

# Messung und Steigerung der Resilienz mittels numerischer Indizes

Ansätze zur Analyse der Resilienz in Lieferketten

Saskia Sardesai und Lucas Schreiber, Fraunhofer IML, Dortmund

Unternehmen streben aufgrund einer erhöhten Wahrnehmung von Risikoauswirkungen und steigenden Zwischenfällen eine resilientere Gestaltung ihrer Lieferketten an. Für die Steigerung der Resilienz können verschiedene Maßnahmen eingesetzt werden. Deren expliziter Beitrag zur Resilienz kann zwar über eine parallele Berechnung mehrerer Kennzahlen erfolgen. Um ein Benchmarking oder einen Vergleich von Lieferketten zu ermöglichen, werden numerische Indizes vorgestellt, welche die Kennzahlen zu einem Wert verdichten. Dies ermöglicht es, Potenziale zur Steigerung der Resilienz zu identifizieren oder unterschiedliche Maßnahmen in einer Lieferkette zu vergleichen. Dabei besitzen die Indizes unterschiedliche Zielsetzungen, da verschiedene Bewertungsverfahren und Quellen zur Quantifizierung verwendet werden. Um einen geeigneten Index zu finden, wird der jeweilige Anwendungskontext der Indizes diskutiert.

Wie wichtig gut funktionierende Lieferketten sind, haben Risikoereignisse wie die Corona-Pandemie, die Blockade des Suez-Kanals und der Ukraine-Konflikt aufgezeigt. Aktuelle Statistiken bestätigen zudem einen zunehmenden Trend an Risikoereignissen [1, 2]. Diese Entwicklung ruft bei Unternehmen eine hohe Unsicherheit zur zukünftigen Ausgestaltung der Lieferkette hervor. Für Unternehmen wird es daher immer wichtiger, ihre Lieferketten resilient aufzubauen, um sich somit schnell an Veränderungen anpassen und Krisen bewältigen zu können [3].

Eine Messung der Resilienz unterstützt das Management maßgeblich dabei, die Lieferkette auszugestalten und die Geschäftsfähigkeit bei Risikoereignissen aufrecht zu erhalten. In vielen Fällen ist eine Messung der Resilienz aus der Perspektive der eigenen Lieferkette wünschenswert, um somit unterschiedliche Ausgestaltungen der Lieferketten mit Bezug zur Resilienz vergleichen zu können oder über Benchmarkings Potenziale zur Verbesserung der Resilienz der Lieferkette zu ermitteln. Da dies ein Bezug zu einem vergleichenden Wert benötigt, werden numerische Indizes zur Bündelung verschiedener Kennzahlen der

Resilienz vorgestellt. Diese ermöglichen es, Schwachstellen zu erkennen und gezielt geeignete Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz anzugehen. Die unterschiedlichen Zielsetzungen, Bewertungsverfahren und Anwendungsgebiete der Indizes werden diskutiert und erläutert.

## Kennzahlen zur Messung der Resilienz

In der Literatur erfolgt die Messung von Resilienz der Lieferkette über verschiedene Kennzahlen [4]. Diese Kennzahlen sind von unterschiedlicher Natur und beziehen sich teils auf die Effizienz der Prozesse, teils auf die Effektivität der Lieferkette zur Abmilderung der Auswirkungen eines Risikos. Bei einer effizienzbezogenen Sichtweise auf die Resilienz werden meist kostenbezogene Kennzahlen verwendet, während die Effektivität über die Leistungserbringung der Lieferkette bemessen wird. Diese Kennzahlen haben zumeist kein einheitliches Skalenniveau. Aufgrund der Inhomogenität erweist sich die Messung der Resilienz anhand der Kennzahlen oft als schwierig, da die Verknüpfung von numerischen und qualitativen Werten auf ein multivariates Zielsystem aus Kosten und

## Applying Numerical Indices to Measure and Increase Resilience

An increased awareness of risks and rising incidents prompt companies to enhance the resilience of their supply chains. While various measures can be employed to increase resilience, a parallel consideration of a multitude of metrics is necessary to explicitly evaluate its impact on supply chain resilience. The paper presents approaches that facilitate the comparability of resilience across alternative supply chain designs by combining various metrics into a single numerical index. Additionally, innovative technologies are highlighted that can help to create resilient supply chains.

### Keywords:

resilience, supply chain, evaluation, index, supply chain design, innovation, adaptation



Dr. Saskia Sardesai ist als stellvertretende Abteilungsleiterin der Abteilung Supply Chain Engineering am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund tätig. Im stetigen Austausch mit der Praxis analysiert sie aktuelle Trends und greift Verbesserungen zur Ausgestaltung von Resilienz in Lieferketten auf.



Lucas Schreiber, M. Sc. arbeitet als Senior Scientist in der Abteilung Supply Chain Engineering am Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund.

saskia.sardesai@gmail.com  
www.Impl.fraunhofer.de

Leistung trifft. Klassische Leistungskennzahlen sind bspw. das erreichte Servicelevel, die Höhe der Sicherheitsbestände, die Kapazitätsauslastung oder die Qualität der gelieferten Ware. Unter kostenbezogene Kennzahlen fallen unter anderem die Kosten für Anpassungen in der Lieferkette oder deren Cashflow. Eine ganzheitliche Auflistung über die Kennzahlen findet sich in den Literaturquellen [4-8].

### Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz

Für jedes Unternehmen können Maßnahmen ergriffen werden, um die Resilienz ihrer zugehörigen Lieferkette zu verbessern. Die Einbindung von Maßnahmen zur Abmilderung von Risiken in der Lieferkette ist ein Themenfeld, das in der Vergangenheit üblicherweise unter das Supply Chain Risikomanagement gefallen ist. Durch aktuelle Gegebenheiten und die zunehmende Frequenz an Risikoereignissen erhalten Resilienzmaßnahmen eine wachsende Bedeutung [9]. Die Maßnahmen können grob unterteilt werden in die Bereiche Agilität, Flexibilität, Kollaborationsfähigkeit und Visibilität [10, 11].

Agilität und Flexibilität werden oftmals gemeinsam genannt und beschreiben die Fähigkeit, sich schnell auf verändernde Ereignisse umzustellen. Bei Risikoereignissen ist unter Umständen eine strategische Reorganisation des Netzwerks sinnvoll. Zugehörige Maßnahmen beinhalten Liefer- und Routenflexibilität sowie Produktionsflexibilität (bspw. gestützt durch additive Fertigungstechnologien oder Manufacturing-as-a-Service Dienste). Auch Konzepte des Nearshorings bzw. der Regionalisierung lässt Lieferketten durch verkürzte Durchlaufzeiten flexibler werden. Zudem ist der Aufbau von Redundanzen wie zusätzliche Sicherheitsbestände oder multiples Sourcing ein proaktiver Ansatz der Resilienz. [12, 13]

Ein netzwerkweites Zusammenarbeiten ist im Rahmen der Resilienz unabdingbar. Gegenseitiges Vertrauen bildet die Grundlage für alle kollaborativ angestoßenen Maßnahmen [14]. Ein unternehmensübergreifendes Data-Sharing mit Gewährleistung der Datensouveränität über entsprechende Plattformen ist ein starker Treiber für Resilienz in Netzwerken, da Störungen im Netzwerk so in einem frühen Stadium entdeckt und adressiert werden können. Diese Art der Maßnahme ist eng verknüpft mit dem Bereich der Kollaborationsfähigkeit sowie der Visibilität. Zur Visibilität gehören darüber hinaus der Aufbau gemeinsamer Wissensdatenbanken und Initiativen zur Risikoteilung. [15, 16]

### Messung der Resilienz in Lieferketten anhand eines Indexes

Um ein Benchmarking oder eine Entscheidungsunterstützung zur Auswahl einer Maßnahme zu haben, ist es notwendig, relevante Kennzahlen der Resilienz in einem Index zu bündeln. Liegt ein objektiver Index mit einem einzelnen numerischen Wert vor, sind Anpassungen durch Maßnahmen schnell einschätzbar und ermöglichen einen Vergleich der angepassten Lieferketten. Auf Basis einer systematischen Literaturanalyse wurden daher die gängigen wissenschaftlichen Datenbanken auf „WebScholar“, „ScienceDirect“, „Scopus“ und „ResearchGate“ auf numerische Indizes zur Messung der Resilienz geprüft. Mit der Schlagwortsuche „Resilience“ AND „Index“ AND „Supply Chain“ wurden 246 Paper identifiziert, deskriptiv analysiert und kategorisiert und schließlich bewertet. Es wurde ersichtlich, dass nur vereinzelt Ansätze zur Aggregation der Kennzahlen auf eine finale Übersichtskennzahl bzw. Index vorliegen. In Quintessenz gibt es neben länderspezifischen Bewertungen derzeit zwei Arten zur Messung der Resilienz von Lieferketten anhand eines Indexes, zum einen auf Basis von Interviews und zum anderen auf Prozessdaten aus der Lieferkette. Die Ansätze haben je nach Art der Analyse und Verfügbarkeit von Daten ihre Vorzüge.

Resilienz- und Risikomaße für die Messung der gesamtwirtschaftlichen Struktur von Ländern beziehen volkswirtschaftliche Rankings und Kennzahlen ein. Da sich Lieferketten in unserer stark globalisierten Welt üblicherweise über mehrere Länder erstrecken, liefert eine gewichtete Aggregation der Länderkennzahlen eine gute Indikation hinsichtlich der Anfälligkeit der Lieferkette. Der Global Connectedness Index (GCI) von DHL ist als ein länderbezogener Index zu nennen [17]. Der GCI basiert auf den vier Hauptkategorien Handelsströme, Kapitalbewegungen, Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Personen- und Datenströmen. Die Kennzahlen dieser Kategorien werden aus Datenquellen der Weltbank, dem Internationalen Währungsfonds und der UNO erhoben. Der Index bewertet Länder und Regionen anhand ihres Ausmaßes an globaler Verflechtung und ihrer Integration in die Weltwirtschaft. Ein weiteres zum GCI alternatives indexbasiertes Ranking ist das IMD World Competitiveness Ranking [18]. Auch Rankings wie der Logistics Performance Index liefern Indikatoren zur logistischen Leistung eines Landes und können im Kontext der Resilienz aufschlussreich sein [19].

Darüber hinaus wurden vier numerische Indizes zur Messung der Resilienz in Lieferketten iden-

#### Literatur

- [1] DIHK: What business risks do you see for your company within the next months? URL: [www.statista.com/statistics/1342281/business-risks-next-months-companies-germany](http://www.statista.com/statistics/1342281/business-risks-next-months-companies-germany), Abrufdatum 27.06.2023.
- [2] Allianz: Leading risks to large, mid-size and small companies globally for 2023. URL: [www.statista.com/statistics/422207/leading-business-risks-by-company-size](http://www.statista.com/statistics/422207/leading-business-risks-by-company-size), Abrufdatum 27.06.2023.
- [3] Ponomarev, S. Y.; Holcomb, M. C.: Understanding the concept of supply chain resilience. In: *The International Journal of Logistics Management* 20 (2009) 1, S. 124-43.
- [4] Han, Y.; Chong, W. K.; Li, D.: A systematic literature review of the capabilities and performance metrics of supply chain resilience. In: *International Journal of Production Research* 58 (2020) 15, S. 4541-66.
- [5] Karl, A. A.; Micheluzzi, J.; Leite, L. R.; Pereira, C. R.: Supply chain resilience and key performance indicators: a systematic literature review. In: *Production* 28 (2018) 0.
- [6] Shashi; Centobelli, P.; Cerchione, R.; Ertz, M.: Managing supply chain resilience to pursue business and environmental strategies. In: *Business Strategy and the Environment* 29 (2020) 3, S. 1215-46.
- [7] Shahin, A.; Balouei Jamkhaneh, H.; Shahin, R.: Supply Chain Risk Management Under Covid-19: A Review and Research Agenda. In: *Developments in Information & Knowledge Management for Business Applications*. Cham 2022.

tifiziert. Darunter vergleicht der Index von Soni u. a. die Effektivität von Strategien zur Risikominderung in einer Lieferkette [20]. Hierzu werden in mehreren Interviews eine Reihe von Resilienzfaktoren bewertet, darunter die Agilität der Lieferkette, Kollaboration zwischen den Partnern, sowie Risiko- und Ertragsaufteilung. Die Autoren zeigen auf, wie die Faktoren miteinander verknüpft sind und wodurch die Resilienz gesteigert werden kann. Zur Messung und Integration der verschiedenen Faktoren in einen Index nutzen die Autoren eine Kombination aus einem Strukturgleichungsmodell und Graphentheorie. Insgesamt bietet die Studie wichtige Erkenntnisse für Unternehmen, um sich besser gegen Risiken und Krisen abzusichern und ihre Lieferketten resilient zu gestalten. Der Ansatz vereinfacht das dynamische Umfeld von Lieferketten, bewertet jedoch keine Wechselwirkungen von Risiken durch das dynamische Verhalten der Lieferkette. Aufgrund des zeitaufwendigen Prozesses der einbezogenen Interviews ist der Ansatz in einem stabilen Umfeld wertvoll, in einem disruptiven Ereignis wie bei Corona jedoch schwierig anzuwenden.

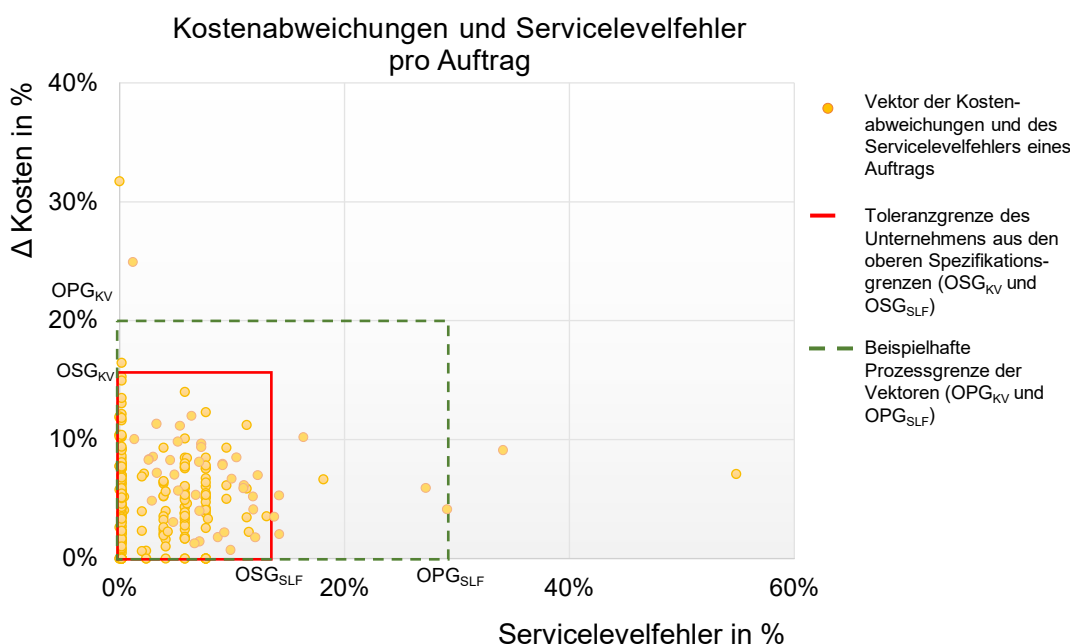
Ein Resilienzindex von Agarwal u. a. nutzt ebenfalls einen graphentheoretischen Ansatz [21]. In Kombination mit einer explorativen Faktorenanalyse werden Resilienzpotenziale durch die Bewertung der Produktionsflexibilität, Kollaboration und weiteren Potenzialen ermittelt. Der entwickelte Index ist umso höher, desto besser die Fähigkeit ist, mit Störungen umzugehen und sich von ihnen zu erholen. Die Berechnung des Index ermöglicht es Managern, einen Verbesserungsplan zur Steigerung der Resilienz abzuleiten. Durch die Befragungen eignet sich der

Index insbesondere zum Vergleich von Lieferketten vor und nach einem Risikoereignis.

Um die Perspektive der Nachhaltigkeit in die Resilienzmessung einzubeziehen, entwickelten Azevedo u. a. einen Index zur Messung der Lean, Agilen, Resilienten und Grünen (LARG) Strategie des Unternehmens [22]. Der LARG-Index soll als Benchmarking-Instrument für Automobilunternehmen und ihre entsprechenden Lieferketten dienen. Zur Quantifizierung einer Strategie werden zugehörige Themen in Form von Interviews auf einer Skala von eins bis fünf bewertet. Jede Strategie erhält eine eigene Gewichtung und über eine lineare Aggregation der Strategieteile entsteht ein gebündelter Index. Der LARG-Index ist ein gutes Instrument, um die ganzheitliche Nachhaltigkeit einer Lieferkette unter Einbezug möglicher Risiken zu messen und zu vergleichen. Wie der Ansatz von Soni u. a. [20] berücksichtigt auch der LARG-Index keine Stochastik sowie Wechselwirkungen und Kaskadeneffekte von Risiken in einer Lieferkette.

Um unabhängig von Interviews die Resilienz zu quantifizieren, baut ein Ansatz von Sardesai auf den Prozessdaten der Lieferkette auf [23]. In dem Ansatz werden die Kennzahlen des Servicelevels als Indikator der Leistung und Kostenabweichungen als Indikator der Effizienz gebündelt. Beide Kennzahlen beziehen sich auf einen Kundenauftrag in der Lieferkette. Die Kennzahlen werden historischen Daten entnommen oder über ein Simulationsmodell bzw. mathematisches Modell der Lieferkette generiert. Eine multivariate Prozessfähigkeitsanalyse überführt die Kennzahlen in einen Supply-Chain-Resilienz-Index (SCRI). Für die beiden

- [8] Chowdhury, M. M. H.; Quaddus, M.: Supply chain readiness, response and recovery for resilience. In: Supply Chain Management: An International Journal 21 (2016) 6, S. 709-31.
- [9] Anderlüh, A.; Herburger, M.: Supply Chain Resilience: A Decade of Evolvement. In: Kummer, S.; Wakolbinger, T.; Novoszel, L.; Geske, A. M. (Hrsg): Supply Chain Resilience. Cham 2022.
- [10] Sardesai, S.; Klink, P.; Bourbita, B.; Kippenberger, J. K.; Henke, M.: Rapid Reconfiguration of Supply Chains with Simulation as a Support to Public-Private Partnerships during Pan-demics. In: Khan, O.; Huth, M.; Zsidisin, G. A.; Henke, M. (Hrsg): Supply Chain Resilience. Cham 2023.
- [11] Geske, A. M.; Novoszel, L.: Definition and Development of Supply Chain Resilience. In: Kummer, S.; Wakolbinger, T.; Novoszel, L.; Geske, A. M. (Hrsg): Supply Chain Resilience. Cham 2022.
- [12] Meyer, M. M.; Glas, A. H.; Eßig, M.: Achieving Supply Chain Resilience Through Additive Manufacturing. In: Kummer, S.; Wakolbinger, T.; Novoszel, L.; Geske, A. M. (Hrsg): Supply Chain Resilience. Cham 2022.
- [13] Schuhmayer, C.: Resilience in Warehousing. In: Kummer, S.; Wakolbinger, T.; Novoszel, L.; Geske, A. M. (Hrsg): Supply Chain Resilience. Cham 2022.
- [14] Cohen, M.; Cui, S.; Doetsch, S.; Ernst, R.; Huchzermeier, A.; Kouvelis, P.; Lee, H.; Matsuo, H.; Tsay, A. A.: Bespoke supply-chain resilience: The gap between theory and practice. In: Journal of Operations Management 68 (2022) 5, S. 515-31.



**Bild 1: Gegenüberstellung von Kostenabweichungen und Servicelevelfehler pro Auftrag zur Generierung des Supply-Chain-Resilienz-Index (SCRI) nach [23].**

$$SCRI = \left[ \frac{(OSG_{SLF} - USG_{SLF}) * (OSG_{KV} - USG_{KV})}{(OPG_{SLF} - UPG_{SLF}) * (OPG_{KV} - UPG_{KV})} \right]^{\frac{1}{2}} * (1 - k) \quad (1)$$

oben benannten Kennzahlen werden zunächst vom Unternehmen maximal akzeptable Werte festgelegt, die die oberen Spezifikationsgrenzen (OSG) beschreiben. Die unteren Spezifikationsgrenzen (USG) liegen für beide Kennzahlen bei null. Die Werte der berechneten Kennzahlen werden periodisch aggregiert und bilden Vektoren in einem Koordinatensystem (Bild 1). Dadurch lassen sich obere und untere Prozessgrenzen (UPG und OPG) berechnen. Ein Vergleich der Prozessgrenzen mit den Spezifikationsgrenzen definiert die Streuung der Kennzahlen im Verhältnis zu den Spezifikationsgrenzen. Um anschließend die Lage der Vektoren in Bezug zu den Spezifikationsgrenzen zu bewerten, wird ein Korrekturfaktor  $k$  hinzugezogen (Formel (1); zur detaillierten Berechnung siehe [23]). Daraus ergibt sich der Supply-Chain-Resilienz-Index SCRI. Ein SCRI von über 1 verweist auf eine resiliente Lieferkette.

Durch die Kombination des SCRI mit simulationsbasierten Kennzahlen von angepassten Lieferketten kann der SCRI zur Bewertung der Resilienz einer Lieferkette vor, während und nach einem Risikoereignis eingesetzt werden. Graphische Darstellungen der Kennzahlen eignen sich zur Feinanalyse. Bild 1 stellt hierfür beispielhaft die Kennzahlen der Kostenabweichungen und des Servicelevelfehlers für alle Aufträge einer Lieferkette im Zeitraum von 36 Monaten dar. Die eingezeichnete Linie zeigt die Toleranzgrenze eines Unternehmens für beide Kennzahlen und dient als Referenzpunkt zur Berechnung des Indexes. Sardesai und Klingebiel nutzen den Ansatz und beschreiben die Berechnung der Kennzahlen und des SCRI über die Prozessfähigkeitsanalyse am Beispiel von Hafenschließungen während die Corona-Pandemie [24]. Sollen somit explizit die Dynamik einer Lieferkette, die Stochastik der Risikoereignisse und mögliche Kaskadeneffekte berücksichtigt werden, die sich aus dem gestörten Muster der Lieferkette aufgrund der zugrundeliegenden Dynamik ergeben, so eignet sich insbesondere ein Ansatz, der auf Prozessdaten aufbaut. Bild 2 liefert eine Übersicht der Indizes.

## Fazit

Die zunehmende Unsicherheit in den Lieferketten veranlasst Unternehmen dazu, mehr Resilienz in ihre Prozessabläufe zu integrieren. Um den Nutzen verschiedener Maßnahmen und

innovativer Technologien messbar zu machen, gestatten Indizes die Messung der Resilienz in einer Lieferkette. Über die Verwendung eines numerischen Indexes können Unternehmen vorausschauend auf identifizierte Risiken und resultierende Engpässe reagieren und Resilienzpotenziale einplanen. Sofern Daten vorliegen und Stochastik der Risikoereignisse und mögliche Kaskadeneffekte berücksichtigt werden sollen, eignet sich insbesondere der Supply-Chain-Resilienz-Index SCRI. Liegen keine Daten vor, können interviewbasierte Indizes wie der LARG-Index verwendet werden. Länderbasierte Indizes dienen insbesondere bei der Gestaltung von Lieferketten oder bei der Auswahl von Lieferanten.

Die entwickelte Übersicht in Bild 2 unterstützt das Management dabei, einen geeigneten Index zur Ausgestaltung der Lieferkette auszuwählen. So helfen Indizes dem Management, strategische Schwachstellen zu identifizieren und die Ausrichtung der Lieferkette bspw. durch alternative Zulieferer, neue Produktionsallokationen oder neue Transportwege dahingehend anzupassen. Als Teil der Maßnahmen unterstützen technologische Innovationen den Aufbau von Resilienz. Als Ausblick sei daher genannt, dass bspw. das Internet der Dinge (IoT) die Vernetzung von Lieferketten sowie die Echtzeitüberwachung von Materialflüssen und Lagerbeständen ermöglicht. In dem Zuge können interaktive Plattformökonomien, insbesondere kollaborative Datenräume wie Gaia-X oder Manufacturing-X [25, 26], die effektive Zusammenarbeit innerhalb der Lieferkette fördern und unterstützend bei der Datenbeschaffung und -implementierung insbesondere für Simulationsmodelle wirken. Dies erlaubt es Unternehmen, schnellere Entscheidungen zu treffen und Engpässe sowie unerwartete Risiken innerhalb der Lieferkette effektiv und gemeinsam den Partnern in der Lieferkette zu beheben.

*Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „ResKriVer - Resiliente Krisenrelevante Versorgungsnetze“, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz unter dem Kennzeichen 01MK21006A gefördert wird.*

Schlüsselwörter:

Resilienz, Lieferketten, Bewertung, Index, Supply Chain Design, Innovationen, Anpassung

- [15] Scholten, K.; Schilder, S.: The role of collaboration in supply chain resilience. In: Supply Chain Management: An International Journal 20 (2015) 4, S. 471-84.
- [16] Ivanov, D.; Dolgui, A.: A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. In: Production Planning & Control 32 (2021) 9, S. 775-88.
- [17] DHL: Global Connectedness Index shows strength of globalization and benefits of improving it. URL: [www.dhl.com/global-en/delivered/globalization/global-connectedness-index.html](http://www.dhl.com/global-en/delivered/globalization/global-connectedness-index.html), Abrufdatum 04.05.2023.
- [18] IMD: World Competitiveness Ranking. URL: [www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-competitiveness-ranking](http://www.imd.org/centers/wcc/world-competitiveness-center/rankings/world-competitiveness-ranking), Abrufdatum 04.05.2023.
- [19] World Bank: Logistics Performance Index (LPI). URL: <https://lpi.worldbank.org>, Abrufdatum 04.05.2023.
- [20] Soni, U.; Jain, V.; Kumar, S.: Measuring supply chain resilience using a deterministic modeling approach. In: Computers & Industrial Engineering 74 (2014), S. 11-25.
- [21] Agarwal, N.; Seth, N.; Agarwal, A.: Evaluation of supply chain resilience index: a graph theory based approach. In: Benchmarking: An International Journal 29 (2022) 3, S. 735-66.
- [22] Azevedo, S. G.; Carvalho, H.; Cruz-Machado, V.: LARG index. In: Benchmarking: An International Journal 23 (2016) 6, S. 1472-99.
- [23] Sardesai, S.: Bewertung und Verbesserung der Robustheit des Servicelevels in CKD-Produktionsnetzwerken unter Risiken. Wiesbaden 2022.
- [24] Sardesai, S.; Klingebiel, K.: Maintaining viability by rapid supply chain adaptation using a process capability index. In: Omega 115 (2023), S. 102778.
- [25] Plattform Industrie 4.0: Manufacturing-X. URL: [www.plattform-i40.de/IP/Navigation/DE/Manufacturing-X/Initiative/initiative-manufacturing-x.html](http://www.plattform-i40.de/IP/Navigation/DE/Manufacturing-X/Initiative/initiative-manufacturing-x.html), Abrufdatum 04.05.2023.
- [26] Gaia-X: Gaia-X Home. URL: [www.data-infrastructure.eu/GAIA-X/Navigation/EN/Home/home.html](http://www.data-infrastructure.eu/GAIA-X/Navigation/EN/Home/home.html), Abrufdatum 04.05.2023.

	Global Connectedness Index (GCI)	IMD World	Logistics Performance Index	Resilienzindex nach Soni et al.	Resilienzindex nach Agarwal et al.	LARG-Index	Supply-Chain-Resilienzindex (SCRI)
<b>Ziel</b>	Ranking und Profil der Handelsströme von 171 Ländern inkl. Evaluierung der Regionalisierung	Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit eines Landes	Bewertung der logistischen Fähigkeit von Ländern	Identifikation von Potenzialen zur Steigerung der Resilienz einer Lieferkette	Aufbau eines Verbesserungsplans zur Steigerung der Resilienz	Benchmarking der effizienten (Lean), agilen, resilienten und ökologischen Strategie des Unternehmens	Bewertung der Resilienz einer Lieferkette und Vergleich mit alternativem Aufbau der Lieferkette
<b>Bewertungskategorien</b>	Messung des internationalen Handels anhand vier Kategorien: Handelsströme, Kapitalbewegungen, Informations- und Kommunikationstechnologien, Personen- und Datenströme	Messung von 163 Kriterien zu je fünf Faktoren aus dem Bereich der Wirtschaftlichen Entwicklung, Leistungskraft der Regierung, Unternehmerische Leistung, Infrastruktur	Zollabfertigung, Transportinfrastruktur, Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), Logistikkompetenz und Qualität, Sendungsverfolgung und Lieferzeit sowie Preisgestaltung	Agilität der Lieferkette, Kollaboration zwischen den Partnern, Informationsaustausch, Risiko- und Ertragsaufteilung, adaptive Fähigkeiten, Nachhaltigkeit, Vertrauen, Transparenz, Risikomanagementkultur, Struktur der Lieferkette	Unterscheidung entlang strategischer, taktischer und operativer Praxis über die Bewertung von Produktionsflexibilität, Kollaborative Bedarfsprognose, Proaktive Identifikation von Risiken, Lieferflexibilität	Messung der Effizienz (Lean), Agilität, Resilienz und Ökologie mit je 6-7 Kategorien wie JIT-Anteil, Art der Geschäftsbeziehung, Durchlaufzeiten, Zentrale Planung, Recycling von Material	Servicelevel und Kostendelta der geplanten Kosten in der betrachteten Lieferkette. Je nach Aufbau des datengenerierenden Modells unter Einbezug der Dynamik und Stochastik.
<b>Bewertungsverfahren</b>	Gewichtetes Mittel der Kategorien Messung von mehr als 4 Mio. Datensätzen über die Laufzeit von 2001-2021	Gewichtetes Mittel der Kategorien	Gewichtetes Mittel der Kategorien	Delphi-Methode zur Gewichtung, Strukturgleichungsmodelle zur Identifikation der Zusammenhänge und Graphentheorie zum Aufbau des Indexes	Bewertung der Kategorien anhand einer Likert-Skala; Explorative Faktorenanalyse und Graphentheorie	Bewertung der Kategorien anhand einer Likert-Skala; Gewichtete, lineare Aggregation der Werte	Multivariate Prozessfähigkeitsanalyse
<b>Quellen zur Quantifizierung</b>	Weltbank, Internationaler Währungsfonds, UNO	Statistiken und Interviews	Interviews	Interviews	Interviews	Interviews	Simulation oder mathematische Modelle zur Generierung von Szenarien; ggf. historische Daten
<b>Statisch/Dynamisch</b>	Statisch	Statisch	Statisch	Statisch	Statisch	Statisch	Dynamisch
<b>Anwendbarkeit</b>	Strategische Analyse zur Lieferantenauswahl und zur Kooperation mit Ländern - Unterstützt die Erstellung eines Risikoprofils eines Lieferanten.			Vergleich von Strategien zur Risikominderung auf Basis historischer Daten	Benchmarking von strategischen, taktischen und operativen Resilienzfaktoren zur Identifikation von Verbesserungspotenzialen	Messung der ganzheitlichen Nachhaltigkeit einer Lieferkette im Vergleich zum Wettbewerb	Vergleich der Resilienz verschiedener Gestaltungen einer Lieferkette ermöglicht die Auswahl einer resilienten Konfiguration
<b>Nutzen bei Risikoereignissen</b>	Analyse bei stabilen Bedingungen (vor einem Risikoereignis)			Analyse bei stabilen Bedingungen (vor und nach einem Risikoereignis)			Analyse ermöglicht das Testen alternativer Lieferketten vor, während und nach einem Risikoereignis. Besonders hilfreich zur schnellen Adaption während eines Risikos.

Bild 2: Vergleich der Indizes zur Messung der Resilienz und deren Ziele und Anwendungsgebiete.