

Circular Economy als Basis für resiliente und erneuerbare Rohstoffkreisläufe

Julia Goy

Dr. Jochen Brellochs

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

Dr. Romy Brödner

Prof. Dr. Michael Nelles

Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ)

Dr. Malgorzata Borchers

Dr. Danny Otto

Helmholtz Zentrum für Umweltforschung (UFZ)

Dr. Holger Berg

Wuppertal Institut

Bernhard Wern

Institut für ZukunftsEnergie- und Stoffstromsysteme (IZES)

Salar Tavakkol Ph. D.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Dr. Christian Scherdel

Center of Applied Energy Research (CAE)

Dr. Tom Lorenz

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Dr. Felix Kullmann

Forschungszentrum Jülich

Dr. Karl-Anders Weiß

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Globale Herausforderungen

1.) Ungebremster Ressourcenverbrauch: Ein Hauptverursacher des globalen Klimawandels

- **ca. 50% der globalen THG-Emissionen*** im Zusammenhang mit linearem Wirtschaften „Produzieren-Nutzen-Wegwerfen“

2.) Nachfrage an natürlichen Ressourcen höher als „globale“ Kapazität zur Reproduktion und zum Angebot neuer Ressourcen

- **Earth Overshoot Day 02.08.2023** → Menschheit benötigt mehr als eine Erde



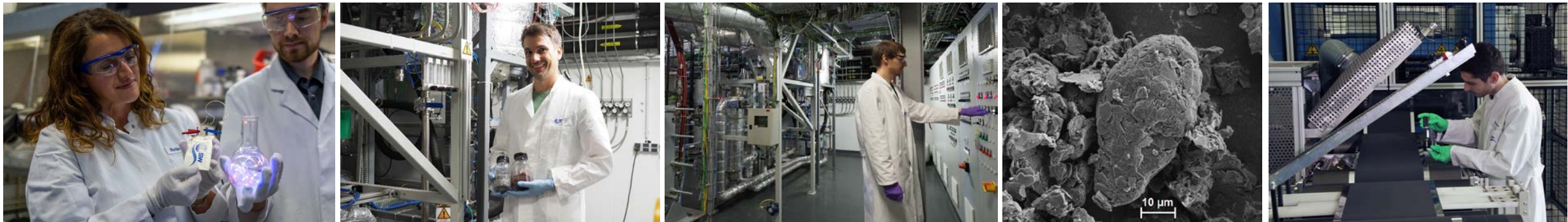
3.) 6 von 9 Belastungsgrenzen der Erde überschritten („Zone der Unsicherheit“)

- **Klima, Nährstoffkreisläufe (Phosphor & Stickstoff), Süßwasserverbrauch, Landnutzungsänderung, Unversehrtheit der Biosphäre, Einbringung neuartiger Substanzen**

* *GLOBAL RESOURCES OUTLOOK 2019 (UNEP / International Resource Panel)*

Circular Economy: FuE-Aktivitäten am ZSW

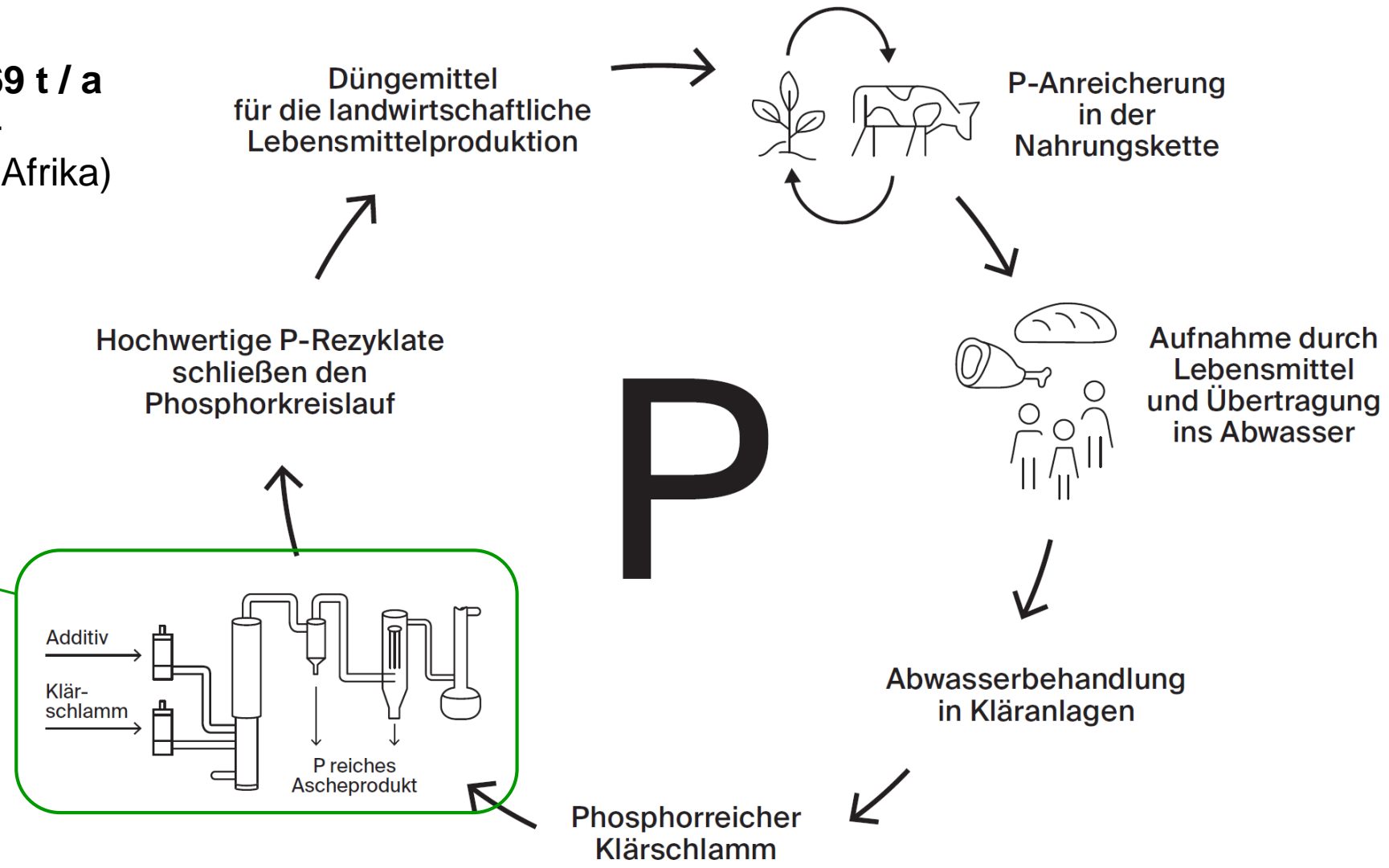
- **Stofforientierter Ansatz für die Rohstoffgewinnung**
 - Phosphorkreislauf → P-Recycling aus phosphatreichen Rest- und Abfallstoffen (z.B. Klärschlamm)
 - Kohlenstoffkreislauf → via Direct-Air-Capture und Oxyfuel-Verbrennung
 - Kohlenstoff/Kohlenwasserstoffkreislauf → Rohstoffliches Recycling von Kunststoffabfällen
- **Prozessorientierter Ansatz für EE-Technologien**
 - PV-Recycling: z.B. Organisation von Workshops, um die Akteure miteinander zu vernetzen
 - Batterie-Recycling: Wiederaufbereitung von Grafit und allen kritischen Metallen aus gebrauchten Lithiumionenbatterien
 - Elektrolyse-Recycling: Wiederaufbereitung von Werkstoffen und Katalysatoren



Schlüsselnährstoff Phosphor(P) – unentbehrlich für das Leben

- **Phosphor-Fehlbetrag BRD: 169 t / a**
($\approx 2,5 \text{ Mio.t CO}_2/\text{a}$ als fossiler P-Mineraldünger, v.a. Importe aus Afrika)
- **Rohphosphat / Phosphor:**
kritischer Rohstoff in EU
- **Phosphor-Kreislaufführung**
z.B. aus Klärschlamm: 50% von Phosphor-Fehlbetrag erreichbar

→ **P-XTRACT-Projekt:**
Klärschlamm-Verbrennung in Wirbelschicht mit in-situ Alkali-Additivierung und Ascheabscheidung im Heißgaszyklon



Das P-XTRACT-Projekt



Ziele:

- Erstmalige industrielle Umsetzung im Maßstab 1 MW_{th}
- Erzeugung eines hochwertigen Asche-Produkts (Reduktion Schwermetall-Gehalte, hohe P-Verfügbarkeit für Pflanzen)
- Stellschrauben: Prozessbedingungen und in-situ Zugabe von Alkali-Additiven in den Verbrennungsprozess



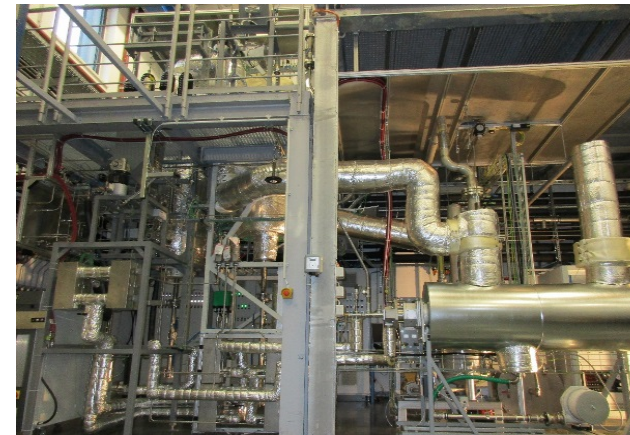
P-XTRACT-Pilotanlage



Klärwerk Grezhausen

Kernergebnisse (bisher):

- 1 MW_{th}-Pilotanlage in Fertigstellung
- KS-Verbrennung im Technikum: 100 kg Asche:
 - 2 geeignete Alkali-Additive identifiziert
 - rd. 80 % P-Rückgewinnung möglich
 - gute Pflanzenverfügbarkeit (Labor, Topf, Feld)
 - Reduzierte Schwermetallgehalte



Technikumsanlage am ZSW



Topfversuche bei Uni-Freiburg



Zukunftsbild Kreislaufwirtschaft – Rolle der Biomasse (DBFZ)

Aktueller Stand

Kaskadenprinzip: stoffliche, dann energetische Biomassenutzungen
Steigender Bedarf für Biomasse in vielen Sektoren > **Angebot**
 aktuelle **Bioökonomie** führt voraussichtlich zu **höheren Importen** von **Biomasse/Folgeprodukten** und **steigendem Flächenfußabdruck** außerhalb der EU

Chancen und Trends

höhere Nutzungskaskaden von **Biomasse**, z.B. durch nachhaltiges Produktdesign (Langlebigkeit, Reparaturfreundlichkeit, Recyclingfähigkeit etc.)
 Biomassen mit „**niedriger Flächenintensität**“, z.B. Algen, Insekten, Agroforst, Biomasse von marginalen Flächen
biogene Abfälle & Reststoffe: techn. Biomassepotenzial 86,6-139,6 Mio. tTM/Jahr (67-85% in Nutzung)
 → DBFZ ResDB+

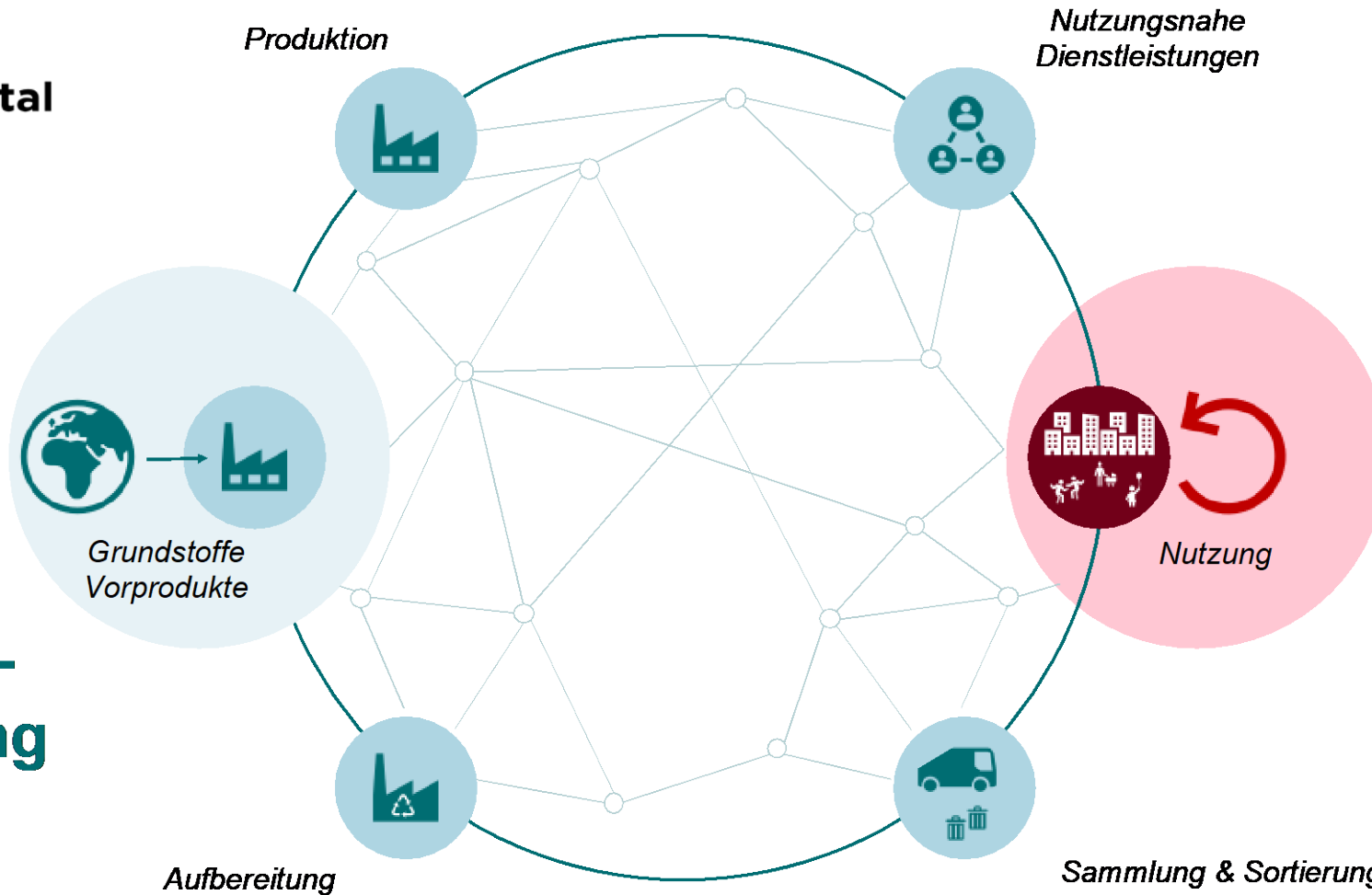
Politische Rahmenbedingungen zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft

Biomassestrategie bedarf **Weiterentwicklung** der **Flächennutzung & Konkretisierung** von **Importstrategie**
Transformation Abfallrecht in ein Stofffluss- oder Produktrecht → Kreislaufwirtschaft gehört ins BMWK
Besteuerung Ressourcenverbrauch zur **Schaffung und Förderung** von **Märkten für Recyclingrohstoffe**

Zu priorisierende FuE-Fragen

Sektorenübergreifende **Optimierungs- und Mobilisierungsstrategien** einzelner Biomassen
 vergleichende **Bewertung der Behandlungsverfahren** von Nährstoffgehalt, Klimaeffekt, Energieumwandlung und Schadstofffrachten
Überwachungsrahmen für Kreislaufwirtschaft: Berücksichtigung weiterer Indikatoren für Ressourcennutzung

Die Digitale Circular Economy als Wertschöpfungsnetz



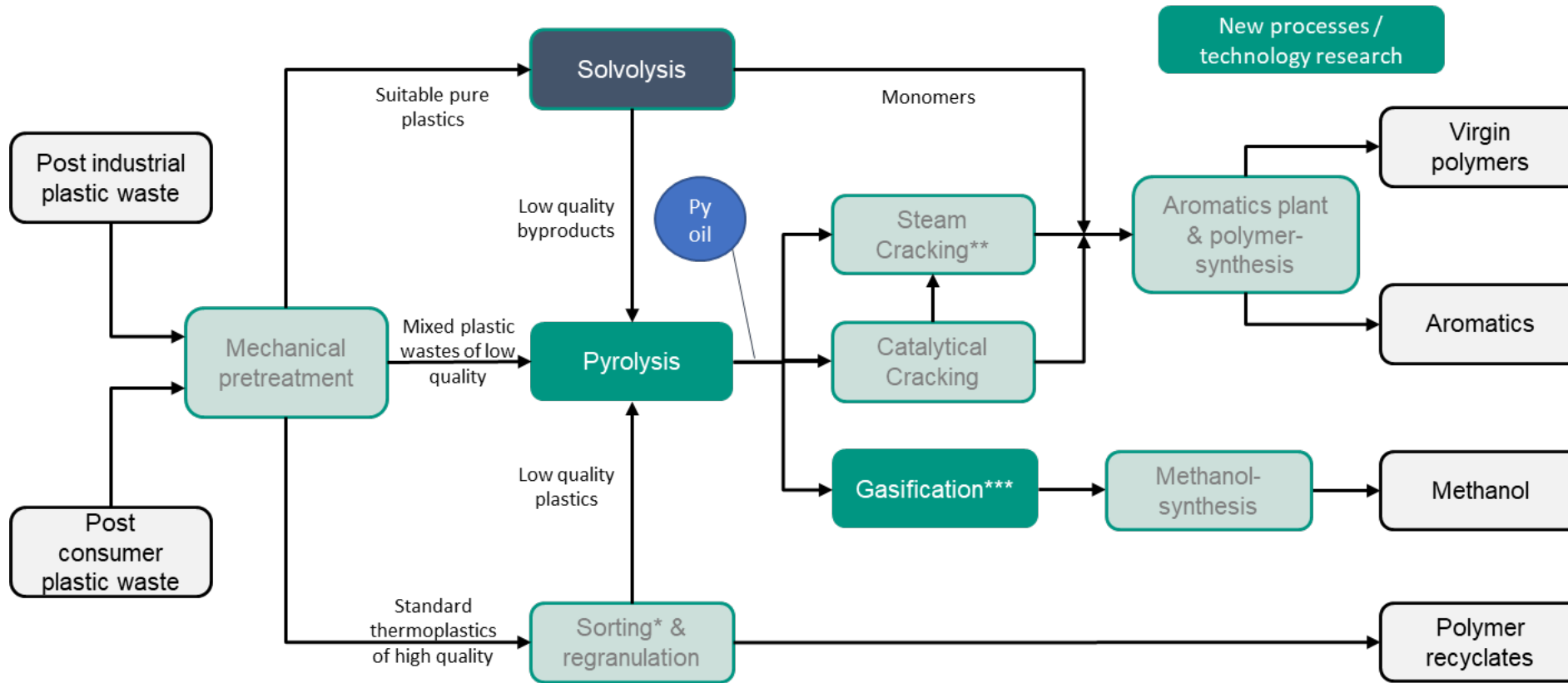
**Produkt-
wertschöpfung
stärken**

**Ressourcen-
wertschöpfung
erhalten**

Ramesohl, S., Berg, H., & Wirtz, J. (2022). Circular Economy and Digitisation Strategies for Digital-Ecological Industrial Transformation: a study commissioned by Huawei Technologies Deutschland GmbH.

Value chains of a climate neutral circular economy of plastics (KIT)

The Transition of the Chemical Industry: „The chemical industry needs Carbon. The more it is supplied by biomass & recycling, the smaller the demand in hydrogen, electrical power & capital investments“



* incl. dissolution (physical polymer recovery); ** incl. use of suitable pyrolysis gases; *** incl. direct waste gasification

Hochempfindliche, automatisierbare Messmethodik mit KI für das Gips-Recycling

- Kohleausstieg bis 2038
- Wegfall REA-Gips
- Anstieg gipshaltige Bauabfälle

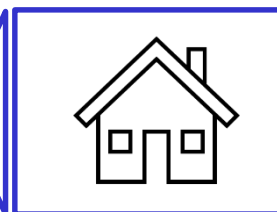
Gips-Recycling

- Grenzwerte MF sicherstellen
- Stoffkreislauf schließen
- Resilienz erhöhen
- Umweltbelastung verringern

Rohstoffquellen (ohne Recycling)

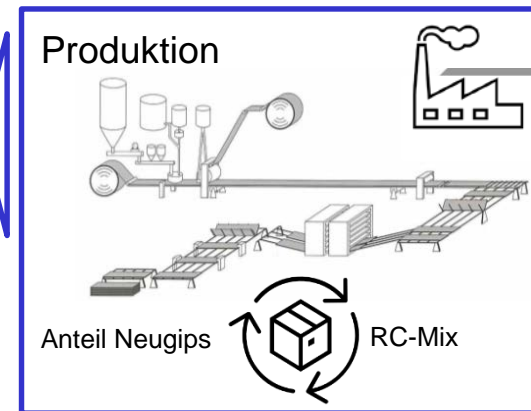


Rückbau & Trennung



Anwendung

div. Gipsbaustoffe



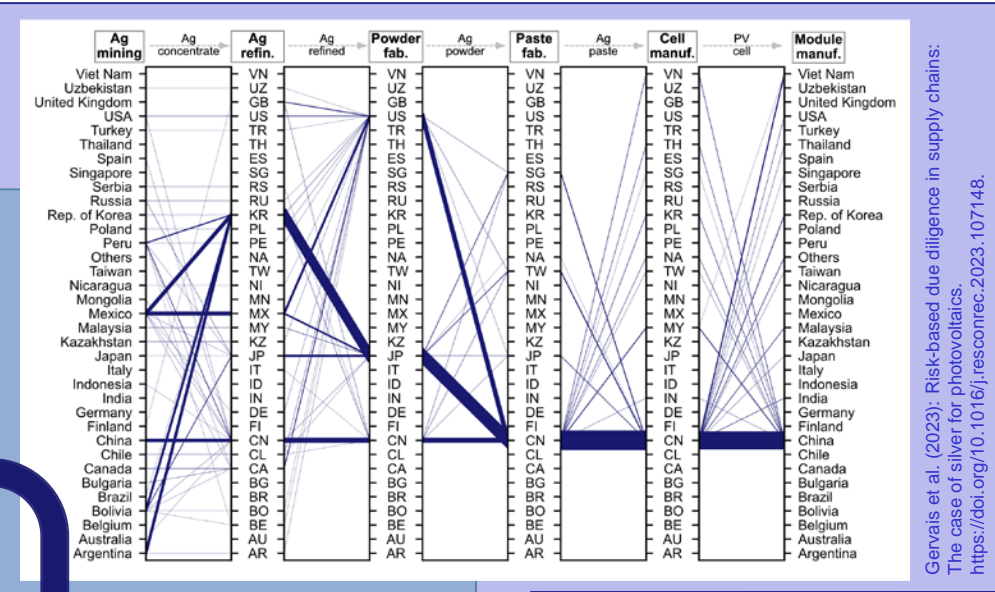
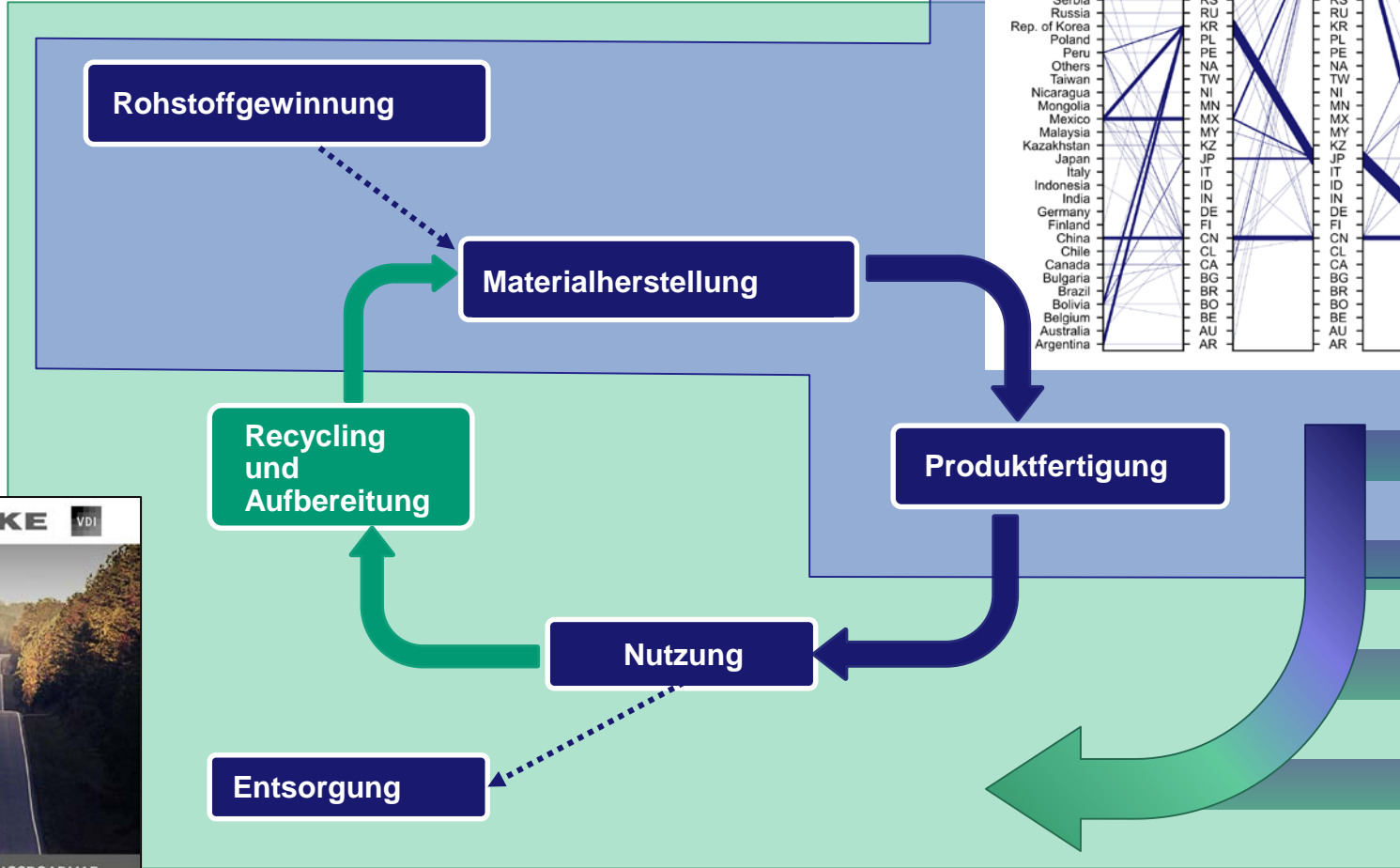


Produktdesigns für den Weg in eine Circular Economy (DLR)

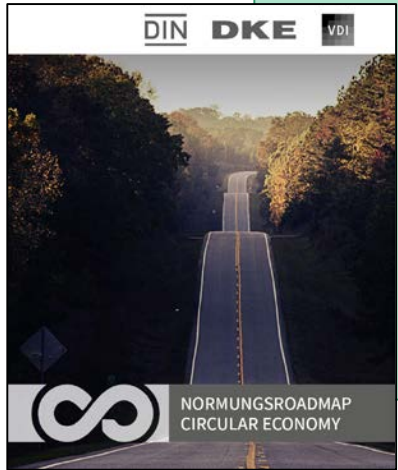
Nachhaltige Produktdesigns für resiliente Rohstoffkreisläufe

- Wichtige Säule des European Green Deal: „*80% der Umweltwirkungen haben ihren Ursprung in der Designphase*“
- Wie können Nachhaltige Produktdesigns zu resilienten Rohstoffkreisläufen beitragen?
 - Höhere Verfügbarkeit an reineren Abfallchargen als Sekundärrohstoff für die Industrie
 - Geringerer CO₂-Fußabdruck durch höhere Recyclinganteile in den Produkten
 - Höhere Recyclingquoten für kritische Legierungs- und Technologiemetalle durch sortenreines Recycling
 - Geringere Importabhängigkeit der Lieferketten
- Herausforderungen
 - Die Verwertung von End-of-Life-Abfällen wird bei Produktentwicklung praktisch nicht berücksichtigt
 - Es gibt bislang keine einheitlichen Ziele, Definition und Methoden für Nachhaltige Designs
 - Die Mechanismen des Recycling(markt)s müssen einbezogen werden
 - Softwaretechnische Umsetzung der Methodik in der Designphase
- Was braucht es damit Nachhaltige Produktdesigns Rohstoffkreisläufe verbessern?
 - EU-weit einheitliche Nachhaltigkeitsziele und Bewertungsmethoden für Produktdesigns
 - Demontagekonzepte für die Produkte und Abfallsortierungskonzepte für demontierte Bauteile
 - Informationen und Auswahl zu Recyclingwegen und Alternativmaterialien
 - Software, die Produktentwicklern im Designprozess unterstützt

Übergang zur Circular Economy für EE



Genvais et al. (2023): Risk-based due diligence in supply chains: The case of silver for photovoltaics. <https://doi.org/10.1016/j.resconec.2023.107148>.



- ökologische Optimierung
- ökonomische Optimierung
- Lieferkettensicherheit
- soziale Effekte

Integraler Ansatz: Circonomy Hub Erneuerbare Energien

Strukturwandel von der fossilen linearen Industriegesellschaft zu einer nachhaltigen und ressourcenschonenden Circular Economy

1. Energiewende und Ressourcenwende gemeinsam denken
 2. Einsatz verschiedenster Methoden und Werkzeuge nötig
 3. Betrachtung des gesamten Produktzyklus und Ansatz schon beim Produktdesign
 4. Wandel von Abfallwirtschaft zur Kreislaufwirtschaft → Ende der rechtlichen Abfalleigenschaft
- Mehr Resilienz durch eine leistungsfähige Circular Economy