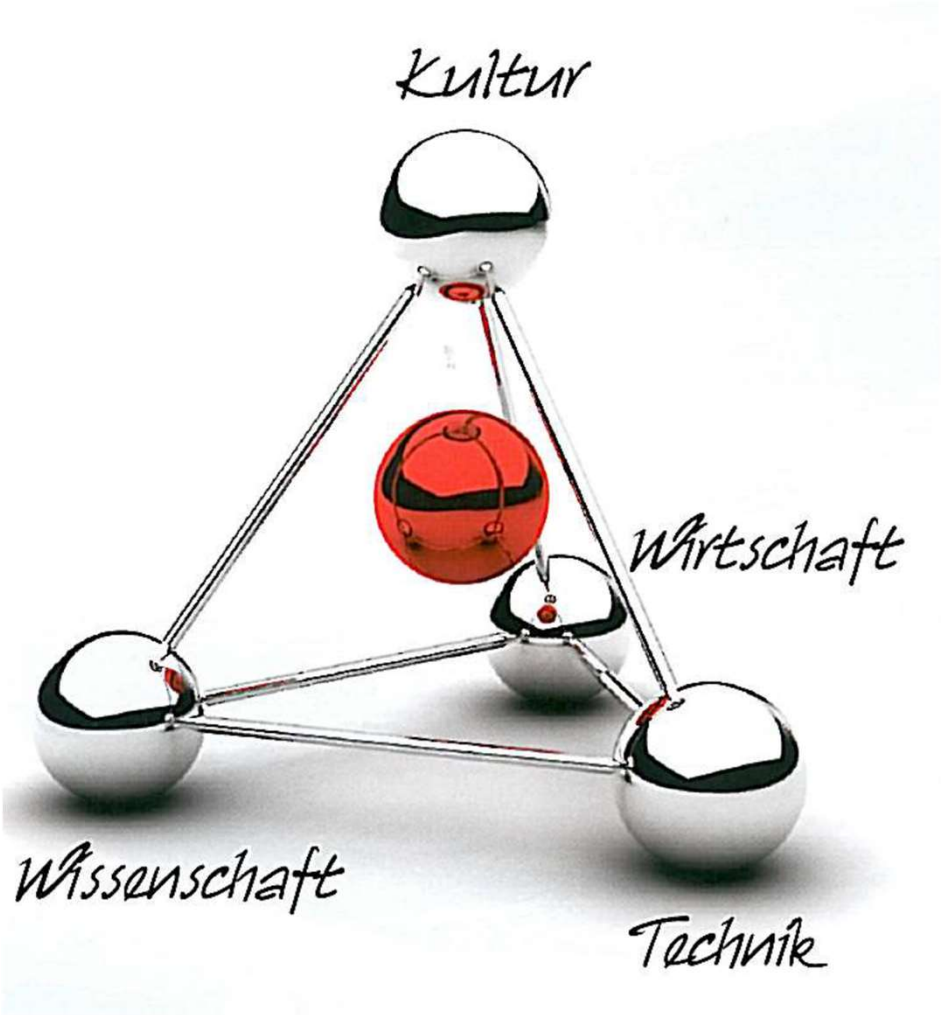
CO_2-Abtrennung und Verwendung

Prof. Dr. Thomas Bayer, AK WiTechWi

12. Mai 2021

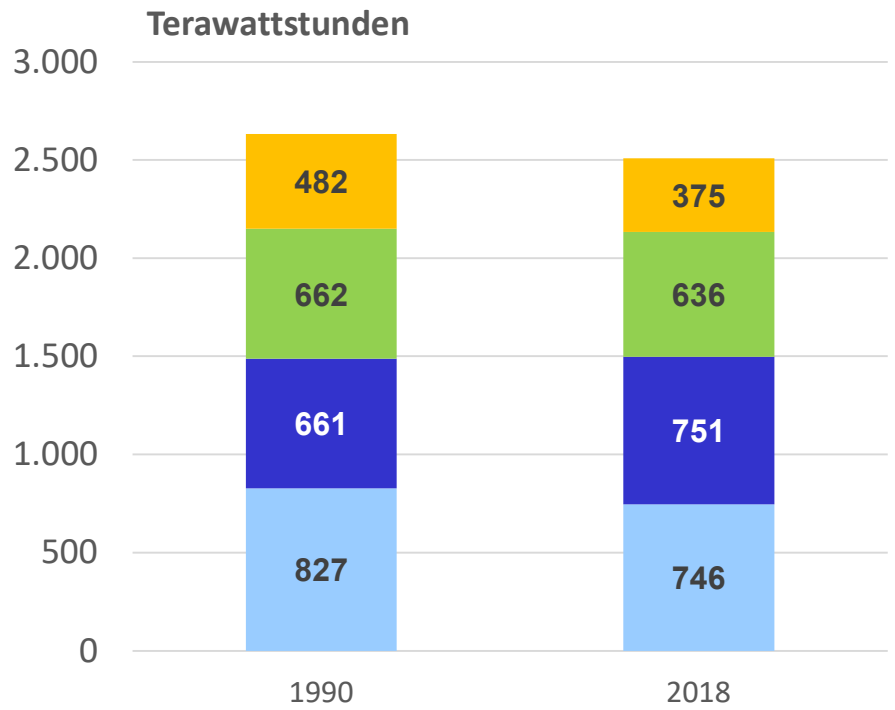


Inhalt

- **Energieverbrauch und CO_2-Emissionen - Zahlen, Daten, Fakten**
- **Wobei entsteht in der Zukunft überhaupt noch CO_2?**
- **Technische Verfahren zur CO_2-Abtrennung**
- **CO_2-Abscheidung und Speicherung (carbon capture & storage, CCS)**
- **CO_2-Abscheidung und Verwendung (carbon capture and utilization, CCU)**
- **Kohlenstoffrecycling**
- **CO_2 als Rohstoff – Verfahren und Herausforderungen**

Endenergieverbrauch

Entwicklung Deutschland 1990 bis 2018 nach Sektoren

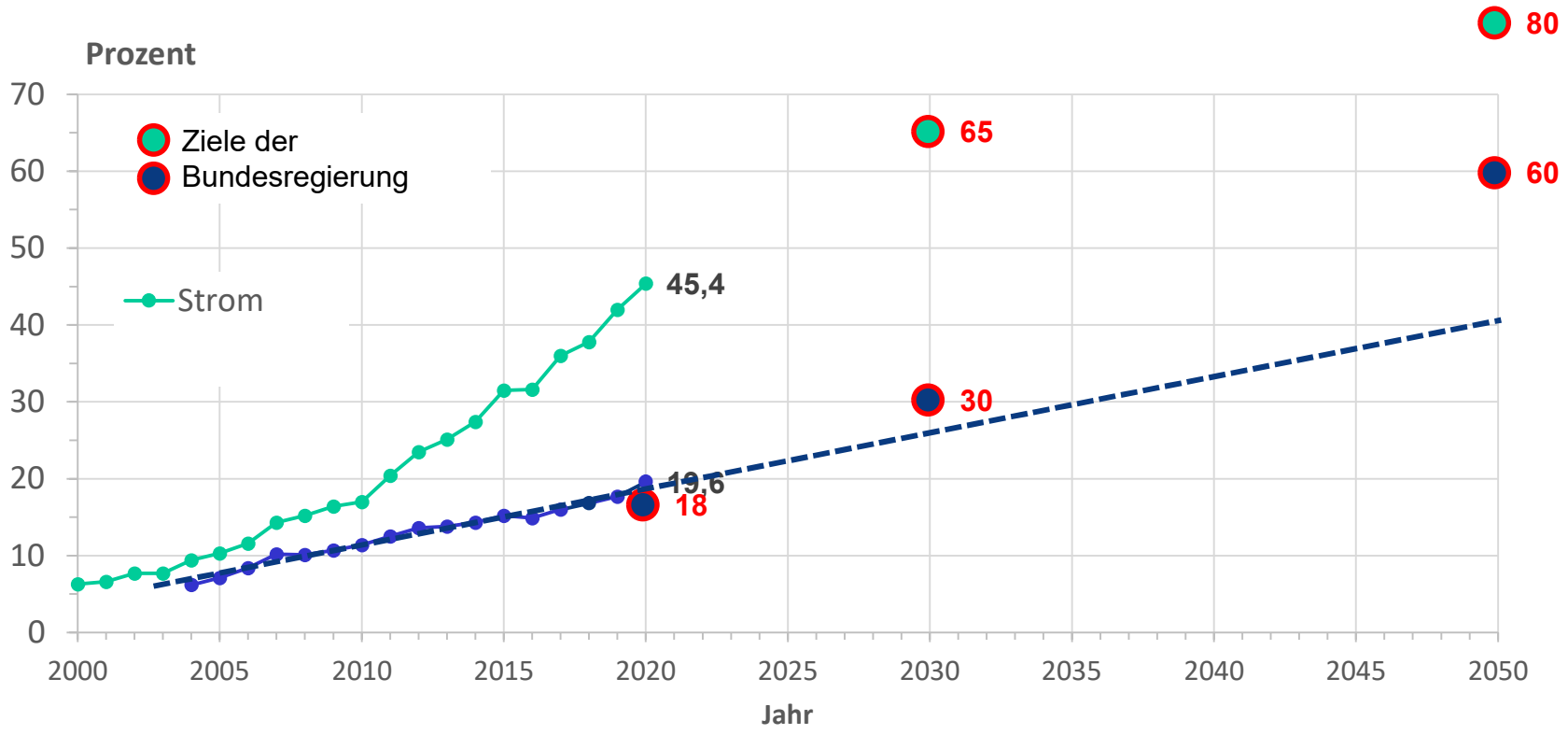


Industrie	- 9,8 %		
Verkehr	+ 13,6 %		
Haushalte	- 3,9 %		
Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	- 22 %		
1990	2018		
2.632 TWh	2.508 TWh	- 4,7 %	
↑ 63,6 %	↑ 77,2 %		
4.140 TWh	3.248 TWh	- 21,5 %	Primärenergieverbrauch

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis AG Energiebilanzen, Stand 10/2019, 2018 vorläufig

Erneuerbare Energien

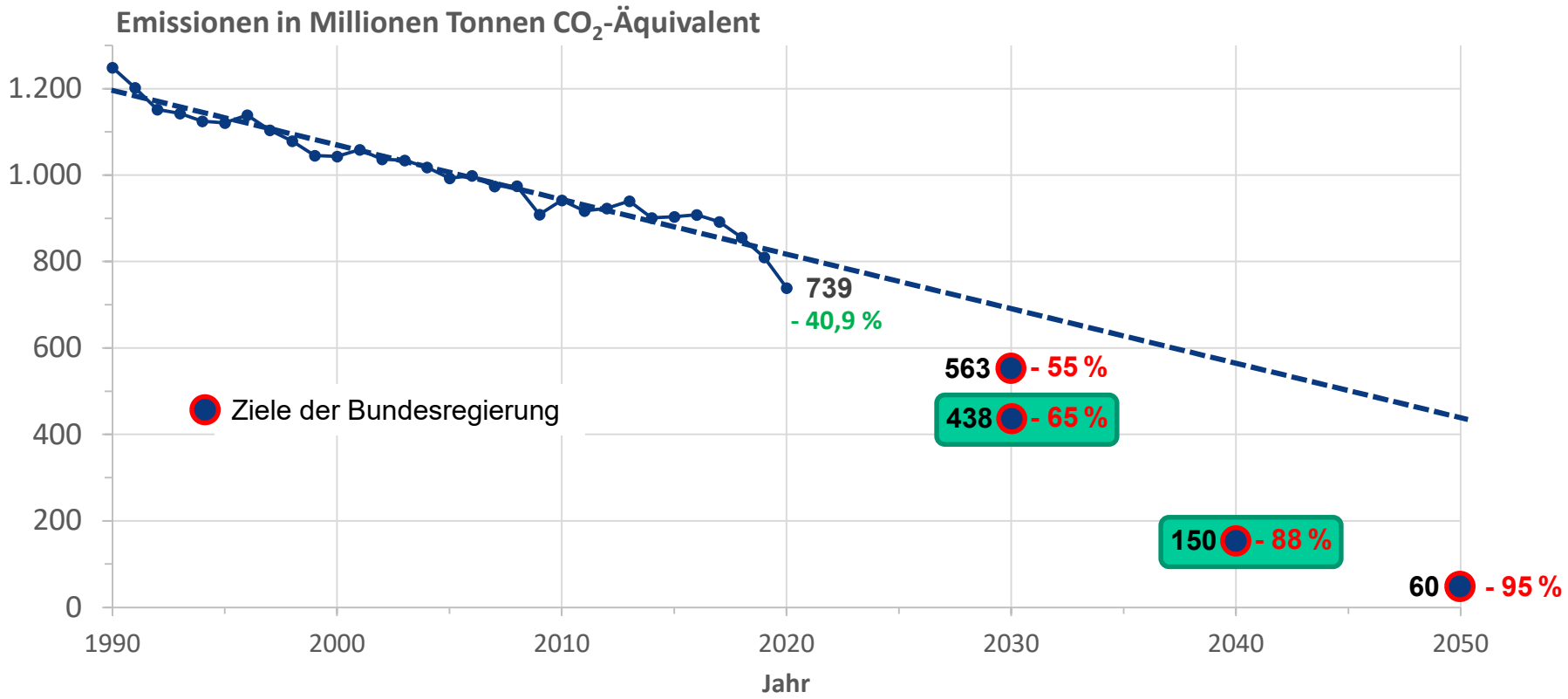
Anteil Erneuerbare Energien 1990 bis 2018 Deutschland



Quelle: Umweltbundesamt auf Basis AG Energiebilanzen, Stand 02/2021

Treibhausgasemissionen

Entwicklung 1990 bis 2020 Deutschland



⇨ **Weniger als eine Tonne Treibhausgase pro Kopf**

Quellen: Statista, Umweltbundesamt, www.bundesregierung.de

Verbleibende THG-Emissionen

Deutschland 2050

- Ziel: 60.000.000 Tonnen $CO_{2eq.}$ verbleibende Emissionen
- Weitgehend aus der Landwirtschaft (Tierhaltung) und Zementherstellung
- *„Der Ausgleich dieser verbleibenden Emissionen findet in Industrie und Energiewirtschaft statt, die CO_2 aus Biomasseanlagen und aus der Luft abscheiden."*
- *„Die CO_2-Ablagerung könnte dann in leeren Gasfeldern oder tiefen geologischen Formationen unter der Nordsee stattfinden (CCS)"*

⇨ **Gesellschaftliche Akzeptanz?**

- Und wenn wir die Ziele nicht erreichen?
- Und was ist mit der stofflichen Nutzung fossiler Energieträger?

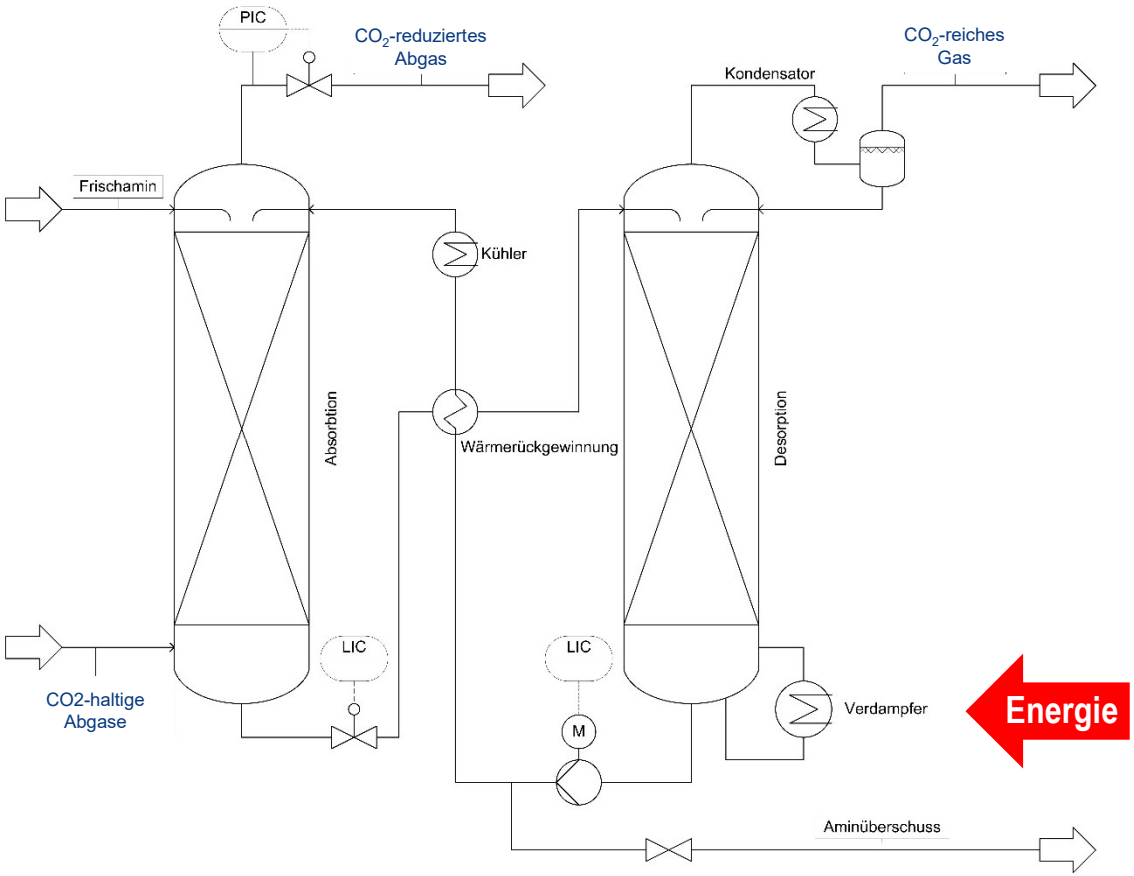
⇨ **Technologien zur CO_2-Nutzung sind wohl erforderlich!**

Quelle: Klimaneutrales Deutschland, Öko-Institut, Nov. 2020 für Agora Energiewende

CO_2-Abscheidung

Technische Verfahren

- Adsorptionverfahren
- Absorptionsverfahren
  - Physikalische Verfahren
  - Chemische Verfahren
- Membranverfahren
- Kältetechnische Verfahren



Aminwäsche

Quelle: wikipedia, modifiziert

CO_2-Abscheidung

Großtechnische Industrieanwendungen für CO_2-Abscheidung

Projektname	Land	Inbetrieb-nahme	Anwendung	Abscheide-menge [Mt/a]	Verfahren
Enid fertilizer CO_2 EOR project	USA	1982	Düngemittel	0,7	Chemische Absorption
Great plains	USA	2000	SNG	3	Physikalische Absorption
Air products	USA	2013	H_2-Produktion	1	Druckwechseladsorption
Coffeyville Gasification	USA	2013	Düngemittel	1	Physikalische Absorption
Quest	CAN	2015	H_2-Produktion	1	Chemische Absorption
Abu Dhabi CCS project	VAE	2016	Stahl und Eisen	0,8	Chemische Absorption
Alberta ACTL	CAN	2017	Düngemittel	0,3 – 0,6	Chemische Absorption
Alberta ACTL	CAN	2017	Raffinerie	1,2 – 1,4	Physikalische Absorption
Illinois Industrial CCS	USA	2017	Ethanolproduktion	1	Fermentation

⇨ bei allen Anlagen wird das abgeschiedene CO_2 für die Erdölförderung genutzt

Quelle: Wuppertalinstitut Technologiebericht CCS 2017

Carbon Capture and Storage (CCS)

CO_2-Abtrennung und -Speicherung

- *Gesetz zur Demonstration und Anwendung von Technologien zur Abscheidung, zum Transport und zur dauerhaften Speicherung von Kohlendioxid* vom 17. August 2012 (Umsetzung der Richtlinie 2009/31/EG zur geologischen CO_2-Speicherung)
- CCS-Gesetz bildet den Rechtsrahmen für die Erprobung und Demonstration der CCS-Technologie in Deutschland.
- Durch zeitliche und mengenmäßige Grenzen ist es auf Demonstrationsprojekte begrenzt. Die maximale Speichermenge pro Speicher beträgt 1,3 Millionen Tonnen CO_2 jährlich, deutschlandweit jährlich 4 Millionen Tonnen CO_2.
- Die Länder haben mit der Länderklausel umfangreiche Kompetenzen zur Entscheidung über die Demonstration der CCS-Technologie auf ihrem Landesgebiet.

  ⇨ **Seit Inkrafttreten 2012 sind keinerlei Speicher (oder Leitungen) beantragt, genehmigt und gebaut worden.**
  ⇨ **Politische und gesellschaftliche Akzeptanz fehlen**

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft

Carbon Capture and Use (CCU)

CO_2-Abtrennung und -Nutzung

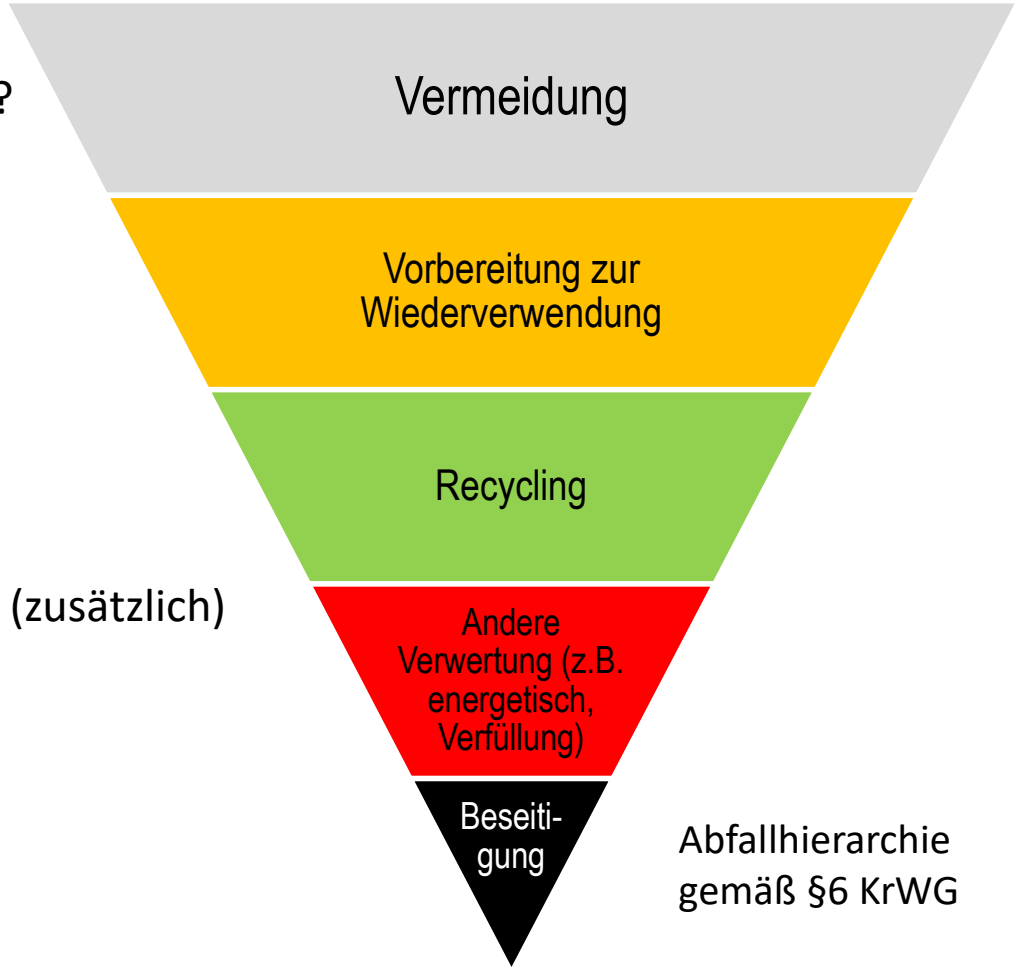
- CO_2 wird auch in Zukunft anfallen (z.B. Kalkherstellung)
- Auch die rohstoffliche Nutzung fossiler Energieträger muss berücksichtigt werden
- Die chemische Industrie verbraucht ca. 18,1 Mio. Tonnen pro Jahr fossiler Energieträger und 2,7 Mio. Tonnen nachwachsender Rohstoffe stofflich.
- Der stoffliche Verbrauch von Erdöl, Erdgas und Kohle entspricht ca. 15 Mio. Tonnen C oder 55 Mio. Tonnen CO_2 (wenn alle Produkte nach Gebrauch verbrannt würden)
- Wenn keine fossilen Rohstoffe mehr genutzt werden sollen, bleiben nur Biomasse und CO_2 als wesentliche Rohstoffquellen.
- Nachwachsende Rohstoffe werden schon eingesetzt, aber die Verfügbarkeit ist begrenzt.
- CO_2 könnte die neue Rohstoffquelle für die Chemie werden und die verbleibende CO_2-Menge nutzen.

Quelle: Verband der Chemischen Industrie

Recycling

Nutzung von Abfällen

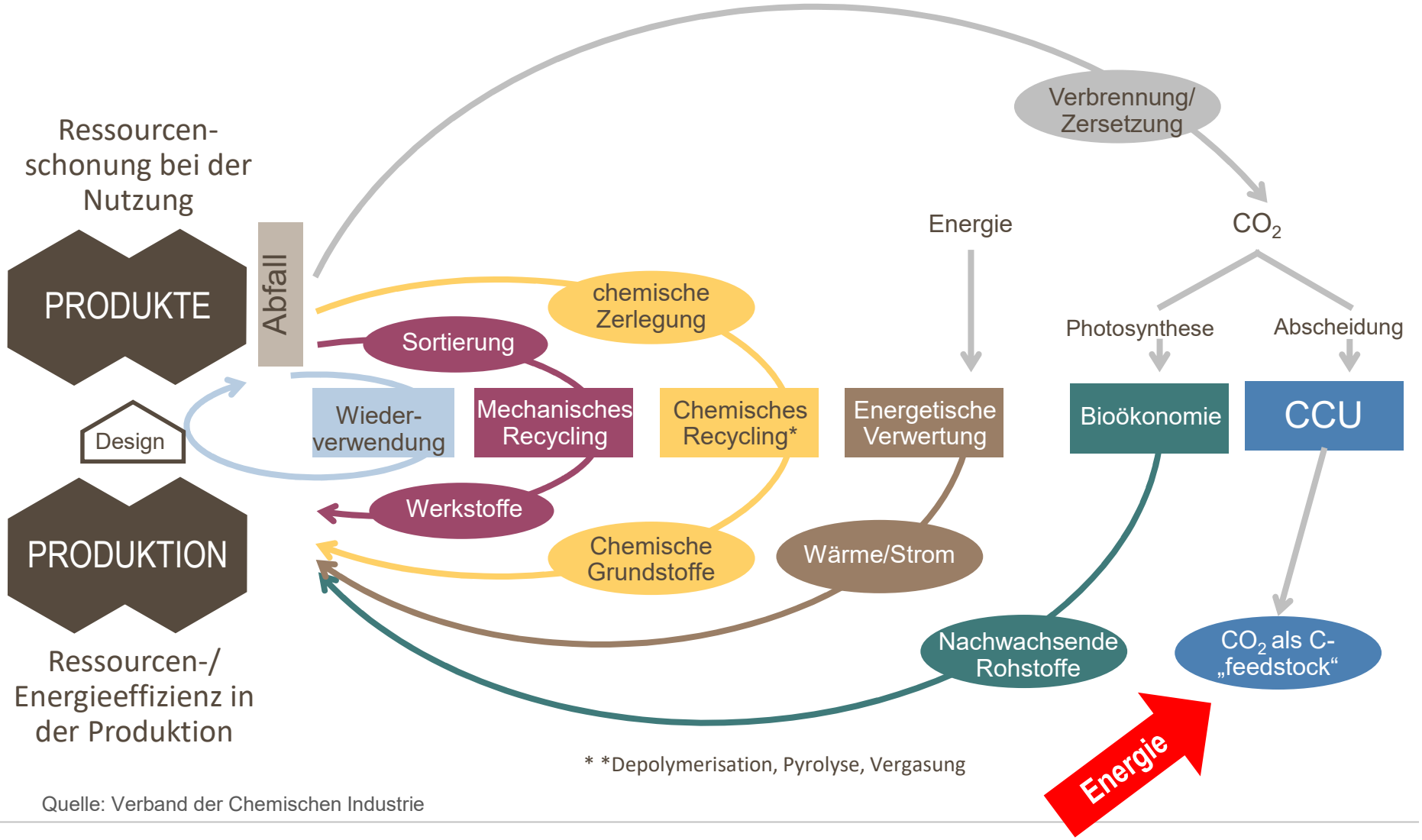
- Müssen wir alles einfach wegwerfen?
- Kann man aus Abfällen Produkte herstellen?
- Nutzung von CO_2 als Rohstoff zur Herstellung von Chemieprodukten
- Dazu sind mind. 7 Mio. Tonnen Wasserstoff erforderlich
- Dies erfordert ca. 633 TWh EE-Strom (zusätzlich)



Abfallhierarchie gemäß §6 KrWG

Quelle: Verband der Chemischen Industrie

Kohlenstoffkreisläufe



* *Depolymerisation, Pyrolyse, Vergasung

Quelle: Verband der Chemischen Industrie

Welche Verfahren gibt es?

Herstellung von chemischen Stoffen aus CO_2

Chemischer Rohstoff	Verfahren	Reaktion	Anwendung
Methan	Methanisierung	$CO_2 + 4\ H_2 \rightarrow CH_4 + 2\ H_2O$	Chemische Zwischenprodukte (z.B. CH_3Cl)
Kohlen-wasserstoffe	Fischer-Tropsch-Synthese	$n\ CO_2 + 3n+1\ H_2 \rightarrow C_nH_{2n+2} + 2n\ H_2O$	Synthetische Treibstoffe (z.B. Kerosin), Wachse, etc.
Methanol	MeOH-Synthese	$CO_2 + 4\ H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$	Biodiesel, Kunststoffe, etc.

Herausforderungen

Energie- und Rohstoffbedarf

- Biomasse- und Abfallverfügbarkeit
- > 600 TWh erneuerbarer Strom
- ca. 7 Mio. t (grüner) Wasserstoff
- Infrastruktur

Zeitlich

- Physische Verfügbarkeit der Technologien (TRL 9): nicht vor 2030
- Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit: nicht vor Mitte bis Ende der 30er Jahre

Ökonomisch

- Günstige Strompreise (4 Cent/KWh) – Günstiger Wasserstoff
- Hohe zusätzliche Investitionen
- Fehlender Markt für teurere Produkte, wenn Klimaschutz auf Europa beschränkt bleibt

Quelle: Verband der Chemischen Industrie

Beispiel zur CO_2-Nutzung

Fischer-Tropsch-Synthese zur Herstellung von Kohlenwasserstoffen

Quelle: Infraserv GmbH & Co. Höchst KG

Containerbasiere Versuchsanlage zur Herstellung von Weißölen und Wachsen aus aus CO_2 und H_2 für die chemische Industrie

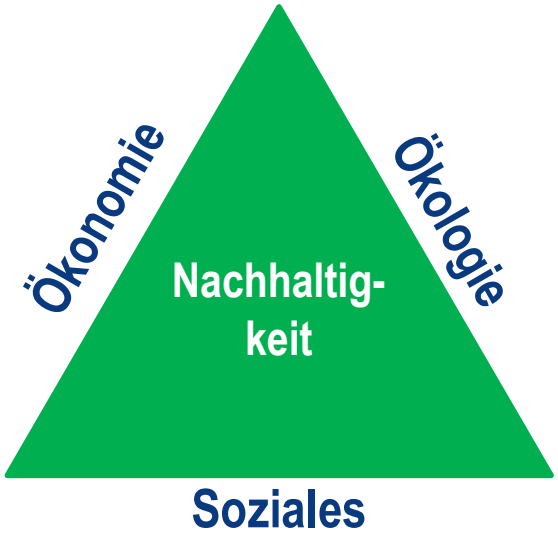
Projektpartner: ALTANA, INERATEC, POLITECNICO DI TORINO, provadis Hochschule, VTT

Quelle: Ineratec GmbH

Containerbasierte Versuchsanlage mit mikrostrukturiertem Fischer-Tropsch-Reaktor

Fazit

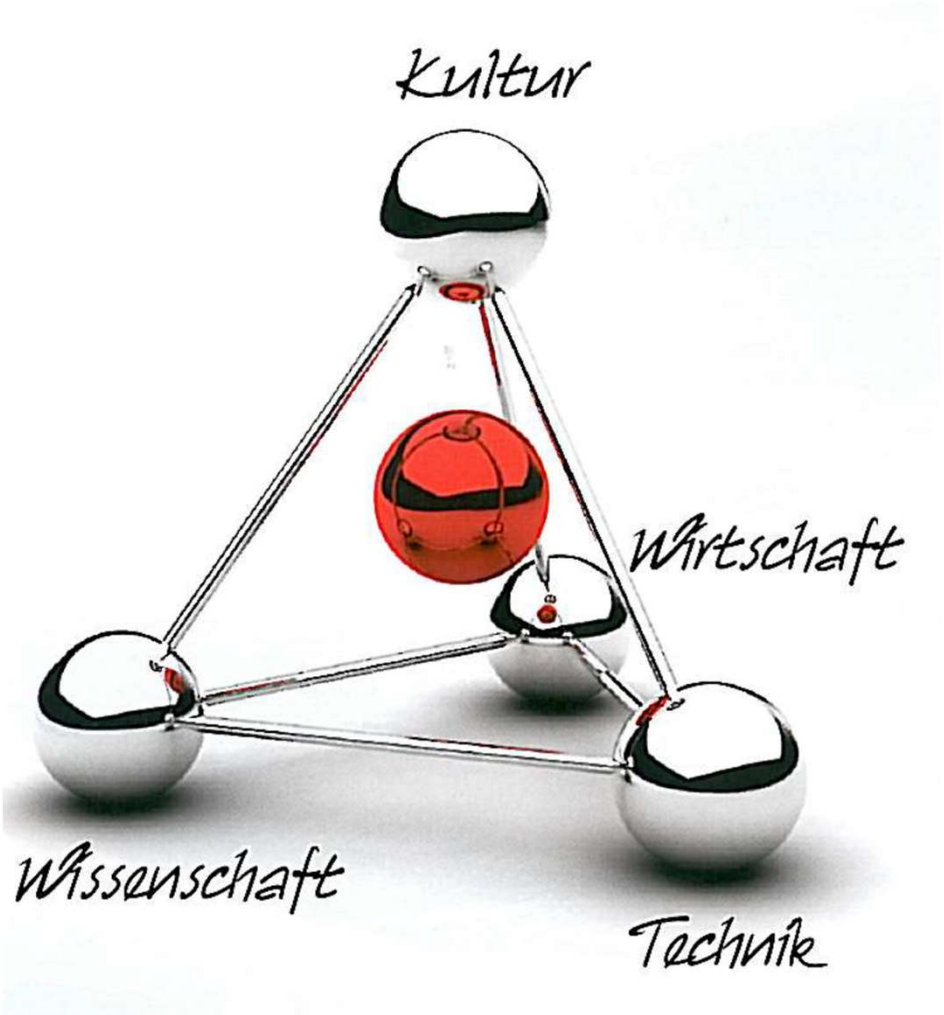
- Wir stehen vor einer gewaltigen Aufgaben, nicht nur in Deutschland sondern weltweit
- Politik und Industrie haben dies (hoffentlich!) erkannt und formulieren Ziele zur CO_2-Neutralität bis 2050
- Der Weg zum Ziel ist aber nicht klar
- Die Transformation wird uns allen einiges abverlangen (nicht nur Geld!)



Quelle: Roth-Cartoons

⇨ **Es bleibt nicht mehr viel Zeit, also packen wir es jetzt an!**

CO_2-Abtrennung und Verwendung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Ihre Fragen?