

# Gestaltung zirkulärer Produktionsnetzwerke und Produktionsstrategien

Forum Kreislaufwirtschaft und Produktionstechnologien 2024

14.05.2024

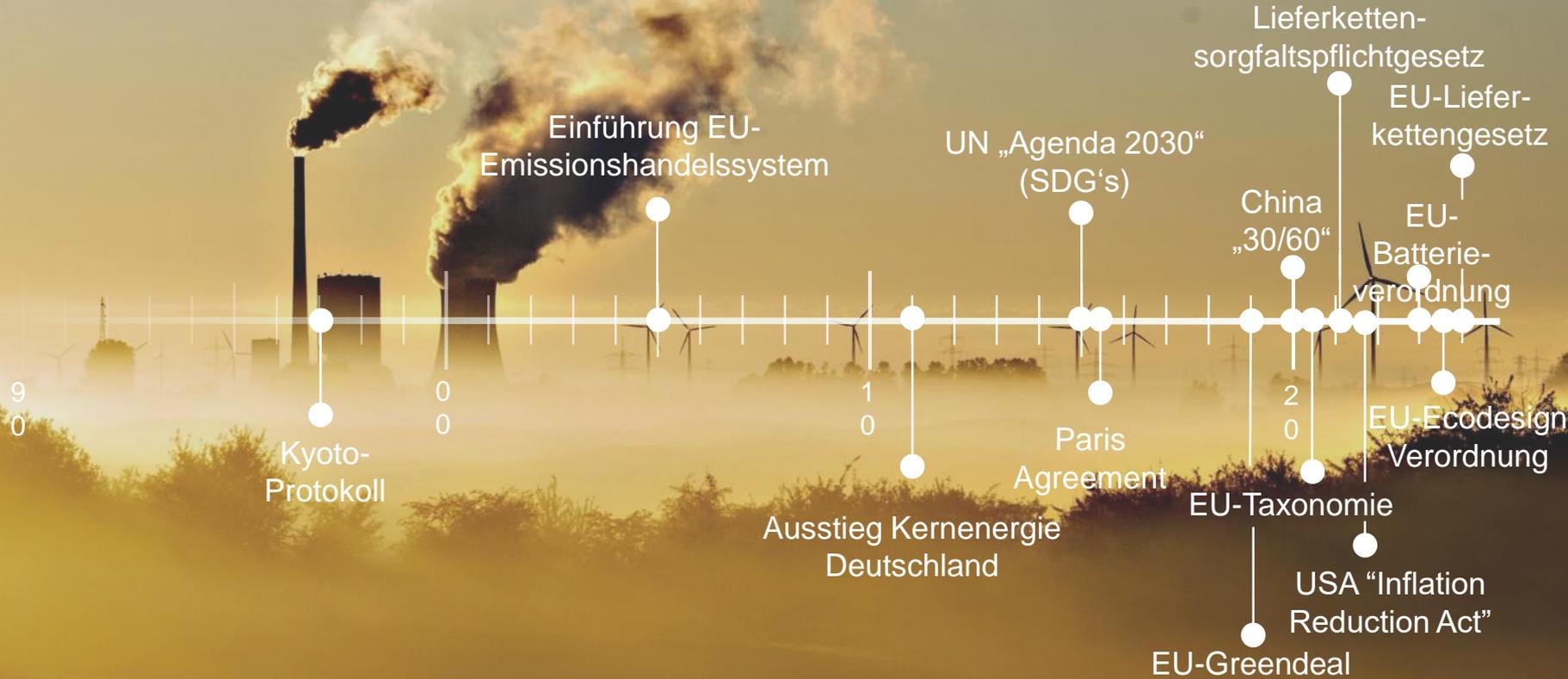
Wien, Österreich

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



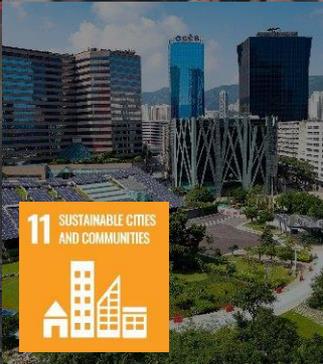
**8** DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH



**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. In the foreground, a white robotic arm with blue joints is positioned on the left. In the background, another similar robotic arm is visible. The scene is filled with various industrial components, including metal frames, cables, and machinery. The lighting is bright and even.

# GEWÄHRLEISTUNG NACHHALTIGER KONSUM- UND PRODUKTIONSMUSTER

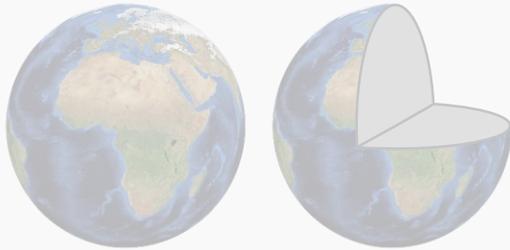
12 RESPONSIBLE  
CONSUMPTION  
AND PRODUCTION



# Entkopplung von Wohlstand und Ressourcenverbrauch

Lineare Wirtschaftsmuster müssen überdacht werden

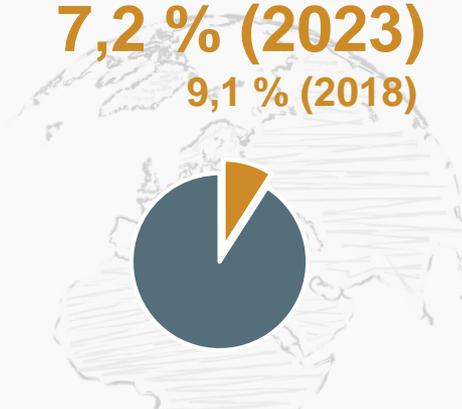
## 1,70 Erden



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

[1]

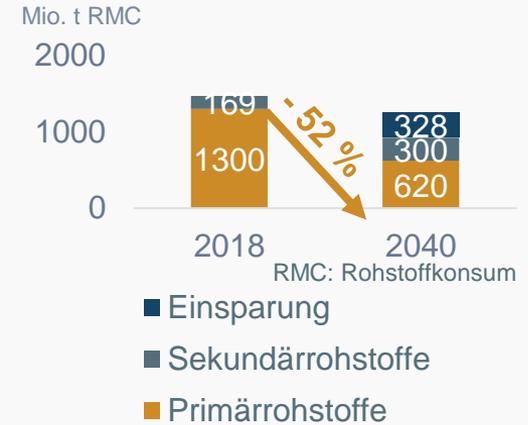
## 7,2 % (2023) 9,1 % (2018)



des weltweiten Gesamtmaterialereinsatzes sind **Sekundärmaterialien**.

[2]

## Circular Economy Potential Deutschland



[3]

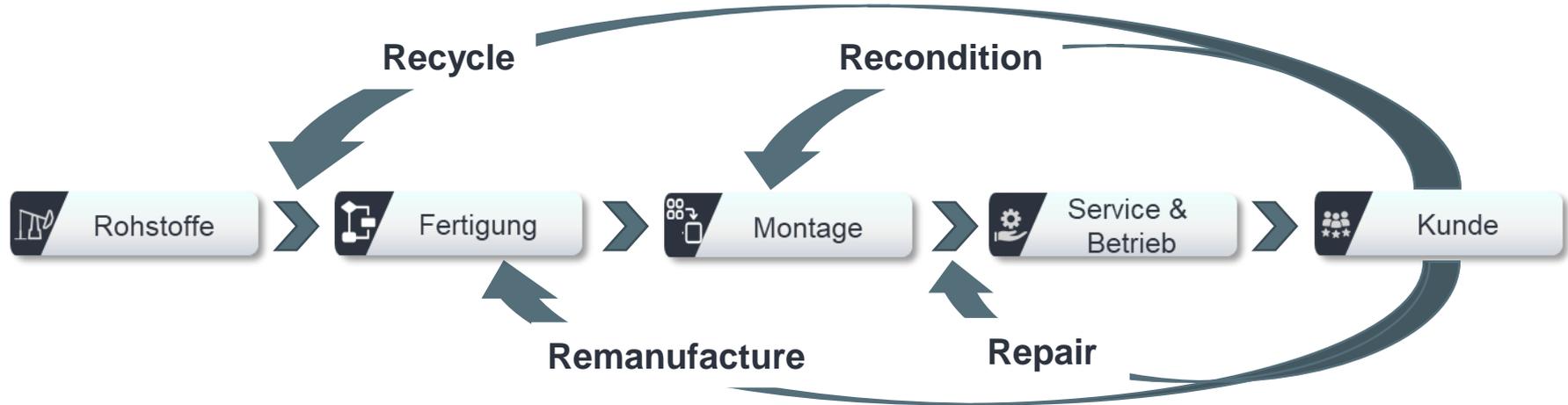


**Kreislaufwirtschaft** als Befähiger zur **Erreichung politischer Vorgaben** und der **Entkopplung** von **Wohlstand** und Ressourcenverbrauch.

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



Vielfalt der  
Varianten und  
Generationen



Hohe Un-  
sicherheit bzgl.  
Produktzustand



Fehlendes  
externalisiertes  
Wissen

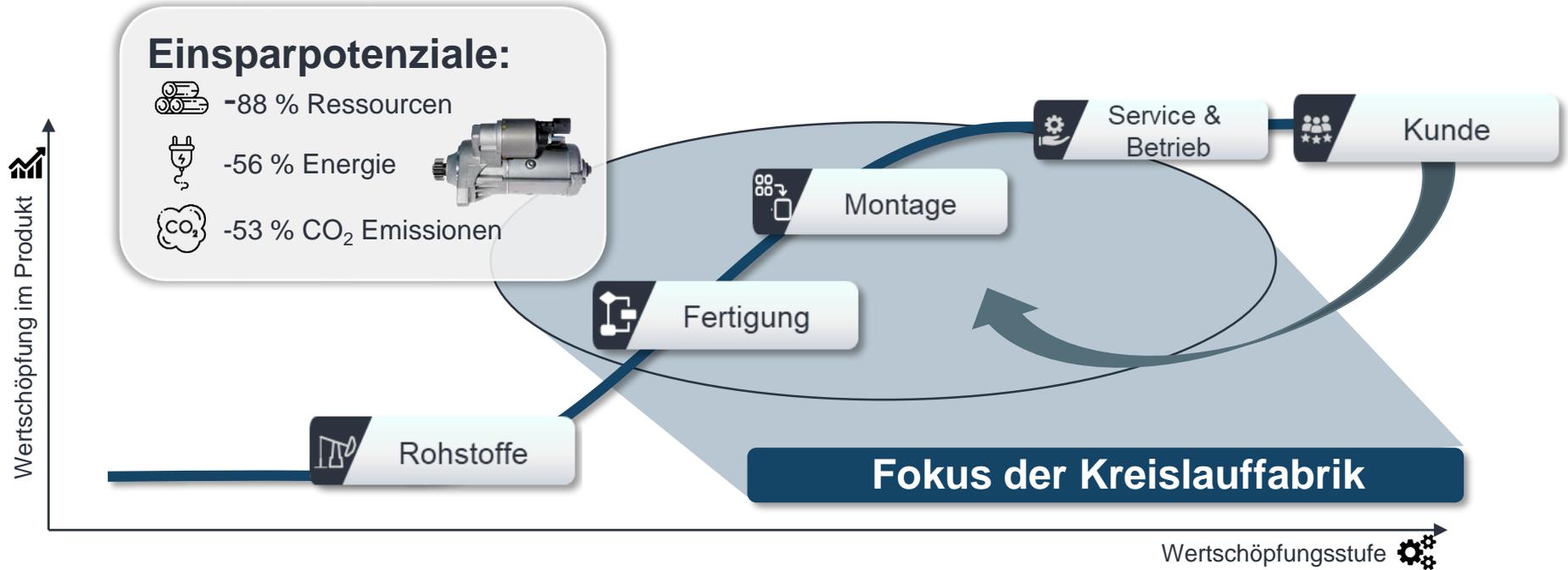


Zirkulär

➤ 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

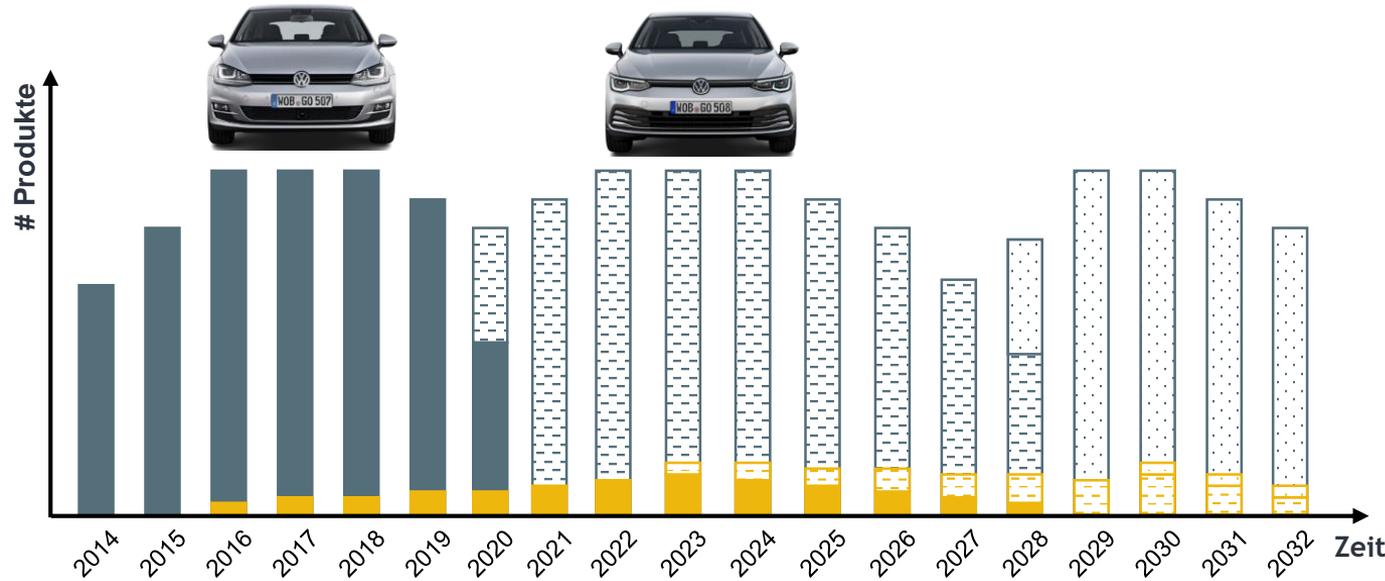
Stoffzusammenhalt ermöglicht großes Einsparpotenzial



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

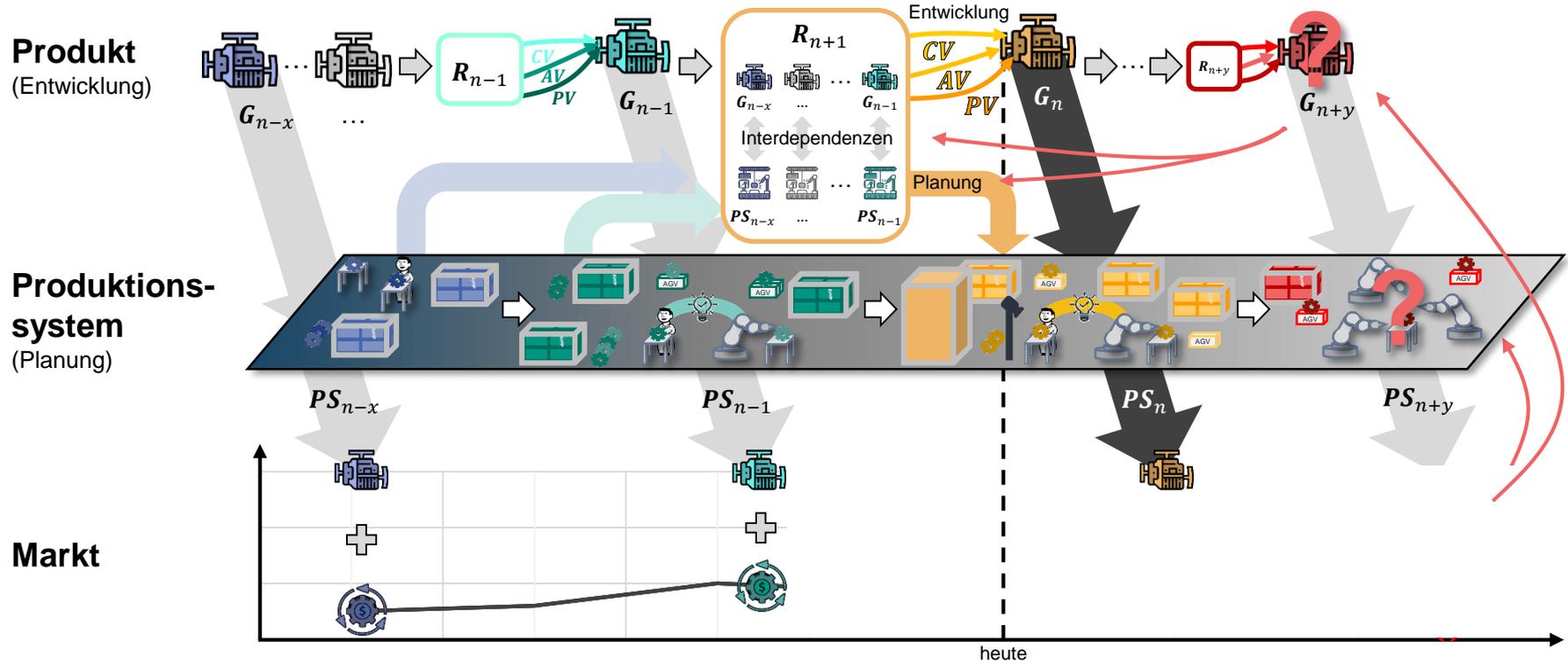


Remanufacturing  
Produkte  $G_{n-x}$

➤ **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**.

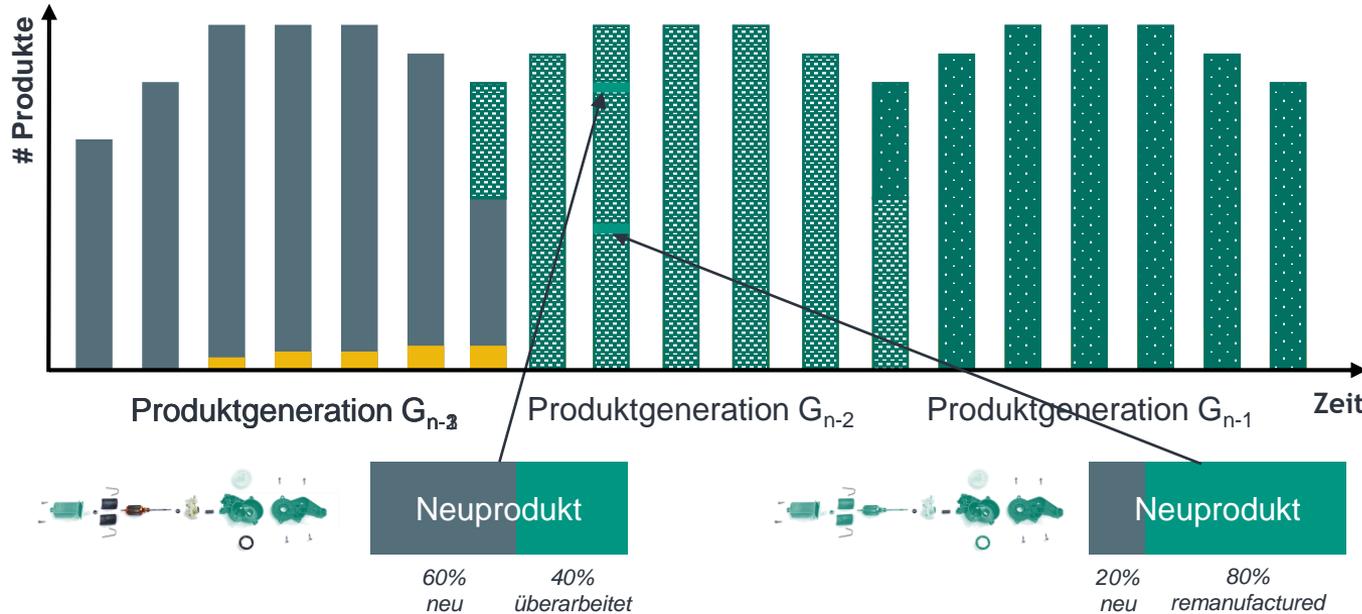
In Anlehnung an: Albers et al. (2015), Volkswagen AG (2023)

# 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

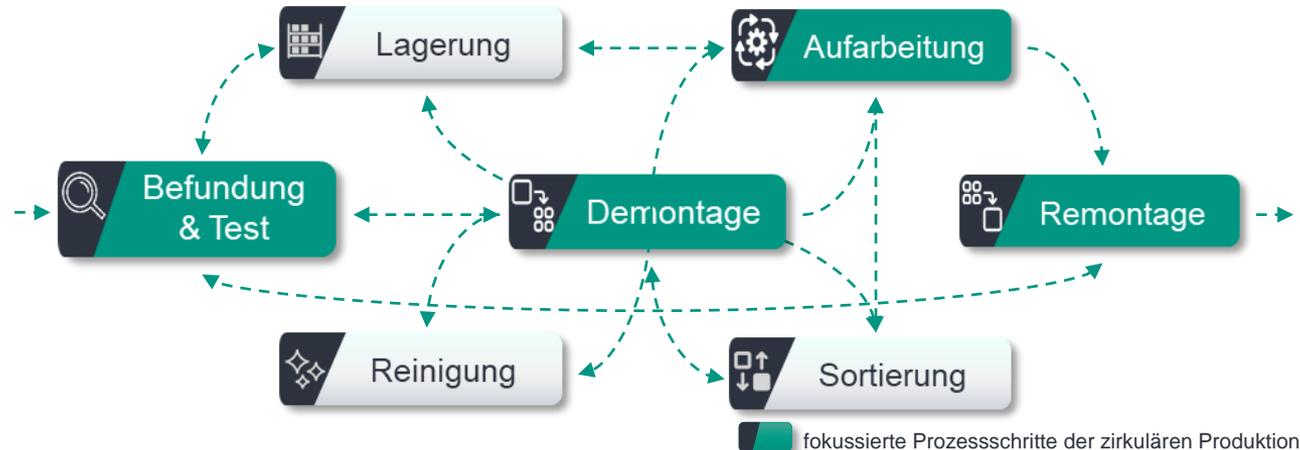
Vielfalt der Varianten und Generationen



Hohe Unsicherheit bzgl. Produktzustand



Fehlendes externalisiertes Wissen



 fokussierte Prozessschritte der zirkulären Produktion

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

In Anlehnung an: Sundin (2004)

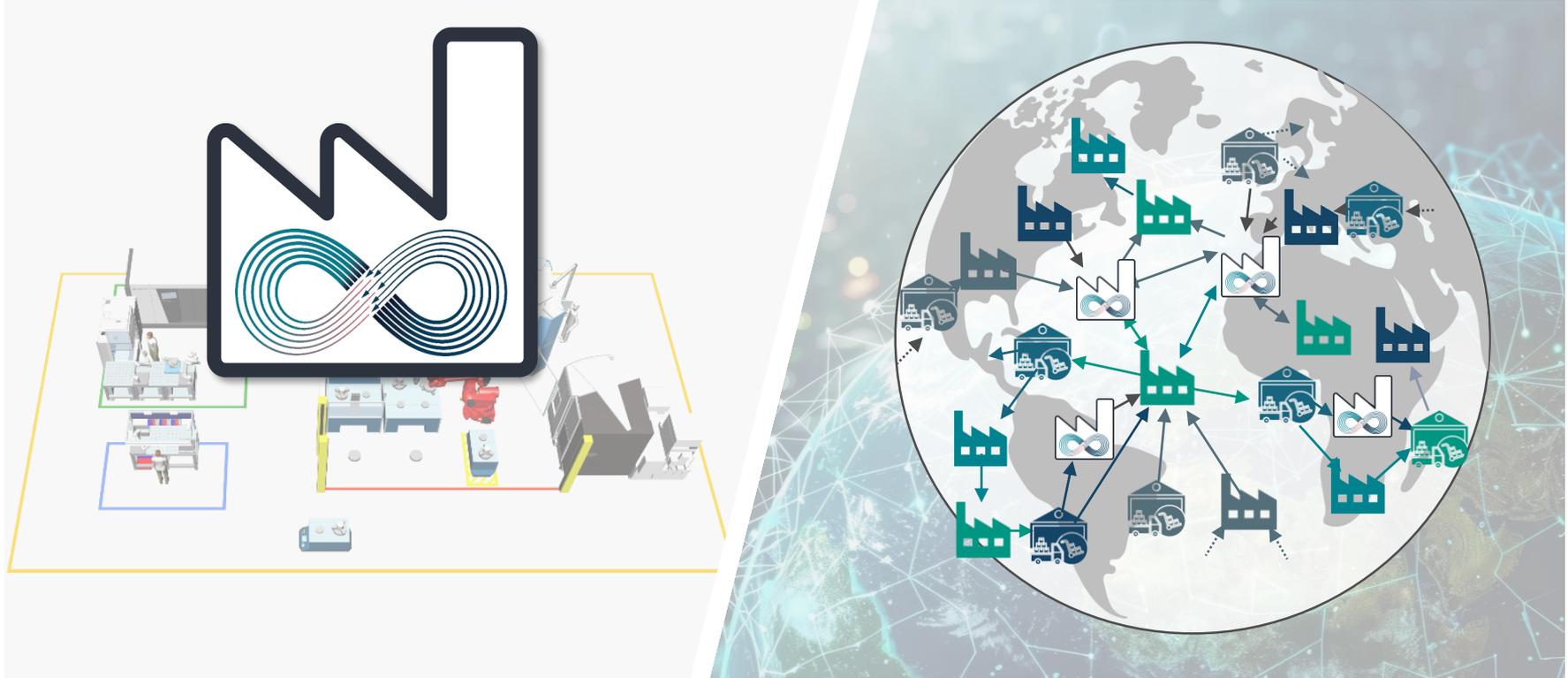
# Vision des „ewigen innovativen Produkts“

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.

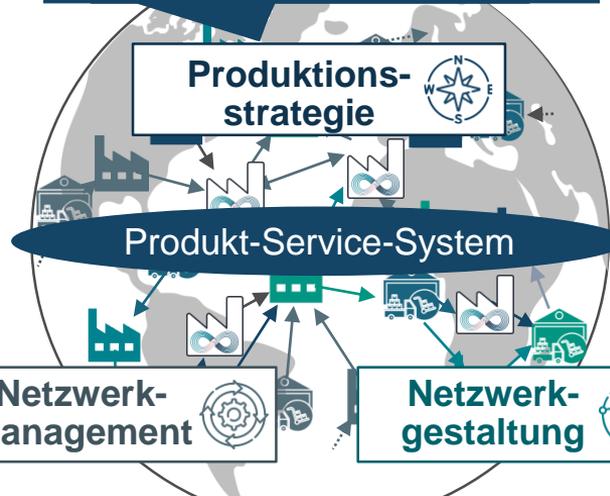
# Wie lassen sich Kreislauffabriken als Teil von zirkulären Produktionsnetzwerken integrieren?



# 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



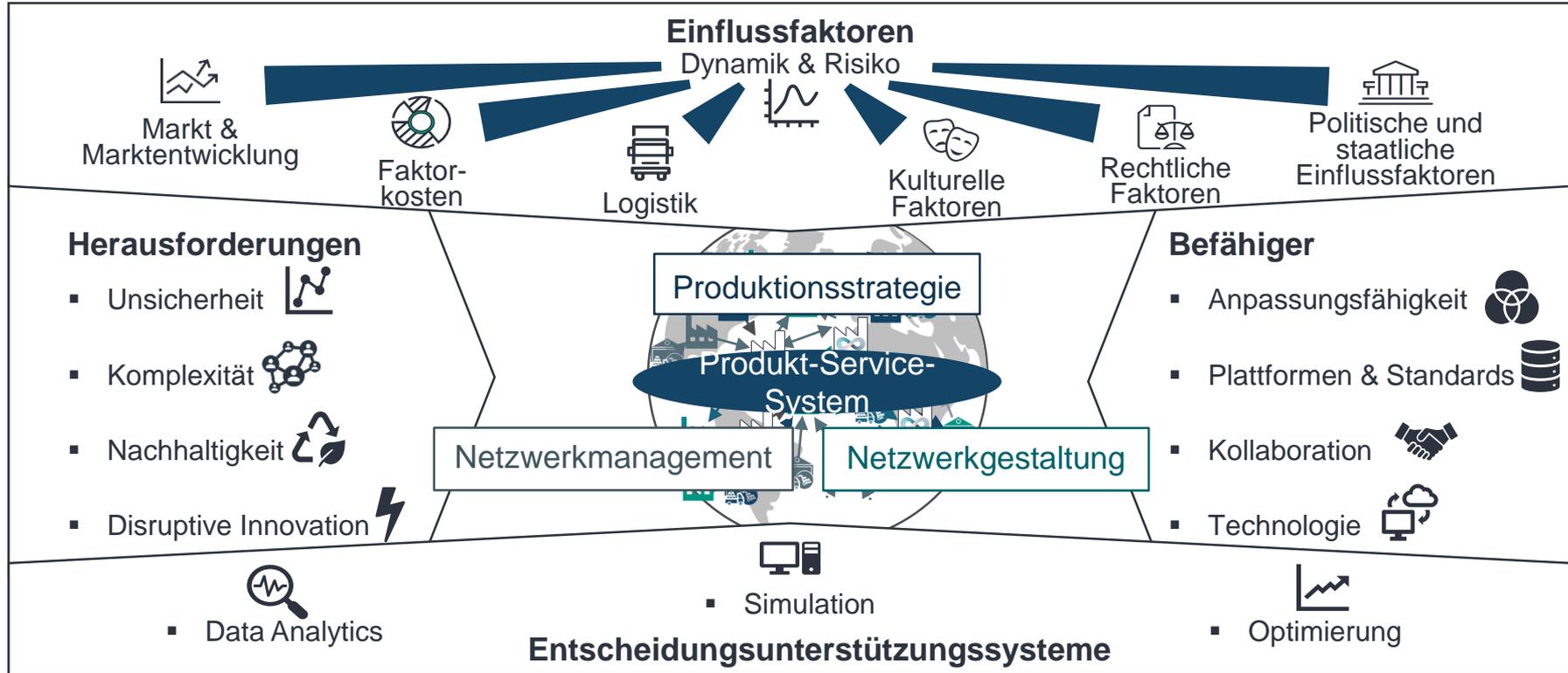
- Informationserfassung
- Rückführungslogistik
- Qualitäts- und verfügbarkeitsorientierte Beschaffung

- 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**

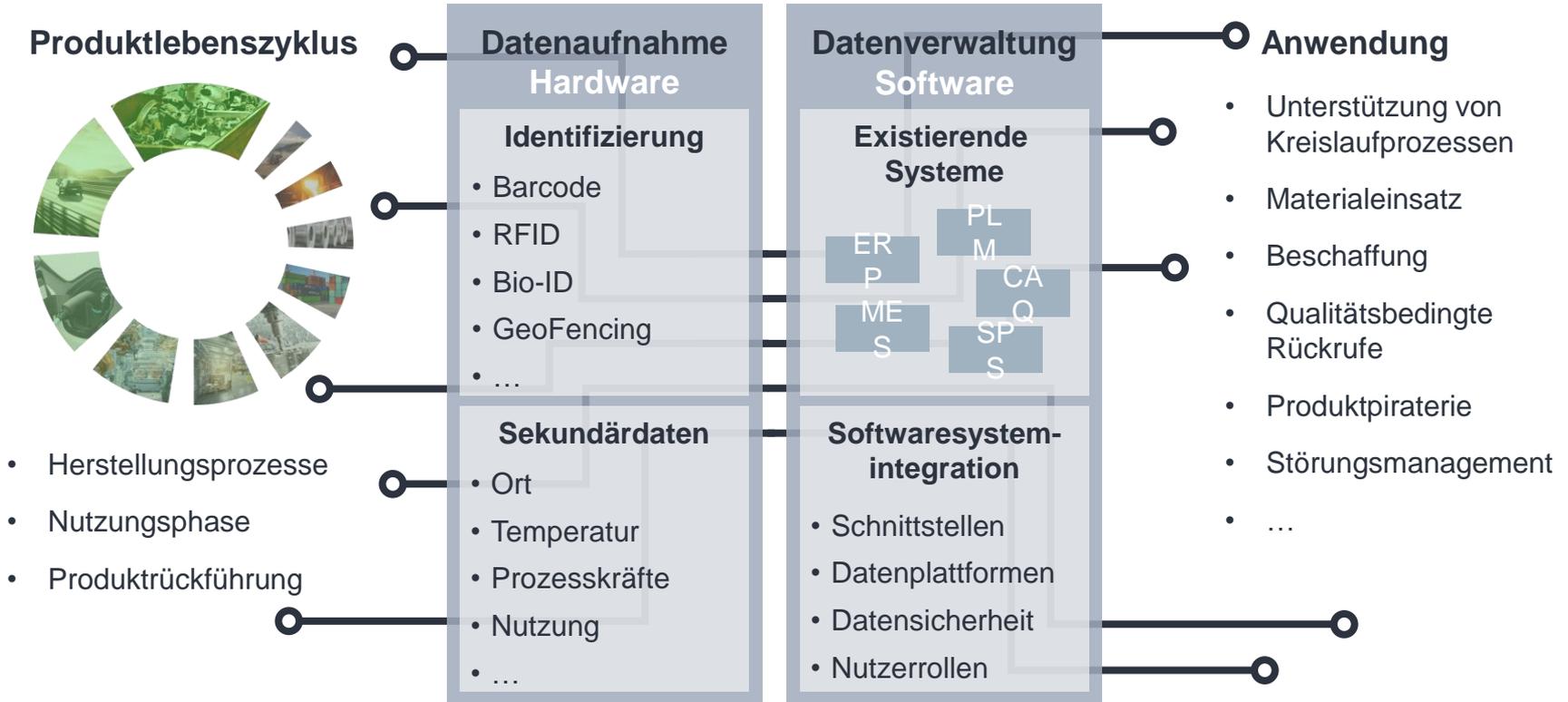


**Unzureichende Verfügbarkeit von  
rückgeführten Materialströmen in  
geeigneter Qualität verglichen mit  
Nachfrage in den jeweiligen Märkten**

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

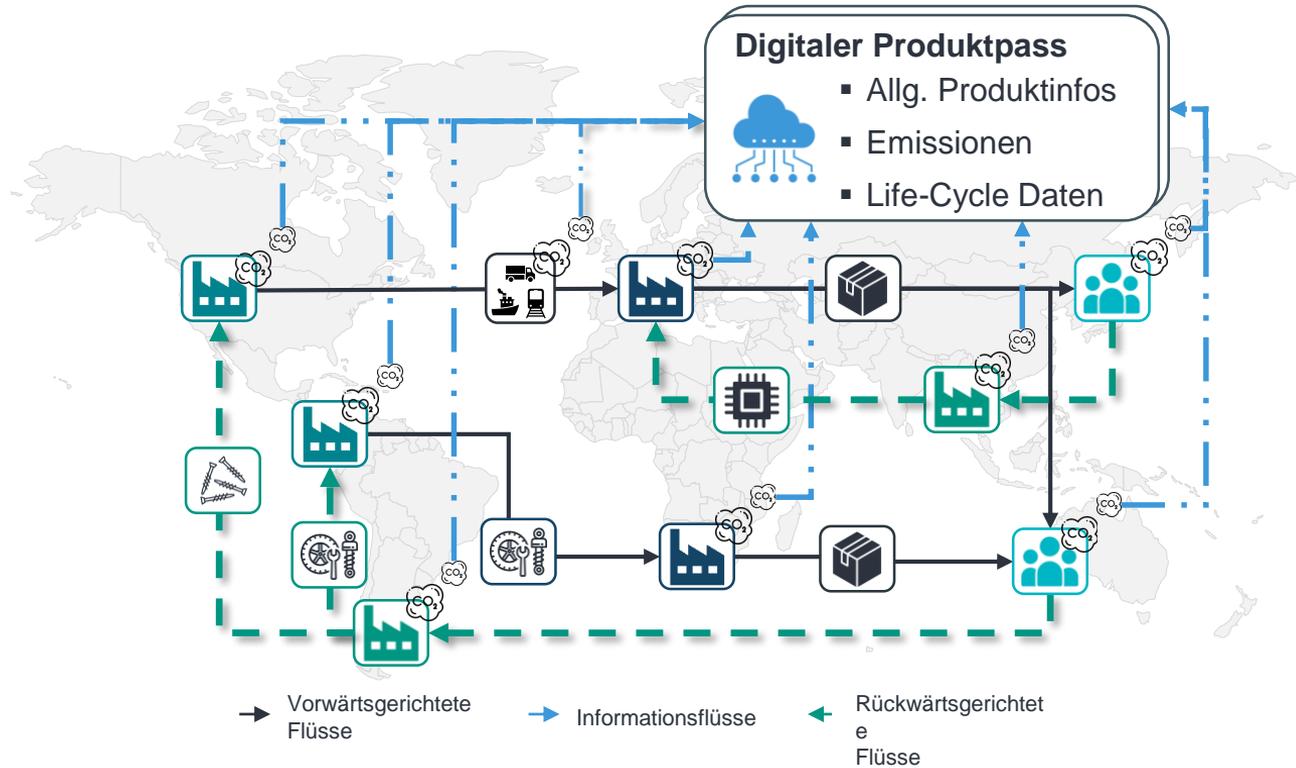
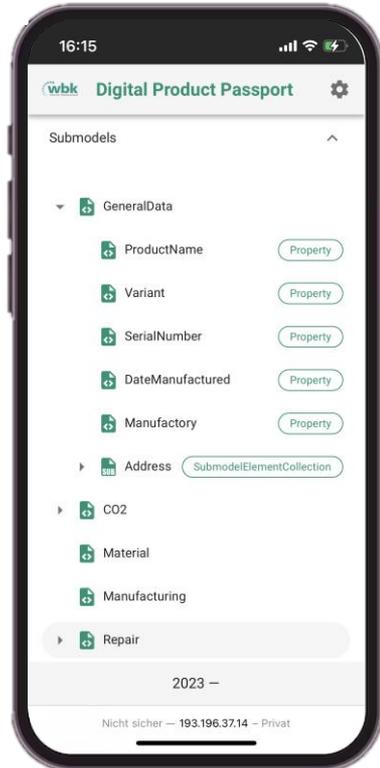


Madhava Venkatesh Raghavan Forbes Councils Member  
Forbes Technology Council COUNCIL POST | Membership (Fee-Based)

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

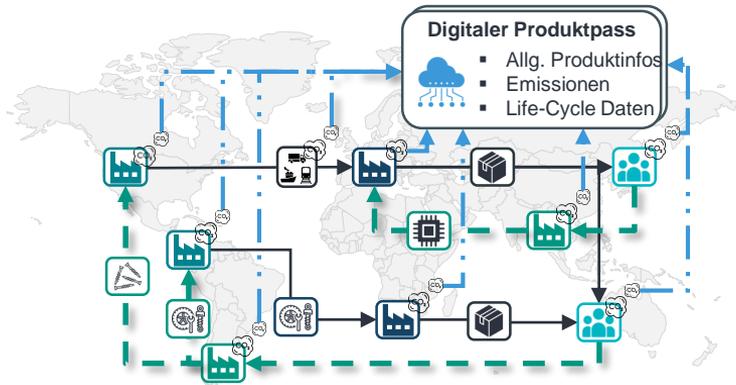
Um Potential zu nutzen braucht es branchenübergreifende und einfache Standards



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

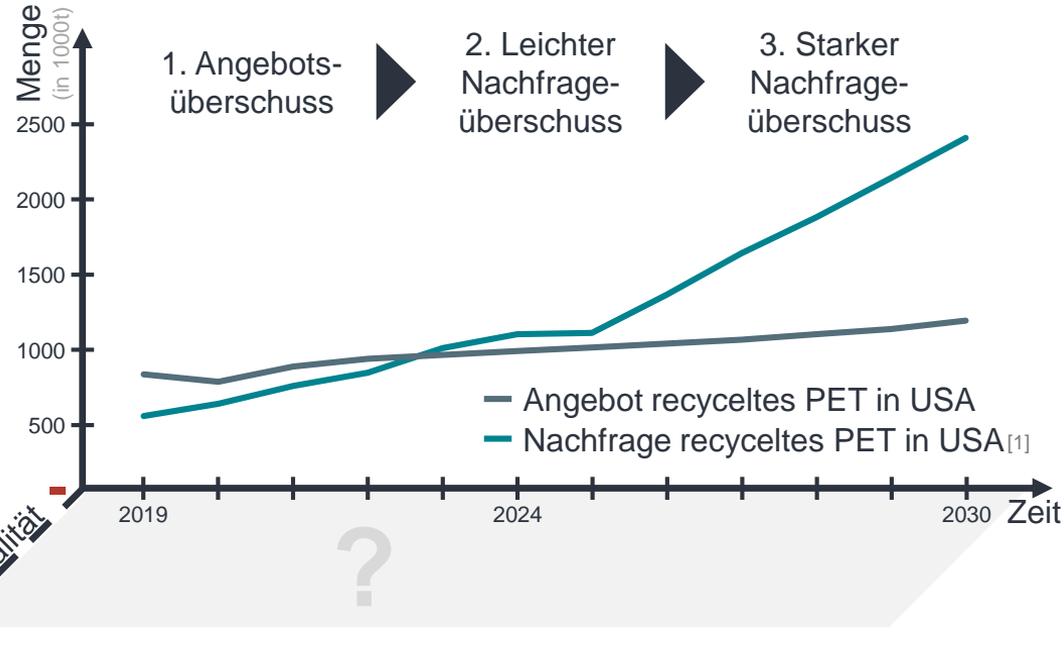
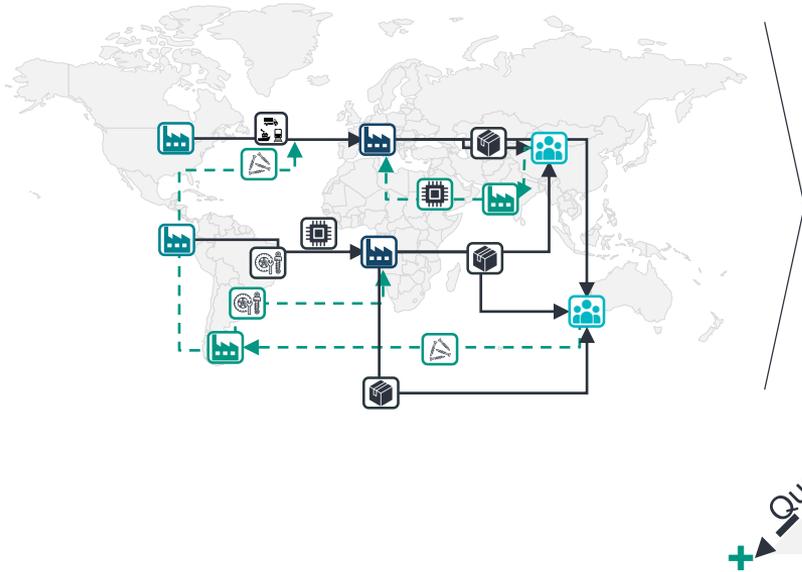


## Beschaffung Recyclingmaterial

- 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

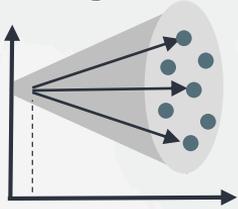
Quellen: [1] McKinsey (2023)

# Szenarienbildung zur Berücksichtigung von Unsicherheit

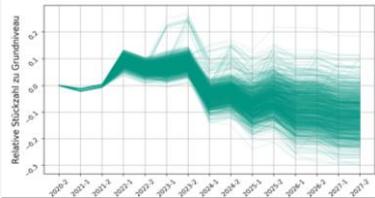
Zukunftsszenarien und Einbezug von Produktpassdaten zur verbesserten Planung

## Szenariogenerierung

Szenarioanalyse mittels  
Wandlungstreibern

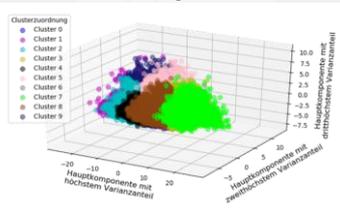


Monte-Carlo Simulation

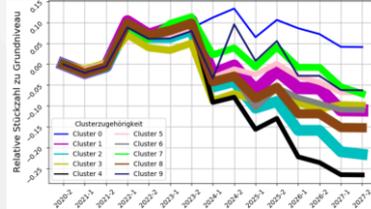


## Szenarioclustering

Hauptkomponenten-  
analyse



Szenarioclustering



## Optimierung / Simulation

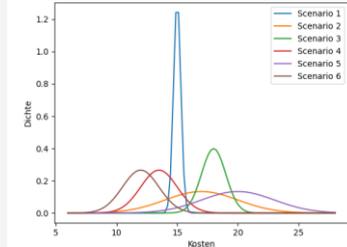
Gemischt-Ganzzahlige  
Optimierung /  
Ereignisdiskrete Simulation



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

## Ergebnisinterpretation & robuste Entscheidungen

Kostenanalyse



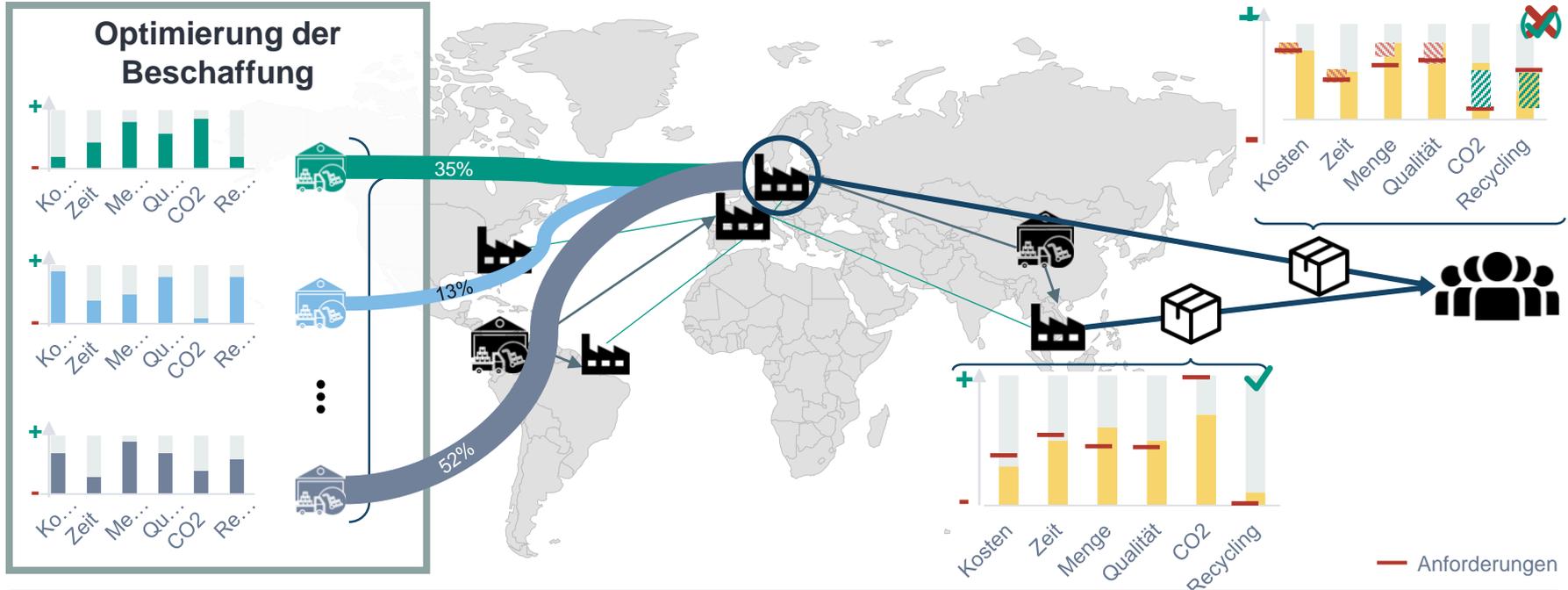
Robuste Entscheidung  
über Beschaffung und  
Materialeinsatz für  
Recyclingmaterial



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>

