

# So gelingt unsere Zukunft

Andreas Pfennig  
Products, Environment, and Processes (PEPs)  
Department of Chemical Engineering  
Université de Liège  
[www.chemeng.uliege.be/pfennig](http://www.chemeng.uliege.be/pfennig)  
[andreas.pfennig@uliege.be](mailto:andreas.pfennig@uliege.be)



## kurzes CV

1979 bis 1984 Studium Verfahrenstechnik an der RWTH Aachen  
1984 bis 1985 Forschungsaufenthalt bei J.M. Prausnitz, Berkeley, USA  
1985 bis 1987 Promotion RWTH Aachen  
1988 bis 1995 Habilitation, TU Darmstadt  
1995 bis 2011 Professor, RWTH Aachen  
2011 bis 2014 Professor, TU Graz, Österreich  
seit 2014 Professor am Department of Chemical Engineering,  
University of Liège, Belgien



## Datenbanken und Copyright

- **IPCC illustrative model pathways:**

Daniel Huppmann, Elmar Kriegler, Volker Krey, Keywan Riahi, Joeri Rogelj,

Steven K. Rose, John Weyant, et al.,

IAMC 1.5°C Scenario Explorer and Data hosted by IIASA.

Integrated Assessment Modeling Consortium & International Institute for Applied Systems Analysis, 2018.

doi: <https://doi.org/10.22022/SR15/08-2018.15429>

url: <https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer>, release 1.0

- **UN WPP population prospects:**

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). World Population Prospects: The 2017 Revision, DVD Edition.

<https://population.un.org/wpp/>

- **BP Statistical Review of World Energy 2018:**

<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>

- **UN FAOSTAT zu Landnutzung und Ernährung:**

<http://www.fao.org/faostat/en>

- **CDIAC: CO<sub>2</sub> historical data:**

[http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/meth\\_reg.html](http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/meth_reg.html)



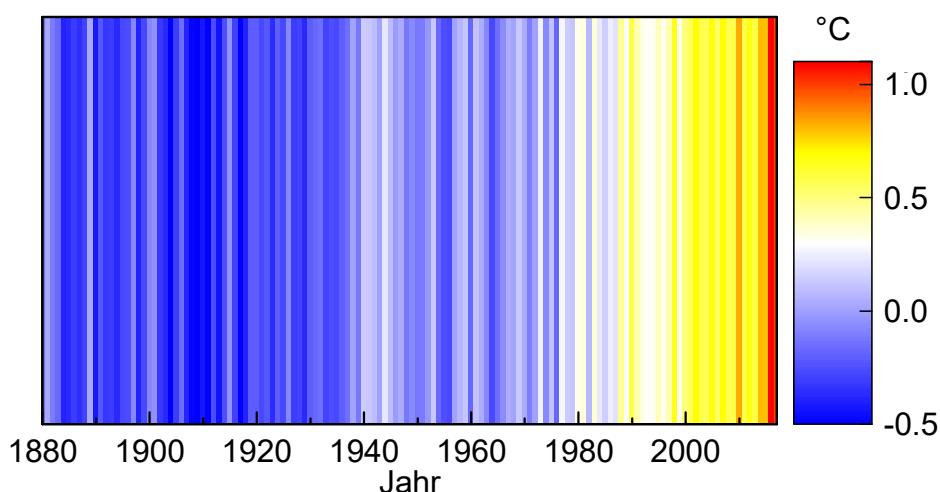
PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

5



## globale mittlere Temperatur



PEPs

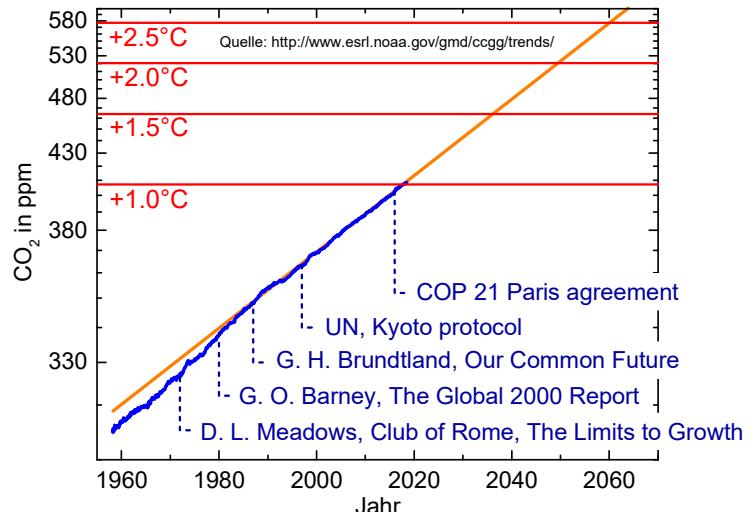
CHEMICAL  
ENGINEERING

GISTEMP Team, 2018: GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP).  
NASA Goddard Institute for Space Studies. Dataset accessed 2018-11-14 at  
<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

6



## CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre

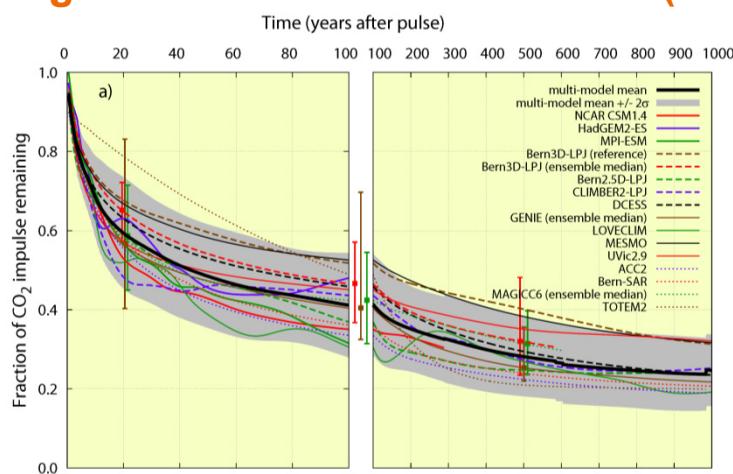


**PEPs**

7



## Ergebnis von 100Gt C-Emission (370Gt CO<sub>2</sub>)



Quelle: Joos, F., et al.: Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis. *Atmos. Chem. Phys.*, 13 (2013) 2793-2825.  
© Author(s) 2013. CC Attribution 3.0 License

**PEPs**

8



## UN Climate Conference 21, 2015, Paris

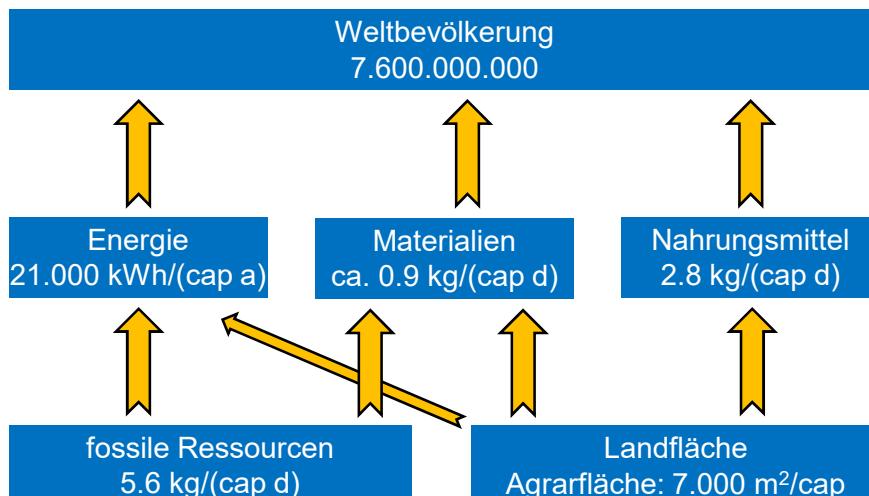
### Article 2.1:

This Agreement ... aims to strengthen the global response to the threat of climate change ... by:

Holding the increase in the global average temperature to **well below 2 °C** above pre-industrial levels and to **pursue efforts to limit** the temperature increase **to 1.5 °C** above pre-industrial levels, recognizing that this would significantly reduce the risks and impacts of climate change...



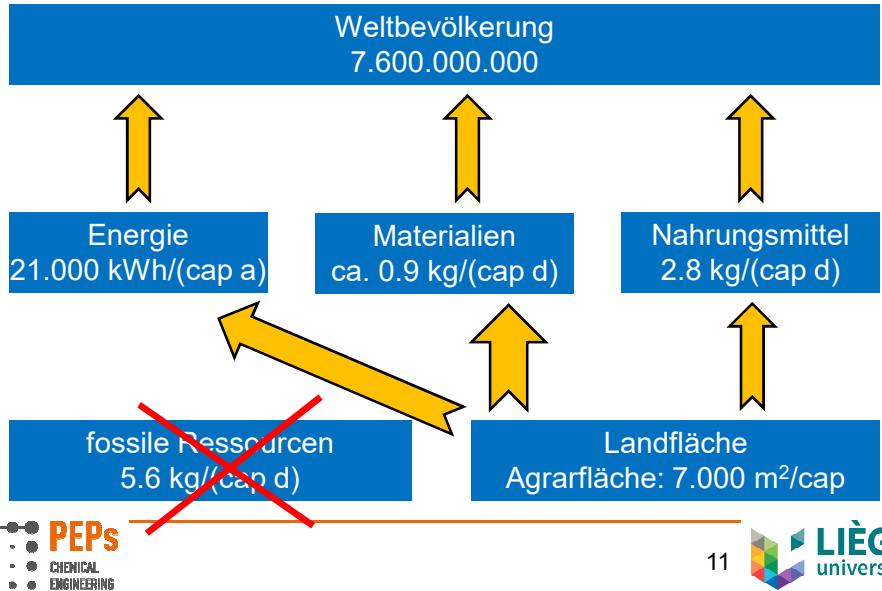
## einige Haupt-Triebkräfte



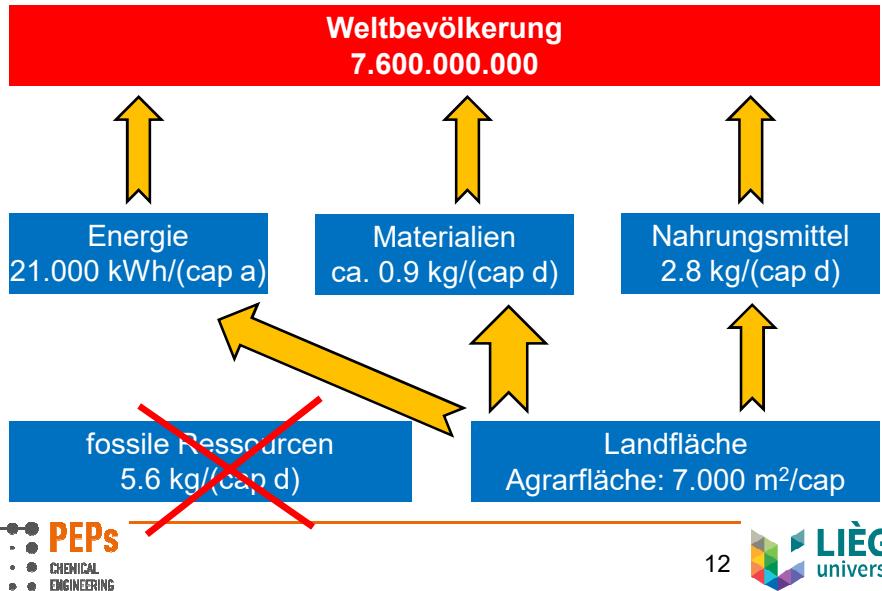
10



## einige Haupt-Triebkräfte



## DIE Haupttriebkraft





## Ansatz zur Modellierung

- **kein** IAM (integrated assessment model)
- stattdessen aufbauend auf **wesentlichen Bilanzen**:
  - Einfluss individueller Parameter direkt erkennbar
  - Haupteinflüsse deutlich

negativer Einfluss von zu detaillierten Modellen:

H. Hasse, Thermodynamics of Reactive Separation.  
In: K. Sundmacher, A. Kienle (Eds.): Reactive Distillation  
Status and Future Directions. Wiley-VCH, Weinheim, 2003

## das System, Skalierungs-Faktor 10 000 000



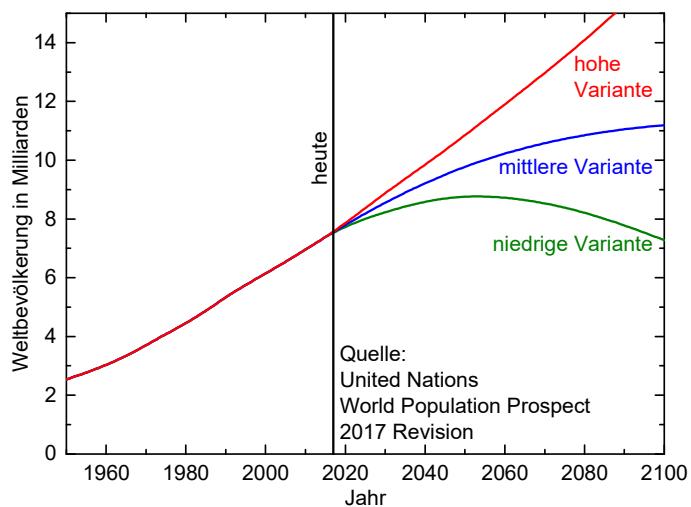
PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

15



## UN-Szenarien zur Weltbevölkerung



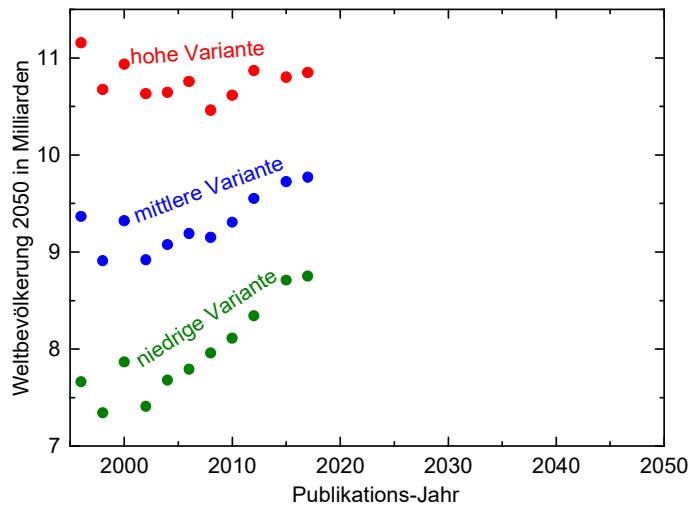
PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

16



## Entwicklung der UN-Vorhersage für 2050

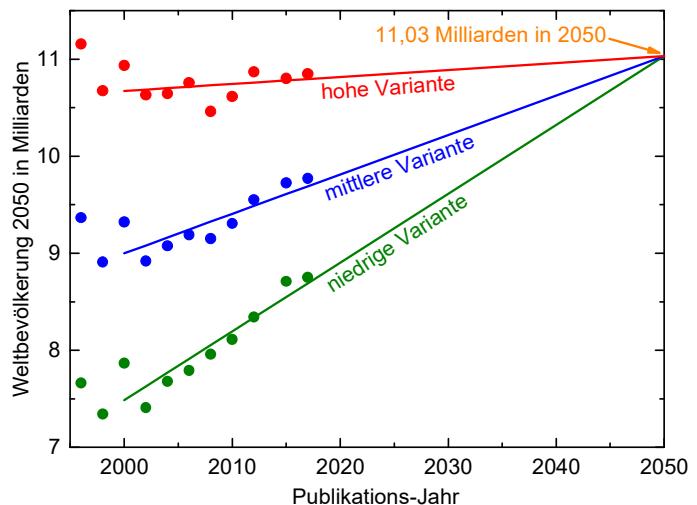



**PEPs**  
 CHEMICAL  
 ENGINEERING

17



## Entwicklung der UN-Vorhersage für 2050



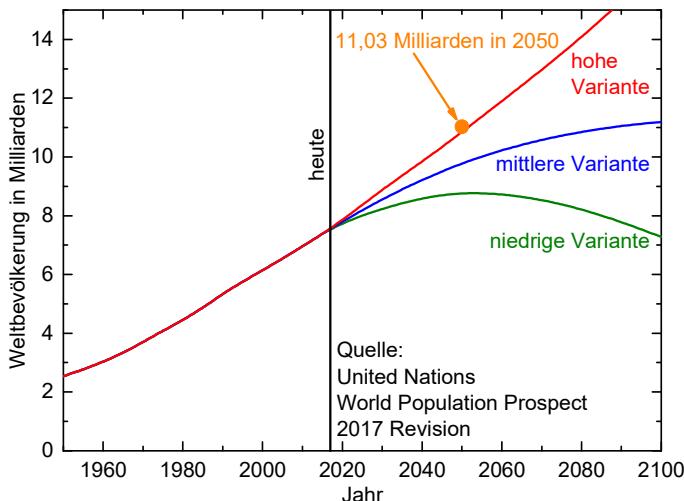


**PEPs**  
CHEMICAL  
ENGINEERING

18



## UN-Szenarien zur Weltbevölkerung



Quelle:  
United Nations  
World Population Prospect  
2017 Revision

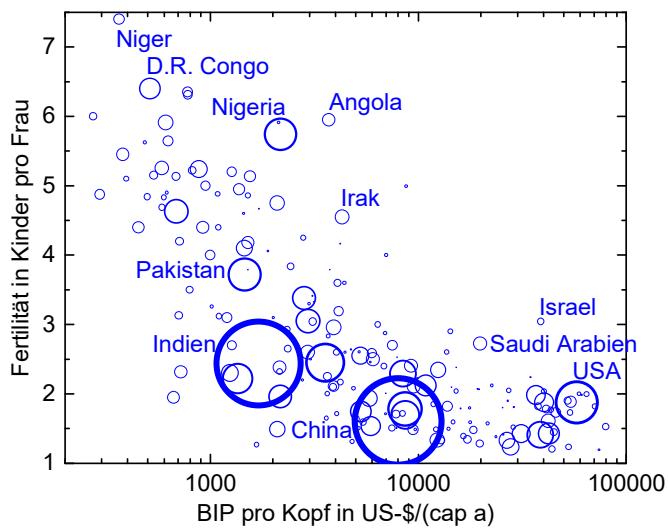
PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

19



## starker Einfluss von BIP auf Kinderzahl



PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

20



## Fazit Weltbevölkerung

hohe Bevölkerungs-Variante der UN  
gleich realistisch wie mittlere Variante

in 2050 zwischen 9,7 und 11 Mrd. Menschen

in 2100 zwischen 11,2 und 16,5 Mrd. Menschen

⇒ starker Einfluss auf Ressourcen-Verbrauch und  
Abfall-Produktion

⇒ starker Einfluss auf Welt-Hunger

## Fazit Weltbevölkerung

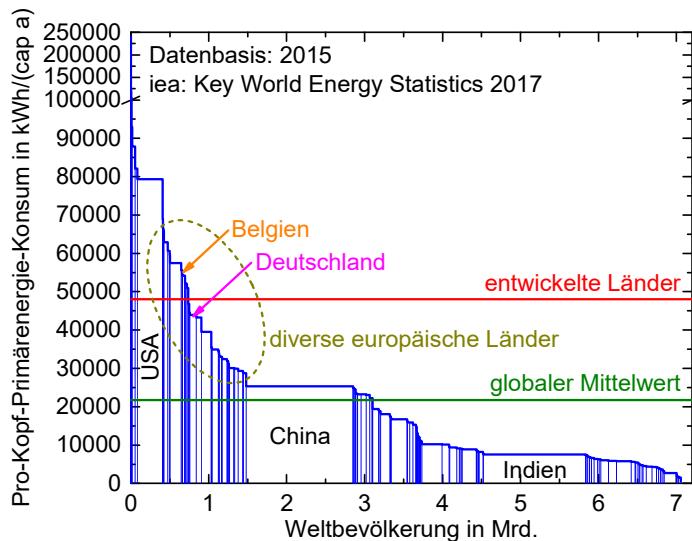
hohe Bevölkerungs-Variante der UN  
gleich realistisch wie mittlere Variante

in 2100 zwischen 11,2 und 16,5 Mrd. Menschen

⇒ starker Einfluss auf Ressourcen-Verbrauch und  
Abfall-Produktion

⇒ starker Einfluss auf Welt-Hunger

## jährlicher Verbrauch Primärenergie

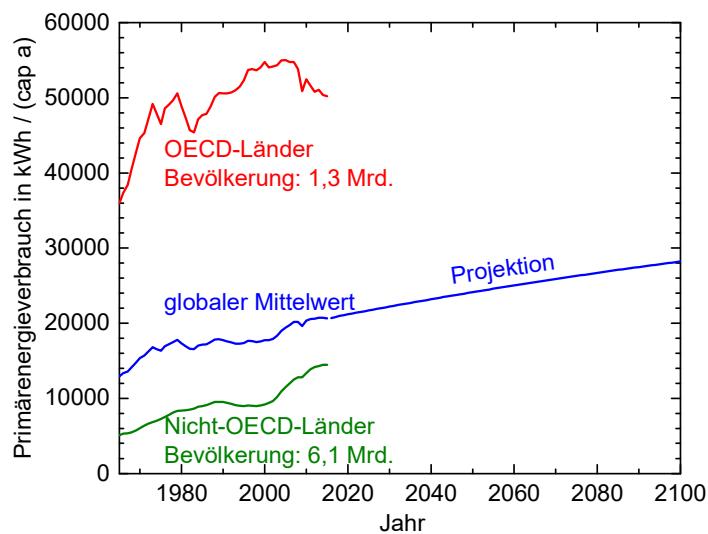


PEPs

23



## Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs

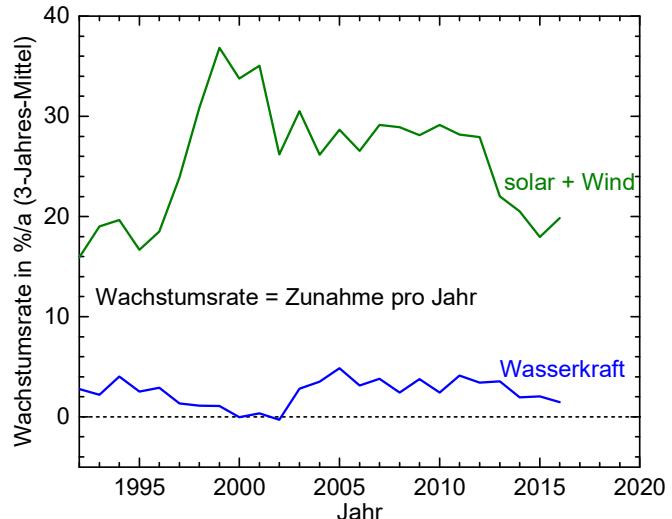


PEPs

24



## jährliche globale Wachstumsraten



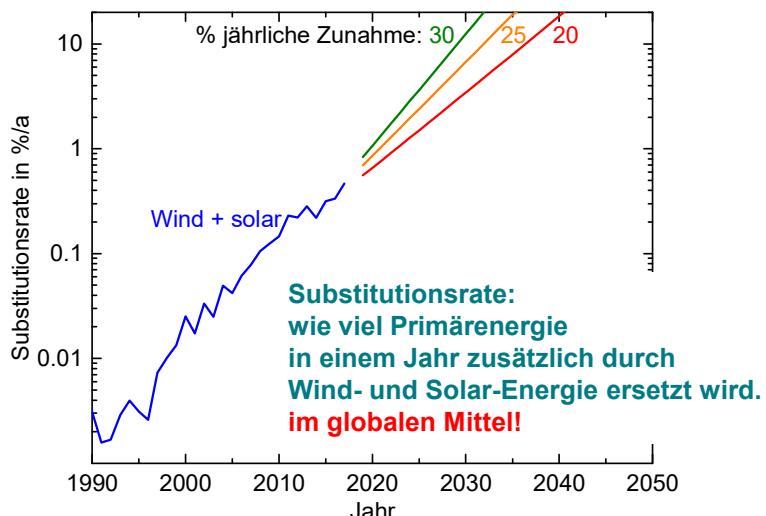
PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

25



## Zukünftiges Wachstum Wind & solar



PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

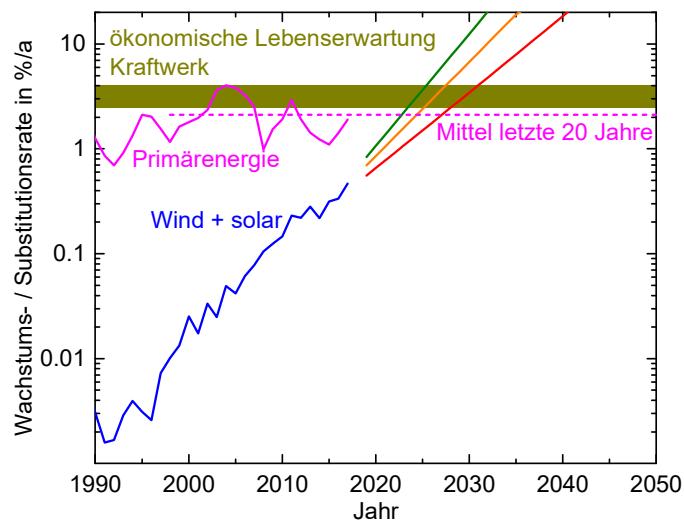
26



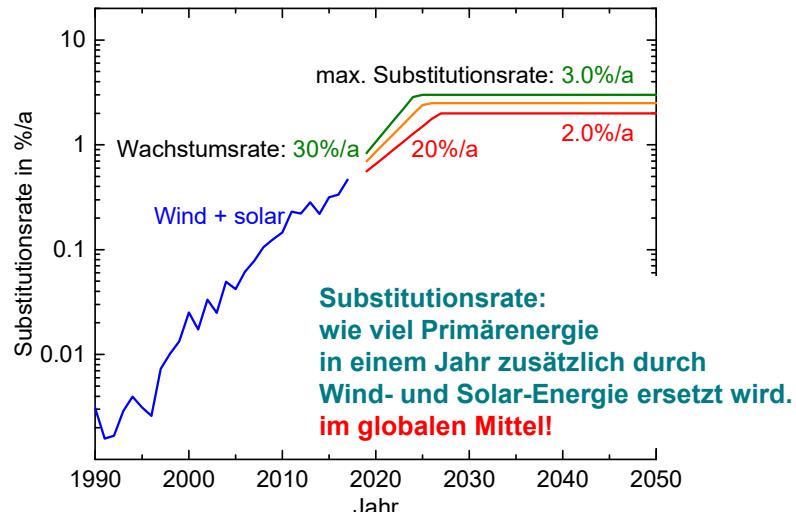
## ökonomische Lebenserwartung

	Lebens- erwartung <b>a</b>	Substitutionsrate % / a
Kraftwerke	25 bis 40	4 bis 2.5
PKW	10	10
LKW	10	10
Heizung	15 bis 25	4 bis 7
Hausisolation	50 bis 100	1 bis 2

## maximale Substitutionsrate



## drei betrachtete Szenarien



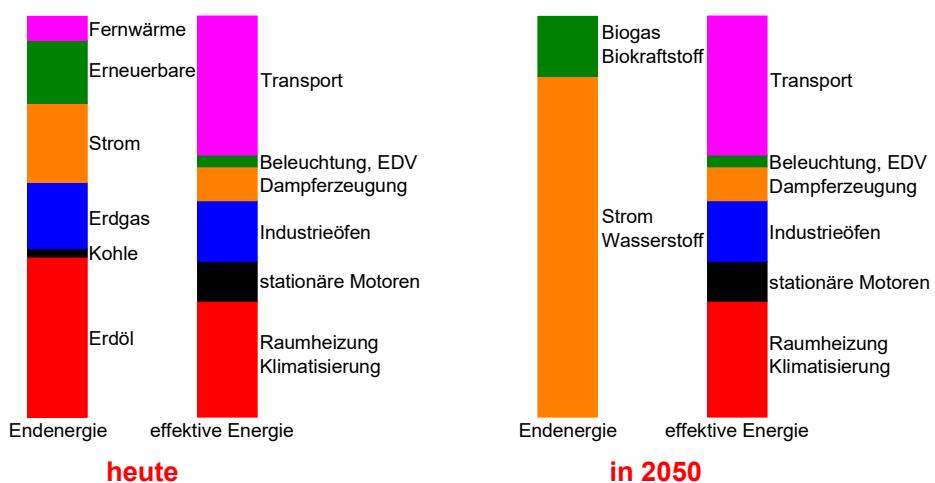
PEPs

copyrights data see:  
IMP P1 to P4: <https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer>  
WPP: <https://population.un.org/wpp/>

29



## Konsequenzen der Energiewende

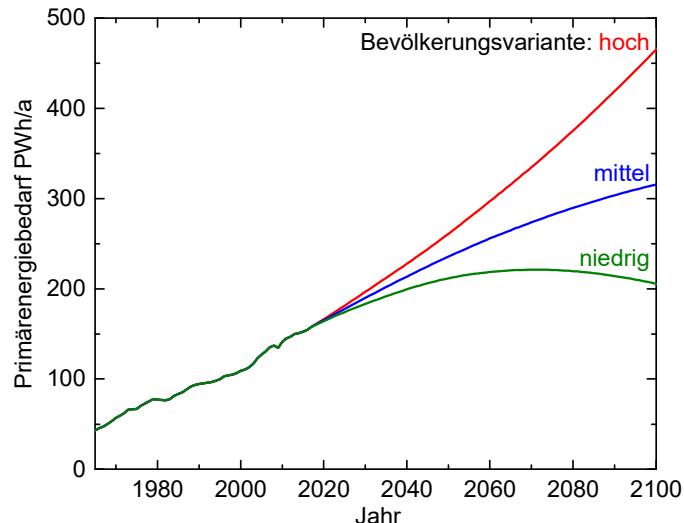


PEPs

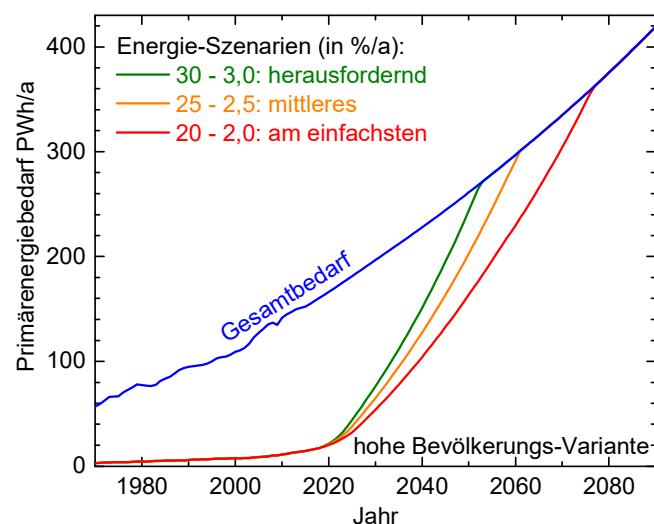
30



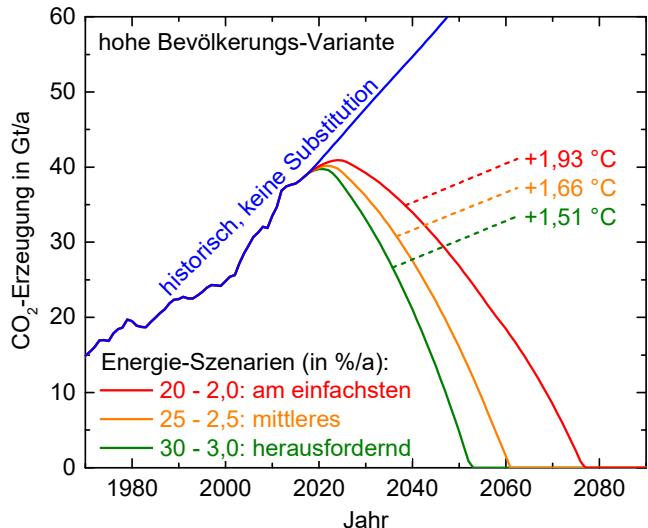
## Entwicklung des Primärenergiebedarfs



## drei Energieszenarien



## CO<sub>2</sub> nach den drei Energie-Szenarien



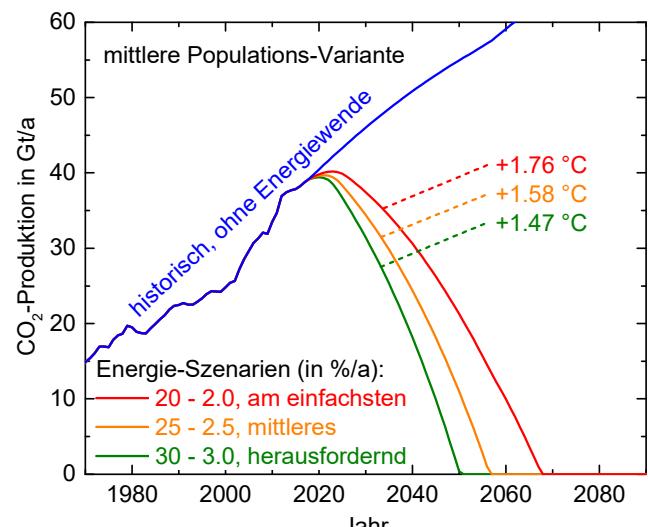
**PEPs**

CHEMICAL  
ENGINEERING

33



## CO<sub>2</sub> nach 3 betrachteten Szenarien



**PEPs**

CHEMICAL  
ENGINEERING

34



Daten:  
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>

## Vergleich der Energie-Szenarien

Energie-Szenario:	UN WPP Bevölkerungs-Variante				
	mittlere		hohe		
	Raten	Temp.	Ende	Temp.	
	% / a	°C		°C	
am einfachsten	20 - 2,0	+1,76	2068	+1,93	2077
mittleres	25 - 2,5	+1,58	2057	+1,66	2062
herausfordernd	30 - 3,0	+1,47	2051	+1,51	2053

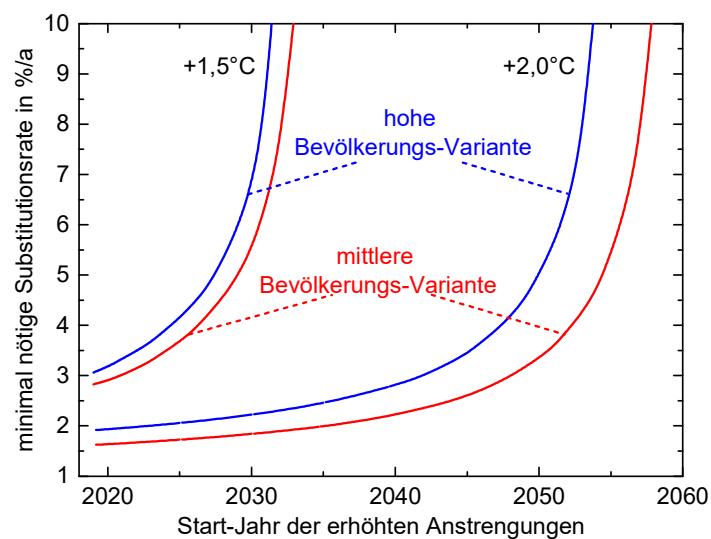
PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

35



## Konsequenzen verzögerter Anstrengungen



PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

36

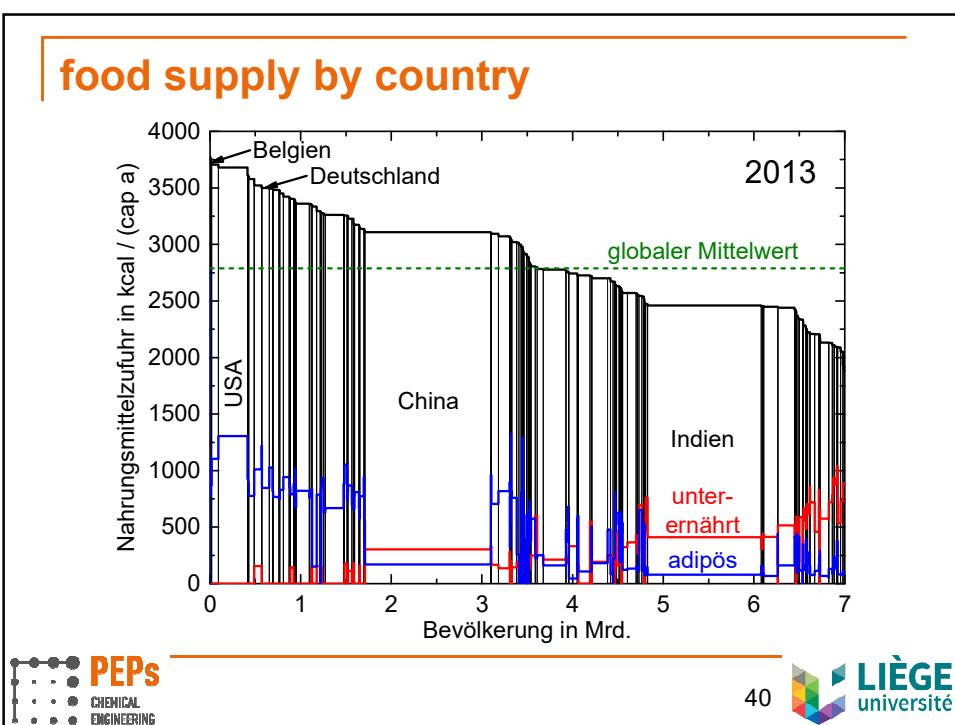
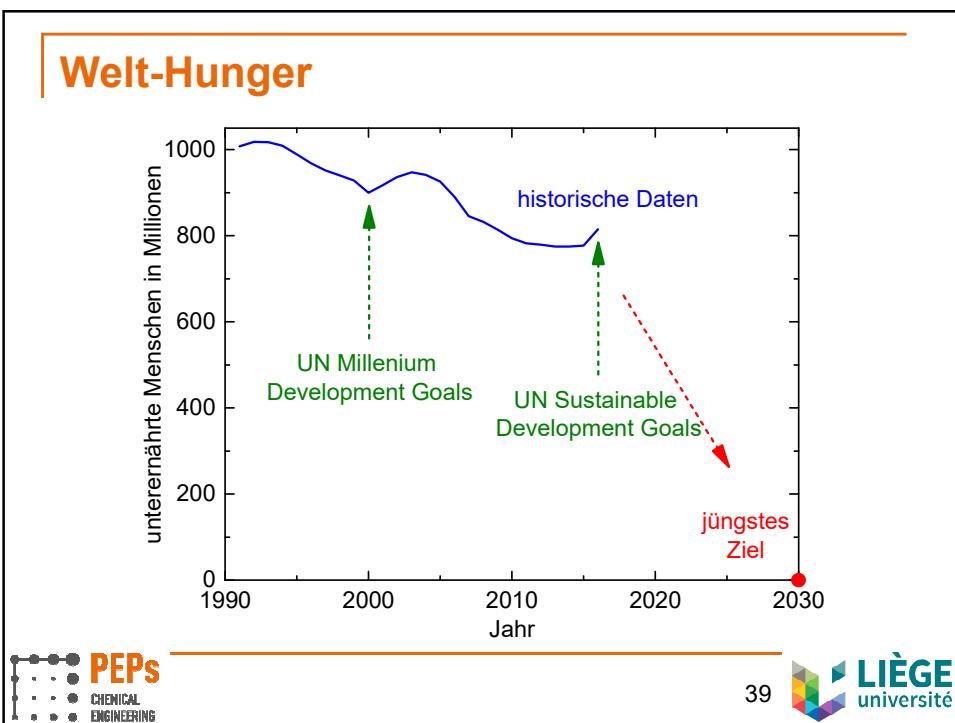


## Fazit Energiewende

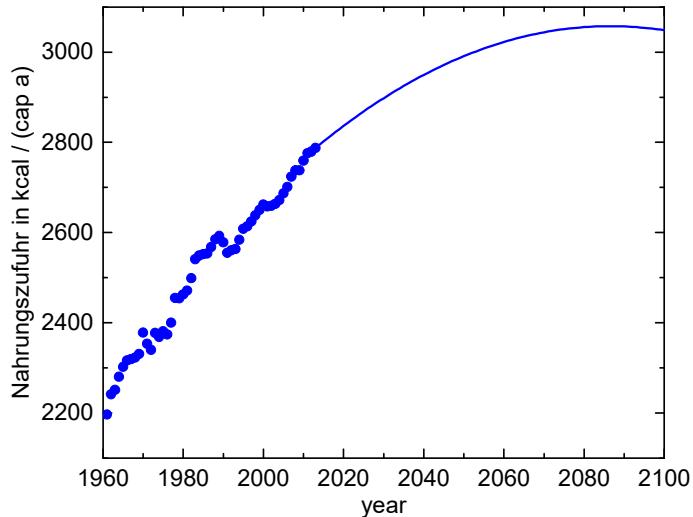
- Zeitskala: Wendepunkt in 2 bis 10 Jahren  
starke Effekte in 5 bis 20 Jahren
- volatile Preise für fossile Energieträger
- vollständiger Umbau wesentlicher Industrie-Sektoren
- Vulnerabilität der Volkswirtschaften steigt
- wir haben das 1.5°C-Klimaziel verschlafen!
- dringend konzertiertes globales Handeln nötig,  
selbst um 2.0°C einzuhalten
- nicht nur mehr Solar- und Windenergie,  
auch neue Endnutzer-Technologien
- geringeres Bevölkerungswachstums hilft Energiewende

## Fazit Energiewende

- vollständiger Umbau wesentlicher Industrie-Sektoren
- Vulnerabilität der Volkswirtschaften steigt
- wir haben das 1.5°C-Klimaziel verschlafen!
- nicht nur mehr Solar- und Windenergie,  
auch neue Endnutzer-Technologien
- für 2.0°C: 20%/a - 2%/a bis 2075  
für 1.5°C: 30%/a - 3%/a bis 2050



## kalorische Nahrungszufuhr



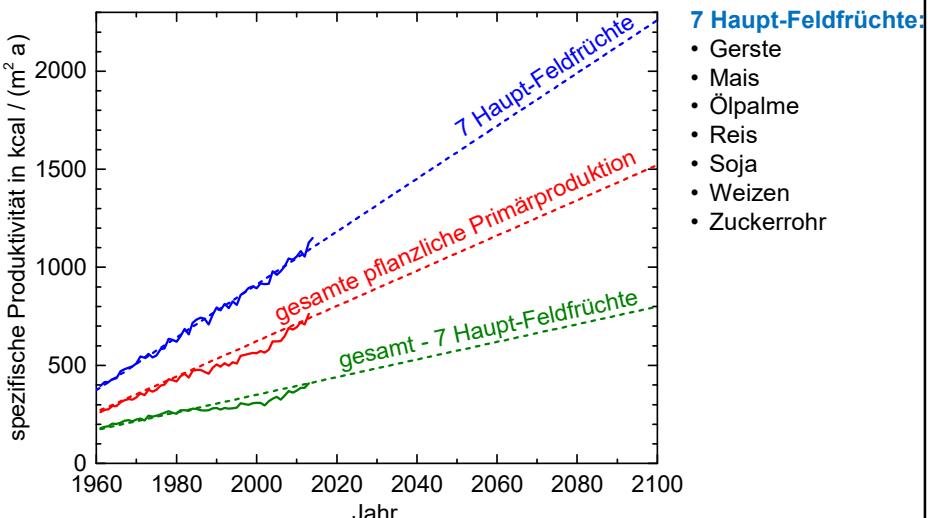
PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

41



## landflächen spezifische Produktivität



### 7 Haupt-Feldfrüchte:

- Gerste
- Mais
- Ölpalme
- Reis
- Soja
- Weizen
- Zuckerrohr

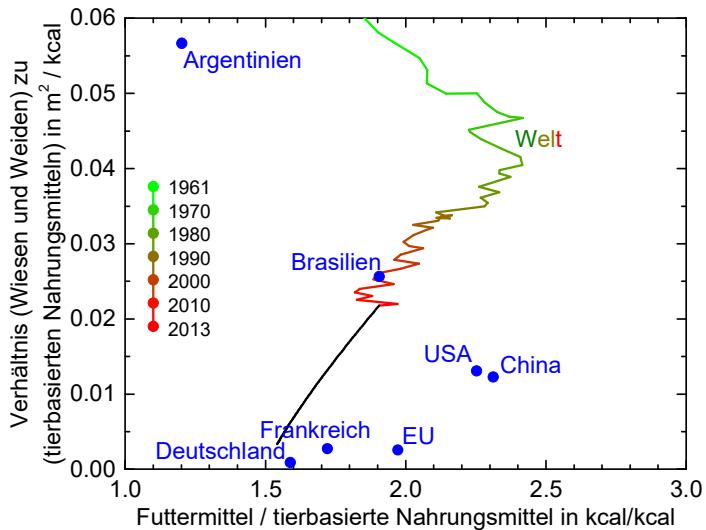
PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

42



## Intensität tier-basierter Nahrungserzeugung

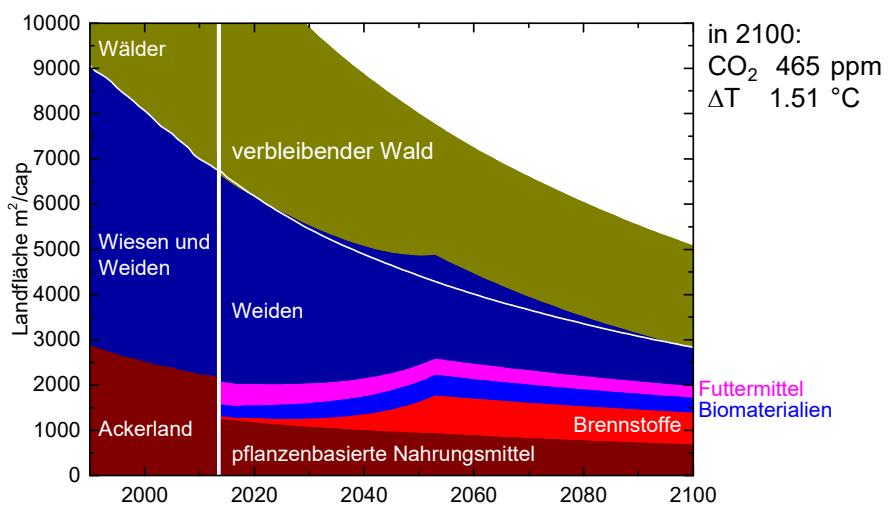


PEPs

43



## Landfläche: $\approx 1.5^{\circ}\text{C}$ , hohe Pop.-Variante

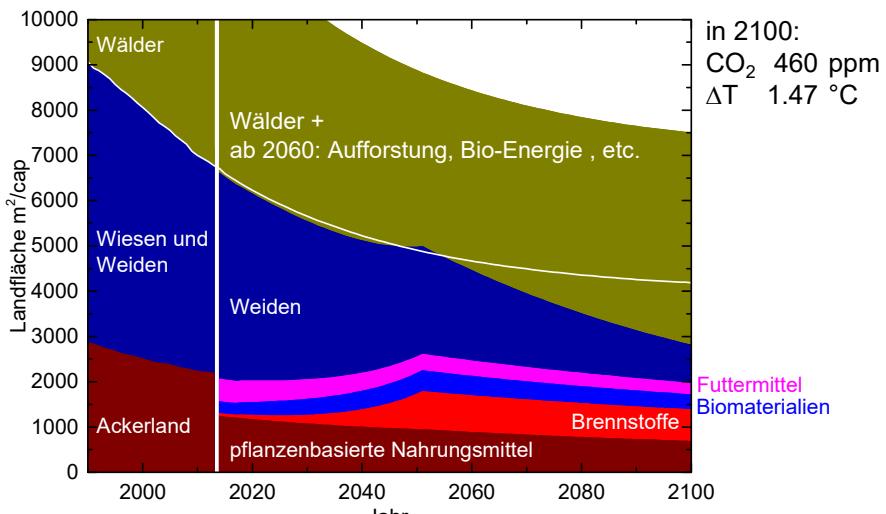


PEPs

44



## Landfläche: $\approx 1.5^{\circ}\text{C}$ , mittlere Pop.-Variante

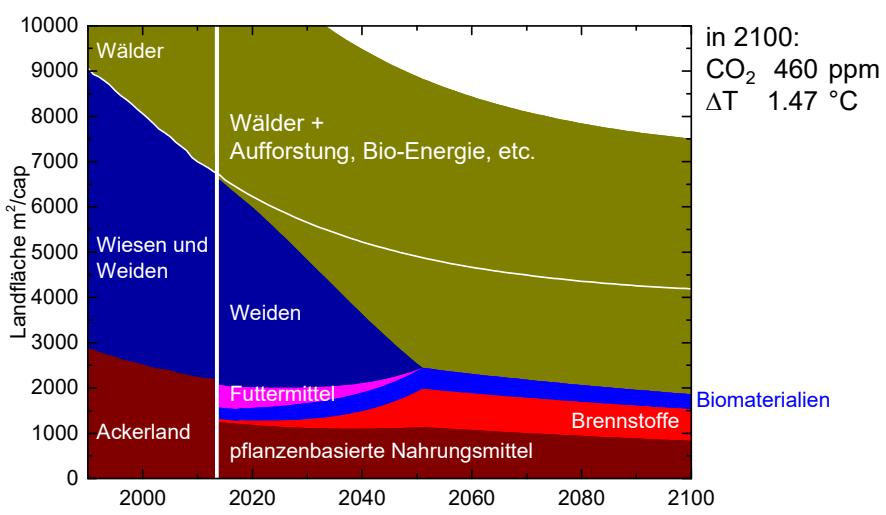


PEPs

45



## Landfläche: $\approx 1.5^{\circ}\text{C}$ , mittlere Pop., vegan

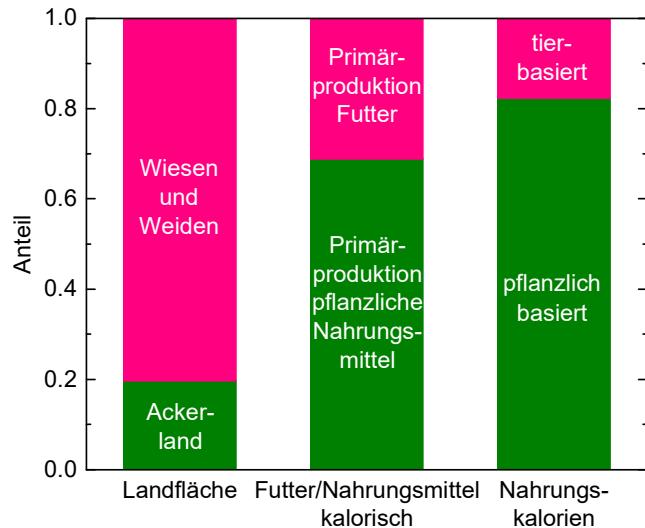


PEPs

46



## inefficiency of animal-based food supply



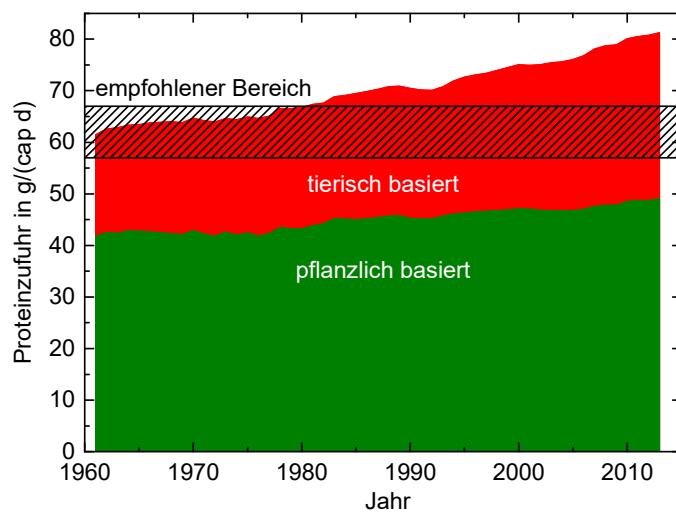
**PEPs**

CHEMICAL  
ENGINEERING

47



## Proteinversorgung im globalen Mittel



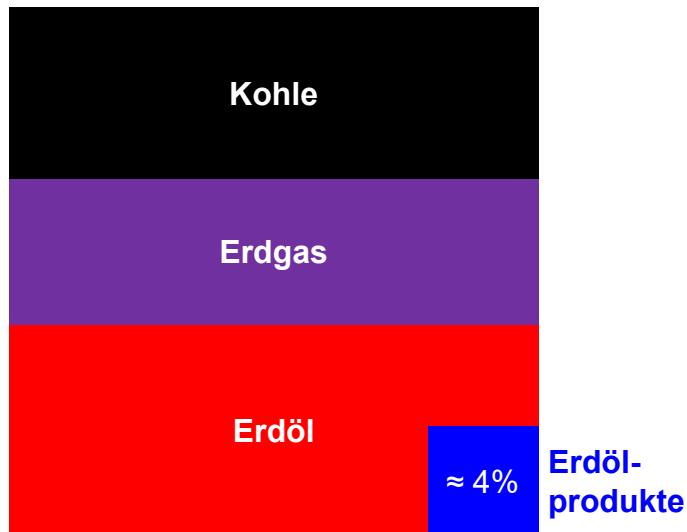
**PEPs**

CHEMICAL  
ENGINEERING

48



## Erdölprodukte $\approx$ 4% der fossilen Ressourcen

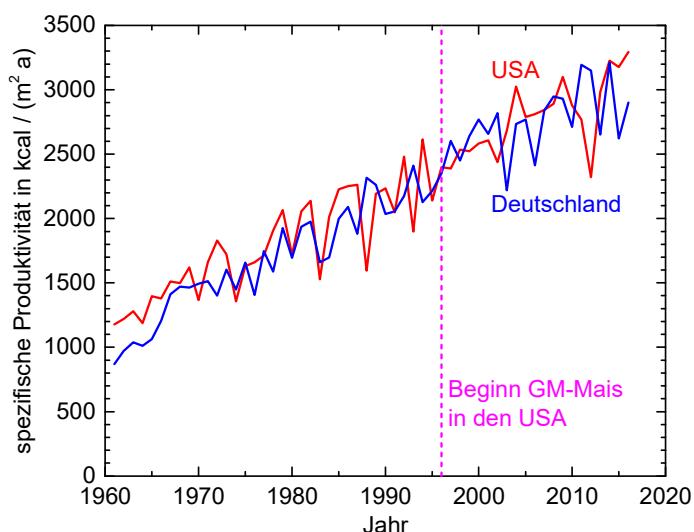


PEPs  
CHEMICAL  
ENGINEERING

49

Liège  
université

## Produktivität GM- vs. Nicht-GM-Pflanzen



PEPs  
CHEMICAL  
ENGINEERING

50

Liège  
université

## Fazit Teller vs. Tank, Bio-Ökonomie

keine Workarounds!

mit Verhaltensänderung

(maximal 2 Kinder, pflanzenbasierte Ernährung):  
vorhandene Technologie erlaubt nachhaltiges Wohlergehen

ohne Verhaltensänderung:

- Technologien zu maximalem Fortschritt gezwungen
- mehr Menschen unterernährt
- mehr Wald wird abgeholt

⇒ Verhaltensänderung zwingend

⇒ Unterstützung weniger entwickelter Länder auf Augenhöhe

⇒ Wettbewerb Ernährung ↔ Bio-Ökonomie unausweichlich



51



## Fazit Teller vs. Tank, Bio-Ökonomie

mit Verhaltensänderung

(maximal 2 Kinder, pflanzenbasierte Ernährung):  
vorhandene Technologie erlaubt nachhaltiges Wohlergehen

ohne Verhaltensänderung:

- Technologien zu maximalem Fortschritt gezwungen
- mehr Menschen unterernährt
- mehr Wald wird abgeholt

⇒ Verhaltensänderung zwingend

⇒ Unterstützung weniger entwickelter Länder auf Augenhöhe

⇒ Wettbewerb Ernährung ↔ Bio-Ökonomie unausweichlich



52



## verwendete IPCC reports

- **AR5:** IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- **SR15:** GLOBAL WARMING OF 1.5 °C  
an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty  
<http://www.ipcc.ch/report/sr15/> (accessed 08.10.2018)



53



## IPCC SR15

Intergovernmental Panel on Climate Change (Weltklimarat)  
**06.10.2018: Global Warming of 1.5°C, an IPCC special report**

- Folgen für Klima und Wohlbefinden:  
mit 1,5°C viel größer als heute bei rund 1,0°C  
viel größer bei 2,0°C als bei 1,5°C
- Dekarbonisierung muss erreicht werden  
bis 2050 für 1,5°C ⇒ schneller und drastischer Wandel  
bis 2075 für 2,0°C
- 1,5°C nur mit CDR (Kohlendioxidabscheidung) möglich
- derzeitige Ambitionen der Länder nach dem COP21 Pariser Abkommen werden die Temperatur nicht auf 1,5°C begrenzen, es werden 3°C bis 2100 erreicht, weiter steigend
- negative Folgen betreffen insbesondere benachteiligte und gefährdete Bevölkerungsgruppen.



54

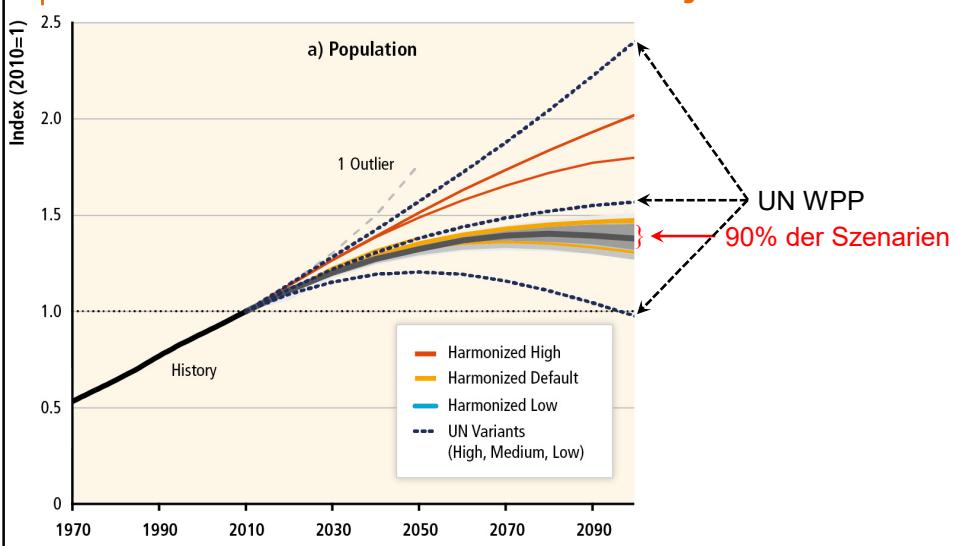


## IPCC AR5 Climate Change 2014, Mitigation

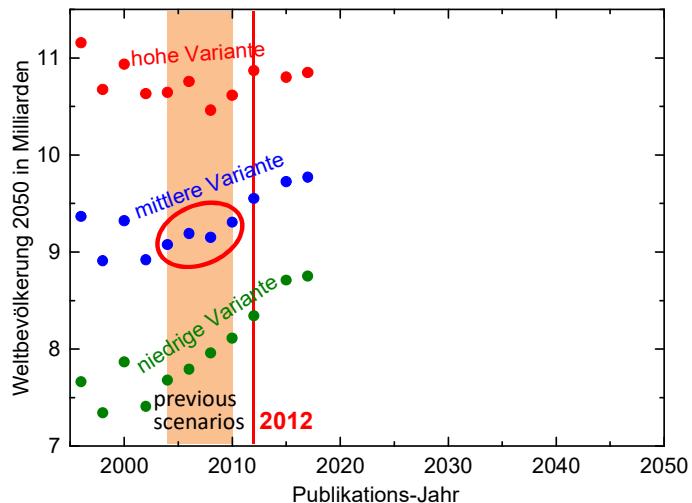
On the one hand, the scenarios assessed in this chapter  
**do not represent a random sample that can be used  
for formal uncertainty analysis.** ...

At the same time, however, ... the scenarios were  
generated by **experts making informed judgements**  
about how key forces might evolve in the future and how  
important systems interact. Hence, although they are not  
explicitly representative of uncertainty, they do provide  
**real and often clear insights** about our lack of  
knowledge about key forces that might shape the future.

## vom IPCC AR5 verwendete Projektionen



## Entwicklung der UN-Vorhersage für 2050



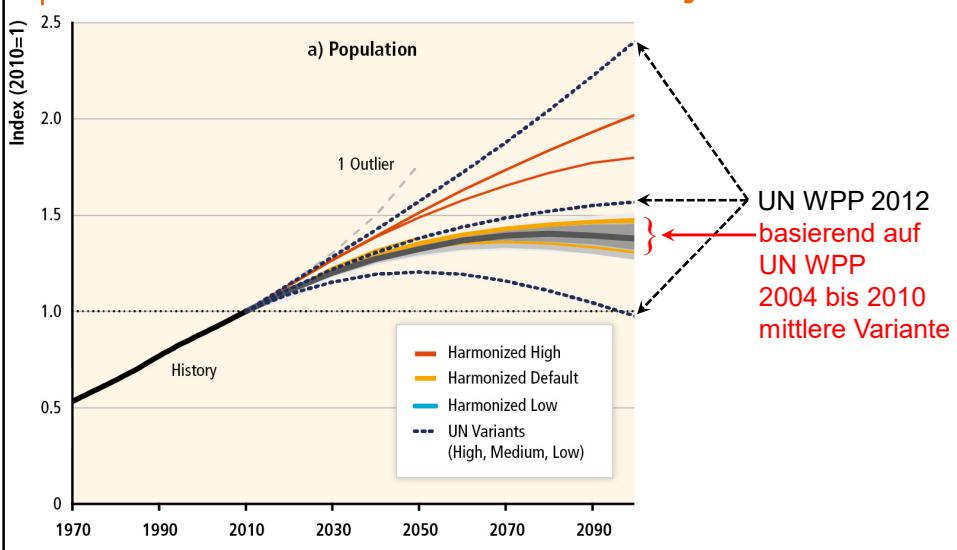
**PEPs**

CHEMICAL  
ENGINEERING

57



## vom IPCC AR5 verwendete Projektionen



**PEPs**

CHEMICAL  
ENGINEERING

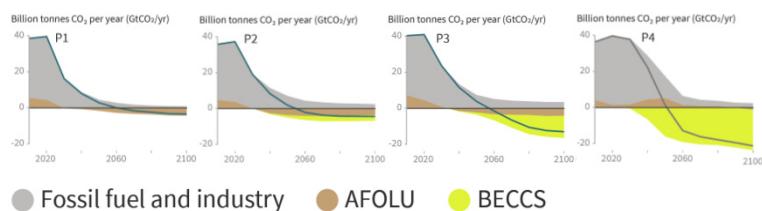
58



Figure 6.1, p. 425 aus: IPCC, AR5, 2014:  
Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change

## IPCC SR15 illustrative Modell-Pfade

Szenario:	P1	P2	P3	P4
Bevölkerung:	niedrige - mittlere	unter niedrige	niedrige - mittlere	niedrige
Energie:	sehr niedrig	sehr niedrig	niedrig	machbar
BE/Ackerland '50:	1.2%	5%	15%	40%
Beschreibung:	A down-sized energy system enables rapid decarbonisation of energy supply.	a broad focus on sustainability including energy intensity, human development...	middle-of-the-road scenario ...follows historical patterns	adoption of greenhouse-gas intensive lifestyles



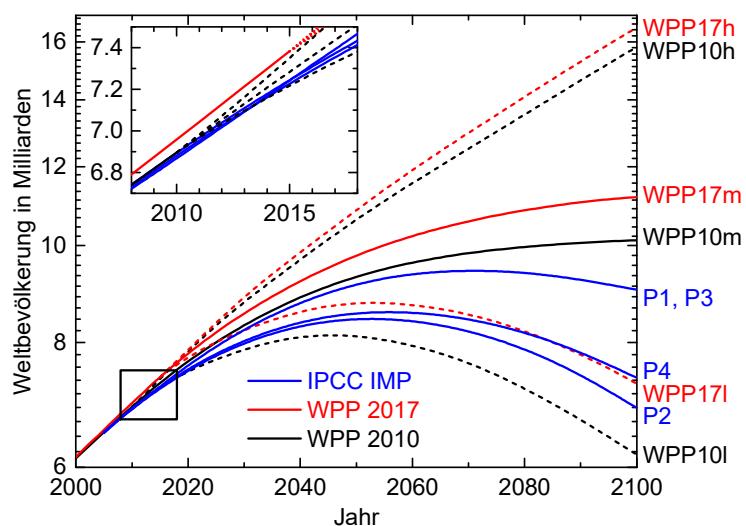
PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

59



## IPCC SR15 illustrative Modell-Pfade ↔ WPP



PEPs

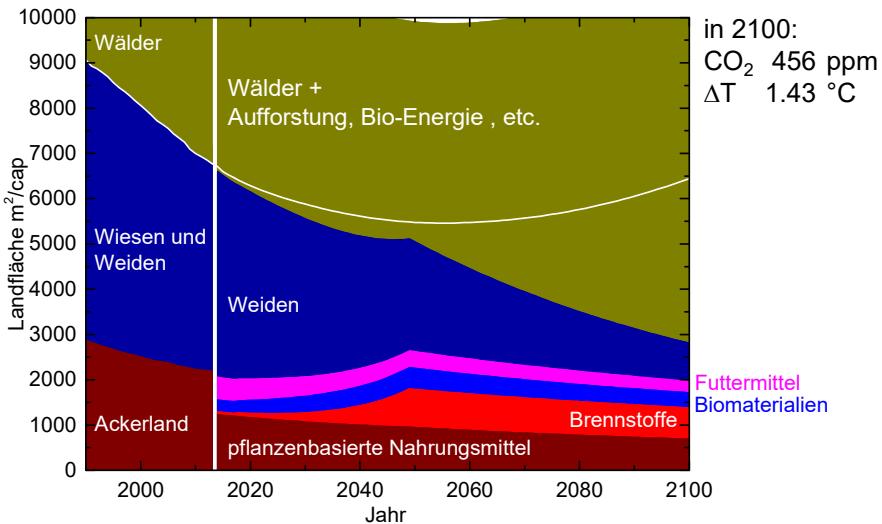
CHEMICAL  
ENGINEERING

copyrights:  
IMP P1 to P4: <https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer>  
WPP: <https://population.un.org/wpp/>

60



## Landfläche: $\approx 1.5^{\circ}\text{C}$ , niedrige Pop.-Variante



PEPs

61



## IPCC SR15 vom 6. Oktober 2018

Szenario:

P4

Bevölkerung:

niedrig

Energie:

machbar

BE/Ackerland '50:

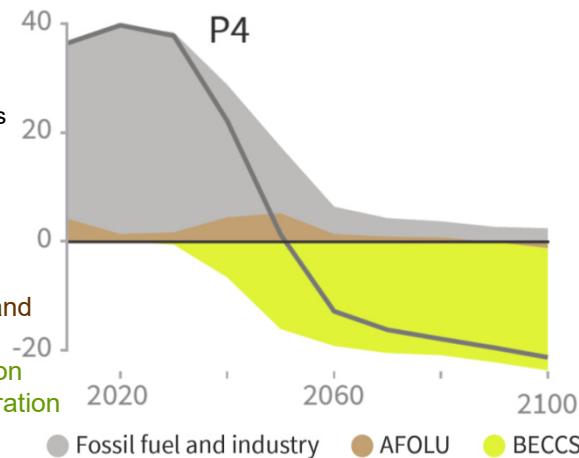
40%

Beschreibung: adoption of  
greenhouse-gas  
intensive  
lifestyles

Billion tonnes  $\text{CO}_2$  per year (Gt $\text{CO}_2$ /yr)

AFULU: agriculture, forestry and  
other land use

BECCS: bio-energy with carbon  
capture and sequestration

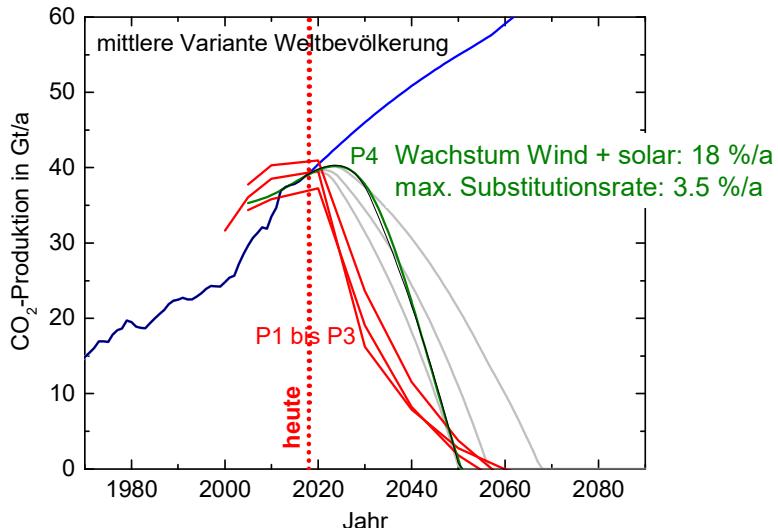


PEPs

62



## IPCC SR15 illustrative Modell-Pfade



PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

Daten:  
<https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer>, <https://population.un.org/wpp/>,  
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>

63



## Schlussfolgerungen aus IPCC AR5 & SR15

### Weltbevölkerung:

- IPCC-Perspektiven sind unrealistisch

### illustrative Modell-Pfade für Energiewende:

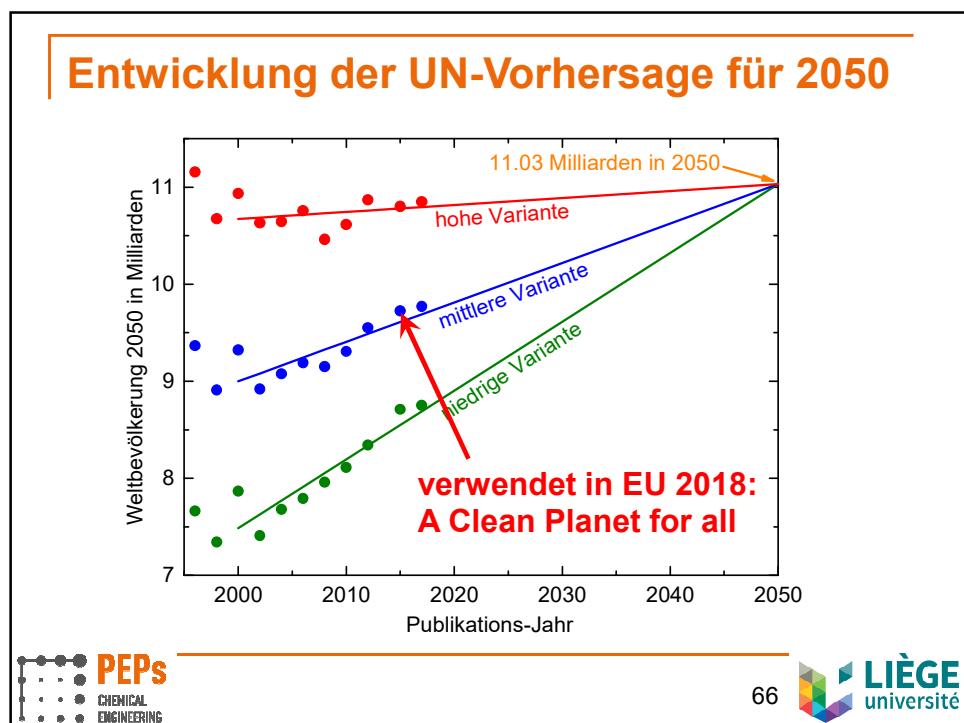
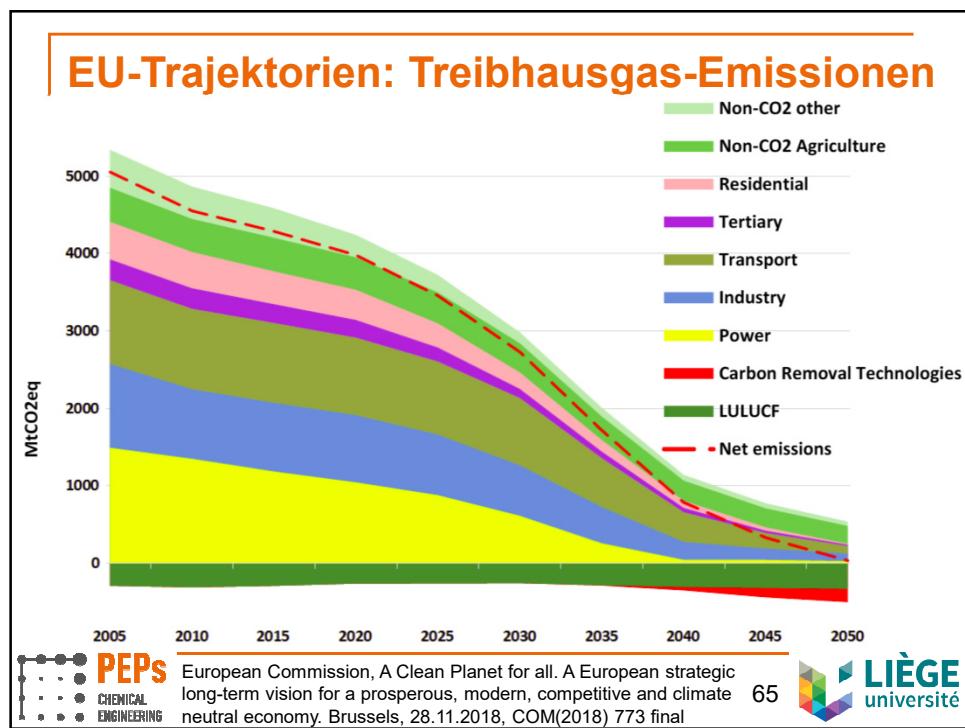
- P1, P2 und P3 können nicht erreicht werden
- P4 wird nicht funktionieren, Bioenergie ↔ Welthunger
- ⇒ IPCC-Report zeichnet ein viel zu optimistisches Bild!
- ⇒ 1.5°C Klimaziel ist mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht mehr erreichbar

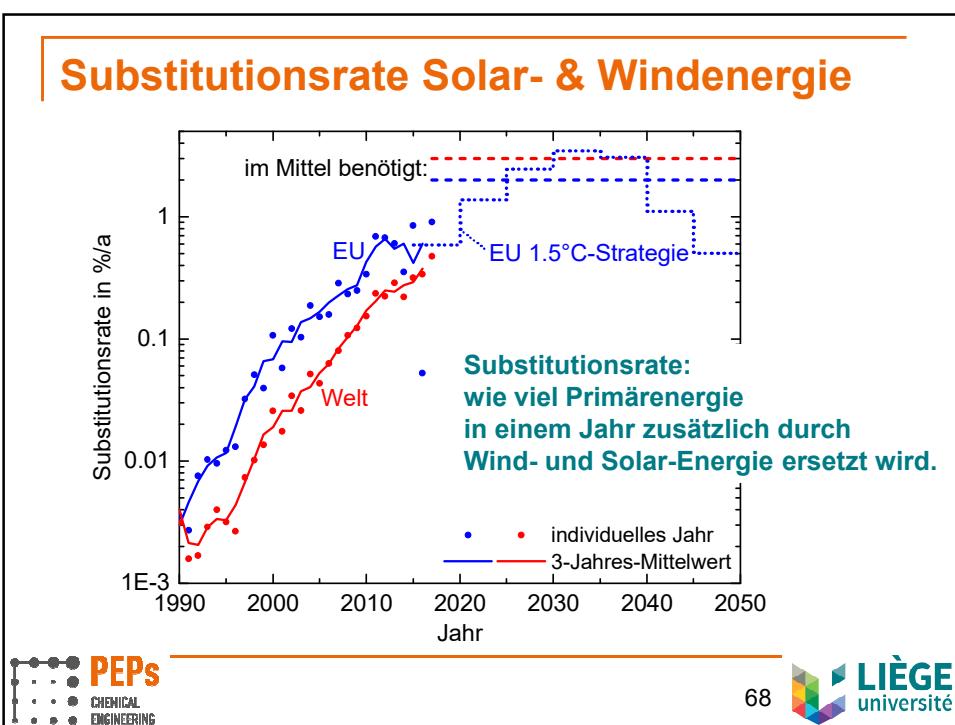
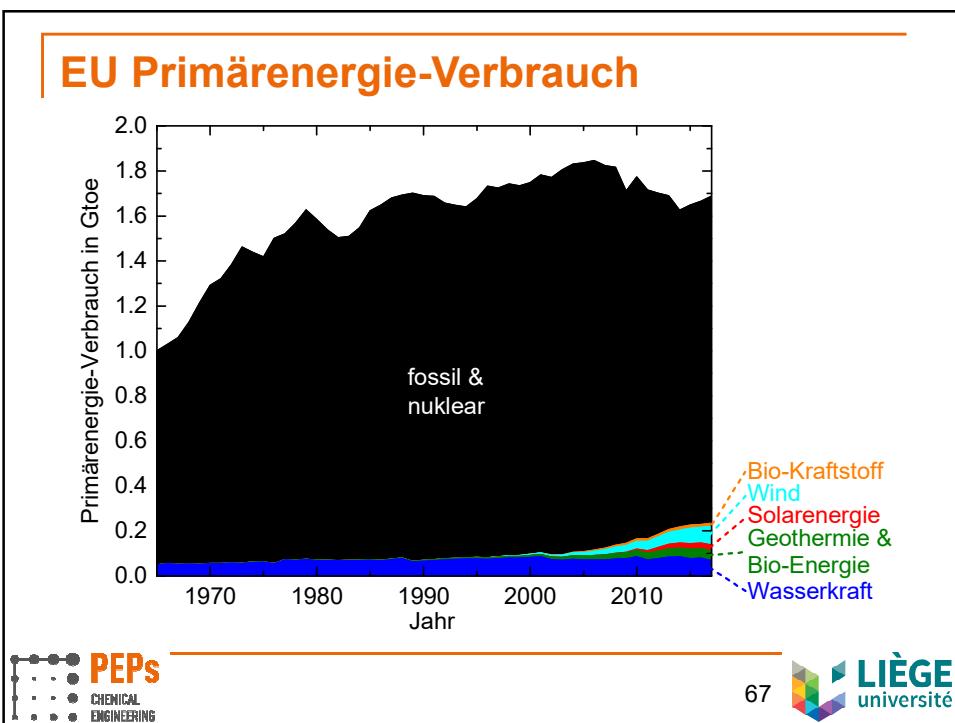
PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

64







## Fazit: EU Sustainability Scenario

### Weltbevölkerung:

- mittlere Variante WPP2015: sehr wahrscheinlich zu niedrig

### Energiewende:

- Intensivierung Bio-Energie ↔ Hunger in der Welt  
⇒ EU Nachhaltigkeitsziele (Nov. 28, 2018):
  - zeichnet ein viel zu optimistisches Bild!
  - signifikante sofortige Zunahme unserer Anstrengungen!

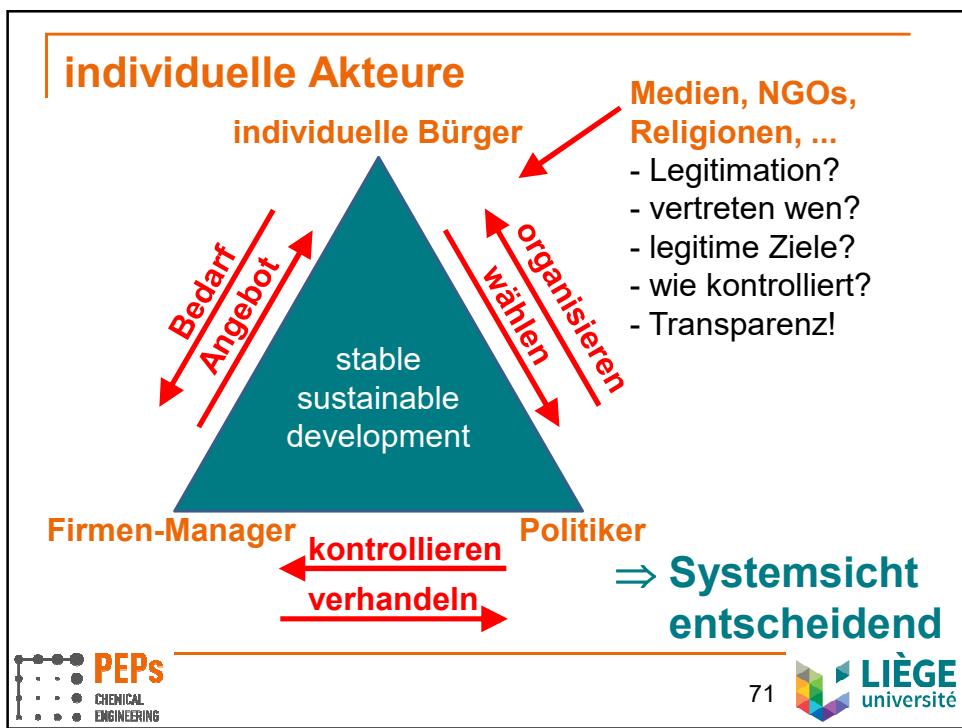
## Fazit: IPCC SR15 & EU Sustainability

### Weltbevölkerung:

- Bevölkerungs-Varianten zu niedrig!

### Energiewende:

- Substitutionsrate >5%/a unrealistisch
  - Intensivierung Bio-Energie ↔ Hunger in der Welt
- ⇒ IPCC SR15 (10/2018) & EU Nachhaltigkeitsziele (11/2018):
- zeichnen ein viel zu optimistisches Bild!
  - signifikante sofortige Zunahme unserer Anstrengungen!



## Fazit

- Klimaziele mit vorhandener Technologie erreichbar, aber muss systematisch in größerem Maßstab umgesetzt werden
  - deutlich erhöhte globale Anstrengungen, Wachstum 20 - 30%/a
- Nahrungsversorgung kritisch, aber die Änderung der individuellen Entscheidungen ist unerlässlich:
  - Anzahl der Kinder
  - pflanzliche vs. tierische Nahrung
  - sowohl Bio- als auch CO<sub>2</sub>-Ökonomie können funktionieren
  - Bio-Masse der dritten Generation reicht nicht aus
  - Minimierung der Bioenergie: Teller vs. Tank
  - CO<sub>2</sub>-Ökonomie: keine Konkurrenz um Landfläche, aber Ökonomie?
  - Entwicklungs-Kippunkt ist möglich
  - Systemsicht statt Fokussierung auf eigene Interessen
  - Ethik: individuell verantwortlich, nicht nur Frage von Politik & Technik
  - es muss jetzt passieren, sonst dramatische Situation zu unseren Lebzeiten und denen unserer Kinder

## einige Konsequenzen

- ⇒ Systemsicht entscheidend
- ⇒ persönliches Verhalten:
  - maximal zwei Kinder pro Frau/Familie
  - vegane Ernährung
  - Energiekonsum minimieren, große Potentiale zuerst:
    - weite Flugreisen vermeiden
    - niedrigere Geschwindigkeit beim kleineren PKW
    - ...
- ⇒ Konsequenzen, da jeder € nur einmal ausgebbar:
  - maximaler Ausbau von Wind- und Sonnenenergie
  - Unterstützung von Niedrigenergie-Technologie
  - Infrastruktur zur Verringerung des Energiekonsums
  - Entwicklungspartnerschaften mit weniger entwickelten Regionen

PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

73



## relevante Publikationen

- Pfennig, A. (2007). Supporting debottlenecking of global human processes by applying appropriate balances. *Biotechnology Journal*, 2(12), 1485-1496.
- Pfennig, A. (2007). Globale Bilanzen als Wegweiser für nachhaltiges Wirtschaften. *Chemie Ingenieur Technik*, 79(12), 2009-2018.
- Frenzel, P., Fayyaz, S., Hillerbrand, R., Pfennig, A. (2013). Biomass as Feedstock in the Chemical Industry - An examination from an Exergetic Point of View. *Chemical Engineering and Technology*, 36(2), 233-240.
- Frenzel, P., Hillerbrand, R., Pfennig, A. (2014). Exergetical Evaluation of Biobased Synthesis Pathways. *Polymers*, 6(2), 327-345.
- Frenzel, P., Hillerbrand, R., Pfennig, A. (2014). Increase in energy and land use by a bio-based chemical industry. *Chemical Engineering Research and Design*, 92, 2006-2015.
- Frenzel, P., Pfennig, A. (2014). Bewertung der steigenden Nachfrage nach Diesel-Kraftstoffen hinsichtlich ihrer CO<sub>2</sub>-Emissionen. In U., Bachhiesl (Ed.), *Innehalten und Ausblick: Effektivität und Effizienz für die Energiewende* (pp. 1-9).
- Pfennig, A. (2018). *So gelingt unsere Zukunft*. Books on Demand, Norderstedt.

PEPs

CHEMICAL  
ENGINEERING

74



## Ressourcen und Playlist auf YouTube

[www.vision3000.eu](http://www.vision3000.eu)

<https://www.youtube.com/>  
suche bei YouTube nach:  
Andreas Pfennig Sustainability

[www.chemeng.uliege.be/successfulfuture](http://www.chemeng.uliege.be/successfulfuture)



75



## So gelingt unsere Zukunft

Andreas Pfennig  
Products, Environment, and Processes (PEPs)  
Department of Chemical Engineering  
Université de Liège  
[www.chemeng.uliege.be/pfennig](http://www.chemeng.uliege.be/pfennig)  
[andreas.pfennig@uliege.be](mailto:andreas.pfennig@uliege.be)

