

Institute for Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics

University of Hohenheim

Prof. Dr. J. Sauerborn

**Rainforestation farming on Leyte island, Philippines –
aspects of soil fertility and carbon sequestration potential**

Dissertation submitted in fulfilment of the requirements for the degree

'Doktor der Agrarwissenschaften'
(Dr.sc.agr. / Ph.D. in Agricultural Sciences)

to the Faculty Agricultural Sciences

presented by

Carsten Marohn

Stuttgart

2007

8 Abstract

This study aimed at investigating rainforestation systems in Leyte, Philippines, under different aspects:

- Characterisation of relevant soils in Leyte with respect to physical, chemical and biological parameters relevant for tree growth,
- possible contributions of rainforestation to restoring soil fertility,
- performance of a recently planted rainforestation system under different microclimatic and soil conditions,
- potential of the rainforestation approach for projects under the umbrella of the Clean Development Mechanism (CDM).

In relation to growth conditions and as a basis for the assessment of rainforestation impact on soil characteristics, a thorough soil survey was carried out on 10 profiles across 8 rainforestation plots. Soils can be grouped by parent material into a volcanic and a calcareous category. The latter were formed on coralline limestone and are thus high in pH and available Ca^{2+} and Mg^{2+} . Contents of organic matter are high while concentrations of plant available P_{Bray} are low. Soils of the volcanic group are characterised by low pH and concentrations of basic cations as well as extremely low P_{Bray} contents. Organic matter levels are below those of the calcareous soils but still moderate. Volcanic soils could further be subdivided into a colluvial class of yellowish colour and moderately low bases and soils formed in situ. The latter are strongly weathered, reddish in colour and lower in pH and bases than the yellow group. Mixtures occur, where colluvial horizons have been superimposed on older soils.

In any of the analysed soils, N would not pose a limiting factor for tree growth. Pore volume and water infiltration were propitious for all sites, which is relevant in the context of erosion. However, lateral water flow on the clay horizons of Acrisols, Luvisols or Cambisols can lead to temporarily anaerobic conditions. For calcareous soils, drought and reduced rootability due to clayey subsoil posed the most relevant constraints.

The frequently claimed role of rainforestation in the rehabilitation of degraded soils was assessed in a paired plot approach. Chemical and biological soil parameters under 10 year old rainforestation were contrasted with such under adjacent fallow or *Gmelina sp.* plots. The most clear tendencies across all seven sampled sites were lower available Mg^{2+} and pH under rainforestation use. Other differences were less distinct; even when there were trends in the majority of sites, differences were often not statistically significant at the chosen level. Generally, a depletion of soil reserves e.g. in basic cations can be explained by uptake into the plants. A feed-back of these elements to the topsoil via leaf litter, however, could be observed only for available P at Marcos site: On the P-rich subsoil, concentrations in the topsoil (3.10mg/kg) were also elevated as compared to the underlying AB/Bt horizon (0.47mg/kg) and topsoils at other sites (0.7 to 1.98mg/kg)¹⁰¹. In conclusion, plant uptake of single elements can reach orders of magnitude, which can even lead to a clear reduction of soil stocks (e.g. significantly for Mg^{2+} in 6 of 10 cases). At the same time, generally lower pH under rainforestation (7 of 10 cases, four of them significant) may have contributed to elevated losses, especially of basic cations. A general improvement of the sampled soils in terms of chemical or biological characteristics through rainforestation could not be observed. In this sense rainforestation serves as a

101 In comparison of land uses per site, burning played a role for elevated topsoil P (under Marcos and Patag grassland).

bank for nutrients rather than immediate soil improver. Capital in form of nutrients can be withdrawn totally (clear cut) or in rates (by pruning and mulching).

To evaluate the performance of different promising tree species, a mixed-species tree system was installed on a 1ha plot. Six timber and four fruit species were planted, most of them native to the region. The concept of rainforestation, commonly understood as high-density closed canopy system was modified in so far as the usually dense tree spacing was changed into a 5x5m grid, interplanted with *Musa textilis* (abaca). The plot varied strongly on a small scale due to heterogeneous canopy closure and relief. Methodologically, the entire area was divided into 10 subplots in representative positions to be sampled. Soil physical and chemical properties, microbial activity, PAR and root density were determined and correlated to plant survival and growth at consecutive inventories. Due to the multitude of measured parameters a principal component analysis was employed first to identify groups of similar parameters. For *Musa textilis*, the most sensitive species, which was used as an indicator, logistic regressions were calculated to determine the influence of all relevant parameters on survival rates. Subplot characteristics had a strong effect on abaca performance, the most important predictors for survival being organic matter contents, parameters related to biological activity and leaf litter production, which resembled canopy closure and thus indirectly light intensity, but also reflect soil moisture. To assess growth, multiple regressions were formulated. This was done for biomass at five inventories and growth between these dates. C_{org} and N_{LOM} were the most relevant variables determining the regressions used for biomass and growth of abaca. Survival rates of tree species varied between 48 and 98%. Apparently, size and condition of the seedling at the time of transplanting played the most important role for performance.

Assessing the potential of rainforestation for CDM measures, the following observations were made: Smallholder agroforestry projects are generally eligible under the Clean Development Mechanism in the rubric of Afforestation/Reforestation¹⁰². In the context of this study, amounts of sequestered CO₂ during 10 and 20 years, respectively, were estimated under different management options using the WaNuLCAS model. Despite all given uncertainty associated with modelling, one very obvious finding was the dominant role of soil carbon for the plot balance: Appropriate soil management, especially during land preparation (e.g. clearing vs. enrichment planting) is of paramount importance. The carbon balance would turn out even more unfavourable in case of burning, which was not part of the modelling exercise. Erosion, on the other hand, did not affect carbon stocks significantly in an additional scenario. This is in accordance with the low erodibility found in the soil surveys, but may differ on a small scale, depending on vegetation cover, soil management or compaction, among others. Looking at the modelled contribution of various tree species to the carbon balance, *Musa textilis* had a significant influence only during the very first years; later on, the principal share of carbon was bound in the tree component. Here, *Gmelina arborea* built up biomass more quickly than a rainforestation plot composed of *Shorea contorta* and *Durio zibethinus*, but was then overtaken. In absolute quantities of CO₂ sequestration, magnitudes matched inventory and modelled data given in various literature sources for Leyte and the Philippines. Relative to inventory data by KOLB (2003) from two of the existing rainforestation sites, modelled values overestimated growth. This may have been caused by unfavourable weather conditions

102 under certain country-specific conditions and if the plot was not forested before 1990. See chapter 1 for more details.

(instead of complete real time data a three-year loop was used) or neglect of maintenance as well as inaccuracy and error propagation in context with the inventories.

9 Kurzfassung

Auf Leyte, Philippinen, wurde in den 1990er Jahren der Rainforestation-Ansatz zur Inwertsetzung degradiertter Flächen durch Aufforstung mit einheimischen Baumarten entwickelt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden auf bestehenden Rainforestation-Flächen folgende Aspekte untersucht:

- Standortkundliche Charakterisierung typischer Böden in Hanglagen im Hinblick auf physikalische, chemische und biologische Parameter;
- Beitrag der Rainforestation-Systeme zur Bodenrehabilitation im Vergleich mit traditionellen Landnutzungen;
- Identifizierung geeigneter Wuchsbedingungen einer Neupflanzung unter kleinräumig unterschiedlichen Boden- und Klimabedingungen;
- mittel- bis langfristige Potenziale zur CO₂-Sequestrierung einer Rainforestation-Pflanzung im Rahmen von Projekten des Clean Development Mechanism (CDM) mit Hilfe eines Wachstumsmodells.

Zunächst wurden Bodenprofile an 8 Rainforestation-Standorten gegraben und zur Charakterisierung der Bodeneigenschaften horizontweise beprobt. Die Böden in den Hanglagen Leytes können zunächst nach ihrer Entstehung aus Korallenkalk oder Vulkangestein unterschieden werden. Die Kalkböden (Cambisol und Leptosol) sind neben typischerweise alkalischen pH-Werten und hohen Gehalten an verfügbaren Ca²⁺- und Mg²⁺-Ionen durch niedrige Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphor gekennzeichnet. Die Vulkanböden (Luvisols, Cambisols, Nitisol) weisen dagegen in aller Regel pH-Werte zwischen 4 und 5, relativ geringe effektive KAK und extrem geringe P-Gehalte auf. Eine weitere Unterteilung der vulkanischen Standorte in Kolluvien und *in situ* entstandene Böden ist möglich.

Von den untersuchten Standorten waren die wenigsten hinsichtlich ihrer Humus- und Stickstoffgehalte unterversorgt. Auch Porenvolumen und Wasserinfiltration, beide relevant für Bodenerosion, wurden durchgehend als günstig eingestuft. Allerdings kann Hangzugwasser über B₇-Tonhorizonten wechselfeuchte Bedingungen hervorrufen. Besonders auf den Kalkböden kann das Pflanzenwachstum zudem durch temporäre Trockenheit und Verhärtung der tonreichen Unterböden eingeschränkt werden.

Im Zusammenhang mit der Durchführung von Rainforestation-Projekten wurde in der Vergangenheit oft die Vorzüglichkeit dieser Systeme bei der Rehabilitation übernutzter bzw. erodierter Hanglagen herausgestellt. Diese Aussage wurde mittels eines Vergleichs mindestens 10-jähriger Rainforestationflächen an 7 verschiedenen Standorten zu jeweils direkt benachbarten Brachen bzw. Aufforstungen mit *Gmelina arborea* untersucht. Dazu wurden Bodenproben der Flächen auf chemische und biologische Parameter hin analysiert und per t-Test verglichen. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Landnutzungen bestanden bei den pH-Werten und Gehalten an austauschbarem Mg²⁺, welche in Rainforestation-Böden unter denjenigen der jeweiligen Referenzflächen lagen. Für Ca²⁺ und P waren die Unterschiede weniger deutlich. Eine generelle Verarmung von Böden an basischen Kationen durch Festlegung in Pflanzen erscheint plausibel. So fand NYKVIST (1997) in malaysischen Waldökosystemen eine Einlagerung von 50% des im Ökosystem enthaltenen Ca²⁺ in der Pflanzenbiomasse. Zugleich würde eine mit der Sukzession einhergehende Versauerung des Bodens (wie von KELLMAN (1970) für Sekundärsukzessionen in Mindanao beschrieben) eine Entbasung, also den Verlust verfügbarer Kationen, des Bodens begünstigen. Dass Bäume als Nährstoffpumpen

fungieren können, konnte u.a. am Standort Marcos gezeigt werden. Der P-Gehalt im Oberboden lag dort mit über 3mg kg^{-1} deutlich über den gemessenen P-Gehalten im darunter liegenden Horizont mit 0.47mg kg^{-1} . Verbesserte Bodenfruchtbarkeit bzgl. chemischer oder biologischer Parameter durch Rainforestation konnte mit dem verwendeten Ansatz nicht festgestellt werden. Das System kann in diesem Sinne eher als Kapitalanlage von Nährstoffen angesehen werden, welche in unterschiedlichem Maße durch Rückschnitt oder Rodung wieder freigesetzt werden können.

Nahe einer der bestehenden Flächen wurde 2004 eine neue Rainforestation-Pflanzung, bestehend aus einheimischen Wertholzarten, Obstbäumen und *Musa textilis* (Abaca) angelegt. Hier wurde die Entwicklung der Pflanzen während der kritischen ersten Jahre hinsichtlich Überlebensraten und Biomassezuwachs während wiederholter Inventuren erfasst.

Da die Parzelle von einem Hektar Größe hinsichtlich Geländeform, Bodeneigenschaften und Kronenschluss kleinräumig stark variierte, wurden 10 deutlich voneinander verschiedene Teilflächen zur intensiven Beprobung gewählt. Durch die Auswahl wurde ein möglichst weiter Bereich an Umweltbedingungen abgedeckt. Bodenphysikalische und -chemische Parameter sowie mikrobielle Biomasse und Aktivität im Boden und photosynthetisch aktive Einstrahlung wurden ebenso erfasst wie die Streuproduktion und Wurzellängendichte der vorhandenen Vegetation. Diese Parameter wurden zu Überlebens- und Zuwachsraten von *Musa textilis* in der Neupflanzung in Beziehung gesetzt: Überlebenswahrscheinlichkeiten wurden für jede Position unter den gegebenen Umweltfaktoren mit Hilfe von Logit-Funktionen errechnet. Dabei waren die wichtigsten Standortfaktoren bzgl. der Überlebensraten Humusgehalt, biologische Aktivität im Boden und Streuproduktion. Alle drei Größen hängen wesentlich mit der Bodenfeuchte zusammen. Dies war von Bedeutung, da die höchste Mortalität von Abacapflanzen stets während Trockenperioden auftrat.

Zur Bewertung von Einflussgrößen auf Pflanzebiomasse und -wachstum wurden multiple Regressionen erstellt. Organischer Kohlenstoff und N in der leicht abbaubaren organischen Bodensubstanz waren die bedeutendsten Steuergrößen für Biomasse und Zuwachs von *M. textilis* in einer anschließenden Sensitivitätsanalyse.

Zur Bewertung des Potenzials kleinbäuerlicher Agroforstpflanzungen für CDM-Projekte wurde ein Modellansatz gewählt. Mit Hilfe des Modells WaNuLCAS (Water, Nutrients, Light and Carbon in Agroforestry Systems) wurden Wachstumsverläufe von Pflanzen auf Grundlage eigener Messungen von Standorteigenschaften (s.o.) und Pflanzenparametern simuliert. Dabei wurden über Zeiträume von 10 bzw. 20 Jahren CO_2 -Bilanzen für verschiedene Management-Varianten verglichen.

In allen Modellläufen war der C-Haushalt des Bodens von herausragender Bedeutung für die CO_2 -Bilanz der gesamten Parzelle. Damit erhalten Bodenschutzmaßnahmen wie Erosionsvermeidung und Humusmehrung besonderes Gewicht bei der Anlage und Pflege der Systeme.

Bei Betrachtung der in der Pflanzenmasse gespeicherten Mengen an CO_2 zeigte sich eine gute Übereinstimmung mit Literaturdaten von LASCO und Mitarbeitern für Leyte (diverse Publikationen, s. Kap. 6). Von KOLB (2003) erhobene Inventurdaten für zwei der beprobten Standorte wurden dagegen im Modell überschätzt. Ein nennenswerter Beitrag der schnellwachsenden *M. textilis* zur CO_2 -Sequestrierung ergab sich in den Modellsimulationen nur während der Anfangsphase. Spätestens zwei Jahre nach der Pflanzung wurde *M. textilis* jedoch ausschattiert und Bäume dominierten die CO_2 -Bilanz der Biomasse. Im Vergleich verschiedener Pflanzsysteme zeichnete sich *Gmelina arborea*

als Pionierart durch schnellen Aufbau von Biomasse, verbunden mit hoher CO₂-Fixierung, aus. Dieses System wird gewöhnlich im Aufforstungsansatz staatlicher Programme favorisiert. Eine dem Rainforestation-Ansatz entsprechende Kombination einheimischer Nutzholz- und Obstbaumarten benötigte dagegen längere Zeit zur Entwicklung, nahm aber insgesamt über knapp 20 Jahre größere Mengen an CO₂ auf.