

So gelingt unsere Zukunft

Andreas Pfennig
Products, Environment, and Processes (PEPs)
Department of Chemical Engineering
Université de Liège
www.chemeng.uliege.be/pfennig
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: CO₂ historical data:**

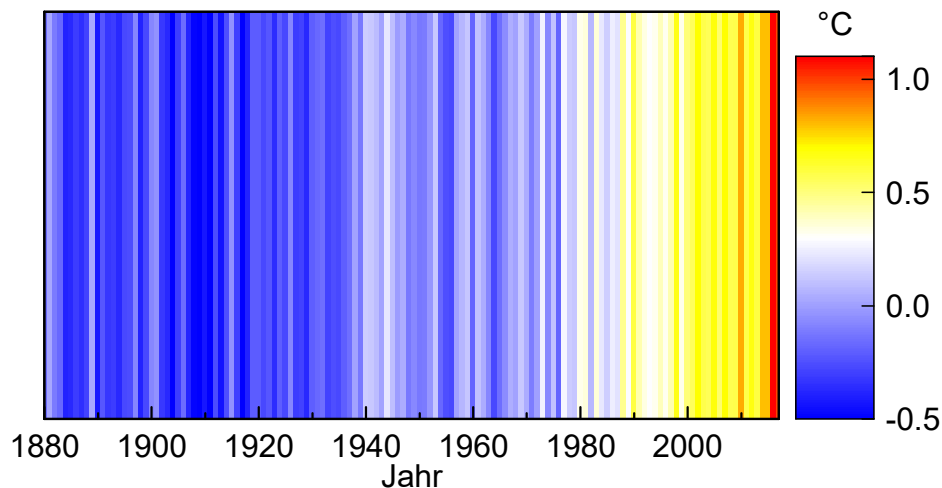
http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/meth_reg.html



3



globale mittlere Temperatur

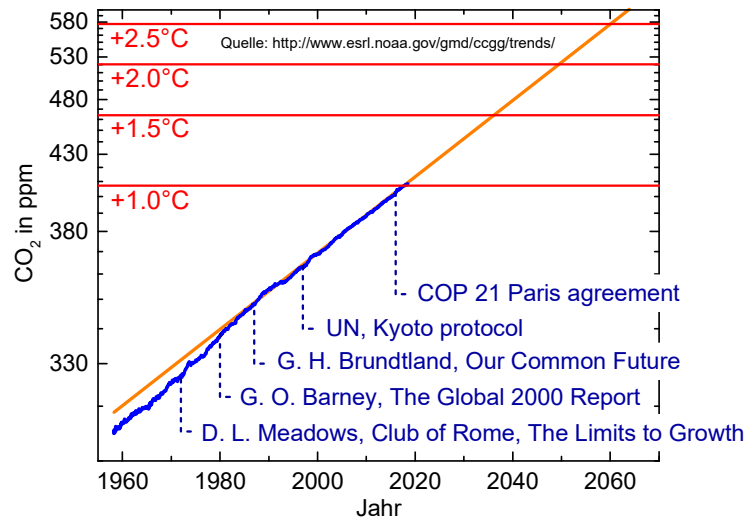


GISTEMP Team, 2018: *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)*.
NASA Goddard Institute for Space Studies. Dataset accessed 2018-11-14 at
<https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>

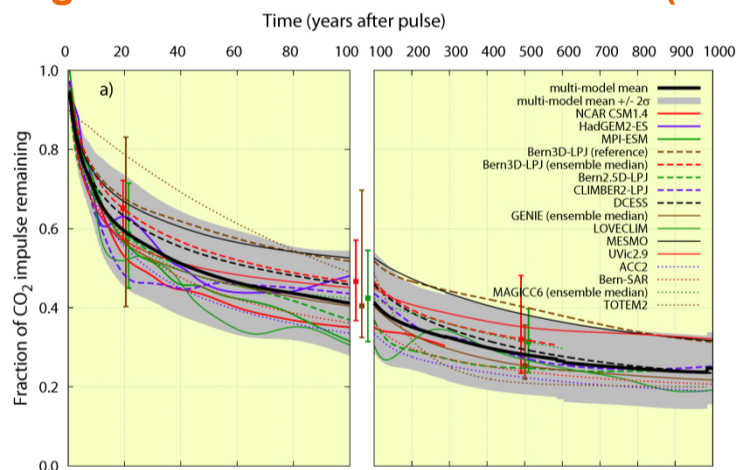
4



CO₂-Gehalt der Atmosphäre



Ergebnis von 100Gt C-Emission (370Gt CO₂)



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

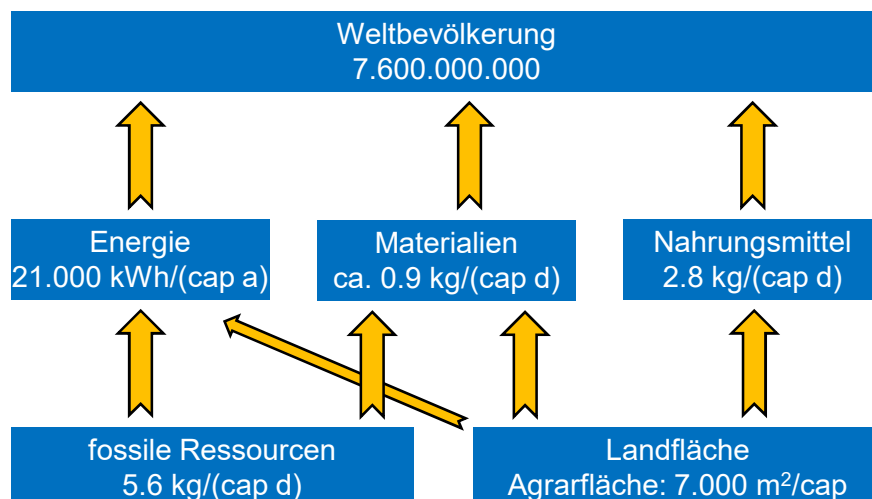
UN Climate Conference 21, 2015, Paris

Article 2.1:

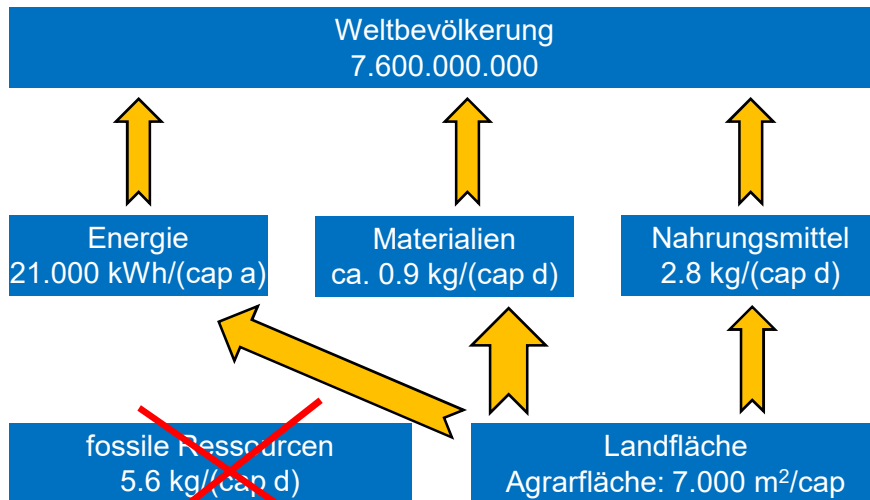
This Agreement ... aims to strengthen the global response to the threat of climate change ... by:

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...

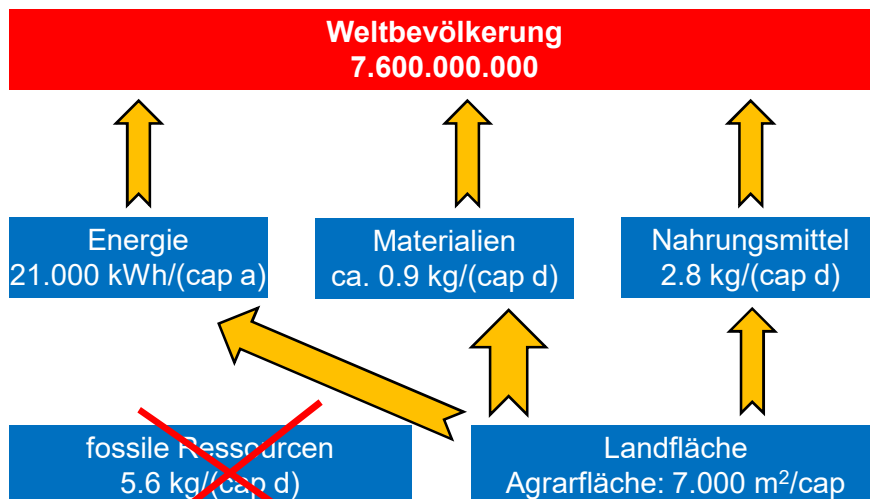
einige Haupt-Triebkräfte



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

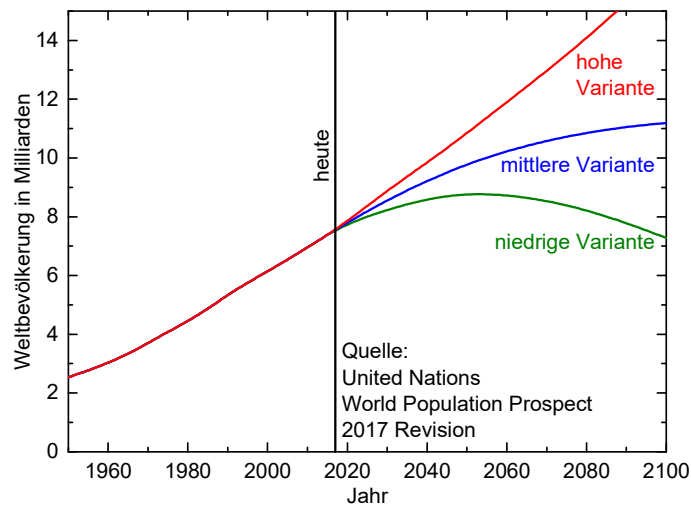
negativer Einfluss von zu detaillierten Modellen:

K. Sundmacher, A. Kienle: Reactive Distillation Status and Future Directions. Wiley-VCH, Weinheim, 2003

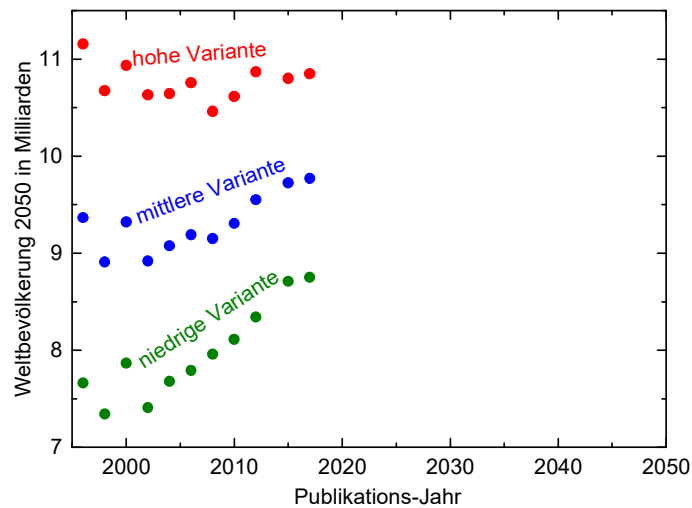
das System, Skalierungs-Faktor 10 000 000



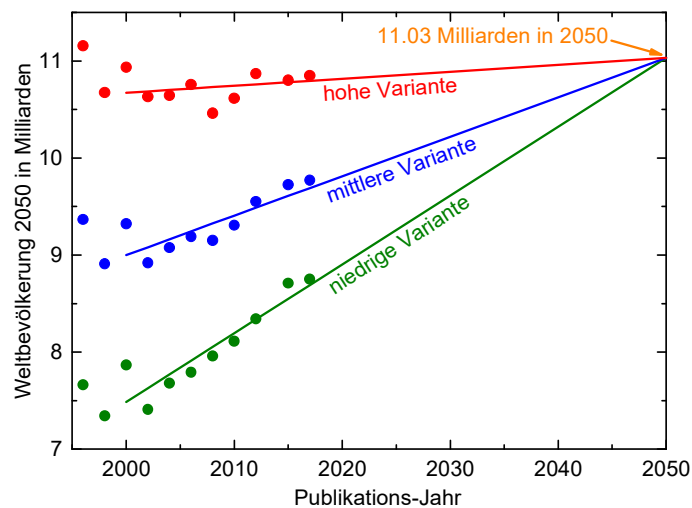
UN-Szenarien zur Weltbevölkerung



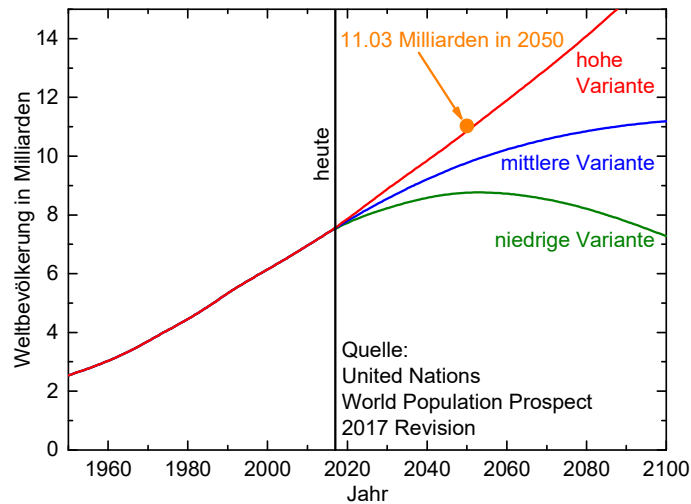
Entwicklung der UN-Vorhersage für 2050



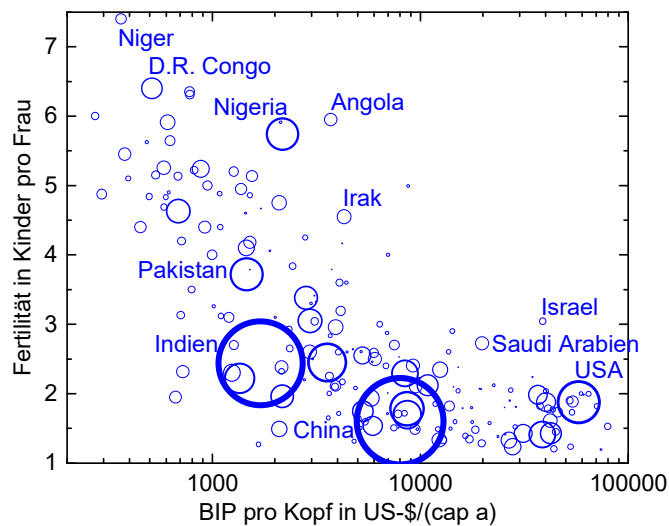
Entwicklung der UN-Vorhersage für 2050



UN-Szenarien zur Weltbevölkerung



starker Einfluss von BIP auf Kinderzahl



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

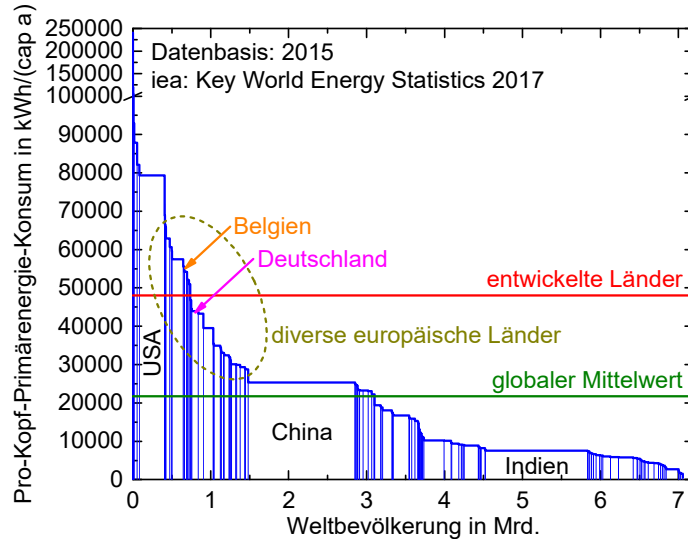
hohe Bevölkerungs-Variante der UN
gleich **realistisch** wie mittlere Variante

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

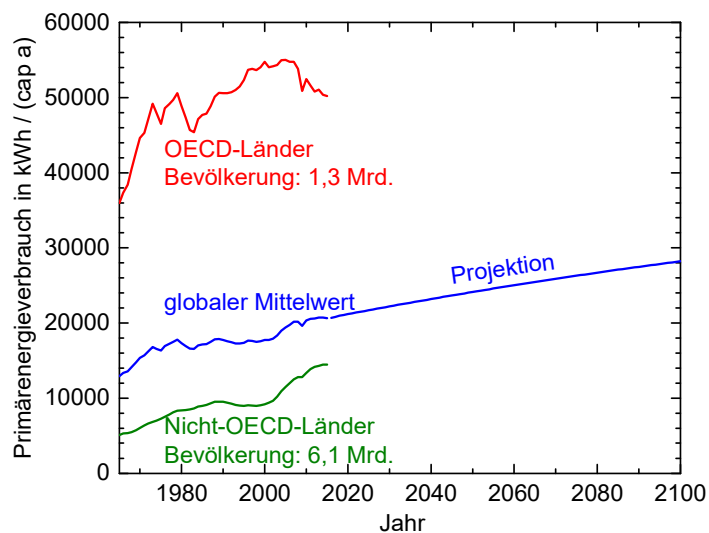
⇒ **starker Einfluss auf Ressourcen-Verbrauch und Abfall-Produktion**

⇒ **starker Einfluss auf Welt-Hunger**

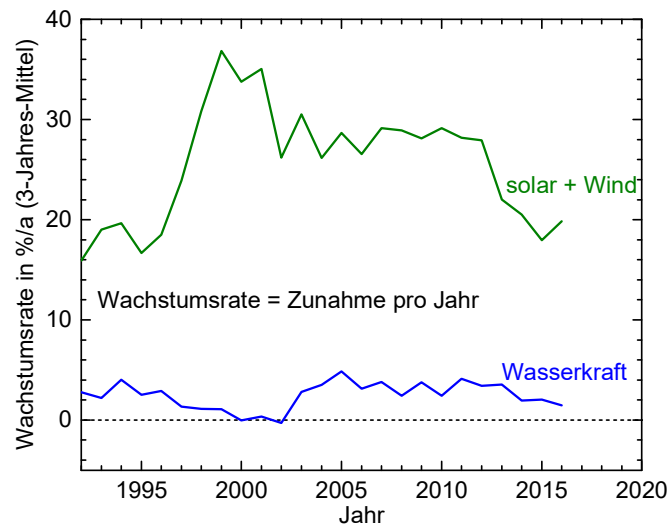
jährlicher Verbrauch Primärenergie



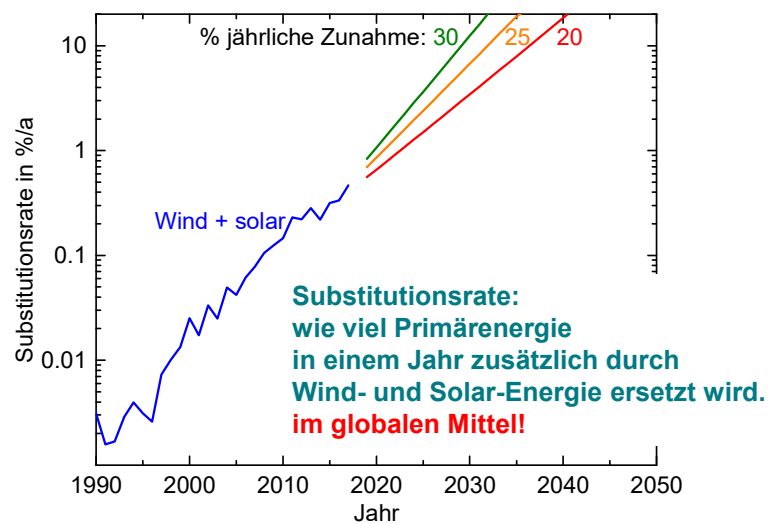
Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs



jährliche globale Wachstumsraten



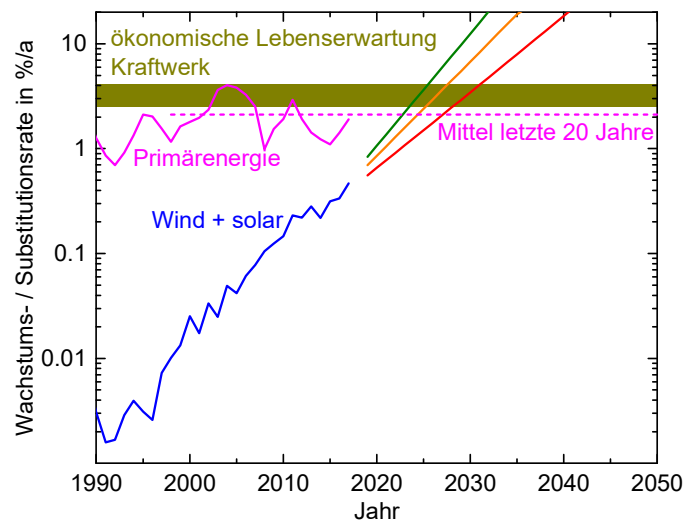
Zukünftiges Wachstum Wind & solar



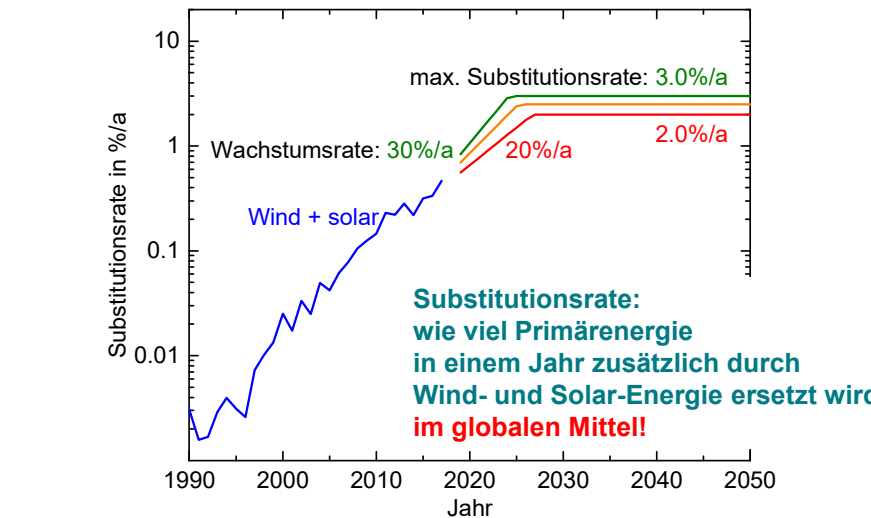
ökonomische Lebenserwartung

	Lebens- erwartung	Substitutionsrate
	a	% / 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



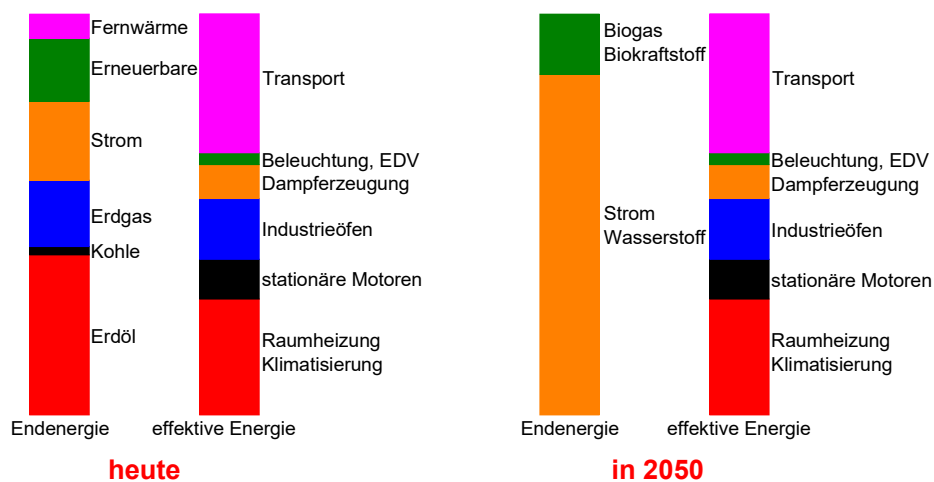
PEPs
CHEMICAL
ENGINEERING

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

27



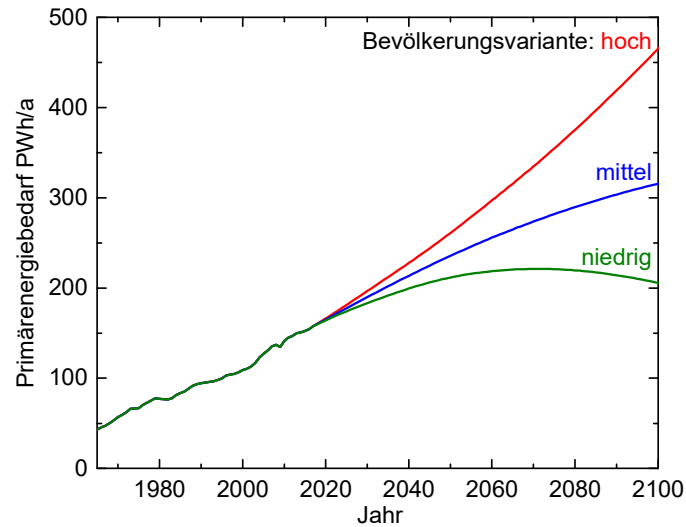
Konsequenzen der Energiewende



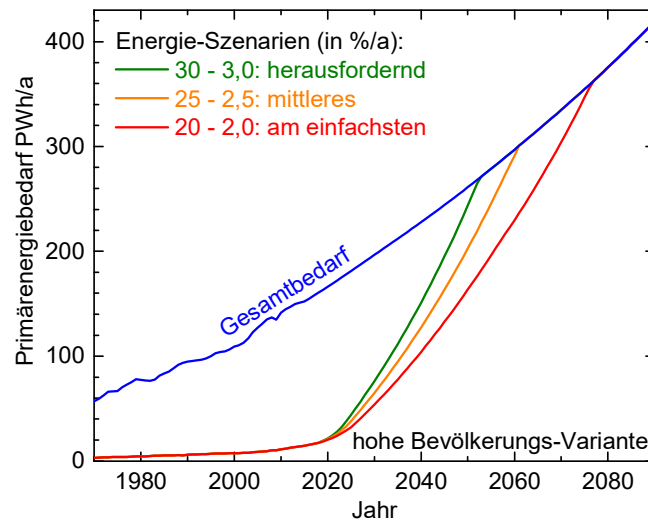
28



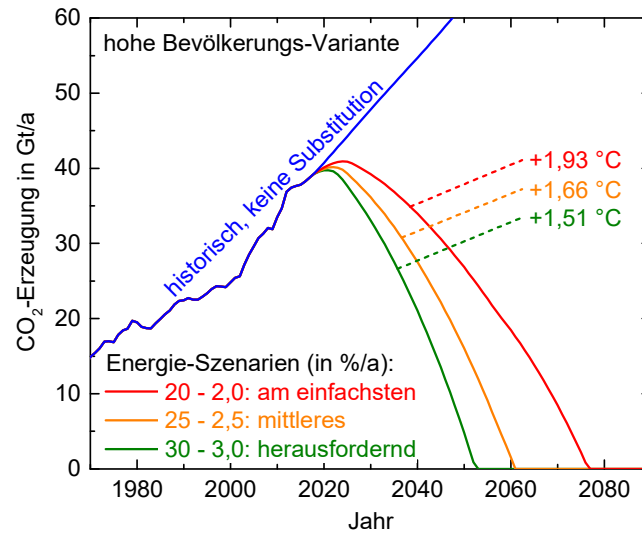
Entwicklung des Primärenergiebedarfs



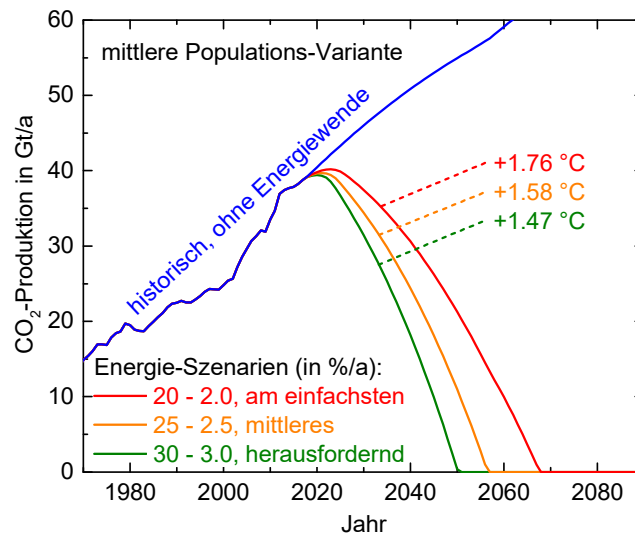
drei Energieszenarien



CO₂ nach den drei Energie-Szenarien



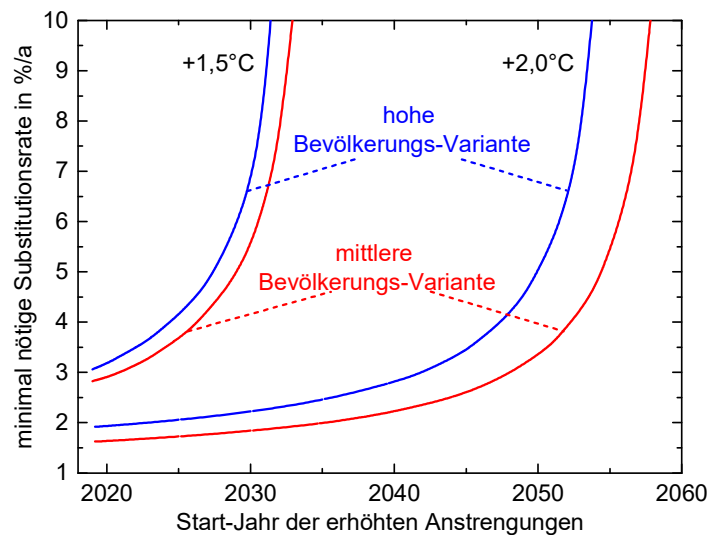
CO₂ nach 3 betrachteten Szenarien



Vergleich der Energie-Szenarien

Energie-Szenario:	Raten % / a	UN WPP Bevölkerungs-Variante			
		mittlere		hohe	
		Temp. °C	Ende	Temp. °C	Ende
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

Konsequenzen verzögerter Anstrengungen



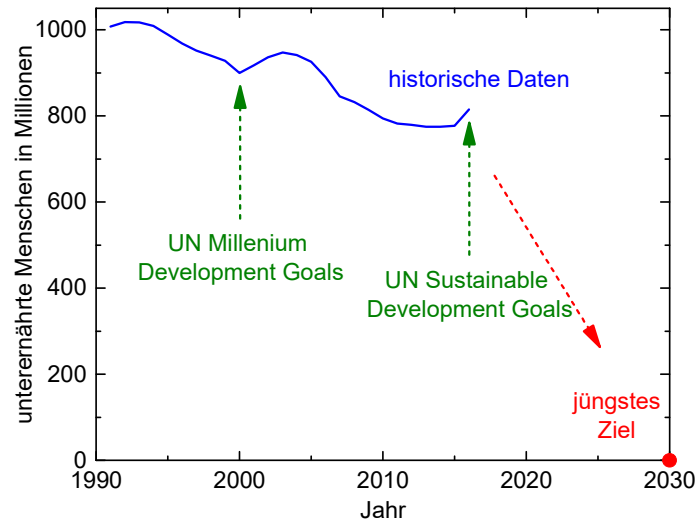
Fazit Energiewende

- 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

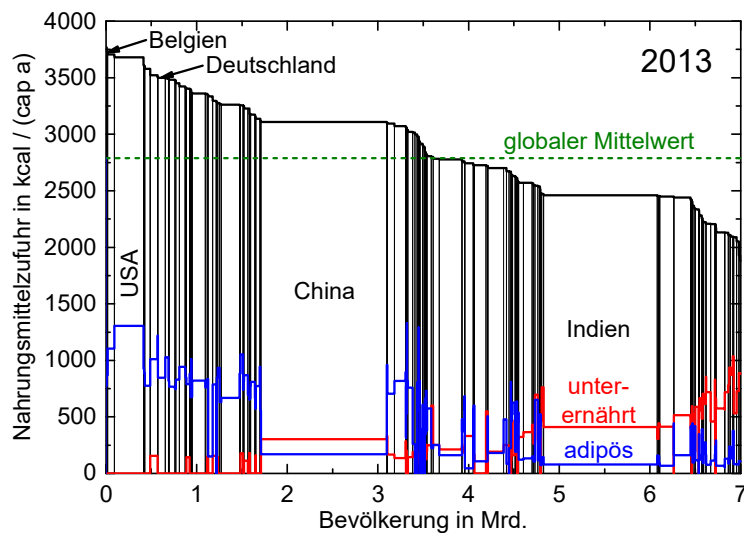
Fazit Energiewende

- 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
für 1.5°C: 30%/a - 3%/a

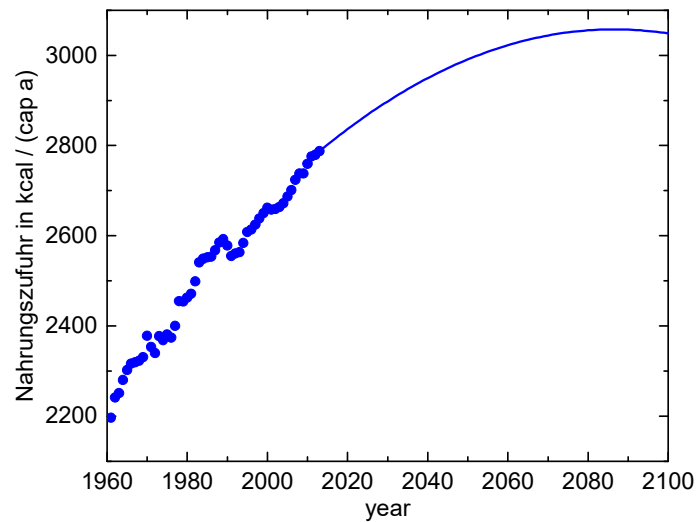
Welt-Hunger



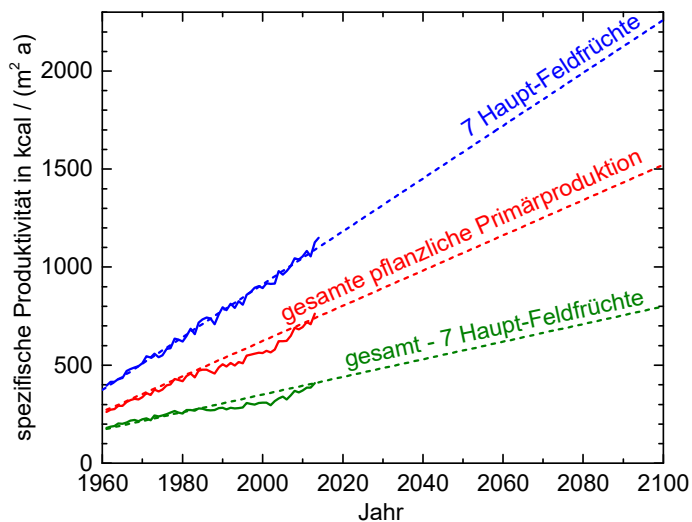
food supply by country



kalorische Nahrungszufuhr



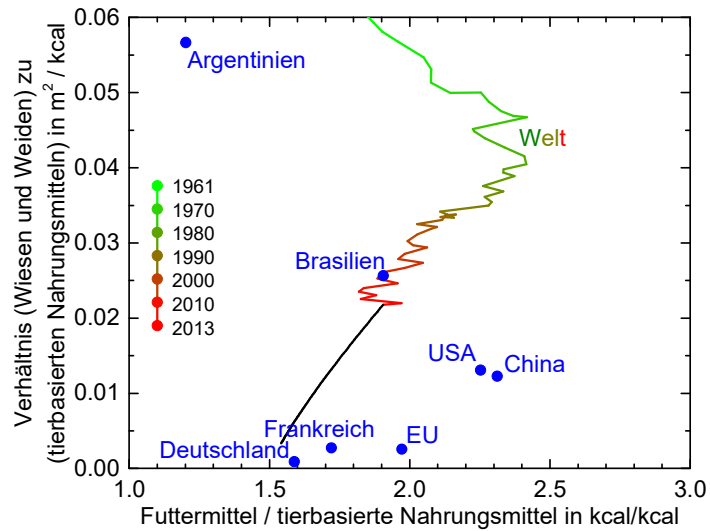
landflächenspezifische Produktivität



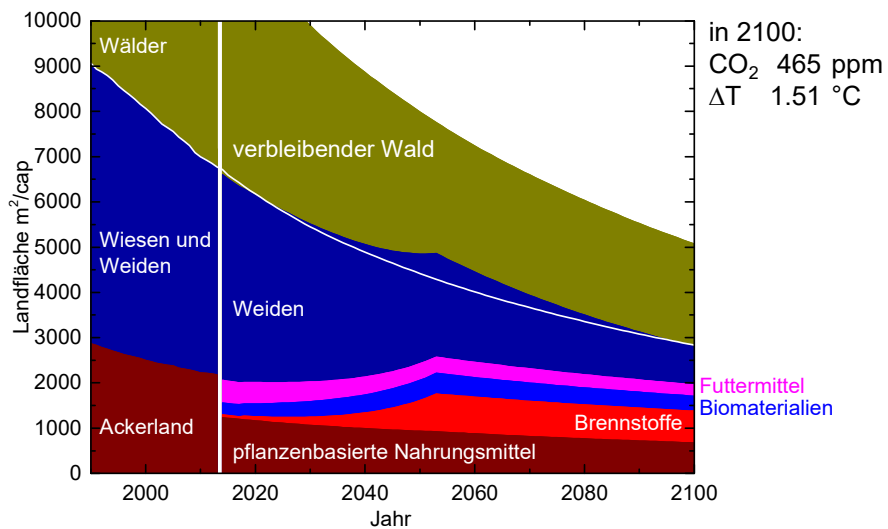
7 Haupt-Feldfrüchte:

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

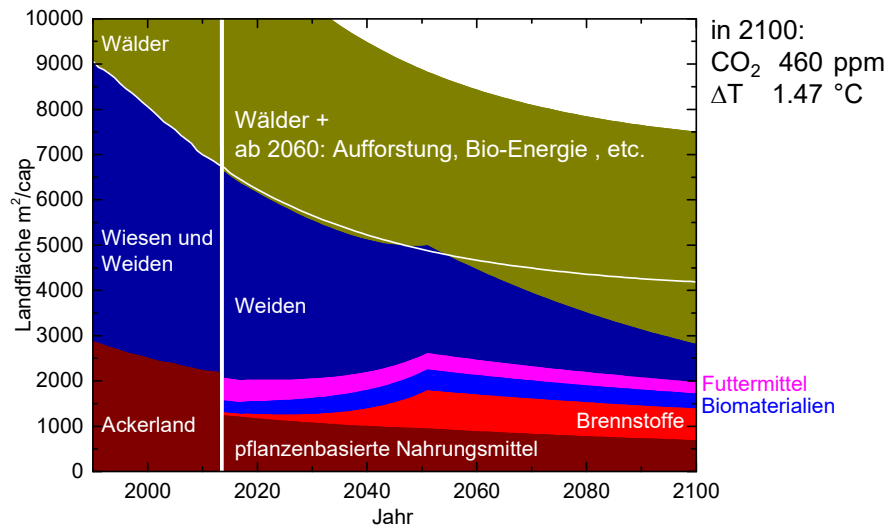
Intensität tier-basierter Nahrungserzeugung



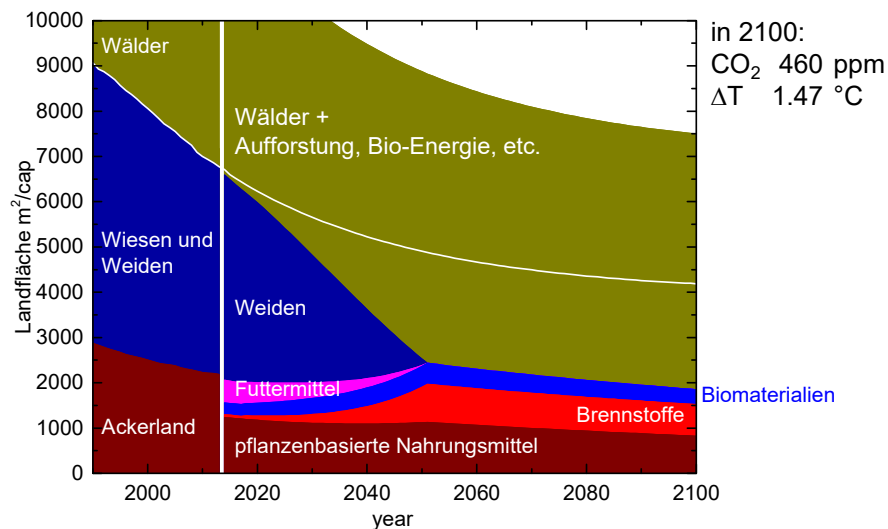
Landfläche: $\approx 1.5^\circ C$, hohe Pop.-Variante



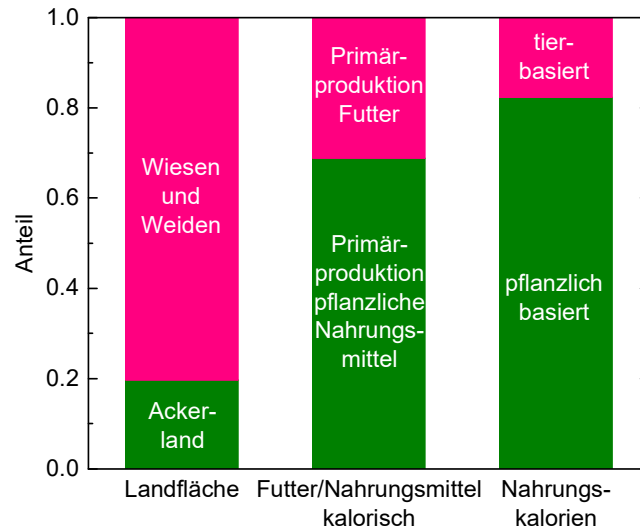
Landfläche: $\approx 1.5^\circ\text{C}$, mittlere Pop.-Variante



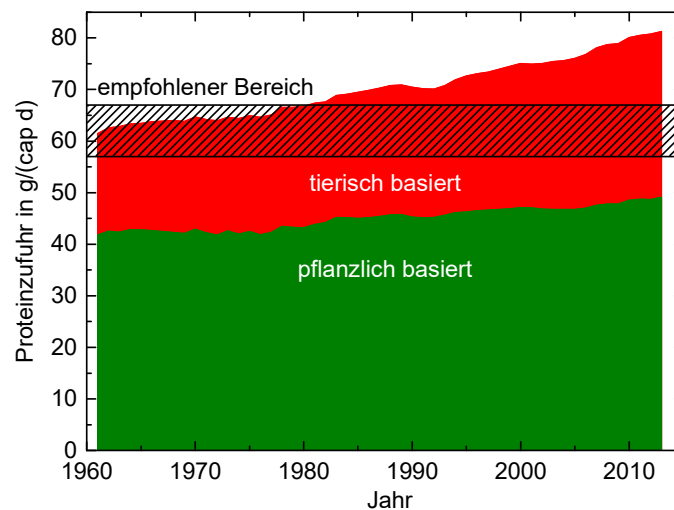
Landfläche: $\approx 1.5^\circ\text{C}$, mittlere Pop., vegan



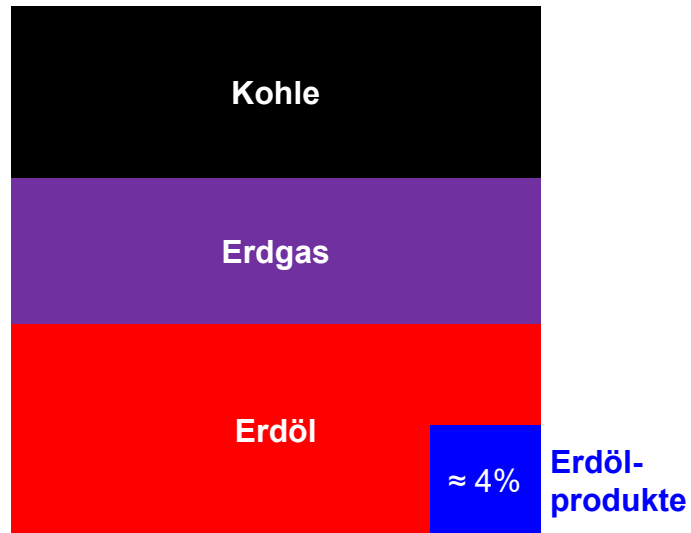
inefficiency of animal-based food supply



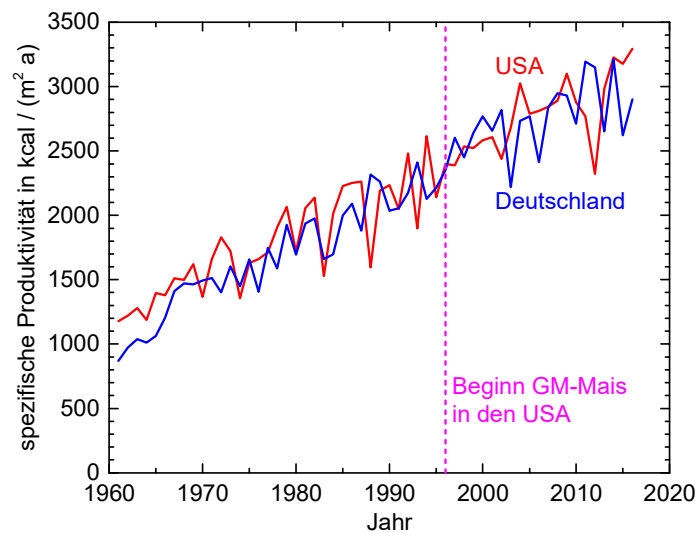
Proteinversorgung im globalen Mittel



Erdölprodukte $\approx 4\%$ der fossilen Ressourcen



Produktivität GM- vs. Nicht-GM-Pflanzen



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 abgeholzt

⇒ Verhaltensänderung zwingend

⇒ Unterstützung weniger entwickelter Länder auf Augenhöhe

⇒ Wettbewerb Ernährung ↔ Bio-Ökonomie unausweichlich

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 abgeholzt

⇒ Verhaltensänderung zwingend

⇒ Unterstützung weniger entwickelter Länder auf Augenhöhe

⇒ Wettbewerb Ernährung ↔ Bio-Ökonomie unausweichlich

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)

IPCC SR15

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

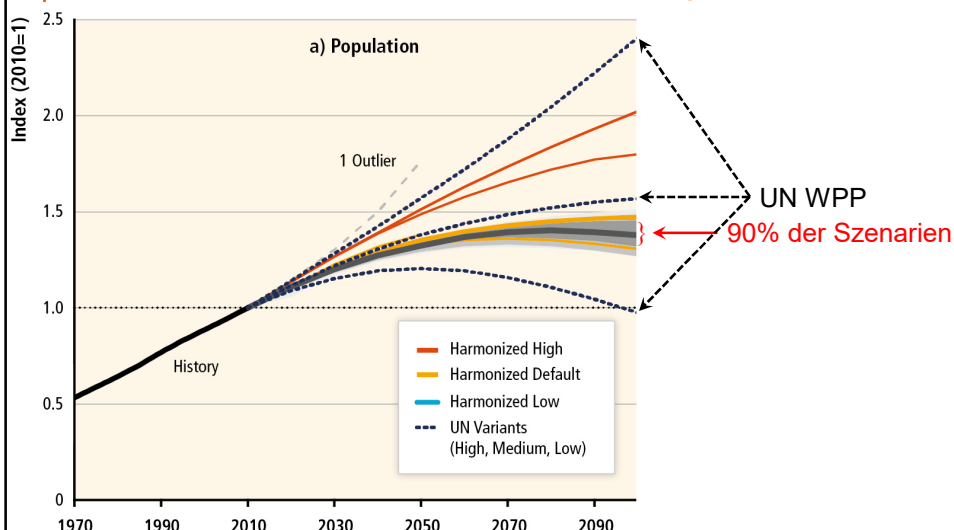
- Folgen für Klima und Wohlbefinden:
mit 1,5°C viel größer als heute bei rund 1,0°C
viel größer bei 2,0°C als bei 1,5°C
- Dekarbonisierung muss erreicht werden
bis 2050 für 1,5°C ⇒ schneller und drastischer Wandel
bis 2075 für 2,0°C
- 1,5°C nur mit CDR (Kohlendioxidabscheidung) möglich
- derzeitige Ambitionen 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.

IPCC AR5 Climate Change 2014, Mitigation

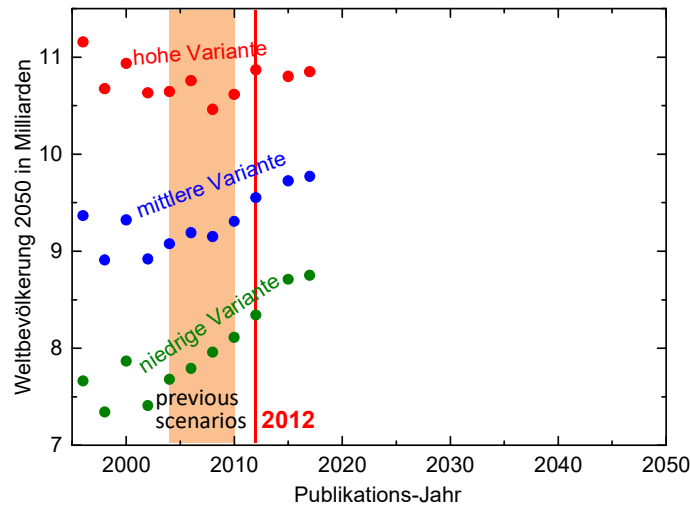
On the one hand, the scenarios assessed in this chapter **do not represent a random sample that can be used for formal uncertainty analysis**. ...

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.

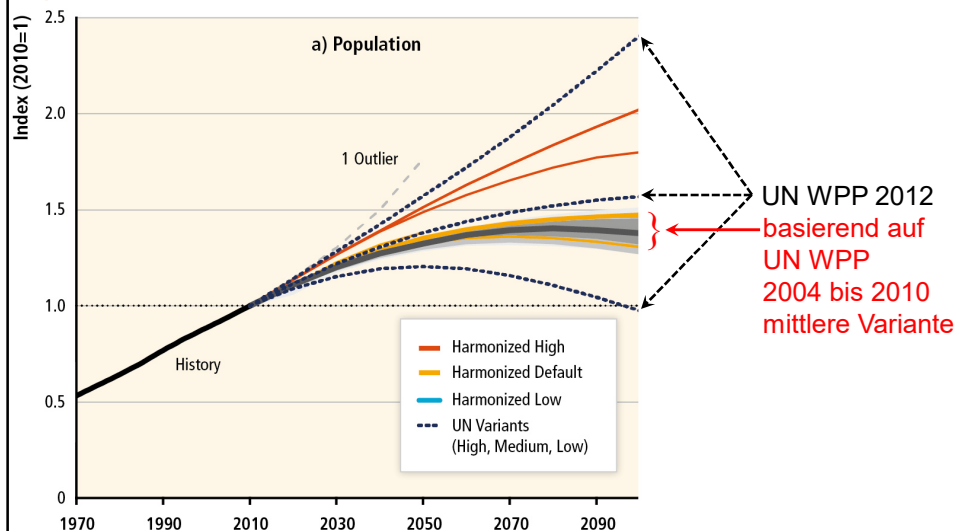
vom IPCC AR5 verwendete Projektionen



Entwicklung der UN-Vorhersage für 2050

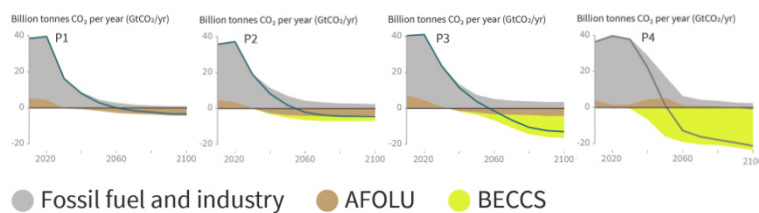


vom IPCC AR5 verwendete Projektionen

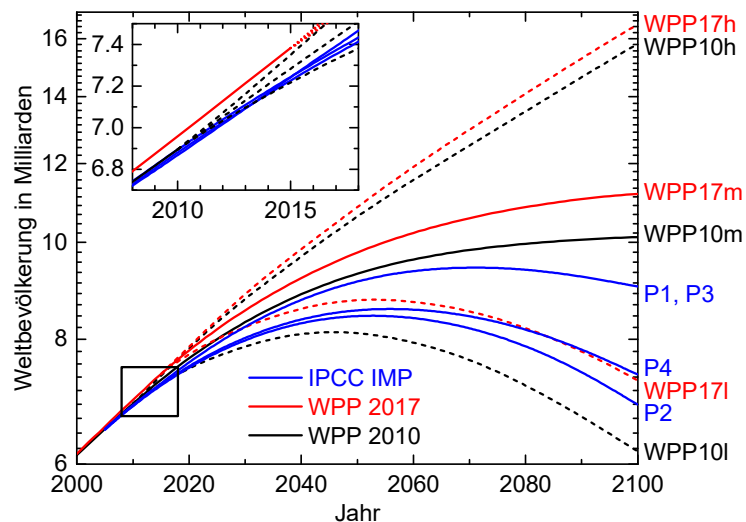


IPCC SR15 illustrative Modell-Pfade

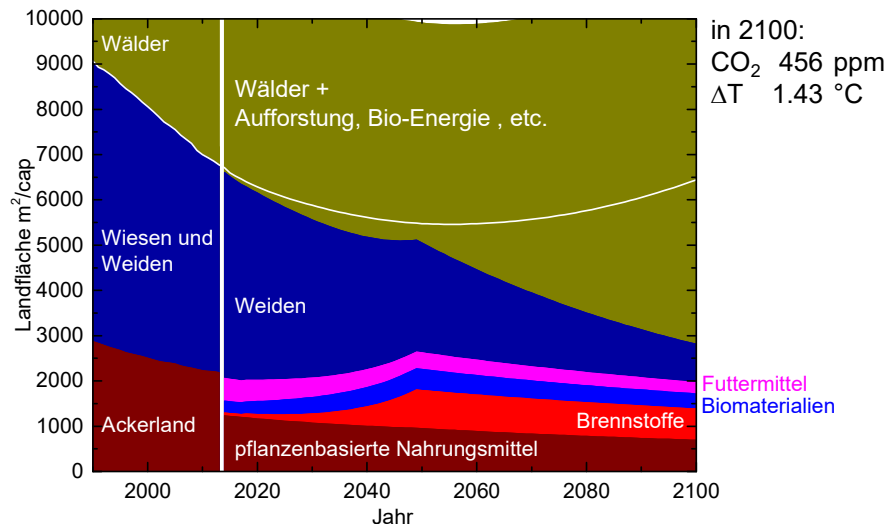
Szenario:	P1	P2	P3	P4
Bevölkerung:	niedrige - mittlere	unter niedrige	niedrige - mittlere	niedrige
Energie:	sehr niedrig	sehr niedrig	niedrig	machbar
BE/Ackerland '50:	1.2%	5%	15%	40%
Beschreibung:	A down-sized energy system enables rapid decarbonisation of energy supply.	a broad focus on sustainability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



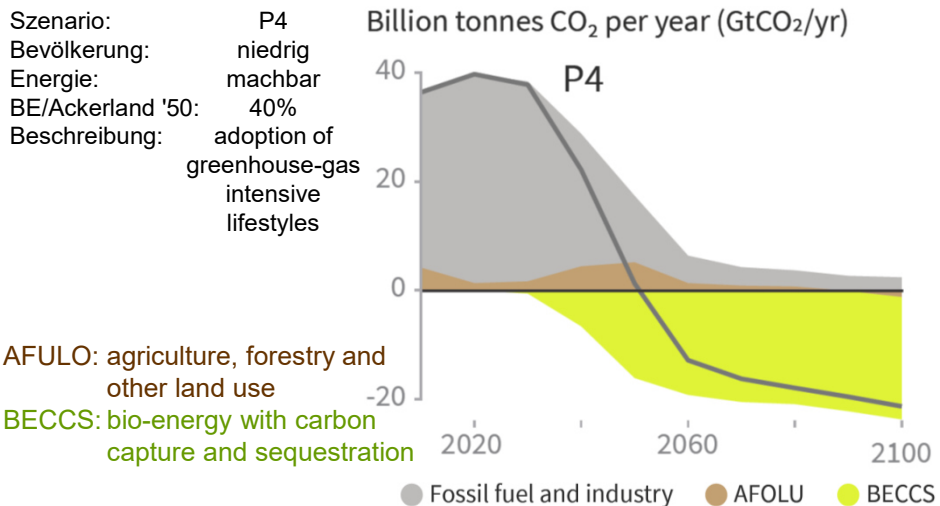
IPCC SR15 illustrative Modell-Pfade ↔ WPP



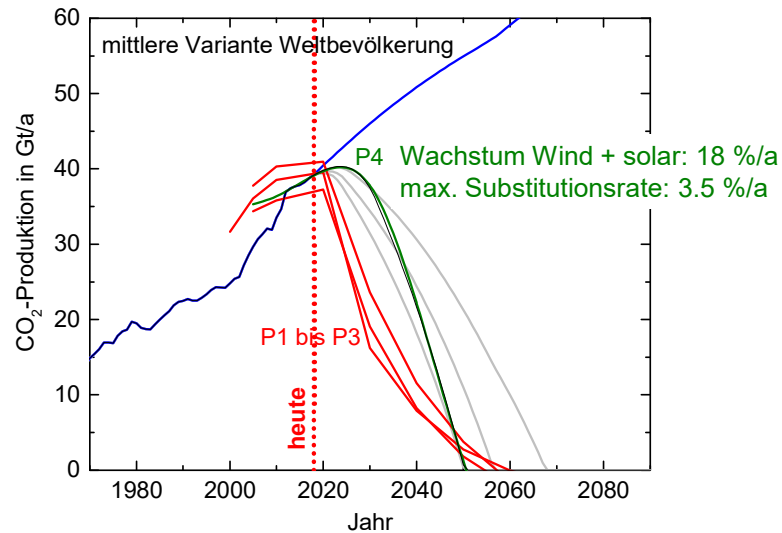
Landfläche: $\approx 1.5^\circ\text{C}$, niedrige Pop.-Variante



IPCC SR15 vom 6. Oktober 2018



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>

61

LIÈGE
université

Schlussfolgerungen aus IPCC AR5 & SR15

Weltbevölkerung:

- IPCC-Perspektiven sind unrealistisch

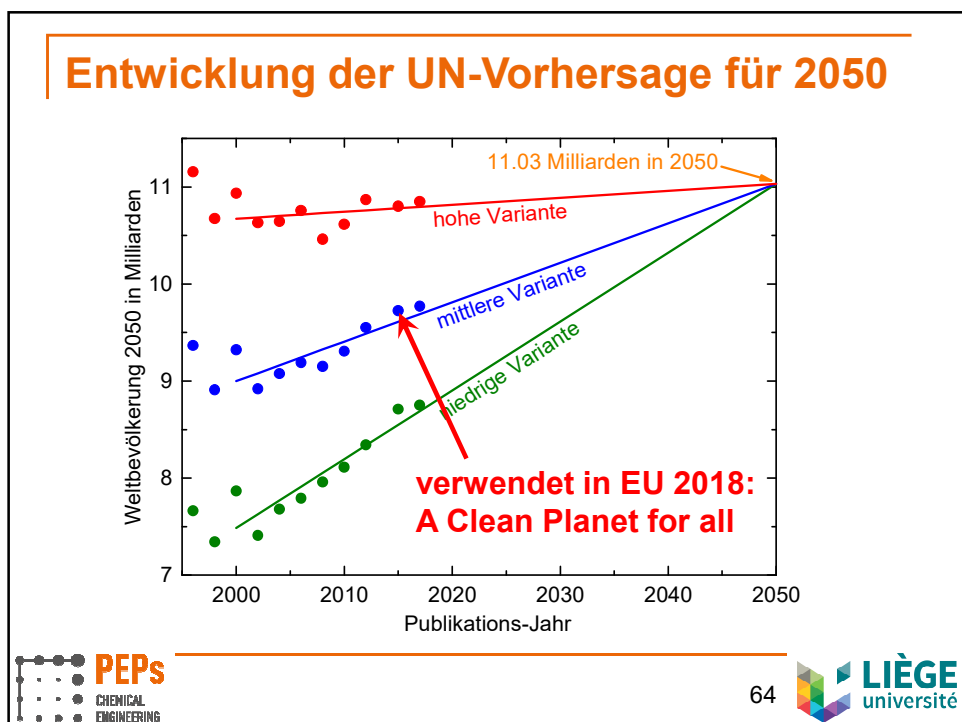
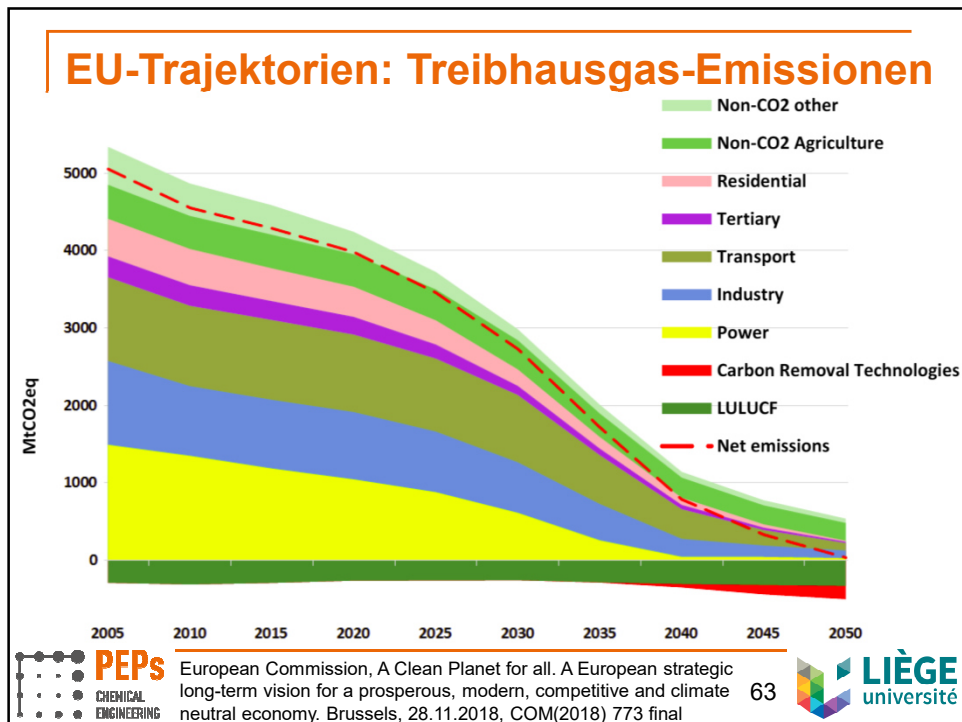
illustrative Modell-Pfade für Energiewende:

- 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

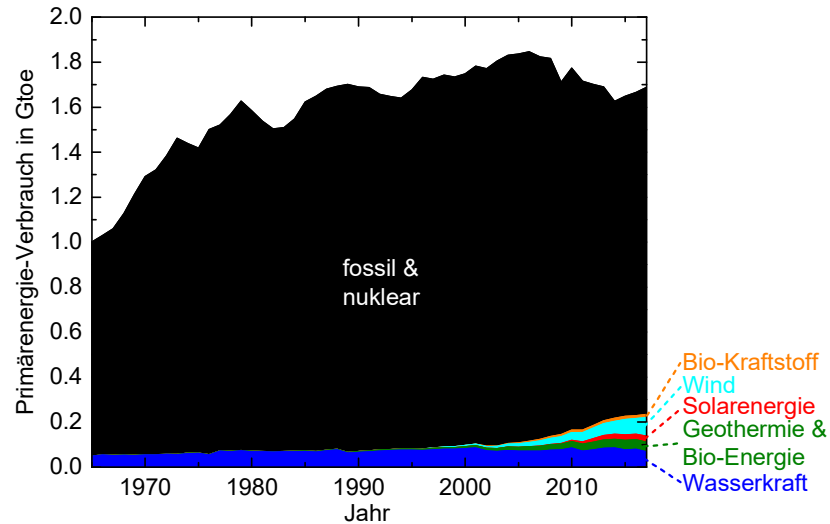
PEPs
CHEMICAL
ENGINEERING

62

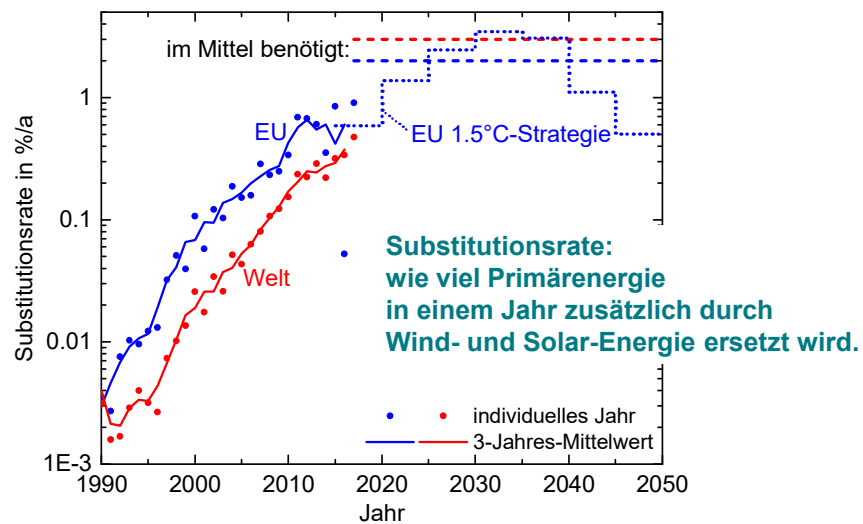
LIÈGE
université



EU Primärenergie-Verbrauch



Substitutionsrate Solar- & Windenergie



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:

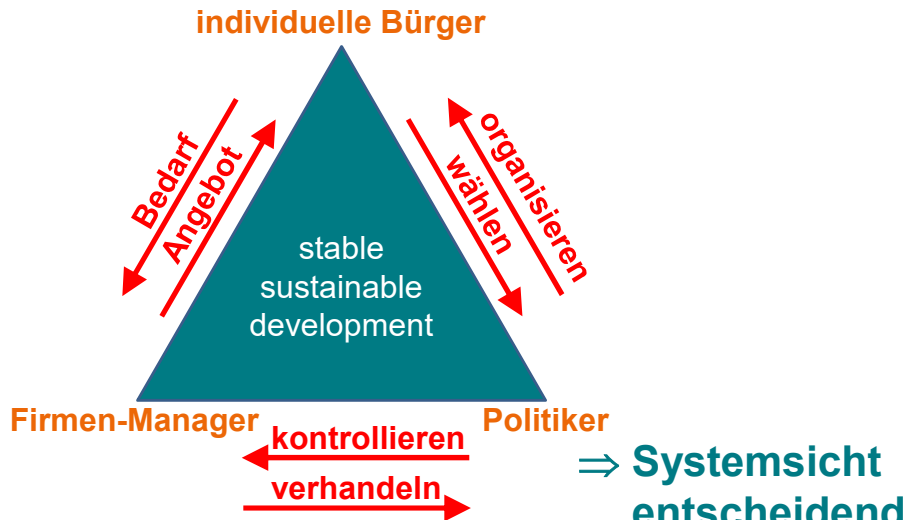
- **Substitutionsrate >5%/a unrealistisch**

- **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!**

individuelle Akteure



Fazit

- Klimaziele mit vorhandener Technologie erreichbar, **aber** muss systematisch in größerem Maßstab umgesetzt werden
- deutlich **erhöhte globale Anstrengungen**, Wachstum **20 - 30%/a**
- Ersatz fossiler Ressourcen jährlich
 - für +1,5°C Ziel: **3%/a bis 2050**
 - für +2,0°C Ziel: **2%/a bis 2075**
- **Nahrungsversorgung** kritisch, **aber** die **Änderung der individuellen Entscheidungen** ist unerlässlich:
 - Anzahl der Kinder
 - pflanzliche vs. tierische Nahrung
- Bio-Masse der **dritten Generation** reicht nicht aus
- **Minimierung der Bioenergie**: Teller vs. Tank
- **Systemsicht** statt Fokussierung auf eigene Interessen
- **Entwicklungs-Kipppunkt** ist möglich
- **individuell verantwortlich**, nicht nur Frage von Politik & Technik
- es **muss jetzt passieren**, sonst wird die 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 ausgebar:**
 - maximaler Ausbau von Wind- und Sonnenenergie**
 - Unterstützung von Niedrigenergie-Technologie**
 - Infrastruktur zur Verringerung des Energiekonsums**
 - Entwicklungspartnerschaften mit weniger entwickelten Regionen**

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 CO₂-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.

Playlist auf YouTube

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

www.chemeng.uliege.be/successfulfuture



74



So gelingt unsere Zukunft

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

