Nutzungsrecht (engl. land purchase and easements (LPE)) in Zentralkenia. Umweltschutzkosten werden innerhalb einer Fallstudienlandschaft modelliert, wobei Daten aus Umfragen und der Literatur verwendet werden. Verwaltungskosten werden von vier regionalen Umweltschutzorganisationen gesammelt und in einem Prozess zur Standortwahl für Umweltschutzmaßnahmen (PES oder LPE) über 30 Jahre verwendet, wobei Gebiete mit geringen Kosten und hohen ökologischen Werten bevorzugt werden. Die LPE-Strategie hat größere und weniger fragmentierte Schutzgebiete zur Folge, welche ungefähr 50% mehr Arten vertreten als PES. Jedoch stellen die rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen in Kenia Herausforderungen für eine stärkere Verbreitung von Landkäufen und freiwilligen Nutzungsrechten dar. Aufgrund der einfacheren institutionellen Anforderungen stellt PES ein direkteres auf Eigentum basiertes Umweltschutzinstrument dar. Wo möglich sollten Umweltschutzorganisationen jedoch langfristige, einmalige Investitionen anstreben, um Lebensraum zu den kleinstmöglichen Kosten zu sichern.

Kapitel 5 kehrt zum Thema Wirkungsabschätzung zurück (Hürde 1) und entwickelt eine neue Bewertungsmethode für Landnutzung in LCA. Die Methode basiert auf einer Ken-

nzahl für „bedrohungs- und seltenheitsgewichtete“ Artenvielfalt, die mit unterschiedlichen Landnutzungsklassen in Zusammenhang steht. Die Methode wird mit zwei früheren LCA-Ansätzen verglichen (basierend auf lokalen relativen Änderungen der Artenvielfalt bzw. SAR-basierte regionale Änderungen), wobei eine Fallstudie von Nutzpflanzen für den Export in Ostafrika verwendet wird. Es demonstriert, wie modellierte agrarwirtschaftliche Daten zu Ertrag und Produktionsvolumen helfen können, Auswirkungen zu lokalisieren und Unsicherheiten zu reduzieren (Hürde 4). Die Ergebnisse zeigen, wie Auswirkungen verschiedener Nutzpflanzen (Tee, Kaffee und Tabak) auf die Biodiversität hauptsächlich aufgrund dessen variieren, wo sie produziert werden. Es werden Empfehlungen zur Beschaffung von Produkten oder Lokalisierung von zukünftigen Ackerflächen in Gebieten, die die Risiken auf die globale Säugetiervielfalt minimieren, vorgebracht.

Kapitel 6 bringt die vorangehende Arbeit zusammen, um eine konzeptionelle Rahmenstruktur zur internationalen Anwendung von Biodiversitätsausgleichsmaßnahmen zu entwickeln. Das Kapitel untersucht die Anwendung der Rahmenstruktur auf eine hypothetische Fallstudie von verbessertem Umweltschutz in Zentralkenia (unter Verwendung von Ergebnissen aus Kapitel 4), wobei Auswirkungen der Landnutzung auf mehreren Skalen in Ostafrika in Abhängigkeit von der Kenntnis des Produktionsstandortes kompensiert werden (unter Verwendung der Methode aus Kapitel 5). Das Kapitel wendet denselben Biodiversitätsindex an, um Auswirkungen der Landnutzung und Umweltschutzerfolge zu quantifizieren. Erfolge werden korrigiert, indem „Ausgleichsmultiplikatoren“ angewandt werden (basierend auf Kapitel 3), welche unsichere, riskante und verzögerte Umweltschutzerfolge in abgezinste Barwerte übersetzen, die mit gegenwärtigen Auswirkungen verglichen werden können. Wo der Standort der Auswirkungen ungewiss ist, wird auf Ausgleichsaktivitäten gezielt, wobei ein räumlicher Umweltschutzplanungsansatz verwendet wird, um Ausgleichsmaßnahmen mit Umweltschutzprioritäten in Einklang zu bringen. Daten zu Umweltschutzkosten und landwirtschaftlicher Produktion werden verwendet, um die wahrscheinlichen Ausgleichskosten pro Flächeneinheit oder Agrargut abzuschätzen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass „biodiversitätsneutrale“ Produktion mit einem Umweltschutzaufschlag auf den Ab-Hof-Preis von ca. 35%–280% (Spannweite der 25% und 75% Quartile der Werte) in Abhängigkeit der Skala der Wirkungsabschätzung (sub-national, national, regional), den inbegriffenen Kosten (z.B. reine Umweltschutzziele, öffentliche Förderung eines Schutzgebietes, Entwicklungshaushalt) und der Art kompensierter Auswirkung (Auswirkungen durch Besetzung oder Umwandlung) erreicht werden könnte. Für Endverbraucher im Globalen Norden würden die Preiserhöhungen wahrscheinlich niedriger sein, da die Produktionskosten einen kleineren Anteil der Endpreise bilden (möglicherweise Reduktion des Aufschlags um einen Faktor von 5–10). Diese Spannweite stellt eine grobe Abschätzung dar, welche viele vereinfachende Annahmen und methodische Entscheidungen umfasst. Weitere Forschung ist erforderlich, um eine konsistente konzeptionelle Grundlage zur Wertschätzung von Biodiversität zu entwickeln (z.B. basierend auf ökozentrischen oder anthropozentrischen Werten), einen angemessenen Abzinsungssatz für diese Werte zu wählen, und sich mit grundlegenden Unsicherheiten und beschränkter Datenverfügbarkeit zu befassen. Die ethischen, institutionellen und sozialen Gerechtigkeitsdimensionen der internationalen Ausgleichsmaßnahmen müssen zudem sorgfältig

berücksichtigt werden, bevor irgendein Vorhaben umgesetzt wird.

Kapitel 7 schließt die Dissertation mit einem Überblick der Kernaussagen ab. Eine kritische Analyse der Forschung als Ganzes mit Bezug auf Schwachstellen und potenzielle Verbesserungen wird präsentiert. Letztendlich werden die praktischen Konsequenzen der Arbeit hinsichtlich politischer Relevanz und Umsetzungsmöglichkeiten diskutiert. Dies schließt einen Überblick über Umweltschutzfinanzierungsmechanismen (zur internationalen Sammlung und Verteilung von Fonds) und eine kurze Besprechung des internationalen politischen Rahmens wie der Verpflichtungserklärungen nach dem Übereinkommen über die biologische Vielfalt und existierenden bilateralen und multilateralen Handelsabkommen durch die Welthandelsorganisation ein.