

Abwasser- und Abfallverwertung in Palmölmühen als Beitrag zum Klimaschutz

Frank Schuchardt*, Heinz Stichnothe* und Klaus-Dieter Vorlop*

Zusammenfassung

Zur Herstellung einer Tonne Palmöl werden etwa 5 t Fruchtstände benötigt. Bei der Verarbeitung in der Mühle fallen daraus etwa 1,15 t leere Fruchtstände und 3,25 m³ organisch hoch belastetes Abwasser an (CSB_{tot}: 50.000 mg/L). Üblicherweise wird das Abwasser vor der Einleitung in den Vorfluter in anaeroben Teichen behandelt, wobei das klimarelevante Schadgas Methan (CH₄) entweicht. Bei der Deponierung der leeren Fruchtstände entsteht neben Methan auch Lachgas (N₂O). Durch eine Co-Kompostierung der zerkleinerten leeren Fruchtstände mit dem Abwasser in offenen Mieten kann das gesamte Wasser verdunstet werden und alle Nährstoffe im Endprodukt Kompost bzw. Mulch vereinigt werden. Dadurch können die Emissionen von Treibhausgasen von 245 auf 7,4 kg CO₂eq/t Fruchtstände reduziert werden. Werden die leeren Fruchtstände als Mulch in der Plantage verwendet und das Abwasser in Teichen behandelt, so verringert sich das Emissionspotenzial von 245 auf 125 kg CO₂eq/t Fruchtstände. Durch eine vorherige Biogasgewinnung aus dem Abwasser ist eine Verringerung der Emissionen von 7,4 auf 5,1 kg CO₂eq/t Fruchtstände möglich. Entweicht mehr als 2 % des Methans aus der Biogasanlage und der nachfolgenden Lagerung des behandelten Abwassers in die Atmosphäre, so hat die Biogasgewinnung einen negativen Effekt auf die Gesamtbilanz. In der Praxis ist häufig mit Methanverlusten von mehr als 2 % zu rechnen.

Stichworte: Palmöl, Ökobilanz, Abwasser, Abfall, leere Fruchtstände, Kompostierung, Biogas

Summary

Waste water and waste utilisation in palm oil mills as contribution to climate protection

For the production of one tonne of palm oil 5 tonnes of fresh fruit bunches are necessary. During processing in the oil mill 1.15 t empty fruit bunches and 3.25 m³ of waste water with high organic pollution (COD_{tot} 50,000 mg/L) accrue. Usually the waste water is treated in anaerobic ponds before precipitation to the recipient. From the ponds the greenhouse gas methane escapes (CH₄). From the dumping sites of empty fruit bunches both methane and laughing gas (N₂O) are emitted. By co-composting of chopped empty fruit bunches with waste water in open windrows the total amount of water can be evaporated and the nutrients can be aggregated in the final product compost or mulch. Thereby the emissions of greenhouse gases can be reduced from 245 to 7.4 kg CO₂eq/t fruit bunches. When the empty fruit bunches are utilised in plantations as mulch and the waste water is treated in ponds, the greenhouse gas potential is reduced from 245 to 125 kg CO₂eq/t fruit bunches. By a previous biogas production from the waste water an emissions reduction from 7.4 to 5.1 kg CO₂eq/t fruit bunches is possible. Is the methane loss rate to the atmosphere from the biogas plant and the post-storage more than 2 %, the biogas plant has a negative effect on the total greenhouse gas balance. In practice the methane emissions are many times higher than 2 %.

Keywords: Palm oil, life cycle assessment, LCA, waste water, POME, empty fruit bunch, EFB, composting, biogas

* Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig
E-Mail: frank.schuchardt@vti.bund.de

1 Einleitung

Palmöl ist weltweit neben Sojaöl das wichtigste Pflanzenöl (Tabelle 1). Durch die vergleichsweise hohen Flächenerträge bei geringeren Produktionskosten hat der Anbau an Ölpalmen in den letzten Jahren weltweit stark zugenommen (Corley, 2009). So hat zum Beispiel in Indonesien, dem weltweit größten Palmölproduzenten im Zeitraum 2000 bis 2009, die Fläche an reifen Ölpalmen um jährlich 10 % oder 250.000 ha zugenommen, die Ölproduktion jährlich um 17,4 %, entsprechend 1,25 Mio. t (USDA, 2009). Insbesondere durch Landnutzungsänderung und Zerstörung von Regenwäldern ist Indonesien zum drittgrößten Emittenten von klimarelevanten Schadgasen geworden (PEACE, 2007).

Tabelle 1:

Erträge an Pflanzenöl, Weltproduktion und Fläche 2008 (Basiron and Kheong, 2009)

	Ertrag t/ha	Produktion 1.000 t	Anteil %	Fläche Mio. ha
Palmöl	3,68	42,73	31,2	11,6
Sojaöl	0,36	38,25	28,0	106,3
Rapsöl	0,59	19,71	14,4	33,4
Sonnenblumenöl	0,42	10,72	7,8	25,5
9 andere	-	25,34	18,6	-
Summe	-	136,75	100	176,8

Da Palmöl sowohl als Speiseöl, Rohstoff für die chemische Industrie als auch als Energieträger verwendet werden kann, besteht eine Konkurrenzsituation zwischen diesen Nutzungsalternativen. Unter Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums und des vorausgesagten steigenden Pro-Kopf-Verbrauchs bis 2050 wird mit einer Verdoppelung des gegenwärtigen Verbrauchs gerechnet. In den Hauptproduktionsländern Indonesien, Malaysia, Thailand, Kolumbien und Papua New Guinea werden gegenwärtig auf etwa 11 Millionen ha Ölpalmen angebaut. Bis 2050 wird mit einer Verdoppelung der Anbauflächen gerechnet, was zu einer starken Zunahme der Emissionen klimarelevanter Schadgase führen dürfte (Corley, 2009).

Besondere Bedeutung haben die Emissionen klimarelevanter Schadgase bei der Produktion von Palmöl auch für den Standort Deutschland vor dem Hintergrund gesetzlicher Regelungen durch die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV, 2010) und die Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV, 2010), in denen eine Minderung der Emissionen klimarelevanter Schadgase um 35 % im Vergleich zu fossilen Energieträgern gefordert wird, sofern Palmöl zur Energieerzeugung bzw. zur Biodieselproduktion verwendet wird.

Eine nachhaltige Palmölproduktion wird bestimmt durch die Landnutzung, die Landnutzungsänderung, das Plantagenmanagement und die Verarbeitung der Früchte in der Ölmühle. Ein wesentlicher Faktor ist das Düngungsmanagement, insbesondere die Stickstoffanwendung, in der Plantage (Chan, 2005). Daneben spielt aber auch die Ölmühle selbst, hier vor allem das Abwasser- und Abfallmanagement, eine wesentliche Rolle (Stichnothe und Schuchardt, 2010a). Bei schlechtem Management entfallen, ohne Berücksichtigung der Emissionen durch Landnutzung und Landnutzungsänderung, bis zu 77 % der Emissionen von Treibhausgasen (ausgedrückt als CO₂eq) auf das Abwasser und den Abfall. Der Rest entsteht zum größten Teil in der Plantage; die Ölmühle selbst und der Transport sind in der Gesamtbilanz unbedeutend (Stichnothe und Schuchardt, 2010b).

Während es eine Reihe von Veröffentlichungen über Palmöl als erneuerbare Energieressource gibt (Tamunaidu, 2007; ICTSD, 2008; Wicke, 2008; Joelianingsih, 2008; Sumathi, 2008; Chew and Bhatia, 2008; Tan, 2009), einige über die Ökobilanz (Life Cycle Assessment) der Landnutzung und das Plantagenmanagement (Hansen, 2007; Schmidt, 2007; Rettenmaier et al., 2007; Yusoff and Hansen, 2007; Schmidt et al., 2009), ist über das Abwasser- und Abfallmanagement in der Ölmühle bisher nur wenig publiziert worden (Yusoff and Hansen, 2007; Subramaniam, 2008; Stichnothe und Schuchardt, 2010a). In der vorliegenden Publikation wird auf der Grundlage einer Ökobilanz insbesondere das Abwasser- und Abfallmanagement in der Ölmühle betrachtet und ihr Einfluss auf das Klima.

2 Abwasser- und Abfallmanagement in Palmölmühlen

Zur Herstellung einer Tonne Palmöl werden etwa 5 t Fruchtstände (Fresh Fruit Bunches, FFB) benötigt. Bei der Verarbeitung in der Mühle fallen etwa 1,15 t leere Fruchtstände (Empty Fruit Bunches, EFB) und 3,25 m³ Abwasser (Palm Oil Mill Effluent, POME) an (Schuchardt et al. 2008). Neue Techniken können die Abwassermenge, nicht aber die darin enthaltenen spezifischen Nährstoffmengen stark reduzieren (Schuchardt et al. 2008). Die Abbildung 1 zeigt schematisch den Prozess der Palmölproduktion. Aus den aus der Plantage zur Ölmühle transportierten Fruchtständen (FFB) werden das Palmöl und die Palmkerne mit dem darin enthaltenen Palmkernöl gewonnen. Aus der Verbrennung der Pflanzenfasern der Ölfrucht und den Schalen des Fruchtkerns wird in einem Kraftwerk Dampf und Strom erzeugt. Dadurch kann die Ölmühle energieautark, unabhängig vom Stromnetz, arbeiten. Sofern Überschüsse an Pflanzenfasern und Schalen anfallen, werden diese als Energieträger verkauft.

Die leeren Fruchtstände und das Abwasser sind reich an Pflanzennährstoffen und organischer Masse und haben tolerable Schwermetallgehalte, daher sind sie sehr gut

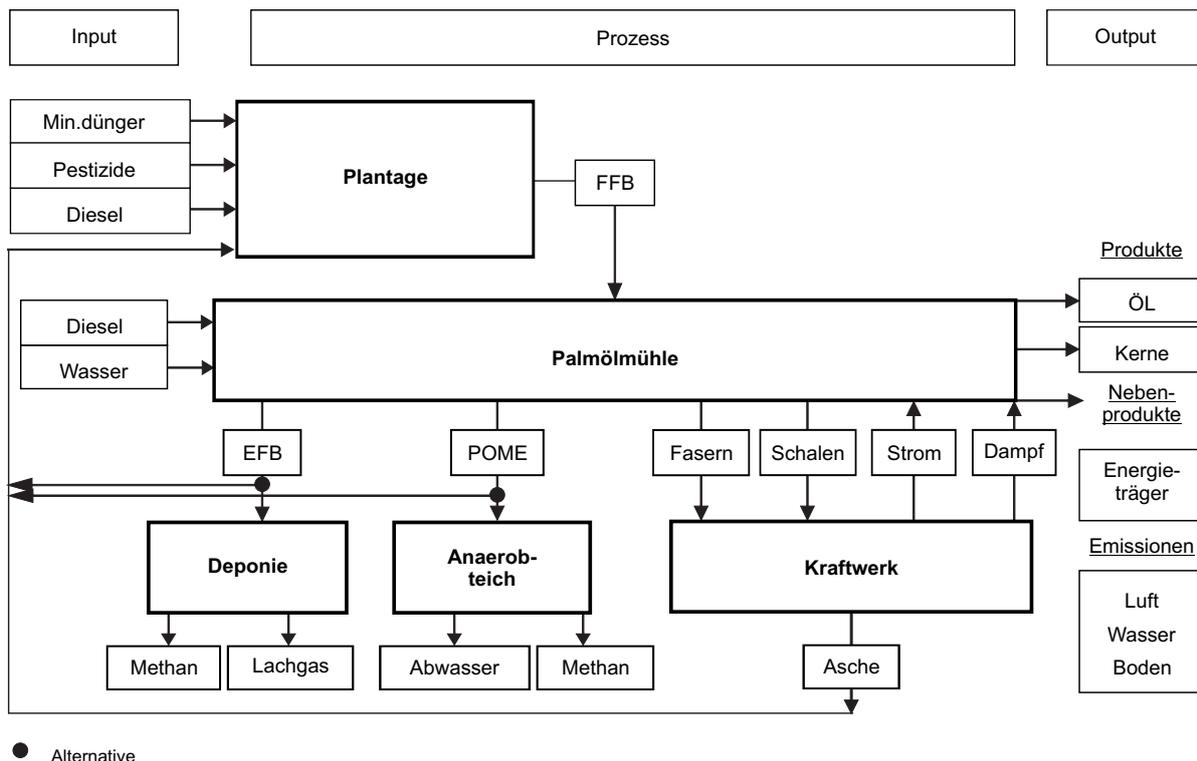


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Stoffströme bei der konventionellen Palmölproduktion

zur Verwendung als Pflanzendünger und Bodenverbesserer geeignet (Tabelle 2). Das organisch hoch belastete Abwasser (CSB-gesamt 50.000 mg/L) wird in offenen anaeroben Teichsystemen behandelt und in den Vorfluter geleitet. Das dabei im Biogas enthaltene Methan entweicht in die Atmosphäre. Nur einige Ölmühen verwenden das nährstoffreiche Abwasser in den Plantagen, häufig aus Kostengründen in Anwendungsraten, die weit über dem Nährstoffbedarf der Ölpalmen liegen und damit zu einer Umweltbelastung durch Überdüngung führen. Die leeren Fruchtstände (EFB) werden als Mulch in die Plantage zurück geführt oder deponiert, wobei Methan und Lachgas entstehen und in die Atmosphäre entweichen.

Um die Umweltbelastung durch Methan und Lachgas aus der Deponie der EFB und den Anaerobteichen zu vermeiden und die Nährstoffe zu erhalten, wurde ein Verfahren der Co-Kompostierung von leeren Fruchtständen und Abwasser entwickelt und in der Praxis etabliert (Schuchardt et al., 1998; Schuchardt et al., 2002 a; Schuchardt et al., 2002 b; Schuchardt et al., 2008; Indon. Patent, 2007). In dem Verfahren werden die leeren Fruchtstände zerkleinert und in offenen Mieten unter diskontinuierlicher Zugabe des Abwassers, frisch oder nach anaerober Fermentation in einer Biogasanlage, kompostiert (Abbildung 2). Durch geeignete Prozessführung ist es möglich, das gesamte Wasser zu verdunsten und die Nährstoffe beider in einem

Tabelle 2: Zusammensetzung von leeren Fruchtständen (EFB) und Abwasser (POME)

			EFB	POME
Masse	m	kg/t FFB	0,23	0,65
Trockenmasse	TM	kg/t	350	41
Organ. TM	OTM	kg/t DM	937	-
pH	-	-	5,6	4,3
Schüttdichte	-	t/m ³	0,35	1
CSDges.	CSB	kg/m ³	-	50
Kohlenstoff	C	kg/t DM	432	370
C/N	C/N	-	54	20
Stickstoff	N	kg/t DM	8,0	18,3
Phosphor	P	kg/t DM	0,97	4,39
Kalium	K	kg/t DM	24,0	55,4
Calcium	Ca	kg/t DM	1,80	10,73
Magnesium	Mg	kg/t DM	1,80	15,12
Blei	Pb	g/t DM	1,80	7,1
Cadmium	Cd	g/t DM	< 0,3	< 0,3
Chrom	Cr	g/t DM	49,9	54,0
Kupfer	Cu	g/t DM	14,0	30,6
Nickel	Ni	g/t DM	30,5	1,34
Quecksilber	Hg	g/t DM	< 0,5	< 0,5
Zink	Zn	g/t DM	37,9	80,2

Produkt (je nach Zeitdauer der Kompostierung als Kompost bzw. als Mulch) zu vereinigen.

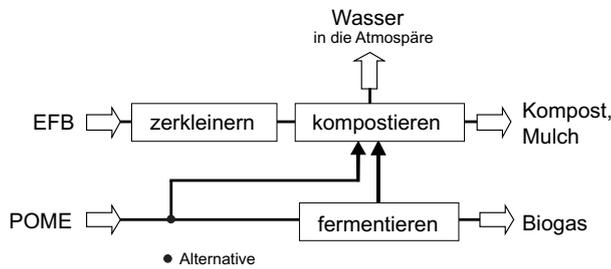


Abbildung 2: Verfahren zur Co-Kompostierung von leeren Fruchtständen und Abwasser

In der Praxis sind folgende Alternativen für das Abwasser und die leeren Fruchtstände anzutreffen:

1. Behandlung des Abwasser in anaeroben Teichen, Deponierung der leeren Fruchtstände,
2. Behandlung des Abwasser in anaeroben Teichen, Verwendung der leeren Fruchtstände als Mulch in Plantagen,
3. Co-Kompostierung von leeren Fruchtständen und Abwasser und
4. Co-Kompostierung von leeren Fruchtständen und Abwasser nach vorheriger Biogasgewinnung in einem Fermenter.

Zur Verbreitung der Alternativen gibt es keine statistischen Zahlenangaben. In der Praxis sind zumeist die Alternativen 1 und 2 anzutreffen. Von den etwa 800 Palmölmühlen in Indonesien und Malaysia haben in den letzten 5 Jahren etwa 50 die Alternative 3 etabliert bzw. geplant. Die Anzahl der Ölmühlen mit Biogasproduktion aus dem Abwasser, Alternative 4, liegt nach vorliegenden Informationen im einstelligen Bereich.

3 Klimarelevante Schadgase aus Abwasser und leeren Fruchtständen

Die Abbildung 3 zeigt die vier im Rahmen der Publikation betrachteten Alternativen der Beseitigung bzw. Verwertung der EFB und des Abwassers

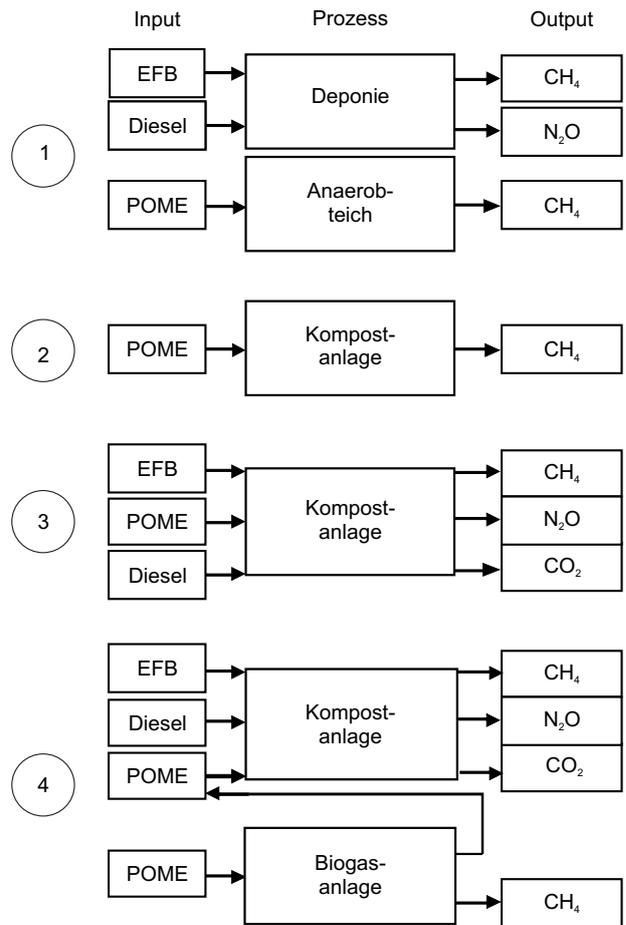


Abbildung 3: Alternativen der Beseitigung bzw. Verwertung der EFB und des Abwassers (POME)

Zur Berechnung der Emissionen klimarelevanter Schadgase wurden für die genannten Alternativen 1 bis 4 folgende Daten bzw. Annahmen zugrunde gelegt:

Alternative 1

Für die Abwasserteiche wird mit $12,5 \text{ m}^3$ (9 kg) CH_4/m^3 Abwasser bzw. $8,1 \text{ m}^3$ ($5,8 \text{ kg}$) CH_4/t FFB gerechnet (Wulfert et al., 2002, Schuchardt et al., 2001). Die Methanemissionen aus den anaeroben Teichen sind wegen der wesentlich längeren Verweilzeiten des Abwassers und den daraus resultierenden höheren Abbauraten der suspendierten Bestandteile im Vergleich zu Biogasfermentern deutlich höher. Da Emissionsdaten bei der Deponierung von EFB in der Literatur fehlen, wurden auf der Grundlage von IPCC-Daten für „Moderately degrading waste“ 35 % anaerobe Bedingungen angenommen beim Abbau von 49 % biologisch abbaubaren Kohlenstoffs (Schuchardt et al., 1998) und eine Umsetzung von 0,5 % des Stickstoffs zu N_2O (IPCC, 2006 a). Für den Transport zur Deponie wurde eine Entfernung von 10 km angenommen.

Alternative 2

Methanemissionen aus den anaeroben Teichen: Wie Verwertungsweg 1.

Alternative 3

Auch für die Kompostierung von EFB und Abwasser fehlen Messdaten. Es wird mit einer Umwandlung von 1 % des Kohlenstoffs in Methan und 0,5 % des Stickstoffs in Lachgas gerechnet (IPCC, 2006 b). Daneben werden durch den direkten und indirekten Energieeinsatz bei der Kompostierung (Mietenumsetzgerät, Transporte innerhalb der Anlage, Hilfs- und Schmierstoffe) klimarelevante Schadgase freigesetzt. Bei schlechter Prozessführung (niedrige Umsetzintervalle und Wassergehalte oberhalb der Wasserbindefähigkeit der EFB mit der Folge größerer anaerober Bereiche im Mietenkörper) können die CH₄-Emissionen bis auf 5 % des Kohlenstoffgehalts und die N₂O-Emissionen auf 1 % des Stickstoffs ansteigen (IPCC, 2006 b).

Alternative 4

Durch die Behandlung des Abwassers in einem Fermenter können 8,7 m³ (6,3 kg) CH₄/m³ Abwasser bzw. 5,7 m³ (4,1 kg) CH₄/t FFB gewonnen werden (Wulfert et al., 2002, Schuchardt et al., 2001). Das behandelte Abwasser kann wie in Alternative 3 beschrieben zur Co-Kompostierung eingesetzt werden. Aus der Biogasanlage selbst können in Abhängigkeit vom Abbaugrad, der hydraulischen Verweilzeit, den Nachlagerbedingungen und dem technischen Zustand der Anlage 0,1 bis 8,6 % des Methans in die Atmosphäre entweichen (FNR, 2009). Daher wurden in einer Sensitivitätsanalyse Methanemissionen von Null bis 8 % variiert.

Die Berechnung der klimarelevanten Treibhausgase (THG), ausgedrückt als kg CO₂-Äquivalent je Tonne frische Fruchtstände (kg CO₂eq/t FFB) erfolgte mit dem Programm GaBI 4.3 (PE Europe, 2003) und der Methode CML 2001 (Guinée, 2002).

4 Ergebnisse

Alternative 1

Während aus dem Abwasserteich etwa 125 kg CO₂eq/t FFB als Methan entweichen, sind dies aus der Deponie der leeren Fruchtstände etwa 112 kg CO₂eq/t FFB als Methan und 7 kg CO₂eq/t FFB als Lachgas. Da beim Transport nur 1 kg CO₂eq/t FFB anfällt, entstehen bei dieser Alternative insgesamt 245 kg CO₂eq/t FFB.

Alternative 2

Aus dem Abwasserteich entweichen etwa 125 kg CO₂eq/t FFB als Methan.

Alternative 3

Das Treibhauspotenzial der Kompostierungsanlage beträgt lediglich 16,6 kg CO₂eq/t FFB und wird zu 99 % durch die Emissionen aus den biologischen Prozessen in der Miete bestimmt (Abbildung 4). Alle anderen Emissionen aus dem Prozess (z.B. Treibstoffverbrauch des Umsetzers und für den Transport) sind vernachlässigbar. Die Emissionen durch den Stromverbrauch zur Zerkleinerung der leeren Fruchtstände werden nicht berücksichtigt, da die Ölmühle den Strom selbst aus der Verbrennung der Fasern und Schalen der Fruchtstände produziert. Unter ungünstigen Bedingungen bei der Kompostierung, hohe Wassergehalte und niedrige Umsetzfrequenz, nehmen die anaeroben Bedingungen zu und das Treibhauspotenzial kann bei CH₄-Emissionen von 5 % des Kohlenstoffs und 1 % des Stickstoffs als N₂O von 16,6 auf 78 kg CO₂eq/t FFB ansteigen

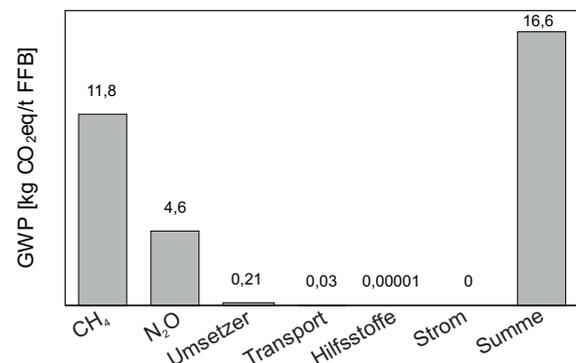


Abbildung 4:

Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) bei der Co-Kompostierung von leeren Fruchtständen (EFB) und Abwasser (POME)

Alternative 4

Neben den Emissionen aus der Kompostierung, 16,6 kg CO₂eq/t FFB, entsteht aus der anaeroben Fermentation Biogas, 5,7 m³ (4,1 kg) CH₄/t FFB.

Aus der Berechnung der Gesamtbilanz für die Co-Kompostierung von leeren Fruchtständen und Abwasser ergibt sich eine Emission von 7,4 kg CO₂eq/t FFB (Abbildung 5). Dabei sind Gutschriften berücksichtigt für den Ersatz von mineralischem Stickstoffdünger (Ammoniumnitrat) und anderen Mineräldüngern (Dreifach Superphosphat, Kaliumchlorid und Magnesiumsulfat). Sofern aus dem Abwasser zuvor Biogas gewonnen wurde, ergibt sich eine zusätzliche Gutschrift für den Ersatz von Erdgas. Die Ge-

samtemissionen verringern sich dadurch von 7,4 auf 5,1 kg CO₂eq/t FFB. Die Emissionen aus dem Transport, dem Betrieb des Mietenumsetzgeräts sowie dem Einsatz von Hilfsstoffen sind vernachlässigbar.

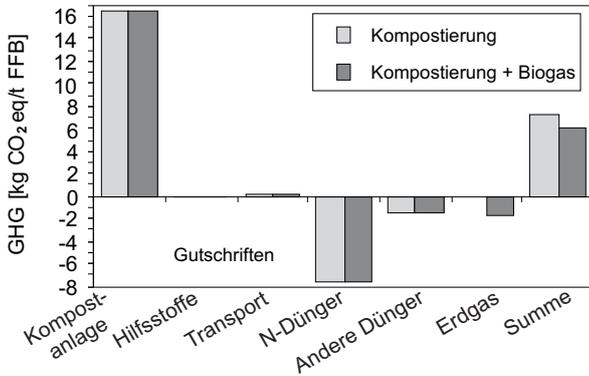


Abbildung 5: Treibhauspotenzial (Global Warming Potential GWP) bei der Co-Kompostierung von leeren Fruchtständen und Abwasser ohne und mit vorheriger Biogasgewinnung

Steigen die CH₄-Verluste der Biogasanlage, einschließlich der Nachlagerung des behandelten Abwassers, auf über 2 % an, so ist das Treibhauspotenzial der Biogasanlage größer als bei direkter Kompostierung mit dem frischen Abwasser (Abbildung 6). In der Praxis landwirtschaftlicher Biogasanlagen wird dieser Wert häufig überschritten (FNR, 2009). Die Investitionskosten für Biogasanlagen sind erheblich und Abnehmer für das Biogas gibt es in der Nähe von Ölmühlen kaum, daher verschlechtert die Biogasanlage die Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses der Abwasser- und Abfallbehandlung (Schuchardt et al., 2008).

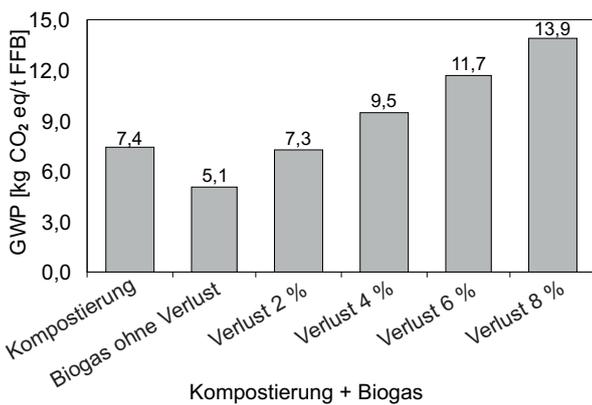


Abbildung 6: Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) bei der Co-Kompostierung mit und ohne vorherige Biogasgewinnung aus den leeren Fruchtständen bei unterschiedlich hohen Biogasverlusten in der Anlage bzw. Nachlagerung

Im Vergleich zur Variante 1 (Abwasser in anaeroben Teichen, leere Fruchtstände in Deponien) kann durch die Variante 3 (Co-Kompostierung von leeren Fruchtständen und Abwasser) das Treibhauspotenzial um 97 % gesenkt werden (Abbildung 7). Selbst gegenüber der häufig anzutreffenden Variante 2 (Abwasser in anaeroben Teichen, leere Fruchtstände als Mulch in Plantagen) ist eine Verringerung um 94 % möglich. Eine zusätzliche Gewinnung von Biogas aus dem Abwasser vor der Kompostierung führt im Vergleich zu Variante 3 nur zu einer geringen Verminderung des Treibhauspotenzials; die Biogasgewinnung birgt jedoch Risiken und kann sich durch Leckagen negativ auf das Treibhauspotential auswirken.

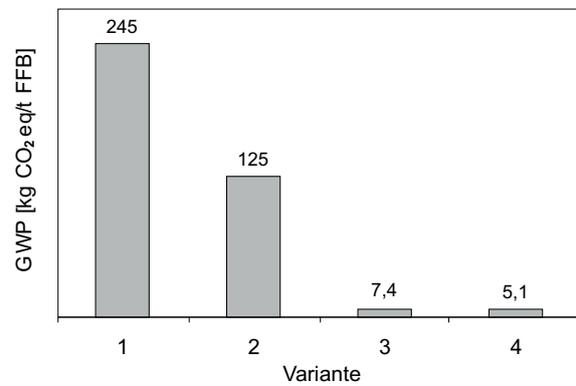


Abbildung 7: Treibhauspotenzial (Global Warming Potential GWP) bei verschiedenen Varianten (siehe Text) des Abwasser- und Abfallmanagements in Palmölmühlen

Schlussfolgerungen

Die herkömmliche Praxis der Behandlung von Abwasser aus Palmölmühlen in anaeroben Teichen führt ebenso wie die Deponierung der leeren Fruchtstände zu hohen Treibhausgasemissionen. Durch die Verwendung der leeren Fruchtstände als Mulch in Plantagen können die Emissionen um die Hälfte gesenkt werden. Erst durch eine Co-Kompostierung von leeren Fruchtständen und Abwasser können die Emissionen drastisch reduziert werden. Die Datengrundlage der Berechnung beruht zu einem größeren Teil auf Zahlen von IPCC (IPCC, 2006 a; IPCC, 2006 b) und zu einem geringeren Teil auf Ergebnissen eigener Untersuchungen. Da die Emissionen klimarelevanter Schadgase aus dem Abwasser- und Abfallmanagement wesentlich sind für die Gesamtemissionsbilanz sind weitere Messungen bei der Kompostierung und Deponierung von leeren Fruchtständen notwendig.

Die Biogasgewinnung aus dem Abwasser vor einer Co-Kompostierung bringt nur dann eine Verringerung in der Gesamtbilanz der Treibhausgasemissionen, wenn die Methanverluste aus der Biogasanlage und der nachfolgenden

Lagerung des Abwassers vor der Kompostierung kleiner als 2 % sind. Dieser Wert ist unter Praxisbedingungen häufig nur schwer einzuhalten.

Relevante Minderungen der Treibhausgasemissionen in dem Umfang wie in der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV, 2010) und der Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung (BioSt-NachV, 2010) gefordert, sind nur durch eine Optimierung des Abwasser- und Abfallmanagements in der Ölmühle zu erreichen. Minderungen durch verbessertes Düngungsmanagement in der Plantage, neue Palmölsorten mit höheren Ölerträgen und höhere Ölausbeuten in der Ölmühle durch neuere Technik und verbessertes Management werden dagegen nur als gering angesehen.

Literatur

- Basiron Y, Kheong Y (2009) Potential of palm oil for developing countries and role in the food and fuel debate. *Global Oils Fats* 6(2):1-8
- Biokraft-NachV (2010) Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung vom 30. September 2009 (BGBl. I S. 3182), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 22. Juni 2010 (BGBl. I S. 814) geändert worden ist [online]. Zu finden in <<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/biokraft-nachv/gesamt.pdf>> [zitiert am 18.03.2011]
- BioSt-NachV (2010) Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung vom 23. Juli 2009 (BGBl. I S. 2174), die durch Artikel 2 des Gesetzes vom 31. Juli 2010 (BGBl. I S. 1061) geändert worden ist [online]. Zu finden in <<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/biost-nachv/gesamt.pdf>> [zitiert am 18.03.2011]
- Chan KW (2005) Best-developed practices and sustainable development of the oil palm industry. *J Oil Palm Res* 17(December 2005):124-135
- Chew TL, Bhatia S (2008) Catalytic processes towards the production of bio-fuels in a palm oil and oil palm biomass-based biorefinery. *Biores Technol* 99:7911-7922
- Corley RHV (2009) How much palm oil do we need? *Environ Sci Pol* 12:134-139
- Fachagentur Nachhaltigende Rohstoffe (2009) Biogas-Messprogramm II : 61 Biogasanlagen im Vergleich. Gülzow : FNR, 168 p
- Guinée JB (ed) (2002) Handbook on life cycle assessment : operational guide to the ISO standards. Dordrecht : Kluwer, 692 p
- Hansen S (2007) Feasibility study of performing a life cycle assessment on crude palm oil production in Malaysia. *Int J LCA* 12(1):50-58
- ICTSD (2008) Biofuel production, trade and sustainable development [online]. Zu finden in <<http://ictsd.org/publications/46253/?view=document>> [zitiert am 31.03.2011]
- Indon. Patent (2007) P-00200400378; ID 0019277 vom 9. Mai 2007
- IPCC (2006 a) Guidelines for national greenhouse gas inventories : vol 5: solid waste disposal, chapter 3.2.3 [online]. Zu finden in <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf> [zitiert am 18.03.2011]
- IPCC (2006 b) Guidelines for national greenhouse gas inventories : vol 5: Waste, chapter 4 [online]. Zu finden in <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_4_Ch4_Bio_Treat.pdf> [zitiert am 7.9.2010]
- ISO (2006a) ISO 14040: environmental management, life cycle assessment, principles and framework. Geneva : ISO
- ISO (2006b) ISO 14044 : environmental management, life cycle assessment, requirements and guidelines. Berlin : Beuth
- Joelianingsih, Maeda H, Hagiwara S, Nabetani H, Sagara Y, Soerawidjaya TH, Tambunan AH, Abdullah K (2008) Biodiesel fuels from palm oil via the non-catalytic transesterification in a bubble column reactor at atmospheric pressure : a kinetic study. *Renewable Energy* 33(7):1629-1636
- PEACE (2007) Indonesia and climate change : current status and policies [online]. Zu finden in <http://siteresources.worldbank.org/INTINDONESIA/Resources/Environment/ClimateChange_Full_EN.pdf> [zitiert am 18.03.2011]
- PE Europe (2003) Software and database for life cycle engineering. Stuttgart : PE Europe, IKP Univ Stuttgart
- Rettenmaier N, Reinhardt G, Münch J, Gärtner S (2007) Datenprojekt "Nachwachsende Rohstoffe" : Endbericht [online]. Zu finden in <http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/cms/webdav/site/lca/groups/allPersonsActive/public/Projektberichte/NetLZD-NaWaRo_S01_v03_2007.pdf> [zitiert am 31.03.2011]
- Schmidt JH (2007) Life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil : summary report [online]. Zu finden in <http://vbn.aau.dk/files/10387996/summary_report> [zitiert am 16.03.2011]
- Schmidt JH, Christensen P, Christensen TS (2009) Assessing the land use implications of biodiesel use from an LCA perspective. *J Land Use Sci* 4:35-52
- Schuchardt F, Susilawati E, Guritno P (1998) Influence of C/N ratio and inoculum upon rotting characteristics of oil palm empty fruit bunch. In: Indonesian Oil Palm Research Institute (ed) Proceedings of the International Oil Palm Conference, 23.-25.09.1998 in Bali, Indonesia. pp 1-15
- Schuchardt F, Wulfert K, Darnoko D (2002 a) A new, integrated concept for combined waste (EFB) and waste water (POME) treatment in palm oil mills - technical, economical and ecological aspects. In: Poeloengan Z, Guritno P, Darnoko D, Buana L, Purba R, Darmosarkoro W, Sudharto PS, Haryati T, Elisabeth J (eds) 'Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology' : Bali, 8-12 July 2002 ; proceedings of Chemistry and Technology Conference. pp 330-334
- Schuchardt F, Darnoko D, Guritno P (2002 b) Composting of empty oil palm fruit bunch (EFB) with simultaneous evaporation of oil mill waste water (POME). In: Poeloengan Z, Guritno P, Darnoko D, Buana L, Purba R, Darmosarkoro W, Sudharto PS, Haryati T, Elisabeth J (eds) 'Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology' : Bali, 8-12 July 2002 ; proceedings of Chemistry and Technology Conference. pp 235-243
- Schuchardt F, Wulfert K, Darnoko D, Herawan T (2008) Effect of new palm oil mill processes on the EFB and POME utilisation. *J Oil Palm Res (Spec Iss Oct 2008)*:115-126
- Stichnothe H, Schuchardt F (2010a) Comparison of different treatment options for palm oil production waste on a life cycle basis. *Int J Life Cycle Assessment* 15(9):907-915
- Stichnothe H, Schuchardt F (2010b) Life cycle assessment of two palm oil production systems. *Biomass Bioenergy* (eingereicht)
- Subramaniam V, Ngan MA, Choo YM, Sulaiman NMN (2008) Environmental performance of the milling process of Malaysian palm oil using the life cycle assessment approach. *Am J Environ Sci* 4(4):310-315
- Sumathi S, Chai SP, Mohamed AR (2008) Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renew Sustain Energy Rev* 12(9):2404-2421
- Tamunaidu P, Bhatia S (2007) Catalytic cracking of palm oil for the production of biofuels : optimization studies. *Biores Technol* 98(18):3593-3601
- Tan KT, Lee KT, Mohamed AR, Bhatia S (2009) Palm oil : addressing issues and towards sustainable development. *Renew Sustain Energy Rev* 13(2):420-427
- USDA (2009) Indonesia: palm oil production growth to continue [online]. Zu finden in <<http://www.pecad.fas.usda.gov/highlights/2009/03/Indonesia/>> [zitiert am 15.03.2011]
- Wicke B, Dornburg V, Junginger M, Faaij A (2008) Different palm oil production systems for energy purposes and their greenhouse gas implications. *Biomass Bioenergy* 32(12):1322-1337
- Wulfert K, Darnoko D, Tobing PL, Yulisari R, Guritno P (2002) Treatment of POME in anaerobic fixed bed digesters. In: Poeloengan Z, Guritno P, Darnoko D, Buana L, Purba R, Darmosarkoro W, Sudharto PS, Haryati T, Elisabeth J (eds) 'Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology' : Bali, 8-12 July 2002 ; proceedings of Chemistry and Technology Conference. pp 265-275
- Yusoff S, Hansen SB (2007) Feasibility study of performing a life cycle assessment on crude palm oil production in Malaysia. *Int J LCA* 12(1):50-58