

## Abstract

The global increasing demand for vegetable oils for food, hygiene products and energy production together with the high crop yields of palm oil fosters the rapid growing of the palm oil industry.

This thesis aims to assess strategies to 1) optimize the use of residual biomass from crude palm oil (CPO) production regarding the sector's greenhouse gas (GHG) emissions from current residue treatment and to 2) formulate recommendations for emission reduction measures on the basis of an improved material management. Empirical data was collected by conducting field research in Indonesia on material-, energy-, and substance flows. Residual biomass (empty fruit bunch (EFB), fibre and shell) was analyzed and measurements of nitrous oxide and methane derived from residual biomass were made using a flux chamber and a photo-acoustic gas monitor. To assess the use of the residual biomass, treatment options were evaluated according to their potential to reduce GHG emissions including energy and nutrient recovery.

The results of the material flow analysis show that 18% of the input fresh fruit bunch (FFB) remains as product (crude palm oil, CPO), the rest remains as residual biomass. The palm oil fruit processing (mill) is self-sufficient by the use of 80% of fibre and 20% of shell residues. Optimizing the use of residual biomass from CPO production with regard on their GHG reduction potential, the benefit of nutrient recovery is less than 15% of the reduction potential by using the residual biomass for energy production.

The current emissions were quantified during field measurements using photospectroscopy (INNOVA 1412-5) as  $12.7 \pm 7.1$  (arithmetic mean, standard deviation) kg CO<sub>2</sub>-eq/t CPO for EFB,  $n= 1\ 831$ ,  $18.1 \pm 13.1$  kg CO<sub>2</sub>-eq/t CPO for fibre ( $n= 1\ 511$ ) and  $5.2 \pm 0.1$  kg CO<sub>2</sub>-eq/t CPO for shell residues ( $n= 611$ ).

In conclusion, the energy production from residual biomass of CPO production is the preferable option turning the CPO production into a net saver of GHG emissions (reduction of around 130% of the current GHGs from 2 760 to -900 kg CO<sub>2</sub>-eq/t CPO). Maximizing the nutrient recovery, a reduction of roughly 85% of the current emissions is possible. In principal, changing the current treatment practice away from dumping to a managed application on soil, a reduction of the GHG emissions of the residues (30% for solid and 50% for liquid) is possible. This can be achieved by inexpensive process technological changes and raising of awareness of people dealing with residual biomass.

## Kurzfassung

Der Palmölsektor verzeichnet aufgrund der weltweit steigenden Nachfrage nach Pflanzenölen für Nahrungsmittel, Hygieneprodukte und Energie sowie hohen spezifischen Flächenerträgen ein rasantes Wachstum.

Ziel dieser Arbeit ist, 1) optimierte Behandlungsstrategien für Biomassereststoffe aus der Palmölproduktion zu bewerten, um die Treibhausgas (THG) Emissionen dieses Sektors zu quantifizieren und 2) Empfehlungen für Maßnahmen zur Emissionsreduktion auf Basis eines verbesserten Biomassereststoffmanagements zu formulieren. Die Daten wurden für Material-, Energie- und Stoffströme durch Feldforschungen in Indonesien ermittelt. Neben der Analyse von Biomassereststoffe (leere Fruchtbündel (EFB), Fasern und Schalen) wurden Messungen von Lachgas und Methan mittels Flusskammer und Photoakustik durchgeführt. Um die Verwertung der Biomassereststoffe zu optimieren, wurden Behandlungsstrategien (Energie- und Nährstoffrückgewinnung) im Hinblick auf deren THG Emissionsreduktionspotenzial untersucht, wobei Bewusstseins-schärfung und kostengünstige Technologien im Fokus standen.

Die Ergebnisse der Stoffstromanalyse zeigen, dass 18% des Inputs FFB (frische Frucht Bündel) als Produkt Roh-Palmöl (CPO) verbleiben, der Rest als Biomasse-Reststoff. Dabei sind die Palmöl-Mühlen dann energetische Selbstversorger, wenn 80% der Fasern und 20% der anfallenden Schalenreststoffe genutzt werden. Der Nutzen der Nährstoffrückgewinnung stellt weniger als 15% des Reduktionspotentials der energetischen Nutzung der Biomasse-Reststoffe dar, sofern das Treibhausgas-Reduktionspotential im Fokus steht. Die gemessenen Emissionen betragen  $12,7 \pm 7,1$  kg (Mittelwert, Standard Abweichung)  $\text{CO}_2\text{-}\ddot{\text{a}}\text{q}/\text{t}$  Rohpalmöl (CPO) für leere Fruchtbündel,  $n=1\ 831$ ,  $18,1 \pm 13,1$  kg  $\text{CO}_2\text{-}\ddot{\text{a}}\text{q}/\text{t}$  CPO für Fasern ( $n=1\ 511$ ) und  $5,2 \pm 0,1$  kg  $\text{CO}_2\text{-}\ddot{\text{a}}\text{q}/\text{t}$  CPO für Schalen aus der Palmölproduktion ( $n=611$ ).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei einer Optimierung des Biomasse-Reststoffmanagements die Energieerzeugung aus den Reststoffen zu bevorzugen ist (130% Reduktion der gegenwärtigen Emissionen von 2 760 auf  $-900$  kg  $\text{CO}_2\text{-}\ddot{\text{a}}\text{q}/\text{t}$  CPO). Bei einer Maximierung der Nährstoffrückgewinnung aus den Biomassereststoffen ist eine Reduzierung von etwa 85% möglich. Grundsätzlich ist durch eine einfache Änderung der gegenwärtigen Behandlungspraxis der Biomassereststoffe eine signifikante Reduktion der THG-Emissionen möglich (feste Rückstände 30%, flüssige Rückstände ca. 50% Reduktion). Diese Verbesserungen können ohne kostenintensive Technologien durch Sensibilisierung und Training der Personen, welche die Biomassereststoffe managen, erreicht werden.