

doi.org/10.37544/1436-4980-2026-01-02-59  
Datum der Einreichung: 12.11.2025  
Datum der Annahme: 09.01.2026  
Datum der Veröffentlichung: 27.02.2026

Globale Produktionsnetzwerke resilient und nachhaltig ausrichten, gestalten und führen

# Produktionsnetzwerke erfolgreich gestalten

B. Janssen, L. Hauser, T. Walter, K. Böttger, S. Schmitz, G. Schuh

**ZUSAMMENFASSUNG** Angesichts externer Volatilität und steigender Anforderungen an Resilienz und Nachhaltigkeit müssen globale Produktionsnetzwerke kontinuierlich und ganzheitlich gestaltet werden. Hierfür wird eine integrierte Vorgehensweise über die strategische, taktische und operative Ebene der Netzwerkgestaltung vorgestellt, um einen kontinuierlichen Entwicklungsprozess zur ermöglichen. Strategisch müssen die Ziele der Nachhaltigkeit und Resilienz in die langfristigen Leistungsziele des Netzwerkes integriert werden, was die Definition von Gestaltungsrichtlinien und die Anpassung von Netzwerk-Phänotypen erfordert. Taktisch erfolgt die datengestützte Gestaltung und Bewertung von Netzwerkszenarien, wobei Resilienz und Nachhaltigkeit systematisch in die Bewertung einfließen. Operativ sichern ein globaler Leitstand zur datengetriebenen Frühwarnung sowie das systematische Migrationsmanagement die agile Steuerung und die adaptive Umsetzung der Netzwerkkonfiguration, wodurch die Kontinuität der Gestaltung gewährleistet wird.

## Designing successful production networks

**ABSTRACT** With external volatility and growing demands for resilience and sustainability, global production networks need to be designed in a continuous and holistic way. To make this happen, we're introducing an integrated approach across the strategic, tactical, and operational levels of network design to enable a continuous development process. Strategically, the goals of sustainability and resilience must be integrated into the long-term performance goals of the network, which requires the definition of design guidelines and the adaptation of network phenotypes. Tactically, network scenarios are designed and evaluated on the basis of data, with resilience and sustainability systematically incorporated into the evaluation. Operationally, a global control center for data-driven early warning and systematic migration management ensure agile control and adaptive implementation of the network configuration, thereby guaranteeing continuity of design.

### STICHWÖRTER

Produktionsnetzwerk, Nachhaltigkeit, Resilienz

## 1 Einleitung und Motivation

Die Wertschöpfungsketten produzierender Unternehmen sind heute geografisch verteilt und als globale Produktionsnetzwerke (GPN) ausgelegt. [1] Diese Entwicklung ist durch die Realisierung von Wettbewerbsvorteilen wie Zugängen zu vorteilhaften Produktionsgegebenheiten sowie Ressourcen und Märkten begründet. [2] Durch die Nutzung lokaler Opportunitäten bei gleichzeitiger unstrukturierter Entwicklung des Gesamtnetzwerkes entstehen oft historisch gewachsene Strukturen, die weit hinter den Potenzialen des GPN, wie Skaleneffekte und Ressourceneffizienz zurückbleiben. [3]

Der Fokus produzierender Unternehmen wurde historisch vorwiegend auf die Optimierung von einzelnen Standorten beziehungsweise. Fabriken gelegt. Lokale Produktivitätssteigerungen stoßen jedoch zunehmend an ihre Optimierungsgrenzen ohne den Fokus auf die Hebel des GPN als Gesamtsystem. [4] Obwohl die Entscheidungen, die im Rahmen der Ausrichtung und Gestaltung von GPN getroffen werden, langfristige Auswirkungen auf die produzierenden Unternehmen haben, fehlt es in vielen Fällen an einer integrierten Planung des GPN. [5] Die Vielzahl an inter-

nen und externen Einflussfaktoren sowie die notwendige Bewertung aller Einzelanpassungen im GPN geht mit einem hohen Planungsaufwand einher und wird als herausfordernd angesehen. [6] Weitere Gründe liegen in der Vielzahl an globalen externen Faktoren, wie Handelsbeschränkungen, geopolitische Konflikte oder Nachhaltigkeitsanforderungen, die im Umfeld der Produktionsnetzwerke für ständig wechselnde Rahmenbedingungen sorgen. Diese sind schwer vorherzusehen und erhöhen die Anforderungen an die Ausrichtung und Gestaltung von GPN. [3]

Insbesondere disruptive Ereignisse demonstrieren die Unsicherheiten, denen GPN regelmäßig unterliegen. Hierunter fallen beispielsweise die Auswirkungen geopolitischer Konflikte wie dem russischen Angriffskrieg auf die Ukraine oder Handelskonflikte, wie sie zwischen den USA und China bestehen. [7] Sie zeigen auf, dass neben der wirtschaftlichen, auch die resiliente Gestaltung von GPN ein zentrales Element für den Erhalt der Wettbewerbsposition von Unternehmen darstellt. Demgegenüber stehen langfristige Einflüsse auf die strategische Ausrichtung von GPN, unter denen insbesondere die Nachhaltigkeitstransformation eine zentrale Stellung einnimmt. Die Berücksichtigung von ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsaspekten stellt eine

**Bild 1.** Ebenen der kontinuierlichen Netzwerkgestaltung. Grafik: RWTH Aachen



wachsende Relevanz für Unternehmen dar und erfordert ein Umdenken bei der zukünftigen Gestaltung des Netzwerks. [8] Insbesondere die Anforderungen der Upgrade Circular Economy, welche im Gegensatz zur klassischen Circular Economy eine kontinuierliche Wertsteigerung durch die Integration von Produktupgrades anstrebt, stellen zusammen mit der dafür erforderlichen Reverse Logistik einen wesentlichen Veränderungstreiber für globale Produktionsnetzwerke dar. Für die Umsetzung müssen neue Kompetenzen aufgebaut und ausreichende Rückführungsvolumina sichergestellt werden, damit Economies of Scale realisiert werden können. [9] Lange Zeit erfolgte die Gestaltung von Produktionsnetzwerken in einem einmaligen Prozess. Um auf veränderte Rahmenbedingungen und Herausforderungen schneller reagieren zu können, ist eine kontinuierliche Netzwerkgestaltung erforderlich. Das bedeutet, dass Entscheidungen über den Netzwerk-Footprint nicht einmalig getroffen werden, sondern in jährlichen Abständen neu evaluiert werden, um Entscheidungen aktiv treffen zu können. Die damit verbundene Kontinuität ist ein wesentliches Instrument, um dem dynamischen Umfeld und der damit einhergehenden Schnelligkeit zu begegnen. [10]

Dieser Beitrag diskutiert die ganzheitliche Gestaltung des Produktionsnetzwerks über die Ebenen der Netzwerkgestaltung, wie sie in **Bild 1** zu sehen ist. Hierbei wird zwischen der strategischen, taktischen und operativen Planung differenziert. Diese unterscheiden sich zwar grundsätzlich in dem zu verplanenden Zeitraum und ihren Entscheidungsträgern, greifen jedoch in ihren Gestaltungsdimensionen ineinander. Mithilfe dieses Informationsaustauschs wird eine stetige Gestaltung und Entwicklung des GPN ermöglicht, in der jede Planungsphase berücksichtigt wird. Dabei baut die taktische Planung auf den Ergebnissen der Analyse der operativen Daten auf, während die strategische Planung Feedback aus der taktischen Planung erhält.

Der Beitrag führt in die drei Ebenen der kontinuierlichen Netzwerkgestaltung ein und erläutert, wie die Herausforderungen resilienter und nachhaltiger Wertschöpfung in bestehende Vorgehen der Netzwerkgestaltung integriert werden können.

## 2 Strategische Ausrichtung nachhaltiger und resilienter Produktionsnetzwerke

### Ableitung der strategischen Erfolgspositionen

Das übergeordnete Ziel produzierender Unternehmen ist es, Wertschöpfung für die relevanten Stakeholder zu erzielen – dabei steht der Kunde im Mittelpunkt. Die damit einhergehende Unternehmensstrategie wird durch die institutionelle Perspektive sowie die Markt- und Ressourcenperspektive beeinflusst, um Vorteile für den langfristigen Unternehmenserfolg zu erzielen. Bei der

Umsetzung dieser Strategie in den verschiedenen Unternehmensfunktionen spielt die Strategie globaler Produktionsnetzwerke eine zentrale Rolle, da sie die zukünftige Wettbewerbssituation beeinflusst. Durch die strategische Ausrichtung des Produktionsnetzwerks werden strategische Erfolgspositionen eingenommen, die dem Aufbau dominierender Fähigkeiten in der global vernetzten Produktion dienen. Dadurch können langfristig überdurchschnittliche Ergebnisse im Vergleich zur Konkurrenz erzielt werden. Aufgrund der Entwicklungen der letzten Jahre sind die kundenseitigen und regulatorischen Anforderungen an die Nachhaltigkeit und Resilienz von Produktionsnetzwerken gestiegen. Diese Stellgrößen müssen daher von Anfang an in die strategische Ausrichtung des Netzwerks integriert werden, um Wettbewerbsvorteile langfristig sichern und ausbauen zu können. [11]

Die Produktionsstrategie umfasst die Analyse der Produktionsfunktionen aus Marktsicht, um die Frage zu beantworten, durch welche Zielgrößen Aufträge gewonnen werden können. Während bei der Ermittlung der Produktionsstrategie nach klassischem Verständnis vorwiegend ökonomische Leistungsziele (Preis, Qualität, Flexibilität usw.) berücksichtigt wurden, gewinnen Zielgrößen der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit, sowie die der Resilienzgestaltung zunehmend an Bedeutung. Ein Grund hierfür ist, dass die Einhaltung regulatorischer Rahmenbedingungen, wie das Lieferkettengesetz, das ein notwendiges Leistungsziel für die Beauftragung ist oder dass durch einen niedrigen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck sogar Aufträge gewonnen werden können. Dabei sind die Leistungsziele innerhalb eines Unternehmens nicht homogen, sondern unterscheiden sich je nach Betrachtungsbereich, beispielsweise der Business Unit oder den Absatzmärkten. [12]

Ähnlich wie bei der Erzielung strategischer Vorteile durch die Produktion werden durch die globale Verteilung der Produktionsaktivitäten spezifische Fähigkeiten zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit aufgebaut. Diese Netzwerkfähigkeiten setzen sich einerseits aus dem Zugang zu Absatzmärkten oder verschiedenen Produktionsressourcen zusammen. Andererseits können durch das Netzwerk selbst Fähigkeiten aufgebaut werden, beispielsweise durch Allokation zur Realisierung von Skaleneffekten oder zur Vermeidung von Teiletourismus und den damit einhergehenden Transportemissionen. Diese Netzwerkfähigkeiten müssen mit der ermittelten Positionierung der Leistungsziele der Produktion abgestimmt werden, um im Rahmen des globalen Produktionsnetzwerks gesamtheitlich strategische Erfolgspositionen zur Realisierung der Unternehmensstrategie einzunehmen. [13] Das Zusammenspiel von Netzwerkfähigkeiten und Leistungszielen wird in **Bild 2** visualisiert.

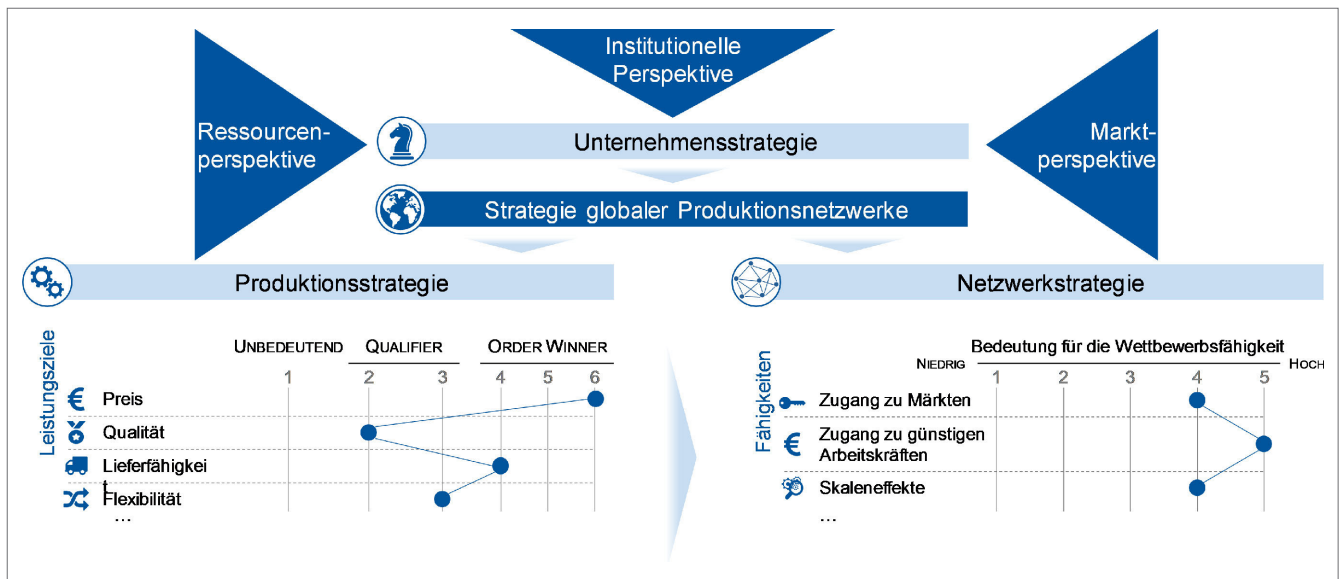


Bild 2. Strategiehierarchien globaler Produktionsnetzwerke [13]. Grafik: RWTH Aachen

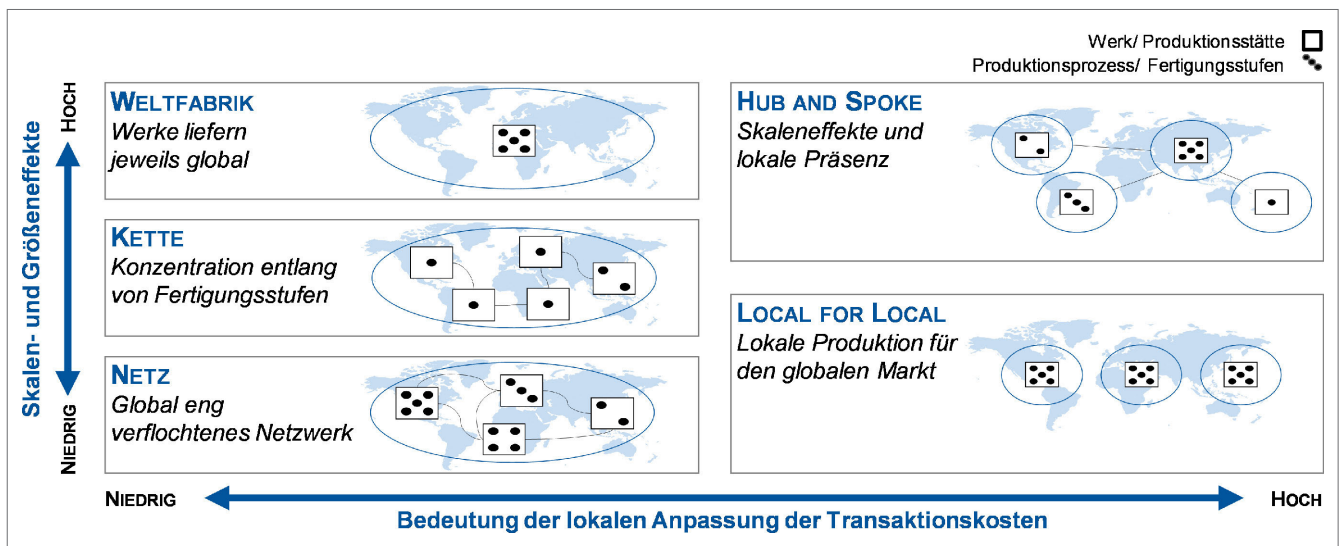


Bild 3. Netzwerkphänotypen nach Meyer et al. [14].

Grafik: RWTH Aachen

### Definition von Netzwerkstrukturen und Gestaltungsleitlinien

Um die Unternehmensstrategie zu realisieren, müssen die strategischen Erfolgspositionen des Produktionsnetzwerks durch eine geeignete Netzwerkgestaltung umgesetzt werden. Hierbei kann entlang verschiedener Ebenen Einfluss genommen werden, wobei die grundsätzliche Festlegung der Netzwerkstruktur den Ausgangspunkt bildet. Zur Charakterisierung von Netzwerkstrukturen werden sogenannte Phänotypen herangezogen (vgl. Bild 3). Diese zeigen idealtypische Merkmale und Unterschiede auf und sind somit ein wichtiges Hilfsmittel im Vorfeld einer quantitativen Netzwerkgestaltung. Der am weitesten verbreitetste Ansatz ist die Einteilung in die Phänotypen Weltafabrik, Kette, Netz sowie Hub-and-Spoke- und Lokal-Konfiguration. Diese können anhand der Skalen- und Größeneffekte sowie der Bedeutung der lokalen Anpassung und der Transaktionskosten eingeordnet werden. [14] Insbesondere im Rahmen zirkulärer Wertschöpfungsprozesse kommt der geeigneten Auswahl von Netzwerkphänotypen eine

neue Bedeutung zu, da hier sowohl Skaleneffekte, als auch Transaktionskosten maßgeblich beeinflusst werden.

Neben der Ausrichtung der idealen Netzwerkstruktur müssen auf Basis der strategischen Erfolgspositionen Restriktionen in Form von Leitlinien für die weitere Netzwerkgestaltung definiert werden. Diese resultieren maßgeblich aus Managementvorgaben, die auf der Strategie des globalen Produktionsnetzwerks basieren, aber auch aus weiteren Einflüssen, beispielsweise aus der geopolitischen Lage oder regulatorischen Vorgaben. Diese qualitativen Prinzipien müssen in greifbare Gestaltungsleitlinien überführt werden. Diese Gestaltungsleitlinien stellen somit den Leitfaden zur vollständigen Realisierung der Netzwerkstrategie dar. [8]

### Definition von Standortrollen und Entwicklungspfaden

Basierend auf den strategischen Erfolgspositionen des Produktionsnetzwerks ist die Übersetzung der strategischen Vorgaben auf die verteilten Standorte notwendig. Hierdurch wird gewährleistet, dass jeder Standort im Netzwerk zur Sicherstellung einer

hohen Wettbewerbsfähigkeit eine spezifische Rolle einnimmt. Diese sogenannten Standortrollen legen den strategischen Leistungsauftrag von Standorten zur Realisierung der Strategie fest und dienen so als Orientierungspunkt für die strategische Gestaltung des Netzwerkes. [15]

Zur Bestimmung der Standortrollen erfolgt die Charakterisierung der Standorte entlang von Beschreibungsdimensionen. In der wissenschaftlichen Literatur sowie in der unternehmerischen Praxis existieren eine Vielzahl unterschiedlicher Standortrollenkonzepte, welche verschiedene Beschreibungsdimensionen aufgreifen. Durch die isolierte Ansicht oder auch Kombination verschiedener Dimensionen und damit einhergehenden Zielstellungen werden Entscheidungsträger bei der Charakterisierung der Standorte und Zusammenhänge im Netzwerk unterstützt. [16]

Standortrollen werden grundsätzlich anhand der Gestaltungsbereiche Konfiguration und Koordination sowie nach der Standort- und Netzwerkebene angeordnet. Hierbei wird unter Konfiguration die physische Gestaltung der Standorte und des Netzwerkes verstanden. Die Koordination beinhaltet die Steuerung der Aufgaben und Aktivitäten, die das Zusammenagieren der Standorte im Netzwerk betrifft. Neben der zugrunde liegenden Beschreibungsdimension greifen die Standortrollenkonzepte plakative Begriffe auf, um die Ausprägungen zu verdeutlichen und Gegensätze aufzuzeigen. [15]

Aus dem Abgleich der Ist- und Ziel-Kompetenzen der Standorte werden zudem spezifische Entwicklungspfade der Standorte erfasst, um die langfristige Ausrichtung der Standorte zur Realisierung der Netzwerkstrategie zu berücksichtigen. Diese Migrationspfade der Standorte dienen als zentrale Eingangsgröße für die Gestaltung des Produktionsnetzwerkes und bilden somit den Abschluss der strategischen Ebene der strategischen Netzwerkgestaltung.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die strategische Ausrichtung globaler Produktionsnetzwerke die ganzheitlichen Nachhaltigkeits- und Resilienzdimensionen integrieren muss, um die langfristige Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Zunächst erfordert dies die Anpassung der Leistungsziele durch die Festlegung multidimensionaler Differenzierungsfaktoren (ökonomisch, ökologisch und sozial). Zur Erreichung dieser erweiterten Ziele müssen entsprechende Netzwerkfähigkeiten, wie die Reduktion von Transportemissionen oder der Zugang zu fairen Geschäftspraktiken abgeleitet und quantifiziert werden. Die Verknüpfung von Leistungszielen und Netzwerkfähigkeiten in einem Zielsystem stellt die Synchronisation von Produktions- und Netzwerkstrategie sicher und macht dimensionsübergreifende Zielkonflikte transparent. Hinsichtlich der Netzwerkstrukturen müssen die bestehenden, linearwirtschaftlich geprägten, idealtypischen Netzwerk-Phänotypen um Aspekte der Kreislaufwirtschaft erweitert werden. Anhand der priorisierten Netzwerkfähigkeiten erfolgt die Auswahl des anzustrebenden Ziel-Phänotyps. Schließlich wird die strategische Ausrichtung in die Netzwerkgestaltung überführt, indem Gestaltungsrichtlinien erarbeitet werden, welche konkrete Vorgaben – beispielsweise für Standortrollen – liefern, den Lösungsraum einschränken und Zielkonflikte zwischen den Nachhaltigkeitsdimensionen adressieren. [8]

### 3 Kontinuierliche, nachhaltige Gestaltung resilienter Produktionsnetzwerke

#### 3.1 Transparenz des Ist-Footprints

Entlang der Ausrichtung der Netzwerkstrategie gilt es, die resultierende Zielstellung im Rahmen der Produktionsnetzwerkgestaltung bestmöglich zu unterstützen. Diese Aufgabe wird jedoch durch die Komplexität eines Produktionsnetzwerks erschwert. Betrachtet man beispielsweise ein Netzwerk aus 10 Standorten und 78 Produktgruppen, so gibt es 1078 mögliche Netzwerkszenarien. Dies ist ein Ausmaß, das mit der Größendimension der im Universum vorhandenen Atome vergleichbar ist. [17] Um in diesem Kontext zielgerichtete und nachhaltige Entscheidungen treffen zu können, ist ein detailliertes Verständnis der derzeitigen Netzwerkkonfigurationen in Form des Ist-Footprints erforderlich. [18] Zur Aufnahme des Ist-Footprints sind daher verschiedene Fragestellungen zu adressieren, beispielsweise:

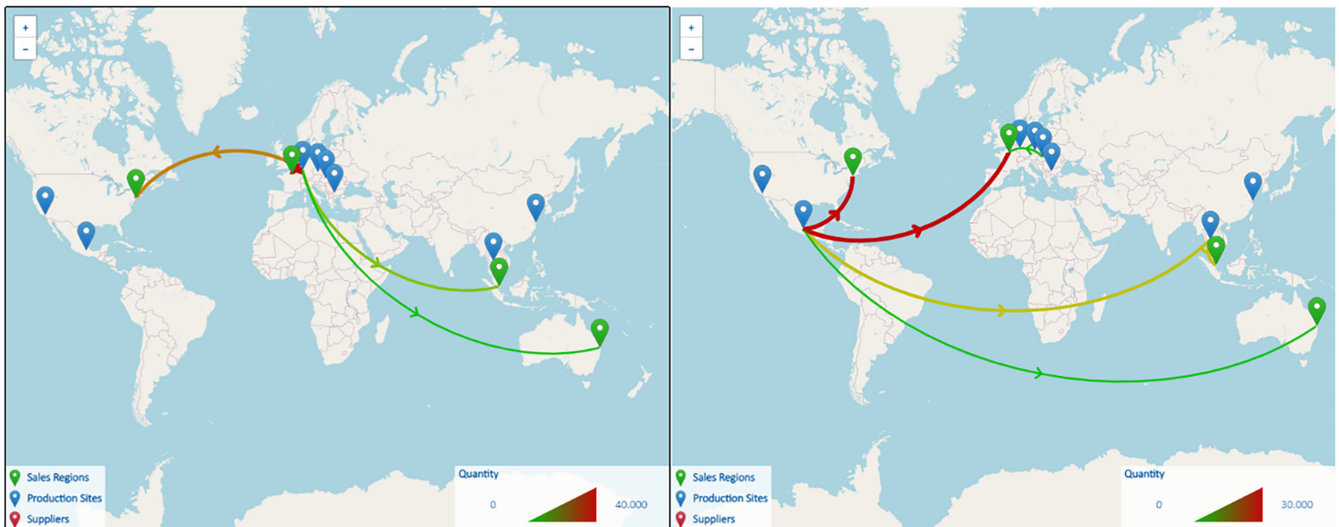
- Welche Prozesse sind an welchen Standorten verortet?
- Wie sind Prozessketten im Netzwerk verankert?
- Welche Transportbeziehungen bestehen im Netzwerk?
- Welche Transportbeziehungen bestehen zu Lieferanten und zu den Verkaufsregionen?
- Welche Reverse Logistik besteht?
- Wie sieht die Kostenstruktur der Standorte aus?
- Welche Prozesse im Netzwerk sind potenziell vulnerabel?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen benötigen produzierende Unternehmen eine Vielzahl von Informationen. Stücklisten, Absatzzahlen, Transportdistanzen oder Daten zu Zulieferern, Standorten und Maschinen sind Beispiele hierfür. Zur Ermittlung dieser Daten wird auf die im Zuge der zunehmenden digitalen Vernetzung der Produktion anfallenden Datenmengen im Produktionsnetzwerk zurückgegriffen. Dies führt jedoch zu einer weiteren Komplexität, da der Datenzugriff auf eine inhomogene Systemlandschaft mit einem erheblichen Zeit- und Harmonisierungsaufwand einhergeht. In der Praxis sind 40 verschiedene MES-Systeme und 100 verschiedene Datenquellen zur Abbildung des Ist-Footprints keine Seltenheit. [19]

Um den Ist-Footprint und die damit einhergehenden Analysen, wie beispielsweise die Prozesskette, die Maschinenkapazitäten oder die Datenstrukturen, ableiten zu können, ist demnach zunächst ein geeignetes Aggregationsniveau zu definieren. Zur Ermittlung des richtigen Detaillierungsgrad sollte dabei der Fokus der Modellierung auf den Einflussfaktoren liegen, die gravierende Veränderungen in der Netzwerkkonfiguration bewirken. Im Kontext der Netzwerkgestaltung können datenbasierte Hilfsmittel in Form von Software-Tools für ganzheitliche Entscheidungsprozesse sowie eine gesteigerte Transparenz sorgen. Neben der Abbildung des Ist-Zustands der Netzwerkstruktur in Form der Verteilung von Absatzzahlen, Prozessen und Kosten kann somit auch die Visualisierung des Ist-Footprints ein wesentliches Werkzeug sein, um erste Anhaltspunkte für die Optimierung im Rahmen der Netzwerkgestaltung zu liefern. [17]

#### 3.2 Softwaregestützte Gestaltung globaler Produktionsnetzwerke mit MIORI Network Design

Hierfür eignen sich datenbasierte Netzwerkdesign-Tools, wie beispielsweise das MIORI Network Design Tool, das im Rahmen eines Forschungsprojekts entwickelt wurde und zur Modellierung von Produktionsnetzwerken eingesetzt wird. Auf Basis der Er-



**Bild 4.** Übersicht über zwei Netzwerkszenarien mithilfe von MIORI Network Design. Grafik: RWTH Aachen

mittlung der Total Landed Costs und verschiedener Visualisierungsoptionen können Footprint-Szenarien bewertet und in Kombination mit abgestimmten Workshops als Entscheidungsgrundlage für die Netzwerkgestaltung herangezogen werden. Voraussetzung für die Anwendung des Tools ist, dass Daten zu den vorhandenen und potenziellen neuen Standorten, Verkaufsregionen, Nachfragemengen, Produktionsressourcen und -prozessen sowie Transportwegen vorliegen. Nachdem diese Daten einmalig hochgeladen wurden, können mithilfe eines Konfigurators beliebig Anpassungen vorgenommen werden, um verschiedene Änderungsszenarien auszuprobieren und zu vergleichen. [20]

Sowohl der Ist-Zustand als auch die Szenarien können über vier verschiedene Anwendungen analysiert werden. Die Funktion „World Map“ (vgl. **Bild 4**) visualisiert beispielsweise den Austausch von Zwischen- und Endprodukten im Produktionsnetzwerk. Dabei werden auch die Sales-Regionen des Unternehmens berücksichtigt und es ist möglich, zusätzlich externe Lieferanten hinzuzufügen. Neben der Darstellung des weltweiten Warenaustausches des Unternehmens kann mithilfe von MIORI Network Design und der Prozessvisualisierung die Wertschöpfung eines Produkts über Standortgrenzen hinweg aufgezeigt werden. Zudem werden sämtliche anfallenden Kosten jedes Szenarios aufgeschlüsselt, um Kostentransparenz zu schaffen. Die Ressourcenansicht ermöglicht die grafische Darstellung der Ressourcenverfügbarkeit und der Auslastung einzelner Standorte und Maschinen. Dadurch lassen sich die Auswirkungen verschiedener Szenario-Konfigurationen schnell miteinander vergleichen. Die insgesamt geschaffene transparente Abbildung des Ist-Footprints bietet eine Ausgangsbasis für die Identifikation von Potenzialen beziehungsweise Handlungsbedarfen. [17]

### 3.3 Netzwerkszenarien im Strategy Fit

Auf Basis der Netzwerkstrategie und der Ergebnisse der Ist-Footprint-Aufnahme gilt es, die zukünftige Konfiguration des Produktionsnetzwerks zu ermitteln, um die Zielstellungen zu realisieren. Während sich produzierende Unternehmen in den vergangenen Jahrzehnten vor allem auf die Minimierung von Kosten oder die Schaffung beziehungsweise Reduktion von Kapazitäten aufgrund einer veränderten Marktnachfrage fokussierten,

wird dieses Zielsystem zunehmend erweitert. Beispiele für eine veränderte Zielstellung der Netzwerkgestaltung sind die Minimierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen, der Aufbau von Redundanzen zur Reduzierung von Störungsanfälligkeiten oder die Berücksichtigung verfügbarer Fachkräfte im Netzwerk. [21, 22] Zur Begrenzung des Lösungsraums im Rahmen der Erstellung möglicher Zukunftsszenarien der Netzwerkkonfiguration gilt es, die entwickelten Gestaltungsleitlinien als Ergebnis der Netzwerkstrategie heranzuziehen. So wird sichergestellt, dass Managementrestriktionen eingehalten werden und nicht realisierbare Netzwerkszenarien unterbunden werden. Neben den strategischen Gestaltungsleitlinien müssen auf taktischer Ebene zusätzlich sinnvolle Produkt-Standort-Allokationen abgebildet werden. Dies wird aus Unternehmenssicht durch den geeigneten Strategy Fit sichergestellt. Konkret bedeutet dies, dass im Rahmen der Analyse des eigenen Produktportfolios die jeweiligen Produktanforderungen aufgelistet werden. Diese werden anschließend mit den Leistungsprofilen und Fähigkeiten der einzelnen Standorte im Produktionsnetzwerk abgeglichen, um die zukünftige Wertschöpfungsverteilung zu ermitteln. [17]

In der industriellen Anwendung ermöglicht das vorgestellte Vorgehen eine strategische und quantitativ fundierte Optimierung des Netzwerk-Footprints. Im Rahmen einer Anwendung in der metallverarbeitenden Industrie wurden externe Marktanforderungen im Hinblick auf zukünftige Zielmärkte sowie die dafür erforderlichen Netzwerkfähigkeiten den internen Kompetenz- und Kapazitätsprofilen gegenübergestellt. Auf dieser Basis konnten konkrete Gestaltungsrichtlinien für die künftige Netzwerkkonfiguration abgeleitet werden. Ergänzend wurde durch die Modellierung des Ist-Footprints die Identifikation bestehender Schwachstellen im Produktionsnetzwerk ermöglicht. Aus den gewonnenen Erkenntnissen ergaben sich unterschiedliche Szenarien für die zukünftige Ausgestaltung des Produktionsnetzwerks, die potenzielle Gesamteinsparungen von bis zu 35 % ermöglichen.

### 3.4 Ziel-Footprint und Migration

Nachdem potenzielle Szenarien aufgestellt und beschrieben wurden, sind diese detailliert zu bewerten, um den Ziel-Footprint des Netzwerks zu ermitteln. Dazu werden drei Stufen durchlau-

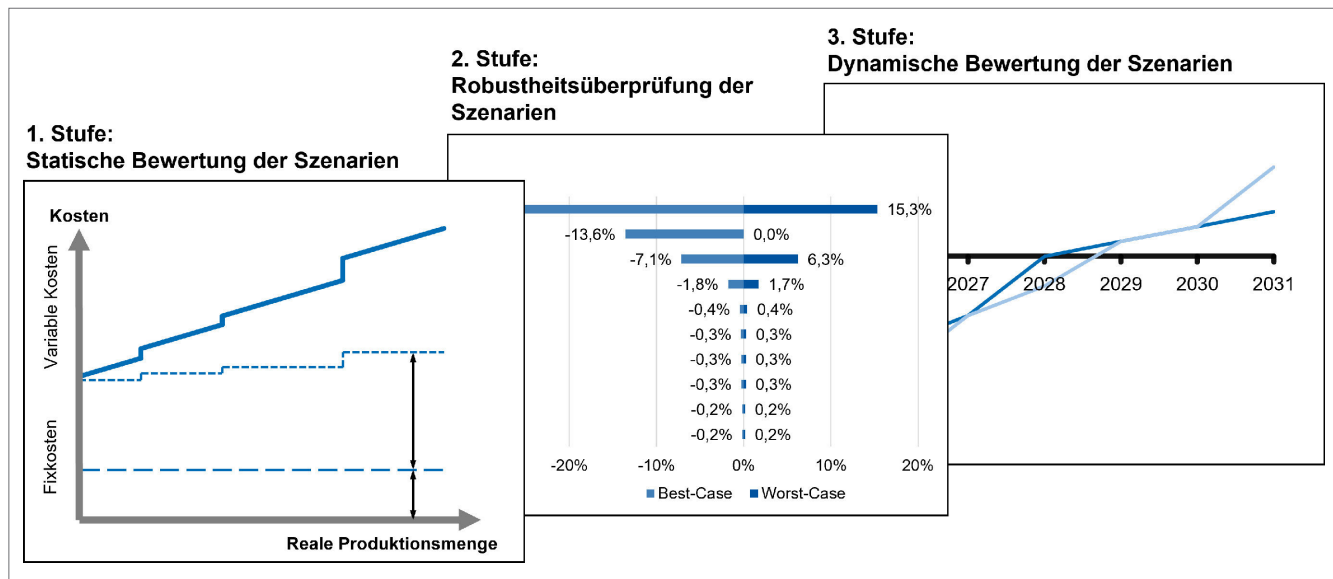


Bild 5. Bewertung von Netzwerkszenarien zur Evaluation des geeigneten Footprints. Grafik: RWTH Aachen

fen: Zunächst werden die erstellten Netzwerkszenarien quantitativ verglichen, dann werden die Haupteinflussfaktoren und die damit verbundenen Unsicherheiten ermittelt und schließlich wird der Ziel-Footprint unter Berücksichtigung der Investitionsentscheidungen ausgewählt.

In der ersten Stufe findet eine statische Bewertung und ein Vergleich der Szenarien statt, beispielsweise hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit über den Ansatz der Total Landed Costs. Die Total Landed Costs bilden alle produktionsrelevanten Kosten ab, die entstehen, um ein Produkt in den Markt zu liefern. Somit werden alle Kostenbestandteile im Produktionsnetzwerk betrachtet. Dadurch ist eine Netzwerk Betrachtung im eingeschwungenen Zustand gewährleistet. Weitere Bewertungskriterien sind beispielsweise die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Transporte und an den Standorten sowie die Value-at-Risk-Analyse zur Abbildung der Resilienz im Netzwerk. Am Ende der ersten Stufe können produzierende Unternehmen die Frage beantworten, welches Szenario die Zielgrößen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit oder Resilienz am besten erfüllt. [22]

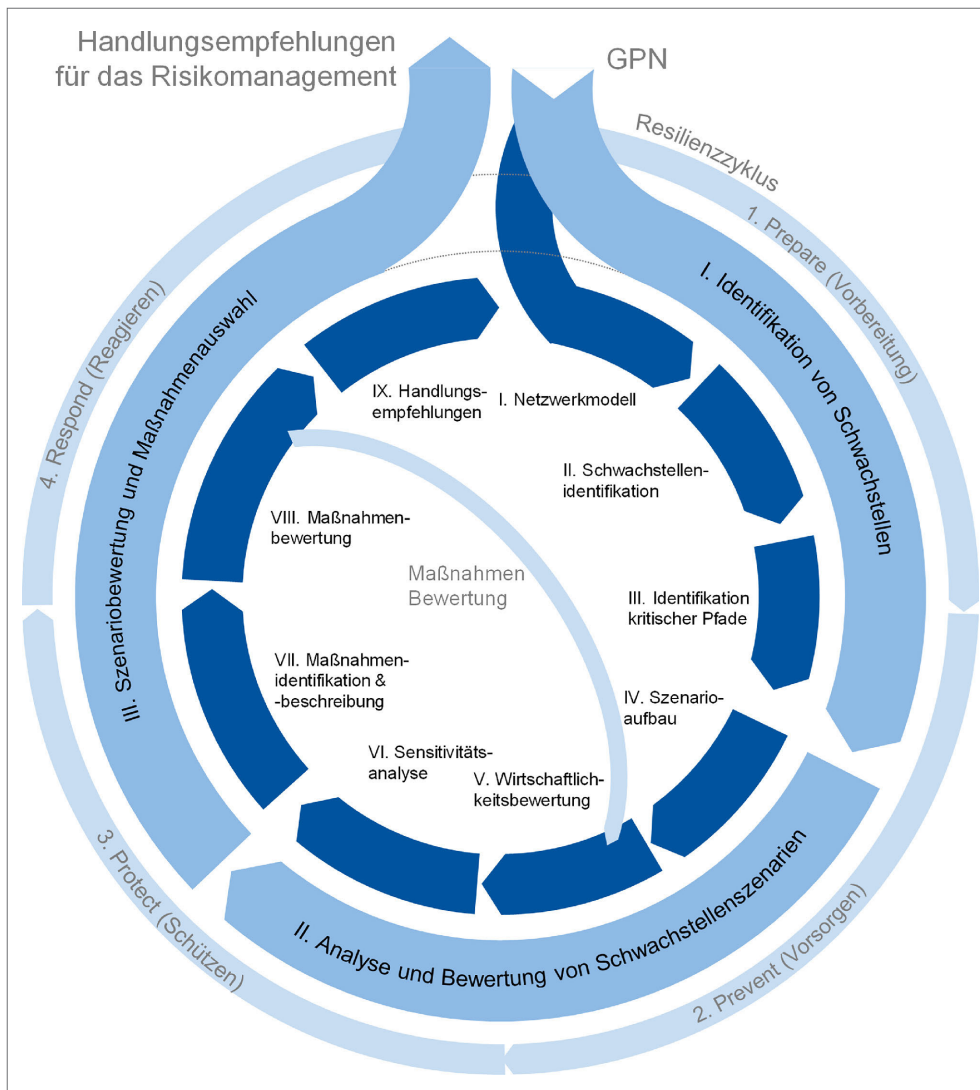
In der zweiten Stufe werden die erzielten Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, um die Robustheit der Szenarien zu überprüfen. Dabei werden verschiedene Parameter und Einflussfaktoren im Produktionsnetzwerk hinsichtlich ihrer Extremwerte prognostiziert. So kann die Reaktion der unterschiedlichen Szenarien auf Schwankungen untersucht werden. Gleichzeitig kann quantitativ ermittelt werden, welche Faktoren den gravierendsten Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Footprints besitzen. Zudem kann die Unsicherheit ermittelt werden, mit der die Parameter behaftet sind. Mithilfe einer erweiterten Informationsbeschaffung können die Extremausprägungen anschließend konkretisiert werden. Mit diesem Vorgehen wird die Frage beantwortet, welche Einflussfaktoren die Leistungsfähigkeit bestimmen und welches Szenario unter Berücksichtigung der Extremausprägungen der Parameter die größte Robustheit aufweist. [17]

In der dritten Stufe wird schließlich der Ziel-Footprint aus Investitionssicht ermittelt, indem unter Einbezug der erforderlichen Netzwerkveränderungen eine Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt wird. In diese Betrachtung fallen die einzelnen Umsetzungsschritte, die in Form finanzieller Kenngrößen erfasst

werden und auch periodenbezogen anfallen können. Somit kann im Zuge der dynamischen Amortisationsrechnung die Vorteilhaftigkeit der Investitionsentscheidungen beurteilt werden. Im Anschluss müssen die aufgestellten Netzwerkveränderungen in feste Aufgabenpakete überführt werden, um durch die Realisierung der resultierenden Migrationsmeilensteine die Veränderung des Netzwerks durchzuführen. [20]

### 3.5 Szenariobasierte Schwachstellenbewertung zur Resilienzsteigerung

Um Wettbewerbsvorteile zu sichern, ist die kontinuierliche Leistungsfähigkeit des GPN von entscheidender Bedeutung, weshalb GPN auf unvorhergesehene Störungen vorbereitet sein müssen. Daher ist eine systematische Analyse des GPN entscheidend, um die Netzwerkgestaltung auf etwaige Schwachstellen zu überprüfen. [23] Da externe Störrisiken hinsichtlich ihres Auftretens und ihrer Auswirkungen schwer vorhersehbar sind, liegt ein besonderer Schwerpunkt auf der Analyse der internen Schwachstellen des GPN. Interne Schwachstellen sind die Schwachstellen, die direkt vom Unternehmen beeinflusst werden können. Um diese im Rahmen der Netzwerkgestaltung zu adressieren, stellt das Framework nach Janssen et al. (vgl. Bild 6) einen systematischen, vierstufigen Ansatz dar. Der vom Stresstestvorgehen aus der Finanzindustrie abgeleitete Ansatz ermöglicht die proaktive Resilienzgestaltung globaler Produktionsnetzwerke. [24] Er adressiert die Netzwerkelemente, die aufgrund verschiedener Leistungsindikatoren, wie Auslastung, Single-Sourcing oder Liefertermintreue eine Risikostelle in der Resilienzgestaltung darstellen. Das Vorgehen ist dabei in das bestehende Konzept des Resilienzyklus integriert (Vorbereiten, Verhindern, Schützen, Reagieren). [25] Zunächst erfolgt eine Identifizierung von Schwachstellen im GPN, wofür die Netzwerkconfiguration modelliert wird, um kritische Pfade und Engpassprozesse aufzudecken. In der zweiten Phase werden realistische Stressszenarien auf Basis dieser kritischen Pfade entwickelt, wobei die Art und der zeitliche Rahmen der potenziellen Störungen parametrisiert werden. Die dritte Phase enthält die Durchführung des Stress-tests, bei der die Szenarien ökonomisch bewertet und priorisiert



**Bild 6.** Framework zur Anwendung von Stresstests in der Resilienzgestaltung globaler Produktionsnetzwerke. Grafik: RWTH Aachen

werden analog zur Auswahl des Ziel-Footprints der Netzwerkgestaltung, um die zu bestimmen, wie ein möglicher wirtschaftlicher Schaden quantifiziert werden kann. Abschließend werden Resilienzmaßnahmen entwickelt und evaluiert, indem ihre Wirksamkeit und ihre Kosten durch einen Vergleich mit dem Status quo bewertet werden. Empfohlen werden jene Maßnahmen, welche die Resilienz des GPN erhöhen, ohne die Kosteneffizienz im Ausgangszustand signifikant einzuschränken. Dieser systematische Prozess gewährleistet eine proaktive, szenariobasierte Bewertung und trägt zur Stärkung der Fähigkeit bei, die Geschäftskontinuität angesichts unvorhergesehener Störungen aufrechtzuerhalten. [24]

### 3.6 Gestaltung der Zirkularität in globalen Produktionsnetzwerken zur Steigerung der Nachhaltigkeit

Einen zentralen Beitrag zur Erreichung von ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit leistet die Upgrade Circular Economy. Ziel ist es, die Nutzung endlicher Ressourcen durch Rückführungsprozesse zu minimieren, sodass Produkte und Materialien möglichst lange im Kreislauf zwischen Nutzung und Wiederaufbereitung verbleiben. In Abgrenzung zur Circular Economy zielt die Upgrade Circular Economy auf die kontinuierliche Wertsteigerung der Produkte durch die Integration von Produktupgrades

mit jedem Rückführungszyklus ab. Dadurch sollen einerseits Abfälle reduziert und Ressourcen geschont werden, andererseits soll die Profitabilität produzierender Unternehmen gesteigert werden, indem Kosteneinsparungen durch einen geringeren Material- und Energieverbrauch während der Aufbereitung realisiert werden. Weitere Vorteile ergeben sich durch eine verminderte Abhängigkeiten von volatilen Rohstoffmärkten sowie neuen Geschäftsmodellen, etwa Product-as-a-Service. [27, 29, 30] Unter Berücksichtigung der Vorteile zirkulärer Wertschöpfung wird die Upgrade Circular Economy zunehmend auch von regulatorischer Seite forciert.

Die Umsetzung einer Upgrade Circular Economy in globalen Produktionsnetzwerken ist jedoch mit erheblichen Herausforderungen verbunden. Neue Prozesse und Fähigkeiten müssen in die bestehende Netzwerkgestaltung integriert und Synergiepotenziale berücksichtigt werden. Zudem ist eine grenzüberschreitende Infrastruktur für Produktrückführungen erforderlich, bestehend aus Sammel-, Aufbereitungs-, Sortier- und Prüfcentren. Dies vergrößert den ohnehin breiten Lösungsraum für die Netzwerkkonfiguration und erhöht die Komplexität der Gestaltung erheblich. [27] Eine vielversprechende Methode zur Strukturierung dieses Lösungsraums ist die Nutzung von Prozessclustern, die auch in klassischen linearen Netzwerken Anwendung finden. Hierbei

werden produktinduzierte Prozesse durch zusätzliche Konfigurationsinformationen wie Rückführungsfrequenzen, Nachhaltigkeitskennzahlen oder Rückführungsstrategien angereichert und in einem Produktkatalog hinterlegt. Dieser bildet die Datenbasis für Clusteralgorithmen, die strategische Zieldimensionen, wie etwa Energieintensität oder Rückführungsfrequenzen gezielt berücksichtigen können. Durch einen Abgleich mit bestehenden Netzwerken lassen sich Synergien identifizieren sowie Konfigurationslücken, beispielsweise fehlende Maschinen oder Qualifikationen, systematisch aufdecken und in Gestaltungsmaßnahmen übersetzen. [32] Im Anschluss können verschiedene Netzwerkszenarien verglichen werden. Hierfür eignet sich wieder das Softwaretool MIORI Network Design, das Szenarien auf Basis ökonomischer und ökologischer Kriterien bewertet. Neben der ökonomischen Bewertung durch die Total Landed Costs werden für die ökologische Dimension Energietypen für Produktion und Gebäudebetrieb sowie Transportemissionen berücksichtigt, welche einen besonders relevanten Aspekt im Kontext zusätzlicher Rückführungslogistik darstellen. [17]

Zusammenfassend ist für die Gestaltung nachhaltiger und resilienter globaler Produktionsnetzwerke, ein detailliertes Verständnis des Ist-Footprints unerlässlich, um nachhaltige und zielgerichtete Entscheidungen zu treffen. Die Komplexität von Produktionsnetzwerken erfordert die Erfassung umfangreicher Informationen über Prozesse, Transportbeziehungen und Kostenstrukturen. Das Software-Tool MIORI Network Design unterstützt Unternehmen dabei, verschiedene Netzwerkszenarien zu modellieren und zu bewerten, indem es sowohl ökonomische als auch ökologische Kriterien berücksichtigt. Die Gestaltung des Produktionsnetzwerks erfolgt durch die Analyse bestehender Konfigurationen und die Entwicklung zukünftiger Szenarien unter Berücksichtigung von Kosteneffizienz sowie Nachhaltigkeitszielen wie der Minimierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Um Resilienz gegenüber unvorhergesehenen Störungen zu gewährleisten, wird ein systematischer Ansatz zur Identifizierung interner Schwachstellen in die kontinuierliche Gestaltung des Produktionsnetzwerks integriert. Dieser umfasst die Durchführung von Stresstests und die Entwicklung geeigneter Resilienzmaßnahmen. Eine effektive Netzwerkgestaltung, die sowohl Resilienz als auch Nachhaltigkeit adressiert, gelingt, indem sie auf datenbasierte Entscheidungen setzt und innovative Rückführungsstrategien in den Produktionsprozess integriert. Dies fördert nicht nur die wirtschaftliche Effizienz, sondern trägt auch zur ökologischen Verantwortung der Unternehmen bei.

## 4 Effizientes Management globaler Produktionsnetzwerke

### 4.1 Steuerung im globalen Leitstand

Der operative Betrieb innerhalb globaler Produktionsnetzwerke wurde in den letzten Jahren mit diversen disruptiven Ereignissen konfrontiert. Im Zuge der historisch gewachsenen Netzwerke hat sich oftmals ein Silodenken und Individualismus der Standorte etabliert, wodurch das GPN als Gesamtsystem einer Trägheit ausgesetzt ist. [4] In Zeiten hoher Unsicherheit und Volatilität wird die Koordination des GPN hierdurch erschwert. [3] Die Vielzahl der Standorte, die sich schnell verändernde Marktsituation und die Komplexität der Reverse Logistik erfordern daher eine bessere Transparenz und Austauschfähigkeit, um das GPN zukunftssicher zu betreiben und aktiv zu gestalten. [33] Als Wand-

lungstreiber stellt die fortschreitende Digitalisierung Technologien zur Verfügung, um diesen Herausforderungen zu begegnen. [3] Ein entscheidender Hebel ist dabei die Nutzung der großen Datenmengen, die den Unternehmen über alle Standorte des GPN zur Verfügung stehen. [34] Die Herausforderung besteht darin, durch eine Verknüpfung und Strukturierung der Datenbasis geeignete Informationen zu erarbeiten und diese anwendungsspezifisch zu nutzen [15]. Das Ziel eines globalen Leitstandes, wie es in **Bild 8** schematisch dargestellt ist, dient dazu diese Potenziale der Datenverarbeitung über das gesamte GPN hinweg zu ermöglichen, um frühzeitige Erkenntnisse zum Netzwerkverhalten zu erhalten und Entscheidungen ableiten zu können.

Der globale Leitstand fungiert als zentrale Steuerungseinheit, die sämtliche relevanten Daten aus unterschiedlichen Standorten in Echtzeit zusammenführt, analysiert und nutzbar macht. Eine übergreifende Visualisierung bietet Entscheidungsträgern vollständige Transparenz hinsichtlich wichtiger Kennzahlen wie Produktionskapazitäten, Kostenstrukturen, Lieferantenleistung oder Produktivität der Standorte (vgl. **Bild 7**). Auch externe Einflussfaktoren wie Umweltbedingungen oder Risikofaktoren können dabei berücksichtigt werden. Die Kombination dieser Daten ermöglicht nicht nur eine ganzheitliche Betrachtung des GPN, sondern bildet die Grundlage für fundierte Analysen möglicher Kosteneinsparungspotenzialen. [35] Die Integration von Umweltdaten, wie beispielsweise dem Energiebedarf der Logistikprozesse oder der Fertigungsschritte, ermöglicht es ökologische Aspekte mit einzubeziehen und nicht nur wirtschaftliche, sondern auch ressourcenschonendere Entscheidungen zu treffen. [22] Ein wesentliches Merkmal des globalen Leitstands ist die datengetriebene Frühwarnung. Durch kontinuierliche Datenanalysen lassen sich potenzielle Störungen, Engpässe oder Ineffizienzen frühzeitig erkennen. Die Integration von Predictive Analytics erlaubt es, zukünftige Entwicklungen zu prognostizieren sowie präventive Maßnahmen rechtzeitig einzuleiten um die Resilienz des Produktionsnetzwerks zu erhöhen. [21] Insbesondere kennzahlengetriebene Systeme, wie die Identifikation von Schwachstellen in der Netzwerkgestaltung, können hier effizient abgebildet werden.

Ein weiterer zentraler Vorteil des globalen Leitstands liegt in der Förderung der standortübergreifenden Zusammenarbeit. Aufgearbeitete und vergleichbare Leistungskennzahlen einzelner Werke ermöglichen ein transparentes Benchmarking, was den Wissenstransfer innerhalb des GPN befähigt. [36] Durch die Identifikation und Verbreitung von Best Practices im GPN, können Synergieeffekte realisiert und unternehmensweite Standards etabliert werden. [37] Die gezielte Analyse standardisierter Daten durch den globalen Leitstand erhöht somit nicht nur die Qualität und Geschwindigkeit von Entscheidungen, sondern verbessert auch die Gesamtleistung des GPN. Effizienz, Transparenz, Agilität und Nachhaltigkeit werden somit gleichzeitig gefördert. [38]

Dennoch bringt die Implementierung eines globalen Leitstands auch Herausforderungen mit sich. Die Vergleichbarkeit von Schnittstellen und Datenformaten, der Schutz sensibler Daten sowie die technische Infrastruktur erfordern ein hohes Maß an Planung und Veränderungsbereitschaft. Auch kulturelle Unterschiede und die benötigten Qualifikationen der Mitarbeitenden müssen bei der Einführung berücksichtigt werden. [39] Trotz dieser Herausforderungen bietet der globale Leitstand das Potenzial Produktionsnetzwerke resilienter, nachhaltiger und wettbewerbsfähiger zu gestalten.

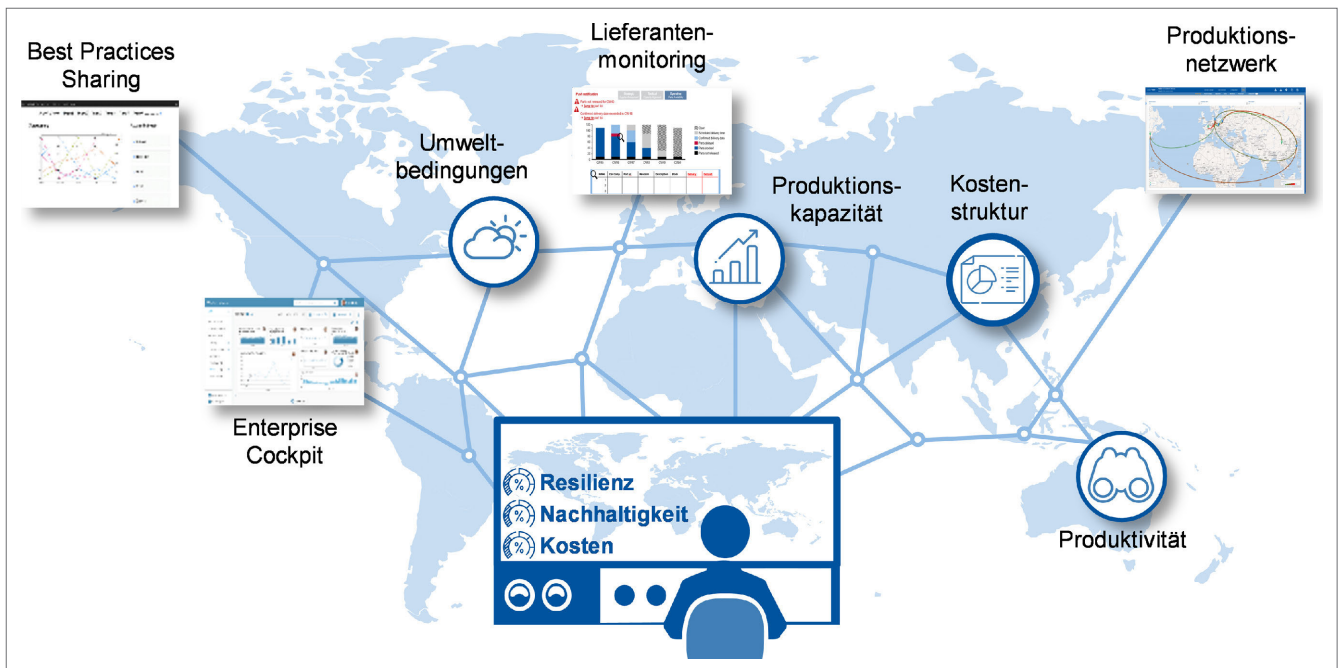


Bild 7. Globaler Leitstand zur Koordination des Produktionsnetzwerkes. Grafik: RWTH Aachen

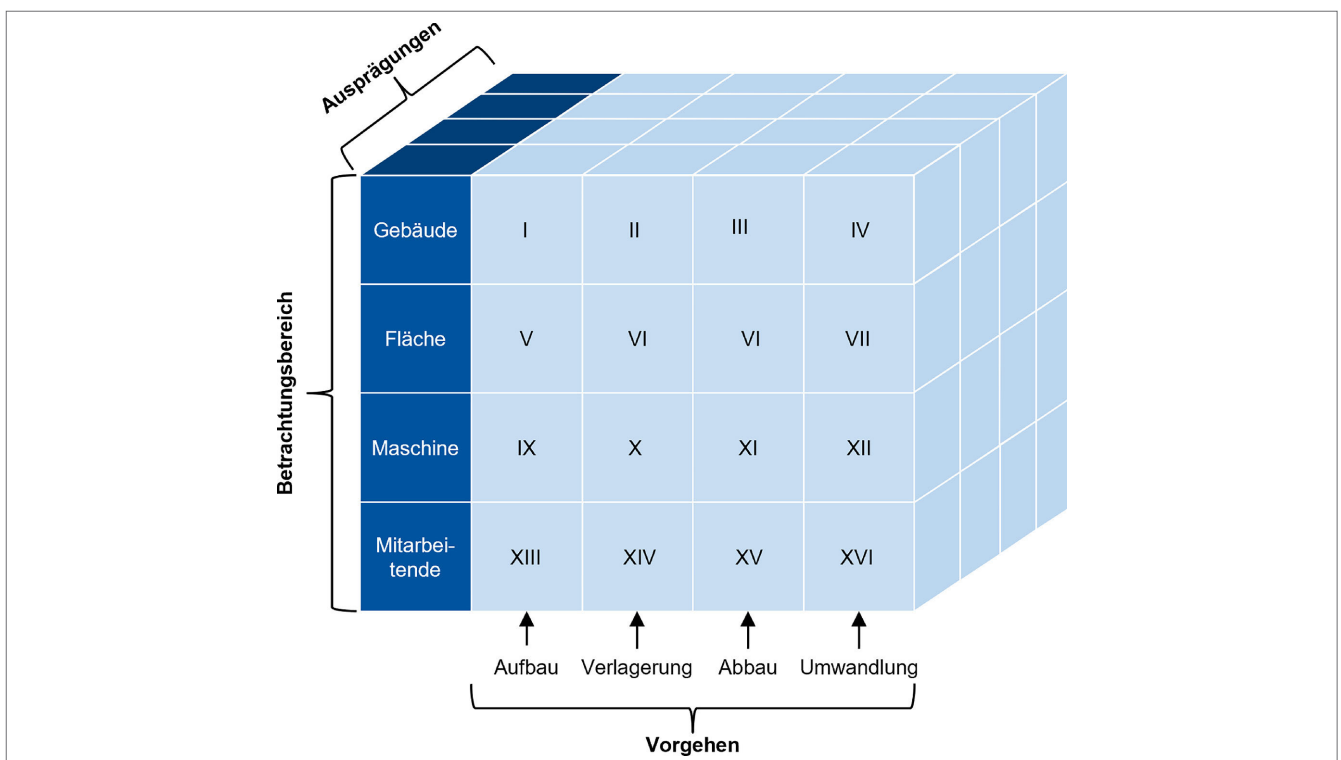


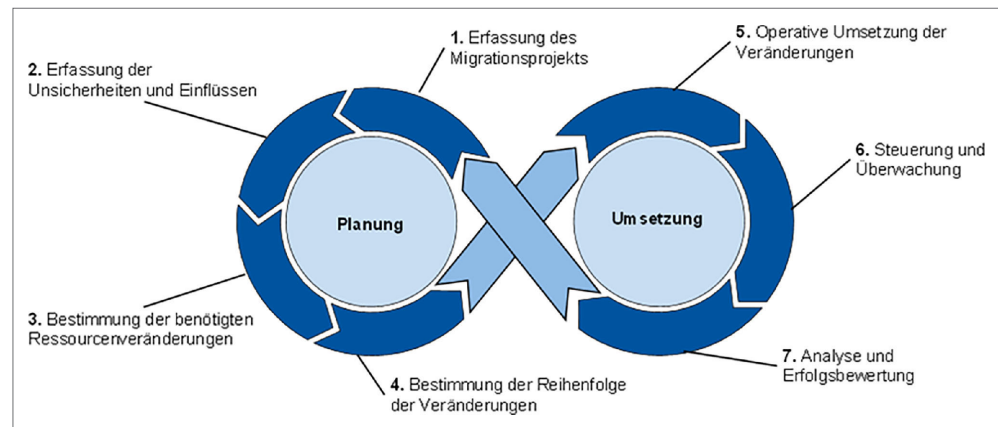
Bild 8. Ressourcenveränderungen in Anlehnung an Cremer [40]. Grafik: RWTH Aachen

#### 4.2 Planung und Umsetzung von Ressourcenveränderungen im Zuge von Migrationsprojekten

Eine zentrale Aufgabe im Management des GPN liegt in Migrationsprojekten. [40] Migration wird in diesem Kontext als die operative Umsetzung des Netzwerkgestaltung vom Ist-Footprint zum Ziel-Footprint verstanden. [41] Die Ressourcenveränderung innerhalb des GPN ist dabei ein integraler Bestandteil von Migrationsprojekten. [42] Die zu betrachtenden Ressourcen lassen sich

in die vier Kategorien Mitarbeitende, Maschinen, Fläche und Gebäude unterteilen. (vgl. Bild 8) [40] Die Kategorie Mitarbeitende inkludiert dabei immaterielle Ressourcen wie Technologiewissen oder Führungskompetenz. Die Veränderung dieser Ressourcen erfolgt dabei immer durch einen Aufbau, einen Abbau oder eine Verschiebung im GPN. [43] In Abhängigkeit der Ressourcenkategorie ist eine weiterführende Differenzierung des Veränderungsmechanismus der Verschiebung nötig. Werden Ressourcen, wie beispielsweise Maschinen, an einem Standort abgebaut und an ei-

**Bild 9.** Vorgehen zur Planung und Umsetzung von Ressourcenveränderungen an Cremer [40]. Grafik: RWTH Aachen



nem anderen Standort mit identischen Ausprägungen wieder aufgebaut, werden sie verlagert. Im Gegensatz dazu wird bei einer Umschulung von Personal die Ressource in einer anderen Ausprägung aufgebaut, was als Umwandlung bezeichnet wird. [40]

Es hat sich gezeigt, dass 55 % der Unternehmen Migrationsprojekte nicht erfolgreich durchführen. [44] Dies liegt daran, dass Unternehmen Migrationsprojekte nicht systematisch planen und durchführen. Das in **Bild 9** dargestellte Vorgehen zeigt wie Migrationsprojekte systematisch geplant und durchgeführt werden können. Es handelt sich dabei um einen kontinuierlichen Gesamtprozess, der in zwei übergeordnete Phasen unterteilt ist und insgesamt sieben Schritte umfasst. [40] Die Planungsphase sollte dabei zentralisiert durchgeführt werden da eine zentrale Steuerung eine einheitliche Strategie, konsistente Entscheidungsprozesse und eine bessere Abstimmung zwischen den beteiligten Abteilungen gewährleistet.

Die Erfassung des Migrationsprojekts dient der Sammlung aller relevanten Informationen. Hierbei werden die Ist-Daten des GPN erfasst und Zielvorgaben aus der strategischen und taktischen Netzwerkgestaltung übernommen. Durch die Erfassung von Unsicherheiten und Einflüssen werden äußere, volatile Einflüsse und die sich daraus ergebenden Unsicherheiten modelliert. Darauf aufbauen wird die benötigte Ressourcenveränderung bestimmt. Hierbei werden die in Bild 8 aufgezeigten Ressourcenkategorien integriert. Zur Realisierung von Skaleneffekten ist, wo möglich, eine Zentralisierung der immateriellen Ressourcen, wie beispielsweise Technologiewissen, anzustreben. Es erfolgt eine Optimierung der Auswahl und Skalierung von konkreten Migrationsschritten, um die Wirtschaftlichkeit des Migrationsprojektes zu maximieren. Das Ziel der Bestimmung der Reihenfolge der Veränderungen ist die Optimierung der zeitlichen Abfolge der Migration mittels kapitalwertbasierter Kostenminimierung. Die Ergebnisse werden als Migrationsprojektplan in Form eines Gantt-Charts dargestellt, welcher als Übergabepunkt für die Umsetzungsphase dient. Die operative Umsetzung der Veränderung ist die erste Aktivität der Umsetzungsphase. Dabei werden Soll-Kennzahlen, Grenzwerte, wie Warn-, Eingriffs- und Abbruchgrenzen und die Häufigkeit der Datenerfassung festgelegt und die Veränderungen gemäß der Planung durchgeführt. Die zentralen Aufgaben der Steuerung und Überwachung der Umsetzung sind die regelmäßige Erfassung des Umsetzungsgrades, die Steuerung der Umsetzung sowie die dynamische Bewertung des Risikos und der Erhebungshäufigkeit. Nach Abschluss der Umsetzung erfolgt eine retrospektive Analyse und Erfolgsbewertung der Migrationschritte durch den Vergleich von Ist- und Soll-Werten. Die Ergeb-

nisse dieser dienen zukünftigen Migrationsvorhaben als Grundlage um ein kontinuierliches Lernen zu ermöglichen. [40]

Durch die strukturierte Erfassung, Bewertung und Optimierung von Ressourcenveränderungen im Rahmen des vorgestellten Vorgehens können fehlerhafte oder ineffiziente Migrationen vermieden und dadurch entstehende Kosten im Zusammenhang mit Migrationsprojekten reduziert werden. Gleichzeitig trägt der iterative Charakter des Vorgehens zur Erhöhung der Resilienz des Produktionsnetzwerks bei, indem er eine systematische und adaptive Anpassung der Netzwerkkonfiguration ermöglicht.

Zusammenfassend behandelt das Management von GPN die Herausforderungen, die durch kontinuierliche Veränderungen in der Unternehmensumgebung an den Standorten entstehen. Der globale Leitstand fungiert als zentrale Steuerungseinheit, die Echtzeitdaten aus verschiedenen Standorten zusammenführt und analysiert, um eine fundierte Entscheidungsfindung zu ermöglichen. Die Umsetzung der Gestaltung des GPN wird im Rahmen von Migrationsprojekten vollzogen. Diese Projekte erfordern eine systematische Planung, um Ressourcenveränderungen effektiv zu managen. Durch diese Herangehensweise können Unternehmen ineffiziente Migrationen vermeiden und Kosten reduzieren.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag behandelt die Herausforderungen in der kontinuierlichen Gestaltung und Führung globaler Produktionsnetzwerke in einem dynamischen Umfeld, das von geopolitischen Konflikten und wachsenden Anforderungen an Resilienz und Nachhaltigkeit geprägt ist. Daher wird ein integrierter Managementansatz auf strategischer, taktischer und operativer Ebene präsentiert. Auf der strategischen Ebene müssen traditionelle Leistungsziele um ökologische und soziale Nachhaltigkeit sowie Resilienz erweitert werden. Dies erfordert spezifische Netzwerkfähigkeiten, wie die Reduktion von Transportemissionen, und die Integration von Kreislaufwirtschaft. Die taktische Ebene konzentriert sich auf die Gestaltung des Netzwerks unter Nutzung datenbasierter Tools wie MIORI Network Design zur Modellierung möglicher Ziel-Szenarien. Die Upgrade Circular Economy wird durch Re-X Strategien gefördert, während ein Stresstest-Framework interne Schwachstellen identifiziert und Resilienzmaßnahmen ableitet. Die operative Ebene steuert den Betrieb über einen globalen Leitstand, der Echtzeitdaten analysiert, um Transparenz und Agilität zu erhöhen. Die Integration von Umweltdaten fördert ressourcenschonende Entscheidungen. Migrationsprojekte sind entscheidend für den Übergang vom Ist- zum Ziel-Footprint; ihre erfolgreiche

Durchführung erfordert ein systematisches Vorgehen zur Planung von Ressourcenveränderungen. Dieser iterative Prozess steigert die Effizienz und Resilienz des GPN.

## LITERATUR

- [1] Ferdows, K.: Keeping up with growing complexity of managing global operations. *International Journal of Operations & Production Management* 38 (2018) 2, S. 390–402
- [2] Jacob, F.; Strube, G.: Why Go Global? The Multinational Imperative. In: Abele, E. (Edit.): *Global production. A handbook for strategy and implementation*. Berlin, Heidelberg: Springer 2008, pp. 2–33
- [3] Lanza, G.; Ferdows, K.; Kara, S. et al.: Global production networks: Design and operation. *CIRP Annals* 68 (2019) 2, S. 823–841
- [4] Friedli, T.; Lanza, G.; Remling, D.: *Global Manufacturing Management*. Cham: Springer International Publishing 2021
- [5] Friedli, T.; Thomas, S.; Mundt, A.: *Management globaler Produktionsnetzwerke. Strategie – Konfiguration – Koordination*. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG 2013
- [6] Schuh, G.; Prote, J.-P.; Franken, B. et al.: Performance Drivers in Global Production Networks: Analysis of Cause and Effect Relations between Influencing Factors and Performance of Production Sites. In: 2017 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET) 2017, S. 1–9
- [7] Lund, S.; Manyika, J.; Smit, S. et al.: Risk, resilience and rebalancing in global value chains
- [8] Schollemann, A.: *Strategische Ausrichtung nachhaltiger Produktionsnetzwerke*. Dissertation, RWTH Aachen University, 2025
- [9] Fictiv Inc.: *State of Manufacturing*. 2024
- [10] Schuh, G.; Prote, J.-P.; Gütlaff, A. et al.: Gestaltung von Produktionsnetzwerken. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 114 (2019) 1-2, S. 7–10
- [11] Schuh, G.; Kampker, A.: *Strategie und Management produzierender Unternehmen*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2011
- [12] Abegglen, C.; Bleicher, K.: *Das Konzept Integriertes Management. Visionen – Missionen – Programme, plus E-Book inside (ePub, pdf)*. Weinheim: Campus Verlag 2021
- [13] Miedler, P.; Friedli, T.: Deriving a Network Strategy. In: Friedli, T.; Lanza, G.; Remling, D. (Hrsg.): *Global Manufacturing Management*. Cham: Springer International Publishing 2021, S. 87–100
- [14] Meyer, T.; Jacob, F.: Network Design: Optimizing the Global Production Footprint. In: Abele, E. (Edit.): *Global production. A handbook for strategy and implementation*. Berlin, Heidelberg: Springer 2008, pp. 140–190
- [15] Fränken, B.: *Standortrollen in Produktionsnetzwerken*. Aachen: Apprimus Wissenschaftsverlag 2022
- [16] Christodoulou, P.: *Manufacturing footprint strategy*. Internet: [https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/uploads/Resources/Briefings/cim\\_briefing\\_footprints.pdf](https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/uploads/Resources/Briefings/cim_briefing_footprints.pdf). Zugriff am 28.10.2025
- [17] Schuh, G.; Schmitz, S.; Schlosser, X. T. et al.: Datenbasierte Gestaltung nachhaltiger Produktionsnetzwerke. *wt Werkstattstechnik online* 113 (2023) 04, S. 110–114
- [18] Ays, J.: *Gestaltung agiler Produktionsnetzwerke*. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen; Apprimus Verlag, 2023
- [19] Remling, D.; Friedli, T.: The St.Gallen Management Model for International Manufacturing Networks. In: Friedli, T.; Lanza, G.; Remling, D. (Hrsg.): *Global Manufacturing Management*. Cham: Springer International Publishing 2021, S. 25–50
- [20] Witthohn, C.: *Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke im Spannungsfeld von Kosten- und Risikominimierung* (2019)
- [21] Rodemann, N.: *Resiliente Produktionsnetzwerke durch datenbasierte Früherkennung*. Dissertation, RWTH Aachen University, 2023
- [22] Welsing, M.: *Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von Produktionsnetzwerkkonfigurationen*. Dissertation, RWTH Aachen University, 2023
- [23] Cavaciuti-Wishart, E.; Heading, S.; Kohler, K. et al.: *The Global Risks Report 2024*
- [24] Janssen, B.; Schuh, G.; Schmitz, S. et al.: Analysis of vulnerabilities in global production networks through disruption simulation, *Cambridge International Manufacturing Symposium*, Cambridge, 2024
- [25] Buß, D.; Gebauer, H.; Glawar, R. et al.: *Resiliente Wertschöpfung in der produzierenden Industrie – innovativ, erfolgreich, krisenfest*. 2021
- [26] Sihvonen, S.; Ritola, T.: Conceptualizing ReX for Aggregating End-of-life Strategies in Product Development. *Procedia CIRP* 29 (2015), S. 639–644
- [27] Almelhem, M.; Buics, L.; Süle, E.: Effectiveness and Role of Reverse Logistics Operations in Supply Chain Management (2024)
- [28] Van Ha, N. T.: *Development of Reverse Logistics – Adaptability and Transferability*, TU Darmstadt, 2012
- [29] Dore, S.; Gallo, A.: Circular Economy and Reverse Logistics: An Analysis of Sustainable Business Models. In: S. 495–511
- [30] Hajar, R.: The Contribution of Reverse Logistics Practices in Circular Economy Principles: A TOWS Analysis. *IFAC-PapersOnLine* 58 (2024) 13, S. 733–738
- [31] Ellen MacArthur Foundation: The butterfly diagram: visualising the circular economy. Zugriff am 29.09.2025
- [32] Rahiminia, M.; Razmi, J.; Shahrabi Farahani, S. et al.: Cluster-based supplier segmentation: a sustainable data-driven approach. *Modern Supply Chain Research and Applications* 5 (2023) 3, S. 209–228
- [33] Benfer, M.; Verhaelen, B.; Peukert, S. et al.: Resilience Measures in Global Production Networks: A Literature Review and Conceptual Framework. *Die Unternehmung* 75 (2021) 4, S. 491–520
- [34] Yau, N.: *Visualize this. The FlowingData guide to design, visualization, and statistics*. Indianapolis, IN: Wiley Pub 2011
- [35] Prote, J.-P.: *Verursachungsgerechte Bewertung von Standortalternativen in Produktionsnetzwerken*. Dissertation, RWTH Aachen University, 2018
- [36] Schuh, G.; Gütlaff, A.; Hast, K. et al.: *Performance Measurement in Global Production Networks to Identify Knowledge Transfer Needs Using Statistical Process Control* (2021)
- [37] Hast, K.: *Datenbasiertes Lernen in Produktionsnetzwerken*. Aachen: Apprimus Wissenschaftsverlag 2021
- [38] Kaiser, J.; Remling, D.: *Managing International Manufacturing Networks in Today's Business Environment*. In: Friedli, T.; Lanza, G.; Remling, D. (Hrsg.): *Global Manufacturing Management*. Cham: Springer International Publishing 2021, S. 63–76
- [39] Buess, P.: *Enabling Data-Based Applications in Manufacturing*. In: Friedli, T.; Lanza, G.; Remling, D. (Hrsg.): *Global Manufacturing Management*. Cham: Springer International Publishing 2021, S. 189–202
- [40] Cremer, S.: *Controlling der Migration in Produktionsnetzwerken*. Dissertation, Apprimus Verlag; Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2022
- [41] Gartzten, T.: *Diskrete Migration als Anlaufstrategie für Montagesysteme*. Aachen: Apprimus-Verl. 2012
- [42] Neuner, C.: *Konfiguration internationaler Produktionsnetzwerke unter Berücksichtigung von Unsicherheit*. Wiesbaden: Gabler 2009
- [43] Reuter, C.; Prote, J.-P.; Schmitz, T. et al.: Ermittlung eines strategischen Migrationsplans für globale Produktionsnetzwerke. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 110 (2015) 7-8, S. 425–428
- [44] van Wyck, J.; Philips, K.; Gilbert, M. et al.: *Harnessing the Tectonic Shifts in Global Manufacturing*. Internet: <https://web-assets.bcg.com/c1/e8/abe84fe44b189226b0a69251af24/harnessing-the-tectonic-shifts-in-global-manufacturing-sep-2023.pdf>

**Benedict Janssen, M.Sc.**   
[b.janssen@wzl.rwth-aachen.de](mailto:b.janssen@wzl.rwth-aachen.de)

**Lukas Hauser, M.Sc.**

**Thilo Walter, M.Sc.**

**Kathrin Böttger, M.Sc.**

**Dr.-Ing. Seth Schmitz** 

**Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.  
Ing. Günther Schuh** 

Werkzeugmaschinenlabor WZL  
 der RWTH Aachen University   
 Lehrstuhl für Produktionssystematik  
 Campus-Boulevard 30, 52074 Aachen  
[www.wzl.rwth-aachen.de](http://www.wzl.rwth-aachen.de)

## LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons  
 Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)