



AACHENER VERFAHRENSTECHNIK



# Wie viel Öko können wir uns leisten? Globale Bilanzen als Wegweiser in eine nachhaltige Zukunft

Andreas Pfennig  
AVT – Thermische Verfahrenstechnik  
andreas.pfennig@avt.rwth-aachen.de  
[www.avt.rwth-aachen.de](http://www.avt.rwth-aachen.de)  
Copyright: A. Pfennig 2008

6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt



## Der Auslöser

2

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 könnten in ihrem Beruf wieder eine Bereinigung für eine bessere Zukunft sehen. Die Biomasse vom Acker und aus dem Wald ist gespeicherte Sonnenenergie und fast auf der ganzen Welt im Feld vorhanden. Hauptächlich die Länder der „Dritten Welt“ brauchen im 21. Jahrhundert viel mehr Energie als heute, um ihre Volkswirtschaften zu entwickeln und den Hunger zu bekämpfen. Ökonomische

**Hosen aus Hanf**  
Alles, was das Erdöl kann, können Hanf und Pflanzenöle auch. Pflanzen werden künftig nicht nur als Nahrungsmittel, sondern auch als Rohstoffe verwendet werden – zum Beispiel in der chemischen Industrie, der Baubranche und der Automobilindustrie für Häute und Autos. Ferner werden auch Kunststoffe sowie Verpackungsmaterial, zum Beispiel aus Bioplastik, aus den Produkten der Grünen Chemie und des ökologischen Bauens. Aus Schilf, Binsen und Weizen, aus Sonnenblumen, Schiermöhren und Getreide. Das alles ist keine Utopie, sondern realisierbare Vision, die zum Teil bereits umgesetzt wird. 1992 wurden in Deutschland auf etwa 25.000 Hektar nachwachsende Rohstoffe für Industrieprodukte angebaut. 2005 sind es schon über eine Million Hektar.



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. Baumrinne und Pflanzen sind die effektivsten Sonnenkollektoren. In der EU sind heute noch immer Landwirtschaftspolitik nach dem Motto herrschen. Bauern brauchen wir eigentlich gar nicht, wir haben in Acker. Alles in Deutschland werden jedes Jahr etwa 15.000 Bauernhöfe aufgelassen. Ich habe diesen politischen, aber auch gesellschaftlichen Umgang mit den Bauern für eine Kulturkritik der Geschichte. Aber in einer Zeit, in der Landwirte durch die EU-Ökopolitik noch mehr Konkurrenz bekommen haben, fördert ungewolltveränderte Energie vom Acker den Bauern eine Zukunftsperspektive.



**Raus aus dem Treibhaus**  
Die großen deutschen Automobilhersteller, Ford und BMW verstehen, dass nach Wasserkraft kaum noch Biomasse gewonnen werden wird. Die Europäische Kommission schätzt, dass in einigen Jahrzehnten in Europa ein Drittel aller Energie aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden kann – eine bessere Energieeffizienz vorausgesetzt. Schon heute werden Biokraft aus Stroh gewonnen, ebenso wie Wärme aus schnell nachwachsenden Pflanzen. Strom aus Holz in Blockheizkraftwerken, Autogas

**Da fährt ein Ölscheich an seinem Ölfeld vorbei. Rapsöl ist längst so wertvoll wie Erdöl.**  
aus Pflanzenöl und Biogas aus Laun. Es gibt viel zu tun – pflanzen wir's an!  
Einer der entscheidenden Vorteile des zentralen Sommerertrages Biomasse ist seine einfache Speicherbarkeit. Biomasse nutzt fast überall speicherbar wie Öl oder Kohle und dezentral in allen Aggregatstadien zur Verfügung. Holz, Halm oder gälsendes. Aber im deutschen Wald verrotten zu viel etwa 40 Prozent des nachwachsenden Holzes zur Freude der Biokraftwerke. Die Sonne liefert je

**Flugzeuge fliegen mit Spirit aus Zuckerrohr**  
► Landwirte werden Energieerzeuger oder deutsche Landwirte werden die Ökonomie des 21. Jahrhunderts. Energie aus Acker für diese Entwicklung.  
► In Biomasen fliegen die ersten Flugzeuge mit Ethanol aus Zuckerrohr.  
► In Deutschland investieren BMW und VW Millionen Euro in die Forschung von Biogas.  
► In Österreich werden bereits 10 Prozent des gesamten Energieerzeugnisses aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen.  
► In der Steiermark gibt es viele Ökonomie, die schon in vergangenen Jahren ihre gesamte Energie vom Acker und aus dem Wald beziehen – Strom, Wärme, Kühlung und Fahrzeugkraft.  
► In Deutschland investieren BMW und VW Millionen Euro in die Forschung von Biogas.  
► In Österreich werden bereits 10 Prozent des gesamten Energieerzeugnisses aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen.



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008



## Ethische Konsequenzen

3

# Misereor warnt vor Ausbau von Biosprit-Einsatz

Aachener Nachrichten  
20.02.2009



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008



## statische Reichweite

4

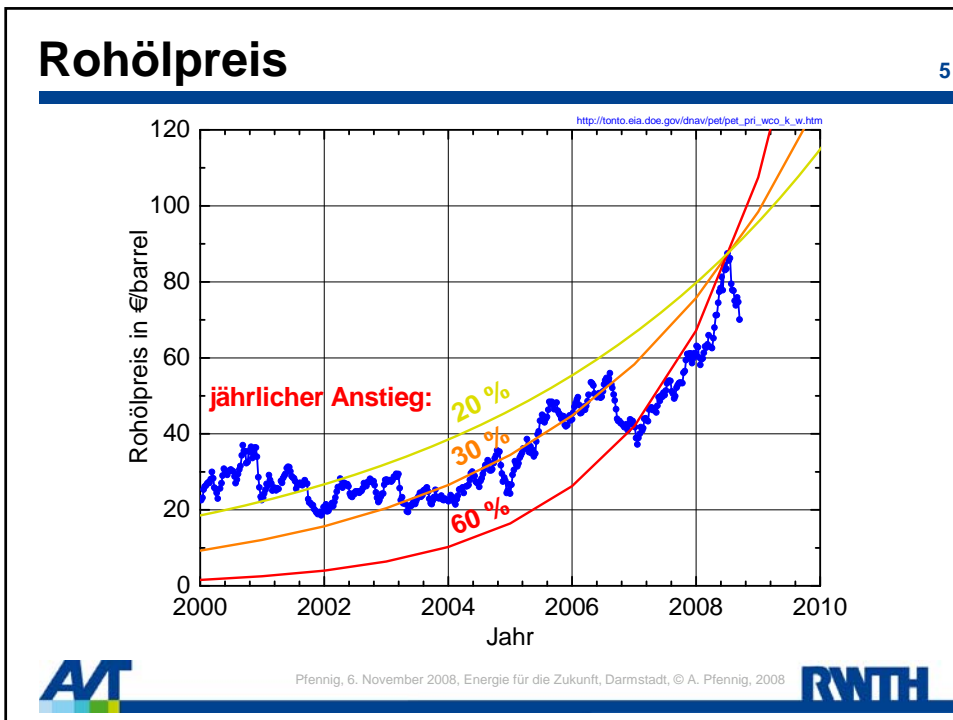
	Statische Reichweite Jahre
Rohöl	42
Erdgas	63
Steinkohle	159
Braunkohle	227

Quelle: Arndt et al., Chem. Ing. Techn. **79**(5), 521 (2007)  
Datenbasis 2004/2005



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008



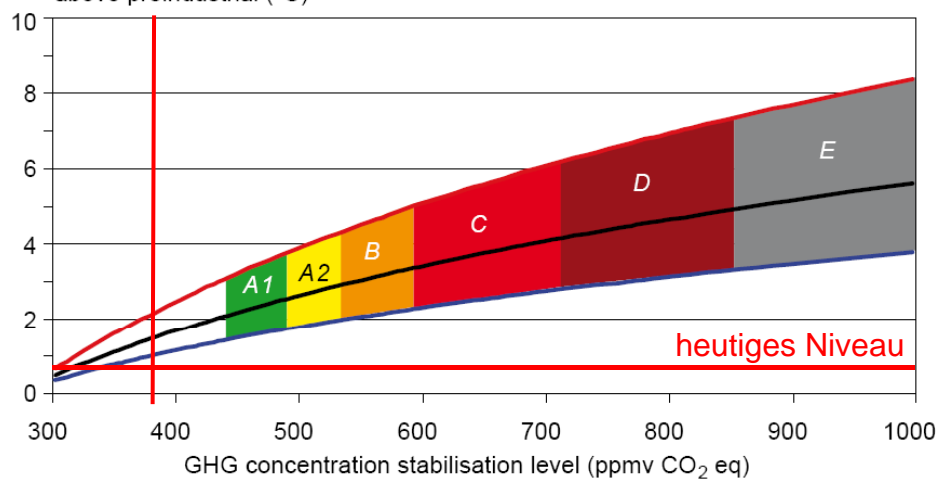


# Wie schlimm kann es werden?

## Temperatur und CO<sub>2</sub> nach IPCC

8

Equilibrium global mean temperature increase  
above preindustrial (°C)



## Globale Bilanzen

Atmosphäre

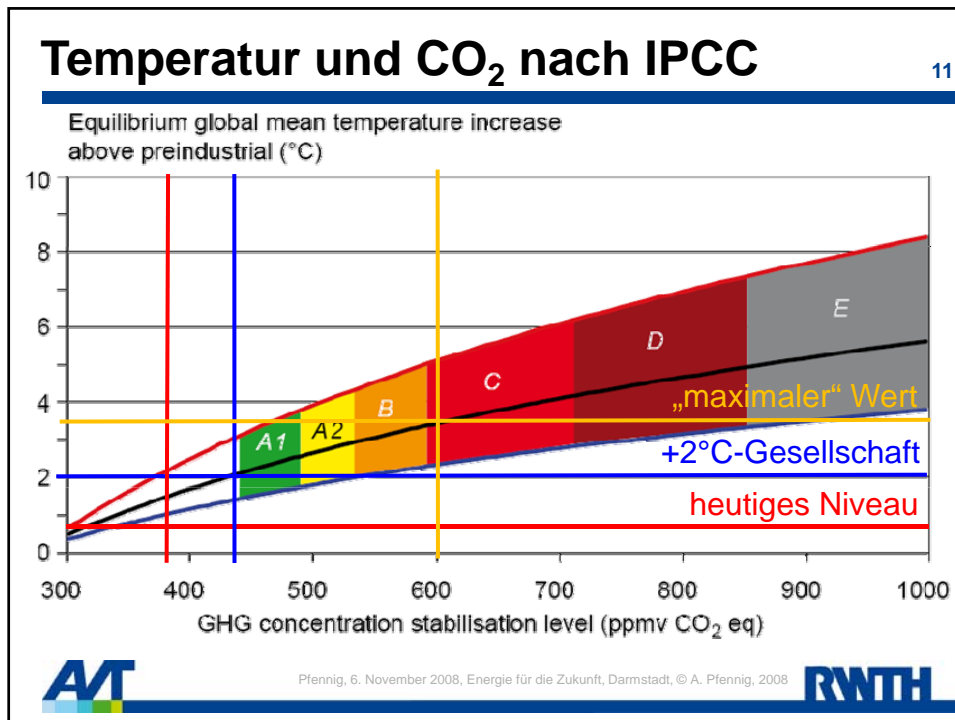


Änderung der Vorräte = - Förderung

## Maximaler Klimawandel

10

- Verbrennung aller fossilen Primärenergieträger
  - Vernachlässigung anderer CO<sub>2</sub>-Quellen
  - ca. ½ absorbiert von der Natur
- ⇒ 600 ppmv CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre

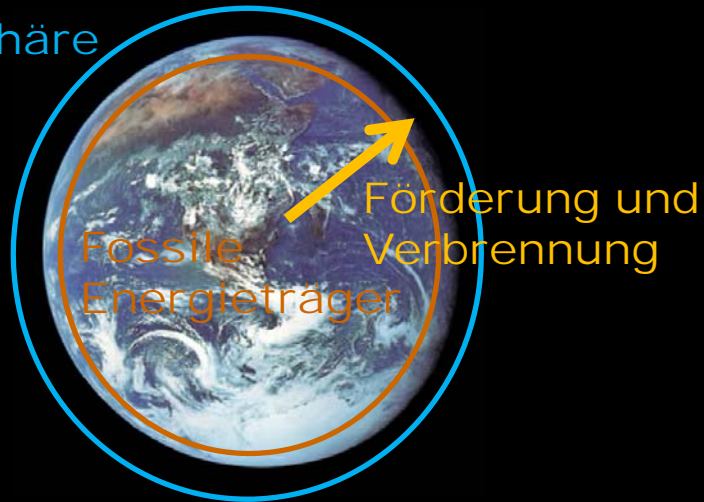


Wie lange reichen  
die fossilen Primärenergieträger?

Wo nicht anders angegeben: global!

## Globale Bilanzen

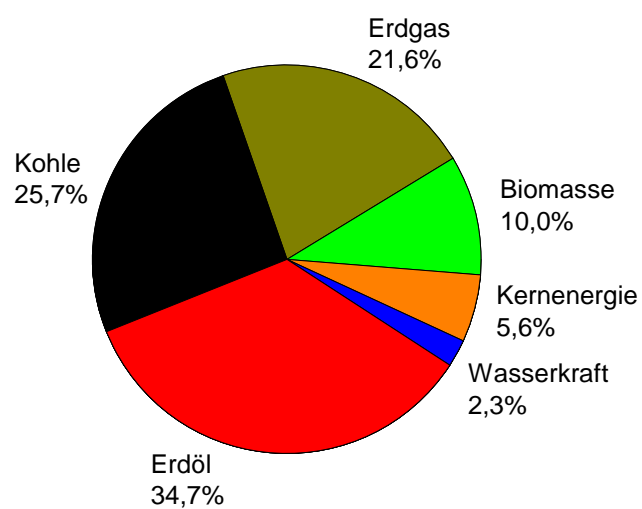
Atmosphäre



Änderung der Vorräte = - Förderung

## Anteile Energieträger am Verbrauch

14



## Verbrauch von Primärenergieträgern 15

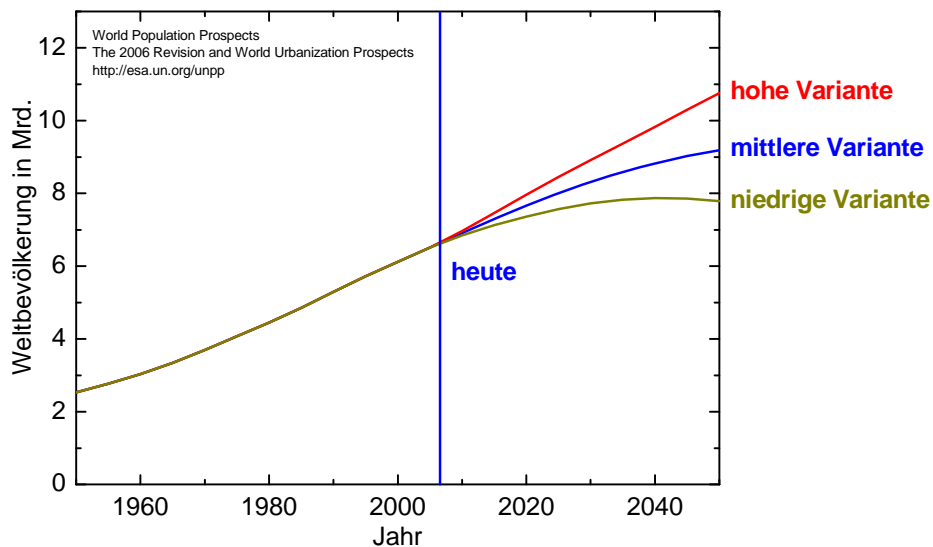
Primärenergieträger	Energie pro Kopf	Menge pro Kopf	
Rohöl	6 905 kWh/a	594 kg/a	1,63 kg/d
Kohle	5 119 kWh/a	614 kg/a	1,68 kg/d
Erdgas	4 297 kWh/a	421 m <sup>3</sup> /a	0,93 kg/d
Biomasse	1 983 kWh/a		
Kernkraft	1 112 kWh/a		
Wasserkraft	451 kWh/a		
Weltmittel (summiert)	19 867 kWh/a		4,24 kg/d
Deutschland	48 609 kWh/a		8,38 kg/d



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008



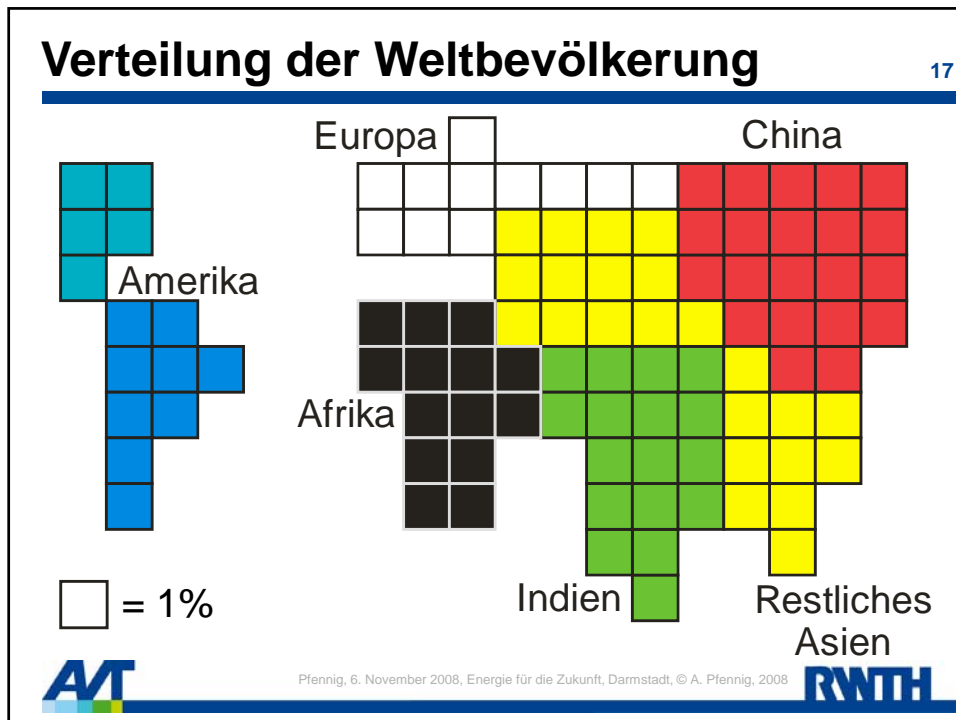
## UN-Prognosen Weltbevölkerung 16



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008



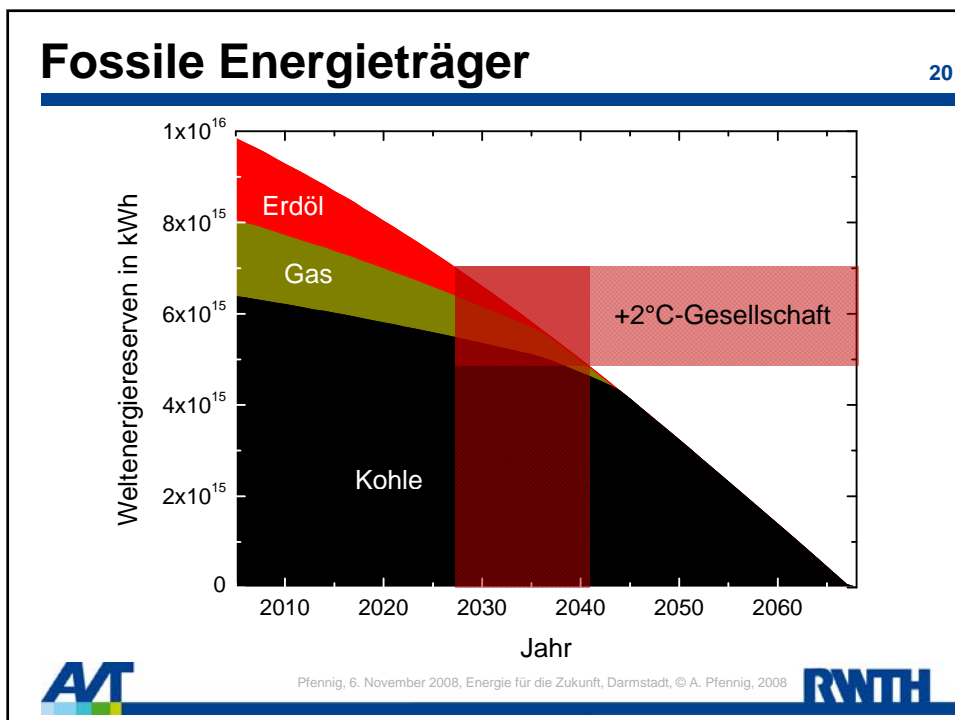
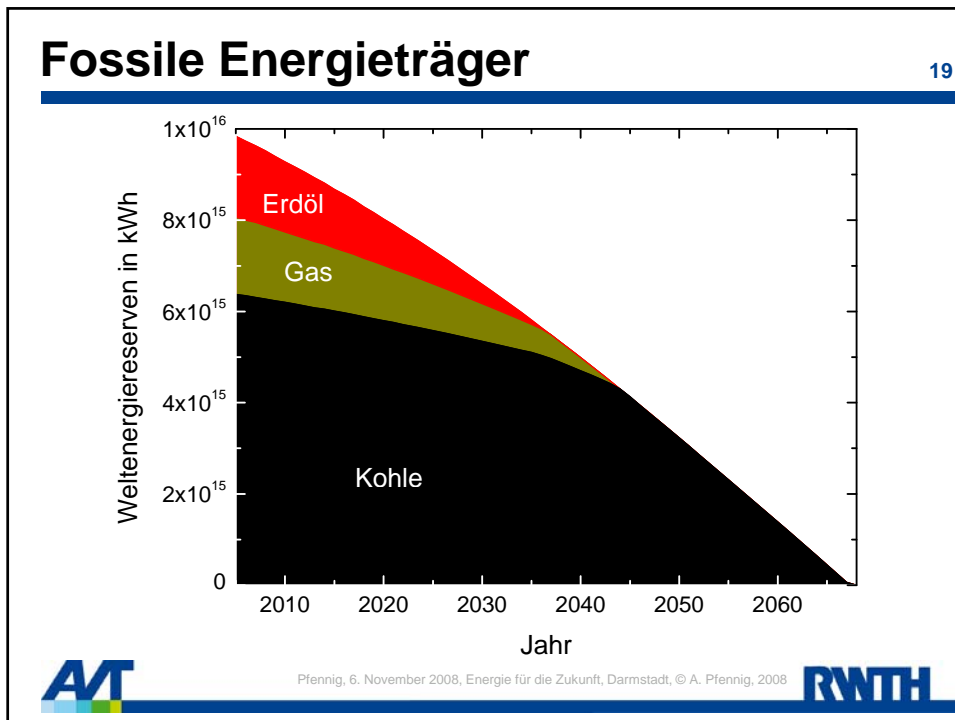




### Verbrauch von Primärenergieträgern 18

Staat/Region	Verbrauch	
	pro Kopf kWh/(Kopf Jahr)	insgesamt TWh/Jahr
USA	101 026	30 510
Deutschland	48 609	3 990
Welt	19 272	128 500
China	14 981	19 750
Indien	5 931	6 400
Afrika	4 073	3 930

AT Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008 **RWTH**



## Welche Alternativen haben wir, um ausreichend Energie bereitzustellen?

### Lösen nachhaltiger Bilanzen

22

#### Heute:

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

#### 2050:

- Landfläche insgesamt 15 200 m<sup>2</sup>/Kopf
  - nutzbare Landfläche 11 068 m<sup>2</sup>/Kopf
  - Erhaltung der Umwelt -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)!



## Mögliche alternative Wege (pro Kopf) 23

UN-Bevölkerungs-Szenario	niedrig	mittel	hoch
Weltbevölkerung	7,79 Mrd.	9,19 Mrd.	10,76 Mrd.
konventionelle Ernährung:			
verbleibende Nutzfläche	0 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>	-238 m <sup>2</sup>
Fläche für Photovoltaik	64 m <sup>2</sup>	121 m <sup>2</sup>	161 m <sup>2</sup>
maximaler Anteil von Biomasse an der Energieerzeugung	44%	18%	0



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008



## Pflanzliche Nahrung in Deutschland 24

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



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008



## Mögliche alternative Wege (pro Kopf) 25

UN-Bevölkerungs-Szenario	niedrig	mittel	hoch
Weltbevölkerung	7,79 Mrd.	9,19 Mrd.	10,76 Mrd.
konventionelle Ernährung:			
verbleibende Nutzfläche	0 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>	-238 m <sup>2</sup>
Fläche für Photovoltaik	64 m <sup>2</sup>	121 m <sup>2</sup>	161 m <sup>2</sup>
maximaler Anteil von Biomasse an der Energieerzeugung	44%	18%	0
pflanzliche Ernährung:			
verbleibende Nutzfläche	2 315 m <sup>2</sup>	296 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>
Fläche für Photovoltaik	0 m <sup>2</sup>	0 m <sup>2</sup>	38 m <sup>2</sup>
maximaler Anteil von Biomasse an der Energieerzeugung	78%	81%	64%



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008

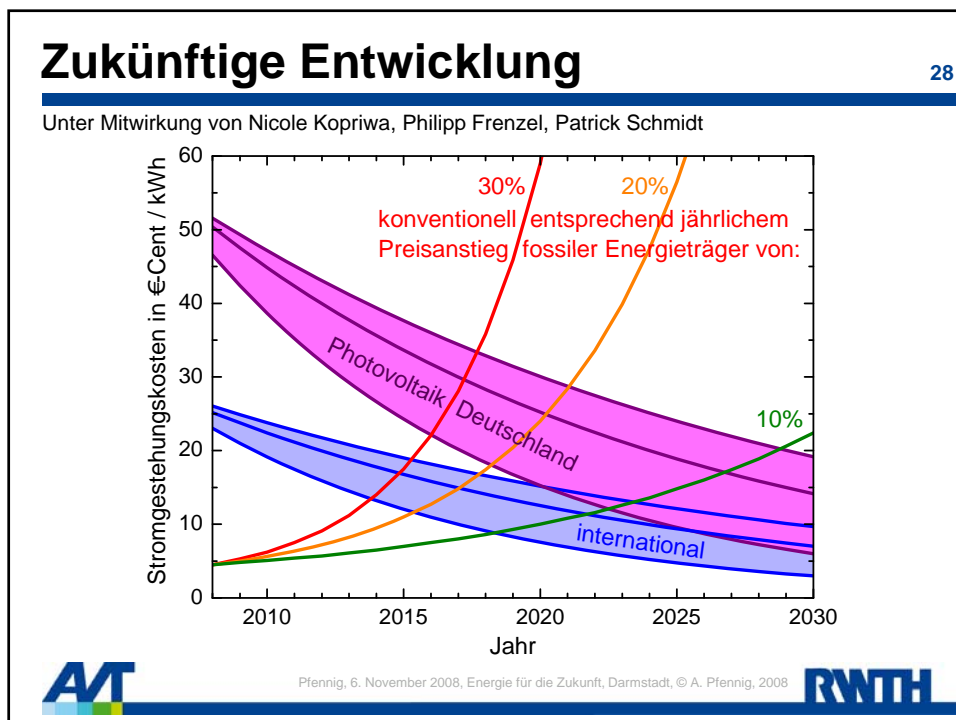
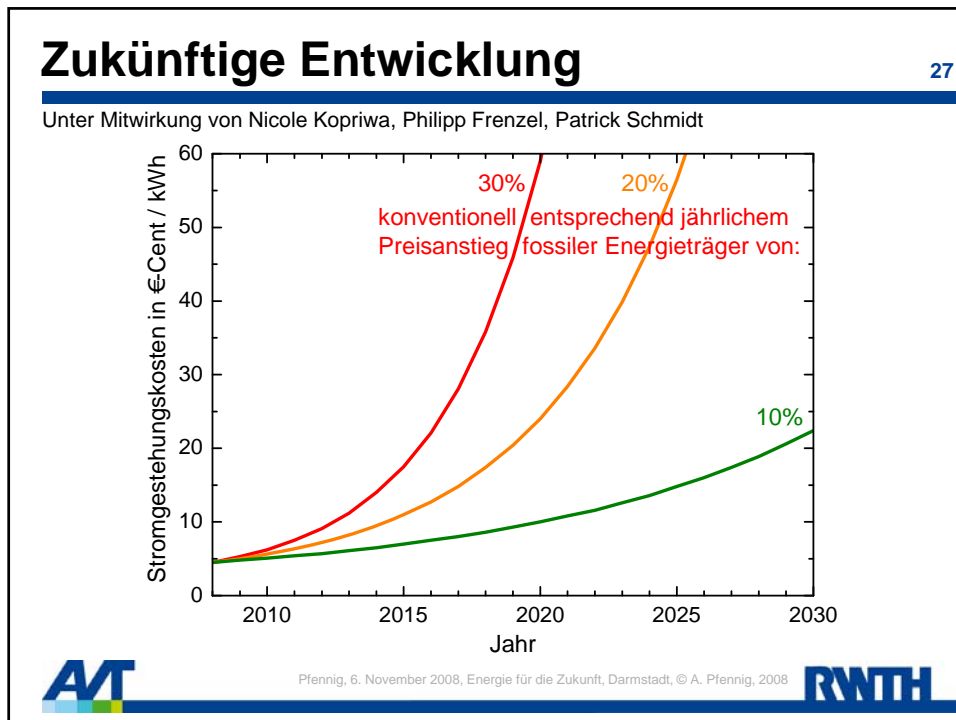


## Eine Frage der Technik? 26



Pfennig, 2008





## Sonnennutzung in Deutschland

29

Sonneneinstrahlung	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 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Photovoltaik heute	95 kWh/(m <sup>2</sup> a)



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008



## Schritte in eine nachhaltige Zukunft

30

### Nutzung aller technologischen Möglichkeiten

#### Hinterfragen aller Paradigmen:

- Pflanzliche Ernährung
- Recht auf wie viele Kinder?
- Alternative zu Religion als Basis der Werte-Definition und einer Umwelt-Ethik?

#### Gerechtigkeit inter-national, inter-generationell, transitorisch:

- Wie werden Lasten für Umweltschutz verteilt?
- Wie werden Lasten für Entwicklung verteilt?
- Wie erfolgt zukünftig Handel mit Nahrung und Energie?

#### Sofortiges nachdrückliches Handeln!



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008



## Schlussfolgerungen

31

- Konkurrenz Energie-Biomasse - Nahrungsmittel
- Ohne Änderung des Verhaltens:
  - Biomasse alleine kann Nachhaltigkeit nicht sicherstellen
  - machbare technologische Lösungen stoßen an Grenzen
- Verhalten überdenken: Ernährung, Energie, Kinder
- Biomasse bleibt nachhaltiger chemischer Rohstoff
- Alternative Technologien: Photovoltaik, Wasserstoff

vgl. auch: Pfennig, Biotechnol. J. 2007, **2**, 1485-1496  
<http://www.avt.rwth-aachen.de/AVT/index.php?id=651>  
 andreas.pfennig@avt.rwth-aachen.de



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008





**Fin**

33

Vielen Dank!  
Fragen, Anregungen?



Pfennig, 6. November 2008, Energie für die Zukunft, Darmstadt, © A. Pfennig, 2008

