

# Gestaltung zirkulärer Produktionsnetzwerke und Produktionsstrategien

Forum Kreislaufwirtschaft und Produktionstechnologien 2024

14.05.2024

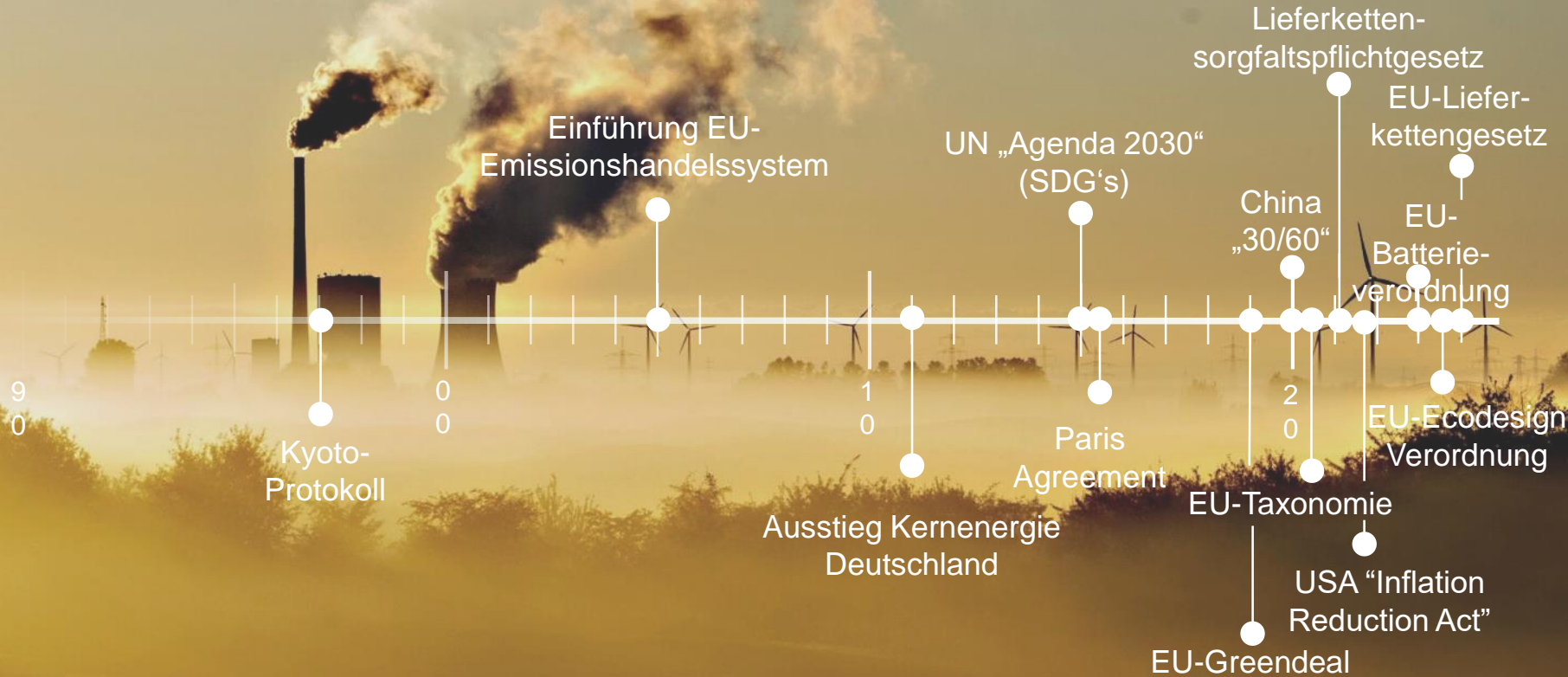
Wien, Österreich

Dr.-Ing. Marvin Carl May ist Oberingenieur und Postdoc, sowie Mitglied der erweiterten Institutsleitung des wbk Instituts für Produktionstechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT).



# Nachhaltigkeit rückt zunehmend in den politischen Fokus

Nachhaltigkeitsbezogene Gesetze und politische Initiativen seit 1990



Bildquelle: Julian Stratenschulte/ dpa





**1** NO POVERTY



**2** ZERO HUNGER



**3** GOOD HEALTH AND WELL-BEING



**4** QUALITY EDUCATION



**5** GENDER EQUALITY



**6** CLEAN WATER AND SANITATION



**7** AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY



**8** DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH



**9** INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE



**10** REDUCED INEQUALITIES



**11** SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES



**12** RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION



**13** CLIMATE ACTION



**14** LIFE BELOW WATER



**15** LIFE ON LAND



**16** PEACE, JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS



**17** PARTNERSHIPS FOR THE GOALS



A photograph of an industrial factory floor featuring two white robotic arms with blue joints. The arms are positioned over a workbench with various mechanical components and tools. The background shows a complex metal structure and a sensor unit mounted on a beam.

# GEWÄHRLEISTUNG NACHHALTIGER KONSUM- UND PRODUKTIONSMUSTER

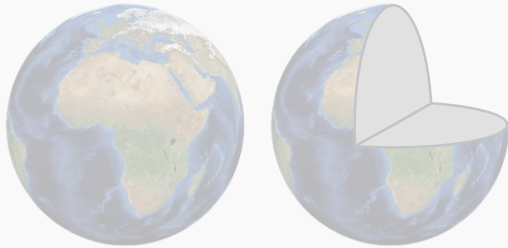
**12** RESPONSIBLE  
CONSUMPTION  
AND PRODUCTION



# Entkopplung von Wohlstand und Ressourcenverbrauch

Lineare Wirtschaftsmuster müssen überdacht werden

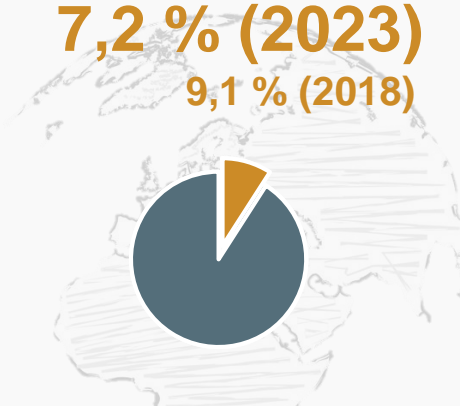
## 1,70 Erden



sind zur Deckung des **globalen Ressourcenverbrauchs** im Jahr 2023 notwendig.

[1]

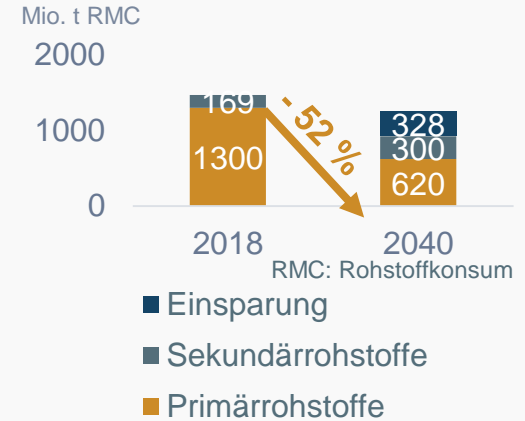
## 7,2 % (2023) 9,1 % (2018)



des weltweiten Gesamtmaterialereinsatzes sind **Sekundärmaterialien**.

[2]

## Circular Economy Potential Deutschland



[3]



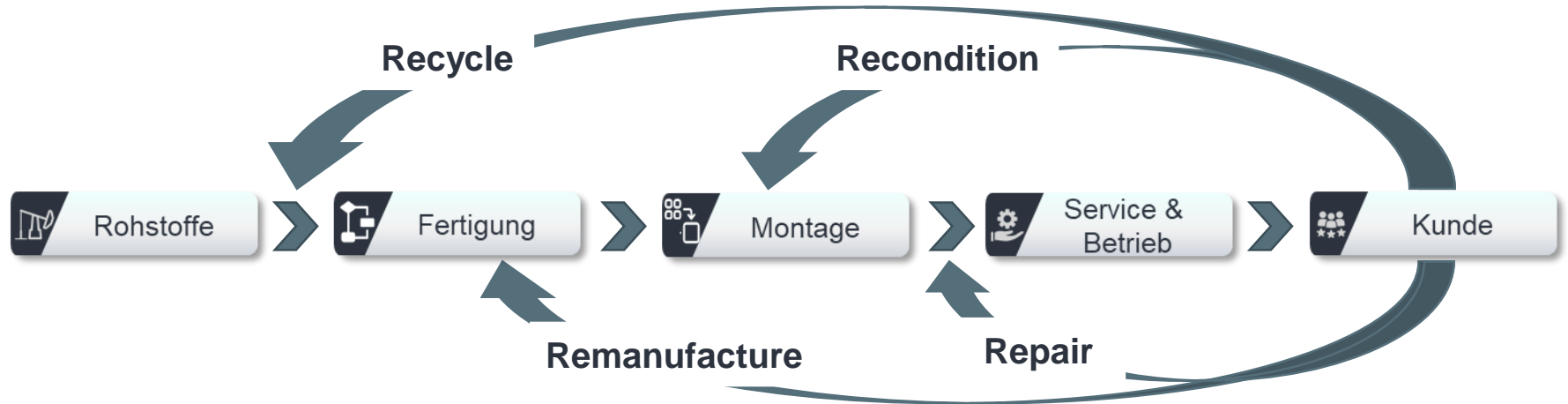
**Kreislaufwirtschaft** als Befähiger zur **Erreichung politischer Vorgaben** und der **Entkopplung** von **Wohlstand** und Ressourcenverbrauch.

Quellen: [1] Global Footprint Network (2022), [2] Circle Economy (2023), [3] Circular Economy Initiative Deutschland (2021); Bildquelle: [a]



# Zirkuläre Wirtschaftsmuster

Remanufacturing als industrieller Standard in Bezug auf Qualität und Garantie



In Anlehnung an: Khor & Udin (2012), Parker et al. (2015), Ellen MacArthur Foundation (2013), Benoy, et al. (2014), Tolio et al. (2017)

# Aktuell geprägt durch dezentrale, hoch-manuelle Standorte

Hohe Prozesskomplexität und unsichere Zustände erschweren Integration im Netzwerk

Linear



Zirkulär

Vielfalt der Varianten und Generationen 

Hohe Unsicherheit bzgl. Produktzustand 

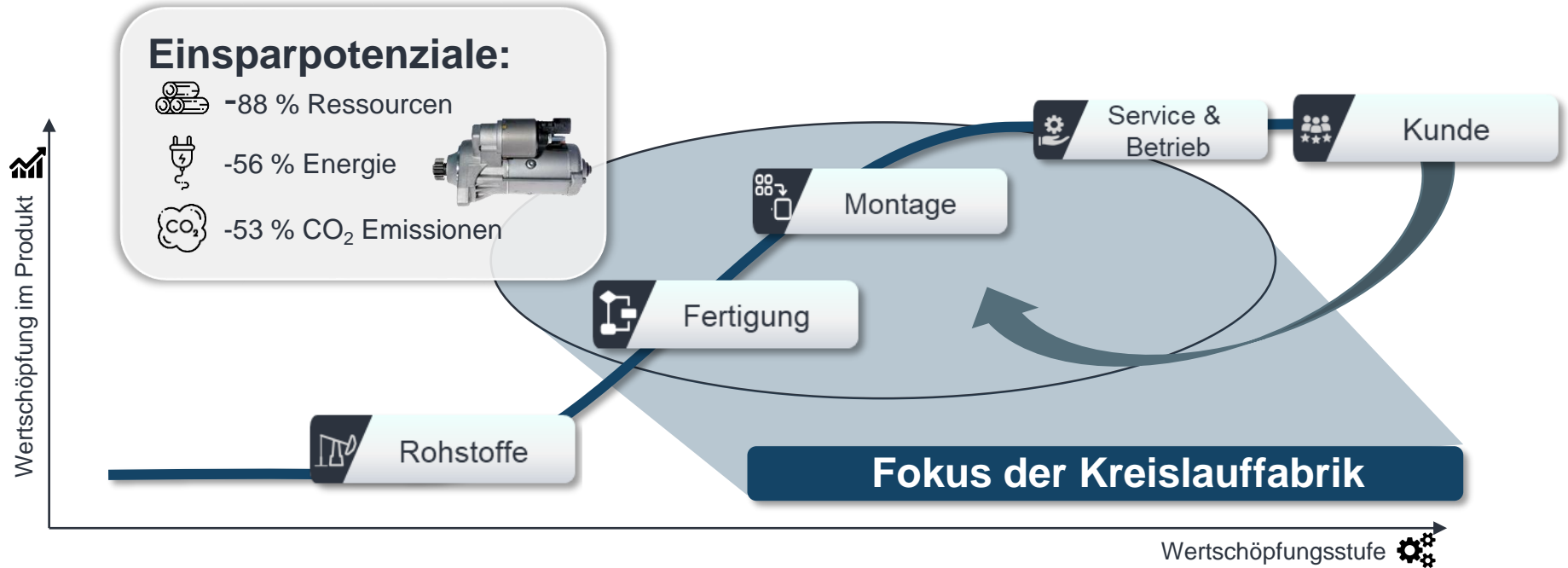
Fehlendes externalisiertes Wissen 



➤ Aufgrund von Komplexität und Unsicherheit wird **Remanufacturing** aktuell nur in **manuellen Prozessen** und **entkoppelt vom Netzwerk** an Standorten in **Niedriglohländern** durchgeführt.

# Sicherstellung des maximalen Erhalts der Wertschöpfung

Stoffzusammenhalt ermöglicht großes Einsparpotenzial

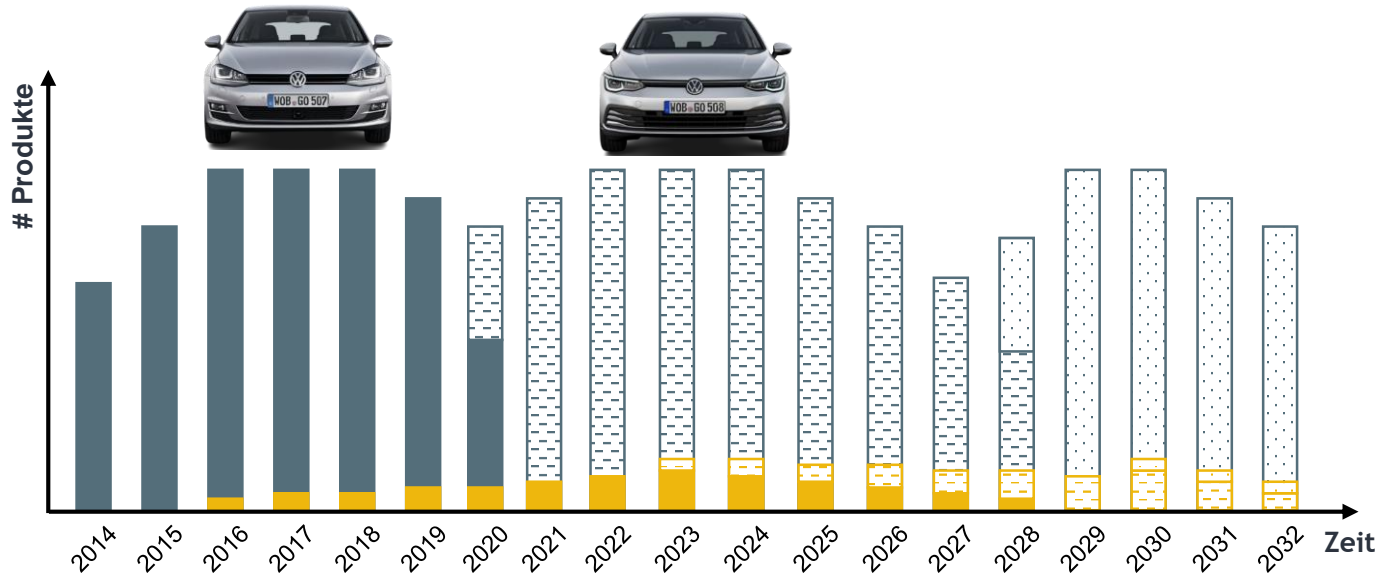


In Anlehnung an: Khor & Udin (2012), Parker et al. (2015), Ellen MacArthur Foundation (2013), Benoy, et al. (2014), Tolio et al. (2017)



# Erfolgreiches Remanufacturing bisher nur in Kleinserie

Schwierige Skalierung durch Dezentralität und kurze Produktlebenszyklen

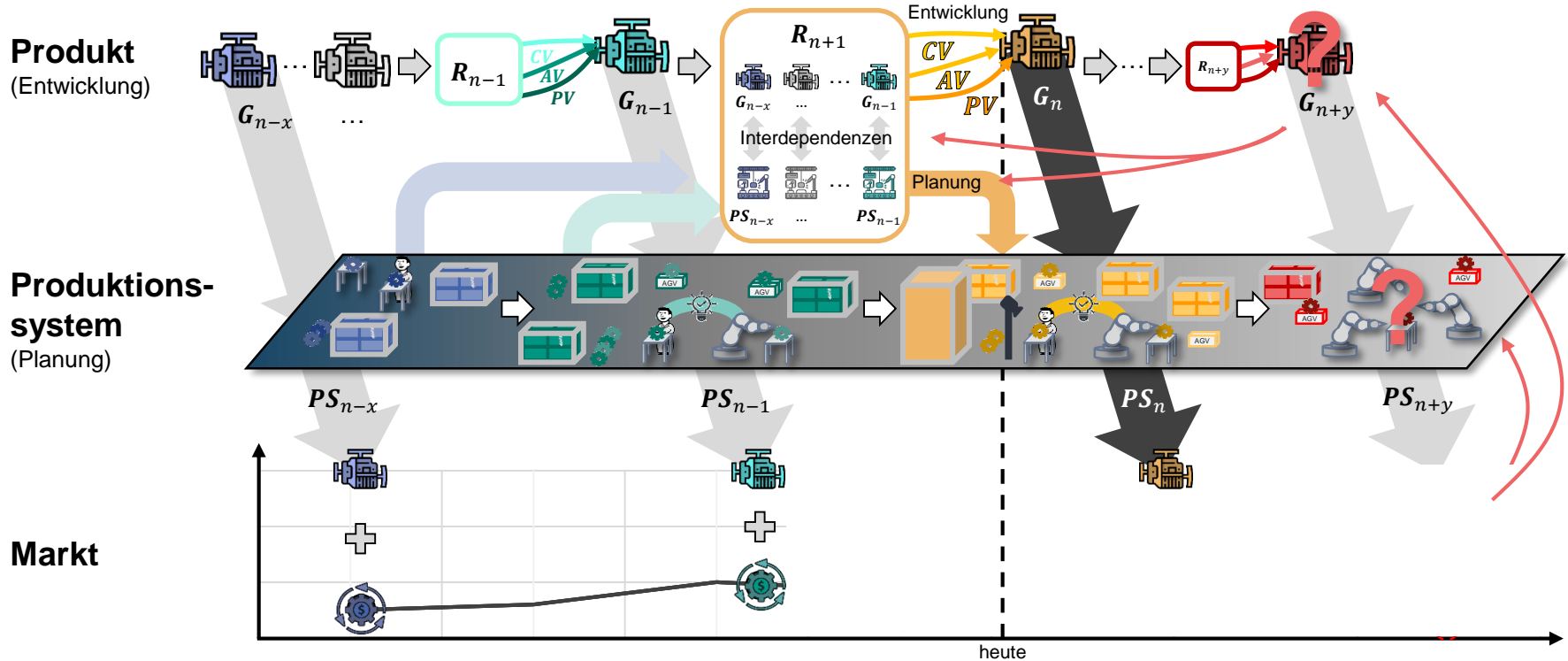


Remanufacturing  
Produkte  $G_{n-x}$

➤ **Remanufacturing** findet heute primär in **Kleinserie** und für den **After Market** statt. Eine erfolgreiche **Skalierung** über einzelne Standorte hinaus bedarf auch einer **Betrachtung des Produktdesigns**.

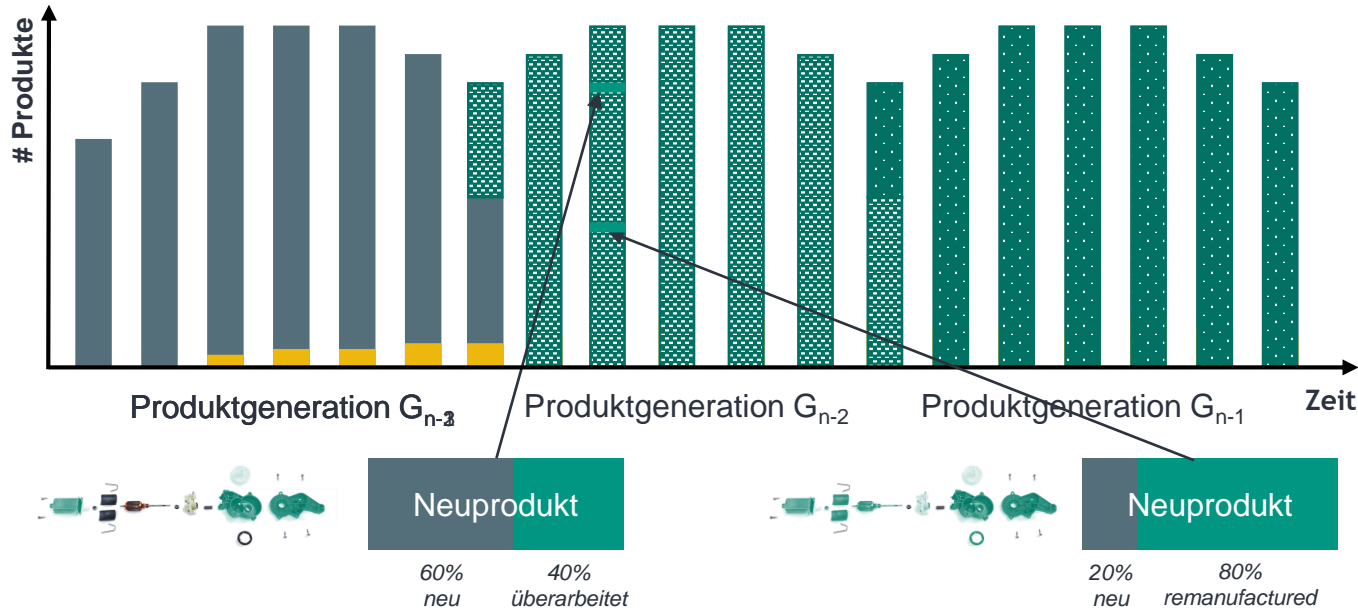
In Anlehnung an: Albers et al. (2015), Volkswagen AG (2023)

# Produkt-Produktions-CoDesign



  $G$  = Produktgeneration,   $PS$  = Produktionssystem,  = Business Model,  $R$  = Referenz System,  $\{CV, AV, PV\} = \{\text{Übernahme, Attribut, Prinzip}\}$  Variation

# Voraussetzung der Kreislaufproduktion in großem Maßstab ist eine generationenübergreifende Wiederverwendung und Erneuerung.



**Aufgearbeitete Produkte  $G_{n-x}$**

In Zukunft müssen **Teilsysteme und Komponenten** technologisch aktualisiert werden, um Produkte mit zirkulärem Mehrwert auf dem **Primärmarkt** zu etablieren.

Basierend auf: Tolio et al. (2017), Matsumoto et al. (2016)

# Produktionsprozesse werden komplexer und unsicherer


Jedes hergestellte Neuprodukt besitzt unikale Teilsysteme und Komponenten

Linear




Zirkulär

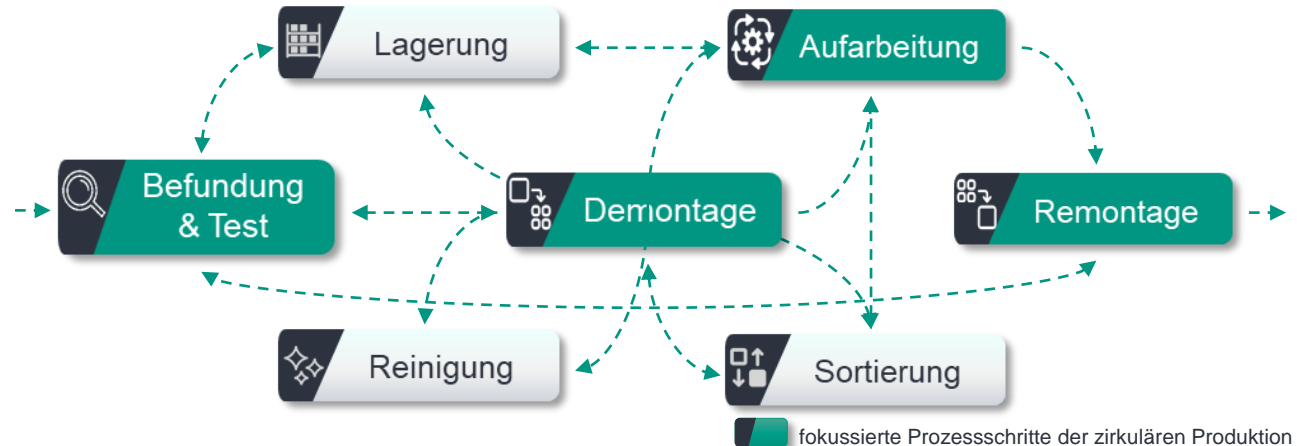

Vielfalt der Varianten und Generationen



Hohe Unsicherheit bzgl. Produktzustand



Fehlendes externalisiertes Wissen



➤ **Remanufacturing** fokussiert sich aktuell auf **einzelne Standorte**, wo Prozesse **hoch iterativ** und nur **schwer planbar** durchgeführt werden.

In Anlehnung an: Sundin (2004)



# Vision des „ewigen innovativen Produkts“

Maximaler Werterhalt durch Produkt-Produktions-CoDesign



➤ **Gebrauchte Produktinstanzen** (deren Teilsysteme, Komponenten) werden beständig in dieselbe oder eine neue Produktgeneration überführt. Somit wird eine **theoretisch ewige Produktnutzung** ermöglicht.

# Wie lassen sich Kreislauffabriken als Teil von zirkulären Produktionsnetzwerken integrieren?



# Globalen Produktion muss neu gedacht werden

Kreislaufproduktion bedingt neue Aufgaben für Strategie, Gestaltung und Management

- Zirkuläre Geschäftsmodelle
- Erweiterung des Produkt-Service-Portfolios
- Nachhaltigkeit als Teil der CSR



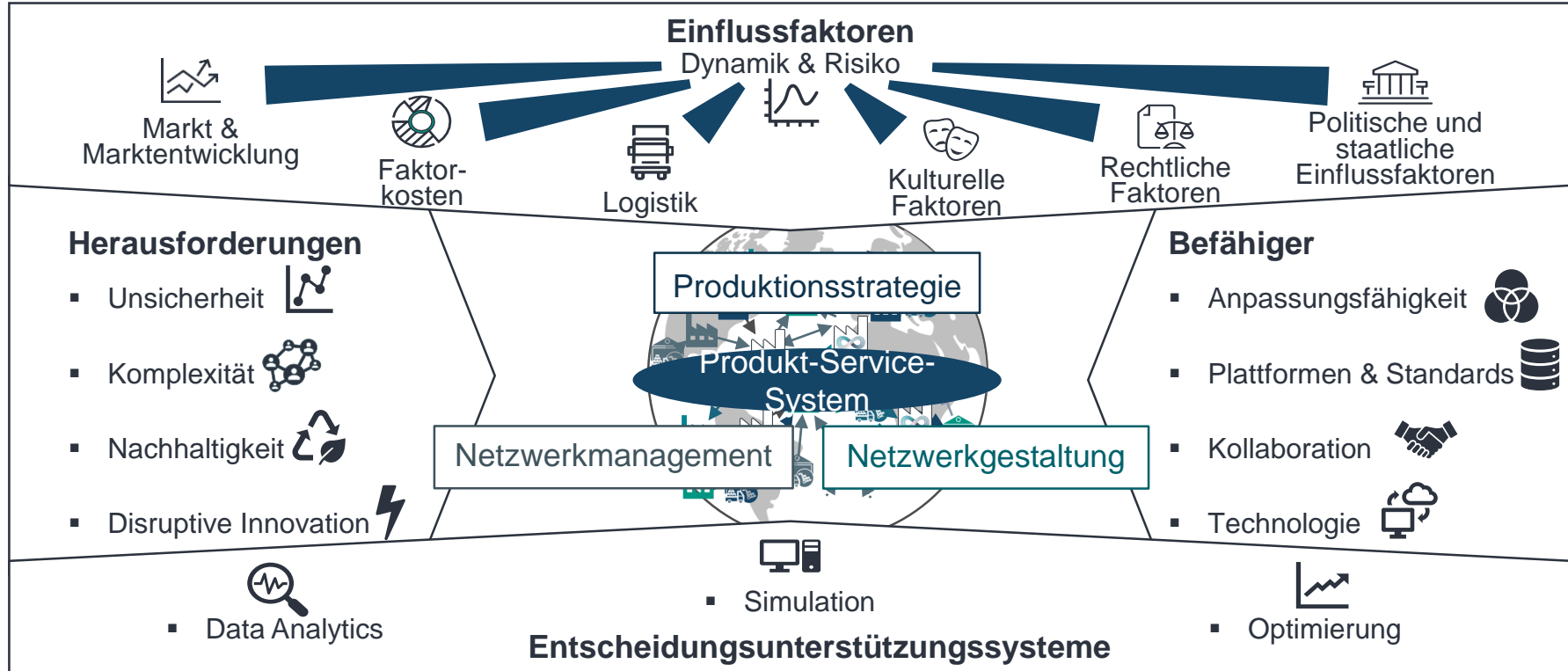
- Informationserfassung
- Rückführungslogistik
- Qualitäts- und verfügbarkeitsorientierte Beschaffung

- Robustheit, Resilienz & Wandlungsfähigkeit als Befähiger
- Integrierte lineare und zirkuläre Netzwerke

➤ **Aufgaben der Globalen Produktion werden um neue Aufgabenbereiche der Strategie, Gestaltung und des Managements zur Ermöglichung zirkulärer Produktionsnetzwerke erweitert**

# Methoden und Befähiger im Netzwerks bleiben die selben

Kreislaufproduktion an sich ändert lediglich den Kontext für Produktionsnetzwerke



Quelle: Lanza et al. (2019)



# Herausforderungen durch Recyclingmaterial und Cores

Hohe Variabilität von Cores & Recyclingmaterialien erschweren kontinuierlichen Einsatz



**Hohe Variabilität der Qualität und  
Reinheit der rückgeführten  
Materialströme bei unzureichender  
Information**

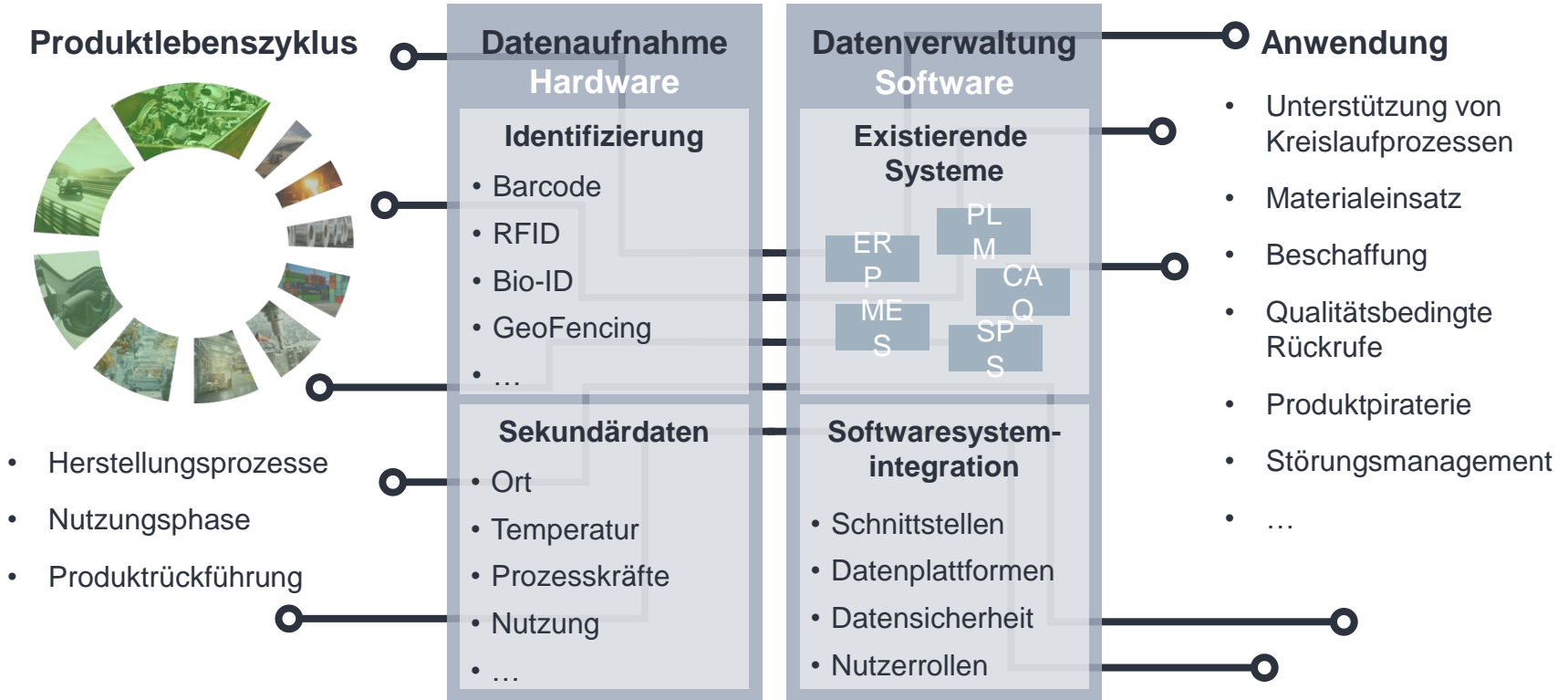


**Unzureichende Verfügbarkeit von  
rückgeführten Materialströmen in  
geeigneter Qualität verglichen mit  
Nachfrage in den jeweiligen Märkten**

Bildquelle: Sinclair Inc. (2019)

# Traceability-Systeme zur die Datenaufnahme und -verwaltung

Traceability als Enabler zur Durchführung und Steuerung einer Kreislaufproduktion



Quellen: PoTrace (2022), Benfer et al. (2020)

# Produktpässe als Enabler von Zirkularität komplexer Produkte

Digitale Produktpässe sind zunehmend verpflichtend bieten aber großes Potential

Home / News / Business / What to know about the EU's upcoming Digital Product Passport

## What to know about the EU's upcoming Digital Product Passport

Blogpost | 17.05.2023

Paving the way for the circular economy: The EU's  
Den Grundstein für die Kreislaufwirtschaft legen: Der Digitale Produkt

## Ökodesign: EU-Staaten beschließen digitalen Produktpass und Reparaturindex

Der EU-Rat hat die neue Ökodesign-Verordnung gebilligt. Produkte für den EU-Markt müssen Ressourcen sparen, langlebig, reparierbar und energieeffizient sein.

Home / Metal News / "Battery Passport" Imminent: Opportunity or Challenge?

## "Battery Passport" Imminent: Opportunity or Challenge?

🕒 Aug 1, 2023 10:06 Source: SMM

Laptops, Handys, Elektroautos

## Welche Regeln für Batterien künftig gelten

Stand: 14.06.2023 18:28 Uhr

Batterien sollen in der EU künftig langlebiger sein - und einfach austauschbar. Auch soll es Sammelquoten für ausgediente Akkus etwa von E-Bikes geben. Das hat das Europaparlament beschlossen.

FORBES > INNOVATION

## Digital Product Passports Are Coming: Here's How Fashion Companies Can Prepare

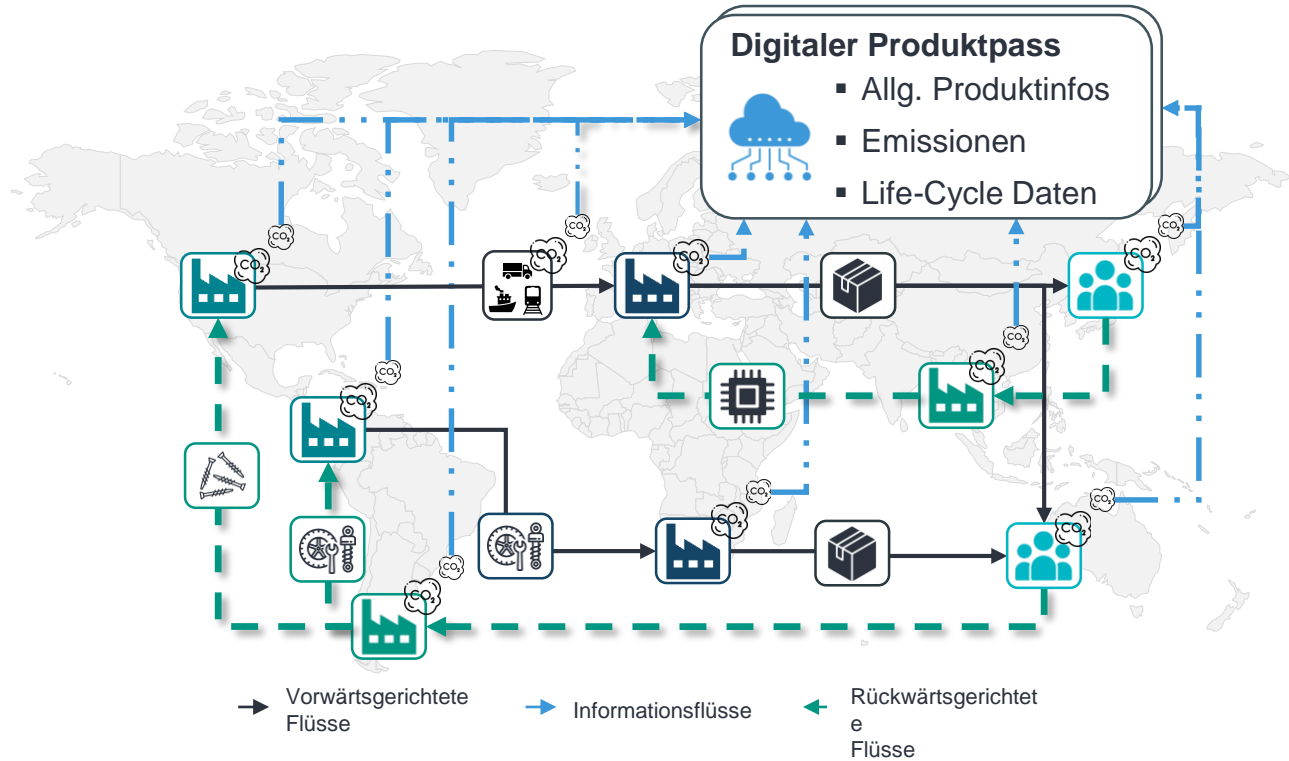
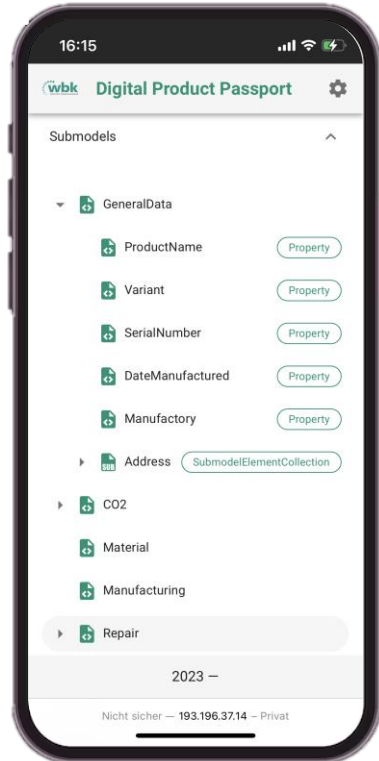


Madhava Venkatesh Raghavan Forbes Councils Member  
Forbes Technology Council COUNCIL POST | Membership (Fee-Based)

Quellen: Porsche (2019), thebatteryapp.eu (2023), SMM Information & Technology Co. (2023), FashionUnited (2023), Germanwatch e.V. (2023), tagesschau (2023), Heise (2023), Forbes (2024)

# Allgemeine Produktpässe als Enabler für viele Industrien

Um Potential zu nutzen braucht es branchenübergreifende und einfache Standards

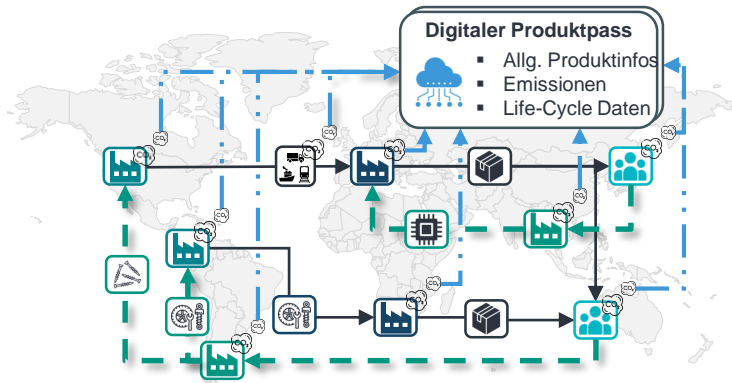


Quelle: Gleich et al. (2024), Hörger et al. (in press)



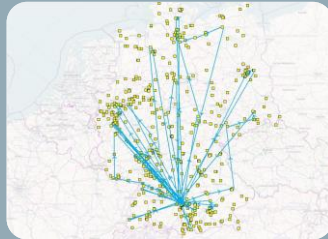
# Digitale Produktpässe als Enabler der globalen Produktion

Nutzung der Produktpass-Daten ermöglicht genauere Planung und Vorhersagen



## Kombination mit quantitativen Methoden

- Simulation
- Optimierung
- Data Analytics

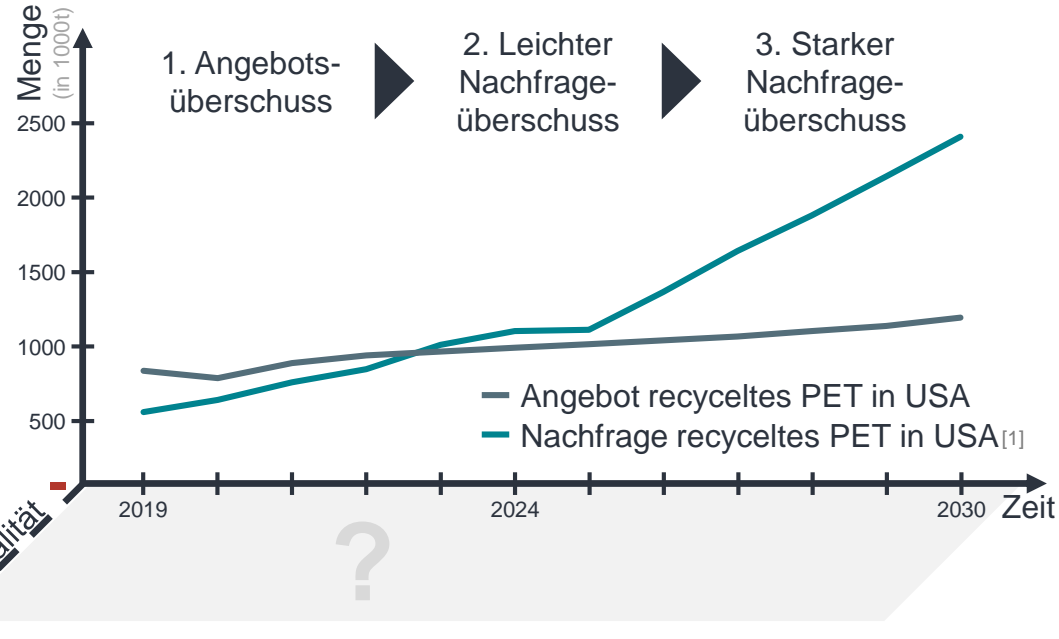
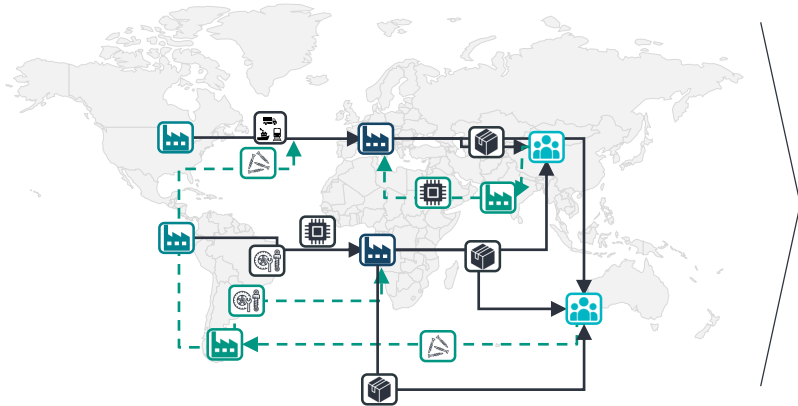


## Beschaffung Recyclingmaterial

- Optimierte Beschaffung und Auswahl von Recyclingmaterial
- Kombination von verschiedenen Lieferanten

# Angebot an Recyclingmaterial schon heute unzureichend

Unsichere Qualität erschwert Einsatz und Beschaffung von Recyclingmaterial zusätzlich



Die **variable Verfügbarkeit** von Recyclingmaterialien, sowie die **stochastische Qualität** dieser erhöhen die **Unsicherheit** weiter, wodurch die Planung und Steuerung diese Dimensionen berücksichtigen müssen

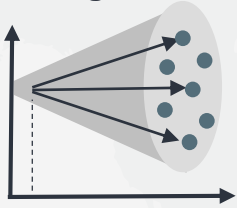
Quellen: [1] McKinsey (2023)

# Szenarienbildung zur Berücksichtigung von Unsicherheit

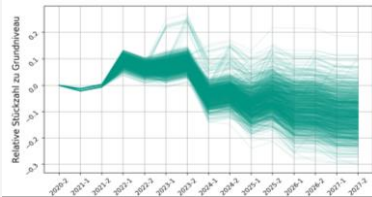
Zukunftsszenarien und Einbezug von Produktpassdaten zur verbesserten Planung

## Szenariogenerierung

Szenarioanalyse mittels  
Wandlungstreibern

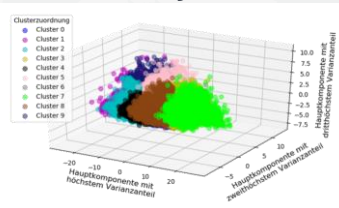


Monte-Carlo Simulation

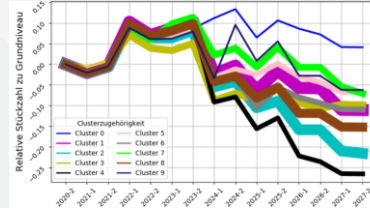


## Szenarioclustering

Hauptkomponenten-  
analyse



Szenarioclustering



## Optimierung / Simulation

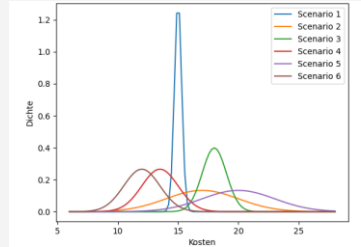
Gemischt-Ganzzahlige  
Optimierung /  
Ereignisdiskrete Simulation



- Herstellungskosten
- Aufbereitungskosten
- (Rückführungs-)  
Logistikkosten
  - Core-Akquisition
  - Sammeln
  - Sortieren
- Investitionskosten

## Ergebnisinterpretation & robuste Entscheidungen

Kostenanalyse



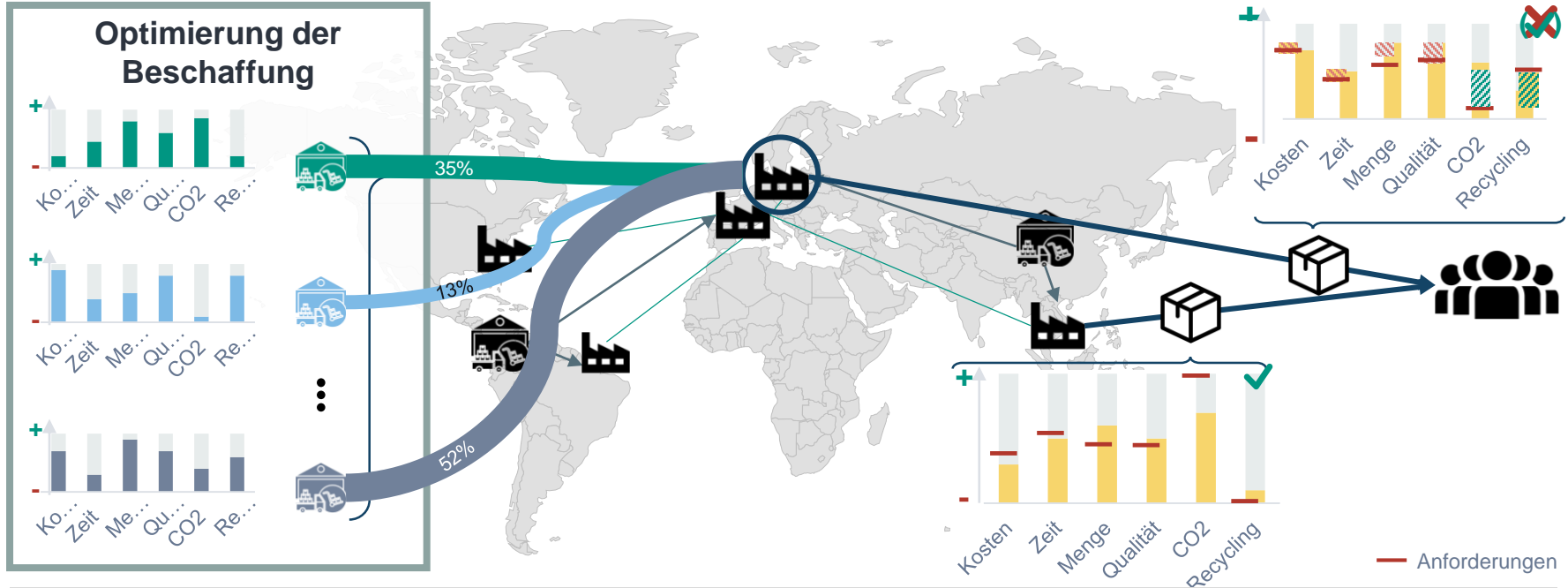
Robuste Entscheidung  
über Beschaffung und  
Materialeinsatz für  
Recyclingmaterial



Die Betrachtung **unterschiedlicher Szenarien** kann Unsicherheit in quantitative Modelle integrieren und **robustere Entscheidungen** bei unklaren Mengen- und Qualitätsverhältnissen ermöglichen

# Steigende Bedeutung der Beschaffung für die Produktion

Integrierte Beschaffung und gezielter Materialeinsatz zur kurzfristigen Erfüllung



➤ **Geeignete Beschaffung und Incentivierung der Lieferanten können neue Vorgaben kurzfristig ausreichend erfüllen. Bei steigenden Vorgaben in der Zukunft wird dies aber nicht ausreichen.**



## Transparenz und digitale Produktpässe als Enabler

für die Erfüllung von Regularien und zur Realisierung von zirkulären Produktionsnetzwerken



## Kurz- und mittelfristig steigender Recyclingfokus

durch eine gezielte Beschaffung, Incentivierung und Materialeinsatz zur Erfüllung neuer Vorgaben weltweit



## Langfristige Integration von Kreislauffabriken ins Netzwerk

zur Erfüllung steigender Anforderungen an rückgeführte Materialanteile bei zeitgleichem Erhalt vorhandener Wertschöpfung



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Forum Kreislaufwirtschaft und  
Produktionstechnologien 2024

14.05.2024

Wien, Österreich

Marvin Carl May

Tel.: +49 152 3950 2624; Mail: marvin.may@kit.edu



<https://www.sfb1574.kit.edu/index.php>

