

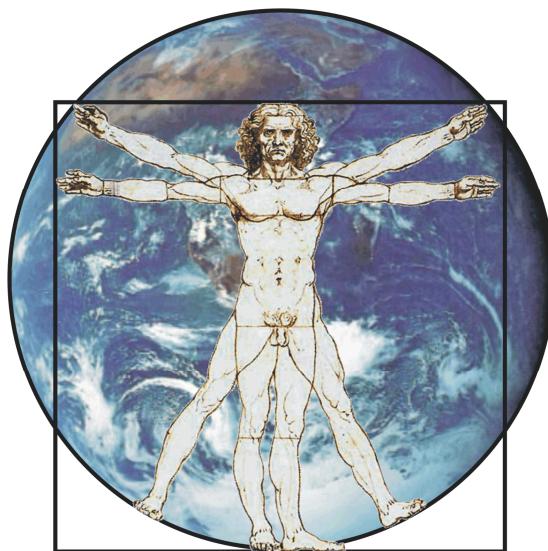
gehalten beim dem VT Kolloquium der
Technischen Universität Hamburg, TUHH
17.01.2019

Bio-Ökonomie: Chancen, Risiken und Perspektiven des gesamten Systems

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



Quadratur des Kreises



2



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



4



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:

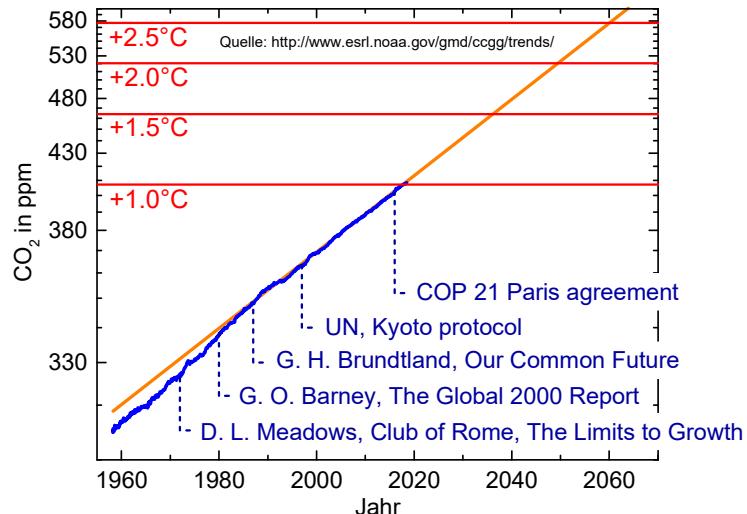
http://cdiac.ess-dive.lbl.gov/trends/emis/meth_reg.html



5



CO₂-Gehalt der Atmosphäre



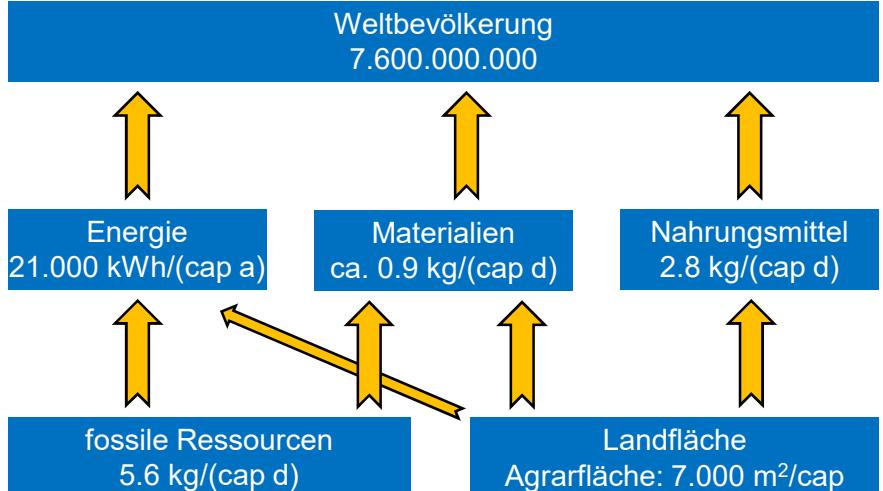
UN Climate Conference 21, 2015, Paris

Article 2.1:

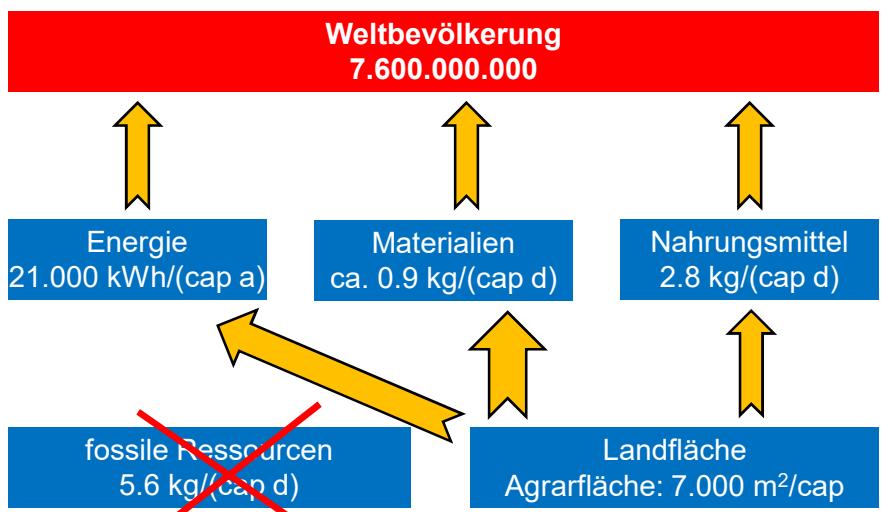
This Agreement ... aims to strengthen the global response to the threat of climate change ... by:

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



DIE Haupttriebkraft





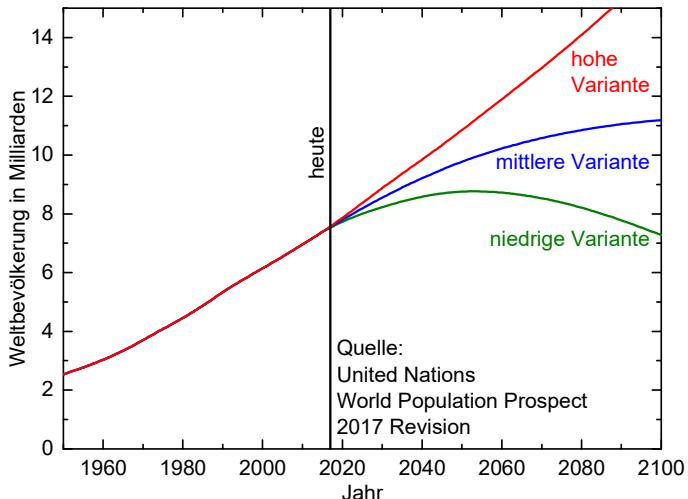
Ansatz zur Modellierung

- **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

UN-Szenarien zur Weltbevölkerung

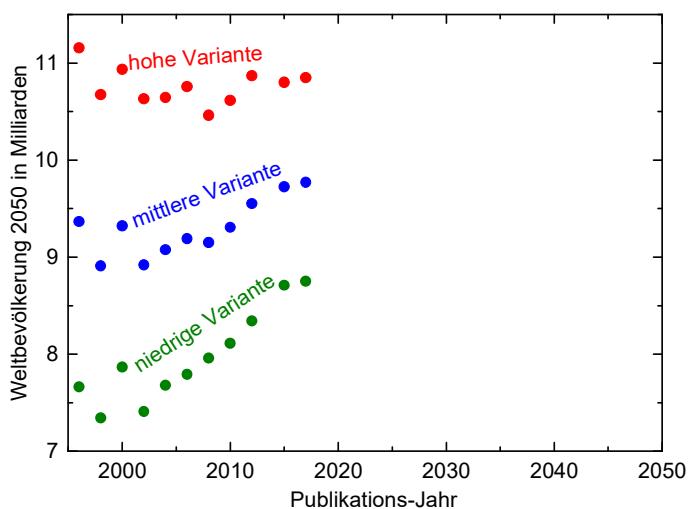


Quelle:
United Nations
World Population Prospect
2017 Revision

16



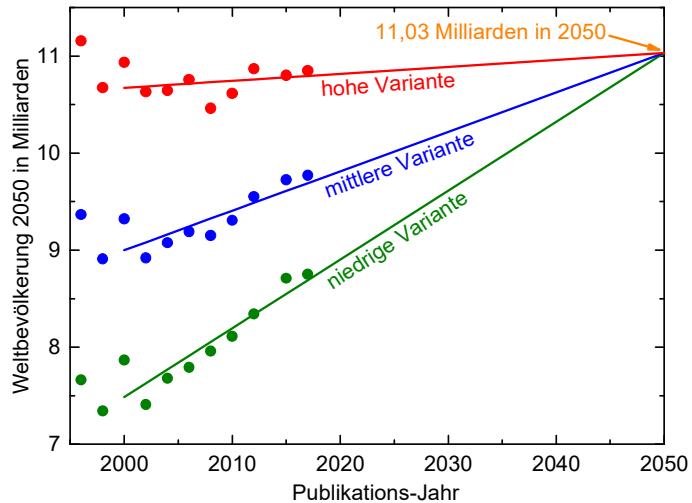
Entwicklung der UN-Vorhersage für 2050



17



Entwicklung der UN-Vorhersage für 2050

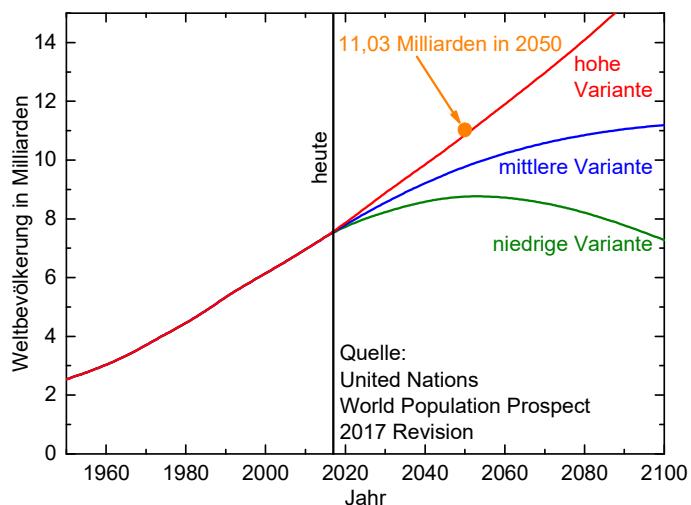


PEPs
CHEMICAL
ENGINEERING

18



UN-Szenarien zur Weltbevölkerung



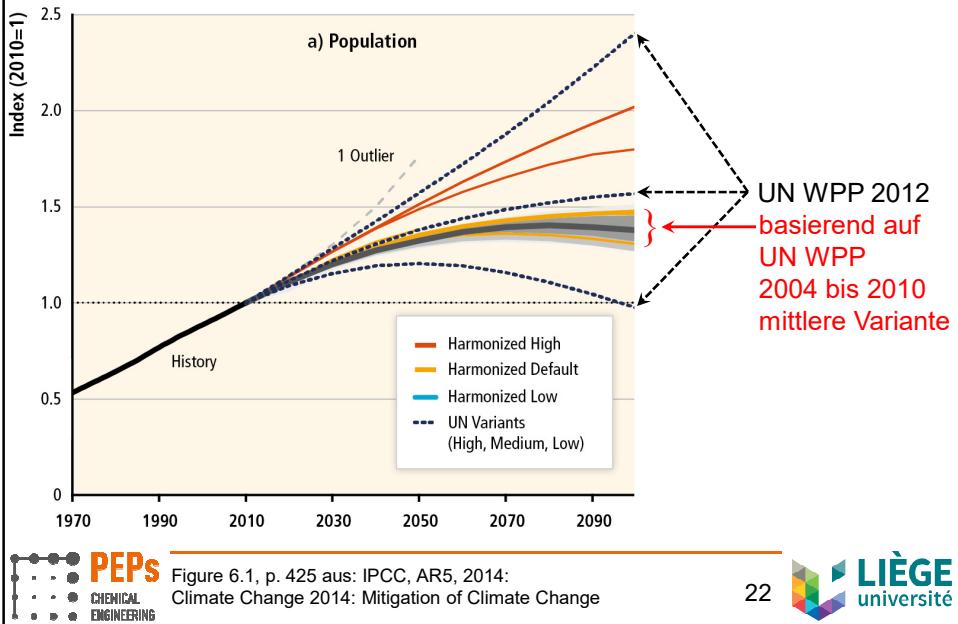
Quelle:
United Nations
World Population Prospect
2017 Revision

PEPs
CHEMICAL
ENGINEERING

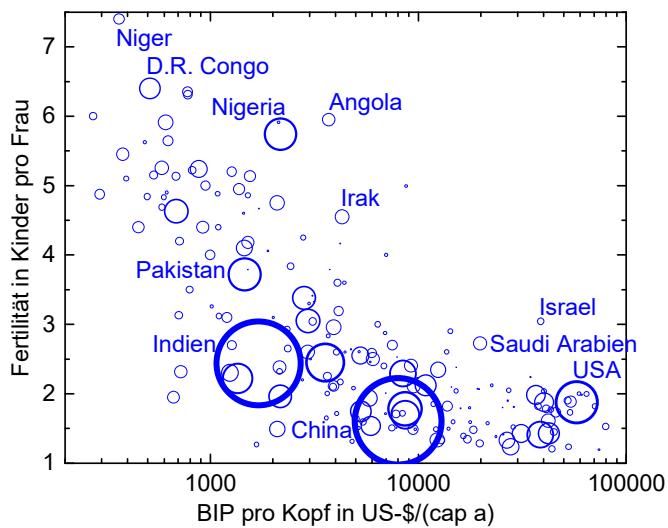
19



vom IPCC AR5 verwendete Projektionen



starker Einfluss von BIP auf Kinderzahl



PEPs

CHEMICAL
ENGINEERING

24

LIÈGE
université

Fazit Weltbevölkerung

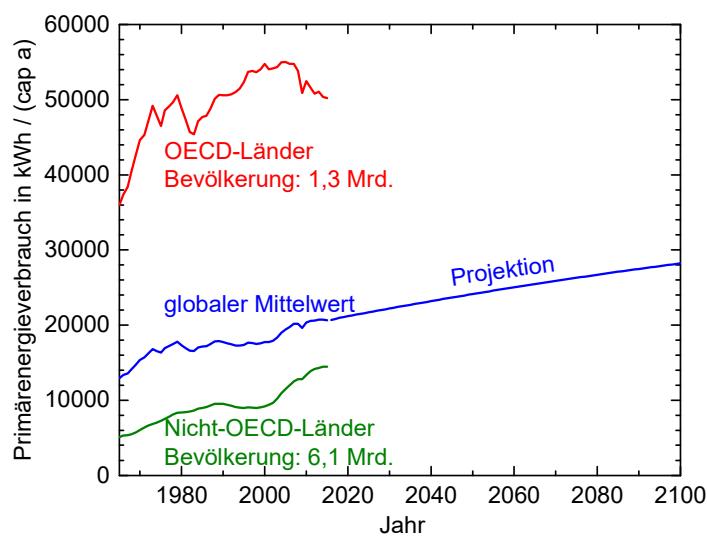
hohe Bevölkerungs-Variante der UN
gleich realistisch wie mittlere Variante

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

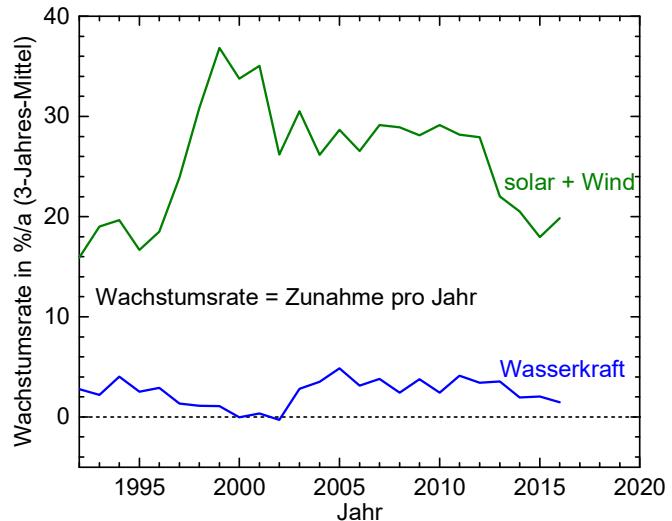
⇒ starker Einfluss auf Ressourcen-Verbrauch und
Abfall-Produktion

⇒ starker Einfluss auf Welt-Hunger

Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs



jährliche globale Wachstumsraten

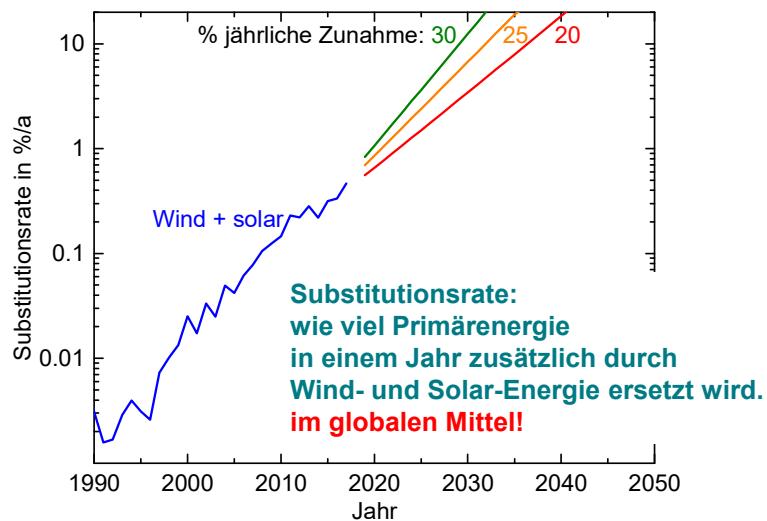


PEPs
CHEMICAL
ENGINEERING

29

Liège
université

Zukünftiges Wachstum Wind & solar

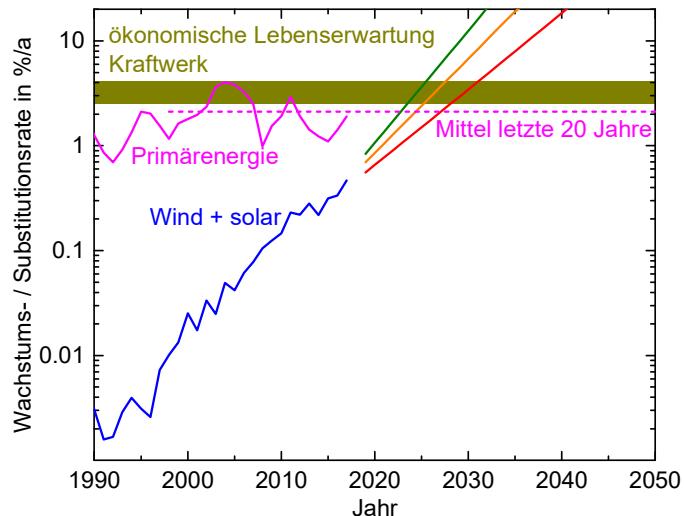


PEPs
CHEMICAL
ENGINEERING

30

Liège
université

maximale Substitutionsrate

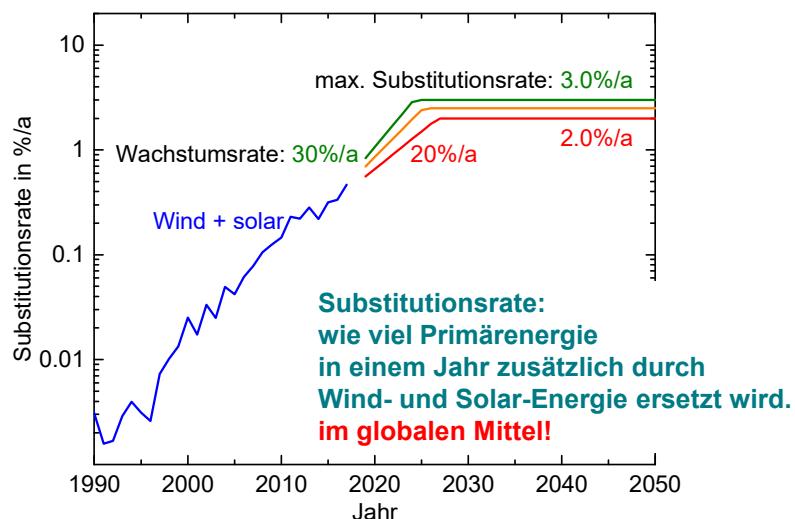


PEPs
CHEMICAL
ENGINEERING

32

Liège
université

drei betrachtete Szenarien



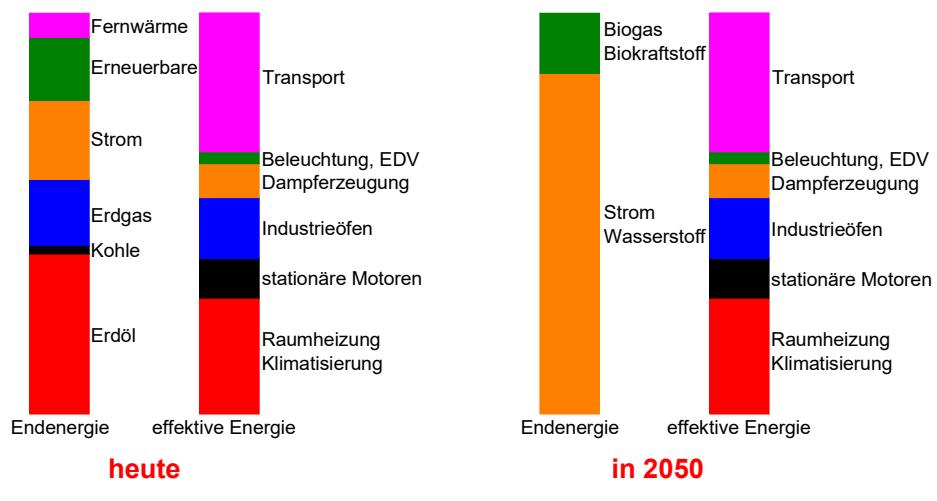
PEPs
CHEMICAL
ENGINEERING

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

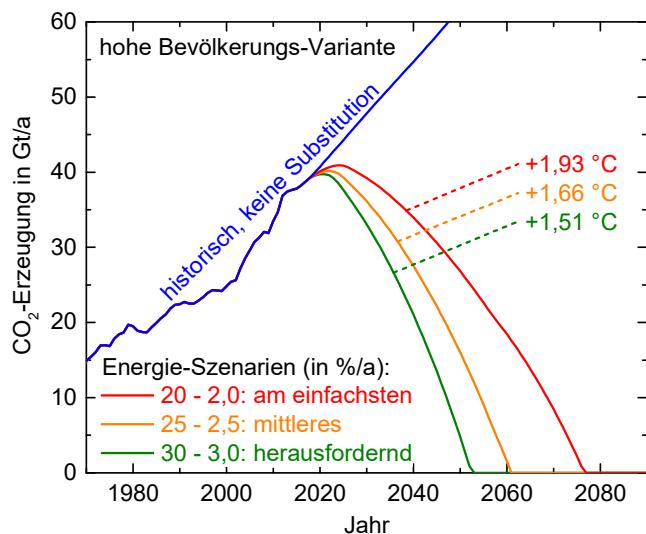
33

Liège
université

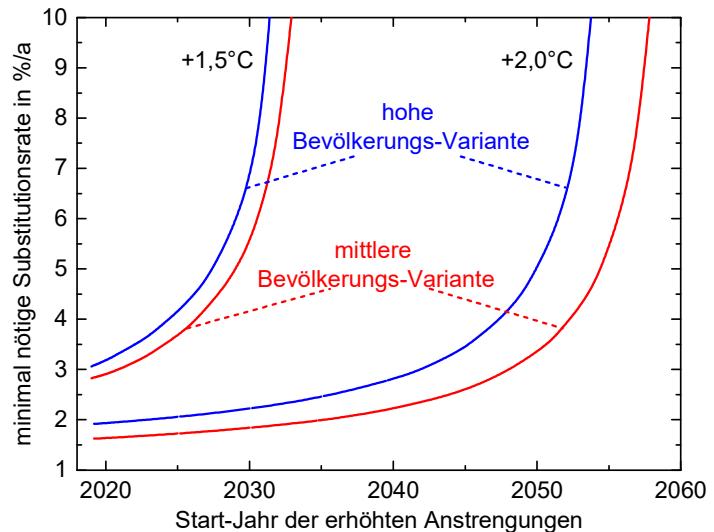
Konsequenzen der Energiewende



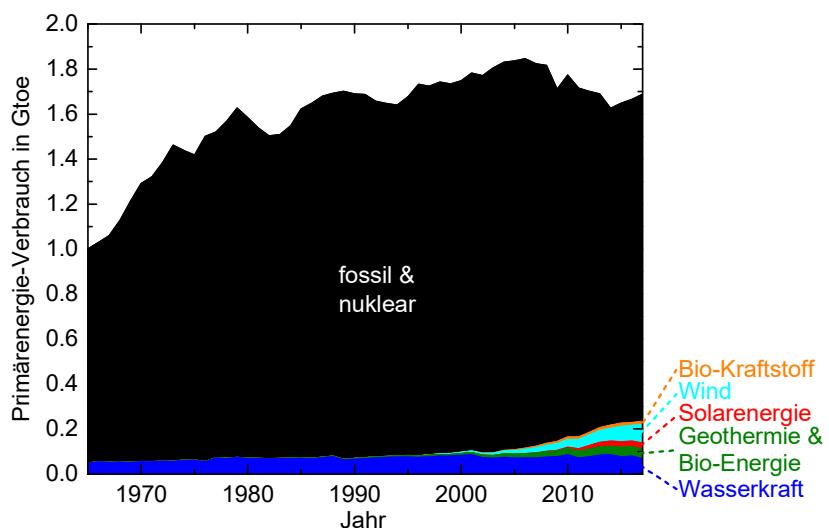
CO₂ nach den drei Energie-Szenarien



Konsequenzen verzögerter Anstrengungen



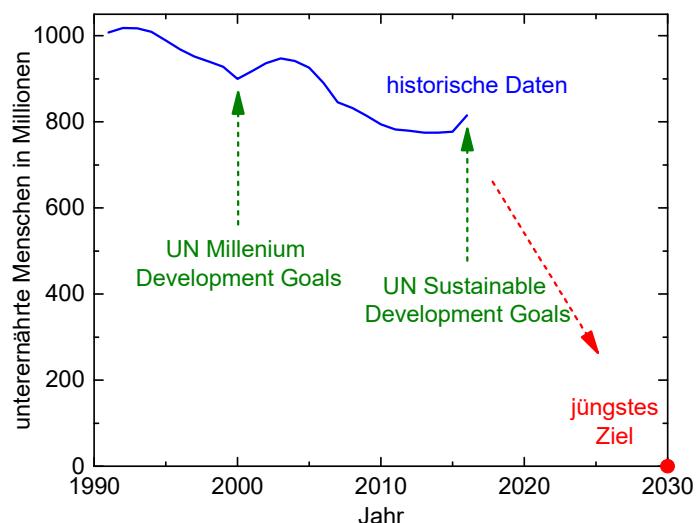
EU Primärenergie-Verbrauch



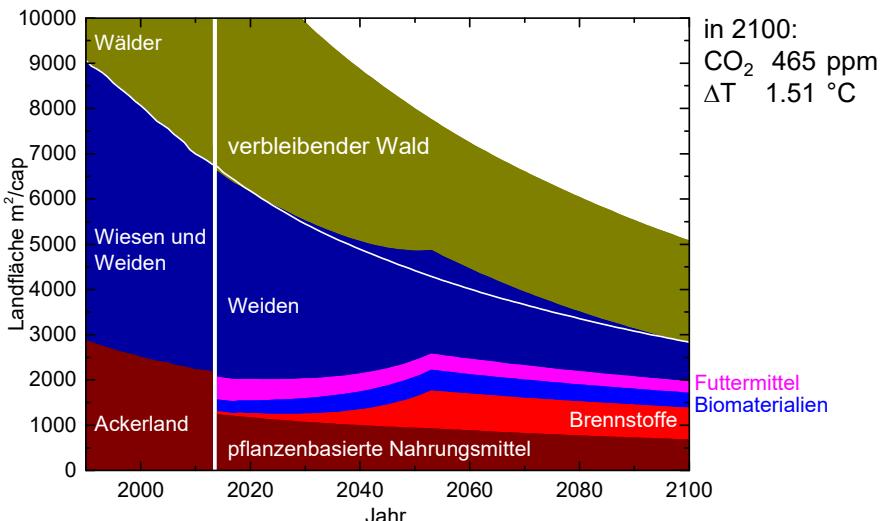
Fazit Energiewende

- 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

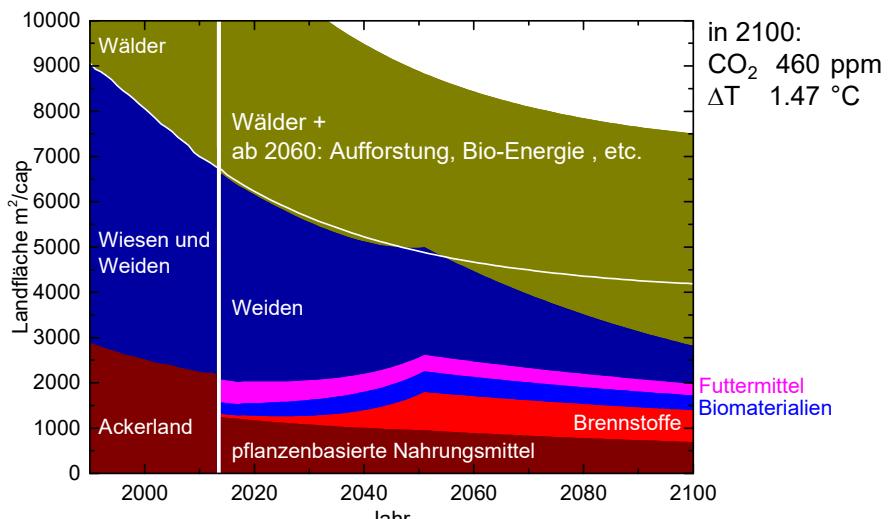
Welt-Hunger



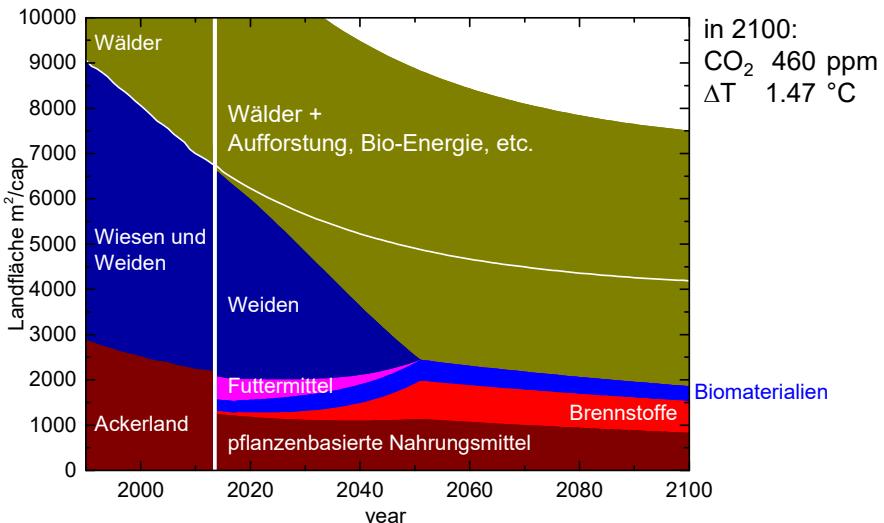
Landfläche: $\approx 1.5^{\circ}\text{C}$, hohe Pop.-Variante



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



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



Fazit Teller vs. Tank, Bio-Ökonomie

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

ohne Verhaltensänderung:

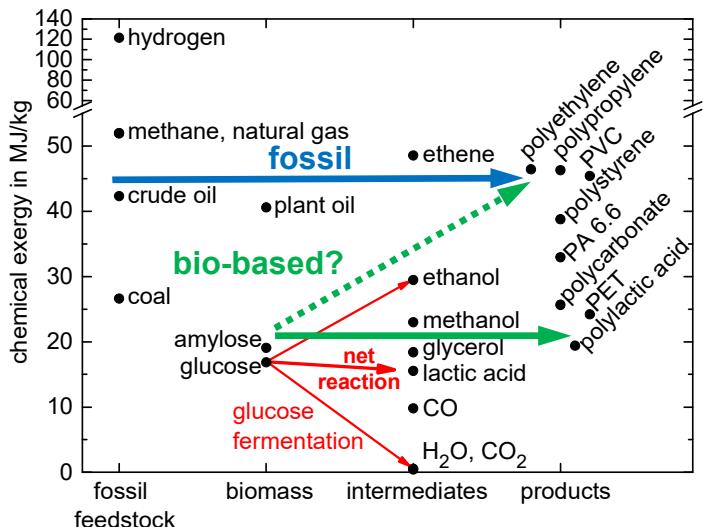
- Technologien zu maximalem Fortschritt gezwungen
- mehr Menschen unterernährt
- mehr Wald wird abgeholt

⇒ Verhaltensänderung zwingend

⇒ Unterstützung weniger entwickelter Länder auf Augenhöhe

⇒ Wettbewerb Ernährung ↔ Bio-Ökonomie unausweichlich

chemical exergy of various materials



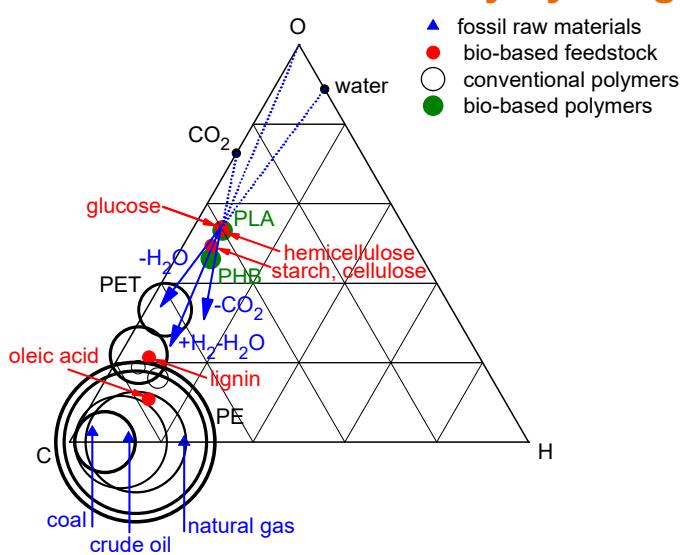
PEPs

after: Philipp Frenzel, Rafaela Hillerbrand, Andreas Pfennig:
Increase in energy and land use by a bio-based chemical industry.
Chemical Engineering Research and Design 92 (2014) 2006-2015

75



elements in chemical industry by weight



PEPs

source: Philipp Frenzel, Rafaela Hillerbrand, Andreas Pfennig:
Increase in energy and land use by a bio-based chemical industry.
Chemical Engineering Research and Design 92 (2014) 2006-2015

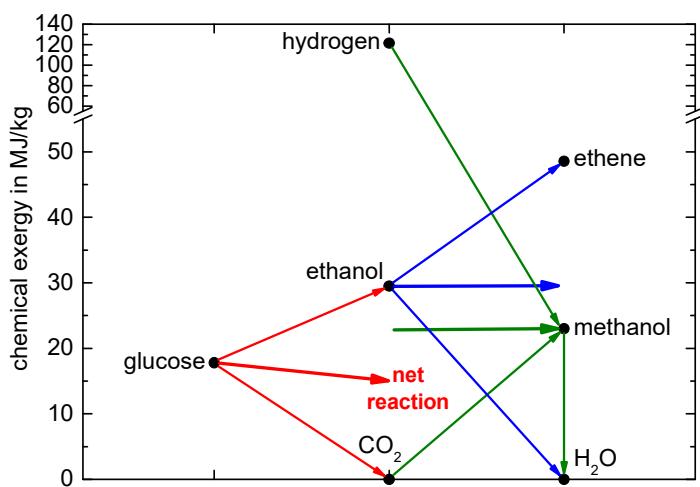
76



questions to be answered

- What are the boundary conditions for a bio-based or a CO₂-based economy?
- Which options are possible?

feasible reactions



demand

fossil feedstock today used for:

- 4% to petrochemicals
- 2.5% to jet fuel
- x% in total as combustible or materially in chemical and steel industry

in scenarios for 2050:

- **440 m²/cap for bio-materials**
plastics ≈ 80 kg/(cap a)
i.e. intensified recycling
feedstock all chemicals ≈ 125 kg/(cap a)
- **680 m²/cap for 10% bio-combustibles**



79



options for bio-based chemicals 2050

gen	feedstock	products	radius km	area in m ² /cap
first generation	sugar beet	sugar or ethanol + CO ₂	10.4	
		ethanol	14.6	
		ethylene	18.7	
	sugar cane	sugar or ethanol + CO ₂	7.5	
		ethanol	10.5	
	corn	sugar or ethanol + CO ₂	13.4	
		ethanol	18.7	
second	wheat	sugar or ethanol + CO ₂	17.5	
		ethanol	24.5	
	oil palm	plant oil	11.4	
	rape seed	plant oil	30.1	
	miscanthus/reeds	sugar or ethanol + CO ₂	5.7	
		ethanol	7.9	
third	wood	sugar or ethanol + CO ₂	14.8	
		ethanol	20.7	
	corn straw	sugar or ethanol + CO ₂	20.1	
		ethanol	28.2	
	wheat straw	sugar or ethanol + CO ₂	23.2	
		ethanol	32.5	

ranges:
maximum national and
world average productivity
projected for 2050

color:
■ technically realized
■ partly pilot-plant

radius for capacity of
250 000 t/a



arable land
2050

80



bio- vs. CO₂-economy

■ bio-economy:

- existing technology, comparable to food processes
- requires agricultural land area
- energy requirements comparably small
- drop-in possible
- protein to food
- large side and recycle streams

■ CO₂-economy:

- no agricultural land area required
- requires a lot of energy
- not yet installed on large scale (economically feasible?)
- drop-in possible
- after net-decarbonization mostly from air

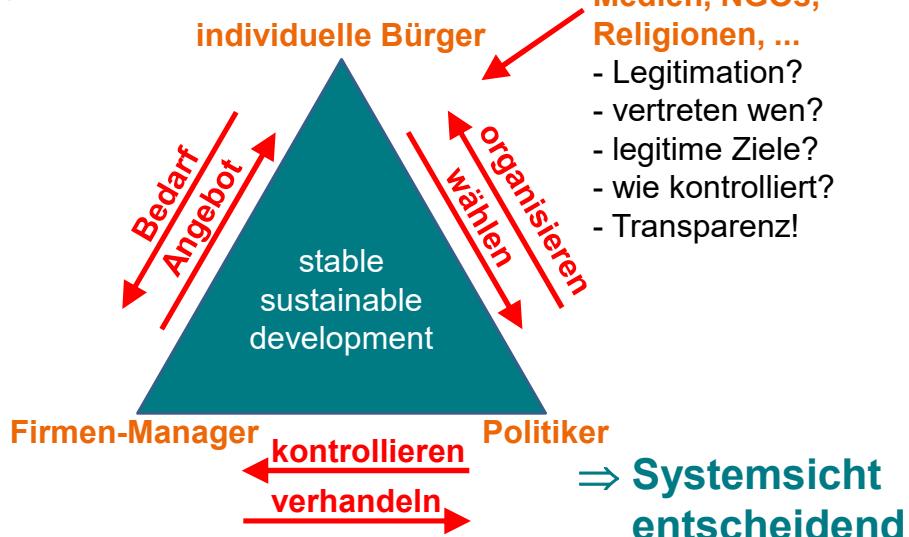
typical area/equipment demand

land area required	feedstock & technology
m ² / (t/a)	
1 to 3	bio-technological processes (alcohol from sugar)
0.2 to 0.5	direct biomass conversion (sugar from starch)
0.03 to 0.1	chemical process (e.g. steam cracker)

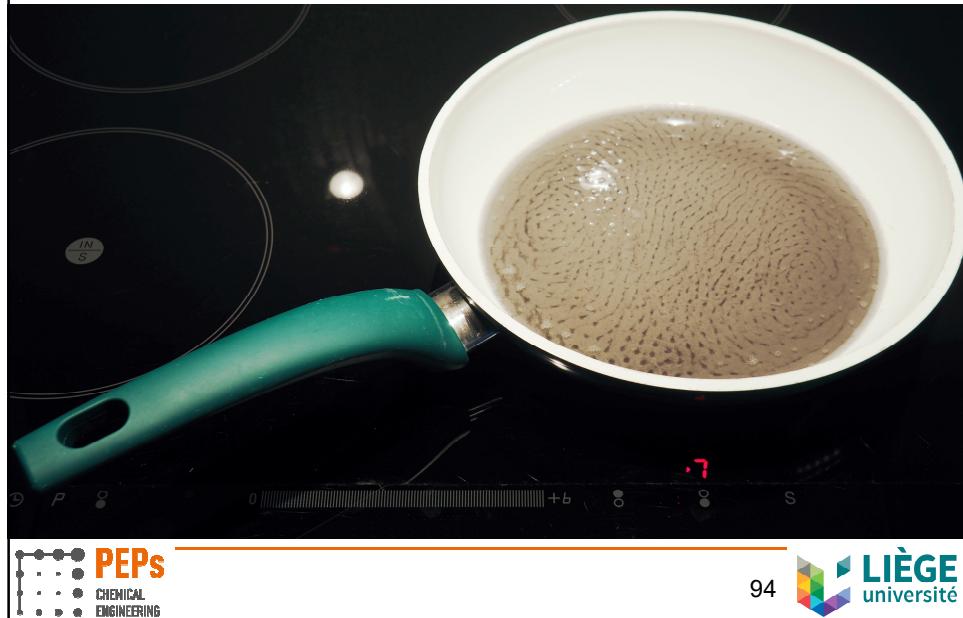
chances, challenges

- bio-based and CO₂-based chemistry:
various options
- bio-economy ≠ only bio-technology
- bio-economy ≠ automatically sustainability
- economics, ecologics, **ethics**
- **big chance**: real circular economy
- all happens in ±30 years (or it is too late)

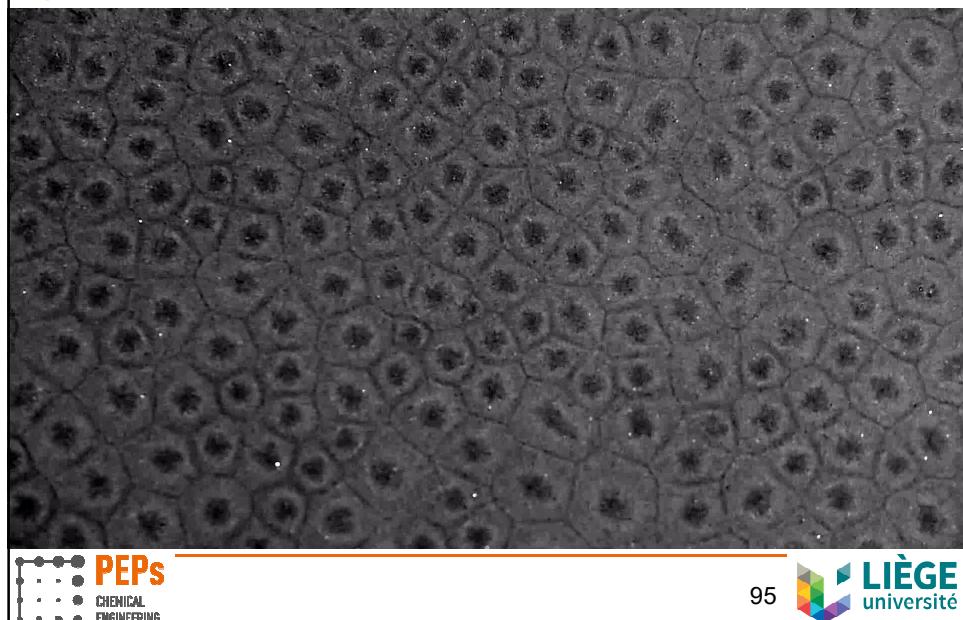
individuelle Akteure



Bénard convection setup



Bénard convection: dissipative structure



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 CO₂-Ökonomie können funktionieren
- Bio-Masse der **dritten Generation** reicht nicht aus
- **Minimierung der Bioenergie**: Teller vs. Tank
- CO₂-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



96



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.



98



Playlist auf YouTube

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

www.chemeng.uliege.be/successfulfuture

www.vision3000.eu (under construction)



99



Bio-Ökonomie: Chancen, Risiken und Perspektiven des gesamten Systems

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

