Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper“).

doi.org/10.37544/1436–4980–2023–04–10

Softwarelösung Miori Network Design

Datenbasierte Gestaltung nachhaltiger Produktionsnetzwerke

G. Schuh, S. Schmitz, T. Schlosser, B. Janssen

Während die Gestaltung globaler Produktionsnetzwerke in den vergangenen Jahrzehnten hauptsächlich an den Zieldimensionen Kosten, Geschwindigkeit und Flexibilität ausgerichtet war, gewinnt die ökologischen Nachhaltigkeit als weitere Zieldimension zunehmend an Bedeutung. Gepaart mit einer steigenden Dynamik im Umfeld produzierender Unternehmen, ist eine transparente, datenbasierte Netzwerkgestaltung essenziell, um erfolgreich zu sein. Dieser Beitrag präsentiert ein datengetriebenes Vorgehen mithilfe des Softwaretools „Miori“ Network Design, das die Gestaltung des Produktionsnetzwerkes sowohl unter klassischen Zieldimensionen, als auch unter Nachhaltigkeitsdimensionen erlaubt.

STICHWÖRTER

Produktionsnetzwerke, Netzwerkgestaltung, Nachhaltigkeit

Data-driven design of sustainable production networks

While the design of global production networks in the past decades was mainly oriented towards the target dimensions of costs, speed and flexibility, ecological sustainability is becoming increasingly important as a further target dimension. Coupled with an increasing dynamic in the environment of manufacturing companies, a transparent, data-based network design is essential to be successful. This paper presents a data-driven approach with the help of the software tool Miori Network Design, which enables the design of the production network according to both classical and sustainability dimensions.

1 Motivation zur Gestaltung globaler, nachhaltiger Produktionsnetzwerke

Produzierende Unternehmen haben ihre Wertschöpfungskette zunehmend global ausgebaut, um Wettbewerbsvorteile zu erlangen, zum Beispiel durch Kosteneinsparungen, individuelle Kundenfertigung und Zugang zu lokalen Ressourcen. Um das Potenzial des Produktionsnetzwerks voll auszuschöpfen, ist eine geeignete Gestaltung und Steuerung erforderlich [1]. Allerdings weisen die Netzwerke oftmals historisch gewachsen Strukturen auf, wodurch Anpassungen an dynamische Marktentwicklungen eine ständige Herausforderung darstellen [2]. Produzierende Unternehmen tragen zudem erheblich zu den weltweiten Kohlendioxidemissionen und dem Materialverbrauch bei. Die Gestaltung des Produktionsnetzwerks wirkt sich aufgrund der Transportbeziehungen, der Verteilung von energieintensiven Technologien und der unterschiedlichen lokalen Verfügbarkeiten von Ressourcen auf die ökologische Nachhaltigkeit aus [3]. Produktionsprozesse können beispielsweise aufgrund der unterschiedlichen Stromerzeugung in verschiedenen Ländern einen lokal abweichenden Einfluss auf die ökologische Nachhaltigkeit haben. Daher stellt die Gestaltung globaler Produktionsnetzwerke einen großen Hebel zur Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit der Unternehmen dar [4]. Zudem sind die Netzwerke aufgrund ihrer Struktur und Vielzahl an kombinatorischen Gestaltungsmöglichkeiten hoch komplexe Systeme [5]. Sie zählen zu den komplexesten vom Menschen geschaffenen Systemen [6]. Betrachtet man beispielsweise ein Produktionsnetzwerk mit zehn verschiedenen Standorten und 200 zuzuordnenden Produkten, die jeweils mit einer von drei alternativen Prozessketten mit vier bis acht Schritten auf ein bis zwei Produktionsressourcen hergestellt werden, ergibt sich bereits ein Lösungsraum von 10^{4500} [7]. Die Gestaltung solcher Produktionsnetzwerke erfordert daher ein umfassendes Management, welches sich mit Fragen zur Produktallokation, Fragmentierung und Spezialisierung von Standorten im Netzwerk auseinandersetzt.

Diese beschriebene Komplexität und Dynamik im Umfeld produzierender Unternehmen erfordert, dass Netzwerkgestaltung kontinuierlich verankert wird. Durch die Top-Down Vorgabe der Netzwerkstrategie und dem Bottom-Up Feedback über deren Implementation können Anpassungsbedarfe frühzeitig erkannt werden, sodass sich kontinuierlich den dynamischen Gegebenheiten der Märkte und Politik angepasst wird. In diesem Sinne ist ein kontinuierlicher Abgleich mit der Strategie sowie der Steuerung des Netzwerks erforderlich (**Bild 1**). Der Abgleich über eine strategische, eine taktische und eine operative Ebene nach *Schuh et al.* ermöglicht diese Kontinuität.[8]

Planende globaler Produktionsnetzwerke stehen vor der Aufgabe, die bestmögliche Netzwerkkonfiguration in der Abwägung zwischen klassischen Zieldimensionen, wie Kosten, Geschwindigkeit und Flexibilität, und Nachhaltigkeitsdimensionen zu finden [9]. In der Praxis fehlt es jedoch oft an einem geeigneten Entscheidungsprozess aufgrund der Vielzahl an Optionen, was die notwendigen Entscheidungen erschwert. Die fehlende Transpa-

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-04-10 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

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

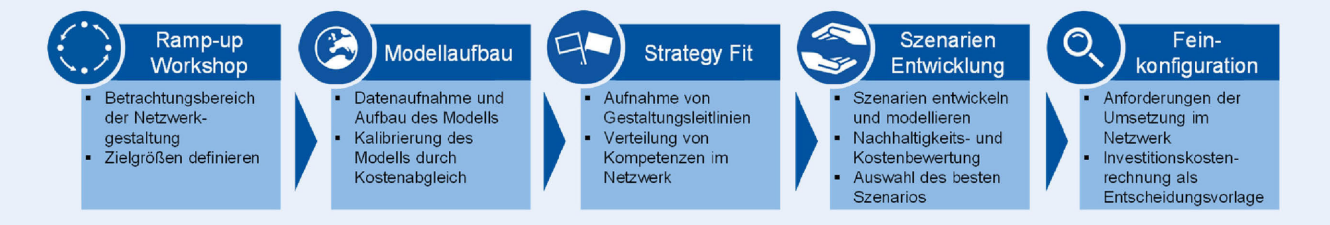

Bild 2. Workshopbasiertes Vorgehen zur Gestaltung nachhaltiger Produktionsnetzwerke. *Grafik: RWTH Aachen*

renz im Lösungsprozess und die Notwendigkeit, quantitative sowie qualitative Faktoren in eine Zielvorgabe zu integrieren, machen es schwierig, ausschließlich auf mathematische Methoden zur Bestimmung der optimalen Netzwerkkonfiguration zu setzen. Die Herausforderung, Nachhaltigkeitsfaktoren der Standorte in die Betrachtung der Netzwerkgestaltung mit einzubeziehen, erfordert eine systematische Modellierungen, um die komplexen Wirkbeziehungen zu beschreiben [10].

Es ist ein systematisches Vorgehen notwendig, welches die vorhandenen Daten über die verschiedenen Standorte, Produkte und Produktionsfaktoren im Netzwerk mit der strategischen Ausrichtung nach Wirtschaftlichkeits- und Nachhaltigkeitskriterien auswertet. Ein solches Vorgehen liefert hier Abhilfe und bildet die Grundlage für die Gestaltung nachhaltiger, globaler Produktionsnetzwerke [11]. Daten spielen dabei eine wichtige Rolle, um eine objektive Bewertung durchführen zu können und die Transparenz zu schaffen, die für fundierte Entscheidungen notwendig ist. Diese Entscheidungen beruhen nicht nur auf Kosten, sondern es müssen weitere Bewertungsdimensionen, je nach Ziel der Netzwerkgestaltung, abgewogen werden. Das Erfahrungswissen des Planers und die Unterstützung durch quantitative Methoden bilden in einem geführten Prozess den Schlüssel zum Erfolg.

2 Workshopbasiertes Vorgehen zur Bewertung der Zieldimensionen Nachhaltigkeit und Kosten

Die datengetriebene Gestaltung des Produktionsnetzwerks wird in einem workshopbasierten Vorgehen unter Zuhilfenahme von Expertenwissen ermöglicht und gliedert sich in fünf Schritte (**Bild 2**). Die Bewertung der Zieldimensionen in Bezug auf Nachhaltigkeit und Kosten steht dabei im Fokus der Gestaltung des Produktionsnetzwerks.

Zu Beginn werden im Rahmen eines Ramp-Up Workshops zunächst die zentralen Fragestellungen und der Betrachtungsbereich definiert. Im Bereich der Netzwerkgestaltung kann der Fokus auf verschiedenen Aspekten liegen, wie zum Beispiel der Produktallokation, der Erweiterung von Kapazitäten und Standortveränderungen oder der Einführung neuer Produkte im Netzwerk. Zudem sind quantitative wie qualitative Zielgrößen für die spätere Bewertung der Szenarien zu definieren. Daraufhin wird das Abstraktionsniveau definiert und die erforderlichen Datenbedarfe bestimmt.

In einem zweiten Schritt wird der aktuelle Ist-Zustand des vorhandenen Netzwerks modelliert. Hierbei wird das Netzwerk mit seinen derzeitigen Standorten, Produktionsprozessen und Lieferbeziehungen dargestellt und die vorhandenen Daten zum aktuellen Netzwerkzustand visualisiert. Dabei wird das aktuelle Netzwerk hinsichtlich seiner Kosten, Kapazitäten und der Nachhaltigkeit des Ressourcenverbrauchs bewertet. Über einen Kostenabgleich beispielsweise mit dem letzten Geschäftsjahr wird das Modell kalibriert, um die Validität der Ergebnisse zu gewährleisten. Erste Potenziale können aus der Analyse des Ist-Zustands abgeleitet werden. Die Kalibrierung und Visualisierung des Ist-Zustandes gelingt unter Zuhilfenahme von Softwarelösungen wie Miori Network Design (s. Abschnitt 3)

Im Strategy Fit wird die angestrebte strategische Ausrichtung des Netzwerks mit den vorhandenen Kompetenzen im Netzwerk abgeglichen. In diesem Zuge sind konkrete Standortrollen für die unterschiedlichen Standorte abzuleiten. Durch den Abgleich mit der Ist-Struktur können konkrete Entwicklungspläne für die

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-04-10 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

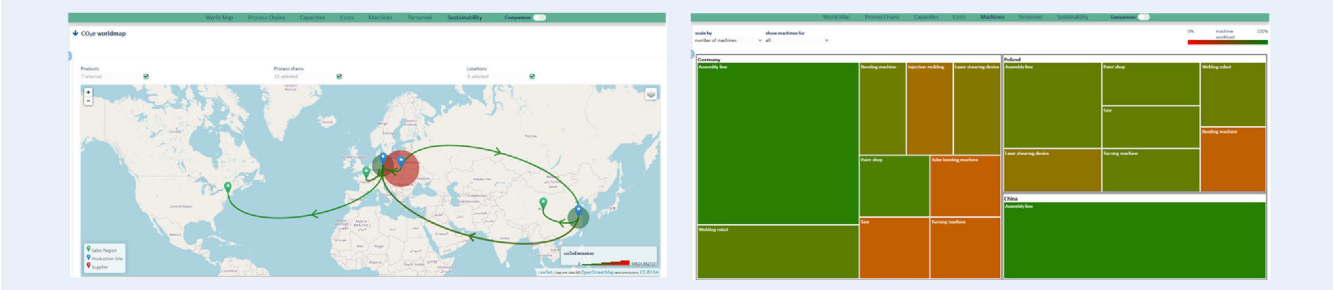

Bild 3. Anwendung der Visualisierungsoptionen von Miori Network Design. Grafik: *RWTH Aachen*

Standorte bestimmt werden. Diese dienen als Gestaltungsleitlinien für die Entwicklung konkreter Netzwerkszenarien. Datengetriebene Modellierungen können diese Netzwerkszenarien daraufhin abbilden (**Bild 3**), um die Auswirkungen der Gestaltung auf Kostenstruktur und Nachhaltigkeit zu untersuchen.

Basierend auf den zuvor definierten Gestaltungsleitlinien werden iterativ zusammen mit den Expertinnen und Experten aus den Unternehmen konkrete Netzwerkszenarien entwickelt. Diese sind ebenfalls zu modellieren und hinsichtlich der zuvor definierten Zielgrößen zu bewerten. Basierend auf den Bewertungen sind die potenziell attraktivsten Szenarien auszuwählen, um diese weiter zu detaillieren. Die Erhebung der Nachhaltigkeitskennzahlen entlang der identifizierten Prozess- und Netzwerkkonfigurationen bietet unter Zuhilfenahme des Softwaretools Miori Network Design (s. Abschnitt 3) den Vorteil, dass keine zusätzlichen Informationsbedarfe für die Nachhaltigkeitsbewertung erfasst werden müssen. So wird dem Nutzer des Softwaretools ermöglicht, die Bewertung der Zieldimensionen Nachhaltigkeit und Kosten der einzelnen Szenarien transparent vergleichen zu können.

Die zuvor priorisierten Szenarien werden in einem letzten Schritt, der Feinkonfiguration, weiter detailliert. Dabei sind der Übergang vom Ist- zum Soll-Zustand und die damit verbundenen Investitionen und Einnahmen zu beschreiben. Diese Informationen werden in einer Investitionsrechnung zusammengefasst. Aufgrund der annahmenbasierten Entwicklung von Zukunftsszenarien, ist die Entscheidung mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Um diese Unsicherheit in die Gestaltung zu integrieren, ist eine entsprechende Sensitivitätsanalyse aufzubauen. Basierend auf diesen Analysen kann zum Schluss der anzustrebende Ziel-Footprint ausgewählt werden.

3 Softwaretool zur datenbasierten Entscheidungsunterstützung

Um den Aufwand für den Aufbau eines individuellen Modells zu minimieren wurde am Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen University das Softwaretool Miori Network Design entwickelt, um heutige Herausforderungen und Fragestellung der Industrie zu unterstützen.

Das Softwaretool wurde iterativ aus einem EU-Forschungsprojekt weiterentwickelt und vielmals erfolgreich mit Industriepartnern angewendet. Miori Network Design ist ein objektbezogen programmiertes Web-Tool, das in einer SQL-basierten Datenbank abgebildet wird und dient zur datenbasierten Analyse und Gestaltung von Produktionsnetzwerken. Das grundlegende Ziel des Tools ist es Produktionsmengen verschiedener Standorte mithilfe der Szenarien-Analyse flexibel zu verschieben und darauf basierend die benötigten Maschinen, Mitarbeiter, Transporte für die entsprechende Konfiguration mithilfe des Tools direkt zu berechnen. So können auf Basis der Betrachtung von Total Landed Costs und ausgestoßener CO_2-Äquivalente wirtschaftliche und ökologische Auswirkungen dieser verschiedenen Netzwerkkonfiguration bewertet werden. Total Landed Costs setzen sich aus diversen Kostentreibern, wie Herstellkosten, Lohnkosten oder fixen Standortkosten, zusammen [12]. CO_2-Äquivalente (CO_2e) beschreiben die unterschiedlichen Klimaauswirkungen verschiedener Treibhausgase umgerechnet auf das Treibhausgas CO_2 [13]. Die entstehenden Kosten und Emissionen können so verursachungsgerecht betrachtet werden.

Wie mithilfe des in Abschnitt 2 beschriebenen workshopbasierten Vorgehens, kann im Zuge der Netzwerkgestaltung zunächst der Ist-Zustand modelliert werden. Dieser hilft Transparenz über das Netzwerk zu schaffen und Potenziale zu bestimmen. Zudem unterstützt die Analyse des Ist-Zustands die schnelle, intuitive Gestaltung, sowie Bewertung neuer Szenarien.

Miori Network Design dient zum einen dazu Transparenz im Netzwerk zu schaffen und zum anderen zur einfachen Modellierung und quantitativen Bewertung verschiedener Netzwerkszenarien. Mit Hilfe der Visualisierungsoptionen (**Bild 3**) können verschiedene Analysen erstellt werden, um Schwachstellen und Potenziale transparent aufzuzeigen. Bild 3 zeigt links dabei die Auswirkung der Produktion sowie der Transporte im Netzwerk auf die ökologische Nachhaltigkeit. Die eingefärbten Kreise signalisieren dabei die Menge ausgestoßener Emissionen am Standort. Bild 3 visualisiert rechts die Maschinenauslastung an den unterschiedlichen Standorten. Die Visualisierung dient dazu ungenutzte Maschinenkapazitäten transparent und übersichtlich darzustellen und so Transparenz im Produktionsnetzwerk zu schaffen. So unterstützt Miori Network Design die Entwicklung neuer Szenarien im Zuge des zuvor vorgestellten Vorgehens und stellt eine kontinuierliche Bewertung des Netzwerkzustands hinsichtlich verschiedener Kennzahlen sicher [14].

Für die erfolgreiche Anwendung von Miori Network Design als datenbasiertes Planungstool für eine Gestaltung nachhaltiger Produktionsnetzwerke müssen bereits bestehende Unternehmensdaten eruiert werden. Dafür ist eine systematische Datenerfassung der betrachteten Standorte, Technologien und Produkte notwendig. Die benötigten Daten können aus den verschiedenen unternehmensinternen Datenbanken entnommen werden und in Miori Network Design eingelesen werden. Diese umfassen sowohl Daten über die verschiedenen Standorte (Schichtmodelle, Arbeitslohn, lokaler Strommix, etc.), als auch über die dort allokierten Produkte (Stücklisten, Gewicht, Materialkosten, etc.) und Produktionsressourcen (OEE, Energiebedarf der Anlagen, Flächenbedarf, etc.). Damit neben den verschiedenen Kostenfaktoren auch die Einflüsse auf die ökologische Nachhaltigkeit betrachtet

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-04-10 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

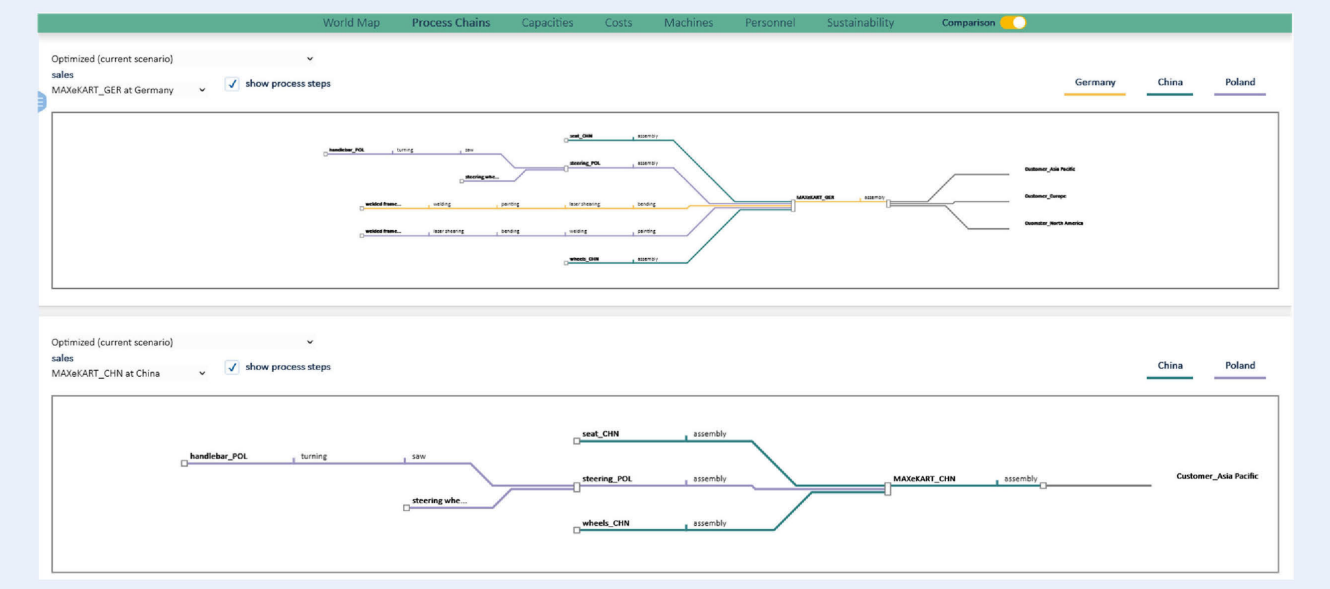

Bild 4. Gegenüberstellung verschiedener Prozessketten. *Grafik: RWTH Aachen*

werden können, ist in Miori Network Design eine Datenbank über den Ressourcenverbrauch von Energie, Gebäuden und Transporte hinterlegt. So kann der ökologische Fußabdruck einer Produktionsressource beispielsweise je nach Strom Mix des Standortes differieren. Die hinterlegte Datenbank speist sich aus gängigen Quellen und Normen zur Berechnung von Treibhausgasemissionen, wie der DIN16258 [15] und der DSLV 2013 für Spedition und Logistik [16]. Aufgrund dieser bereits hinterlegten Datenbank kann Miori Network Design den ökologischen Fußabdruck der betrachteten Netzwerkkonfiguration ermitteln, ohne dass vom Nutzer zusätzliche Daten über vorhandene und zukünftige Netzwerkkonfigurationen erhoben werden müssen. Die Ergebnisse speisen sich aus den angelegten Standorten, Transportrouten und allokierten Produktionsressourcen.

Sind diese Daten zusammengetragen, können ausgehend vom Status Quo verschiedene Szenarien zur Optimierung des Produktionsnetzwerks hinsichtlich Kosten und Umwelteinflüsse erstellt werden. Dabei können CO_2e nicht nur für das gesamte Netzwerk, sondern auch für einzelne Standorte, bis hin zu einzelnen Maschinen, detailliert werden. Diese Transparenz hilft, um emissionsintensive Prozesse schnell und zuverlässig identifizieren zu können. Zudem ermöglicht eine Gegenüberstellung verschiedener Szenarien die Vergleichbarkeit der gestalteten Szenarien untereinander und in Referenz zum Status Quo. In **Bild 4** ist die Gegenüberstellung zweier Prozessketten dargestellt. Diese gibt Aufschluss darüber, welche Prozessschritte an welchem Standort gefertigt werden und wie diese sich zum Endprodukt zusammensetzen. Die Abbildung lässt erkennen, dass dasselbe Produkt an unterschiedlichen Standorten entlang einer variierenden Prozessfolge gefertigt werden kann.

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wird ein systematisches Vorgehen zur Gestaltung nachhaltiger globaler Produktionsnetzwerke mithilfe des Softwaretools Miori Network Design vorgestellt. Das erörterte Vorgehen umfasst ein workshopbasiertes Vorgehen, wie das Produktionsnetzwerk anhand von Wirtschaftlichkeits- und Nachhaltigkeitsdimensionen optimiert werden kann. Das vorgestellte Softwaretool dient dabei der Schaffung von Transparenz und der einfachen Modellierung und Bewertung von Netzwerkszenarien. Damit kann Miori Network Design als Entscheidungsgrundlage für Netzwerkentscheidungen genutzt werden. Aufgrund der Betrachtung von wirtschaftlichen und nachhaltigen Kennzahlen kann eine multifaktorielle Entscheidung getroffen werden. Derzeit betrachtet das Softwaretool lediglich Faktoren der ökologischen Nachhaltigkeit basierend auf einer CO_2-Äquivalenzrechnung. Zukünftig soll das Tool auch weitere Dimensionen der ökologischen sowie sozialen Nachhaltigkeit entlang der identifizierten Netzwerkkonfiguration berechnen. So könnten beispielsweise der soziale Einfluss der Standorte, der Einfluss auf die lokale Biodiversität oder die Belastung der lokalen Wasserversorgung in Zukunft den Betrachtungsbereich von Miori Network Design erweitern.

Das Softwaretool Miori Network Design ist über eine Webplattform verfügbar und kann mit einer gezielten Rechteverwaltung sicherstellen, dass jeder Nutzer nur die Daten sieht und eingibt, die ihm zugeteilt werden. So kann der Schutz unternehmensspezifischer Daten in diesem strategischen und kritischem Planungsbereich sichergestellt werden.

FÖRDERHINWEIS

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie – EXC-2023 Internet der Produktion – 390621612.

Literatur

[1] Arndt, T.; Lemmerer, C.; Biegler, C. et al.: Steuerung globaler Produktionsnetzwerke. Entwicklung eines Standortrollenmodells zur dynamischen Bewertung von Gestaltungsmaßnahmen 107 (2017) 4

[2] Schollemann, A.; Wiesch, M.; Brecher, C. et al.: Resilience Drivers in Next Generation Manufacturing. In: Piller, F. T.; Nitsch, V.; Lüttgens, D.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-04-10 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

et al. (Edit.): Forecasting Next Generation Manufacturing. Digital Shadows, Human-Machine Collaboration, and Data-driven Business Models. Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer 2022, pp. 119–128
[3] Abele, E.; Meyer, T.; Näher, U. et al. (Hrsg.): Global Production. A Handbook for Strategy and Implementation. Springer Berlin Heidelberg 2008
[4] Schuh, G.; Schmitz, S.; Welsing, M.: Evaluating ecological sustainability trade-offs in the design of manufacturing networks. CIRP Annuals Manufacturing Technology 71 (2022) 2, S. 1–4
[5] Ferdows, K.: Relating the Firm's Global Production Network to Its Strategy. In: Johansen, J.; Farooq, S.; Cheng, Y. (Hrsg.): International Operations Networks. London: Springer London 2014, S. 1–11
[6] Váncza, J.: Production Networks. In: Produ, T. I. A. f.; Laperrière, L.; Reinhart, G. (Hrsg.): CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2016, S. 1–8
[7] Schuh, G.; Potente, T.; Kupke, D. et al.: An Evolutionary Approach for Global Production Network Optimisation. Procedia CIRP 3 (2012), S. 382–387
[8] Schuh, G.; Prote, J. P.; Dany, S.: Reference process for the continuous design of production networks. 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Singapore, 2017, S. 446–449
[9] Lanza, G.; Ferdows, K.; Kara, S. et al.: Global production networks: Design and operation. CIRP Annals 68 (2019) 2, S. 823–841
[10] Schuh, G.; Gützlaff, A.; Schlosser, T. X. et al.: Nachhaltigkeitsgetriebene Transformation von globalen Produktionsnetzwerken. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 117 (2022) 9, S. 532–536
[11] Ferdows, K.; Vereecke, A.; Meyer, A. de: Delayering the global production network into congruent subnetworks. Journal of Operations Management 41 (2016) 1, S. 63–74
[12] González-Ramírez, R. G.; Villalobos, J. R.; Meneses, C.: The strategic design of port services based on a total landed cost approach. The International Journal of Logistics Management 32 (2021) 1, S. 96–120
[13] Wühle, M.: Nachhaltigkeit messbar machen. Ein Praxisbuch für nachhaltiges Leben und Arbeiten. Berlin, Heidelberg: Springer 2022
[14] Schuh, G.; Prote, J.-P.; Gützlaff, A. et al.: Gestaltung von Produktionsnetzwerken. Verknüpfung von datengetriebenen Analysen mit Expertenwissen zur Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke. ZWF 114 (2019), S. 7–10
[15] Deutsches Institut für Normung: DIN EN 16258:2013–03: Methode zur Berechnung und Deklaration des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen bei Transportdienstleistungen (Güter- und Personenverkehr). Berlin: Beuth Verlag GmbH
[16] Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V.: Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik gemäß DIN EN 16258. 2013

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

Dr.-Ing. **Seth Schmitz**

Tino X. Schlosser, M. Sc. RWTH, M. Sc.

Benedict Janssen, M. Sc.

Werkzeugmaschinenlabor WZL
der RWTH Aachen University
Campus-Boulevard 30, 52074 Aachen
Tel. +49 151 431 69712
b.janssen@wzl.rwth-aachen.de
www.wzl.rwth-aachen.de

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

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT
Steinbachstr. 17, 52074 Aachen
www.ipt.fraunhofer.de

Forschungsinstitut für Rationalisierung e. V. (FIR)
an der RWTH Aachen University
Campus-Boulevard 55, 52074 Aachen
www.fir.rwth-aachen.de

Dr.-Ing. Seth Schmitz

GPMC Global Production Management Center GmbHCampus-Boulevard 30, 52074 Aachen
Tel. +49 241 47574 970
info@gpmc-aachen.de
www.gpmc-aachen.de

LIZENZ

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

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-04-10 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access -