

Simulation in Produktion und Logistik 2023
Bergmann, Feldkamp, Souren und Straßburger (Hrsg.)
Universitätsverlag Ilmenau, Ilmenau 2023
DOI (Tagungsband): 10.22032/dbt.57476

Verbesserung der Versorgungssicherheit im Rettungsdienst – Lieferkettenmodellierung bei unvollständigen Daten

Ensuring Supply for Emergency Services – Modelling Supply Chains with Incomplete Sets of Data

Johanna Kim Kippenberger, Michael Dominik Görtz, John Christopher Maleki,
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik, Dortmund (Germany),
johanna.kim.kippenberger@iml.fraunhofer.de,
michael.dominik.goertz@iml.fraunhofer.de, john-
christopher.maleki@iml.fraunhofer.de

Paul Geoerg, Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.,
Münster (Germany), geoerg@vfdb.de

Abstract: To ensure material availability for public health and safety services, supply chain simulation could be used to identify the risk of bottlenecks due to disruptions in global supply chains. However, these stakeholders do not have the detailed knowledge about their supply chains required for reliable simulation results. A new approach is presented in this article, which enables the modeling of a supply chain without full knowledge about each process node. It consists of generic data containers, each representing typical nodes within a supply chain with plausible process parameters, boundaries, and distributed values. We present the conceptual feasibility of the approach through a case study and demonstrate the methodology for modelling a supply chain for detailed bottleneck analysis and automated risk assessment of a public health and safety supply chain.

1 Motivation

In den vergangenen Jahren waren Gesellschaften weltweit mit zahlreichen Herausforderungen konfrontiert, welche sich im Zusammenhang mit den jüngsten Krisen (COVID-19-Pandemie, Ukrainekrieg) weiter verstärkt haben. Diese Krisen wirkten in schneller Abfolge und über mehrere Wirtschaftsräume hinweg. Produzierende Unternehmen und Händler waren dabei im Besonderen mit der Herausforderung konfrontiert, ihre weltweit verflochtenen Lieferketten aufrechtzuerhalten. Bei stark dynamischer Nachfrage und unterbrochenen

Produktionen wurden auch Prozessgrößen wie Transportzeiten und -kosten stark beeinflusst (Handfield et al. 2020).

Dies hatte nicht nur Folgen für die produzierende Industrie. Auch Branchen, für die Lieferketten bislang eine untergeordnete Rolle spielten (z.B. Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), Gesundheitswesen, etc.), waren von diesen Auswirkungen betroffen. Neben Medikamenten (BfArM 2023a) kam es bei zahlreichen Produkten, welche zur Versorgung von Patient:innen oder zum Schutz von Personal notwendig sind, zu Engpässen (Kagermann et al. 2021). Somit gefährdete neben dem vorherrschenden Personalmangel auch eine eingeschränkte Verfügbarkeit von Ge- und Verbrauchsmitteln sowie Medikamenten die Versorgungssicherheit in kritischen Infrastrukturen. Die Notwendigkeit resilienter Versorgungsnetze und die Möglichkeit, drohende Versorgungsengpässe frühzeitig identifizieren zu können, wurde so eindrucksvoll illustriert.

Eine etablierte Methode zur Analyse der Auswirkungen von Disruptionen auf Lieferketten ist die Simulation. Sie erlaubt es, die Auswirkungen von Disruptionen auf die gesamte Lieferkette szenariobasiert zu untersuchen und Engpässe zu identifizieren (Ivanov 2020). Cope et al. (2007) und Hermes (2011) beschreiben unterschiedliche Verfahren, bei denen mittels Modellbausteinen die Modellierung von Lieferketten und die Übertragung der Modelle in eine Simulationsumgebung erleichtert wird.

Lieferkettensimulationen werden vorrangig bei produzierenden Unternehmen eingesetzt (Oliveira et al. 2016), welche fundierte Kenntnisse über die Tiefe ihrer Lieferketten - auch über 1st-tier Zulieferer hinaus - besitzen. Sind diese Informationen verfügbar, lassen sich Prozesse aussagekräftig und zuverlässig analysieren (Akhavian und Behzadan 2013). In BOS sind diese Informationen in der Regel aufgrund der Beschaffungsstruktur über Großhändler jedoch nicht verfügbar. Um BOS eine Lieferkettensimulation zu ermöglichen, muss zunächst die Problematik der unvollständigen Lieferkettendaten gelöst werden.

Das Problem unvollständiger Daten wird in der Literatur als praxisrelevantes Thema identifiziert (Eekhout et al. 2012) und wissenschaftlich adressiert. Dabei stehen Verfahren für fehlende quantitative Daten im Vordergrund (Röhrig und Rockel 2020). Oliver et al. (2022) adressieren dieses Thema mit einer Modellierungsstudie zu nationalen US-Lieferketten im Kontext von Naturkatastrophen. Sie nutzen dabei stochastische Verfahren, um Schlüsselparameter wie Bestellmengen und Transportzeiten auf einem aggregierten Produktklassenlevel (z.B. „Paket Essen“) zu beschreiben.

Für die Durchführung einer Lieferkettensimulation müssen sowohl quantitative als auch qualitative Daten modelliert werden. In diesem Beitrag wird eine Methodik vorgestellt, die dabei unterstützt, Datenlücken zu schließen und dadurch die Anwendung der Lieferkettensimulation ermöglicht.

2 Anwendungsfall

Im Rahmen des Anwendungsfalls wird die Lieferkette eines Rettungsdienstes für zwei Produkte (Spritze und Medikament ASS) betrachtet. Die Nachfrage des Rettungsdienstes nach Spritzen und ASS wird über einen Großhändler bedient. Der Großhändler bezieht Spritzen von zwei unterschiedlichen Produzenten, welche

wiederum von mehreren Lieferanten mit Rohstoffen versorgt werden. Das Produkt ASS wird von einem Produzenten mit mehreren Lieferanten bezogen. Analog zum typischen Produktportfolio bundesdeutscher Rettungsdienstorganisationen ist in diesem Anwendungsfall anzunehmen, dass es sich um eine mehrstufige Lieferkette (Abbildung 1) mit potenziell risikobehafteten Überseetransporten zwischen Produzenten und Händler handelt (Lau und Osterloh 2022).

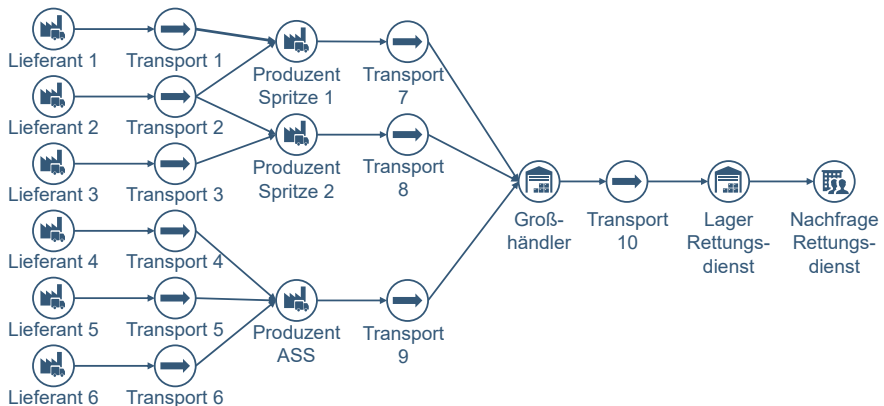


Abbildung 1: Vereinfachte Beispiellieferkette für den Rettungsdienst

3 Methodik

Jedes relevante Objekt der Lieferkette wird durch ein Knoten im Simulationsmodell repräsentiert. Ein Knoten ist durch den Knotentyp (z.B. Produzent, Transportweg, Lager) und die zugehörigen Prozessparameter (z.B. Transportzeit, Lagerkapazität) beschrieben. Durch die Angabe von Nachfolgerknoten findet eine Verknüpfung der einzelnen Knoten zu einem Netzwerk statt und die Struktur der spezifischen Lieferkette wird abgebildet.

Dadurch ergeben sich Informationsanforderungen, die für ein aussagekräftiges Ergebnis der Simulation notwendig sind. Während die Struktur der Lieferkette auf einem abstrakten Level noch mit geringem Aufwand recherchiert werden kann, sind die detaillierten Prozessparameter der einzelnen Knoten gar nicht oder nur mit erheblichem Aufwand zu beschaffen. So kann beispielsweise angenommen werden, dass das Medikament ASS aus dem zuvor beschriebenen Anwendungsfall in Asien produziert und anschließend per Schiff nach Europa transportiert wird, wo es dann über weitere Transportwege verteilt wird (Lau und Osterloh 2022). Die produktspezifischen Transportzeiten, Produktionskapazitäten oder Lieferanten sind jedoch meist unbekannt.

Als Lösungsansatz zum Umgang mit unvollständigen Daten wird eine modularisierte Abstraktion der Teilprozesse verfolgt. Dabei werden Prozesse (z.B. Transport vom Herstellungsland in das Verbrauchsland) auf ein höheres Level generalisiert und verallgemeinert beschrieben (Datencontainer). Die Beschreibung erfolgt aus öffentlich zugänglichen Datenquellen, Schätzungen von Domänenexperten/-innen und Analogieschlüssen. Die resultierenden Prozessparameter der Simulationsknoten

werden schließlich in Form von Datencontainern zur Verfügung gestellt. So kann es beispielsweise einen Datencontainer für den Schiffstransport von Südostasien nach Europa geben, der übliche Transportzeiten und Kapazitäten enthält. Eine zu untersuchende Lieferkette kann somit im Baukastensystem aus vorhandenen Realdaten und generischen Datencontainern modelliert und simuliert werden. Die durch den Einsatz der Datencontainer getroffenen Annahmen können dabei jederzeit durch geeignetere Datencontainer oder Realdaten ersetzt werden.

Um die Resilienz der Lieferkette bei Eintritt von Disruptionen zu untersuchen, werden für die Prozessparameter, zusätzlich zu den Standardwerten, auch Plausibilitäts Grenzen in Form von Minimal- und Maximalwerten sowie einer Verteilung ergänzt. Auf diese Weise kann die Lieferkette manuell oder automatisiert mit verschiedenen Konfigurationen simuliert und die Auswirkungen auf das gesamte Liefernetzwerk untersucht werden. Im Fall einer akuten Krise können die real existierenden Disruptionen konfiguriert werden, um die Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit und die Effektivität möglicher Maßnahmen zu untersuchen.

4 Ergebnisse und Diskussionen

Anhand des Anwendungsfalls wird die Methodik für die Erarbeitung von Datencontainern zur Erleichterung der Modellierung einer Lieferkette beispielhaft demonstriert. Im Weiteren werden die Auswirkungen einer Disruption auf versorgungsrelevante Kennzahlen einer entsprechend modellierten Lieferkette simuliert und analysiert, um damit die Praktikabilität der Methodik zu demonstrieren und zu validieren.

4.1 Parametrisierung der Lieferkette durch Datencontainer

Im Folgenden wird die Generierung von Datencontainern am Beispiel des Medikamentes ASS exemplarisch nachvollzogen. Die Auswahl basiert auf einem Gesamtportfolio von 569 Items (davon 68 medizinische Wirkstoffe in 72 Medikamenten) eines verbrauchsdatenspendenden Rettungsdienstes. Die Methodik für die Beschreibung der Prozessparameter für die Verbrauchsmittel ist äquivalent.

Das Beispielmedikament mit dem Wirkstoff Acetylsalicylsäure ist ein Arzneimittel, welches nach den gültigen Leitlinien in der präklinischen Notfallmedizin zur Behandlung bei der Verdachtsdiagnose „Akutes Koronarsyndrom“ eingesetzt wird (AGNN e.V. 2021, Larsen 2016). Für diesen Wirkstoff existiert kein Patentschutz mehr, weshalb er unter verschiedenen Handelsnamen (z.B. Aspirin, ASS) in Verkehr gebracht wird. In Deutschland ist ausschließlich das Handelsprodukt "Aspirin i.V. 500 mg" des Herstellers Bayer Vital AG für die intravenöse Anwendung zugelassen. Bei Abgabe des Manuskriptes (Mai 2023) lag eine aktuelle Information über die eingeschränkte Lieferfähigkeit des Produktes bis Dezember 2023 beim Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) vor (Bayer Vital 2023). Das ermöglicht nach § 73 AMG eine zusätzliche Importmöglichkeit für das auf dem französischen Markt zugelassene Produkt Aspégic.

Die Produktionsorte werden vereinfacht durch die Adressen der Inhaber der Certificates of Suitability of Monographs of the European Pharmacopoeia (CEP) angenommen (EDQM 2023). Das Vorliegen eines gültigen Zertifikats ist

Prüfbestandteil für die nationalen Zulassungsverfahren im europäischen Wirtschaftsraum (European Medicines Agency 2016). Für den Wirkstoff Acetylsalicylsäure liegen mit Abgabe des Manuskriptes vier gültige Zertifikate vor, die das Inverkehrbringen in den europäischen Wirtschaftsraum erlauben. Die vier Zertifikatsinhaber in La Felguera (Spanien), Zibo (PR China), Tanuku (Indien) und Ecully (Frankreich) sind in Abbildung 2 durch quadratische Marker hervorgehoben und kommen als mögliche Produktionsstandorte für Wirkstoffzulieferer in Betracht.

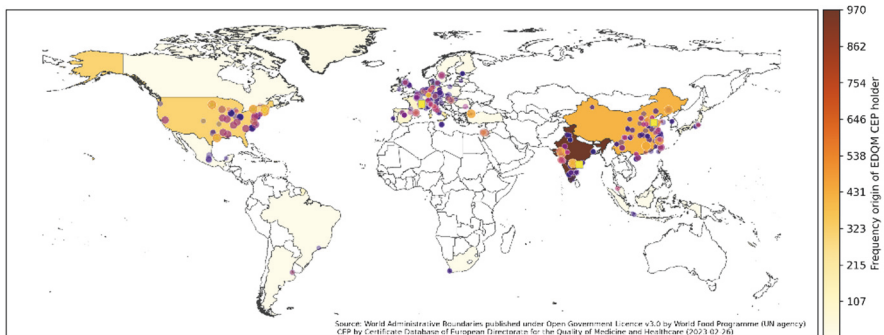


Abbildung 2: Weltweite Verteilung der Zertifikatsinhaber als Produktionsstättenäquivalent für Wirkstoffe aus dem Bestandsportfolio des verbrauchsdatenspendenden Rettungsdienstes. Daten: EDQM 2023. Eine erweiterte Darstellung ist in den zusätzlichen Materialien zu finden.

Mit Hilfe einer Distanzmatrix wurden die für den Transport notwendigen Zeiten quantifiziert. Für den Transportweg Straße (vom Produktionsstandort La Felguera (ES) und Ecully (FR)) wurden Lenk- und Ruhezeiten nach bundesdeutscher Gesetzgebung von durchschnittlich sechs Tageslenkzeiten von 9 h angenommen (auf Sonderfälle wie einmalige Lenkzeiterhöhung und Verkürzung der Erholungszeiten am Wochenende wurde verzichtet). Die Transportzeiten über den Seeweg wurden per Schiff im Less-than-Container-Mode von den nächstgelegenen Häfen der Produktionsstandorte (Zibo (CN) und Mumbai (IN)) approximiert.

Die Näherung der Produktionscharakteristiken für das zweite im Anwendungsfall betrachtete Produkt Spritze unterliegt größeren Unsicherheiten. Denn, während das Inverkehrbringen von Arzneimitteln europäisch reguliert und – mit entsprechendem Aufwand – mögliche Produktionsstandorte aus öffentlich zugänglichen Datenbanken abgeleitet werden können, unterliegen Spritzenkörper als Medizinprodukte nationalen Anforderungen. Die Zulassung wird in der Bundesrepublik Deutschland durch das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte reguliert. Das BfArM stellt eine (kostenpflichtige) nationale Datenbank DMIDS (BfArM 2023b) bereit, in denen Hersteller für Medizinprodukte recherchiert werden können. Hinzu kommt, dass die Herstellung von Kolbenspritzen nach DIN EN ISO-Norm 7886-1 auf Basis von Polyolefine-Granulat in einem fiktiven Krisenszenario durch eine Vielzahl von Produzenten realisiert werden könnte, die über eine entsprechende Anlagentechnik für Spritzgussverfahren und -formen, Skalendruck und Thermoformen mit entsprechenden Möglichkeiten zur anschließenden Sterilisierung verfügen. Um eine weltweite Verteilung der Produktionsorte zu generieren, wurden für die Spritzen

Produktionsstandorte der Sektoren „Healthcare“ und „Chemicals“ verwendet, die über die Initiative Open Supply Hub (Open Supply Hub 2023) veröffentlicht sind. Darauf aufbauend wurde die Hypothese abgeleitet, dass die Herstellung der Spritzen in Bangladesch, den USA oder in Ostchina loziert ist. Die zur Parametrisierung der Knoten verwendeten Referenzen sind im Abschnitt Zusätzliche Materialien tabelliert.

4.2 Simulationsergebnisse

Für die Validierung der zuvor generierten Datencontainer kam das Simulationswerkzeug OTD NETWORK („Order-To-Delivery-Network“) zum Einsatz. OTD NETWORK ist eine ereignisdiskrete Simulationsumgebung für die Modellierung, Simulation und Analyse von Lieferketten. Aufgrund seiner abstrakten, objektorientierten Strukturen lässt sich das Werkzeug in unterschiedlichen Branchen und für unterschiedliche Fragestellungen einsetzen (Liebler et al. 2013).

Um die Methodik der Datencontainer zu validieren, wurde die zuvor gezeigte Beispiel-Lieferkette (Abbildung 1: Vereinfachte Beispiellieferkette für den Rettungsdienst Abbildung 1) inklusive einer Disruption auf dem Seeweg zwischen dem Produzenten für ASS und dem Großhändler des Rettungsdienstes (Transport 9) im Simulationswerkzeug OTD NETWORK mit Hilfe von Datencontainern modelliert. Daten, die dem Rettungsdienst aufgrund seiner Lieferverträge mit dem Großhändler vorliegen, wurden hierbei ebenfalls mit einbezogen. So basieren beispielsweise die Lagerpolitiken des Großhändlers und des Rettungsdienstes auf den selbst definierten bzw. mit dem Händler vereinbarten Mindestbeständen und Bestandsreichweiten sowie den typischen Wiederbeschaffungszeiten. Abbildung 3 zeigt exemplarisch einen Ausschnitt der vereinfachten Beispiel-Lieferkette und ihre Parametrisierung sowie die Quelle der Daten auf.

Mit Hilfe dieses Lieferkettenmodells wurden Simulationsläufe mit verschiedenen Parametervariationen durchgeführt. Aufgrund der Disruption verzögern sich die Seetransporte vom Produzenten ASS zum Großhändler des Rettungsdienstes erheblich und resultieren, wie im linken Teil der Abbildung 4 zu erkennen, in einem Versorgungsengpass. Der ASS-Bestand beim Großhändler nimmt stetig ab, unterschreitet den vertraglich festgelegten Mindestbestand und läuft aufgrund der verzögerten Lieferung für zehn Tage komplett leer. Zeitlich versetzt läuft auch das Lager des Rettungsdienstes, welches erheblich weniger Reservebestand vorhält, für zwei Tage leer.

Auf Basis dieser Prognose können frühzeitig resilienzsteigernde Maßnahmen eingeleitet werden. Beispielsweise können alternative Lieferanten identifiziert werden, um kurzfristig Ersatzlieferungen zur Überbrückung des Engpasses zu realisieren. Die im rechten Teil der Abbildung 4 dargestellte Bestandsprognose zeigt, dass durch den Einsatz eines Alternativlieferanten von ASS aus Frankreich der Engpass vermieden werden könnte.

Weiterhin ist es möglich, mit Hilfe einer szenarienbasierten Variation der Parameter (z.B. Dauer der Disruption) die Grenzen der Belastbarkeit der eigenen Lagerstrategie zu untersuchen und die gewählten Bestellparameter gegebenenfalls anzupassen. Bestandsverläufe mit unterschiedlichen Transportverzögerungsdauern können im Abschnitt Zusätzliche Materialien betrachtet werden.

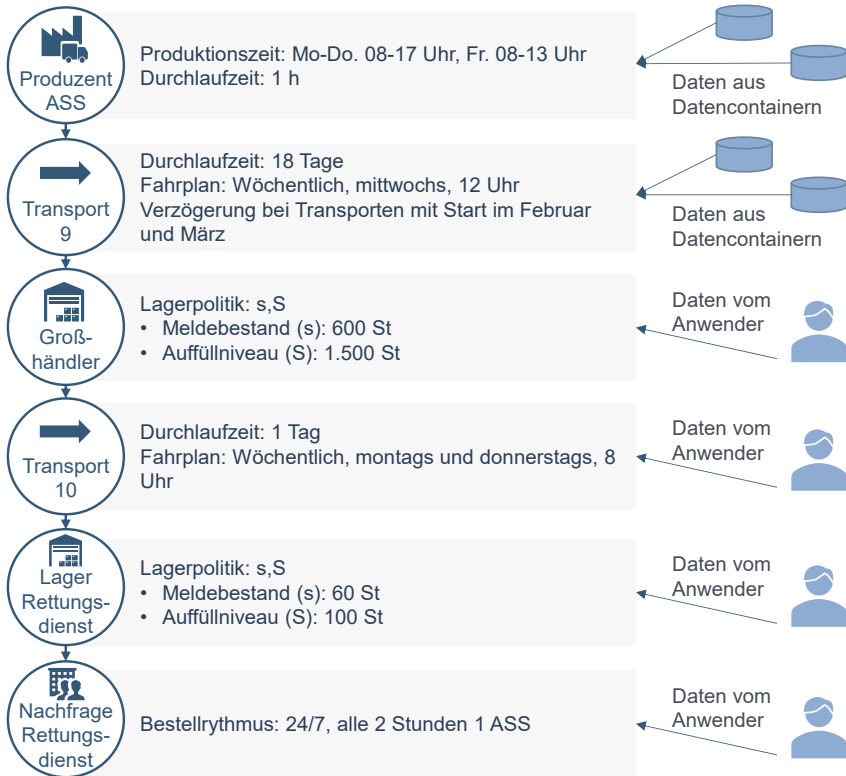


Abbildung 3: Auswahl verwendeter Prozessparameter

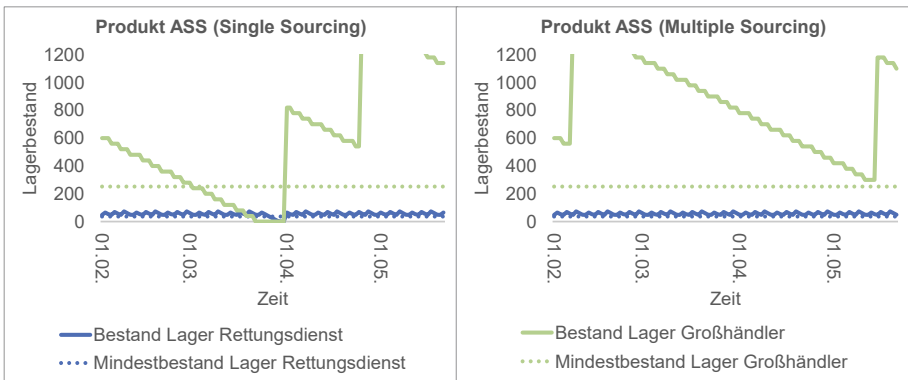


Abbildung 4: Verlauf des Lagerbestands für das Medikament ASS in Abhängigkeit der Sourcing-Strategien Single (links) und multiple Sourcing (rechts) über die Zeit.

Die Simulationsergebnisse für die verschiedenen beschriebenen Szenarien entsprechen dem unter Berücksichtigung der geplanten Mindestbestandsreichweiten zu erwartenden Lieferkettenverhalten. Die zuvor erarbeiteten Datencontainer haben sich dabei als ein praktikables Mittel erwiesen, um die sonst für Rettungsdienst

unbekannten Details ihrer Lieferketten im Modell zu ergänzen und so zu einer plausiblen Bestandprognose und Engpassanalyse zu gelangen.

4.3 Limitationen

Die Qualität der von OTD NETWORK erzeugten Simulationsergebnisse hängt in einem großen Maße von der Qualität der Modellparametrisierung ab. Diese inhärente Limitierung führt dazu, dass die Ergebnisse aus Simulationen von Lieferketten, die aus Datencontainern zusammengestellt wurden, stets mit besonderer Aufmerksamkeit beurteilt und validiert werden sollten. Datencontainer stellen eine methodische Synthese einer Vielzahl von Annahmen und Verallgemeinerungen dar. Damit werden, um den Preis der Präzision, Informationslücken mit Näherungen geschlossen. Eine Plausibilität kann ohne den Einbezug von Domänenexperten/-innen nicht gewährleistet werden.

Zudem ist das Erzeugen von Datencontainern mit hohem Rechercheaufwand verbunden und setzt teilweise hohes Domänenwissen voraus. Daraus ergibt sich ein trade-off zwischen Generalisierung und Spezialisierung. Datencontainer müssen spezifisch genug sein, damit die Simulation aussagekräftige Ergebnisse für ein konkretes Szenario berechnen kann. Sie sollten jedoch auch allgemein genug sein, damit sie für verschiedene Szenarien wiederverwendet werden können.

Simulationen erlauben eine gezielte Parametervariation und damit die Abbildung einer Vielzahl von Szenarien. Aufgrund der emergenten Eigenschaft komplexer Systeme, können strukturelle Änderungen im Modell sich auf alle Knoten und Kanten auswirken. Es ist daher ratsam, bereits im Modellierungsstadium in enger Abstimmung mit Domänenexperten/-innen alternative Pfade zu integrieren und diese ggf. mit weiteren Datencontainern zu charakterisieren.

5 Fazit

International vernetzte Versorgungslieferketten sind komplexe Systeme mit einer Vielzahl von Eigenschaften und Abhängigkeiten. Durch die daraus entstehenden Wechselwirkungen lassen sich Auswirkungen von Disruptionen auf die Versorgungssicherheit nur schwer voraussagen. Szenarienbasierte Lieferkettensimulation kann verwendet werden, um diese Abhängigkeiten systematisch zu analysieren und die Auswirkungen von Disruptionen rechtzeitig zu kompensieren.

Eine Voraussetzung für die Modellierung und Simulation von Lieferketten ist die Kenntnis über dessen Struktur und Prozessparameter. Insbesondere BOS fehlt dieses Wissen aufgrund ihrer Beschaffungsstruktur über Großhändler. Durch die in dieser Arbeit vorgestellte Methodik der Datencontainer können fehlende Lieferkettendaten durch zuvor recherchierte Annahmen und Verallgemeinerungen ersetzt werden.

Auf diese Weise werden Anwender:innen mit unvollständigen Daten ermächtigt, Auswirkungen von Disruptionen auf die Versorgungssicherheit ihrer Organisationen zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten. Darüber hinaus können sie szenarienbasiert präventive Ansätze für die Erhöhung der Lieferkettenresilienz evaluieren. Somit leistet die entwickelte Methodik einen Beitrag zur Reduktion von Abhängigkeiten regionaler Akteure im bundesdeutschen Gesundheitssektor und der BOS von internationalen Lieferketten.

Bei dieser Methodik limitierend zu berücksichtigen ist der hohe Aufwand und das notwendige Domänenwissen zur Erzeugung qualitativ hochwertiger Datencontainer. Eine Möglichkeit zur Auflösung dieser Problematik könnte die Bereitstellung einer Plattform zum Austausch von Datencontainern sein. So kann eine Bibliothek von Datencontainern zu verschiedenen Domänen erzeugt und bereitgestellt werden. Die direkte Integration der Datencontainer in bestehende Simulationssoftware könnte die Anwendung zusätzlich vereinfachen. Eine Voraussetzung für beides ist eine Standardisierung des Datenformats für Datencontainer.

Zusätzliche Materialien

Weiterführende Informationen, die zur Simulation verwendeten Modellparameter sowie die zur Parametrisierung genutzten Datencontainer werden dauerhaft und frei unter CC BY 4.0 Lizenz auf <https://doi.org/10.5281/zenodo.7871051> zur Verfügung gestellt.

Danksagung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Forschungsprojektes „ResKriVer – Kommunikations- & Informationsplattform für resiliente krisenrelevante Versorgungsnetze“, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Förderkennzeichen 01MK21006A und 01MK21006J).

Literatur

- AGNN e.V.: Therapieempfehlungen für die Notfallmedizin. Lübeck 2021.
- Akhavian, R.; Behzadan, A. H.: Automated knowledge discovery and data-driven simulation model generation of construction operations. In: Pasupathy, R.; Kim, S.-H.; Tolk, A.; Hill, R.; Kuhl, M. E. (Hrsg.): Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference (WSC), Washington D. C. (USA), 8.-11. December 2013, S. 3030-3041.
- Bayer Vital GmbH: Information zur eingeschränkten Lieferfähigkeit von Aspirin i.v. 500 mg, Pulver und Lösungsmittel zur Herstellung einer Injektions- oder Infusionslösung, 2023. <https://media.gelbe-liste.de/documents/informationsbrief-zu-aspirin-i.v.-500-mg---m%C3%A4rz-2023.pdf>, letzter Zugriff 24.04.2023.
- Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM): Veröffentlichte Lieferengpassmeldungen, 2023a. <https://anwendungen.pharmnet-bund.de/lieferengpassmeldungen/faces/public/meldungen.xhtml>, letzter Zugriff am 08.02.2023.
- Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM): DMIDS - Deutsches Medizinprodukte- und Datenbanksystem, 2023b. https://auth.bfarm.de/auth/realms/wirk/login-actions/authenticate?client_id=MPI&tab_id=qNVL4bVnWKs, letzter Zugriff am 24.04.2023.
- Cope, D.; Fayez, M. S.; Mollaghasemi, M.; Kaylani, A.: Supply chain simulation modeling made easy: An innovative approach. In: Henderson, S. G.; Biller, B.; Hsieh, M.-H.; Shortle, J.; Tew, J. D.; Barton, R. R. (Hrsg.): Proceedings of the

- 2007 Winter Simulation Conference (WSC), Washington D.C. (USA), 9.-12. Dezember 2007, S. 1887-1896.
- European Department for the Quality of Medicines (EDQM): Certificate of Suitability of Monographs of the European Pharmacopoeia (CEP). Certification database, 2023. https://extranet.edqm.eu/publications/recherches_CEP.shtml, letzter Zugriff am 24.04.2023.
- European Medicines Agency: Das Europäische Arzneimittelregulierungssystem. Ein einheitlicher Ansatz für die Zulassung von Arzneimitteln in der Europäischen Union, 2016. https://www.ema.europa.eu/en/documents/leaflet/european-regulatory-system-medicines-european-medicines-agency-consistent-approach-medicines_de.pdf, letzter Zugriff 10.05.2023.
- Eekhout, I.; de Boer, M. R.; Twisk, J. W. R.; de Vet, H. C. W.; Heymans, M. W.: Missing Data: A Systematic Review of How They Are Reported and Handled. *Epidemiology* 23 (2012) 5, S. 729-732.
- Handfield R. B.; Graham, G.; Burns, L.: Corona virus, tariffs, trade wars and supply chain evolutionary design. *International Journal of Operations & Production Management* 40 (2020) 10, S. 1649-1660.
- Hermes, A.: Modellbasierte Bewertung von Potenzialen einer distributionsorientierten Programm- und Reihenfolgeplanung in der Automobilindustrie. Dortmund: Verlag Praxiswissen 2011.
- Ivanov, D.: Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) case. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 136 (2020) 101922.
- Kagermann, H.; Süssenguth, F.; Körner, J.; Liepold, A.; Behrens, J. H.: Resilienz der Gesundheitsindustrien: Qualität und Versorgungssicherheit in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken. München: acatech IMPULS 2021.
- Larsen, R.: Akutes Koronarsyndrom (ACS) und akuter Myokardinfarkt. In: Larsen, R. (Hrsg.): *Anästhesie und Intensivmedizin für die Fachpflege*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2016, S. 680–690.
- Lau, T.; Osterloh, F.: Lieferengpässe: Das fragile System der Arzneiversorgung. *Deutsches Ärzteblatt* 119 (2022) 19, S. 851-858.
- Liebler, K.; Beisert, U.; Motta, M.; Wagenitz, A.: Introduction OTD-NET and LAS: Order-to-delivery network simulation and decision support systems in complex production and logistics networks. In: Pasupathy, R.; Kim, S.-H.; Tolk, A. (Hrsg.): *Proceedings of the 2013 Winter Simulations Conference (WSC)*, Washington D.C. (USA), 8.-11. Dezember 2013, S. 439-41.
- Oliveira, J. B.; Lima, R. S.; Montevechi, J. A. B.: Perspectives and relationships in Supply Chain Simulation: A systematic literature review. *Simulation Modelling Practice and Theory* 62 (2016), S. 166–191.
- Oliver, E.; Mazzuchi, T.; Sarkani, S.: A resilience systemic model for assessing critical supply chain disruptions. *Systems Engineering* 25 (2022) 5, S. 510–533.
- Open Supply Hub: Open Supply Hub (OS Hub) - an accessible, collaborative, supply chain mapping platform. <https://info.opensupplyhub.org/>, letzter Zugriff am 10.05.2023.
- Röhrig, S.; Rockel, T.: Analyse existierender Simulationsstudien zum Umgang mit fehlenden qualitativen Daten. *Ilmenauer Beiträge zur Wirtschaftsinformatik* 4 (2020).