



Universität Hamburg

DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG



# (Ökonomische) Potentiale von Bioenergie

Prof. Uwe A. Schneider

Forschungsstelle Nachhaltige Umweltentwicklung

Universität Hamburg

2. Konferenz Energielandschaften Norddeutschland  
Modellierung Erneuerbarer Energieressourcen  
Universität Hamburg, 17.07.2017

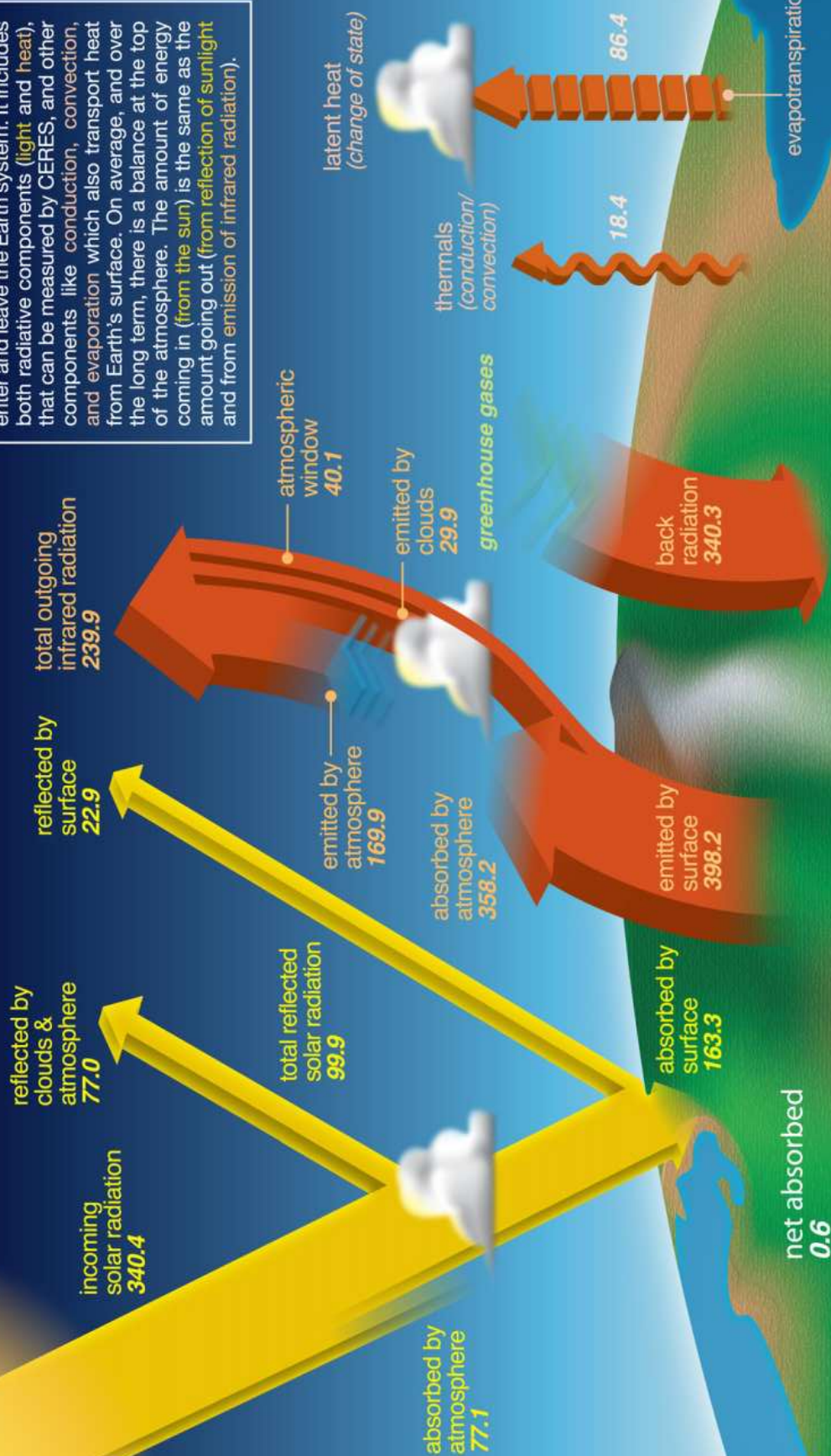
# 1) Theoretische Bioenergie Potentiale

- Stellen durch die Natur vorgegebene Grenzen dar
- Einstrahlende Sonnenenergie (**Physikalisches Energie-Potential**)
- Photosynthese (**Biogeochemisches Bioenergie Potential**)



# earth's energy budget

The Earth's energy budget describes the various kinds and amounts of energy that enter and leave the Earth system. It includes both radiative components (light and heat), that can be measured by CERES, and other components like conduction, convection, and evaporation which also transport heat from Earth's surface. On average, and over the long term, there is a balance at the top of the atmosphere. The amount of energy coming in (from the sun) is the same as the amount going out (from reflection of sunlight and from emission of infrared radiation).



All values are fluxes in Wm<sup>2</sup> and are average values based on ten years of data

# 1a) Physikalisches Energie-Potential

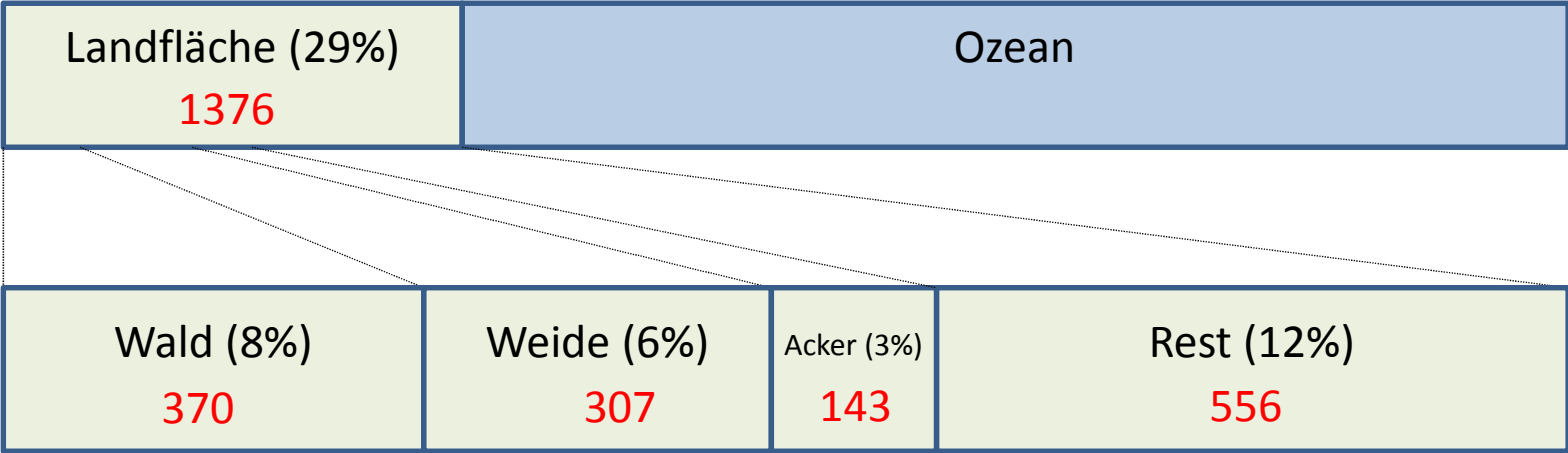
Ø Entfernung Sonne – Erde: 150 Millionen Km  
Solarkonstante: 1361 W/m<sup>2</sup>

Ø Einstrahlung äußere Atmosphäre (340 W/m<sup>2</sup>)

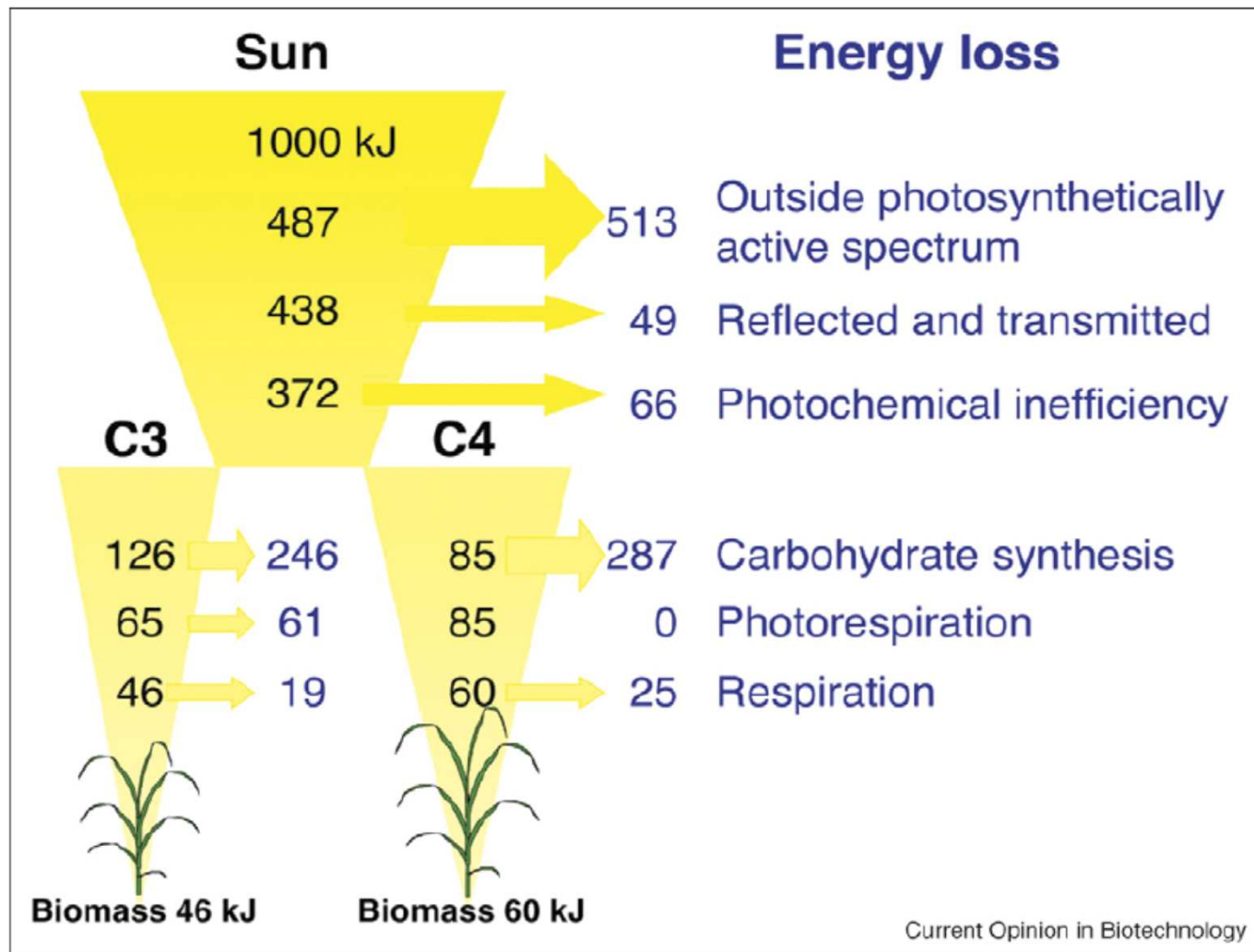
Reflektion (100 W/m <sup>2</sup> )	Absorption Atmosphäre (77 W/m <sup>2</sup> )	Absorption Erdoberfläche (163 W/m <sup>2</sup> )
---------------------------------------	--	---

510 Millionen km<sup>2</sup>  
730 Millionen TWh/a  
~ 4700 x menschlicher Energieverbrauch

**Erdoberfläche (100%)**  
**730 Millionen TWh/a ~ 4700 x gegenwärtiger globaler Energieverbrauch**



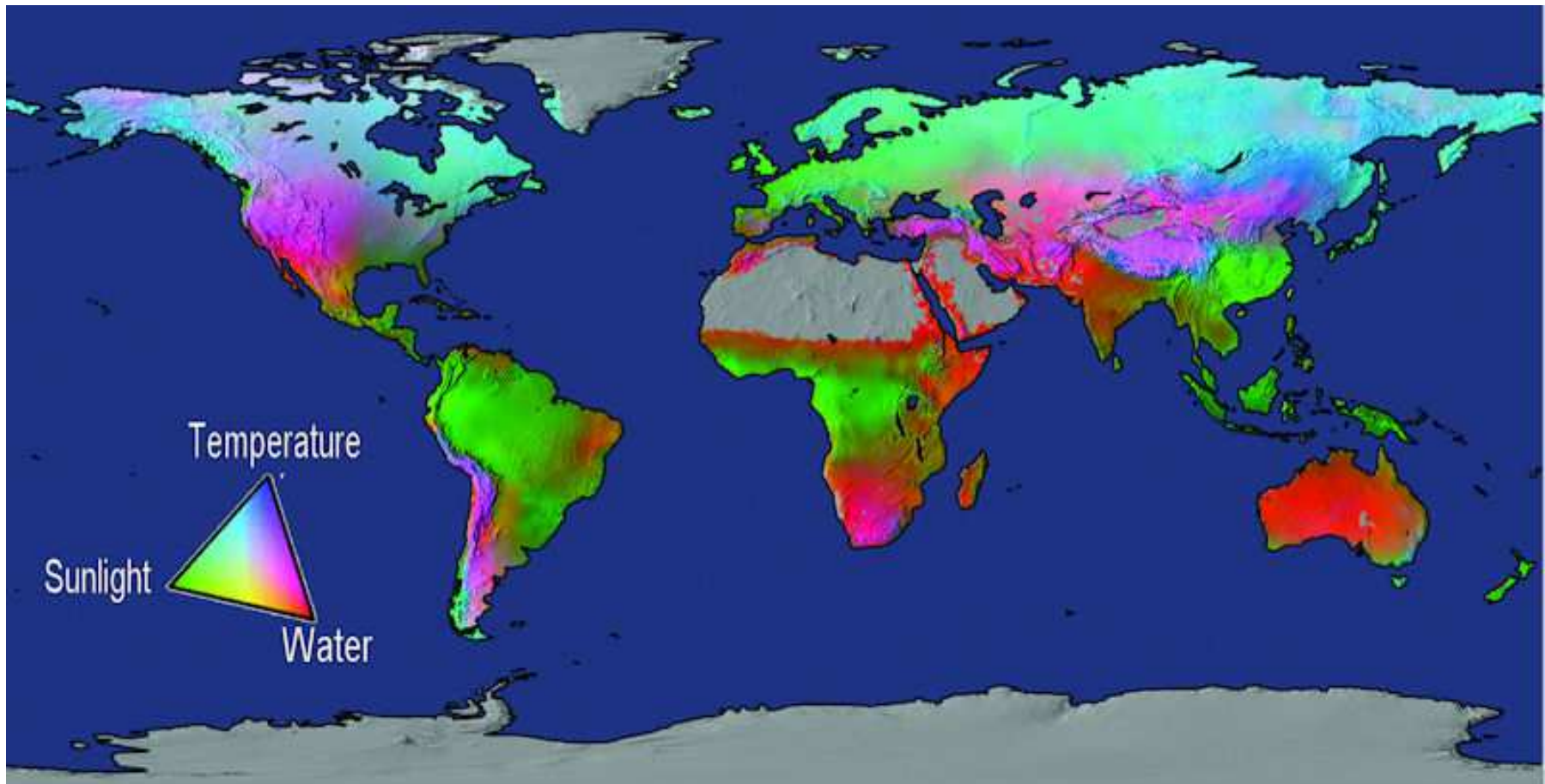
# 1b) Biochemisches Bioenergie-Potential



„in nature even an efficiency of 1% is seldom reached“

Quelle: Xin-Guang Zhu, Stephen P Long, Donald R Ort (2008) Current Opinion in Biotechnology

# Grenzen der Primärproduktion



Quelle: Running, Nemani, Heinsch, Zhao, Reeves, and Hashimoto (2004) BioScience

## Physikalisches Energie-Potential

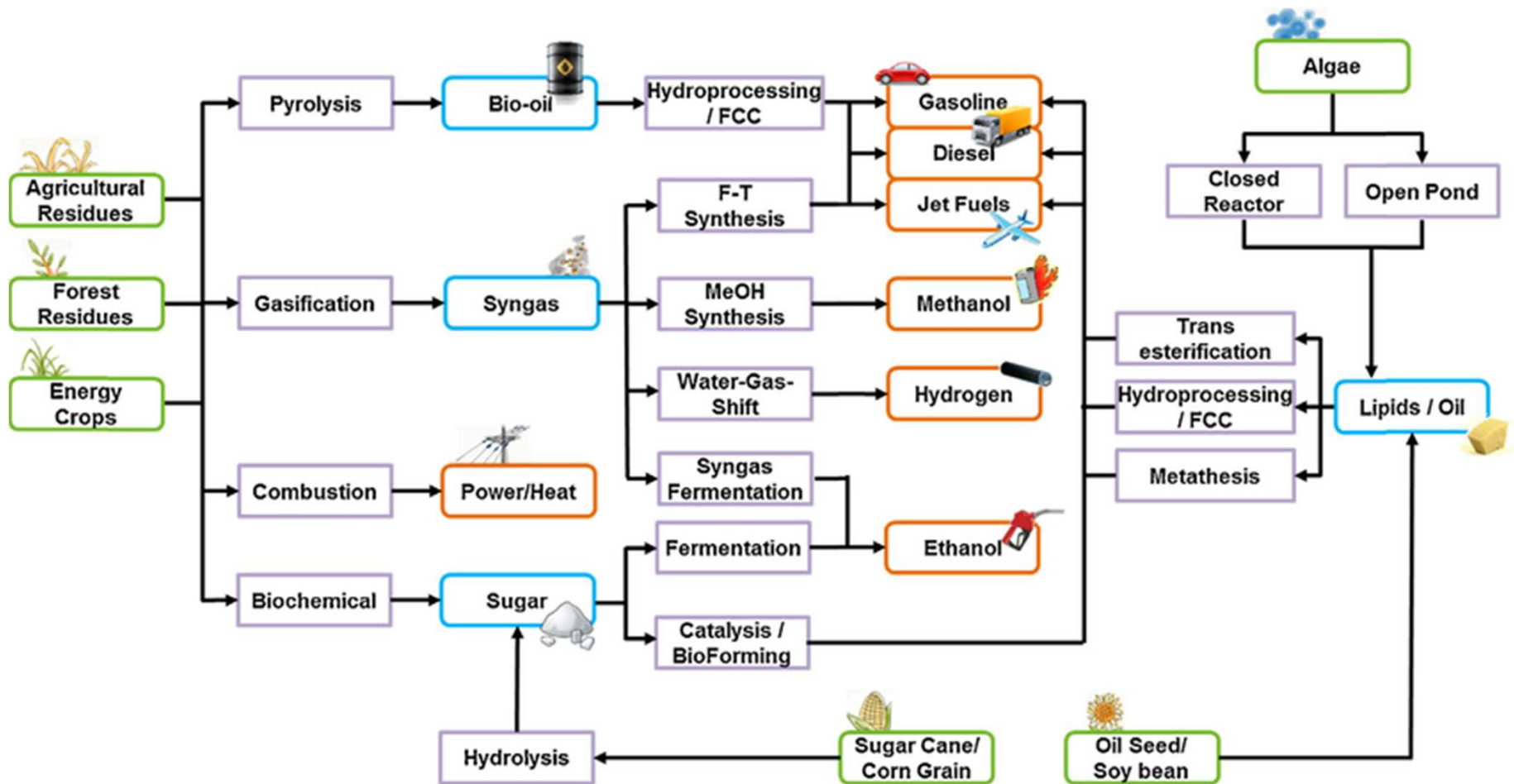
Wald	Weide	Acker	Rest
370	307	143	556

## Biogeochemisches Energie-Potential (1%)

Wald	Weide	Acker	Rest
3.7	3.1	1.4	5.6

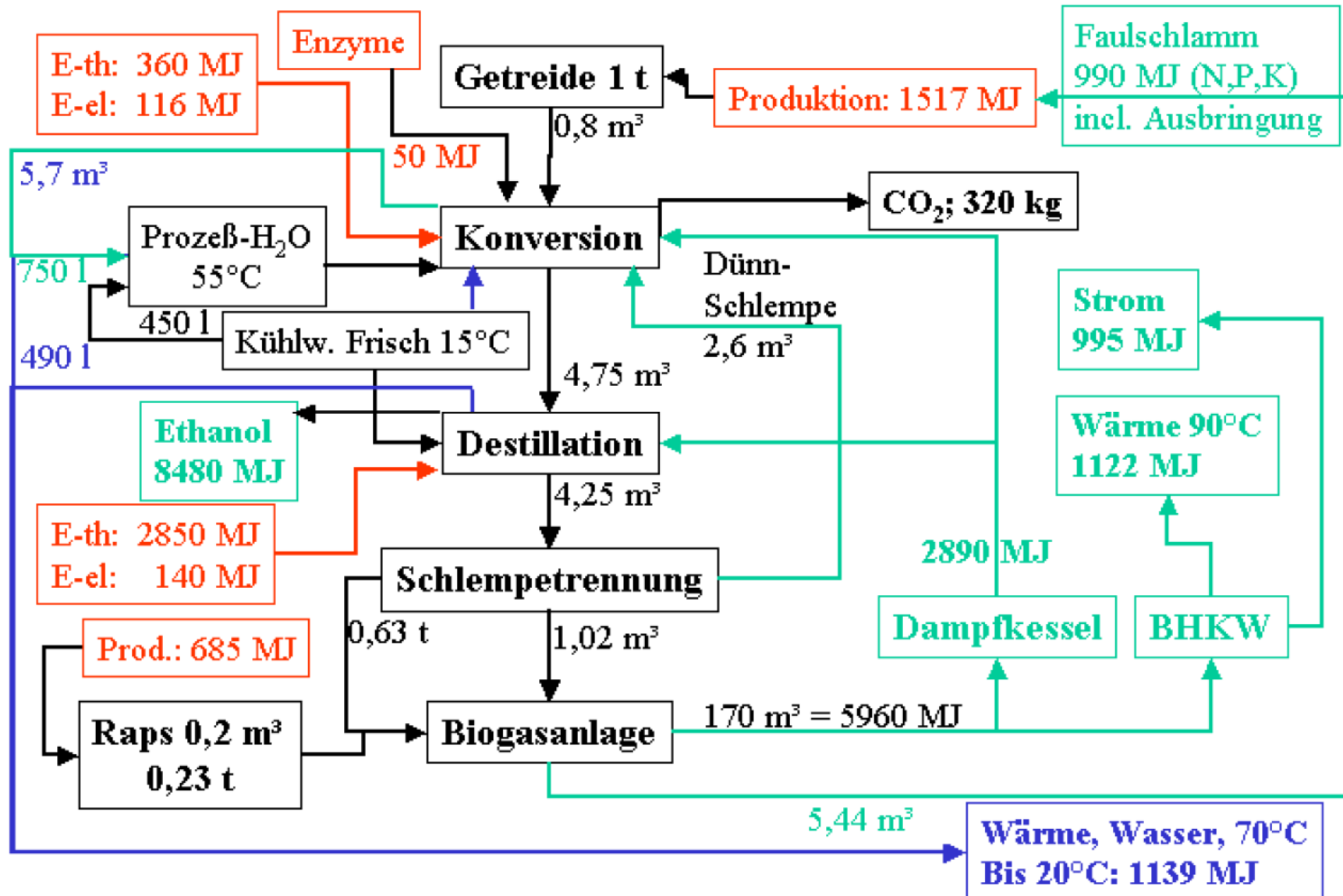


# 2) Technische Bioenergie Potentiale



Quelle: Dajun Yue, Fengqi You, Seth W. Snyder, Computers and Chemical Engineering, 2014

Energiebilanz Bioethanol; Fruchtfolge mit Raps;  
 Biogasgewinnung: Gärmasse 7%TS,  $H_{RT} = 25$  d



# Energiebilanz Bioethanol

<b>Energieertrag (Brutto)</b>	<b>6273 kWh/t</b>
<b>Energieinput</b>	<b>2229 kWh/t</b>
<b>Energieertrag (Netto)</b>	<b>4044 kWh/t</b>
<b>Ertrag / Input</b>	<b>2.8</b>

<b>Nettoertrag</b>	<b>4044 kWh/t</b>
<b>Getreideertrag (D)</b>	<b>8 t/ha/a</b>
<b>Einstrahlung Deutschland</b>	<b>1100 kWh/m<sup>2</sup>/a</b>
<b>Energieausbeute (D)</b>	<b>0.29 %</b>
<b>Flächenbedarf (D)</b>	<b>320 %</b>

# Technische Effizienzen

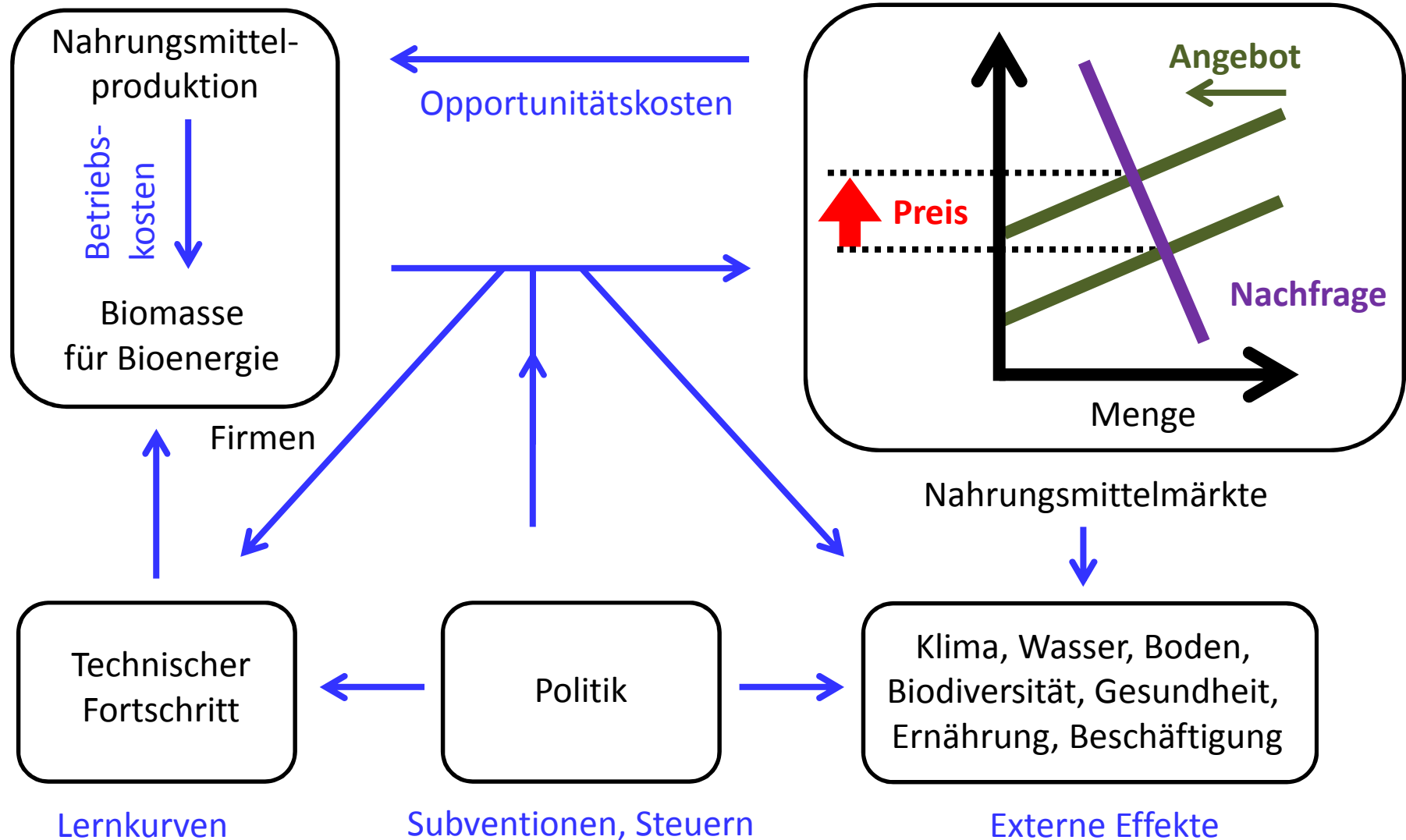
Ø Absorption: 163 W/m<sup>2</sup>  
EROI = Energieoutput/Input

Wieviel  
Land?

	EROI	Area efficiency (W m <sup>-2</sup> ) (year's average) <sup>e)</sup>
Firewood (Germany)	10 <sup>a)</sup>	< 0.2
Biodiesel from rapeseed (Germany)	< 2 <sup>a)</sup>	< 0.2
Bioethanol from maize (USA)	1.5 <sup>a)</sup>	< 0.3
Bioethanol from sugar beet (Germany)	3.5 <sup>a)</sup>	< 0.4
Bioethanol from sugar cane (Brazil)	8 <sup>a,b)</sup>	< 0.5
Bioethanol from Triticale/maize (Germany) (combined production)(Chapter 2.11)	8 <sup>a)</sup>	< 0.3
Bioethanol <sup>a)</sup> methane <sup>a)</sup> and electricity from lignocellulose (Chapter 2.11)	3	< 0.5
Bioethanol from switch grass (USA)	5.4 <sup>a)</sup>	< 0.2
Bio-butanol	< 1 <sup>a)</sup>	
Biodiesel from algae (Chapter 1.17)	< 1 <sup>a)</sup>	
Biogas from maize silage (Germany)	4.8 <sup>a)</sup>	< 1.1
Biogas from maize silage (Germany) (electricity)	1.4	< 0.4
Photovoltaic (Germany) (electricity)	7	> 5
Photovoltaic (Brazil) (electricity)		> 10
Wind turbine (Germany) (electricity)	18	2 – 3 <sup>c)</sup>
Nuclear power (electricity)	10 – 20 <sup>d)</sup>	
Hydropower (electricity)	100	

German National Academy of Sciences Leopoldina (2012): Bioenergy – Chances and limits. Halle (Saale).

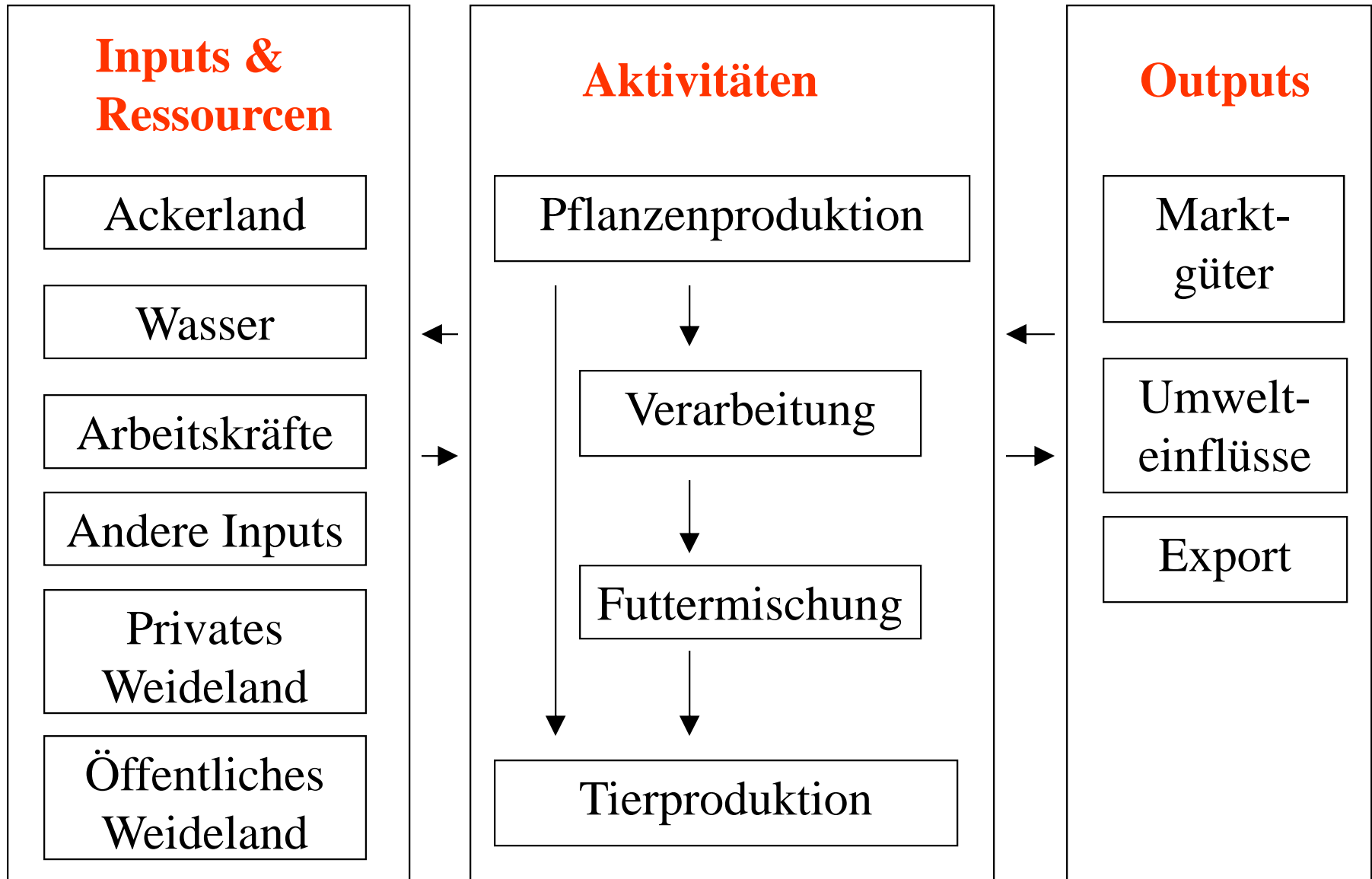
# 3) Ökonomische Bioenergie Potentiale



# Erkenntnisse aus Studien mit einem Agrarsektormodell

Ökonomisches Potential von  
Treibhausgasreduktionen

# Modellkomponenten



## **Eingesetzte Technologien**

Pflugtechnik  
Düngungsintensität  
Erosionsschutz  
Beregnung  
Farmprogramm  
Futterzusammenstellung  
Dungbehandlung

## **Nationale Produktionsfaktoren**

Menge  
Gesamtkosten

## **Produktverarbeitung**

Preis  
Menge  
Importmenge  
Exportmenge

## **Regionale Produktionsfaktoren**

Beschäftigung & Lohn  
Berechnungsmenge & Wasserpreis  
Ackerland & Pachtpreis  
Weideland & Pachtpreis

# **Output**

## **Primäre Produktion**

Produzierte Menge  
Importmenge  
Exportmenge  
Verarbeitungsmenge  
Preis

## **Wohlfahrtsindikatoren**

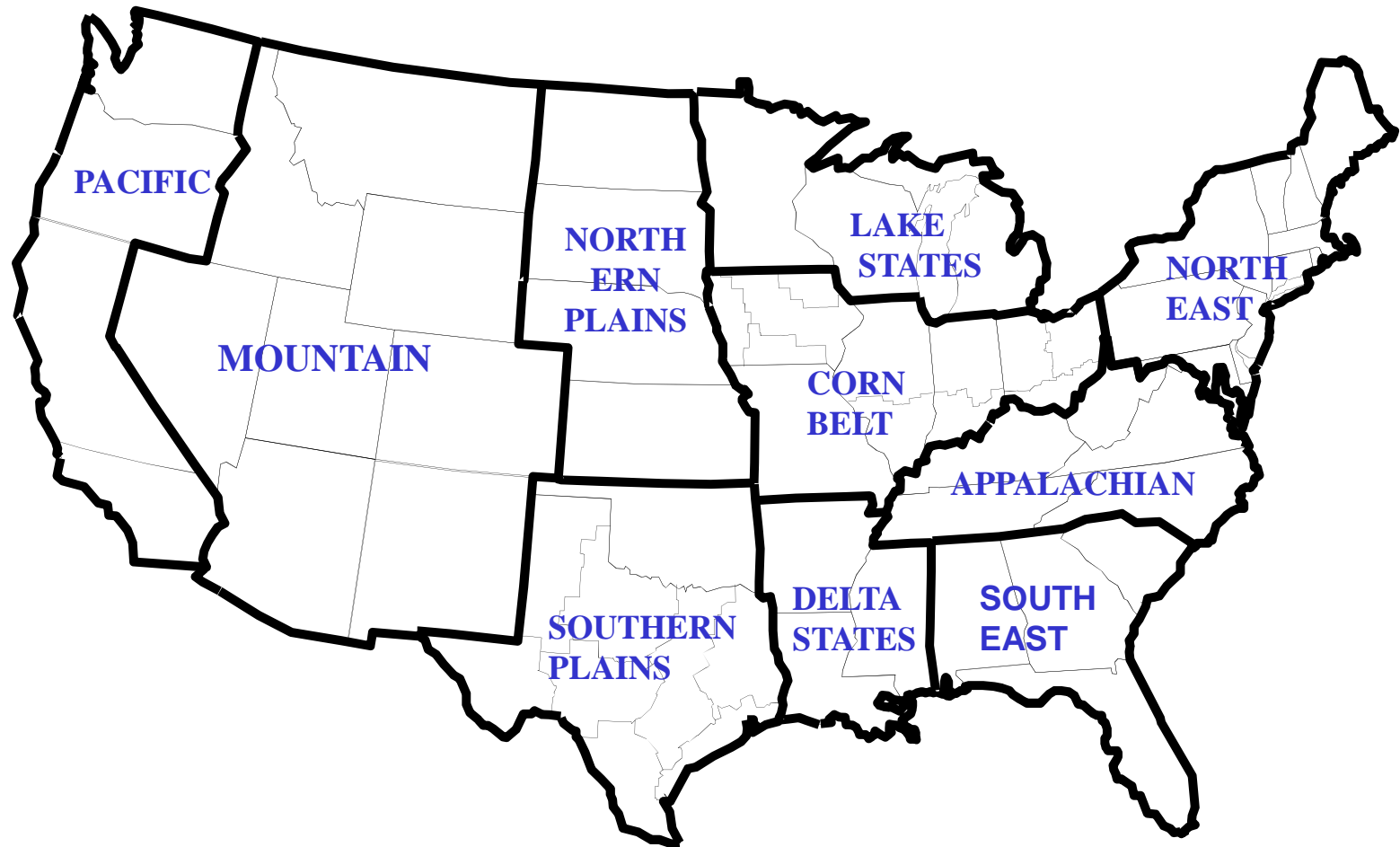
Nationale Konsumentenrente  
Nationale Produzentenrente  
Internationale  
Konsumentenrente  
Internationale Produzentenrente  
Landwirtschaftliches  
Einkommen  
Regierungszahlungen

## **Umwelteinflüsse**

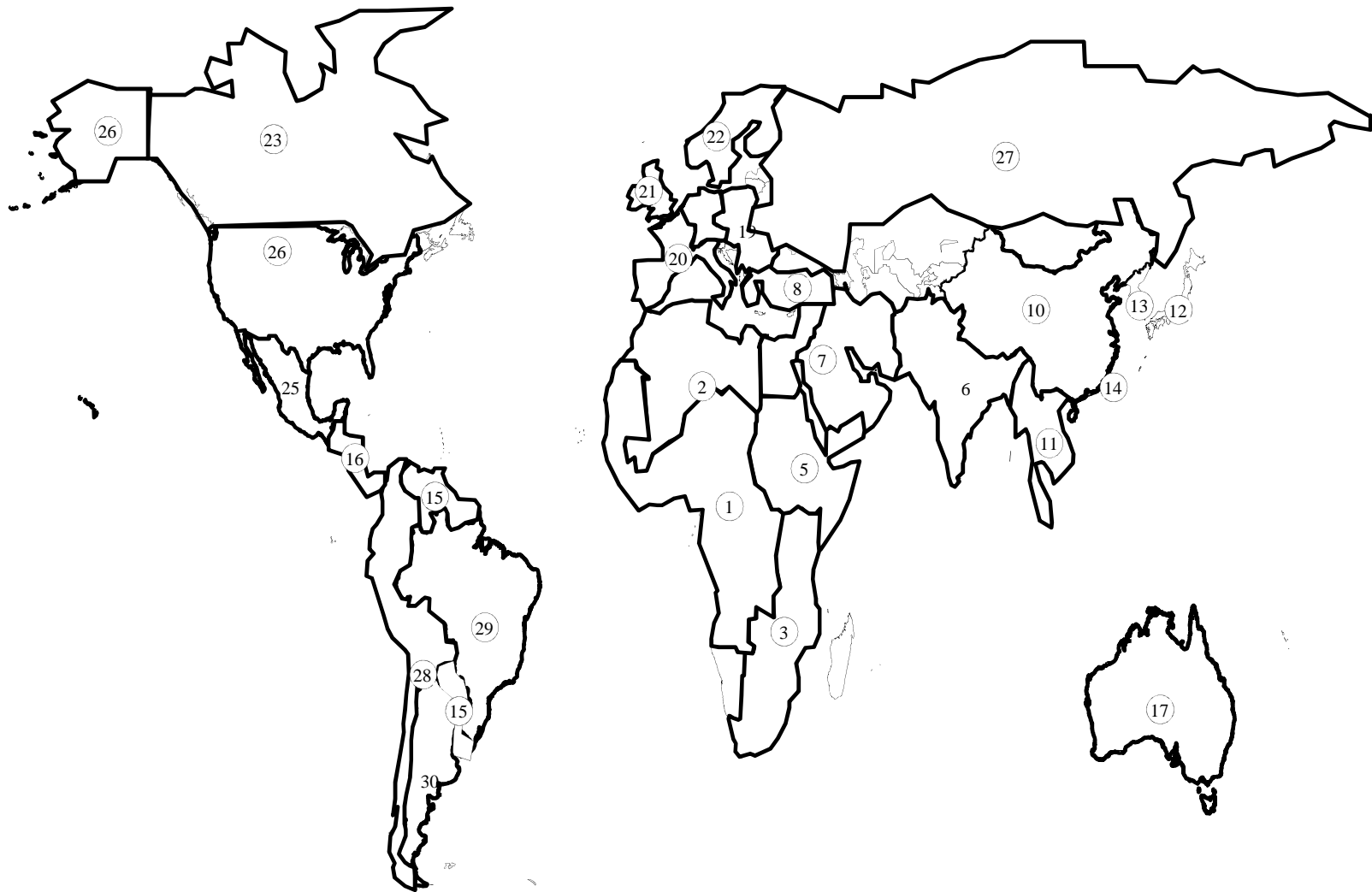
Treibhausgasspeicherung  
Treibhausgasemissionen  
Nährstoffemissionen  
Erosion



# USA Regionen



# Internationale Regionen



# Primäre Produkte

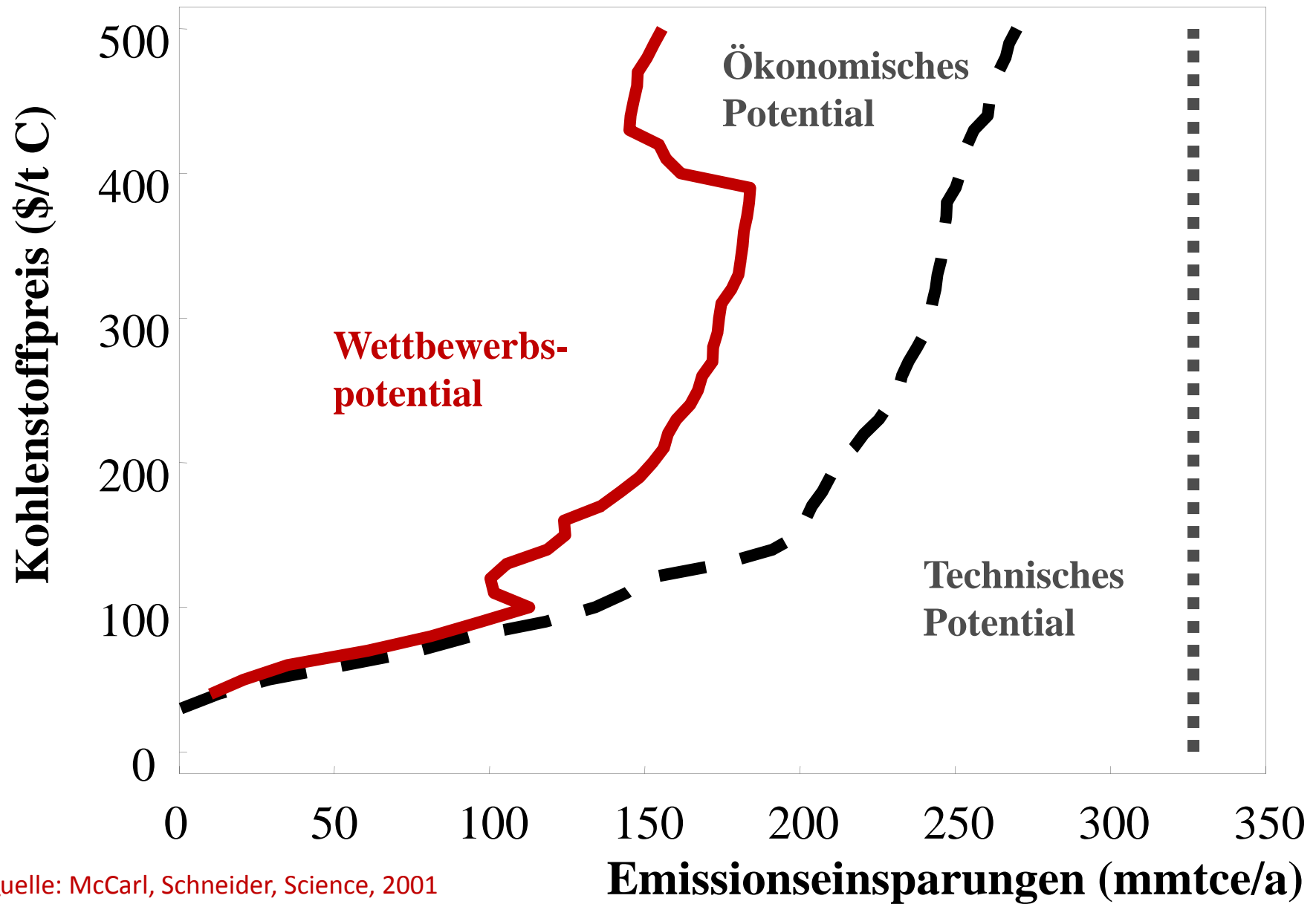
**Baumwolle, Mais, Sojabohnen, Hartweizen, Weichweizen, Hirse, Reis, Gerste, Hafer, Silage, Heu, Zuckerrohr, Zuckerrüben, Kartoffeln, Tomaten, Orangen, Pampelmusen, Switchgras, Weide, Hybridpappel**

**Milchkühe, Milch, Milchkälber, Fleischrinder, Rinderkälber, Rindfleisch, Sauen, Jungschweine, Schweinefleisch, Schafe, Wolle, Schaffleisch, Jungschafe, Schlachtlämmer, Lammfleisch, Anderes Tierfleisch, Broiler, Truthähne, Eier**

# Verarbeitungsprodukte

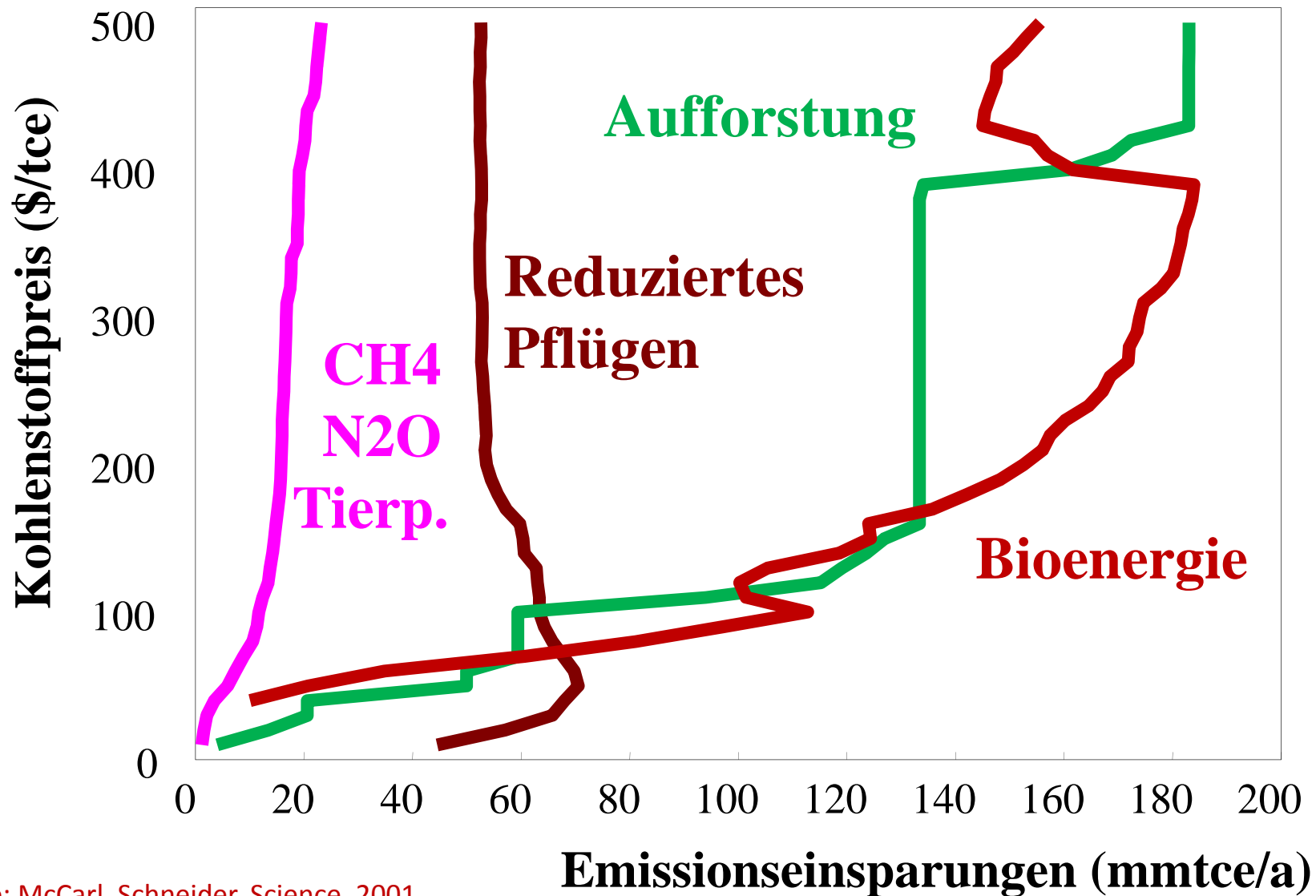
**Sojabohnenmehl, Sojabohnenöl, Rohzucker, Feinzucker, Maisstärke, Maisgluten, Maisöl, Ethanol, Maissirup, Dextrose, Süßwaren, Getränke, Backwaren, Büchsen Gemüse, Getrocknete Kartoffeln, Kartoffelchips, Gefrorene Kartoffeln, Futtergetreide, Konzentrat, Eiweißzusätze, Pellets, Fett haltige Milch, Fettarme Milch, Fettfreie Trockenmilch, Schlagsahne, Butter, Speiseeis, Amerikanischer Käse, Anderer Käse, Hirtenkäse, Orangensaft, Pampelmusensaft**

# Bioenergie in der US Landwirtschaft



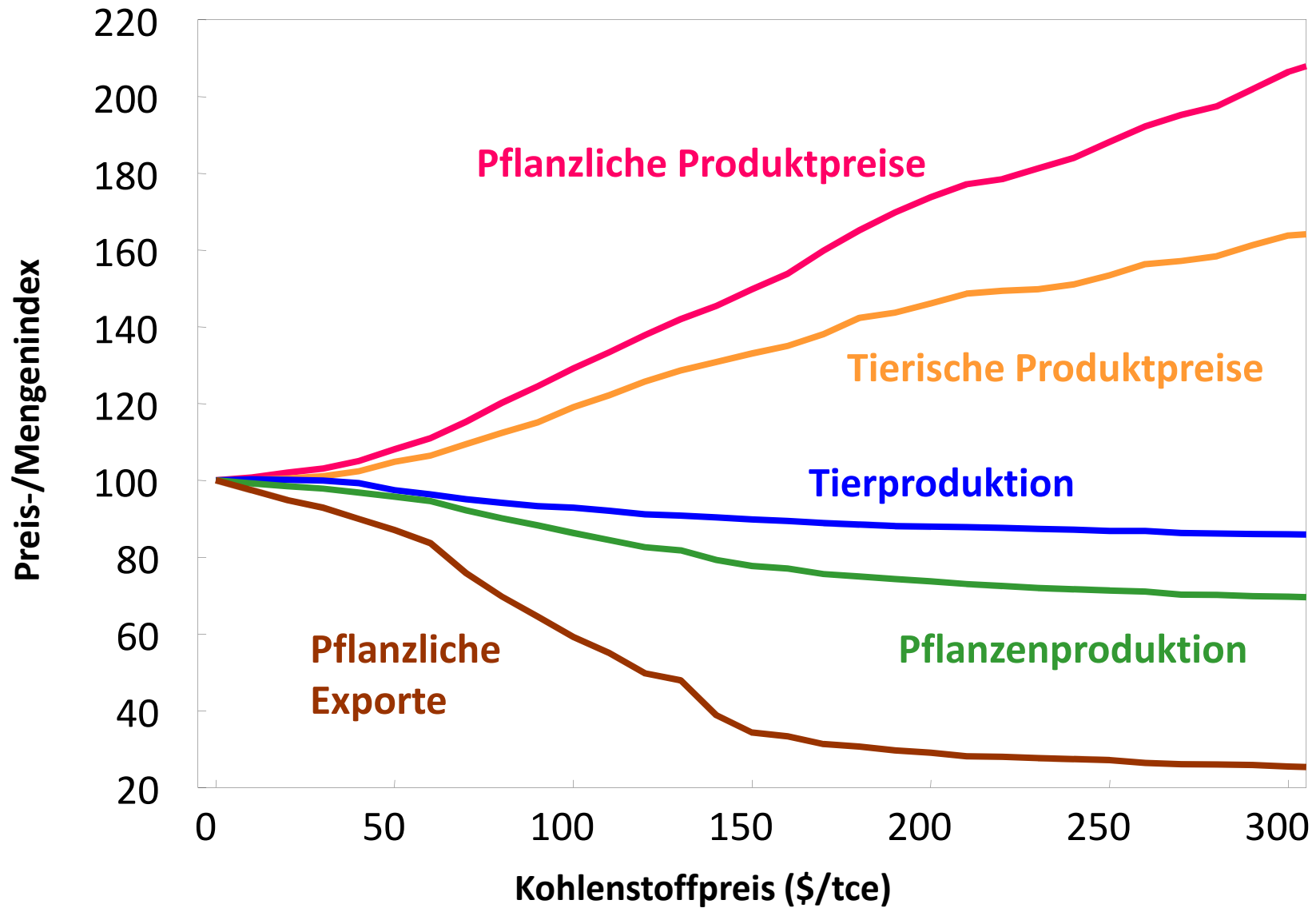
Quelle: McCarl, Schneider, Science, 2001

# Bioenergie im Wettbewerb mit anderen Vermeidungsstrategien

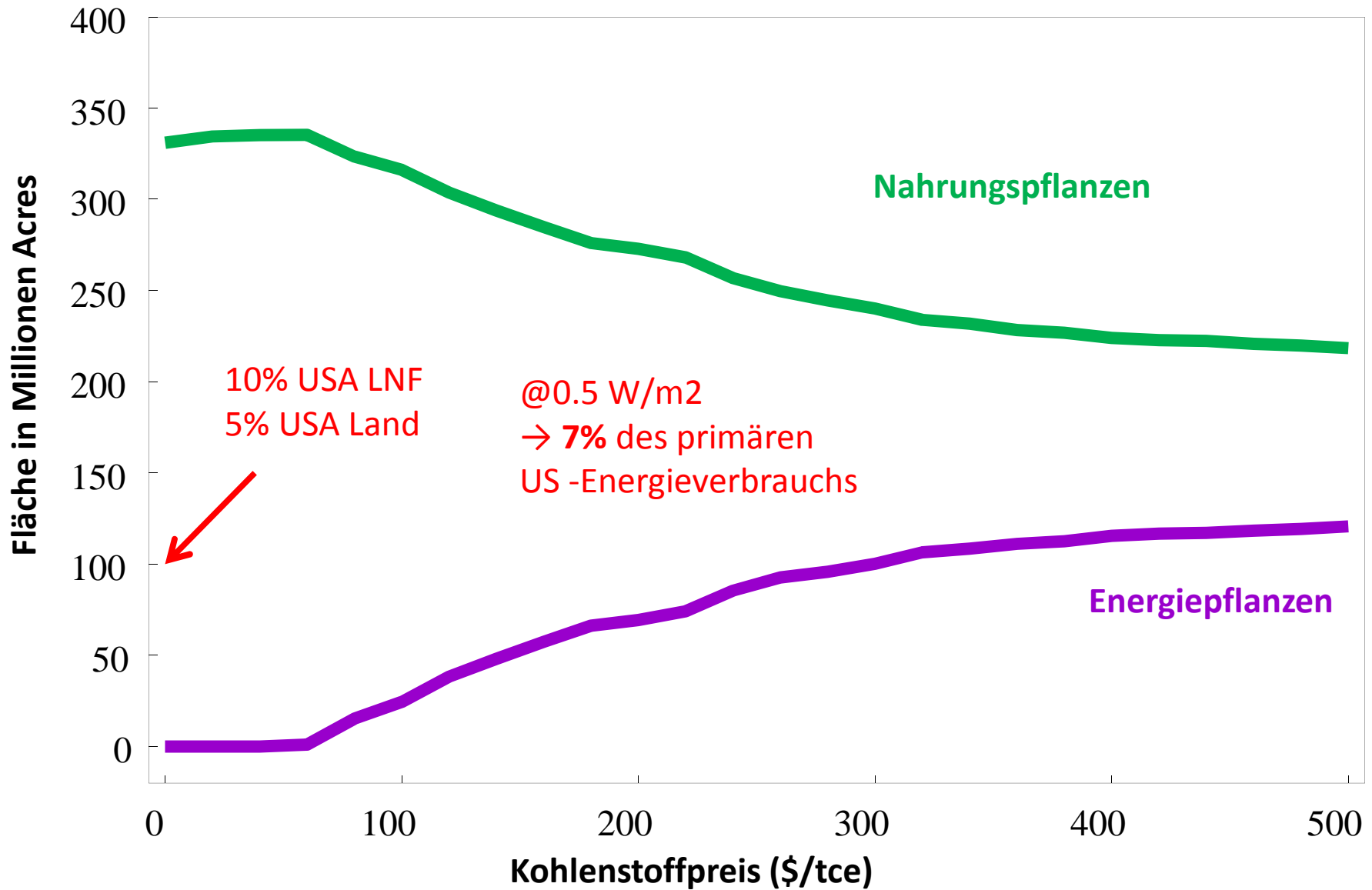


Quelle: McCarl, Schneider, Science, 2001

# Kohlenstoffpreise und Agrarmärkte



# Flächenverbrauch





# Bioenergie aus Landnutzung

- Zusammenfassung -

- Viele Potentiale
- Begrenztes ökonomisches Potential
- Nischen (Nebenprodukte, Bioabfall)
- Wechselwirkungen (Ernährung, Wasser, Natur)
- Interdisziplinäre und transdisziplinäre  
Bewertungsstudien wichtig für Politikberatung

# Bioenergiepotentiale



Theoretisch

Technisch

Ökonomisch

Politisch

Vielen Dank

# Referenzen

## Slides 3-5

- [https://science-edu.larc.nasa.gov/energy\\_budget/](https://science-edu.larc.nasa.gov/energy_budget/)
- Loeb, N.G., B.A. Wielicki, D.R. Doelling, G.L. Smith, D.F. Keyes, S. Kato, N. Manalo-Smith, and T. Wong, 2009: Toward Optimal Closure of the Earth's Top-of-Atmosphere Radiation Budget. *J. Climate*, 22, 748–766, <https://doi.org/10.1175/2008JCLI2637.1>
- Trenberth, K.E., J.T. Fasullo, and J. Kiehl, 2009: Earth's Global Energy Budget. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 90, 311–323, <https://doi.org/10.1175/2008BAMS2634.1>

## Slides 6-7

- Zhu, X.-G., S. Long, et al. (2008). "What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?" *Current opinion in biotechnology* 19(2): 153-159.
- Steven W. Running, Ramakrishna R. Nemani, Faith Ann Heinsch, Maosheng Zhao, Matt Reeves, Hirofumi Hashimoto; A Continuous Satellite-Derived Measure of Global Terrestrial Primary Production. *BioScience* 2004; 54 (6): 547-560. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0547:ACSMOG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0547:ACSMOG]2.0.CO;2)

## Slides 9-12

- Yue, D., F. You, et al. (2014). "Biomass-to-bioenergy and biofuel supply chain optimization: Overview, key issues and challenges." *Computers & Chemical Engineering* 66: 36-56.
- Senn, Th, and S. F. Lucà. "Studie zur Bioethanolproduktion aus Getreide in Anlagen mit einer Jahres-Produktionskapazität von 2, 5 und 9 Mio." *Litern*. Erstellt im Auftrag von: Bundesverband landwirtschaftliche Rohstoffe verarbeitende Brennereien eV unter Beteiligung des Bundesverbandes Deutscher Kartoffelbrenner eV (2002).
- German National Academy of Sciences Leopoldina. "Bioenergy—Chances and Limits." (2012).

## Slides 13-24

- McCarl, B. A. and U. A. Schneider (2001). "Climate change - Greenhouse gas mitigation in US agriculture and forestry." *Science* 294(5551): 2481-2482.
- Schneider, U. A. and B. A. McCarl (2003). "Economic potential of biomass based fuels for greenhouse gas emission mitigation." *Environmental & Resource Economics* 24(4): 291-312.
- Schneider, U. A. and B. A. McCarl (2006). "Appraising agricultural greenhouse gas mitigation potentials: effects of alternative assumptions." *Agricultural Economics* 35(3): 277-287.
- Schneider, U. A., B. A. McCarl, et al. (2007). "Agricultural sector analysis on greenhouse gas mitigation in US agriculture and forestry." *Agricultural Systems* 94(2): 128-140.
- Lee, H. C., B. A. McCarl, et al. (2007). "Leakage and comparative advantage implications of agricultural participation in greenhouse gas emission mitigation." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12(4): 471-494.