

Aus dem Institut für Technologie und Biosystemtechnik

Frank Schuchardt
Klaus Wulfert
Darnoko Darnoko

Neues Verfahren zur kombinierten Behandlung von Abfällen (EFB) und Abwasser (POME) aus Palmölmühlen - technische, ökonomische und ökologische Aspekte

Veröffentlicht in: Landbauforschung Völkenrode 55(2005)1: 47-60

Braunschweig
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)
2005

Neues Verfahren zur kombinierten Behandlung von Abfällen (EFB) und Abwasser (POME) aus Palmölmühlen - Technische, ökonomische und ökologische Aspekte -

Frank Schuchardt¹, Klaus Wulfert² und Darnoko Darnoko³

Zusammenfassung

Aus den Abwasserteichen einer Ölmühle mit einer Kapazität von 30 t/h (120.000 t frische Fruchtbüschel FFB pro Jahr) entweichen jährlich etwa 1,24 Mio. m³ des klimarelevanten Schadgases Methan in die Atmosphäre. Die Nährstoffe aus dem Abwasser führen zu einer erheblichen Verunreinigung von Oberflächengewässern und Grundwasser. Der finanzielle Verlust einer 30 t Ölmühle durch das ungenutzte Biogas und die Nährstoffe wird mit wenigstens 383.000 €/a veranschlagt. Die herkömmlichen Palmöl-Produktionssysteme sind nicht in der Lage, die Erfordernisse einer modernen, integrierten Abfallwirtschaft zu erfüllen. Die Anwendung von Abwasser (POME) auf dem Land ist sehr teuer, es verseucht die Umwelt, wenn die Anwendungsmenge >89 m³/(ha*a) beträgt. Ein neues Verfahrenskonzept zeigt, dass eine "Null-Abfall" Palmölproduktion möglich und gewinnbringend ist. Bei diesem Konzept wird das ganze POME den leeren, frischen Fruchtbüscheln (EFB) bei der Kompostierung in offenen, regelmäßig umgesetzten Mieten zugesetzt. Das POME kann entweder frisch zugegeben werden oder nach anaerober Gärung in einem Festbettreaktor, um Biogas als Energiequelle zu produzieren. Alle Nährstoffe von POME und EFB werden in einem Produkt vereinigt - dem Kompost. Eine detaillierte Kostenkalkulation auf der Grundlage von wirtschaftlichen Parametern Indonesiens zeigt, dass das existierende herkömmliche System der POME-Verarbeitung nicht nur ein System mit der höchsten Umweltbelastung und der niedrigsten Nutzungsrate für erneuerbare Ressourcen ist, sondern auch ein System mit dem niedrigsten Profit. Es wird empfohlen zukünftig keine Teichsysteme mehr zu installieren und die existierenden zu schließen.

Schlüsselworte: Palmölmühle, POME, EFB, Landanwendung, anaerobe Gärung, Biogas, Kompost, Kosten

Abstract

New process for combined treatment of waste (EFB) and waste water (POME) from palm oil mills - Technical, economical and ecological aspects -

A "zero waste" concept in palm oil mills is possible and profitable. Conventional palm oil production is characterized by a high pollution of the environment from the oil mill waste water (POME). In an average oil mill with a capacity of 30 t/h (120,000 t fresh fruit bunch FFB/ year) 1.24 Mio m³ methane from the pond damage the atmosphere and nutrients discharged to river pollute surface and ground water, the monetary losses are 265,000 €/a. Conventional palm oil production cannot fulfill requirements of a modern, integrated waste management. Land application of POME is very expensive and pollutes environment if the application rate is >89 m³/(ha*a). A new integrated concept was developed on the basis of trials in demonstration plants. In that concept the whole POME, fresh or after anaerobic fermentation in a fixed bed reactor to produce biogas as energy source, is added to empty fruit bunch (EFB) in a composting process with open, regularly turned windrows. All nutrients from POME and EFB are combined in one product compost. A detailed cost calculation for Indonesia shows that the conventional system of POME treatment is not only the system with highest pollution of the environment, the lowest utilisation of renewable resources but also the system with the lowest profit. All investigated alternatives with utilisation of the nutrients from POME and EFB and the energy source from anaerobic POME fermentation are profitable. For practice it is recommended: No installation of pond systems anymore and closing of existing ones.

Keywords: palm oil mill, POME, EFB, land application, anaerobic fermentation, biogas, compost, cost

¹ Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

² UTEC Ingenieurbüro, Bremen

³ Indonesian Oil Palm Research Institut (IOPRI), Medan, Indonesien

1 Einführung

Palmöl ist neben Sojaöl das wichtigste pflanzliche Öl auf dem Weltmarkt. Von der weltweiten Pflanzenölproduktion in Höhe von 93,0 Mt im Produktionsjahr 2002-2003 entfallen etwa 32 % auf Sojaöl und 28 % auf Palmöl, entsprechend 26,04 Mt (Beckman und Skrypetz, 2002). Malaysia und Indonesien sind die beiden Hauptproduktionsländer mit allein 13,4 bzw. 10,1 Mt oder 90 % der Weltproduktion (Financial Express, 2004).

Aus 1 t Fruchtstände (FFB = Fresh Fruit Bunch, Abb. 1) können etwa 0,2 t Rohöl gewonnen werden. Daneben fallen erhebliche Mengen an Abfällen und Nebenprodukten an (Abb. 2). Die Abwassermenge kann dabei je nach angewandter Technik und Prozessführung in weiten Bereichen schwanken. Aus der Praxis sind Werte zwischen 1 und 6 m³ Abwasser je t Rohöl bekannt, ein mittlerer Wert liegt bei 4 m³, entsprechend 0,8 m³ je t Fruchtstände. Berechnet auf der Grundlage der Zahlen in Abb. 2 und der Ölproduktionsmengen ergeben sich für die Länder Malaysia

und Indonesien die in der Tabelle 1 dargestellten Abwasser- und Abfallmengen. Zum Vergleich: Die Menge an Abfall aus Palmölmühlen übertrifft mit 49,4 Mt deutlich die gesamte Menge an Siedlungsabfall in Deutschland (1998: 44,1 Mt; Umweltbundesamt, 2002).

Tabelle 1:
Berechnete Mengen an Abwasser, Abfall und Nebenprodukten der Palmölgewinnung in Malaysia und Indonesien (2003)

Stoff	Mt
Rohöl	23,5
Abwasser (POME)	94,0
Leere Fruchtstände (TM 35 %) (EFB)	27,0
Fruchtfasern (TM 60 %)	15,3
Schalen	7,1

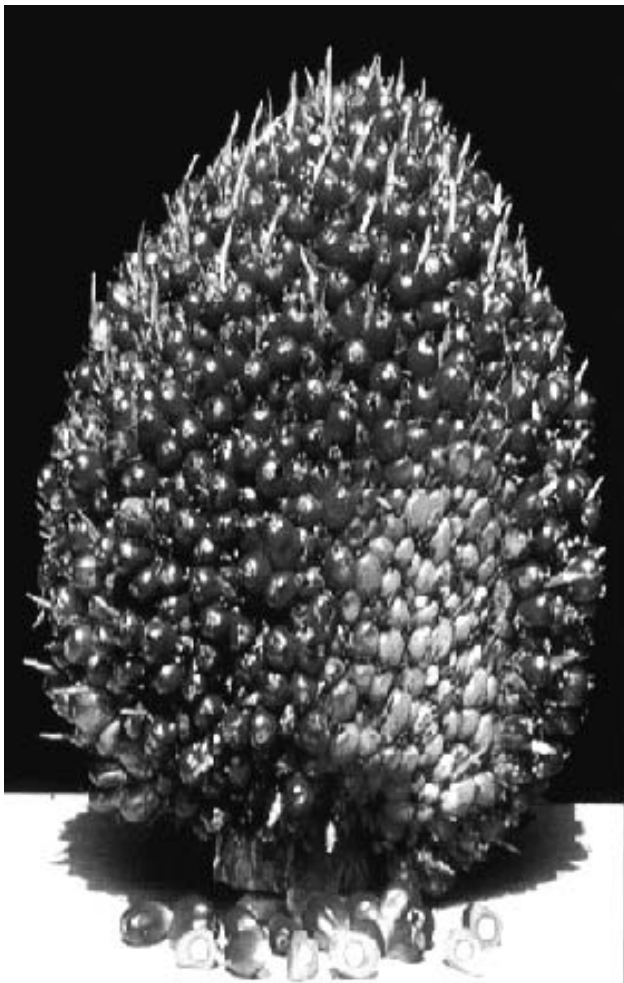


Abb. 1:
Fruchtstand der Ölpalme (FFB), Ölfrüchte und leerer Fruchtstand (EFB)

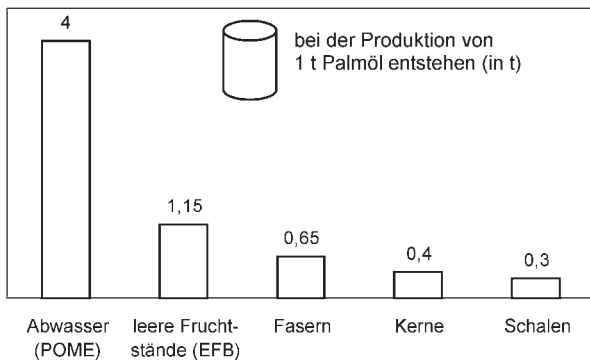


Abb. 2: Abwasser-, Abfall- und Nebenproduktmengen bei der Produktion von 1 t Palmöl (roh)

In einer konventionellen Ölmühle werden, wie ein vereinfachtes Stoffstrom-Fließbild in Abb. 3 zeigt, dem System Plantage-Ölmühle Mineraldünger, Dieseltreibstoff und Wasser zugeführt. Das System verliert Nährstoffe über das hoch belastete Abwasser (POME; CSB_{gel.} 25.000 mg O₂/l) in den Vorfluter und über die leeren Fruchtstände (EFB) bei der ungeordneten Ablagerung in der Umwelt. Aus den anaeroben Abwasserteichen entweicht Biogas mit einem Gehalt an klimarelevantem Methan von etwa 65 % in die Atmosphäre. Die Verwertung des Abwassers in den Plantagen (Landanwendung) über Kanalsysteme erfolgt wegen der hohen Verteilkosten nur in Ausnahmefällen. Dagegen findet die Verwertung der leeren Fruchtstände in den Plantagen als Mulchmaterial zunehmend größere Verbreitung, nachdem deren Verbrennung, eine bis dahin übliche Methode, sowohl in Indonesien als auch in Malaysia vor einigen Jahren untersagt worden ist.

Die Fruchtfasern und die Schalen werden in den Ölmühlen zur Eigenenergieproduktion (Strom und Wärme zur Dampferzeugung) verbrannt, da Ölmühlen gewöhnlich im Inselbetrieb laufen, und somit keinen Anschluss an das öffentliche Stromnetz haben. Die bei der Verbrennung entstehende Asche wird in den Plantagen als Mineraldünger verwendet. Der Bedarf an Dieseltreibstoff ergibt sich beim Anfahrbetrieb der Turbinen.

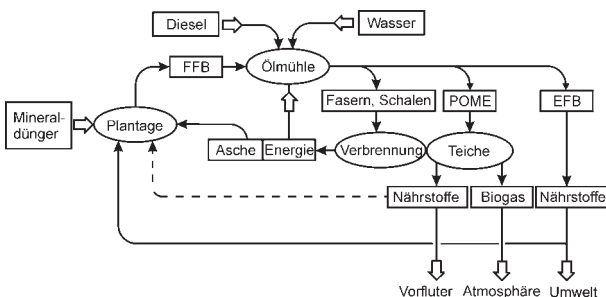


Abb. 3: Vereinfachtes Stoffstrom-Fließbild für das herkömmliche System Plantage-Ölmühle

Tabelle 2:

Monetärer Wert der Hauptnährstoffe (N, P, K, Ca, Mg) in POME und EFB und aus den Abwasserteichen entweichendem Biogas einer Ölmühle mit einer Kapazität von 30 t FFB/h (jährliche Kapazität 120.000 t FFB)

Nährstoffe	POME	EFB	Summe
spezif. Menge [t/t FFB]	0,80	0,23	-
Gesamtmenge [t/a]	96.000	27.600	-
spezif. Wert [€/t FFB]	1,104	1,171	2,275
Wert der Nährstoffe ¹⁾ [€/a]	106.025	112.432	218.457
Wert des Biogases ²⁾ [€/a]			164.920
Gesamtwert [€/a]			383.377

¹⁾ auf der Grundlage von Marktpreisen in Indonesien in 2001

²⁾ Gesamt-Emissionen/a: 1,24 Mio m³ Methan = 1,24 Mio l Diesel-Äquivalent; Marktpreis für 1 L Diesel: 1.200 IDR = 0,133 €)

Es ist offensichtlich, dass bei diesem System eine effiziente Wiederverwertung von Nährstoffen und eine optimale Nutzung von Energiequellen nicht erfolgt, und die Anforderungen an ein modernes, integriertes Abfallmanagement nicht erfüllt werden.

Das herkömmliche Abwasser- und Abfallmanagement hat nicht nur eine erhebliche Umweltverschmutzung zur Folge, sondern auch hohe finanzielle Verluste. Der Geldwert der Hauptnährstoffe des Abwassers und der leeren Fruchtstände beträgt für eine Ölmühle mit einer Kapazität von 30 t/h oder einem Input von 120.000 t FFB pro Jahr, wie sie in Indonesien und Malaysia weit verbreitet ist, etwa 218.457 €/a (Tabelle 2). Der Wert des von den Abwasserteichen ausströmenden Methans im Biogas (im Durchschnitt 1,24 Mio. m³ CH₄/a, entsprechend einem Äquivalent von 1,24 Mio. Liter Diesel pro Jahr) beträgt 164.920 €/a. Die Nährstoffe und das Biogas haben somit einen Gesamtwert von 383.377 €/a. Verglichen mit dem jährlichen Gewinn einer 30 t Ölmühle von etwa 400.000 €, ist dies ein bemerkenswert hoher Wert.

Auf der Grundlage von eigenen Forschungsarbeiten in einer Palmölmühle in Indonesien wurden die Auswirkungen eines neu entwickelten Verfahrenskonzeptes zur Abwasser- und Abfallbehandlung und -verwertung auf die Umwelt und auf die Kostensituation bewertet.

2 Methodik

Das neue Verfahrenskonzept zur Abwasser- und Abfallbehandlung in Palmölmühlen beruht auf den Ergebnissen von Versuchen im Praxismaßstab (Kompostierung) bzw. im Maßstab einer Pilotanlage (anaerobe Vergärung) (Schuchardt et al., 1998, 1999, 2000 a, 2000 b, 2002, Wulfert et al., 2000 a, 2000 b, 2002).

Zur Berechnung der Obergrenzen der Ausbringungsmengen bei der Landanwendung wurden die Nährstoffgehalte im Abwasser, in den leeren Fruchtständen sowie im Kompost

und die Nährstoffaufnahme durch die gesamte Ölpalme und durch deren Früchte zu Grunde gelegt (Kapitel 3.3). Dabei wurde mit dem Gesamtgehalt der Nährstoffe in POME, EFB und Kompost kalkuliert, also nicht mit Verlusten durch Auswaschung, Verlagerung und Ausgasung. Andererseits werden bei der Ernte lediglich die Fruchtstände aus der Plantage entfernt, während die Nährstoffe in den abgestorbenen Blättern zurückbleiben und mittelfristig Teil des Nährstoffkreislaufes werden. Bei der Neuanlage einer Plantage nach 20 bis 25 Jahren verlässt mit dem Stammholz ein Teil der Nährstoffe den Kreislauf, sofern es nicht an Ort und Stelle verbrannt wird.

Tabelle 3:
Kalkulationsdaten für Indonesien 2001/2002

Investition	Marktpreise 2001
Bankzinsen	10 %
Versicherung	3 % der Investition
Abschreibungszeiten	
Teiche	20 Jahre
Betonflächen, Dächer	15 Jahre
Belüfter, Kühlturm	10 Jahre
Dekanter,	
Zerkleinerungsmaschine	10 Jahre
Förderband, Radlader	10 Jahre
Umsetzer	10 Jahre
Siebanlage	10 Jahre
Pumpe	5 bis 10 Jahre
Wartungskosten (pro Jahr)	
Becken, Betonfläche	1 % der Investition
Kühlturm, Dach	2 % der Investition
Zerkleinerungsmaschine,	
Förderbänder, Siebanlage	3 % der Investition
Radlader, Umsetzer	4 % der Investition
Lüfter, Dekanter	5 % der Investition
Pumpe	5 bis 10 % der Invest.
Kosten für Arbeitskräfte	
Betriebsleiter	1.529 €/a
Vorarbeiter	764 €/a
Arbeiter	459 €/a
Transportkosten	
1 m ³ Schlamm	0,13 €/km
1 t EFB, Kompost	0,13 €/km
Energiekosten	
Diesel	0,13 €/l
Strom	
Industrie	0,054 €/kWh
Privat	0,134 €/kWh
Eigenproduktion	0,032 €/kWh
Nährstoffkosten	
N	0,254 €/kg
P	0,222 €/kg
K	0,306 €/kg
Umrechnungskurs	1 € = 8.500 IDR

Die Kostenkalkulation (Kapitel 3.5) wurde auf der Basis der Kosten, Preise und sonstigen Daten durchgeführt, die in Medan, Indonesien in den Jahren 2001 und 2002 galten (Tabellen 3 und 4). Die Kosten beinhalten sowohl die Kapitalkosten als auch alle Betriebskosten. Zuerst ist die Berechnung für jeden einzelnen Verfahrensschritt durchgeführt worden, dann für Verfahrenslinien als Kombination von Verfahrensschritten, und abschließend für einige typische Verfahrens- und Verwertungsalternativen unter Kombination der Verfahrenslinien. Der Nutzen für die Berechnung der Gewinne (Nutzen minus Kosten) basiert auf indonesischen Marktpreisen im Jahr 2001 (für Nährstoffe und Strom) und 2002 (für Dieseltreibstoff).

Tabelle 4:
Investitionskosten für eine Kompostierungs- und Biogasanlage in einer Ölmühle mit einer Kapazität von 30 t FFB/h (jährliche Kapazität 120.000 t FFB)¹⁾

Verfahrensschritt und Ausstattung	€
Kompostierungsanlage	
<i>Zerkleinerung</i>	
Schneidmühle	30.000
Förderband	4.000
Installation	2.000
<i>Kompostierung</i>	
Speicherbecken für POME	1.000
Pumpe	2.000
Verteilsystem für POME	15.000
Radlader	60.000
Kompostierungsfläche	242.000
Umsetzmaschine	63.000
<i>Sieben</i>	
Siebanlage	11.000
Installation	1.000
Gesamtsumme Kompostierung	431.000
Biogasanlage	
<i>Schlammabtrennung</i>	
Separator	50.000
Kühlturm	5.000
Speichertank	5.000
Installation	5.000
<i>Fermentation</i>	
Fermenter	60.000
Trägermaterial	122.000
Rohrleitungen	5.000
Sicherheitseinrichtungen	1.000
Pumpen	9.000
Gesamtsumme Fermentation	262.000
Gesamtsumme Kompostierung + Fermentation	693.000
¹⁾ berechnet auf der Grundlage von Marktpreisen und Kosten in Indonesien in 2001 (1 €=8,500 IDR)	

3 Ergebnisse

3.1 Integriertes Konzept für die Abfall- und Abwasserbehandlung

Das neue Verfahrenskonzept beinhaltet eine kombinierte Verarbeitung von POME und EFB (Abb. 4). Die Fruchtfasern werden wie auch im herkömmlichen System zur Energieproduktion genutzt. Die leeren Fruchtstände werden nach Zerkleinerung kompostiert, die organische Verschmutzung des Abwassers wird in Biogas umgewandelt und als Energiequelle genutzt. Weil das anaerob vorbehandelte Abwasser immer noch alle Nährstoffe enthält, ist es zu wertvoll, um lediglich in die Vorflut abgeleitet zu werden. Darum wird es den Kompostmieten zugeführt, um diese feucht zu halten und die hohen Verdunstungsraten auszugleichen bzw. zu nutzen. Alle Nährstoffe der leeren Fruchtstände und des Abwassers werden somit in einem Produkt vereint, welches als organischer Dünger in die Plantagen zurückgegeben werden kann. Bei einer Vermarktung des Kompostes wäre der Kreislauf für die Ölpalmpflanzungen und die Ölmühle zwar offen, die Nährstoffe wären jedoch ein Teil des übergeordneten Kreislaufes der Plantagenproduktion. Es ist offensichtlich, dass ein geschlossener Kreislauf von Energie und Nährstoffen hergestellt werden kann. Eine teure Landanwendung von POME wäre überflüssig und die Umwelt könnte erheblich entlastet werden.

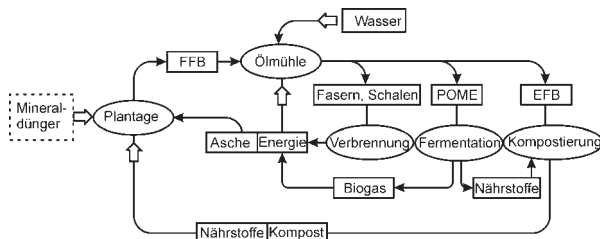


Abb. 4: Vereinfachtes Stoffstrom-Fließbild für das System Plantage-Ölmühle mit integrierter Abfall- und Abwasserwertung

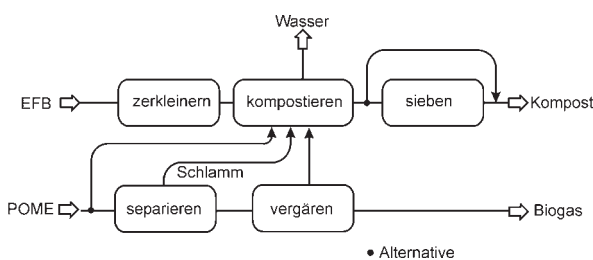


Abb. 5: Verfahren für die kombinierte POME-EFB-Kompostierung

3.2 Verfahren der POME-EFB Kompostierung

In dem neuen Verfahren wird das gesamte POME den zerkleinerten leeren Fruchtständen während der offenen Mietenkompostierung beigelegt. Die offenen Mieten werden regelmäßig mit einem Umsetzer (Abb. 5) umgesetzt. Durch die Selbsterhitzungstemperatur von $>70^\circ\text{C}$ ist die anfängliche Verdunstungsrate so hoch, dass es möglich ist, innerhalb von 8 Wochen mehr als $3,5\text{ m}^3$ Abwasser je t EFB zu verdunsten. Dabei kann es zeitweilig zu geringen Ammoniakemissionen kommen. Das hinzugefügte Abwasser kann frisch sein (ohne Schlammtrennung) oder in einem anaeroben Festbettreaktor vorbehandelt worden sein. Der vom Abwasser abgetrennte Schlamm kann ebenfalls den leeren Fruchtständen beigelegt werden. Nach 8 bis 12 Wochen kann der reife Kompost direkt in den Plantagen verwendet oder nach entsprechender Siebklassierung als marktfähiges, standardisiertes Produkt verkauft werden. Die Verfahrensabläufe sind bei Schuchardt et al. (2002) und bei Wulfert et al. (2002) beschrieben.

3.3 Landanwendung

Aus der Bilanzrechnung der Nährstoffgehalte im Abwasser, in den leeren Fruchtständen bzw. im Kompost und der Nährstoffaufnahme der Ölpalme bzw. der Früchte ergibt sich, dass Kali der begrenzende Faktor ist, sofern man eine Überlastung der Umwelt durch dieses Mineral und finanzielle Verluste durch ungenutzte Nährstoffe vermeiden will (Tabelle 5). Auf der Grundlage dieser Berechnung sollten folgende Aufwandmengen nicht überschritten werden:

- für Abwasser (POME) $89\text{ m}^3(\text{ha}^*\text{a})$
- für die leeren Fruchtstände (EFB) $21\text{ t}(\text{ha}^*\text{a})$
- für Kompost (TM) $3,6\text{ t}(\text{ha}^*\text{a})$.

Die weiteren Berechnungen erfolgen mit den Daten der Nährstoffaufnahme der Ölpalme.

Im Gegensatz zu diesem Vorschlag beträgt die empfohlene Aufwandmenge nach Taryo-Adwiganda und Poeloengan (1998) $1.520\text{ m}^3/(\text{ha}^*\text{a})$ für POME und $37\text{ t}/(\text{ha}^*\text{a})$ für EFB. Es ist offensichtlich, dass die empfohlenen Werte (für POME 17-mal höher) den Boden überlasten und eine Gefahr für Grund und Oberflächengewässer darstellen. Eine Aufwandmenge von 1.520 m^3 POME je ha und Jahr führt, unter Berücksichtigung der Nährstoffaufnahme durch die Ölpalme, zu einer Überfrachtung des Bodens von 3.358 kg K , 1.066 kg N und 260 kg P .

Die Verringerung der Aufwandmenge auf einen ökonomisch und ökologisch akzeptablen Wert hat für die Wirtschaftlichkeit der Landanwendung erhebliche Konsequenzen. Tabelle 6 zeigt die jährlichen Kosten für die Abwasser- und Abfallverwertung für eine 30 t Mühle mit einem Plantagen-Einzugsgebiet von etwa 6.000 ha. Für die bisher empfohlenen Aufwandmengen für POME und EFB

Tabelle 5:

Zusammensetzung von POME, EFB (Ma, 1999) und EFB-POME Kompost (Schuchardt, 2000) und jährliche Nährstoffaufnahme von FFB (Kee, 1972) pro ha (Palmölertrag 20 t/ha) und von Ölpalmen sowie daraus berechnete Aufwandmenge

Stoff	Nährstoff	Nährstoffaufnahme von...			Aufwandmenge bez. auf		
		FFB	Ölpalme	FFB	Ölpalme		
POME		[kg/m ³]	[kg/t]	[kg/ha]	[kg/ha]	[m ³ /ha]	[m ³ /ha]
	N	0,750	3,7	74	154	99	205
	P	0,180	0,7	14	21	78	117
	K	2,270	4,6	92	201	41	89
	Mg	0,615	0,42	8,4	49	14	80
	Ca	0,439	0,46	9,2	71	21	162
EFB		[kg/t]	[kg/t]	[kg/ha]	[kg/ha]	[t/ha]	[t/ha]
	N	3,200	3,7	74	154	23	48
	P	0,396	0,7	14	21	35	53
	K	9,628	4,6	92	201	10	21
	Mg	0,720	0,42	8,4	49	12	68
	Ca	0,720	0,46	9,2	71	13	99
Kompost		[kg/t TS]	[kg/t]	[kg/ha]	[kg/ha]	[t/ha]	[t/ha]
	N	23,4	3,7	74	154	3,2	6,6
	P	3,1	0,7	14	21	4,5	6,8
	K	55,3	4,6	92	201	1,7	3,6
	Mg	9,6	0,42	8,4	49	0,9	5,1
	Ca	14,6	0,46	9,2	71	0,6	4,9

Tabelle 6:

Jährliche Kosten für Transport und Verteilung bei Landanwendung von POME, EFB und Kompost (basierend auf indonesischen Daten im Jahr 2002) bei empfohlenen Aufwandmengen nach Taryo-Adwiganda und Poeloengan (1998) und akzeptablen Aufwandmengen nach eigenen Kalkulationen (Tabelle 5)

		Aufwandmenge	Spezifische Kosten		in 30 t Mühle		
		[t/ha]	[€/t]	[€/ha]	[t/a]	[€/a]	
Empfohlene Aufwandmenge	POME	Verteilung ¹⁾	1,520	0,08	117,5	96.000	7.392
	EFB	Transport 5 km	37	0,67			
		Verteilung	37	0,22			
		Summe für EFB		0,89	18,6	27.600	24.481
	Summe gesamt					31.873	
Akzeptable Aufwandmenge	POME	Verteilung ¹⁾	89	1,32	117,5	96.000	127.008
	EFB	Transport 5 km	21	0,67	18,6	27.600	24.481
		Verteilung	21	0,22			
		Summe gesamt					151.489
Kompost ²⁾	Verteilung	7,2	0,22				
	Transport 5 km		0,67				
	Summe		0,89	6,4	11.040	9.792	

¹⁾ in Bewässerungskanälen, einschließlich Reparaturkosten und Schlammmentnahme (Sutarta et al., 2000)

²⁾ TS=50 %

betragen die Transport- und Verteilkosten 31.873 €/a (7.392 € für POME und 24.481 € für EFB). Die Kosten für akzeptable Aufwandmengen wären dagegen mit 151.489 € ungefähr fünfmal so hoch wie für die empfohlene Aufwandmenge. Das ergibt sich durch längere Transportwege für EFB bzw. ein größeres Verteilsystem für das Abwasser. Im Gegensatz dazu kostet die Ausbringung des Kompostes in die Plantagen durch die höhere Nährstoffkonzentration, bei gleichen Mengen an Nährstoffen je Flächeneinheit, nur 9.792 €/a. Eine Verringerung der Trockensubstanz des Kompostes auf weniger als 50 % ermöglicht eine weitere Kostenreduktion.

Die Daten zeigen, dass eine Landanwendung mit umweltgerechten Mengen vergleichsweise sehr teuer ist. Die geringsten Kosten für die Landanwendung entstehen bei Vereinigung der Nährstoffe aus POME und EFB in einem Produkt, dem Kompost. Die Verringerung der Kosten würde mehr als 140.000 €/a ausmachen. Demgegenüber sind die Kosten für die Herstellung des Kompostes zu kalkulieren.

3.4 Verwendung der Produkte

Die Produkte aus dem neuen, integrierten Verfahren zur Nutzung von POME und EFB sind Biogas und Kompost. Wenn das frische Abwasser direkt für die Kompostierung verwendet wird, ist Kompost das einzige Produkt. Es gibt verschiedene Alternativen für die Verwendung der Produkte, die von den örtlichen Gegebenheiten der Ölmühle und der Plantage abhängen. Die finanziellen Vorteile aus der Produktnutzung haben einen wesentlichen Einfluss auf die Kosten- und Gewinnkalkulation.

3.4.1 Biogas

Im Durchschnitt besteht das Biogas zu 64 % aus Methan und 36 % aus Kohlendioxid. Das Gas kann direkt verbrannt werden (um Dampf, heißes Wasser oder Wärmeenergie für Trocknungsverfahren zu produzieren) oder als Treibstoff für gasbetriebene Motoren (Generatoren zur Elektrizitätserzeugung, Aggregate, Maschinen, Zerkleinerer).

Gemäß den örtlichen Gegebenheiten der Ölmühle, kann das Gas intern oder extern genutzt werden.

- Interne Nutzung

- als Ersatz für Dieseltreibstoff für elektrische Generatoren,
- als Treibstoff für direkt angetriebenen Aggregate (Zerkleinerer, Kompressor, Pumpen),
- als Brennstoff zur Beschleunigung beim Anfahren der Boiler, die mit Fruchtfasern beheizt werden,
- als Energiequelle für nachfolgende Verarbeitung (z. B. Stearin-/Oleinproduktion).

- Externe Nutzung

- als Verkaufsprodukt zum direkten Ersatz von Diesel,
- als Produktionsfaktor bei der Stromerzeugung für den externen Gebrauch,
- komprimiertes Gas in Flaschen als Verkaufsprodukt.

Die interne Nutzung von Biogas kann für den Prozess und die Organisation sowie die Kosten der Ölmühle die folgenden, weit reichenden Konsequenzen haben:

- Optimierung des Betriebs

Normalerweise arbeitet eine Ölmühle 15 bis 20 Stunden täglich, wobei das Anfahren etwa 3 Stunden dauert. Es ist für eine Ölmühle von hohem wirtschaftlichem Interesse, das Anfahren zu beschleunigen und die tägliche Produktionszeit zu verlängern. Das Biogas kann durch einen zusätzlich in das bestehende Heizungssystem integrierten Gasbrenner oder durch einen einfachen Gebläsebrenner, der den Verbrennungsprozess der Fruchtfasern unterstützt, zum Vorheizen der Dampfproduktion genutzt werden.

- Installation neuer Ölmühlen

Theoretisch kann der Bedarf einer Ölmühle an elektrischem Strom (18-20 kWh/t FFB) von dem erzeugten Biogas abgedeckt werden. Die Folge davon wäre, dass die Ölmühle überhaupt keine Turbine mehr benötigte, weil der elektrische Generator den Strom erzeugt. Das hätte den Effekt, dass keine Investitionen mehr für Turbinen notwendig sind und keine zusätzlichen Investitionskosten für elektrische Generatoren anfallen. Bei einem Einsatz von mit Diesel getriebenen Zündstrahldieselmotoren können die Motoren alternativ mit einer Mischung aus 10 % Diesel und 90 % Biogas und mit bis zu 100 % Dieseltreibstoff angetrieben werden. Das hätte den Vorteil, dass der Betrieb von Ölmühlen nicht von der Verfügbarkeit von Biogas abhängig wäre. Wenn keine Turbine installiert ist, kann der Druck des Dampfsystems von 15 bar auf 3 bar reduziert werden, die gesamte Ausrüstung für die Dampfproduktion kann kleiner bemessen sein.

Für die Berechnung der Vorteile durch die Nutzung von Biogas wurden zwei einfache Alternativen festgelegt:

Alternative 1: Nutzen, kalkuliert auf der Basis des Preises für Dieseltreibstoff (für die Industrie)

Preis für Diesel: 0,13 €/l (1.200 IDR/l)

Die Ölmühle hat einen bestimmten Bedarf an Strom, der nicht von Turbinen- sondern von mit Diesel betriebenen, elektrischen Generatoren erzeugt wird. Bei einer Ausstattung mit Gasmotoren kann der Diesel vollständig durch Biogas ersetzt werden. Die Investitions- und Betriebskosten von Gas- und Dieselmotoren sind ähnlich, so dass der Nutzen nur im Ersatz des Diesels durch Biogas liegt. Die Ölmühle benutzt den Diesel, um den Anfahrprozess des Boilers zu verbessern. Das Gas kann an einen externen Kunden verkauft werden, der einen hohen Bedarf an Brennstoff für Boiler, Heizer, Trockner etc. hat.

Alternative 2: Nutzen, kalkuliert auf der Basis des Strompreises für das öffentliche Netz

Wenn der durch Biogas erzeugte Strom die Elektrizität aus dem öffentlichen Netz ersetzt, hängt der Nutzen von dem Gebührensatz für den elektrischen Strom ab (hier: Beispiel für 2001 in Indonesien)

Gebührensatz für die Industrie:	0,05 €/kWh (485 IDR/kWh)
Gebührensatz für Privatkunden:	0,13 €/kWh (1.206 IDR/kWh)

Berücksichtigt man die Betriebskosten von 0,0047 €/kWh (42 IDR) für den Generator, wäre der jeweilige Nutzen 0,05 €/kWh und 0,13 €/kWh für Industrie- und Privatkunden.

Die Basisdaten für die Produktion von Biogas sind:

• Spezifischer Gasertrag	8,7 m ³ Biogas/t FFB
• Energiegehalt des Biogases	6,4 kWh/m ³
• Energiegehalt des Diesels	10,0 kWh/l
• Diesel-Äquivalent	0,64 l/m ³ Gas
• Effizienz des Elektrogenerators	34 %

Tabelle 7:

Kosten der Prozesslinien und Verfahrensschritte zur Abwasser - und Abfallbehandlung

Prozesslinien		Verfahrensschritte	€/t FFB
Behandlung von POME			
P0	konventionelles Teichsystem	Behandlung und Schlammmanagement	0,26
P1	Anaerobe Fermentation im Festbettreaktor und aerobe Nachreinigung	Separation	0,12
		Fermentation	0,31
		aerobe Nachreinigung	0,04
Summe			0,47
P2	Anaerobe Fermentation im Festbettreaktor und Landanwendung	Separation	0,12
		Fermentation	0,31
		Landanwendung (89 m ³ /(ha*a))	1,32
Summe			1,75
P3	Anaerobe Fermentation im Festbettreaktor	Separation	0,12
		Fermentation	0,31
		Summe	0,43
Behandlung von EFB			
E0	EFB als Mulch in die Plantage	Transport (5 km)	0,15
		Verteilung	0,05
		Summe	0,20
E1	Zerkleinerte EFB als Mulch in die Plantage	Zerkleinerung	0,14
		Transport (5 km)	0,15
		Verteilung	0,05
Summe			0,34
E2	Kompostierung von zerkleinerten EFB ohne Dach, Zugabe von POME: 3,5 m ³ /t, ohne Siebung, Kompost für Plantage	Zerkleinerung	0,14
		Kompostierung 10 Wochen	0,68
		Transport (5 km)	0,08
		Verteilung	0,03
Summe			0,93
E3	Kompostierung von zerkleinerten EFB ohne Dach, Zugabe von POME: 3,5 m ³ /t,; 0,5 t Kompost/t EFB, mit Siebung, Kompost für Verkauf	Zerkleinerung	0,14
		Kompostierung 10 Wochen	0,68
		Siebung	0,16
		Summe	0,98

Unter der Annahme einer 100 %-igen Nutzung des produzierten Biogases, ergeben sich die folgenden Vorteile für die gegebenen Alternativen:

Alternative 1: Ersatz des Dieseltreibstoffes

- Diesel-Äquivalent 5,7 l/t FFB
- Nutzen 0,76 €/t FFB

Alternative 2: Verkauf von elektrischem Strom

- Spezifische Produktion von elektrischem Strom: 18,9 kWh/t FFB
- Nutzen basierend auf dem industriellen Gebührensatz: 0,93 €/t FFB
- Nutzen basierend auf dem privaten Gebührensatz: 2,44 €/t FFB

Die Kalkulation zeigt, dass der Nutzen einen weiten Bereich von 0,76 bis 2,44 €/t FFB umfassen kann. In der weiteren Kostenberechnung wurde für Biogas ein Wert von 0,76 €/t FFB benutzt.

3.4.2 Kompost

EFB kann, zerkleinert oder unzerkleinert oder nach dem Kompostieren, als Ressource für Nährstoffe und organische Substanzen in der Pflanzenproduktion und Bodenverbesserung verwendet werden. Der Wert der Nährstoffe (basierend auf den Marktpreisen in Indonesien, berechnet mit 50 % Verfügbarkeit von Stickstoff, 100 % P, K, Ca und Mg) beträgt 9,17 €/t EFB Trockensubstanz (0,84 €/t FFB mit EFB TS von 40 %). Der tatsächliche Geldwert der organischen Substanz, gemessen an dessen Einfluss auf die Bodeneigenschaften und die höheren Pflanzenerträge, hängt von verschiedenen Faktoren ab (Bodenart, Pflanzenart, Klima, etc.) und kann nicht genau berechnet werden. Aus der Praxis sind jedoch deutliche Ertragssteigerungen in Palmölplantagen durch Verwendung von Kompost bekannt.

Wenn die EFB für die eigene Plantage genutzt werden, kann der Wert der Nährstoffe als Nutzen in der Kostenkalkulation berechnet werden. Wenn sie außerhalb der Plantage genutzt werden, stellen die EFB ein marktfähiges Produkt mit einem Marktpreis dar, der von den örtlichen Gegebenheiten abhängt. Der Marktpreis für Kompost liegt in Indonesien im Bereich von 5 bis 40 €/t, bei kleineren Verpackungseinheiten (1 bis 4 kg) deutlich höher. Ein realistischer Preis für reifen Kompost (C/N <15), abgepackt in 50 l Säcken, liegt im Bereich von 15 bis 25 €/t. In der Kostenkalkulation wurde ein Preis von 15 €/t angenommen. Der Geldwert der Nährstoffe von POME-EFB-Kompost (3,48 t POME/t EFB) liegt bei 24,76 €/t Kompost TS.

3.5 Kostenkalkulation und Umweltwirkungen

3.5.1 Verfahrensschritte und -linien

Die Kosten für die POME Behandlung in herkömmlichen Teichsystemen (P0) sind die niedrigsten im Vergleich zu Verfahren der anaeroben Gärung (Tabelle 7). Das herkömmliche System umfasst die Behandlung in Teichen, den Ablauf des behandelten Abwassers in den Vorfluter und das Absaugen des Schlammes und dessen Verteilung im Plantagenbereich. Bei einer Nutzung des potentiellen Energiegehaltes und der Nährstoffe im Abwasser (P2, mit anaerober Gärung und einer akzeptablen Aufwandmenge bei der Landanwendung von 89 m³/ha), wären die Kosten ungefähr siebenmal höher als beim herkömmlichen System (1,76 zu 0,26 €/t FFB). Die hohen Kosten resultieren hauptsächlich aus den Kosten für die Landanwendung von etwa 1,32 €/t FFB.

Wenn die EFB in den Plantagen genutzt werden, ist die direkte Nutzung (E0) mit den geringsten Kosten (0,20 €/t FFB) verbunden, gefolgt von der Verwendung zerkleinerter EFB (E1) und EFB nach dem Kompostieren (E2). Die Transport- und Verteilkosten für EFB nach dem Kompostieren betragen nur die Hälfte von denen für EFB ohne Kompostierung, weil sich die Masse durch den Rotteprozess um etwa 50 % verringert. Für die Produktion eines marktfähigen Kompostes (E3) ist ein zusätzliches Sieben erforderlich und die Kosten betragen 0,97 €/t FFB. Die Verpackungskosten für den Kompost (Säcke) sind nicht in der Kalkulation enthalten.

Die Ergebnisse einer Gewinnkalkulation bei unterschiedlichen Verfahrenslinien werden in Tabelle 8 gezeigt. Wegen der hohen Kosten bei der Landanwendung ist die Verfahrensalternative P2 mit Landanwendung nach anaerober Gärung nicht profitabel, obwohl es einen Nutzen durch die Verwendung von Biogas und der Nährstoffe von POME gibt. Den niedrigsten Gewinn hat die herkömmliche Linie P0, weil der einzige Nutzen die Nährstoffe des Schlammes aus den Teichen sind. Bei einer Behandlung des Abwassers in einem Anaerobreaktor und Nutzung des Biogases (P1), wäre der Gewinn höher als im herkömmlichen System P0. Die Produktionslinie P3 mit anaerober Gärung, die Verwendung von Biogas und die Nutzung des Abwassers im Kompostierungsprozess mit EFB hat den höchsten Gewinn von ungefähr 0,32 €/t FFB.

Die Produktionslinien E0 und E1 für die Behandlung von EFB werfen den geringsten Profit ab. Der höchste Gewinn kann von der Kompostproduktion für Marktzwecke erwartet werden, vorausgesetzt, dass der Marktpreis bei >15 €/t liegt. Ansonsten ist das Verfahren E2 mit der direkten Verwendung von frischem POME für das Kompostieren sehr gewinnbringend, weil die gesparten Kosten für die POME-Behandlung als Nutzen kalkuliert werden können. Wenn POME nach der anaeroben Gärung verwendet wird, liegt der Gewinn dieser Produktionslinie im

Bereich der Gewinne, die bei der direkten Anwendung von EFB in Plantagen erzielt werden.

3.5.2 Nutzen für die Umwelt

Das neu entwickelte Verfahrenskonzept hat eine Reihe von positiven Wirkungen auf die Umwelt:

- Minimierung gasförmiger Emissionen durch POME Behandlung

In den herkömmlichen Teichsystemen wird die organische Schmutzfracht (90 % der löslichen und 60 % der suspendierten Feststoffe) anaerob abgebaut. Das entstehende Methan entweicht in die Atmosphäre. Der negative Einfluss von Methan auf die Atmosphäre (Treibhauseffekt) ist 22-mal höher als der Einfluss von Kohlendioxid. Die Behandlung von POME in einem geschlossenen Festbetretrektor ermöglicht das Auffangen des gesamten Methans. So wird eine Abgabe in die Atmosphäre verhindert.

- Nutzung erneuerbarer Energie

Das Biogas stellt eine hochwertige, erneuerbare Energiequelle dar, die bisher ungenutzt in die Atmosphäre entweichen ist. Biogas kann fossile Energiequellen wie Dieseltreibstoff, Gas oder Kohle ersetzen.

- Verringerung von Nährstoffverlusten und Vorflutverschmutzung

Wenn das Abwasser ganz oder teilweise für die Kompostherstellung verwendet wird, können die Verluste an Nährstoffen und die Verschmutzung der Vorflut mit Nährstoffen und anderen organischen Bestandteilen minimiert werden.

- Kompostierung, Verwendung von EFB und Fasern

Der Nutzen der Herstellung von Kompost aus EFB liegt in der Verwertung der Nährstoffe und der Kohlenstoffquelle. Die Verwendung organischer Substanzen zur Verbesserung der Bodenbeschaffenheit ist von großem Wert, insbesondere unter tropischen Klimabedingungen. Aber auch die Nutzung von EFB und Fasern als erneuerbare Ressource zur Wärmeerzeugung kann von Vorteil für die Umwelt sein, wenn dabei keine Rauchemissionen entstehen.

Eine abschließende Kostenkalkulation zum Vergleich des Nutzens und der Belastung der Umwelt steht nicht zur Verfügung. Darum kann die Bewertung ausschließlich nicht-monetäre Werte berücksichtigen. Die qualitative Bewertung ist wie folgt:

- + Verwendung von Biogas aus der Vergärung (POME),
- + Verwendung der Nährstoffe aus POME (kein Ablauf in den Vorfluter),
- + Verwendung der Nährstoffe aus EFB (keine Deponie)
- (+) Verwendung der Nährstoffe aus POME und/oder EFB, aber nicht in der Plantage,
- Methan Emissionen aus POME-Teichen gelangen in die Atmosphäre,
- Biogas aus POME wird nicht als Energiequelle genutzt,

- Nährstoffe aus POME werden nicht genutzt (Ablauf in den Vorfluter).

3.5.3 Verfahrensalternativen

Eine Bewertung von fünf ausgesuchten Alternativen auf der Basis einer Gewinnkalkulation (Nutzen minus Kosten) und einer Einordnung im Hinblick auf die Auswirkungen auf die Umwelt ergibt folgendes Ergebnis (Tabelle 9):

Alternative A0

Von allen POME-Behandlungssystemen verursacht das herkömmliche System (anaerobe Behandlung von POME im Teichsystem, Ablauf des behandelten POME in den Vorfluter, Landanwendung von Schlamm und Nutzung von EFB in Plantagen) die geringsten Behandlungskosten (0,46 €/t EFB). Es hat aber auch den geringsten Nutzen (1,04 €/t FFB; Nährstoffe von EFB und Schlamm). Darum ist letztendlich der Gewinn der geringste von allen (0,54 €/t FFB).

Alternative A1

Die Alternative A1 (anaerobe Vergärung im Festbetretrektor, Nutzung von Biogas, POME zu Kompost verarbeitet, Kompost für Plantagen) hat dreimal höhere Behandlungskosten als das herkömmliche Verfahren (1,35 €/t FFB). Wegen der Verwendung des Biogases und aller Nährstoffe aus POME, EFB und Schlamm ist der Nutzen jedoch hoch. Aus dieser Sicht ist der Gewinn bei dieser Alternative 1,5-mal höher als im herkömmlichen System A0 (0,87 €/t FFB).

Alternative A2

Wenn der Kompost nicht in der Plantage genutzt, sondern auf dem Markt verkauft wird (Alternative A2), kann der Gesamtgewinn höher sein als bei der Alternative A1, vorausgesetzt der Verkaufspreis für den Kompost liegt über 12 € pro Tonne Kompost. Andernfalls ist der Geldwert der Nährstoffe für die Plantage höher als der Verkaufspreis des Kompostes.

Alternative A3

Falls kein Interesse oder keine Möglichkeit besteht, das Biogas der POME-Vergärung zu nutzen, kann das gesamte frische POME für die Kompostierung von EFB verwendet werden. In diesem Fall liegt der zusätzliche Nutzen auch in den eingesparten Kosten für die POME-Behandlung. Diese Alternative kann sehr gewinnbringend sein (1,077 €/t FFB).

Alternative A4

Unter der gleichen Voraussetzung wie bei der Alternative A3 kann der Kompost auf dem Markt verkauft und nicht in der Plantage genutzt werden. In diesem Fall soll-

te der Verkaufspreis für den Kompost über 12 € pro Tonne liegen. Andernfalls ist der Geldwert der Nährstoffe für die Plantage höher als der Verkaufspreis des Kompostes.

Eine Rangliste aller kalkulierten Alternativen unter dem Gesichtspunkt der Gewinnmaximierung, ohne die Berechnung des Nutzens für die Umwelt, würde sich wie folgt darstellen:

- Nr. 1: A3
Keine POME Behandlung, das gesamte POME wird für die Kompostierung von EFB verwendet, Verwertung des Kompostes ins der Plantage oder
- Nr.1: A4
wenn der Marktpreis für Kompost >12 €/t liegt.
- Nr. 2: A1
Anaerobe Gärung von POME, Verwertung des Biogases, Verwertung des Kompostes in der Plantage oder
- Nr 2: A2
wenn der Marktpreis für Kompost >12 €/t liegt
- Nr. 3: A0
herkömmliches System

Die Reihenfolge von A3/A4 und A1/A2 kann sich umdrehen, wenn der Gewinn aus Biogas >0,9 €/t FFB beträgt.

Den höchsten Wert für die Umwelt hat die Alternative A1. Alle Nährstoffe von EFB und POME werden als Dünger in der Plantage genutzt. Das Potential erneuerbarer Energie in POME wird in wertvolles Biogas umgewandelt, das Dieseltreibstoff ersetzt und die CO₂ Emissionen reduziert.

Andere Nutzen sind: (1) keine Methan-Emissionen mehr und (2) ein geringerer Bedarf an Fläche im Vergleich zu A0. Die Alternativen A2, A3 und A4 sind umweltfreundlich und auch gewinnbringend. Welche die Beste ist hängt von den individuellen Bedingungen jeder Ölmühle ab, weil es interne und externe Nutzungsmöglichkeiten für das Biogas gibt und Möglichkeiten den Kompost am Markt zu verkaufen.

Es könnte angemessen sein, die Alternativen zu kombinieren, z. B. nur einen bestimmten Teil des Kompostes am Markt zu verkaufen und den Rest als Dünger in der Plantage zu nutzen. Wenn die Verwertung von Biogas begrenzt ist, ist es auch möglich, nur einen Teil des POME in einem Festbettreaktor zu behandeln und den Rest des frischen POME für das Anfeuchten des Kompostes zu verwenden.

Eine Rangliste aller kalkulierten Alternativen unter dem Gesichtspunkt des Umweltschutzes und der Gewinnmaximierung, wenn der Marktpreis für Kompost <12 €/t beträgt, würde wie folgt aussehen:

- Nr. 1; A1
Anaerobe Gärung von POME, Nutzung von Biogas, Nutzen des Kompostes in der Plantage
- Nr. 2: A4
Keine POME-Behandlung, das gesamte POME wird für die Kompostierung von EFB verwendet, Verkauf des Kompostes am Markt

- Nr. 3: A2
Anaerobe Vergärung von POME, Nutzen des Biogases, Verkauf des Kompostes am Markt
- Nr. 4: A3
Keine POME Behandlung, das gesamte POME wird für die Kompostierung von EFB verwendet, Nutzen des Kompostes in der Plantage
- Nr. 5: A0
herkömmliches System

4 Schlussfolgerungen

Es sollte die Aufgabe des Managements einer Palmölmühle sein, das Abwasser und den Abfall als Nährstoff- und Energiequellen zu nutzen, um einen zusätzlichen Gewinn zu erwirtschaften und die Umweltverschmutzung zu minimieren. Beides, die Rentabilität und der Schutz der Umwelt, sind Voraussetzungen für eine nachhaltige Ölproduktion.

Die Landanwendung von POME (aber auch von EFB) sofern sie in umweltverträglichen Grenzen erfolgt, ist wegen der hohen Kosten keine Lösung für die Zukunft.

Eine Vereinigung der Nährstoffe von EFB und POME in einem Produkt (Kompost) kann die Transport- und Verteilungskosten in der Plantage stark reduzieren.

Das herkömmliche System der POME-Behandlung ist nicht nur das System mit der höchsten Umweltverschmutzung und der geringsten Verwertung erneuerbaren Ressourcen, sondern auch das System mit dem niedrigsten Gewinn.

Alle Szenarien, die die Nährstoffe von POME und EFB und die Energiequelle der anaeroben POME-Vergärung nutzen, sind profitabel und verwenden erneuerbare Ressourcen. Diese Szenarien sind Voraussetzung für eine nachhaltige Palmölproduktion.

Weitere Untersuchungen über praktische Nutzungsmöglichkeiten für Biogas (interne/externe Verwertung, Kosten und Nutzen, Methoden, Organisation, Vorschriften) und die Marktbedingungen für Kompost (Menge, Bedarf, Preis) unter den spezifischen Länder- und Standortbedingungen sind erforderlich. Es gibt ein weites Spektrum von Preisen für Biogas-Energie oder Kompost. Für die Kostenkalkulation in diesem Beitrag wurden jeweils nur niedrige Preise angenommen. In der Praxis könnte der Gewinn aus der Anwendung des neuen Konzeptes deutlich höher ausfallen.

Für die Praxis gibt es folgende Empfehlungen:

- Keine weitere Installation von Teichsystemen.
- Schließung von existierenden anaeroben und fakultativen Teichen.
- Anaerobe Behandlung des Abwassers in geschlossenen Biogasanlagen anstatt in Teichen oder
- Verwendung von frischem POME im Kompostierungsprozess für EFB.

Tabelle 8:
Kosten- und Gewinnkalkulation für Verfahrenslinien

	Kosten			Nutzen			Gewinn				
	Behandlungs- kosten	Biogas	Nährstoffe in POME	keine POME Behandlung	Nährstoffe im Schlamm	Nutzen - Kosten	Behandlungs- kosten	Biogas	Nährstoffe in POME	keine POME Behandlung	Nutzen - Kosten
Behandlung von POME	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]
P0 Anaerobe Behandlung von POME in Teichen, Einleitung in den Vorfluter, Schlammverteilung in Plantage	0,26	-	-	-	0,19	-	-	-	-	-	-
P1 Anaerobe Fermentation im Festbetteaktor, aerobe Nachreinigung, Einleitung in den Vorfluter, Biogas als Diesel-Äquivalent (0,133 €/l)	0,47	0,76	-	-	-	0,29	-	-	-	-	0,29
P2 Anaerobe Fermentation in Festbetteaktor und Landanwendung, Biogas als Diesel-Äquivalent (0,133 €/l)	1,76	0,76	0,62	-	-	-	-	-	-	-	-
P3 Anaerobe Fermentation in Festbetteaktor und Verwertung des Ablaufs bei der Kompostierung von EFB, Biogas als Diesel-Äquivalent (0,13 €/l)	0,43	0,76	-	-	-	0,33	-	-	-	-	0,33
Behandlung von EFB	Behandlungs- kosten	Nährstoffe in POME	Nährstoffe in EFB	keine POME Behandlung	Kompost- Verkauf	Nutzen - Kosten	Behandlungs- kosten	Nährstoffe in POME	Nährstoffe in EFB	keine POME Behandlung	Nutzen - Kosten
E0 Verwertung von EFB als Mulch in Plantage (5 km)	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]
E1 Verwertung von zerkleinerten EFB als Mulch in Plantage (5 km)	0,20	-	0,84	-	-	0,64	0,20	-	0,84	-	0,64
E2 Kompostierung von zerkleinerten EFB ohne Dach, ohne Siebung, Kompost für Plantage, Zugabe von 3,5 m³ POME/t EFB.....frisches POME ohne SchlammabtrennungPOME nach anaerober Fermentation incl. Schlamm	0,34	-	0,84	-	-	0,50	0,34	-	0,84	-	0,50
E3 Kompostierung von zerkleinerten EFB ohne Dach, 50 % Kompost Ertrag, mit Siebung, Kompost zum Verkauf, Zugabe von 3,5 m³ frischem POME (ohne Separierung)/t EFB; Kompost Preis: 15 €/t	0,92 0,92	0,81 0,81	0,84 0,84	0,47	-	1,20 0,73	0,92	0,81 0,81	0,84 0,84	0,47	1,20 0,73
	0,97	-	-	0,47	1,73	1,23	0,97	-	-	0,47	1,23

Tabelle 9:
Kosten- und Gewinnkalkulation für Prozessalternativen

Alternative	Kosten		Nutzen		Gewinn		
	Behandlungs- kosten	Biogas	Nährstoffe für Plantage	Kompost- verkauf	keine POME Behandlung	Umwelt 1)	Nutzen - Kosten
	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[€/t FFB]	[-]	[€/t FFB]
A0 Anaerobe Behandlung von POME in Teichen, Einleitung in Vorfluter, Schlamm und EFB in Plantage (P0 + E0)	0,46	-	1,04	-	-	-	0,58
A1 Anaerobe Fermentation in Festbetreaktor, Verwertung von Biogas als Diesel-Äquivalent (0,133 €/l), behandeltes POME zur Kompostierung, Kompost für Plantage (P3 + E2)	1,35	0,76	1,46	-	-	+++	0,87
A2 Anaerobe Fermentation in Festbetreaktor, Verwertung von Biogas als Diesel-Äquivalent (0,133 €/l), behandeltes POME zur Kompostierung, Kompost zum Verkauf (15 €/t) (P3 + E3)	1,41	0,76	-	1,73	-	++(+)	1,08
A3 Keine POME Behandlung, gesamtes POME (3,5 m ³ /t EFB) frisch zur Kompostierung ohne Dach, ohne Siebung, Kompost für Plantage (E2)	0,92	-	1,46	-	0,47	++-	1,01
A4 Keine POME Behandlung, gesamtes POME (3,5 m ³ /t EFB) frisch zur Kompostierung ohne Dach, mit Siebung, Kompost zum Verkauf (15 €/t) (E3)	0,97	-	-	1,73	0,47	+(+)-	1,23

1) Bewertung:
A0 Methanemissionen in die Atmosphäre, keine Nutzung der Energieressource Biogas, keine Nutzung der Nährstoffe im POME
A1 Nutzung der Energieressource Biogas, Nutzung der Nährstoffe im POME, Nutzung der Nährstoffe der EFB
A2 Nutzung der Energieressource Biogas, Nutzung der Nährstoffe im POME, Nutzung der Nährstoffe der EFB, aber nicht in der Plantage
A3 Nutzung der Nährstoffe im POME, Nutzung der Nährstoffe der EFB in der Plantage, keine Nutzung der Energieressource Biogas
A4 Nutzung der Nährstoffe im POME, Nutzung der Nährstoffe der EFB, aber nicht in der Plantage, keine Nutzung der Energieressource Biogas

Eine umweltfreundliche Behandlung von EFB und POME ist profitabler als das herkömmliche Teichsystem in Palmölmühlen.

Ein "Null-Abfall" Konzept in Palmölmühlen ist möglich und profitabel.

Das hier dargestellte Verfahrenskonzept zeigt eine Möglichkeit auf, mit einer Umweltschutzmassnahme den Profit von Palmölmühlen zu erhöhen und gleichzeitig Arbeitsplätze zu sichern und zu schaffen.

Danksagungen

Die Resultate dieser Veröffentlichung entstanden in einem wissenschaftlichen Kooperationsprojekt zwischen Indonesien und Deutschland im Rahmen von BTIG (Biotechnologie Indonesien-Deutschland). Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, Projekt Nr. 0339738), dem Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) und dem Indonesian Oil Palm Research Institute (IOPRI) für die finanzielle Unterstützung und Herrn Dipl. Ing. B. Kleinstüber vom TÜV Rheinland für die Projektkoordinaten.

Literatur

- Beckman C, Skrypetz S (2002) Vegetable oil : situation and outlook [online]. Zu finden in <<http://www.agr.gc.ca/mad-dam/e/bulletine/v15e/v15n19e.htm>> [zitiert am 28.09.2004]
- Ebert R (2004) WTB-Forum [online]. Zu finden in <<http://www.wtb-forum.de/cgi-bin/index.pl?ST=7688&F=NMO#new>> [zitiert am 28.09.2004]
- Financial Express (2004) The Malaysian palm oil industry [online]. Zu finden in <http://www.financialexpress-bd.com/index3.asp?cnd=9/8/2004§ion_id=19&newsid=20746&spcl=yes> [zitiert 28.09.2004]
- Ma AN, Choo YN, Cheah AY (2003) Development of renewable energy in Malaysia [online]. Zu finden in <<http://www.ics.trieste.it/Documents/Downloads/df1637.pdf>> [zitiert am 29.09.2004]
- Ma AN (1999) Environmental management for the palm oil industry. *Palm Oil Developments* (30):1-10
- Kee NS (1972) The oil palm, its culture, manuring and utilisation. In: Francke G (1994) *Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen* : Band 3, Stuttgart : Ulmer, 230 p
- Schuchardt F, Susilawati E, Guritno P (1998) Influence of C/N ratio and inoculum upon rotting characteristics of oil palm empty fruit bunch. In: *International Oil Palm Conference, 23.-25.09.1998, Nusa-Dua, Bali (Indonesia)*, pp 1-15
- Schuchardt F, Susilawati E, Guritno P (1999) Trials about composting of solid wastes from palm oil mills in Indonesia. In: *Proceedings of the International Conference ORBIT 99 on Biological Treatment of Waste and the Environment, September 2-4, 1999, Weimar. Berlin : Rhombos-Verl*, pp 155-164
- Schuchardt F, Balcke S, Becker F, Guritno P, Herawan T, Darnoko D, Erwinsyah (2000 a) Produksi kompos dari tandan kosong sawit. In: *Penanganan terpadu limbah industri kelapa sawit yang berwawasan lingkungan, Medan, 13-14 Juni 2000. Medan : Pusat Penelitian Kelapa Sawit, IVB1-IVB13*
- Schuchardt F, Balcke S, Becker F, Guritno P., Herawan T, Danoko D, Erwinsyah (2000 b) Production of compost from EFB. In: *Integrated management of palm oil mill solid wastes and effluents : Medan, 13-14 Juni 2000. Medan, Indonesia : Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, pp 4.1-4.25
- Schuchardt F, Wulfert K, Darnoko D, Darmosarkoro W, Sutara ES (2001) Feasibility study on full-scale plants for treatment of waste water and solid waste from palm oil mills ; after pilot plant experiments at the Palm Oil Mill Aek Pancur and Pagar Marbau, Indonesia. Medan : IOPRI, IV, 142 p
- Schuchardt F, Darnoko D, Guritno P (2002) 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, Sudharjo 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
- Sutarto E, Winarna, Tobing PL, Sufianto (2000) Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit pada perkebunan kelapa sawit. In: *Integrated management of palm oil mill solid wastes and effluents : Medan, 13-14 Juni 2000. Medan, Indonesia : Pusat Penelitian Kelapa Sawit*
- Taryo-Adiwiganda Y, Poeloengan Z (1998) General oil palm fertilizer recommendation in Indonesia : twenty-five years experience. In: *International Oil Palm Conference, 23.-25.09.1998, Nusa Dua, Bali (Indonesia)*, pp 325-334
- Umweltbundesamt (2002) *Umweltdaten Deutschland 2002* [online]. Zu finden in: <<http://www.umweltbundesamt.de/udd/udd2002.pdf>> [zitiert am 01.10.2004]
- Wulfert K, Gindulis W, Koehler M, Darnoko D, Tobing PL, Yulisari R (2000a) Anaerobic treatment of palm oil mill effluent (POME). In: *Penanganan terpadu limbah industri kelapa sawit yang berwawasan lingkungan, Medan, 13-14 Juni 2000. Medan : Pusat Penelitian Kelapa Sawit, IIA.1-17*
- Wulfert K, Gindulis W, Koehler M, Darnoko D, Tobing PL, Yulisari R (2000b) Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) secara anaerobic. In: *Penanganan terpadu limbah industri kelapa sawit yang berwawasan lingkungan, Medan, 13-14 Juni 2000. Medan : Pusat Penelitian Kelapa Sawit, IVB1-IVB13*
- Wulfert K, Darnoko D, Tobing PL, Yulisari R, Guritno P (2002) Anaerobic treatment of POME by fixed bed digester. In: *Poeloengan Z, Guritno P, Darnoko D, Buana L, Purba R, Darmosarkoro W, Sudharjo 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