



**AACHENER VERFAHRENSTECHNIK**



**Voraussage und ethische Bewertung  
von zukünftigen  
Rohstoff- und Energieszenarien**

Andreas Pfennig, Nicole Kopriwa, Sara Fayyaz,  
Rafaela Hillerbrand  
AVT – Thermal Process Engineering  
andreas.pfennig@avt.rwth-aachen.de  
www.avt.rwth-aachen.de  
INDISTA 2009  
Bensberg, 1.10.2009



© 2009, Andreas Pfennig, wo nicht bei anderen

## Gliederung

---

- Motivation
- Herausforderungen
- Biomasse
- Andere Lösungen
- Fazit

# Der Auslöser

Seite 3 AN ABCDE - Nummer 207

Die Seite drei

Mittwoch, 6. September 2006

## Landwirt von heute ist der Ölscheich von morgen

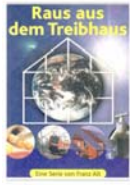
In Zukunft kommen Strom und Wärme vom Acker: Alles was Erdöl kann, können Pflanzenöle auch. Nur die Landwirtschaftspolitik muss noch umdenken.

**AACHEN.** Bauern als Energie- und Rohstoffproduzenten der Zukunft können in ihrem Beruf wieder eine Bedeutung für eine bessere Zukunft sehen. Die Biomasse vom Acker und aus dem Wald ist gespeicherte Sonnenenergie und steht auf der ganzen Welt in Fülle vorhanden. Hauptächlich die Länder der Dritten Welt brauchen im 21. Jahrhundert viel mehr Energie als bisher, um ihre Volkswirtschaften zu entwickeln und den Hunger zu besiegen. Ökonomie

geproduziertes und Rohstofflieferanten für die gesamte Gesellschaft sein. Sie werden verschäde- lichte Sorten von Schilfrohr, Leinöl, Hanf, Sonnenblumen, Raps, Flachs, schwefelwundenen Baumarten und Holzarten zur Energie- und Rohstoffgewinnung anbauen.

### Hosen aus Hanf

Alles, was das Erdöl kann, können Holz und Pflanzenöle auch. Pflanzen werden künftig nicht nur zur umweltfreundlichen Energiegewinnung, sondern auch als Rohstoffquelle verwendet werden - zum Beispiel in der chemischen Industrie, der Bauindustrie und der Automobilindustrie für Häuser und Autos, Fernheizgeräte und Dämmstoffe sowie Verpackungsmaterial, zum Fahren und zum Bauen. Hanf und der ökologische Bauer. Aus Schilfrohr, Leinöl, Hanf, Sonnenblumen, Raps, Flachs, schwefelwundenen Baumarten und Holzarten, die zum Teil heute schon umgewandelt wird. 1992 wurden in Deutschland auf etwa 75 000 Hektar nachwachsende Rohstoffe für Industrieprodukte angebaut, 2005 sind es schon über eine Million Hektar.



Entwicklung ist jedoch nur möglich mit viel Energie aus erneuerbaren Quellen. Pflanzen und Bäume wachsen nach und können unendlich in Energie verwandelt werden, ohne die Klima zu belasten. Der Schlüssel zu einer kompakten - Energieversorgung über Erneuerbare Energien ist eine alternative regionale Versorgung. Und am Beginn einer dezentralen Energiegesellschaft steht die Landwirtschaft, der primäre Wirtschaftssektor. Die Bauern der Zukunft werden nicht nur ökologisch Lebensmittel erzeugen, sie werden auch Ener-



Da fährt ein Ölscheich an seinem Ölfeld vorbei. Rapsöl ist längst so wertvoll wie Erdöl. Foto: Keystone

den Tag so viele organische Substanzen auf unserer Erde, dass wir damit einen Güterzug füllen könnten, welcher eine Länge von der Erde bis zum Mond hat. Bäume und Pflanzen sind die effektivsten Sonnenakkumulatoren. In der EU wird leider noch immer Landwirtschaftspolitik nach dem Motto betrieben: „Bauern brauchen wir eigentlich gar nicht, wir haben ja ADE.“ Allen in Deutschland werden jedes Jahr etwa 13 000 Bauernhöfe aufgelassen. Ich habe dieses politisch, aber auch gewaltchallischen Umgang mit den Bauern für eine Katastrophe der Geschichte. Aber in einer Zeit, in der Landwirte durch die EU-Osterweiterung nicht mehr Konkurrenz bekommen haben, bietet unumkehrbare Energie vom Acker den Bauern eine Zukunftsperspektive.

- Neue Arbeitsplätze entstehen im ländlichen Raum. Junge Leute finden ihr Dorf wieder attraktiv.
- Die Landschaft kann gepflegt werden und ländliche Räume können wirtschaftlich prosperieren.
- Organischer Müll, Gülle und Klärschlamm können sinnvoll und gewinnbringend genutzt werden.
- Die Vegetation wird gefördert anstatt vertrieht.

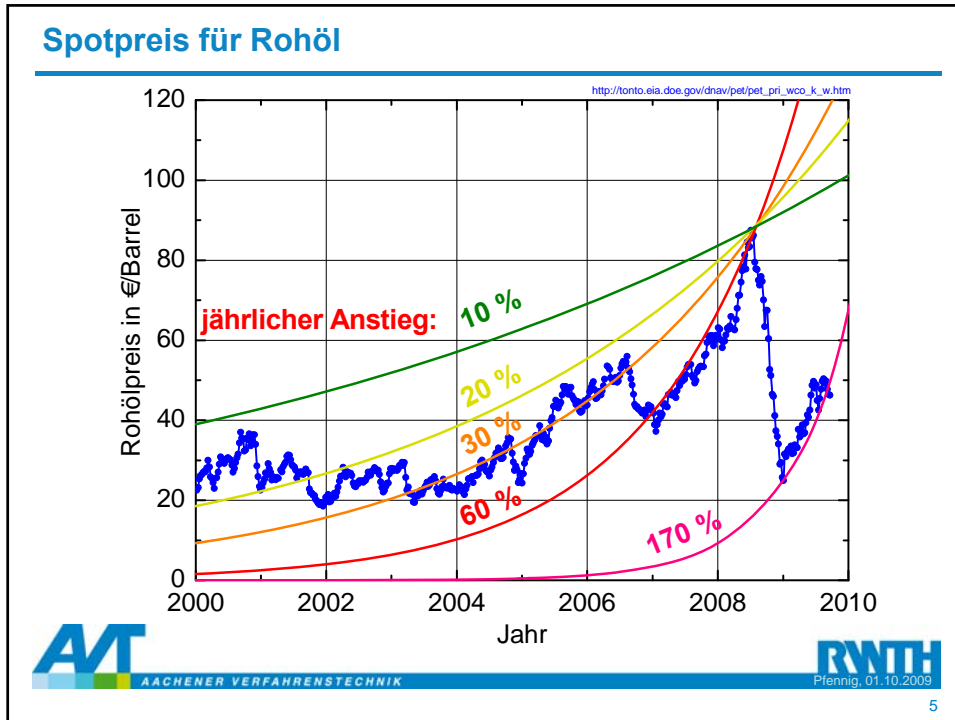
### Flugzeuge fliegen mit Sprit aus Zuckerrohr

- Landwirte werden Energiewirte oder dezentrale Energieerzeuger. In der Zukunft gibt es viele Ölscheiche, die schon in wenigen Jahren ihre gesamte Energie vom Acker und aus dem Wald ziehen - Strom, Wärme, Kühlung und Fahrzeugkraft.
- In Deutschland investieren BMW und VW Millionen Euro in die Forschung von Biogaz.
- In Österreich werden bereits 16 Prozent der gesamten Energieerzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen.
- In der Steiermark gibt es viele Ölscheiche, die schon in wenigen Jahren ihre gesamte Energie vom Acker und aus dem Wald ziehen - Strom, Wärme, Kühlung und Fahrzeugkraft.
- Holzpellets als Brennstoff sind in der EU bereits um die Hälfte billiger als das alte Heizöl - und die Ölscheiche werden noch steigen.

## Einheiten, Bezüge, etc.

„Im Jahr 2008 wurden hier [in Deutschland] schätzungsweise 3 Milliarden Liter [konventioneller Biodiesel] produziert. Dies entspricht allerdings nur gut fünf Prozent des einheimischen Verbrauchs an Kraftstoffen von gut fünfzig Millionen Tonnen im Jahr“

(Pack den Bio in den Tank, Spektrum der Wissenschaft, Juni 2007)



## Tortilla Crisis January 31, 2007



AP Photo/Gregory Bull, <http://www.epochs.de/articles/2007/05/30/125056p.html>



Pfennig, 01.10.2009

7

## Gliederung

- Motivation
- Herausforderungen
- Biomasse
- Andere Lösungen
- Fazit



AACHENER VERFAHRENSTECHNIK



Pfennig, 01.10.2009

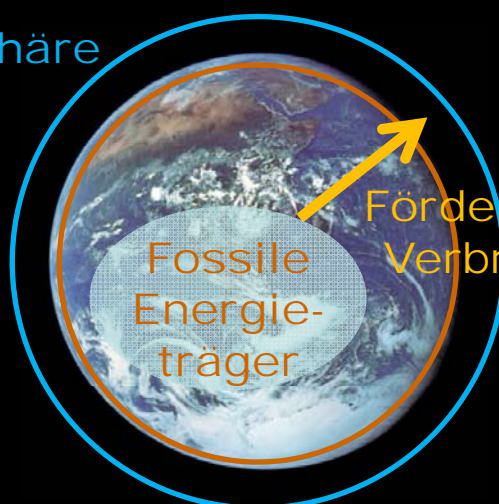
8

## Wie lange reichen die fossilen Primärenergieträger?

Wo nicht anders angegeben: global!

### Globale Bilanzen

Atmosphäre



Förderung und  
Verbrennung

Fossile  
Energie-  
träger

Änderung der Vorräte = - Förderung

## Consumption of Primary Energy Carriers

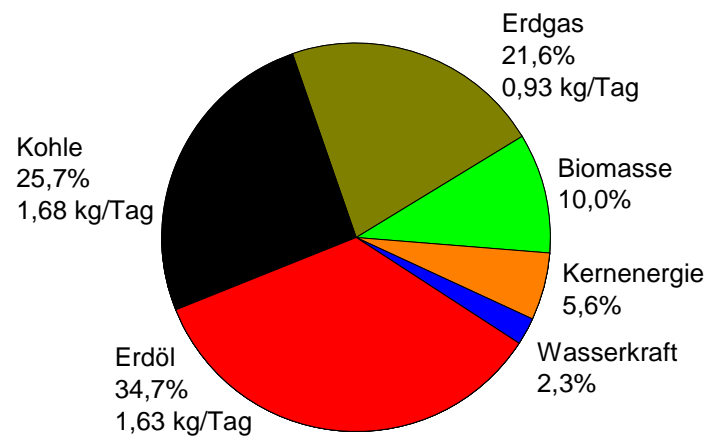
country/region	consumption per capita kWh/(capita year)
USA	90 084
Germany	46 834
<b>world</b>	<b>21 167</b>
China	17 231
Africa	7 636
India	6 159



International Energy Agency: Key World Energy Statistics 2009

Pfennig, 01.10.2009  
11

## Anteile Primärenergieträger am Verbrauch



pro Kopf:

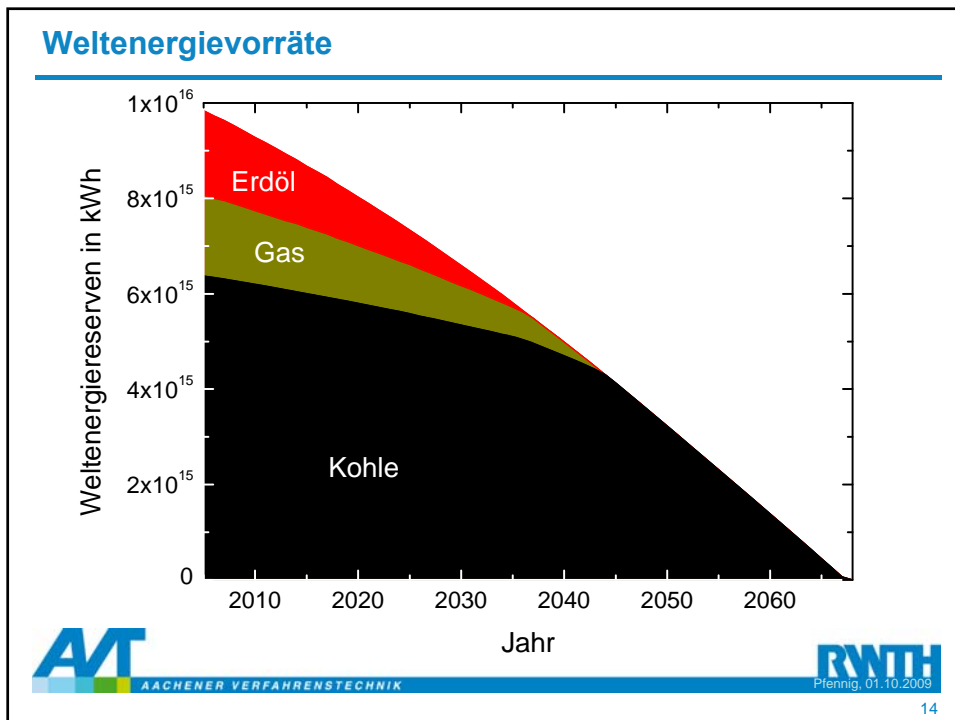
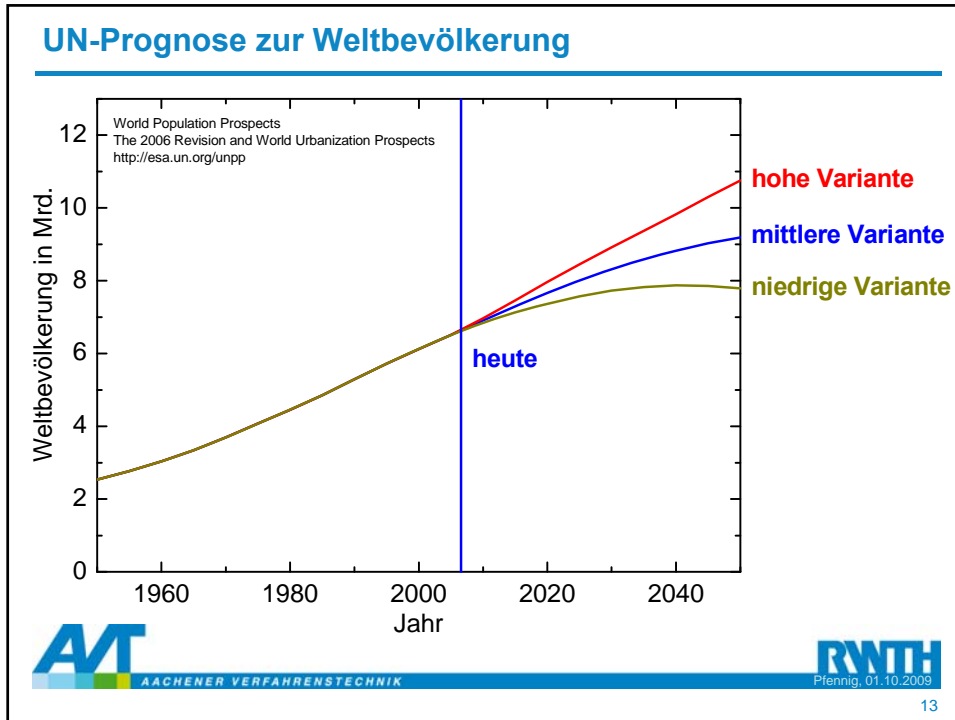
Welt	21 167 kWh/Jahr	4,2 kg/Tag
Deutschland	46 834 kWh/Jahr	8,4 kg/Tag

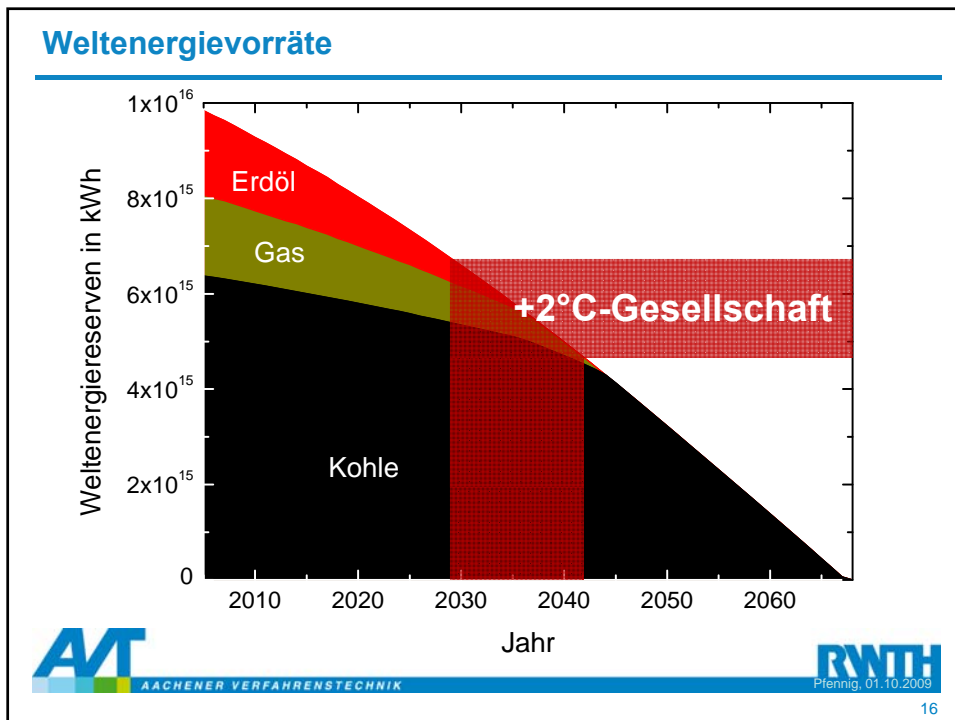
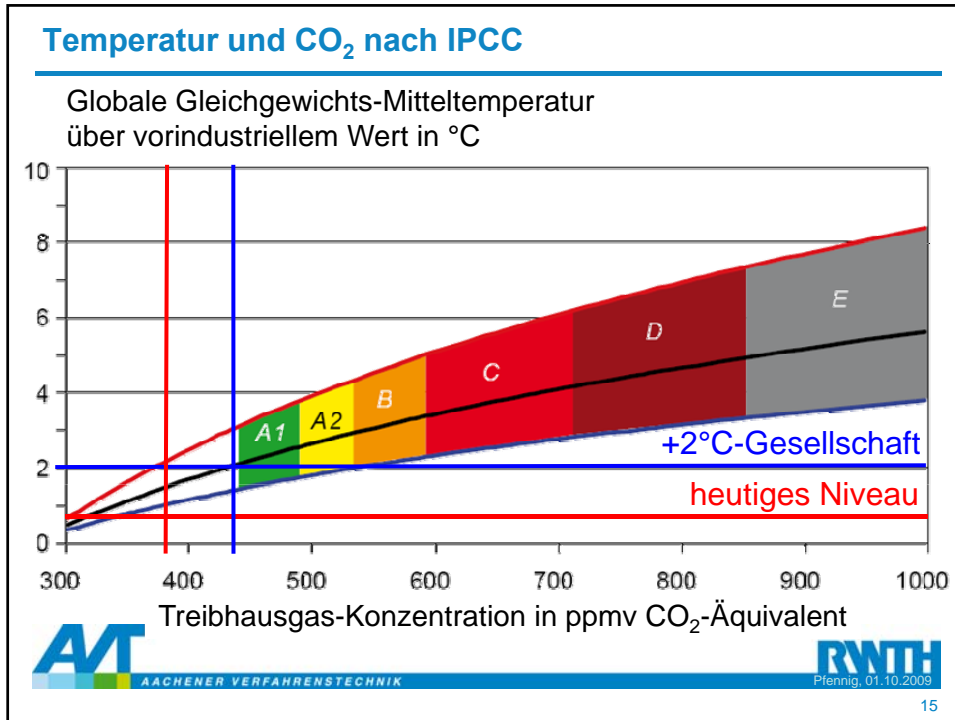


AACHENER VERFAHRENSTECHNIK

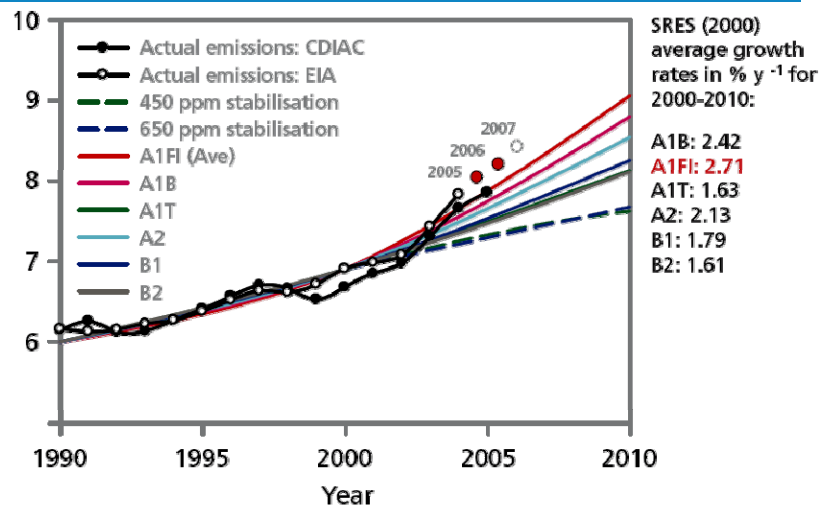
Pfennig, 01.10.2009

12





## Synthesis Report, 2009 ([www.climatecongress.ku.dk](http://www.climatecongress.ku.dk))



AACHENER VERFAHRENSTECHNIK

RWTH AACHEN UNIVERSITY  
Pflennig, 01.10.2009

17

## Gliederung

- Motivation
- Herausforderungen
- **Energie und Klima**
- Biomasse
- Andere Lösungen
- Fazit



AACHENER VERFAHRENSTECHNIK

RWTH AACHEN UNIVERSITY  
Pflennig, 01.10.2009

18

# Welche Alternativen haben wir, um ausreichend Energie bereitzustellen?

## Prinzipielle Alternativen

---

- Kernspaltung
- Kernfusion
- Fossil mit CCS: Carbon Capture and Sequestration
- Wellen- und Gezeitenkraftwerke
- Wasserkraft
- Windkraft
- Geothermie
- Biomasse
- Fotovoltaik
- Solarthermie
- ...

## Lösen nachhaltiger Bilanzen

### Heute:

- Landfläche insgesamt 22 000 m<sup>2</sup>/Kopf
- nutzbare Landfläche 15 500 m<sup>2</sup>/Kopf

pro Kopf !

## Erdölprodukte



## Lösen nachhaltiger Bilanzen

### 2050:

• Landfläche insgesamt	15 200 m <sup>2</sup> /Kopf
• nutzbare Landfläche	11 068 m <sup>2</sup> /Kopf
• Erhaltung der Umwelt, 10%	-1 107 m <sup>2</sup> /Kopf
• Siedlungsfläche	-750 m <sup>2</sup> /Kopf
• Ackerfläche	-2 300 m <sup>2</sup> /Kopf
• Weide	-5 300 m <sup>2</sup> /Kopf
• Biomasse als Chemierohstoff	-400 m <sup>2</sup> /Kopf
• Rest für Energiepflanzen	1 211 m <sup>2</sup> /Kopf

Das entspricht maximal 18% der Primärenergieträger bei 4 kWh/(m<sup>2</sup> Jahr)!



AACHENER VERFAHRENSTECHNIK



Pfennig, 01.10.2009

23

## Mögliche Alternativen (pro Kopf)

UN-Bevölkerungs-Szenario	niedrig	mittel	hoch
Weltbevölkerung	7,79 Mrd.	9,19 Mrd.	10,76 Mrd.
	konventionelle Ernährung:		
verbleibende Nutzfläche	--	--	-238 m <sup>2</sup>
Fläche für Fotovoltaik	64 m <sup>2</sup>	121 m <sup>2</sup>	161 m <sup>2</sup>
Maximaler Anteil von Biomasse an Energieversorgung	44 %	18 %	--



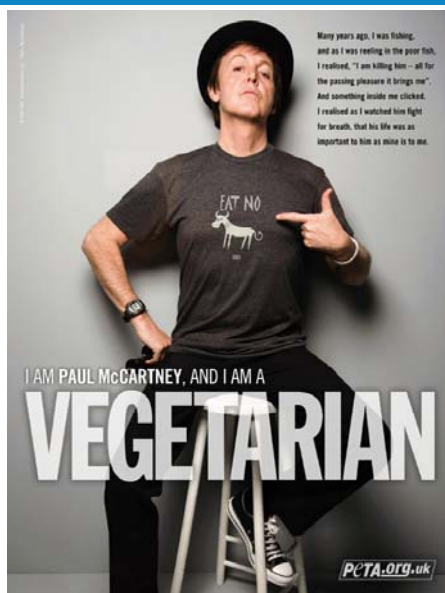
AACHENER VERFAHRENSTECHNIK



Pfennig, 01.10.2009

24

## Meatless Monday



AACHENER VERFAHRENSTECHNIK

Pfennig, 01.10.2009

25

## Pflanzliche Nahrung in Deutschland

	Energiedichte kcal/(m <sup>2</sup> Jahr)
Tomaten	3050
Mais	2740
Kartoffel	2560
Weizen	2261
Möhren	1450
Äpfel	1430
Rot-/Weißkohl	990
Blumenkohl & Brokkoli	450
Gurken	292
Salat	230
Spargel	50

**AVT**  
AACHENER VERFAHRENSTECHNIK

**RWTH**  
Pfennig, 01.10.2009

26

## Mögliche Alternativen (pro Kopf)

UN-Bevölkerungs-Szenario	niedrig	mittel	hoch
Weltbevölkerung	7,79 Mrd.	9,19 Mrd.	10,76 Mrd.
konventionelle Ernährung:			
verbleibende Nutzfläche	--	--	-238 m <sup>2</sup>
Fläche für Fotovoltaik	64 m <sup>2</sup>	121 m <sup>2</sup>	161 m <sup>2</sup>
Maximaler Anteil von Biomasse an Energieversorgung	44 %	18 %	--
pflanzenbasierte Ernährung:			
verbleibende Nutzfläche	2 315 m <sup>2</sup>	296 m <sup>2</sup>	--
Fläche für Fotovoltaik	--	--	38 m <sup>2</sup>
Maximaler Anteil von Biomasse an Energieversorgung	78 %	81 %	64 %

## Gliederung





- Motivation
- Herausforderungen
- Biomasse
  - keine nachhaltige Lösung für Energie
  - Fleisch wird teurer
- Andere Lösungen
- Fazit

## Welche Alternativen sind gangbar?

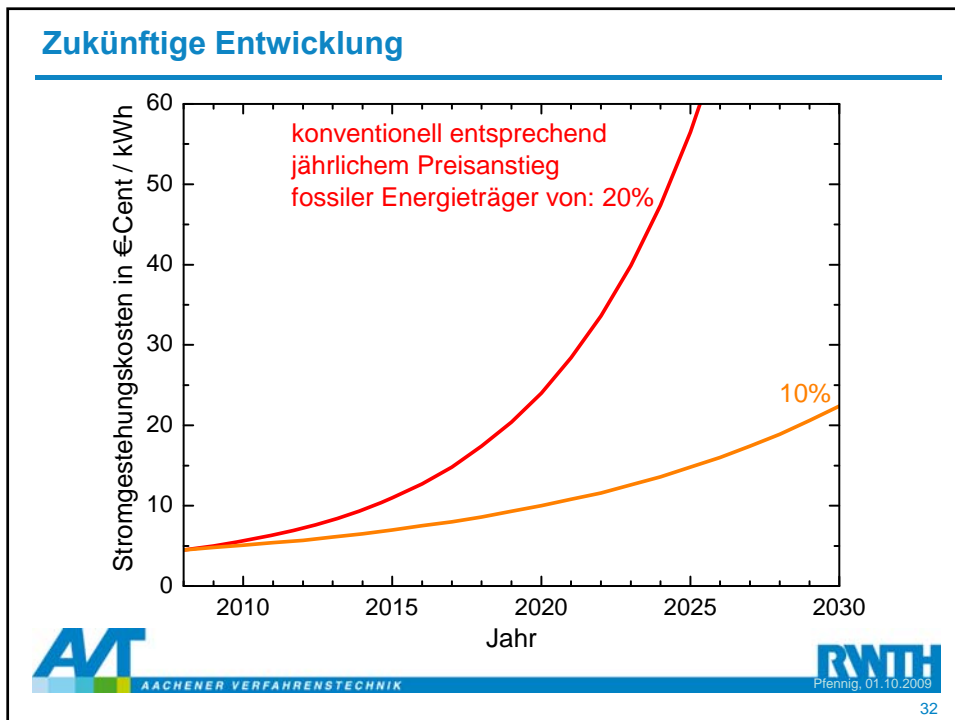
### Solar Energy in Germany

total solar energy	ca. 1000 kWh/(m <sup>2</sup> a)
biodiesel	1,5 kWh/(m <sup>2</sup> a)
biogas	2,5 kWh/(m <sup>2</sup> a)
biomass to liquid (BtL)	3,0 kWh/(m <sup>2</sup> a)
photovoltaic today	95 kWh/(m <sup>2</sup> a)
thermal solar	120 to 600 kWh/(m <sup>2</sup> a)

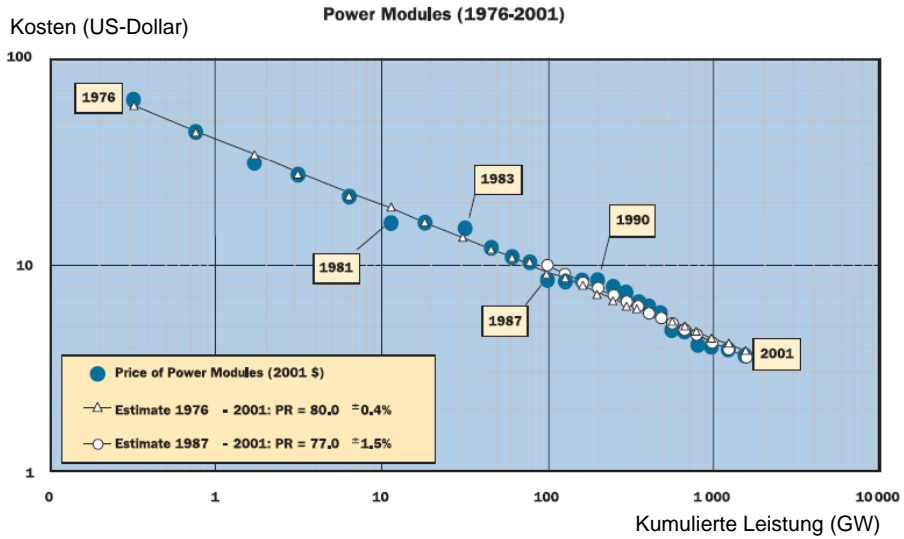
### Solarkraftwerke

Parabolrinne und Fresnelkonzentrator	Solarturm	Dish Stirling	Fotovoltaik
> 500 MW, $\eta_a < 12\%$	< 50 MW, $\eta_a < 20\%$	< 50 kW, $\eta_a < 23\%$	< 40 MW, $\eta_a < 12\%$
			

Quelle: Dr. Christoph Müller, 2009: Chances of Solar Technology in South America for the Example of Argentina, [www.hc-solar.de](http://www.hc-solar.de)  
 AACHENER VERFAHRENSTECHNIK Pfennig, 01.10.2009



## Lernfaktor der Fotovoltaik



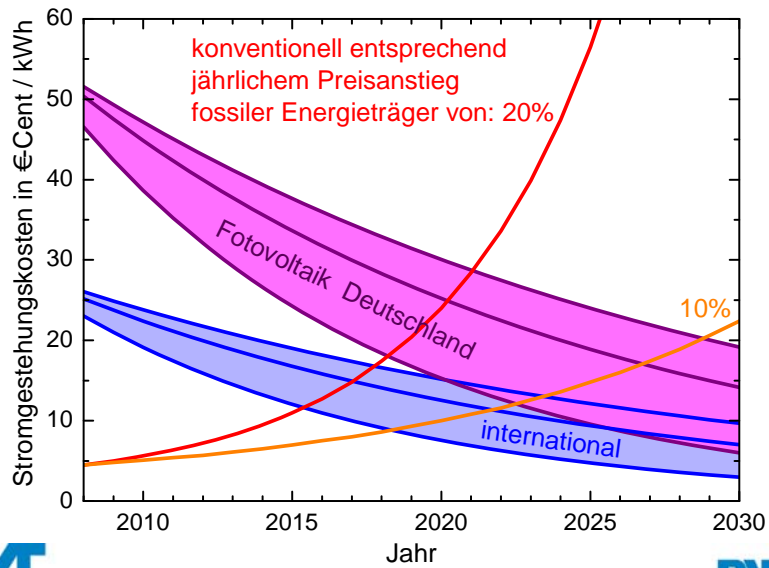
Quelle: A Vision for photovoltaic technology (European Commission)



Pfennig, 01.10.2009

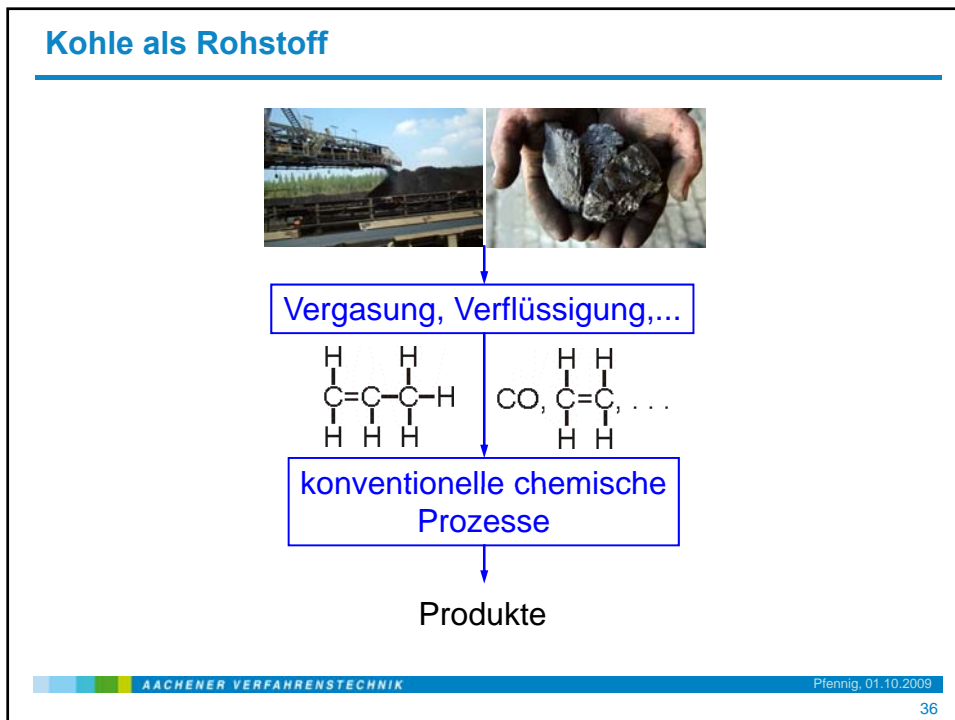
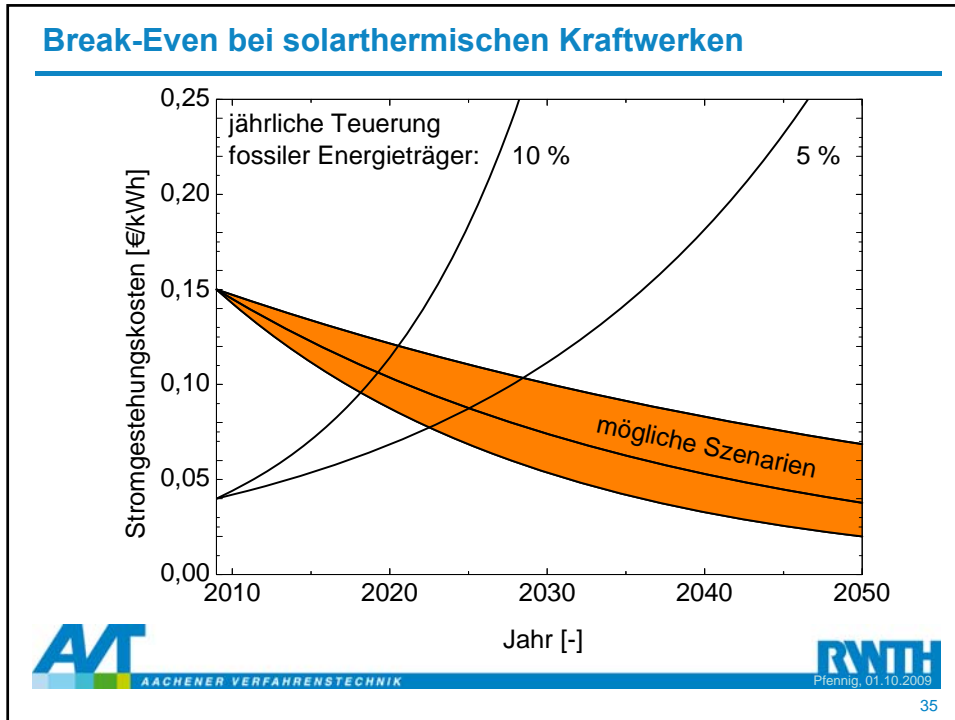
33

## Zukünftige Entwicklung



Pfennig, 01.10.2009

34



### Nachhaltige Rohstoffe

Zuckerrohr      Algen      Raps

Mais      Holz      Zuckerrüben

**AVT** AACHENER VERFAHRENSTECHNIK      **RWTH** AACHEN UNIVERSITY  
Pfennig, 01.10.2009

37

### Biomasse als Rohstoff

Vergasung, Verflüssigung, ...      (Ab-)Trennung

$$\begin{array}{c}
 \text{H} & \text{H} & & \text{H} & \text{H} \\
 | & | & & | & | \\
 \text{C} & = & \text{C} & - & \text{C} & - & \text{H} \\
 | & & | & & | & & | \\
 \text{H} & & \text{H} & & \text{H} & & \text{H}
 \end{array}$$

$$\text{CO}, \begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ | & | \\ \text{C} & = & \text{C} \\ | & & | \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}, \dots$$

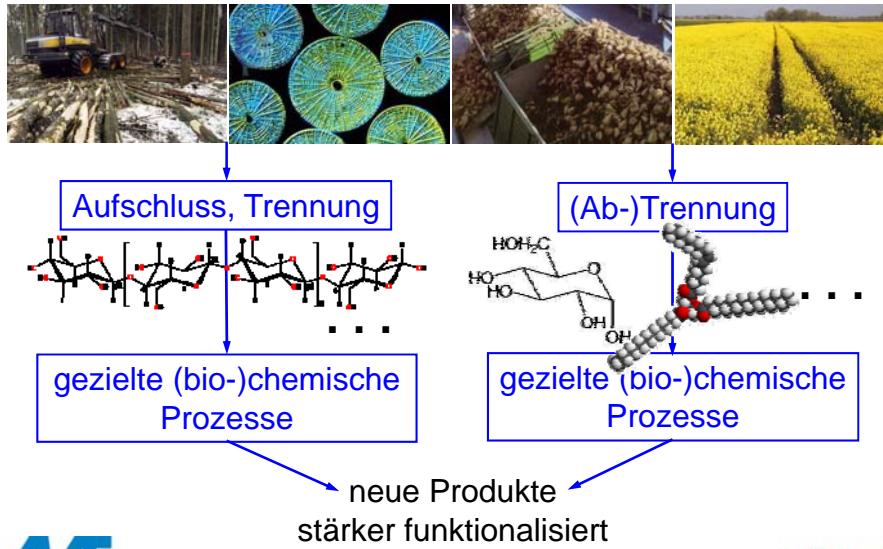
konventionelle chemische Prozesse      gezielte (bio-)chemische Prozesse

konventionelle Produkte

**AVT** AACHENER VERFAHRENSTECHNIK      **RWTH** AACHEN UNIVERSITY  
Pfennig, 01.10.2009

38

## Chancen



## Biomasse als Rohstoff

Anbau von:	Energieertrag kWh/m <sup>2</sup>	Trockenmasse kg/m <sup>2</sup>	C in Reinstoff kg/m <sup>2</sup>
Zuckerrübe	3,6	1,2	0,37
Mais	4,4	0,7	0,20
Energiemais	8,9	1,4	--
Raps	1,4	0,3	0,12
Zuckerrohr	4,2	1,9	0,43

Quelle: Eigene Recherchen und Berechnungen mit Auswahl sinnvoller Werte

## Gliederung

- Motivation
- Herausforderungen
- Biomasse
- Andere Lösungen
  - Sonnenenergie - ist nachhaltig**
  - wird schnell preiswert**
  - Biomasse ist nachhaltiger Rohstoff**
- Fazit

## HUMTEC – Ethics for Energy Technologies



## Fazit

---

- Zwei Probleme: Energie **und** Klima
- Landfläche ist knappes Gut:  
Preis tierischer Nahrung wird steigen
- Energiepflanzen nur zwischenzeitlich als Energieträger
- Nachhaltiger Energiemix:  
Solar, Wind, Wasser, Restbiomasse, Geothermie
- Langfristig:  
Sonnenenergie ist nachhaltig und preiswert



43



## Danke für Ihre Aufmerksamkeit

[www.avt.rwth-aachen.de](http://www.avt.rwth-aachen.de)

- Forschung
  - Umweltverfahrenstechnik
  - Globale Bilanzen

[www.eet.humtec.rwth-aachen.de](http://www.eet.humtec.rwth-aachen.de)

• Ethics for Energy Technologies  
[andreas.pfennig@avt.rwth-aachen.de](mailto:andreas.pfennig@avt.rwth-aachen.de)

