



# Lebensmittel und Energiepflanzen aus biologischem Anbau - unerwünschte oder nachhaltige Möglichkeiten?

Winfried Schäfer  
MTT Agrifood Research Finland



3.9.2008

Das mir gestellte Thema möchte ich in 4 Abschnitten darstellen:

1. Flächenkonkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Energiepflanzen.
2. Wirkungsgrade der Energiepflanzenproduktion
3. Die Nachhaltigkeit der Energiepflanzenproduktion
4. Hinweise und Beispiele für die Praxis

Die Landwirtschaft steht unter dem Druck wieder für die Energieversorgung der Volkswirtschaft verantwortlich zu werden, wie das ja vor der Industrialisierung der Fall war.

# 1. Flächenkonkurrenz

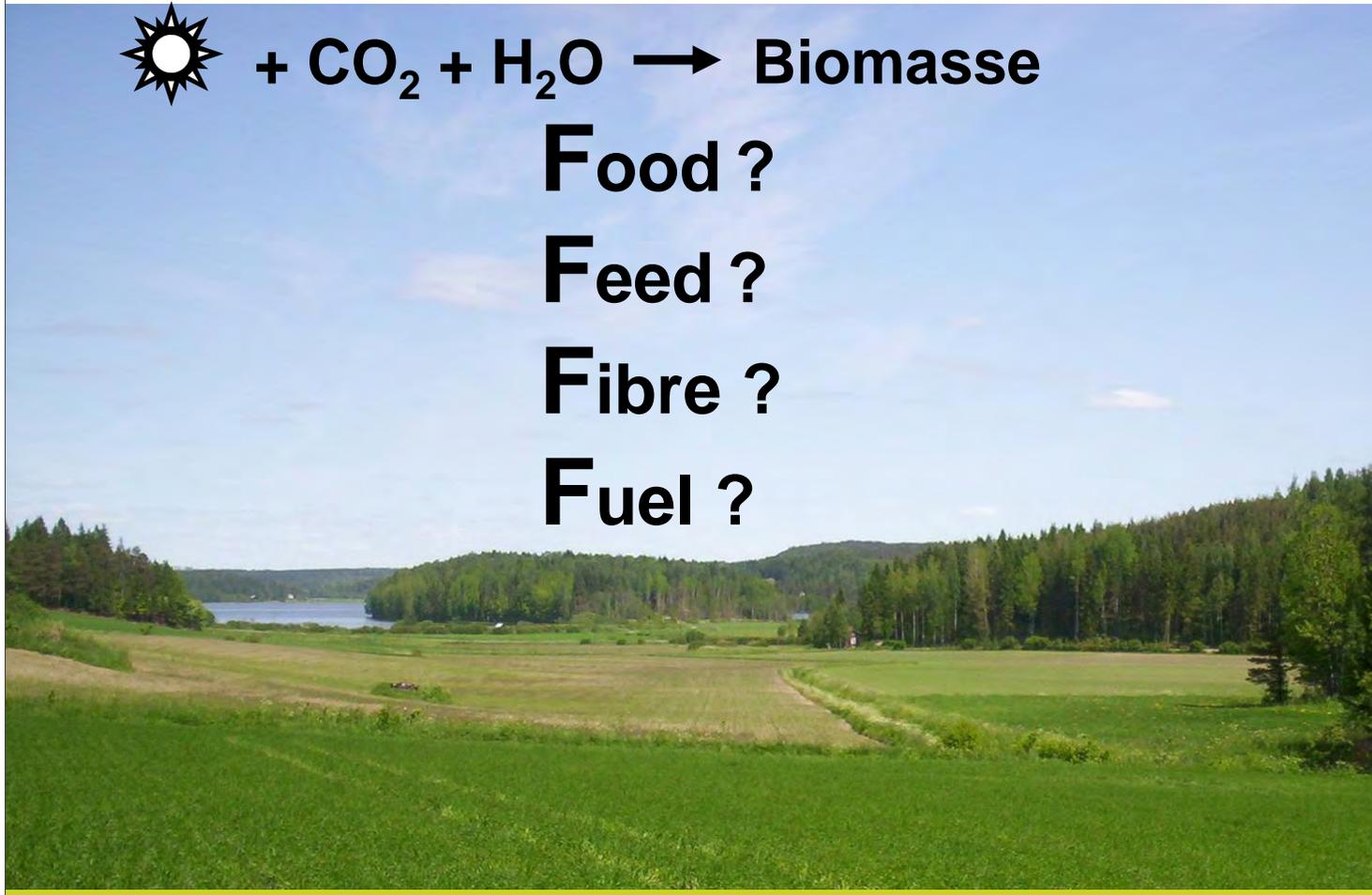


**Food ?**

**Feed ?**

**Fibre ?**

**Fuel ?**



Generell gilt:

Sonne, Kulturland, CO<sub>2</sub> und Wasser sind die Voraussetzungen zur Erzeugung von Biomasse.

Was bauen wir hier auf dieser schönen Fläche des Versuchsbetriebs von MTT in Vihti an?

Um die Fläche konkurrieren 4 Produkte, bekannt als die 4 F. Feldfrüchte für die Ernährung der Menschheit, Futter für unsere Tiere, Fasern für Kleidung, Industrie und Wärmedämmung und nicht zuletzt Kraftstoff für den Verkehr.

# Flächenbedarf und Energieaufwand von Solar- und anderen Technologien zur Erzeugung von 1 TWh Strom pro Jahr (Pimentel 2008, 1,4\$ = 1 €)

Technologie	Flächenbedarf ha	Energieertrag MWh/ha und Jahr	Verhältnis Energieaufwand zu Energieertrag	Kosten €/ MWh	Nutzungsdauer Jahre
<b>Biomasse</b>	<b>200 000</b>	<b>5</b>	<b>1:7</b>	<b>41</b>	<b>30</b>
Wasserkraft	75 000	13	1:24	14	30
Windkraft	9 500	105	1:4	50	30
Solarteich	5 200	192	1:4	107	30
Photovoltaik	2 800	357	1:7	179	30
Parabolspiegel	1 100	909	1:5	50 - 64	30
Kohle	166	6 024	1:8	21	30
Geothermie	30	33 333	1:48	46	20
Kernkraft	30	33 333	1:5	35	30

3.9.2008

Winfried Schäfer

3

Doch nicht nur die Energiepflanzen, auch andere Energieerzeuger konkurrieren um Fläche.

Es ist spätestens seit den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts bekannt, daß hinsichtlich der Energieproduktion Energiepflanzen ganz schlechte Karten haben.

Sie benötigen viel Fläche und der Energieertrag im Verhältnis zum Energieaufwand ist eigentlich nicht konkurrenzfähig mit anderen Technologien.

## **2. Wirkungsgrade**

### **Beispiel:**

# **Kraftstoff aus Rapsöl**

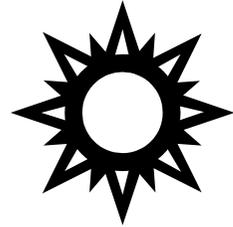
3.9.2008

Winfried Schäfer

4

Ich möchte das am Beispiel von Raps erläutern

# Energieaufwand und -ertrag zur Biodieselproduktion in kWh / m<sup>2</sup> and Jahr



+



=



Saat, Stroh,  
Wurzeln: 3,3 – 6,3

Bildnachweis:

- 1 Timo Lötjönen
- 2 Winfried Schäfer
- 3 MTT:n kuvatietokannan tekijät
- 4 Frederik Teye

Sonnenstrahlung: 900 Kulturmaßnahmen: 0,3 – 0,8



Saat:  
1,1 – 2,1

+



Ölpresse: 0,1

=



Preßkuchen  
0,5 – 0,9

+



Öl:  
0,6 – 1,2

+



Biogas:  
0,08 – 0,15

Wärme und Strom:  
0,03 – 0,15

=



Milchproduktion:  
0,2

+



Veresterung:  
0,1- 0,2

=



RME:  
0,64 – 1,21

3.9.2008

Winfried Schäfer

5

Hier ist dargestellt, wieviel Energie zur Herstellung von Raps und Folgeprodukten benötigt wird (rote Schrift) und wieviel Energie in den Produkten steckt (grüne Schrift).

Kulturmaßnahmen des Rapsanbaus und Sonnenenergie liefern Biomasse, hier also Saat, Stroh und Wurzeln.

Aus der Saat wird Öl gewonnen, das entweder zum menschlichen Verzehr dient oder zu RME weiterverarbeitet wird.

Ferner fällt Preßkuchen an, der als Futter dient.

Wenn wir als Beispiel Ölhans statt Raps anführen, können wir auch noch das Stroh verwerten zur Herstellung von Wärmedämmung.

Aus den Abfällen der Produktion kann Biogas hergestellt werden.

Mit diesen Zahlen lassen sich nun die Wirkungsgrade der einzelnen Prozesse berechnen.

# Prozeßwirkungsgrad $\eta_P$

$$\eta_P = \frac{(E_{out})}{(E_{in} + E_P)}$$

$E_{out}$     Verfügbare Energie nach Prozeßende

$E_{in}$     Verfügbare Energie zu Prozeßbeginn

$E_P$     Zugeführte Prozeßenergie

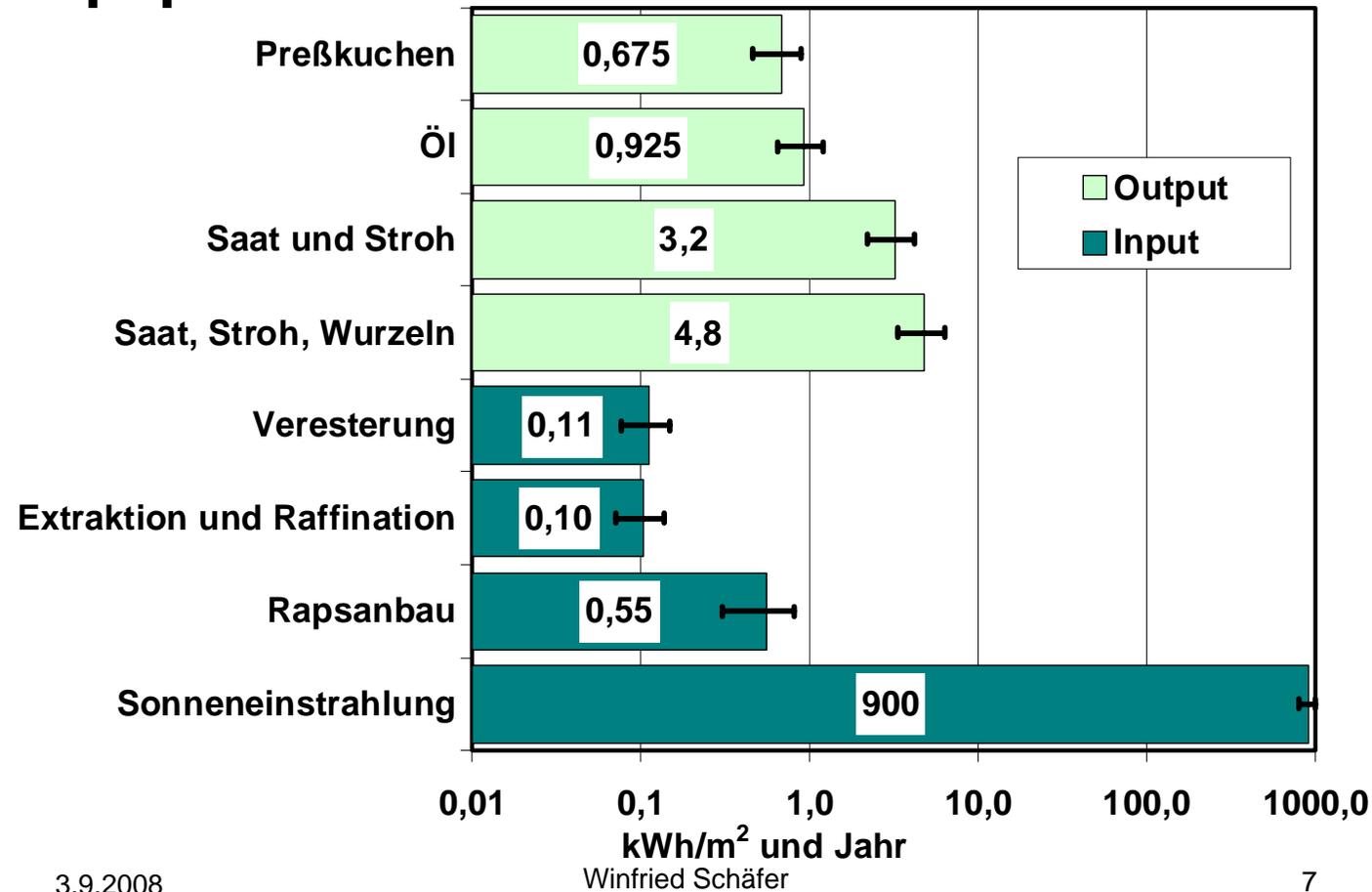
## Prozesse:

- Photosynthese
- Kulturmaßnahmen
- Tierproduktion
- Konversion von Biomasse in Kraftstoff

Aus der Sicht des Ingenieurs ist der Wirkungsgrad eines Prozesses das Verhältnis von Energieertrag zu Energieaufwand.

Prozesse sind z.B. Photosynthese, Kulturmaßnahmen, Tierproduktion oder die Konversion von Biomasse in Kraftstoff

# Energieaufwand und -ertrag der Rapsproduktion



Wir berechnen also in unserem Beispiel den Energieaufwand und den Energieertrag.

Die hier vorgestellten Zahlen stammen aus einer Literaturlauswertung und sind auf finnische Verhältnisse bezogen.

Beachten Sie den logarithmischen Maßstab

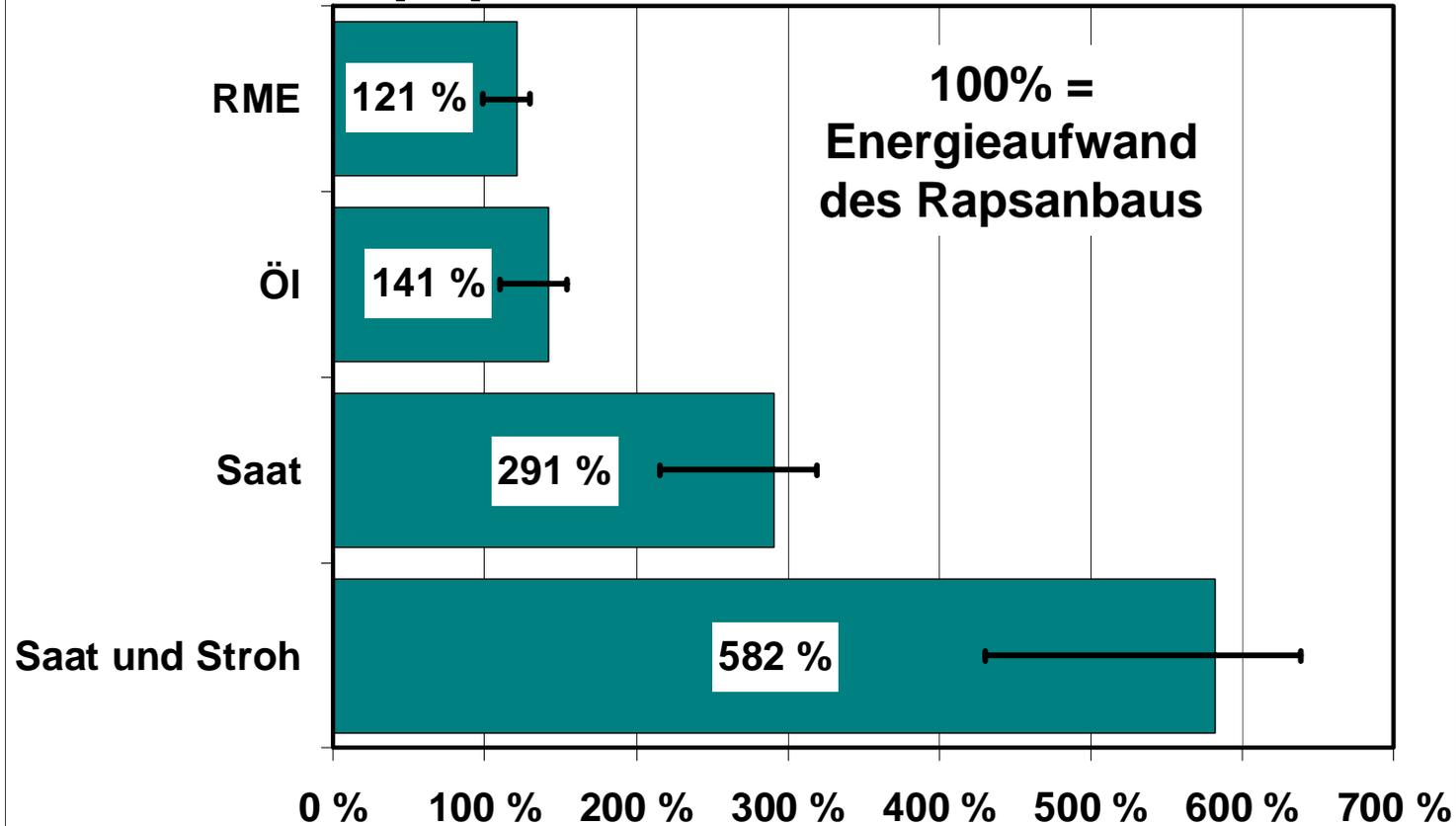
Sie sehen, der größte Teil der zugeführten Energie stammt aus der Sonnenstrahlung

Nun lassen sich verschiedene Kombinationen für das Verhältnis von Energieertrag und Energieaufwand berechnen.

Entsprechend groß ist die Zahl der voneinander abweichenden Ergebnisse.

Üblich ist, den Ertrag auf den Aufwand der Kulturmaßnahmen zu beziehen.

# Energieüberschuß der Rapsproduktion



3.9.2008

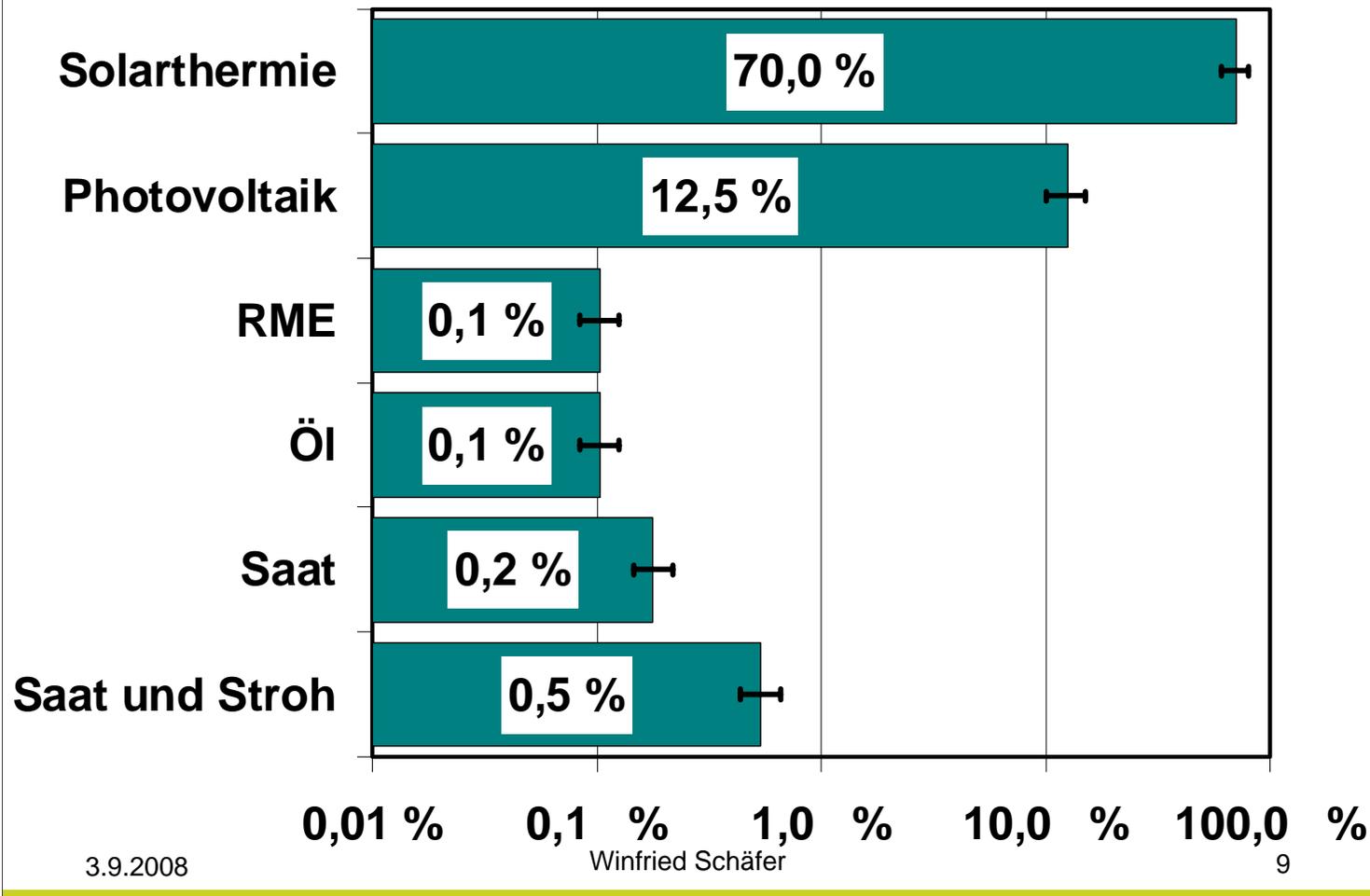
Winfried Schäfer

8

Wenn wir den Energieertrag auf den Energieaufwand der Kulturmaßnahmen beziehen, erhalten wir die hier vorgestellten Prozeßwirkungsgrade.

Andere Kulturen in anderen Ländern bringen einen Energieertrag bis zum 50-fachen des Energieaufwandes für die Kultivierung.

# Gesamtwirkungsgrad der Rapsproduktion im Vergleich zur Solartechnik



Berücksichtigen wir auch noch den Anteil der Sonnenenergie, dann sinkt der Gesamtwirkungsgrad in den Promillebereich, d.h. nur wenige Tausendstel der Zufuhrten Energie sind im Kraftstoff, der aus Biomasse gewonnen werden kann.

Bitte beachten Sie den logarithmischen Maßstab

Vielhundertfach größer ist dagegen der Wirkungsgrad der heutigen Solartechnik

# Schlußfolgerungen

3.9.2008

Winfried Schäfer

10

**Aus diesen Überlegungen lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:**

# 1. Solartechnik ist effizienter



3.9.2008

Winfried Schäfer

11

Bezogen auf den Gesamtwirkungsgrad ist die Solartechnik hinsichtlich des Energieertrages je Flächeneinheit effizienter als die Energiepflanze.

HS 26.2.2006, E9



**NESTE OIL**

Neste Oil Corporation is a leading independent Northern European oil refining and marketing company with a focus on high-quality petroleum products designed for clean traffic. Many of our products are based on our own technology, for example, traffic fuels made from renewable raw materials. Neste Oil has an extensive retail network in Finland and in the Baltic Rim area, and a modern tanker fleet that carries crude oil and oil products. The number of personnel in our company is about 4,500.

The Components division develops, produces and markets high-class components for lubricants and traffic fuels for international markets. Its products include biofuel, gasoline components and base oils.

Our business is growing strongly and offers growth opportunities in a global business environment for committed and capable persons.

For our headquarters at Kellaranta in Espoo we are seeking a:

**Project Coordinator**                      **Sales Trainee**

Neste Oil operates actively in rapidly growing renewable fuel markets. Our products include a biocomponent of gasoline ETBE and high-quality biodiesel, the production of which will begin at the Purvoo refinery in April 2007.

Neste Oil Base Oils is a global leading supplier of high-performance base oils for lubricant applications. Our NEXBASE® product range, which includes hydrosomerized VHVI base oils and polyalphaolefins, are environmentally friendly products. We market our products on a business-to-business basis.

We need you to

- be self-motivated and goal-oriented
- possess good interpersonal skills and the ability to handle complex situations
- have specialization in botany
- have at least five years of work experience – project management experience is an asset
- be fluent in English
- be prepared to travel.

For further information, please contact Mr. Jyrki Ignatius, Vice President, Biofuels, tel. +358 50 458 7034.

3.9.2008    Winfried Schäfer



## 2. In den Tropen ist der Wirkungsgrad am höchsten

Die Energiepflanzenproduktion besticht mit vielen win-win Situationen:

- umweltneutrale Biokraftstoffe ersetzen umweltbelastende fossile Kraftstoffe,
- Landwirte erzielen bessere Preise mit Energiepflanzen,
- die agrochemische Industrie profitiert von der Intensivierung der Bioenergiepflanzenproduktion,
- infolge steigt das Steueraufkommen des Staates.

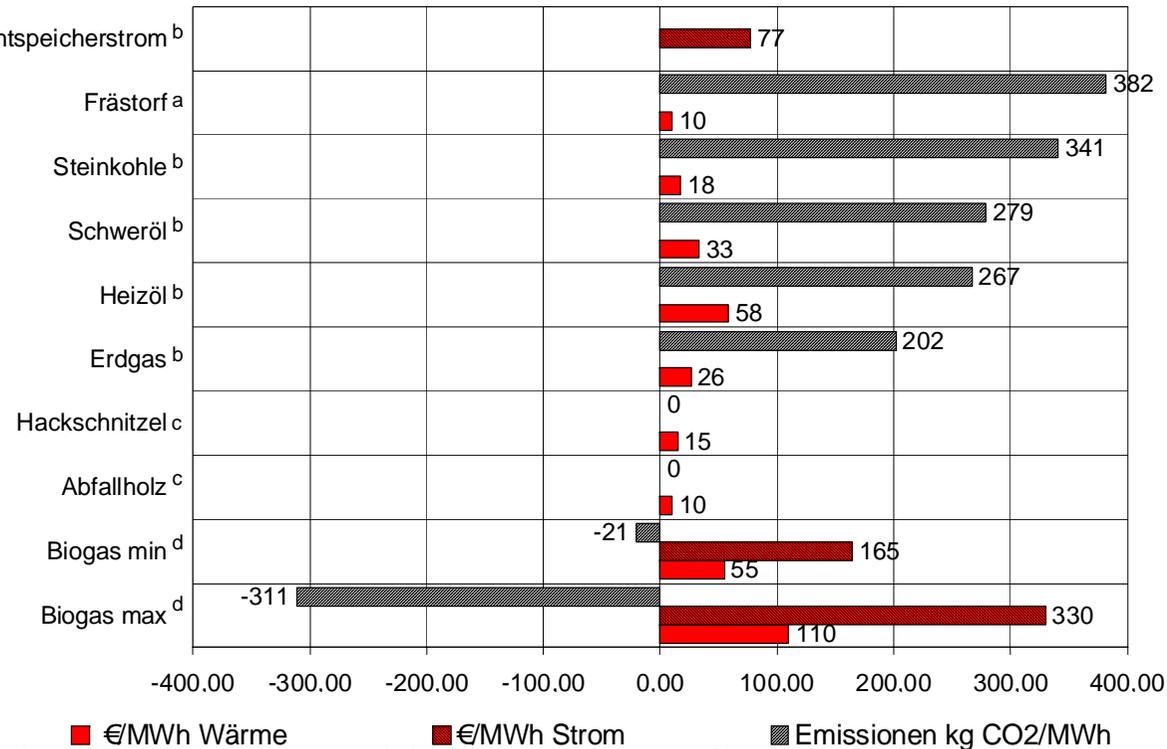
Hinsichtlich des Prozeßwirkungsgrades der Fotosynthese und des Pflanzenbaus ist der Wirkungsgrad in den Tropen am höchsten. Das hat praktische Folgen:

Hier eine Stellenanzeige des finnischen Mineralölkonzerns Neste. Neste importiert Palmöl aus Indonesien zur Herstellung von Dieselkraftstoff.

Bessere Preise für Energiepflanzen fördern auch die Intensivierung der Energiepflanzenproduktion in den tropischen Ländern auf Kosten der Nahrungsmittelproduktion.

### 3. Handlungsbedarf in der Energiepolitik:

## Je größer die Umweltbelastung, desto billiger die Energie



<sup>a</sup> Ranta et al. 2007: The effect of CO2 emission trade on the wood fuel market in Finland. Biomass and Bioenergy 31(8),535-542

<sup>b</sup> Energiakatsaus 2/2007: Tilasto 3.2007 prices for heat production

<sup>c</sup> Ranta, 11.7.2007

<sup>d</sup> Möller et al. Hrsg. 2007: Effects of biogas digestion of slurry and biomass on productivity and environmental impact in organic farming systems. Endbericht: DBU – AZ 15074, Fachbereich Agrarwissenschaften, Universität Giessen. <http://orprints.org/10970/>. 200 ha.

3.9.2008

Winfried Schäfer

13

3. Es macht Sinn, Kraftstoffe aus Bioabfällen zu gewinnen, da der Energieaufwand zu ihrer Herstellung entfällt.

Aber, die Energiegewinnung aus Biomasseabfällen ist wesentlich teurer als Energie fossiler Herkunft. Ausnahme: Hackschnitzel und Abfallholz.

Deshalb besteht Handlungsbedarf in der Energiepolitik.

### **3. Ist Energiepflanzenproduktion nachhaltig?**

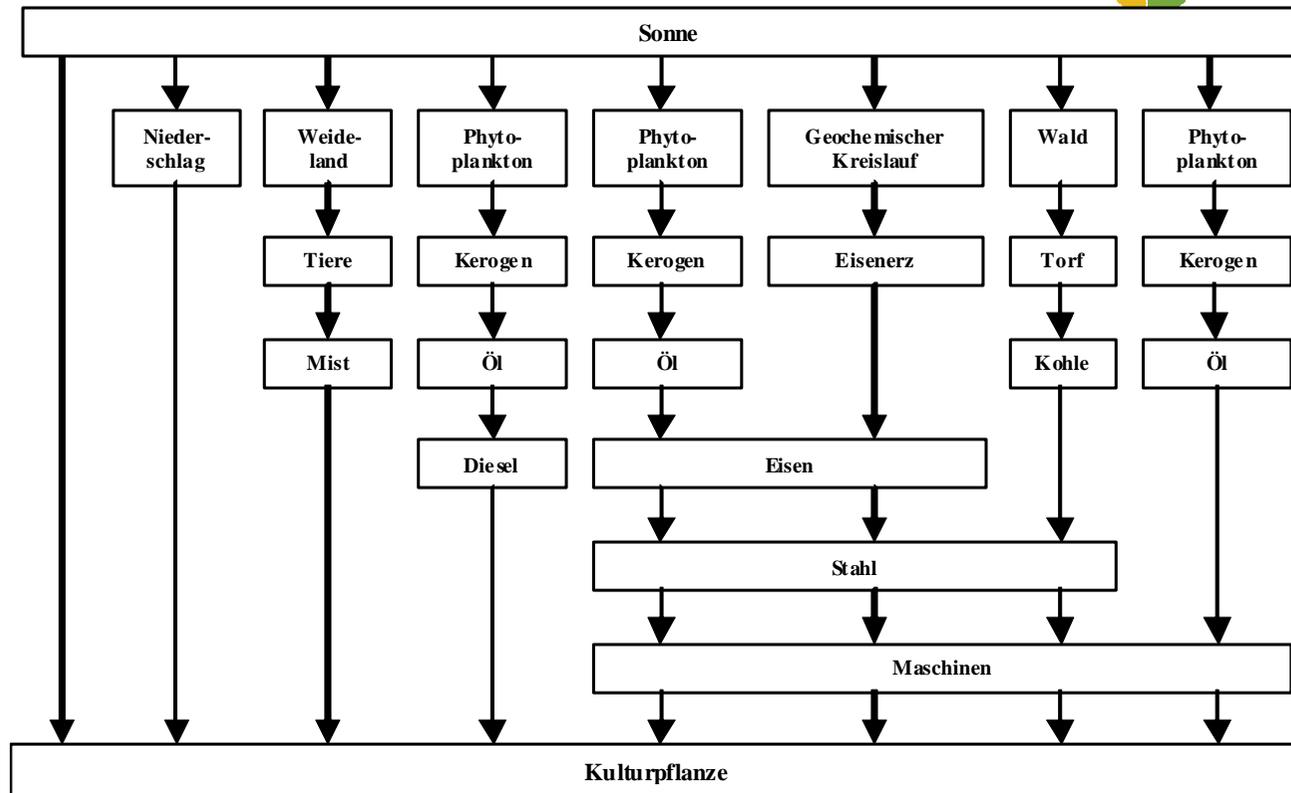
3.9.2008

Winfried Schäfer

14

**Nun stellt das Thema die Frage nach der Nachhaltigkeit der Energiepflanzenproduktion**

# Vereinfachtes Modell der Pflanzenproduktion



nach Bastianoni et al. 2007, geändert. Die Energy-Bilanzierung (mit m geschrieben) führt alle Energieeinträge auf die zur Herstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung benötigte Sonnenenergie zurück (Odum 1996).

3.9.2008

Winfried Schäfer

15

Dazu möchte ich einige Überlegungen darstellen, die auf der Methode der Umweltbilanzierung von H.T. Odum fußen, einem der bedeutendsten Umweltwissenschaftler des vergangenen Jahrhunderts.

Die sogenannte Energy-Bilanzierung (mit m geschrieben, steht für embedded energy) führt alle Energieeinträge auf die zur Herstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung benötigte Sonnenenergie zurück (Odum 1996).

Dies gilt nicht nur für die Energiepflanzenproduktion, sondern auch für Solartechniken.

Die Erzeugung erneuerbarer Kraftstoffe sowohl mit Hilfe der Photosynthese als auch mit Solartechnologie ist dann nachhaltig, wenn der jährliche Energiebedarf unter dem Produkt aus dem Gesamtwirkungsgrad der Konversion und der jährlichen Sonneneinstrahlung liegt.



Land	BG	CZ	H	PL	SK	SLO	FIN	L
Fläche <sup>a</sup> 1000 km <sup>2</sup>	110.9	78.9	93.0	312.7	48.9	20.3	304.5	2.6
Bevölkerung <sup>a</sup> Millionen Einwohner	7.8	10.2	10.1	38.2	5.4	2.0	5.2	0.5
Gesamter Energieverbrauch <sup>a</sup> MWh pro Kopf und Jahr	33.0	28.3	31.9	27.7	43.5	45.5	68.6	116.2
Sonneneinstrahlung <sup>b</sup> MWh pro m <sup>2</sup> und Jahr	1.3	1.0	1.2	1.0	1.1	1.2	0.8	1.0
Ertrag MWh pro Kopf und Jahr, $\eta=0,1\%$	18.7	8.0	11.2	8.3	10.1	12.0	49.1	5.9
Nachhaltigkeit %	67.7	28.2	35.1	29.9	26.7	27.6	71.6	5.1

<sup>a</sup>IAEA <http://iaea.org/inisnkm/nkm/aws/eedrb/>, <sup>b</sup>Šúri M. et al. 2007, PVGIS © European Communities, 2001-2008

Das Maß einer nachhaltigen Biokraftstofferzeugung ist die verfügbare Energie nach der Umwandlung von Solarenergie in Kraftstoff je Einwohner und Flächeneinheit.

Die Erzeugung erneuerbarer Kraftstoffe sowohl mit Hilfe der Photosynthese als auch mit Solartechnologie ist dann nachhaltig, wenn der jährliche Energiebedarf unter dem Produkt aus dem Gesamtwirkungsgrad der Konversion und der jährlichen Sonneneinstrahlung liegt.

Sonnenenergie ist nicht im Überfluß vorhanden, wenn man die Nutzbarkeit betrachtet. Wir erhalten ca. 1000 kWh/Jahr und m<sup>2</sup>, allerdings über einen längeren Zeitraum als die fossilen Energievorräte ausreichen.

Beispiel Finnland: Wenn es gelingt, die Sonnenenergie mit einem Gesamtwirkungsgrad von 0,1% (Biomasse, Solartechnik usw.) in alle in Finnland benötigten Energiearten umzuwandeln, reicht die Fläche immer noch nicht aus, um den gesamten Energiebedarf des Landes zu decken.

In Bevölkerungsreichen Ländern ist das Defizit noch wesentlich gravierender. Da muß schon global gedacht werden, wenn hier eine nachhaltige, einigermaßen gerechte Energieverteilung erreicht werden soll.

# Biomasse ist mehr als Kohlenwasserstoff

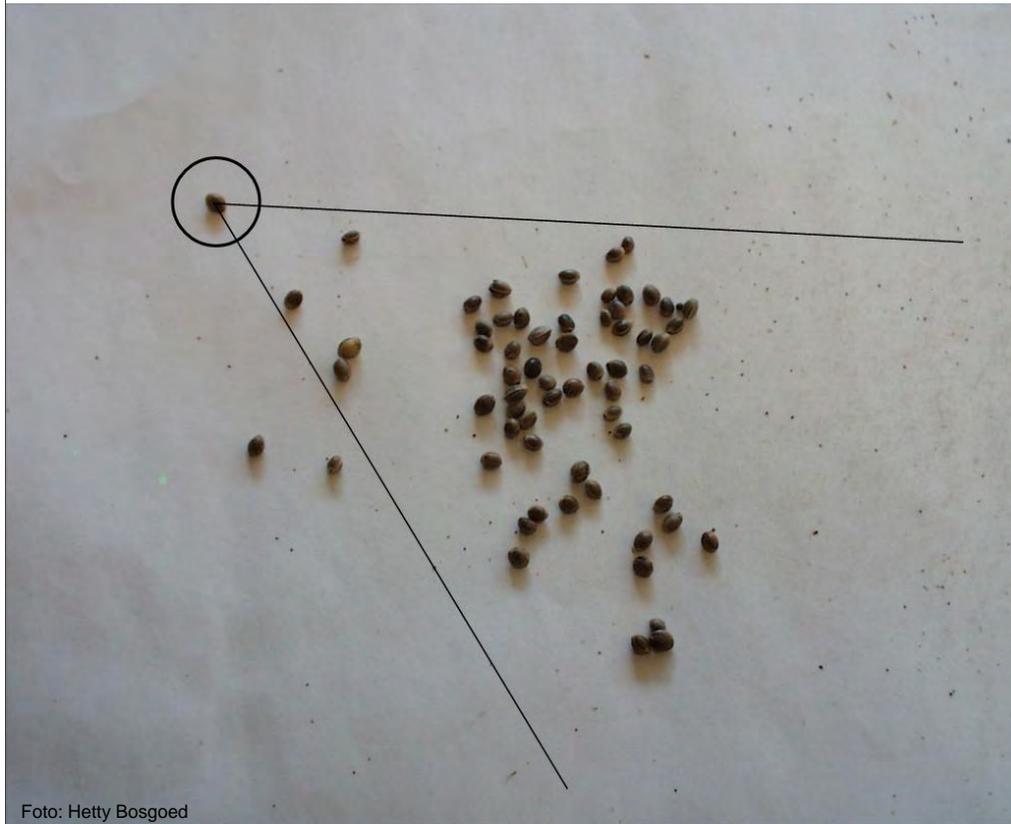


Foto: Hetty Bosgoed

Ein Saatkorn hat das Potential 50 und mehr Körner Frucht zu bringen, wenn es auf fruchtbarem Boden kultiviert wird.

Kein Hedgefond garantiert eine ähnliche Verzinsung

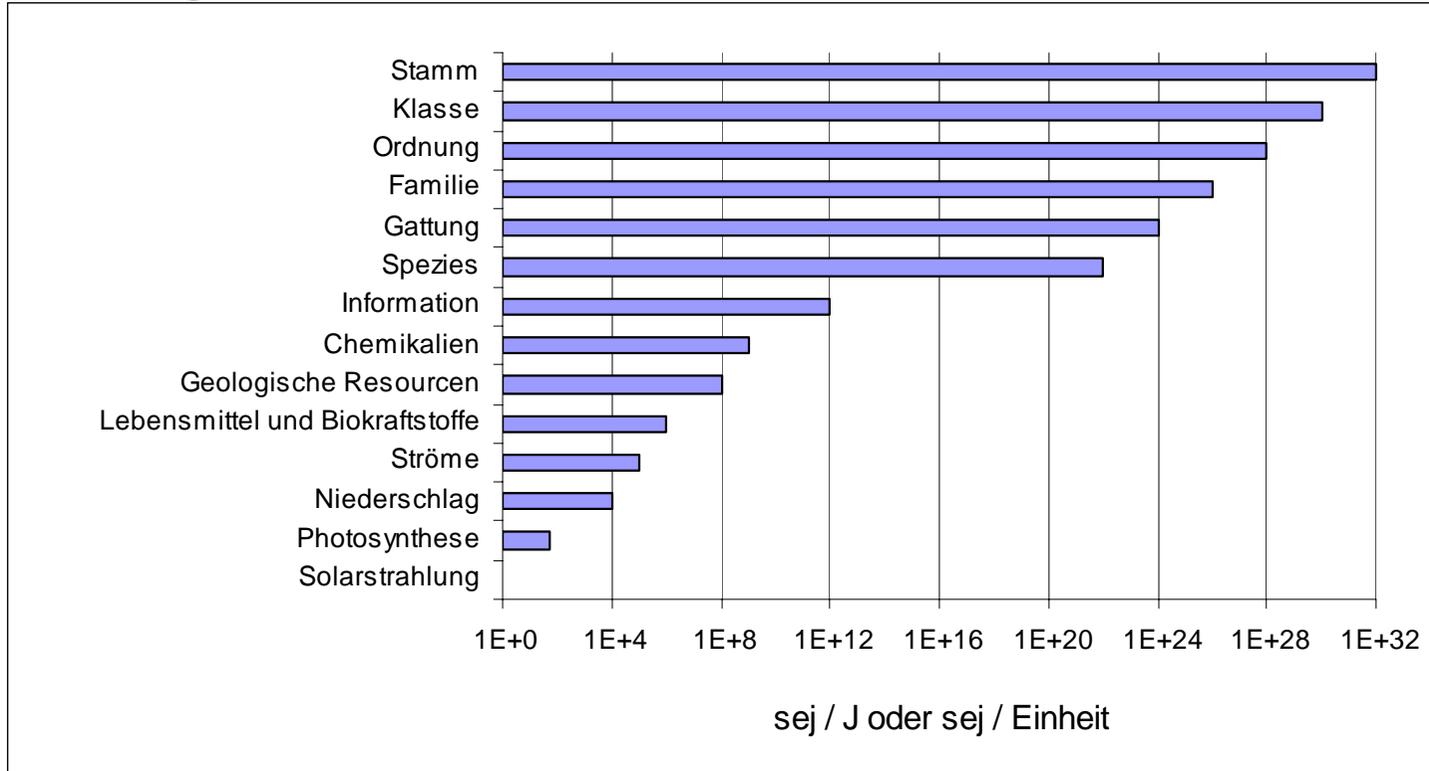
3.9.2008

Winfried Schäfer

17

Der Aufwand an Sonnenenergie für die genetische Information des Saatgutes ist sehr hoch im Vergleich zur verfügbaren Energie.

# Warum also soll die Menschheit ihr Saatgut verbrennen?



**Verhältnis aus Sonnenenergieaufwand (sej = Solarjoule) und nutzbarer Energie (Odum 2000, Odum 1996)**

3.9.2008

Winfried Schäfer

18

Der direkte und indirekte Energieaufwand zur Erzeugung einer kWh Biomasse beträgt ca.1 MWh Sonnenenergie, zur Herstellung einer kWh Kohle ca. 40 MWh, zur Erzeugung einer kWh Strom ca. 170 MWh und für eine kWh menschlicher Dienstleistung >10 GWh.

Je höher die Energiequalität ist, desto weniger gibt es davon.

In wertvollen Dingen ist weniger nutzbare Energie aber mehr Sonnenenergie.

Am höchsten ist der Wert für genetische Information (Odum 2000).

Artensterben und der Verlust der Biodiversität läßt sich somit mit der physikalischen Einheit Solarjoule (sej) quantifizieren.

## Fazit

- **Kulturpflanzen sind hinsichtlich Food, Feed, Fibre zu wertvoll um als Energiepflanzen verbrannt zu werden**
- **Organische Abfälle sind bestens geeignet zur Herstellung von Biokraftstoffen, Energieaufwand gering.**
- **Zur Sicherung einer nachhaltigen Energieversorgung hat die Menschheit in Zukunft zwei Optionen:**
  1. **Gesamtwirkungsgrad bei der Umwandlung von Sonnenenergie in nutzbare Energie verbessern.**
  2. **Wahrscheinlich billiger und schneller zu erzielen ist die zweite Möglichkeit: Energie sparen.**

## 4. Hinweise und Beispiele für die Praxis

# Moderne Pferdetechnik

Fotos: Strüber



3.9.2008

Winfried Schäfer

21

Der Einsatz des Pferdes in der ökologischen Landwirtschaft ist eine Überlegung wert.

Hier Beispiele moderner Pferdetechnik aus einem Projekt der Universität Kiel mit ökologisch wirtschaftenden Landwirten.

## Emergy-Bilanz von Pferd (1927) und Traktor (1996) nach Rydberg (2002)

**Pferd:**

**1882 ksej/J Zugenergie, davon**

**1132 ksej/J erneuerbar**

**750 ksej/J nicht erneuerbar**

**Traktor:**

**1190 ksej/J Zugenergie, davon**

**110 ksej/J erneuerbar**

**1080 ksej/J nicht erneuerbar**

**1 ksej = 1000 Joule Solarenergie = 0,278 Wh**

Eine Veröffentlichung Rydbergs zeigt die Nachhaltigkeit der Pferdezugkraft im Vergleich zur Traktorzugkraft.

Nicht berücksichtigt ist der derzeitige Stand der Pferdetechnik mit Vorderwagen und die Arbeitshypothese des Kieler Projektes, wonach der Zugkraftbedarf beim Pferdeeinsatz weit unter der des Traktors liegt auf Grund der verbesserten Bodenstruktur.

# Gantrytechnologie

Fotos: Peter A. Balasov, Jan Slinsky



3.9.2008

Winfried Schäfer

23

Eine weitere zukunftssträngige Möglichkeit ist der Einsatz des Gantry's, hier eine Entwicklung eines slowakischen Landwirtes.  
Verbesserte Bodenstruktur, niedriger Energiebedarf.

# Small scale Gantry



3.9.2008

Winfried Schäfer

24

oder hier ein kleines Gantry für Gewächshaus und Gartenbau eines finnischen Herstellers. Wird in Zukunft mit Solarenergie betrieben

# Biogasanlage für Festmist in Järna

Foto: Winfried Schäfer



3.9.2008

Winfried Schäfer

25

Unberührt von diesen Überlegungen bleibt die Tatsache, daß die Konvertierung biogener Abfälle zur Erzeugung von Biokraftstoffen sinnvoll ist, solange der Prozeßenergieaufwand kleiner ist als die verfügbare Energie des Biokraftstoffes.

Hier das Beispiel einer vollautomatischen Festmistvergärungsanlage zur Gewinnung von Kompost, Stickstoffdünger und Energie.

Ich schließe mit einem Zitat von Werner Edelmann, Dr. sc. nat ETH, Schweizerisches Biogas Forum / arbi GmbH:

„Die Bioenergie ist daher die Methode der Wahl für Abfälle. Die Abfälle müssen behandelt werden und wenn wir sie behandeln, können wir die anorganischen Nährstoffe wie auch die humusbildenden organischen Verbindungen wieder in den natürlichen Kreislauf zurückführen und gleichzeitig die Sonnenenergie in den abbaubaren Verbindungen nutzbar machen.

Wir gewinnen nicht nur erneuerbare Energie, sondern sparen auch gleichzeitig Energie und Umweltbelastung ein, die zur Herstellung von Mineraldünger gebraucht würde!

# Ich bedanke mich für Ihre Aufmerksamkeit

Winfried Schäfer  
MTT Animal Production Research

Vakolantie 55  
FIN 03400 VIHTI  
Tel. +358-9-22425220  
winfried.schafer@mtt.fi

Foto: Winfried Schäfer